



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN INGENIERÍA
INGENIERÍA CIVIL – APROVECHAMIENTOS HIDRÁULICOS

ESTIMACIÓN DEL POTENCIAL HIDROELÉCTRICO A PEQUEÑA ESCALA EN LA
CUENCA DEL RÍO AMACUZAC

TESIS
QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:
MAESTRO EN INGENIERÍA

PRESENTA:
BERTHA MEZA PRIETO

TUTOR PRINCIPAL:
DR. FRANCISCO JAVIER APARICIO MIJARES, FACULTAD DE INGENIERÍA

MÉXICO, D. F. ENERO 2015



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

JURADO ASIGNADO:

Presidente: Dr. Carlos A. Escalante Sandoval
Secretario: Dr. Ariosto Aguilar Chávez
Vocal: Dr. Francisco Javier Aparicio Mijares
1 er. Suplente: M.I. Juan Fco. Gómez Martínez
2 do. Suplente: M.I. Roberto Mejía Zermeño

Lugar o lugares donde se realizó la tesis: Jiutepec, Morelos. UNAM campus IMTA.

TUTOR DE TESIS:

Dr. Francisco Javier Aparicio Mijares

FIRMA

RECONOCIMIENTOS

Con gratitud a la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) por haberme dado la oportunidad de realizar mis estudios de posgrado en el área de Ingeniería y proyectar mi sueño de especializarme en Ingeniería Hidráulica. Agradezco mucho a los profesores que intentaron compartir sus conocimientos en cada clase impartida y guiarnos de la mejor manera para ser mejores profesionistas en el área laboral e iniciarnos en el área de la Investigación.

Agradezco al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por haberme apoyado económicamente, pues la BECA CONACyT facilitó mi estancia fuera de casa y me permitió sobrevivir los 2 años de maestría. Estoy segura que realizaron una gran inversión y los encomio a que sigan apoyando, creo aún hay muchos profesionistas con gran talento para realizar sus estudios de posgrado.

Mi más profundo agradecimiento a mi tutor Dr. Aparicio por orientarme en este tema de investigación y permitirme trabajar bajo su dirección.

DEDICATORIA

Al ingeniero hidrólogo que a lo largo de la historia se ha empeñado en realizar la mejor estimación en hidrología para el diseño y operación de proyectos de ingeniería para el control y aprovechamiento del agua, a pesar de tener en contra la aleatoriedad de los eventos atmosféricos.

Diskin menciona:

La única herramienta disponible en la hidrología aplicada, para evaluar la utilidad de un modelo hidrológico en los procesos de planeación y manejo de un proyecto de recursos hidráulicos en una determinada cuenca, es la experiencia obtenida en el análisis y uso de varios modelos.

CONTENIDO

	Página
RESUMEN.....	1
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	2
I.1. Antecedentes	4
I.2. Planteamiento del problema.....	7
I.3. Objetivo general.....	8
I.3.1. Objetivos particulares	8
CAPÍTULO II. ESTADO DEL ARTE.....	9
II.1. Etapas de planeación para construir proyectos hidroeléctricos	10
II.2. Situación de las pequeñas hidroeléctricas en el mundo	11
II.3. Normatividad para la generación de energía en pequeñas centrales hidroeléctricas	11
II.4. Situación actual y potencial de energía hidroeléctrica a pequeña escala	13
II.5. Estimación del potencial bruto para pequeñas centrales hidroeléctricas	16
II.5.1. Métodos para evaluar el potencial hidroenergético en pequeña escala	16
CAPÍTULO III. METODOLOGÍA DE ANÁLISIS HIDROLÓGICO.....	18
III.1. Introducción	19
III.2. Análisis cartográfico.....	19
III.2.1. Ubicación y características de la cuenca del río Amacuzac	20
III.2.1.1. Determinación de las características fisiográficas de las cuencas hidrológicas	22
III.2.2. Ubicación de los elementos de exclusión.....	24
III.2.3. Identificación de los tipos de vegetación y suelo	26
III.2.4. Determinación de perfiles longitudinales.....	29
III.2.5. Obtención de las áreas de aportación por punto elegido.....	29
III.3. Análisis de información climatológica e hidrométrica.....	31
III.3.1. Revisión de información climatológica	31
III.3.2. Análisis de caudales medios diarios.....	32
III.4. Calibración y validación del modelo hidrológico semidistribuido.....	34
III.4.1. Análisis de sensibilidad.....	35
III.4.2. Calibración del modelo para las subcuencas hidrológicas	48
III.4.2.1. Calibración de parámetros de la cuenca Texcaltitlan	49
III.4.2.2. Calibración de parámetros de la cuenca Coatepequito	50
III.4.2.3. Calibración de parámetros de la cuenca Chontalcuatlán	52
III.4.2.4. Calibración de parámetros de la cuenca Dos Bocas	54
III.4.2.5. Calibración de parámetros de la cuenca Amacuzac.....	56
III.4.3. Validación de los parámetros obtenidos en la calibración del modelo	59

CAPÍTULO IV. ANÁLISIS HIDROELÉCTRICO Y RESULTADOS	64
IV.1. Determinación del caudal medio disponible	65
IV.2. Estimación del potencial disponible.....	66
IV.3. Costo de instalación de una pequeña central hidroeléctrica.....	70
IV.4. Factibilidad de una PCH al hilo de agua	73
IV.4.1. Rentabilidad y periodo de recuperación de la inversión	74
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES	78
BIBLIOGRAFÍA Y FUENTES CONSULTADAS	81
ANEXOS.....	85
Anexo A. Calibración y validación de parámetros para la cuenca Texcaltitlan	86
Anexo B. Calibración y validación de parámetros para la cuenca Coatepequito	89
Anexo C. Calibración y validación de parámetros para la cuenca Chontalcuatlán	92
Anexo D. Calibración y validación de parámetros para la cuenca Dos Bocas.....	95
Anexo E. Calibración y validación de parámetros para la cuenca Amacuzac.....	98
Anexo F. Sitios disponibles para construir pequeñas centrales hidroeléctricas localizados en la cuenca Alto Amacuzac.	101
Anexo G. Tipo de vivienda típica por nivel socioeconómico.	116
Anexo H. Valores estimados del costo de instalación de una PCH y energía aproximada de generación anual. .	119

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Costo promedio por energía producida en centavos de dólar /kilowatt-hora (Fritz, 1984).....	5
Figura 2. Localización de la cuenca Alto Amacuzac (elaboración propia).....	21
Figura 3. Localización de las cuencas hidrológicas de estudio (elaboración propia).....	23
Figura 4. Ubicación de algunas zonas de exclusión.....	25
Figura 5. Tipo de vegetación.....	27
Figura 6. Tipo de suelo.....	28
Figura 7. Perfil longitudinal.....	29
Figura 8. Trazo de las subcuencas de aportación por sitio elegido en la cuenca Texcaltitlan.....	30
Figura 9. Ubicación de las estaciones climatológicas e hidrométricas.....	33
Figura 10. Hidrograma obtenido con los valores propuestos.....	36
Figura 11. Hidrogramas obtenidos al aumentar los parámetros 10 veces.....	38
Figura 12. Hidrogramas obtenidos al disminuir los valores de los parámetros 0.2 veces.....	43
Figura 13. Hidrograma obtenido para la cuenca Texcaltitlan.....	59
Figura 14. Hidrograma obtenido para la cuenca Coatepequito.....	60
Figura 15. Hidrograma obtenido para la cuenca Chontalcuatlán.....	60
Figura 16. Hidrograma obtenido para la cuenca Dos Bocas.....	61
Figura 17. Hidrograma obtenido para la cuenca Amacuzac.....	62
Figura 18. Curva de duración de caudales tipo en las cuencas hidrológicas.....	65
Figura 19. Localización de los sitios disponibles para la construcción de PCHs.....	67
Figura 20. Distribución de los sitios con potencial micro y mini hidroeléctrico.....	69
Figura 21. Costo por kilowatt instalado para PCHs en función de la caída (Ortiz, 2011).....	71
Figura 22. Tasa interna de retorno para los proyectos diseñados con diferentes caudales.....	74
Figura 23. Periodo de recuperación de la inversión.....	75
Figura 24. Comportamiento de la tasa interna de retorno con la curva de duración de caudales.....	76
Figura 25. Variación del valor presente neto con la curva de duración de caudales.....	77

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Reservas de combustibles fósiles (González, 2009).....	7
Tabla 2. Leyes estatales relacionadas con energías renovables.....	12
Tabla 3. Centrales hidroeléctricas con capacidad efectiva menor o igual a 30 MW (al 31 de diciembre de 2011).	13
Tabla 4. Permisos de generación a empresas particulares.....	14
Tabla 5. Potencial identificado para generación hidroeléctrica a pequeña escala.....	14
Tabla 6. Costo de la energía generada (Secretaría de Energía, 2012).....	15
Tabla 7. Subcuencas pertenecientes al río Amacuzac.....	22
Tabla 8. Localización geográfica de las estaciones climatológicas.....	31
Tabla 9. Coordenadas geográficas de las estaciones hidrométricas utilizadas.....	32
Tabla 10. Periodos de calibración y validación para las cuencas hidrológicas.....	34
Tabla 11. Parámetros necesarios para la simulación (programa HEC-HMS).....	35
Tabla 12. Valores propuestos de los parámetros.....	36
Tabla 13. Valores incrementados de los parámetros propuestos.....	37
Tabla 14. Valores reducidos de los parámetros propuestos.....	43
Tabla 15. Valores referenciales del criterio de Nash-Sutcliffe (Molnar, 2011 citado por Cabrera, 2013).....	49
Tabla 16. Pesos espacial y temporal asignados a las estaciones climatológicas.....	49
Tabla 17. Valores de los parámetros optimizados para la cuenca Texcaltitlan.....	50
Tabla 18. Pesos espacial y temporal de las estaciones climatológicas.....	51
Tabla 19. Valores de los parámetros optimizados para la cuenca Coatepequito.....	51
Tabla 20. Pesos espacial y temporal de las estaciones climatológicas.....	52
Tabla 21. Valores de los parámetros optimizados para la cuenca Chontalcuatlán.....	53
Tabla 22. Pesos espacial y temporal de las estaciones climatológicas.....	54
Tabla 23. Parámetros obtenidos para la cuenca Dos Bocas.....	55
Tabla 24. Pesos espacial y temporal de las estaciones climatológicas.....	56
Tabla 25. Valores de los parámetros optimizados para la cuenca Amacuzac.....	57
Tabla 26. Compilación de los parámetros calibrados para las cuencas hidrológicas.....	58
Tabla 27. Error porcentual en el volumen.....	62
Tabla 28. Comparación de los caudales pico observado y simulado.....	63
Tabla 29. Características de algunos de los sitios localizados.....	66
Tabla 30. Agrupación del potencial hidroeléctrico disponible.....	68
Tabla 31. Valores estimados del costo de instalación de una PCH y energía aproximada de generación anual....	72
Tabla 32. Variación de la potencia de acuerdo con la curva de duración de caudales.....	73
Tabla 33. Periodo de recuperación de la inversión en la PCH.....	76

RESUMEN

El aumento en la demanda de la energía eléctrica y el compromiso por generar energía de manera sustentable ha impulsado múltiples proyectos a base de energías renovables, como los sistemas hidroeléctricos a pequeña escala en México. Uno de los principales problemas en este sentido es determinar cuáles son los lugares más viables para el emplazamiento de dichos proyectos y qué cantidad de energía hay disponible. En este trabajo se expone un método para estimar el potencial hidroenergético en cuencas hidrológicas basado en el conocimiento del desnivel topográfico de las corrientes tributarias para obtener la carga disponible y la curva de duración de caudales determinada con los datos de escurrimiento generados con el modelo lluvia-escurrimiento *Soil Moisture Accounting (SMA)*.

Se realizó el análisis de la precipitación acumulada diaria registrada en estaciones climatológicas y se eligió un periodo común con los datos de caudal medio diario registrados en las estaciones hidrométricas para calibrar y validar el modelo hidrológico semidistribuido *SMA*. Se utilizó el software *ArcGis 10.1* para realizar la delimitación y procesamiento de las subcuencas hidrológicas, y el trazo de perfiles longitudinales de cauces con el objeto de determinar los sitios con al menos 3 metros de carga disponible, debido a que las turbinas comerciales funcionan con más de 2 metros de carga.

Para obtener los datos de entrada del modelo *SMA* se trazaron los polígonos de Thiessen y se calculó la evapotranspiración mensual con el método de Blaney- Criddle. La calibración del modelo se realizó optimizando los parámetros con el criterio denominado “error porcentual en volumen”, pues para fines de este trabajo se buscó obtener volúmenes simulados parecidos a los medidos representados por los hidrogramas anuales. Se validó el modelo utilizando un periodo de precipitación diferente al usado en la calibración. Se trazó la curva de duración de caudales con el escurrimiento diario obtenido del modelo lluvia-escurrimiento y se consideró la carga bruta disponible igual al desnivel topográfico para obtener el potencial hidroenergético.

Los criterios considerados para la selección de sitios factibles de explotación fueron la exclusión de zonas de recarga de aguas subterráneas, áreas protegidas, áreas con alta densidad poblacional y las corrientes intermitentes. El método se aplica a la cuenca del río Alto Amacuzac, donde se encontraron sitios con potencial hidroenergético menor que 2 MW. Se encontró un potencial bruto disponible de 49,227 kW distribuido en 578 sitios. El rango de potencia bruta disponible varía de 1.43 a 1,831.07 kW por sitio y el costo promedio aproximado de instalación de las pequeñas centrales hidroeléctricas en los sitios disponibles es de \$3,672,636. El análisis realizado muestra la factibilidad del diseño de una pequeña central al hilo de agua utilizando el caudal presente en el cauce el 90% de año, ya que el periodo de recuperación es de 5 años. El método empleado es recomendable para la planeación de sistemas de pequeños proyectos hidroeléctricos a largo plazo.

CAPÍTULO I.
INTRODUCCIÓN

I.1. Antecedentes

La generación de energía hidroeléctrica a pequeña escala es una actividad de gran importancia en el mundo y se ha practicado desde hace más de doscientos años. Se cree que la energía hidráulica fue usada por los griegos 100 años a.C. para moler el trigo y obtener harina; y en el siglo I d.C., países de Asia y Europa comenzaron a manejar la energía hidráulica en la milicia. Las turbinas modernas de energía hidroeléctrica fueron diseñadas a mediados de 1700s por el ingeniero hidráulico y militar francés, Bernard Forest de Belidor. Alrededor de 1800, la energía hidroeléctrica se usó para generar corriente directa. En 1882, se construyó la primera planta de generación de corriente alterna, localizada en Appleton, Wisconsin, Estados Unidos. Para 1907, en Estados Unidos, el 15% de la energía eléctrica generada provenía de la energía hidroeléctrica y esta cantidad se incrementó en casi 40% en 1940. En 2005, los países con mayor producción de energía¹ hidroeléctrica fueron China con 3.98×10^{11} kWh; Canadá produjo cerca de 3.6×10^{11} kWh; Brasil generó más de 3.3×10^{11} kWh, mientras que Estados Unidos produjo cerca de 2.7×10^{11} kWh. Para el año 2006, en los Estados Unidos, sólo el 6.5% de la energía generada provenía de hidroeléctricas (Fritz, 1984).

Desde el punto de vista financiero los parámetros característicos de la generación de energía eléctrica son el costo del kilowatt instalado (\$/kW) y el costo de la energía generada (\$/kWh); los cuales están determinados por las inversiones que se realizan para su instalación y los costos de operación de la planta de generación. El costo del kilowatt instalado depende de los siguientes aspectos: estudios técnicos, vías de acceso y redes de interconexión, caída de la PCH, número de unidades, condiciones y uso de terreno, entre otros. Bajo estas circunstancias las PCHs tienen un mayor costo específico de instalación comparada con otros tipos de generación de energía; sin embargo las PCHs son proyectos de larga vida útil (20 años mínimo) y utilizan el escurrimiento local como energético; si a esto se agrega su sencillez en el mantenimiento y operación, se tiene un costo de generación bajo frente a otras centrales de energía eléctrica (Ortiz, 2011).

Las ventajas económicas de las hidroeléctricas sobre los sistemas de energía térmica son altamente considerables, pues el costo bruto por kilowatt-hora es menor comparado con los sistemas de generación eléctrica a base de combustibles fósiles como el carbón, petróleo o gas natural, nuclear y las turbinas de gas. En la figura 1 se muestra el desglose de los costos promedio por energía producida de varios sistemas, en la que los sistemas de combustible fósil tienen un costo total de 2.15 centavos por kilowatt-hora; la energía nuclear, 1.8 centavos por kWh; la energía hidroeléctrica 0.85 centavos/kWh; y la energía generada con turbinas de gas, 3.7 centavos/kWh.

¹ La **potencia** eléctrica es la relación de paso de energía por unidad de tiempo; es decir, la cantidad de energía entregada o absorbida por un elemento en un tiempo determinado. Su unidad en el Sistema Internacional de Unidades es el vatio o watt (1 watt= 1 J/s) y la energía se define como el trabajo realizado por una fuerza de un newton, en un desplazamiento de un metro en la dirección de la fuerza, es decir, equivale a multiplicar un newton por un metro.

La unidad de **energía** definida por el Sistema Internacional de Unidades es el julio o joule (J). La energía también se puede definir en términos de potencia por tiempo, en este sentido la unidad de energía es el vatio x segundo (Ws), que equivale a un julio. El J o Ws es una unidad muy pequeña, por lo que se suele emplear otro valor más grande, el kWh que equivale a:

$$1 \text{ kWh} = 1,000 \text{ W} \times 3,600 \text{ s} = 3'600,000 \text{ Ws} = 3'600,000 \text{ J}$$

El kilovatio-hora es la energía que produce una potencia de un kilovatio trabajando durante una hora.

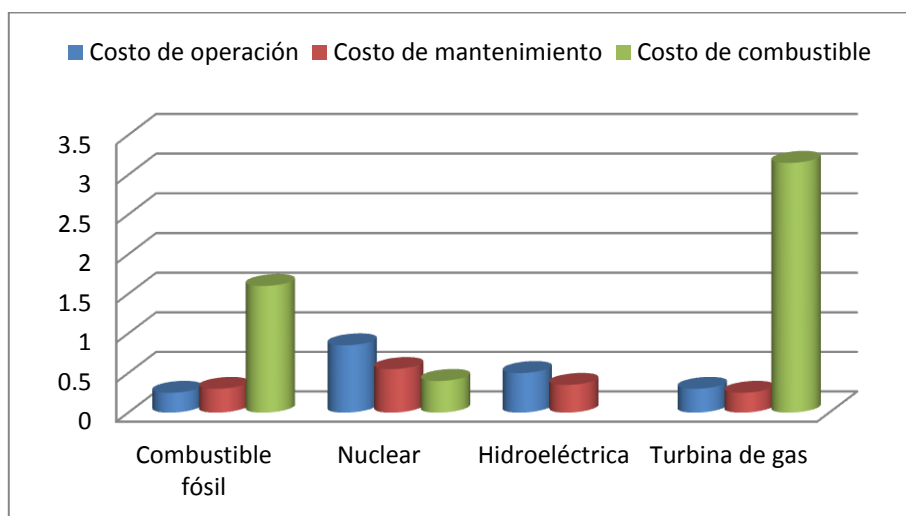


Figura 1. Costo promedio por energía producida en centavos de dólar /kilowatt-hora (Fritz, 1984).

En algunos países, la generación de energía hidroeléctrica se ha tomado como una alternativa sustentable logrando reducir las emisiones de dióxido de carbono y cumplir con lo establecido en el protocolo de Kyoto 1998 (Sener, 2012).

Algunos tipos de sistemas hidroeléctricos a pequeña escala son los siguientes:

- a) Al hilo de agua. Genera energía de base a todas horas. Tienen una carga constante con limitada adaptación a la demanda de energía, no permite regular las inundaciones y la variación del flujo en el río;
- b) De regulación. Genera la energía eléctrica de mayor calidad por su flexibilidad, en horas punta y cuando el sistema lo demande. Abastece de agua y energía, pero el caudal es reducido aguas abajo de la derivación hasta que se reintegra a la corriente.

El potencial eléctrico¹ de pequeñas y micro hidroeléctricas ha sido evaluado en países como Estados Unidos y Brasil. En Estados Unidos se encontró un potencial total bruto anual de cerca de 171,055 MW, pero sólo 101,341 MW están disponibles. En el caso de Brasil se estimó un potencial para pequeñas centrales hidroeléctricas en 237,870 MW, de los cuales 22,274 se encuentran en áreas protegidas, 33,632 están en áreas nativas y sólo pueden utilizarse 182,817 MW (Hall, 2011).

En México existen varias limitantes para el desarrollo de energías renovables, entre las que destacan las siguientes (Torres y Gómez, 2006):

1. Las institucionales, pues la planeación energética del país está basada en metodologías que evalúan sólo el costo económico a corto plazo de la generación de energía, sin sopesar los beneficios que las energías renovables aportarían a la economía nacional, tales como la estabilidad de precios de la energía en largo plazo y la reducción de los riesgos en el abasto energético;

2. Las legales y regulatorias, que limitan la participación de empresas privadas en el sector energía. En el caso de generación de energía eléctrica, la Ley de Servicio Público de Energía Eléctrica (LSPEE) sólo permite la generación a particulares a través de permisos que pueden incluir transmisión, transformación y entrega de energía eléctrica y obliga a la Comisión Federal de Electricidad (CFE) a adquirirla al menor costo, haciendo que la generación de energía eléctrica a través de energías renovables sea más costosa comparada con las fuentes fósiles convencionales, por lo que es necesario establecer incentivos económicos y fiscales para fomentar el uso de energías renovables;
3. Económicas y financieras, pues la planeación energética se basa en la evaluación de las tecnologías de generación energética de menor costo económico de corto plazo y no hay mecanismos financieros que permitan a las energías renovables ser más competitivas frente a las fuentes convencionales. Como iniciativa, la Ley para el Aprovechamiento de las Fuentes Renovables de Energía (LAFRE) creó un Fideicomiso que otorga incentivos temporales a proyectos que generen electricidad para servicio público mediante fuentes renovables;
4. Técnicas. En este aspecto, ha sido imposible estimar el potencial total de energías renovables en el país para los recursos geotérmico, eólico, solar y minihidráulico. Tampoco se han cuantificado los recursos como el mareomotriz, el biogás de residuos urbanos, y agronómicos y la biomasa de plantaciones energéticas.

Además existe otra limitante en el aprovechamiento de agua para generar electricidad debido a que México tiene gran parte de zonas áridas y esto lo hace vulnerable a las sequías por las razones siguientes (CONAGUA, 2011):

- Hay periodos de tiempo en los que disminuye la producción de energía hidroeléctrica por falta de agua.
- El régimen de lluvias sufre alteraciones, tanto espaciales como temporales.
- La evapotranspiración se incrementa en los meses de marzo a junio.
- Se deben satisfacer las demandas de agua potable y riego antes que satisfacer las demandas de electricidad en horas pico.

El método desarrollado en este trabajo se aplicará para la localización de sitios donde sea factible construir centrales hidroeléctricas sin embalse, es decir, al hilo de agua.

I.2. Planteamiento del problema

México es altamente dependiente de los hidrocarburos para sus necesidades energéticas, pues de acuerdo con González (2009) el 80% de la energía eléctrica se genera mediante combustibles fósiles. La principal razón se debe a que combustibles fósiles como el carbón son los más abundantes en el país como se muestra en la tabla 1, teniendo una relación reserva/consumo para éste de 99 años y para el gas natural y petróleo de 63.07 y 9.60 años respectivamente. Se dejan a un lado otras fuentes de energía como la eólica, la geotérmica y la hidráulica principalmente, así como la inversión en la investigación de estas fuentes de energía renovables y su aprovechamiento de manera sustentable.

Tabla 1. Reservas de combustibles fósiles (González, 2009).

	Reservas	Producción	R/P [años]
Carbón	1211.00 Millones ton	12.00 Millones ton/a	99.00
Gas natural	89.00 Millones pc	1.41 Millones pc/a	63.07
Petróleo	11,00.00 Millones bls	1,145.83 Millones bls/a	9.60

Se deben crear sistemas generadores de energía más amigables con el ambiente y evitar en lo posible construir obras como las presas de generación hidroeléctrica a gran escala, debido a los problemas sociales que provoca la adquisición del terreno de inundación y en algunos casos el movimiento de asentamientos humanos. Aunado a ello, se debe tomar en cuenta el impacto generado por el movimiento de grandes volúmenes de tierra con la obra de almacenamiento y la disminución del agua aguas abajo de la cortina.

Si consideramos que los sitios aprovechables a gran escala para generar energía eléctrica son finitos y que éstos no serán rentables a largo plazo debido al cambio temporal en el régimen de lluvias (lluvias en verano, abundantes todo el año, escasas todo el año y lluvia en invierno), pues de acuerdo con Breña (2004), quien hace una amplia descripción sobre la distribución espacial de la precipitación y régimen pluvial, las zonas más lluviosas en México son las que reciben los vientos húmedos del mar originados por los vientos Alisios, los norte o los ciclones tropicales originados en el mar de las Antillas a finales de verano y principios del otoño aumentando la lluvia en los meses de septiembre y octubre. Por lo tanto, un incremento en la temperatura atmosférica y el calentamiento de los océanos intensifica el número de ciclones tropicales y estos a su vez alteran el régimen de lluvias.

Además geográficamente, la precipitación total anual (PTA) se está incrementando en las regiones áridas y semiáridas en un 1.8 % en promedio, mientras que disminuye 1.2 % en promedio en las regiones húmedas (Méndez *et al.*, 2008).

I.3. Objetivo general

Proponer un método para la estimación del potencial hidroeléctrico en cuencas hidrológicas y localizar los sitios disponibles para construir micro, mini y pequeñas centrales hidroeléctricas.

I.3.1. Objetivos particulares

Los objetivos particulares de este trabajo son los siguientes:

- Implementar y calibrar el modelo continuo-semidistribuido *Soil Moisture Accounting* (SMA) como herramienta para obtener el escurrimiento diario generado por la precipitación en un periodo de tiempo mayor a 8 años.
- Definir los sitios apropiados para construir centrales hidroeléctricas a pequeña escala en las subcuencas del río Alto Amacuzac.
- Determinar la curva de duración de caudal por sitio seleccionado.
- Estimar el potencial hidroenergético de cada sitio y realizar una evaluación de los costos aproximados de instalación de una PCH.

CAPÍTULO II.
ESTADO DEL ARTE

II.1. Etapas de planeación para construir proyectos hidroeléctricos

Dentro del proceso de planeación de los proyectos hidroeléctricos, se realiza el estudio de sitios específicos que involucran el desarrollo de tres etapas básicas que son: reconocimiento de sitios, factibilidad de construcción y diseño del proyecto. Las definiciones para cada etapa son las siguientes (Ortiz, 2011).

- Estudio de reconocimiento e identificación. Esta etapa se realiza en gabinete, utilizando información de planos topográficos, modelos digitales de terreno, cartas de uso de suelo, plan de desarrollo urbano y zonas protegidas. Se analiza la información hidrométrica y climatológica para proponer sitios factibles con potencial hidroeléctrico. Como resultado se obtiene la carga y el caudal medio disponible a utilizar.
- Estudio de factibilidad. Se considera el desarrollo integral de la cuenca hidrológica, para lo cual se evalúan las características técnicas, sociales, económicas y ambientales del lugar, así como la necesidad de energía eléctrica. Esto se hace con el propósito de mitigar los impactos que pueda generar la construcción de la planta hidroeléctrica.
- Diseño de proyecto. Se realizan estudios ambientales, sociales, de topografía, geología estructural y estratigrafía de detalle para proponer el procedimiento constructivo y definir el tipo de material a usar considerando los materiales propios del sitio. Se revisan los parámetros de diseño, se estructura el catálogo de conceptos y se desglosan las cantidades de obra para determinar el presupuesto de obra.

Cuando se desea examinar la posibilidad del aprovechamiento del agua para generar electricidad a pequeña escala, se realiza un estudio de sitios probables con potencial hidroeléctrico que involucra el desarrollo de técnicas de análisis hidrológico para estimar los **caudales disponibles** para un proyecto en la etapa 1, mientras que en la etapa 2 se elige un **caudal de diseño** hidroenergéticamente óptimo que depende en gran medida de la demanda de energía; y en la etapa 3 se diseña el plan de manejo ambiental, se determinan las cantidades de obra y el presupuesto necesario para la inversión.

El uso de cada técnica depende de la etapa de proyecto y también de la disponibilidad de datos para realizar el estudio hidrológico. El procedimiento realizado en este trabajo involucra la primera etapa de planeación para construir proyectos hidroeléctricos.

II.2. Situación de las pequeñas hidroeléctricas en el mundo

Existen varias definiciones para una hidroeléctrica en pequeña escala en el mundo. Se suele incluir en esta clasificación las micro, mini y pequeñas centrales hidroeléctricas. Hasta ahora no se ha adoptado una definición internacional para cada una de ellas. De acuerdo con Moreire y Poole (1993), en Estados Unidos y Brasil, las pequeñas hidroeléctricas son proyectos de 1 MW a 30 MW; las mini-hidroeléctricas tienen capacidad de 100 kW a 1000 kW; y las micro hidroeléctricas son proyectos menores de 100 kW (Frits, 1984). La Asociación de Pequeñas Hidroeléctricas de Europa (ESHA) considera como micro centrales las que generan menos de 100 kW; las mini centrales de menos de 500 kW y las pequeñas centrales de capacidad menor a 10 MW (Mazzetoo, Papetti *et al.*, 2004). La Agencia Internacional de Energía (IEA) define a las micro centrales como las que generan menos de 100 kW; las mini centrales con capacidad de generación de 100 a 1000 kW; y las pequeñas centrales generan menos de 10 MW (IEA, 2003). En la India, se considera a las micro centrales como las que generan menos de 100 kW; las mini centrales generan de 100 a 1000 kW y las pequeñas de 1 a 25 MW (Puroit, 2008). En México, la Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía (CONUEE) adoptó la clasificación siguiente: las micro hidroeléctricas son capaces de generar 1 MW o menos; la mini hidroeléctricas generan de 1 a 5 MW; y las pequeñas de 5 a 30 MW (Valdez Ingenieros S.A. de C.V., 2005). Para fines de aplicación, en este trabajo se tomará el criterio usado por la CONUEE.

II.3. Normatividad para la generación de energía en pequeñas centrales hidroeléctricas

Dentro del marco regulatorio en el uso de las energías renovables se encuentran las leyes relacionadas con el aprovechamiento de las energías renovables, en las que se establecen las bases para generar energía eléctrica a partir de centrales hidroeléctricas a pequeña escala (Secretaría de Energía, 2012).

1. *Ley para el aprovechamiento de las Energías Renovables y el Financiamiento de la Transición Energética (LAERFTE)*

Esta ley fue publicada en 2008 en el Diario Oficial de la Federación y tiene como objetivo regular el aprovechamiento de las energías renovables y tecnologías limpias para la generación de electricidad. Con base en esta ley, la Secretaría de Energía (SENER) creó un programa para impulsar la industria de energías renovables en México y alcanzar el 7.6% de capacidad instalada a partir de energías como la eólica, mini hidráulica, geotérmica, biomasa y biogás.

Para cumplir con los objetivos planteados, el programa contempla acciones concretas como son:

- Impulso al libre acceso a la información
- Elaboración de mecanismos para el aprovechamiento de fuentes de energía renovable
- Electrificación utilizando fuentes renovables
- Desarrollo y promoción de las energías renovables
- Crear infraestructura y normatividad de regulación

- Invertir en la investigación y desarrollo tecnológico

2. *Ley de Aguas Nacionales*

Regula el uso, aprovechamiento o explotación del agua, su distribución y control, la conservación de la cantidad y calidad del agua. En el artículo 120 del reglamento de esta ley establece que no se requerirá concesión para la explotación, uso o aprovechamiento de aguas nacionales en pequeña escala para generación hidroeléctrica conforme a la ley aplicable en la materia, es decir, la capacidad de generación no debe sobrepasar los 30 MW. Se deben considerar los siguientes principios: evitar alterar la cantidad y la calidad del agua; no desviar el cauce del agua; y solicitar un permiso para construir obras de infraestructura hidráulica.

Cuando se ubique la infraestructura hidráulica en zona federal cuya administración compete a la Comisión Nacional del Agua (Conagua), se debe contar con un permiso para realizar obras de infraestructura hidráulica y una concesión para establecerse en zona federal.

3. *Convención Marco de la Naciones Unidas sobre el cambio climático y su protocolo de Kioto*

En 1997 se elaboró el Protocolo de Kioto con la finalidad de regular las emisiones de gases de efecto invernadero, en los que se desarrollan proyectos con mecanismos de desarrollo limpio patrocinados por países desarrollados, recibiendo a cambio certificados de reducción de emisiones o bonos de carbono que pueden ser usados por el país patrocinador para cumplir con su compromiso de reducción. En esta convención, México se compromete a proponer, aplicar y publicar programas nacionales y regionales con medidas que mitiguen el cambio climático.

4. *Leyes estatales en materia de energías renovables*

Algunos estados de la República Mexicana han tomado la iniciativa de legislar el campo de energías renovables y contribuir con la tarea de la Federación de impulsar el desarrollo, disminuir las emisiones de gases invernadero, asegurar el suministro de energía y mitigar el cambio climático. En la Tabla 2 se indican los estados y la ley correspondiente en materia de energías renovables.

Tabla 2. Leyes estatales relacionadas con energías renovables.

Estados	Leyes
Chiapas	Ley ambiental para el estado de Chiapas, Ley orgánica del Instituto de Energías Alternativas, Renovables y Biocombustibles del estado de Chiapas.
Oaxaca	Ley de Coordinación
Sonora	Ley de fomento de energías.
Durango	Ley para el fomento, uso y aprovechamiento de las fuentes renovables de energía del estado de Durango y sus municipios.
Coahuila	Ley de uso racional de energía en Coahuila
Morelos	Ley de desarrollo económico sustentable del estado libre y soberano de Morelos
Quintana Roo	Ley de desarrollo económico y competitividad para el estado de Quintana Roo
Nuevo León	Ley de desarrollo rural sustentable del estado de Nuevo León
Baja California	Ley de energías renovables

La forma de regular la generación de energía eléctrica es a través de contratos otorgados al permisionario. Una forma de contrato es el siguiente:

- Contrato de compromiso de compraventa de energía eléctrica para el pequeño productor en el Sistema Interconectado Nacional. Se aplica a cualquier proyecto de pequeña producción con capacidad de generación menor que 30 MW.

La transmisión eléctrica de una nueva infraestructura para aprovechar la energía de zonas con alto potencial se logra al hacer un convenio que permite a los permisionarios usar el Sistema Eléctrico Nacional (SEN) para conducir la energía eléctrica desde la fuente de energía hidroeléctrica a los centros de consumo, en este se solicita el servicio de transmisión al suministrador. Si el servicio es factible se firma el convenio y se pagan los cargos correspondientes por el servicio.

II.4. Situación actual y potencial de energía hidroeléctrica a pequeña escala en México

La Comisión Federal de Electricidad opera 42 centrales hidroeléctricas a pequeña escala con capacidad total de generación de 286.6 MW destinados para cubrir la demanda eléctrica del servicio público. Las plantas mini y micro hidroeléctricas se ubican en 14 estados de la República, entre los que se encuentran Hidalgo, México y Puebla donde existen plantas con más de 100 años en servicio. En la Tabla 3 se presentan los estados donde se encuentran mini y micro hidroeléctricas para servicio público (Secretaría de Energía, 2012).

Tabla 3. Centrales hidroeléctricas con capacidad efectiva menor o igual a 30 MW (al 31 de diciembre de 2011).

Número	Estado	Centrales	Unidades	Capacidad efectiva instalada [MW]
1	Chihuahua	2	5	28
2	Chiapas	3	10	28.48
3	Guerrero	2	9	38
4	Hidalgo	2	3	3.967
5	Jalisco	2	3	14.32
6	México	8	14	14.063
7	Michoacán	7	14	29.68
8	Nayarit	1	4	2.18
9	Oaxaca	1	2	2.48
10	Puebla	3	8	8.36
11	Sinaloa	1	2	14
12	San Luis Potosí	3	5	20.13
13	Sonora	2	3	28.8
14	Veracruz	5	12	54.2
	Total	42	94	286.66

Fuente: CFE (Secretaría de Energía, 2012)

Además la Comisión Reguladora de Energía (CRE) otorgó 27 permisos de generación al 31 de diciembre de 2011 para plantas hidroeléctricas menores o iguales que 30 MW, cuya capacidad es de 305.1 MW, ubicadas en 9 estados de la República como se puede observar en la tabla 4. De estos, 24 son para autoabastecimiento y 3 de pequeña producción. Sólo 16 plantas están en operación con una capacidad de 147 MW. Se les autorizó generar 774 GWh/año.

Tabla 4. Permisos de generación a empresas particulares.

Estado actual	No. de plantas	Capacidad Autorizada [MW]	Energía Autorizada [GWh/año]	Localización
En construcción	8	132.6	682.7	Baja California, Guerrero, Jalisco, Nayarit, Oaxaca y Veracruz
En operación	16	147.0	774.0	Durango, Guanajuato, Guerrero, Jalisco, Puebla y Veracruz
Inactivos	3	25.5	142.4	Jalisco, Oaxaca y Puebla
Total	27	305.1	1,599.1	

Fuente: CRE (Secretaría de Energía, 2012)

La Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía (CONUEE) ha realizado investigaciones para estimar el potencial hidroeléctrico a pequeña escala en la sierra norte de Veracruz y Puebla. En estos estados se encontró un potencial medio de 364 MW y 61 MW de potencia instalada. En la Tabla 5 se puede observar que la generación media anual en tres regiones de México es de 3,526.1 GWh/año.

Tabla 5. Potencial identificado para generación hidroeléctrica a pequeña escala.

Región	No. de sitios	Potencia media [MW]	Potencia instalada [MW]	Generación media anual [GWh/año]
Golfo (1994)	62	364	-	3,189.50
Orizaba-Xalapa (2003)	8		47	240.8
Zongolica (2004)	2		14	95.8
Total	72	364	61	3,526.10

Fuente: CONUEE (Secretaría de Energía, 2012)

En la tabla 6 se puede observar que el costo de instalación por kW y el costo de generación dependen también de si la central está en la red interconectada o no. En este caso, el costo de la energía generada es mayor cuando se suministra a la red interconectada.

Tabla 6. Costo de la energía generada (Secretaría de Energía, 2012).

Tecnología	Características Típicas [kW]	Costo de instalación [USD/kW]	Costo de la energía generada [Centavos de dólar/kWh]
Red mini rural	10-1000		25-100
Pequeña hidroeléctrica (fuera de red/rural)	0.1-1000	1175-3500	5-40

II.5. Estimación del potencial bruto para pequeñas centrales hidroeléctricas

La capacidad hidráulica para producir energía eléctrica está en función del caudal de descarga, el peso específico y la carga de presión debida a la energía potencial del agua. Esto se expresa como (Ortiz, 2011).

$$P = \gamma Q H_b \quad (1)$$

Donde

P : Potencia (W)

γ : Peso específico (N/m^3), $\gamma = g\rho$;

g : Aceleración de la gravedad (m/s^2) y

ρ : Densidad másica (kg/m^3)

Q : Caudal (m^3/s)

H_b : Altura disponible o carga bruta (m)

En los cálculos, la aceleración de la gravedad tiene un valor de 9.81 m/s^2 y la densidad es considerada como 1000 kg/m^3 .

Debido a la falta de instrumentación en las cuencas hidrológicas, es difícil evaluar el caudal en la ecuación 1, pues se tienen pocas estaciones hidrométricas instaladas. Por ello es necesario simular el escurrimiento en cuencas aforadas y calibrar los parámetros de un modelo lluvia-escurrimiento para conocer el caudal en la red de drenaje de las subcuencas no aforadas.

II.5.1. Métodos para evaluar el potencial hidroenergético en pequeña escala

El avance tecnológico y los sistemas de información geográfica (SIG) han permitido realizar la evaluación del potencial hidroenergético en cuencas hidrológicas en menos tiempo. Ya se han implementado algunos métodos para evaluar el recurso energético como los mencionados a continuación (Ortiz, 2011). En estos se considera más importante el desnivel topográfico que el tener un cauce con escurrimiento la mayor parte del año para determinar la potencia.

a) Método de la Idaho National Engineering and Environmental Laboratory

Estas instituciones han evaluado el potencial hidroenergético global en las 20 regiones hidrológicas de los Estados Unidos mediante SIG. El estudio se enfocó a Pequeñas Centrales Hidroeléctricas de baja caída (10 m o menos) con potencias cercanas a 1 MW. Se consideraron tramos de cauce de 3,218 m (2 millas) de longitud. Los resultados obtenidos con el método les permitieron ubicar sitios con importante potencial hidroenergético para construir pequeñas centrales hidroeléctricas.

b) Mapa de potencial hídrico realizado por la Unidad de Planeación Minero Energética de Colombia

En este método se realizó un mapa del potencial hidroenergético basándose en las características topográficas e hidrológicas de las cuencas. La desventaja es que no muestra los lugares con mayores indicadores hidroenergéticos y no cuantifica el potencial global y técnico. El potencial global es el que incluye el potencial de sitios sin desarrollar, presas sin una planta hidroeléctrica y las centrales hidroeléctricas que podrían ampliarse para aumentar su capacidad; y el potencial técnico es el obtenido al considerar ciertos criterios de factibilidad como la accesibilidad del sitio, carga o proximidad de transmisión y de uso de suelo o los impactos ambientales que harían poco probable el desarrollo.

c) Método Ortiz

Este incluye en el estudio características como las condiciones socio económicas y ambientales, uso de suelo (parques naturales, nacionales, comunidades indígenas y centros urbanos), amenaza sísmica relativa, infraestructura (vías de acceso y sistema de transmisión nacional). Se complementó con el uso de mapas digitales y la experiencia del Idaho National Engineering and Environmental Laboratory. Consta de las siguientes fases:

1. Evaluación del potencial hidroenergético en pequeña escala, en función de las limitantes socio-ambientales. Esta fase requiere de información cartográfica, de un pronóstico de demanda para un periodo equivalente a la vida útil de la PCH, información histórica de caudales medios mensuales y del caudal ecológico o caudal diario mínimo que se presente en el periodo de medición.
2. Evaluación del potencial técnico-hidroenergético. Perfecciona la evaluación del potencial hidroenergético de la fase 1, pues sobre la capa generada en la fase anterior se sobreponen los mapas de uso de suelo, amenaza sísmica e infraestructura.

d) Método “Trelles”

Se hace la calibración del modelo distribuido Hydrotel para obtener datos de escurrimiento y con ello el caudal medio histórico por tramo considerando un caudal de entrada y uno de salida (caudal promedio). En este se utiliza el caudal presente en el tramo de río el 85% del año para optimizar los tramos de tubería y considerar una carga neta en el cálculo de potencial básico. A este se le resta el potencial desarrollado y el condicionado para obtener un potencial disponible. La desventaja del modelo hidrológico utilizado es que no se realiza la validación de los parámetros (IMTA y CFE, 2007).

CAPÍTULO III.
METODOLOGÍA DE
ANÁLISIS HIDROLÓGICO

III.1. Introducción

En el desarrollo de este trabajo se utilizó el software *ArcGIS 10.1* para realizar el procesamiento de los datos de las subcuencas hidrológicas y *HEC-HMS 4* para calibrar y validar el modelo SMA. Se realizó el análisis cartográfico donde se obtuvieron las características principales de las subcuencas hidrológicas y la superficie de exclusión para los proyectos. Se obtuvo la evapotranspiración con el método Blaney-Criddle y se realizó el análisis de información climatológica e hidrométrica que se utilizó en la calibración y validación del modelo SMA. En este trabajo se emplearon los siguientes criterios para seleccionar un lugar o tramo de río propicio para construir una pequeña central hidroeléctrica:

1. La pendiente del tramo de río será por lo menos de 0.03 (3 %), pues cuando la pendiente es menor, con el modelo digital de terreno a escala 1:50000 se obtienen perfiles distorsionados y en algunos casos en contrapendiente.
2. Un desnivel por tramo de 3 metros, debido a que las turbinas comerciales funcionan con más de 2 metros de carga (Structuralia y Universidad Pontificia Comillas Madrid, 2014).

III.2. Análisis cartográfico

El análisis cartográfico fue realizado a partir de los modelos digitales de terreno a escala 1:50000 obtenidos en el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). Para ello se usó la herramienta *Raster*; primeramente se creó un espacio o carpeta para guardar el nuevo modelo digital con la rutina *Create Raster Dataset* y posteriormente se unieron los modelos con la rutina *Mosaic*.

Debido a que el modelo digital de elevaciones es muy pesado, se realiza la extracción de la parte que contiene a la cuenca utilizando un *shape* polígono, mediante la herramienta *Extraction*; en este caso se utiliza la rutina *Extract by Mask*.

III.2.1. Ubicación y características de la cuenca del río Amacuzac

El río Amacuzac es un afluente del río Balsas, se origina en las faldas del volcán Nevado de Toluca, a una altitud aproximada de 2,600 m.s.n.m. dentro de Tequisquiapan, Estado de México en donde se le conoce como río Texcaltitlan y recibe como afluente principal al río Aguacatitlan a partir de donde se le llama río Grande de Almoloya, fluyendo en dirección sureste (ver figura 2).

La mayor parte del río Texcaltitlan se encuentra en una zona de cultivo, el agua se utiliza para riego en los poblados de Santiago Texcaltitlán, Huayatenco, Plutarco González y Almoloya de Alquisiras, así como pequeñas rancherías y ejidos situados en sus riberas; recibe aportaciones de pequeños escurrimientos por ambas márgenes y su afluente principal es el río de La Luna.

Aguas abajo recibe las aportaciones del río Ameyucan y cambia el nombre a río Chontalcuatlán o Ixtlahuaca o de los Pilares; así continúa con la misma dirección y cruza los límites entre los estados de México y Guerrero, donde recibe en éste último por la margen izquierda al río Maliltenango o río Salado para luego desaparecer al pie del cerro el Jumil en los límites de los estados de Morelos y Guerrero y confluir en forma subterránea con el río San Jerónimo. Ambas corrientes emergen en las Grutas de Cacahuamilpa y a partir de este sitio se conoce como río Amacuzac. A partir de esta confluencia fluye hacia el sureste aguas abajo y por la margen izquierda recibe las aportaciones del río Cuautla, cambia de dirección con rumbo sur para finalmente confluir el río Amacuzac al río Mexcala por la margen derecha de éste. La longitud total del río Amacuzac hasta la confluencia con el río Balsas es de 253 kilómetros aproximadamente (IMTA, 2012).

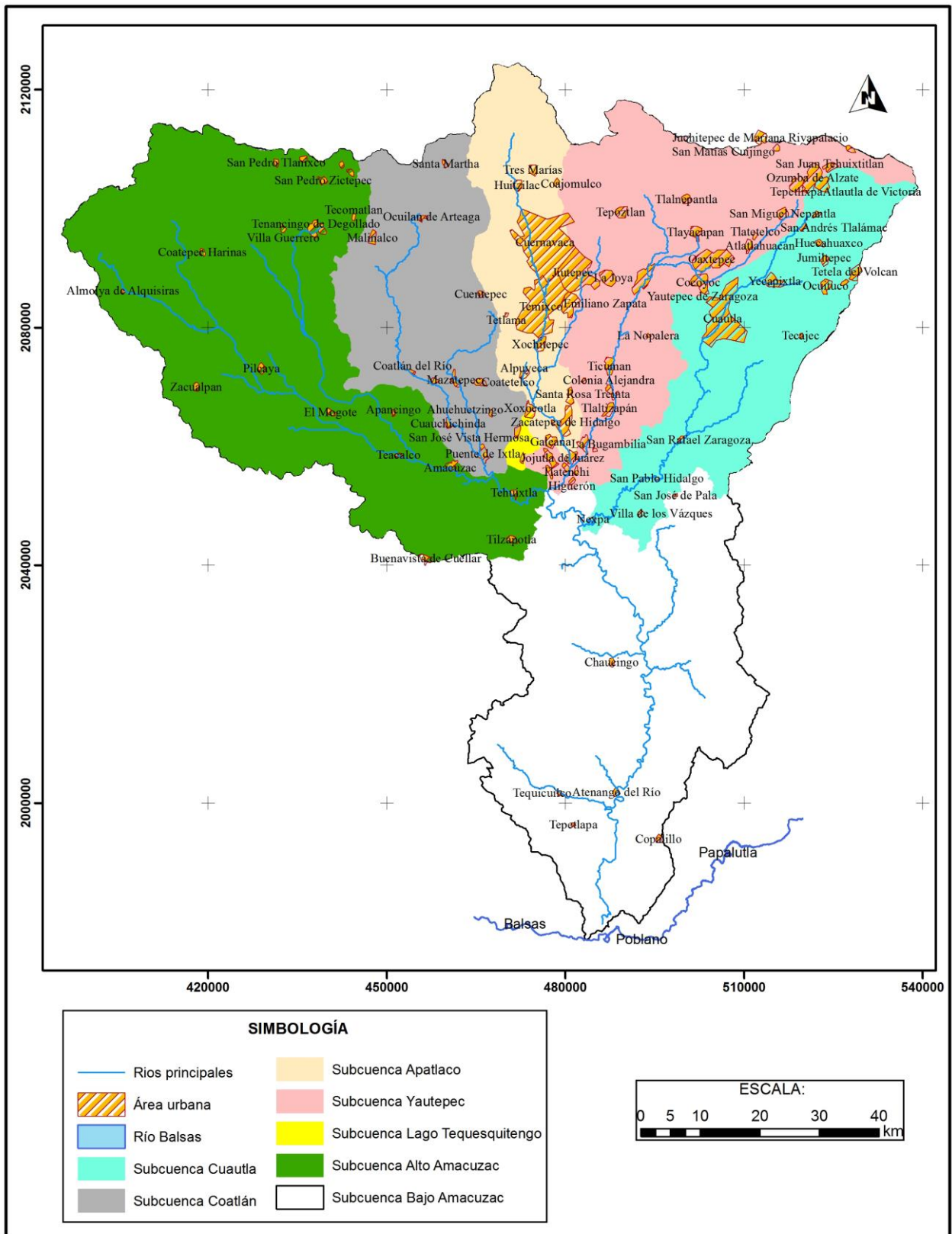


Figura 2. Localización de la cuenca Alto Amacuzac (elaboración propia).

En la Tabla 7 se muestran las subcuencas que integran la cuenca del río Amacuzac y su correspondiente área de drenaje. El área de estudio se encuentra ubicada en la cuenca río Alto Amacuzac, dentro de la cual se encuentran los ríos principales Texcaltitlan, Chontalcoatlán y San Jerónimo.

Tabla 7. Subcuencas pertenecientes al río Amacuzac.

No.	Subcuenca	Área [km ²]
1	L. Tequesquitengo	28.42
2	R. Alto Amacuzac	2,611.98
3	R. Coatlán	1,092.50
4	R. Apatlaco	809.95
5	R. Yautepec	1,534.43
6	R. Cuautla	1,177.97
7	R. Bajo Amacuzac	2,336.80
Área total		9,592.05

III.2.1.1. Determinación de las características fisiográficas de las cuencas hidrológicas

Se delimitaron las cuencas Texcaltitlan, Chontalcoatlán, Coatepequito, Dos bocas y Amacuzac ubicadas en la cuenca del río Alto Amacuzac como se puede ver en la figura 3, para obtener sus características principales como el área, longitud del cauce principal, pendiente media del cauce principal y tiempo de concentración necesarias para introducir en el modelo SMA. Para esto se utilizó la herramienta *Hydrology* de *Spatial Analyst Tools* en *Arcmap* y el modelo digital de terreno realizando el siguiente procedimiento.

1. Se corrige el modelo digital de elevaciones de imperfecciones en la superficie para lograr un buen cálculo de la dirección del flujo. Para ello se utiliza la herramienta *Fill* ubicada en *ArcToolbox*.
2. Se calcula el *raster* de dirección de flujo, este se obtiene al seguir una dirección descendente de una celda a otra.
3. Se edita un punto a la salida de cada subcuenca y se delimitan las subcuencas con la herramienta *Watershed*.
4. Posteriormente se convierte el raster creado en polígono utilizando la rutina *ArcToolbox - Conversion Tools - From Raster - Raster to polygon*.
5. Se calcula el área de cada cuenca y subcuenca con la herramienta *calculate geometry*, para ello se entra en la tabla de atributos del polígono y se agrega un campo con el nombre área.
6. Para calcular la longitud del cauce principal, se hace un corte del raster *flow direction* con el polígono obtenido en el paso 4, pues es necesario para usar la herramienta *flow length* que calcula la distancia aguas abajo a lo largo de la trayectoria de flujo para cada celda. En el caso de las subcuencas de aportación en los puntos elegidos, se determinó la longitud del cauce utilizando la distancia horizontal acumulada de los perfiles obtenidos.

Posteriormente, se trazaron los polígonos de Thiessen para obtener la ponderación de cada estación climatológica e introducir en el modelo SMA.

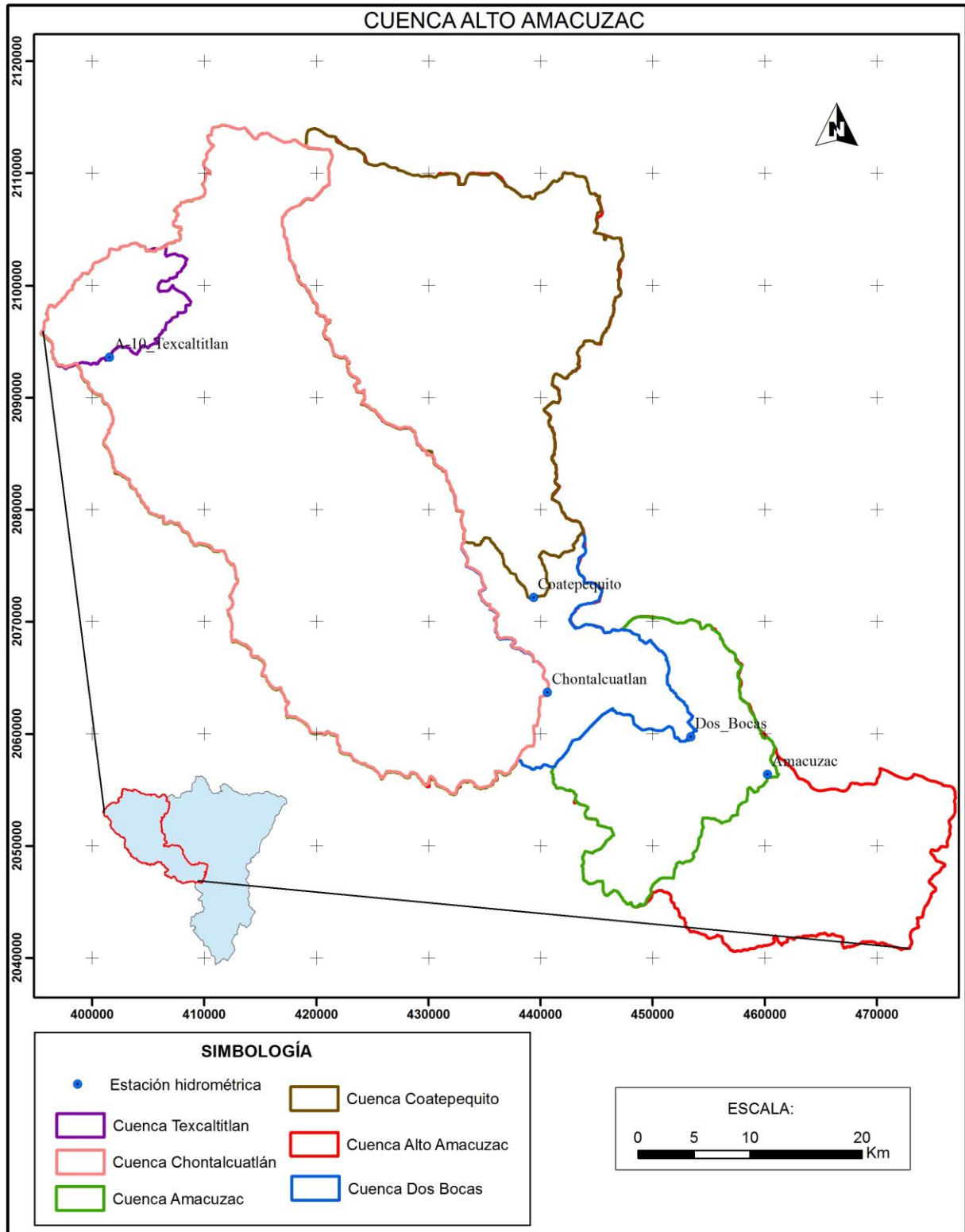


Figura 3. Localización de las cuencas hidrológicas de estudio (elaboración propia).

III.2.2. Ubicación de los elementos de exclusión

Como elementos de exclusión, se consideran las superficies en las que no se puede aprovechar el agua para generación hidroeléctrica, por ejemplo las áreas protegidas, zonas con baja precipitación y cuando el uso de suelo no lo permite, por ejemplo áreas urbanas y proyectos de obras existentes. En la figura 4 se muestra el área urbana e infraestructura existente y las áreas naturales protegidas pertenecientes a los Parques Nacionales Nevado de Toluca y Desierto de Carmen o de Nixcongo; parques estatales Hermenegildo Galeana, Nahuatlaca-Matlatzinca y Tenancingo, Malinalco, Zanpahuacan; y parques estatales Santuario de Agua y Forestal sin decreto “Salto de Tenancingo” y “río Temalcatepec” ubicadas dentro de la cuenca Alto Amacuzac.

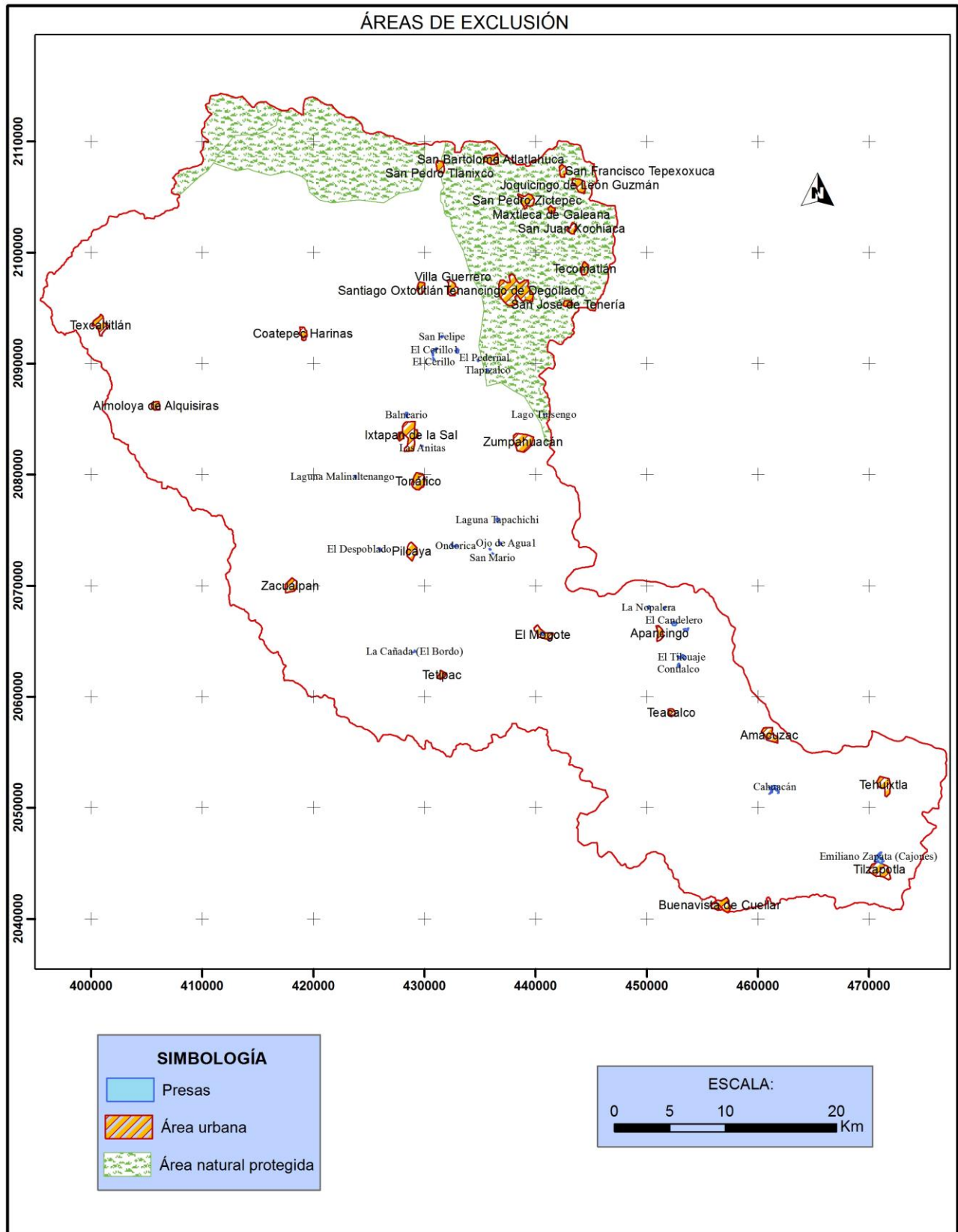


Figura 4. Ubicación de algunas zonas de exclusión.

III.2.3. Identificación de los tipos de vegetación y suelo

Debido a la complejidad para calibrar un modelo con varios parámetros, se recurre a varias estrategias dependiendo de sus características. Por ejemplo, si los parámetros tienen sentido físico se establecen relaciones entre sus valores y las características geomorfológicas de las cuencas utilizando expresiones matemáticas, tablas y rangos de valores orientativos propuestos por diferentes autores; si los parámetros no tienen sentido físico pero dominan en ellos algunas condiciones de tipo matemático, en algunos casos hay valores que se pueden estimar por criterios de subjetividad, comparándolos con los adoptados en estudios similares (Grupo de Emisarios Submarinos e Hidráulica Ambiental de la Universidad de Cantabria *et al.*, 2004)

Recurriendo al criterio donde se relacionan los parámetros con las características geomorfológicas de las cuencas, se tiene que varios parámetros dependen del tipo de vegetación, la pendiente del terreno y el uso y tipo de suelo. Este es el caso de la capacidad de almacenamiento del dosel forestal, la capacidad de almacenamiento superficial en depresiones relacionadas con el tipo de vegetación, pendiente de terreno y uso de suelo. También están en ese caso los parámetros que están relacionados con las características del suelo (textura, porosidad y permeabilidad), como la máxima capacidad de infiltración de agua en el suelo, la máxima capacidad de almacenamiento de agua en el suelo, la capacidad de almacenamiento en la zona de tensión del suelo y la máxima capacidad de percolación. Por ello se determinaron el tipo de vegetación y tipo de suelo en el área de estudio de acuerdo con la información proporcionada por el INEGI a escala 1:250000. En la figura 5 se muestra el tipo de vegetación característica de la cuenca Alto Amacuzac.

El INEGI asigna en la información edafológica digital las clases de textura 1, 2 y 3. La clase 1 corresponde a suelos arenosos de textura gruesa (con más de 65% de arena), con poca capacidad de retención de agua o nutrientes para las plantas; en la clase 2 se encuentran los suelos con textura media, comúnmente llamados francos, equilibrados generalmente en el contenido de arena, arcilla y limo; y la clase 3 incluye suelos arcillosos de textura fina (con más de 35% de arcilla) que tienen mal drenaje y escasa porosidad, son por lo general duros al secarse, se inundan fácilmente y son menos favorables al laboreo o agricultura. De esta información se obtuvo el tipo de suelo dominante de acuerdo con la clasificación del Servicio de Conservación de Suelos de Estados Unidos. En la figura 6 se presenta la ubicación de los tipos de suelos principales en la cuenca Alto Amacuzac. La clase NA corresponde con las áreas donde está ubicada la mancha urbana.

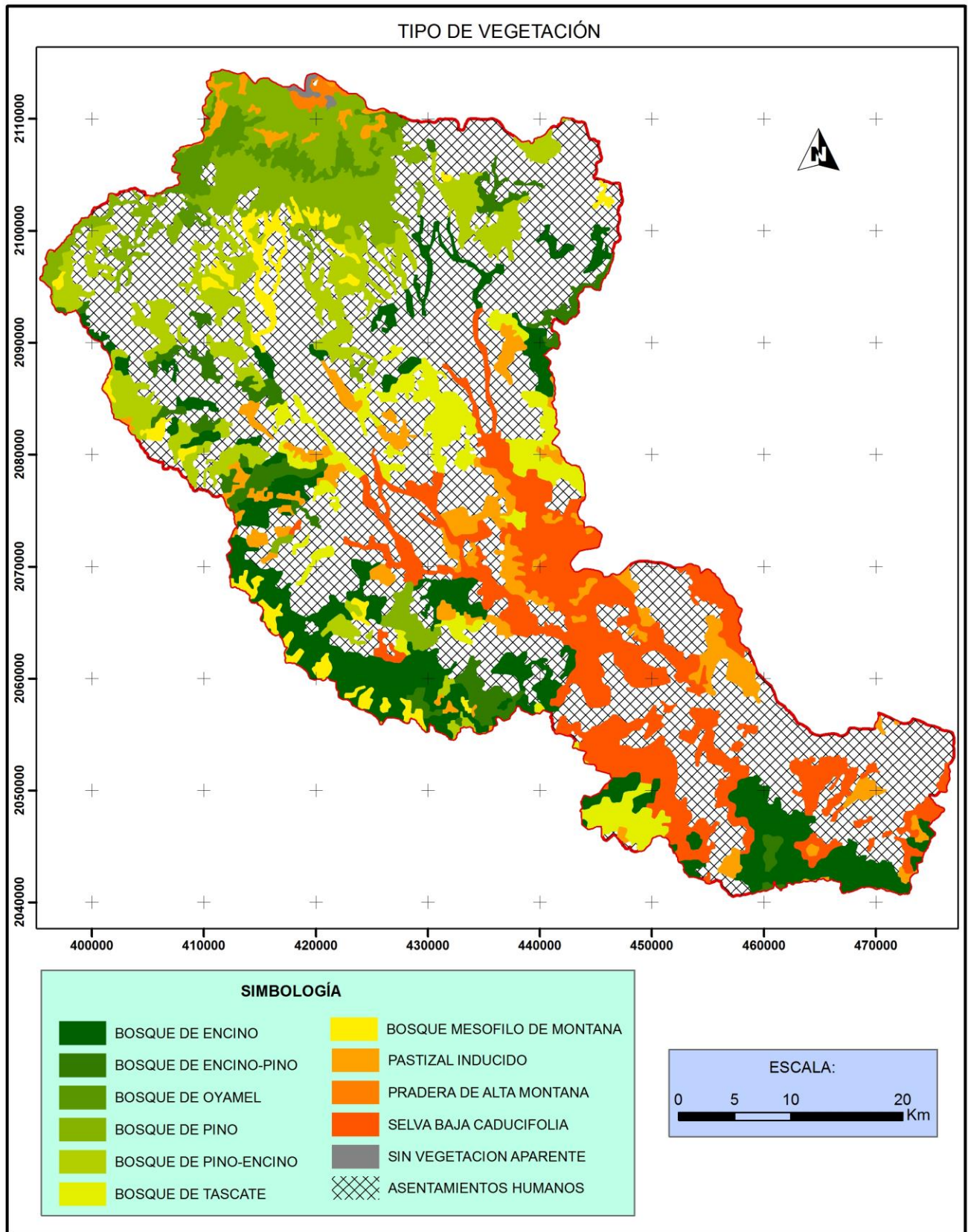


Figura 5. Tipo de vegetación.

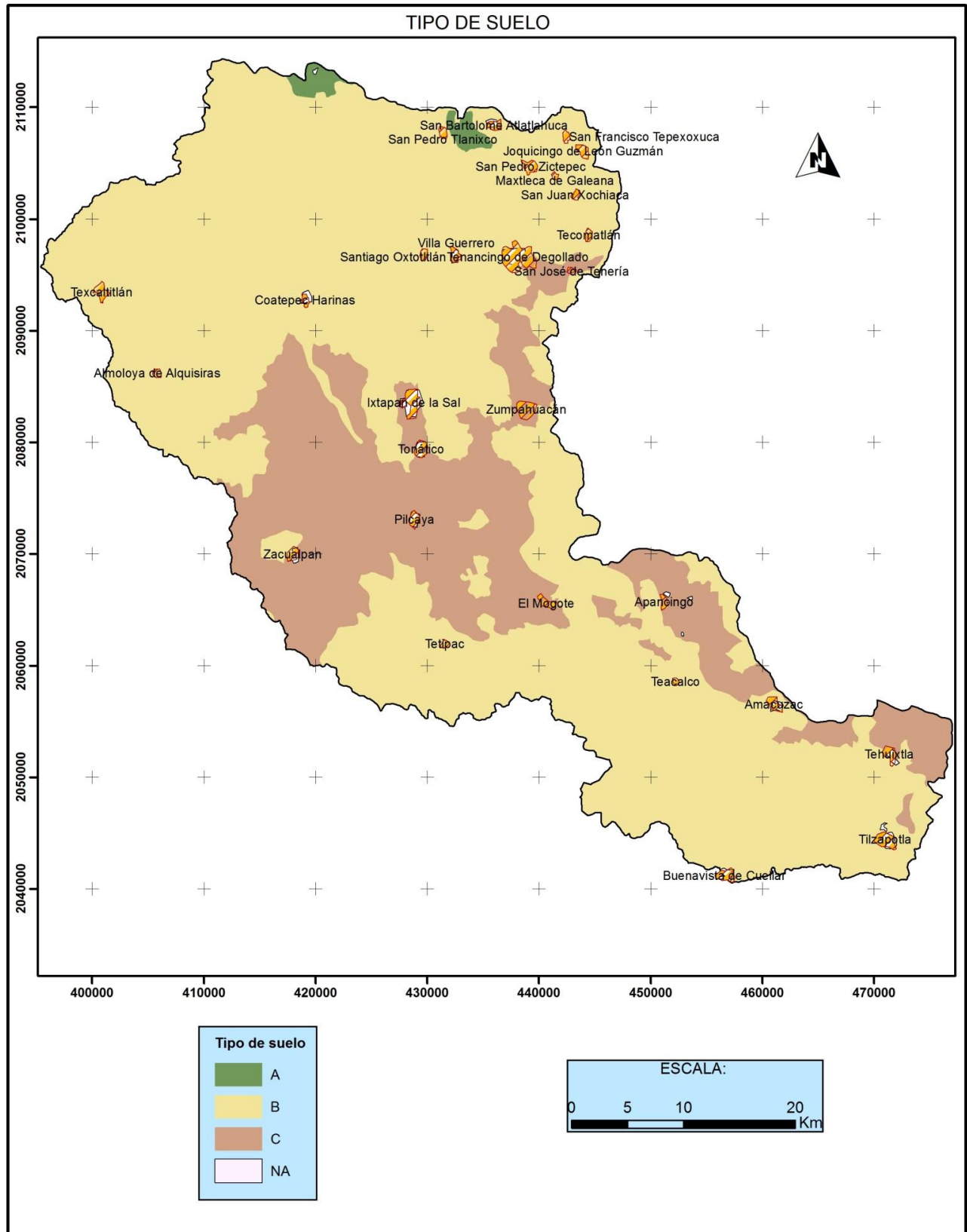


Figura 6. Tipo de suelo.

III.2.4. Determinación de perfiles longitudinales

Se obtuvieron los perfiles longitudinales de las corrientes tributarias de orden 3 o mayor que coincidían con las corrientes perennes de las subcuencas hidrológicas para calcular el desnivel topográfico y la distancia horizontal. En la figura 7 se muestra un perfil tipo obtenido con la herramienta *3D-Analyst*. Para ello se convierten los perfiles en 2D a 3D utilizando la rutina siguiente: *ArcToolbox - 3D Analyst Tools - Functional Surface - Interpolate Shape*.

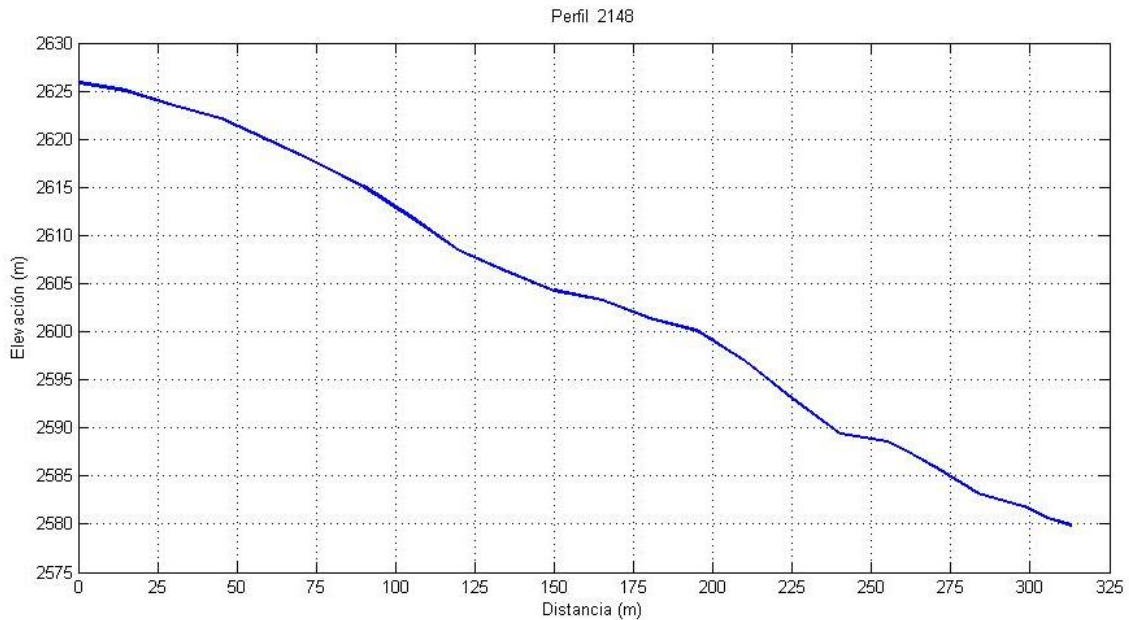


Figura 7. Perfil longitudinal.

Con los datos obtenidos del perfil se determinó la pendiente media del tramo, la longitud del cauce principal y la pendiente media del cauce principal para calcular el tiempo de concentración de cada subcuenca.

III.2.5. Obtención de las áreas de aportación por punto elegido

Se trazaron las subcuencas de aportación por sitio elegido utilizando los pasos 3 y 4 del apartado III.2.1.1 y se obtuvo su superficie para introducir en el modelo calibrado. En la figura 8 se muestran las subcuencas trazadas en la cuenca Texcaltitlan a partir del sitio elegido.

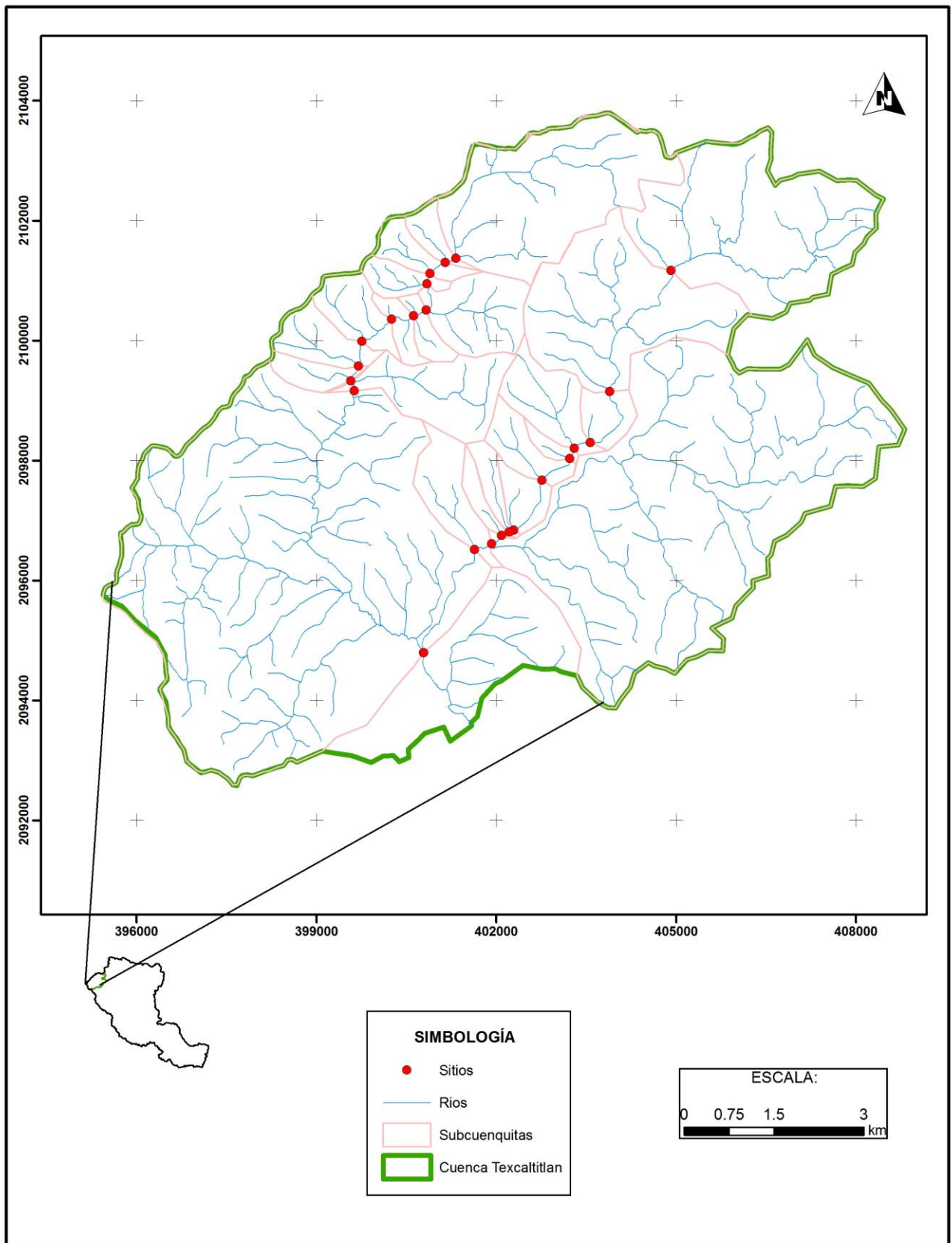


Figura 8. Trazo de las subcuencas de aportación por sitio elegido en la cuenca Texcaltitlan.

III.3. Análisis de información climatológica e hidrométrica

Para realizar el análisis de la información climatológica, se utilizaron los datos registrados en la base de datos climatológica nacional (CLICOM), con información hasta el año 2012.

La información hidrométrica se obtuvo del Banco Nacional de Datos de Aguas Superficiales (BANDAS) de la Red Hidrométrica Nacional actualizado por Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA).

III.3.1. Revisión de información climatológica

Para el trazo de los polígonos de Thiessen se utilizaron 23 estaciones climatológicas, de las cuales 5 son de Morelos, 14 de Estado de México y 4 de Guerrero, de tal manera que los polígonos quedarán dentro de la cuenca Alto Amacuzac. En la Tabla 8 se muestran las estaciones climatológicas, clave y coordenadas de ubicación.

Tabla 8. Localización geográfica de las estaciones climatológicas.

Número	Clave	Nombre	Municipio	Longitud [W]	Latitud[N]
1	12018	Cirian grande	Pedro Ascencio Alquisiras	-99.93222	18.58528
2	12093	Presa Valerio Trujano	Tepecoacuilco de Trujano	-99.47750	18.29528
3	12167	Tepetlapa	Buenavista de Cuellar	-99.41889	18.55083
4	12215	Dos bocas	Pilcaya	-99.50000	18.67111
5	15004	Almoleya del río (DGE)	Almoleya del río	-99.49167	19.15556
6	15016	Coatepec Harinas	Coatepec Harinas	-99.76611	18.92306
7	15038	Joquicingo	Joquicingo	-99.53194	19.05139
8	15062	Nevado de Toluca	Zinacantepec	-99.78139	19.11861
9	15068	Paso del cobre (CFE)	Tejupilco	-100.22917	18.88583
10	15088	San Francisco Oxtotilpan	Temascaltepec	-99.90722	19.15583
11	15120	Toma Tecomatepec	Villa Guerrero	-99.71778	18.94667
12	15122	Tenago	Tenago del valle	-99.61722	19.10694
13	15134	Vivero la Paz	Villa Guerrero	-99.64306	18.89417
14	15248	Coatepequito	Tonático	-99.62222	18.75028
15	15270	Meyuca	Coatepec Harinas	-99.78139	18.85111
16	15272	El mirador	Zacualpan	-99.77917	18.80694
17	15305	Totolmajac E-17	Villa Guerrero	-99.68472	18.91694
18	15350	La Troja Vieja	Sultepec	-99.99250	18.75861
19	17006	El Rodeo	Miacatlan	-99.32361	18.77861
20	17007	Huajintlan	Amacuzac	-99.42444	18.61000
21	17019	Tilzapotla	Puente de Ixtla	-99.30611	18.48778
22	17044	E.T.A. 040 Amacuzac	Amacuzac	-99.36944	18.59861
23	17076	Puente de Ixtla	Puente de Ixtla	-99.32583	18.62917

Se revisó la información registrada en las estaciones climatológicas y se dedujeron los datos faltantes para completar las series de datos históricos diarios (Aparicio, 2010).

III.3.2. Análisis de caudales medios diarios

Para hacer el análisis se emplearon 5 estaciones hidrométricas ubicadas en la cuenca Alto Amacuzac que cubre una superficie de 2,611.98 km², sobre los cauces de los ríos Amacuzac, San Jerónimo, Chontalcuatlán y Texcaltitlan. Se eligieron las estaciones con información de al menos 12 años de registro. En el caso de la cuenca Texcaltitlan y Chontalcuatlán se realizó la calibración de parámetros con 4 años de datos históricos de caudales diarios y se utilizaron 8 y 16 años respectivamente para la validación; los parámetros en la cuenca Coatepequito se calibraron con 5 años y se validaron con 20 años de registro; y los parámetros para las cuencas Dos Bocas y Amacuzac se calibraron con 6 años y se validaron con 16 años de registros de datos diarios. Esto con el fin de utilizar los datos de precipitación empleados en la validación de los parámetros para hacer la simulación en las subcuencas hidrológicas, pues Ortiz (2011) menciona que las curvas de duración de caudales y de frecuencias se deben obtener con la información histórica existente superior a 10 años preferiblemente en el caso de PCHs y para proyectos menores la información histórica puede ser menor.

Se realizó el relleno de datos faltantes de las estaciones climatológicas para poder obtener un periodo común de datos históricos diarios entre estaciones climatológicas e hidrométricas. Se encontraron más datos faltantes en el periodo 1991-2006 utilizados para realizar la validación de los parámetros en la cuenca Chontalcuatlán, de las 9 estaciones climatológicas, cuatro presentaron gran porosidad, por ejemplo en Meyuca faltaban 12 meses de información diaria; en San Fco. Oxtotilpan 20 meses; en Coatepec Harinas 33 meses y en Nevado de Toluca 9 meses; en La troja vieja se determinaron los datos faltante de 2 meses; en El Mirador sólo 1 mes; en Coatepequito se rellenaron 2 meses de información diaria y en Dos Bocas 2 meses también. En la Tabla 9 se muestra la ubicación de las estaciones hidrométricas consideradas en el análisis y el área de aportación a cada una de ellas.

Tabla 9. Coordenadas geográficas de las estaciones hidrométricas utilizadas.

No.	Clave	Estación	Longitud [W]	Latitud [N]	Área [km ²]
1	18232	Amacuzac	-99.370833	18.600000	2,311.46
2	18291	A-10 Texcaltitlan	-99.941666	18.929166	90.91
3	18372	Coatepequito	-99.566666	18.741666	674.97
4	18438	Dos Bocas	-99.437500	18.637500	2,047.49
5	18555	Chontalcuatlán	-99.563888	18.661111	1,204.23

En el mapa de la figura 9 se muestra la ubicación de las estaciones climatológicas e hidrométricas dentro de la cuenca Alto Amacuzac y los polígonos de Thiessen trazados a partir de la ubicación de las estaciones climatológicas. El nombre de la cuenca hidrológica se asignó de acuerdo al nombre de la estación hidrométrica de aforo.

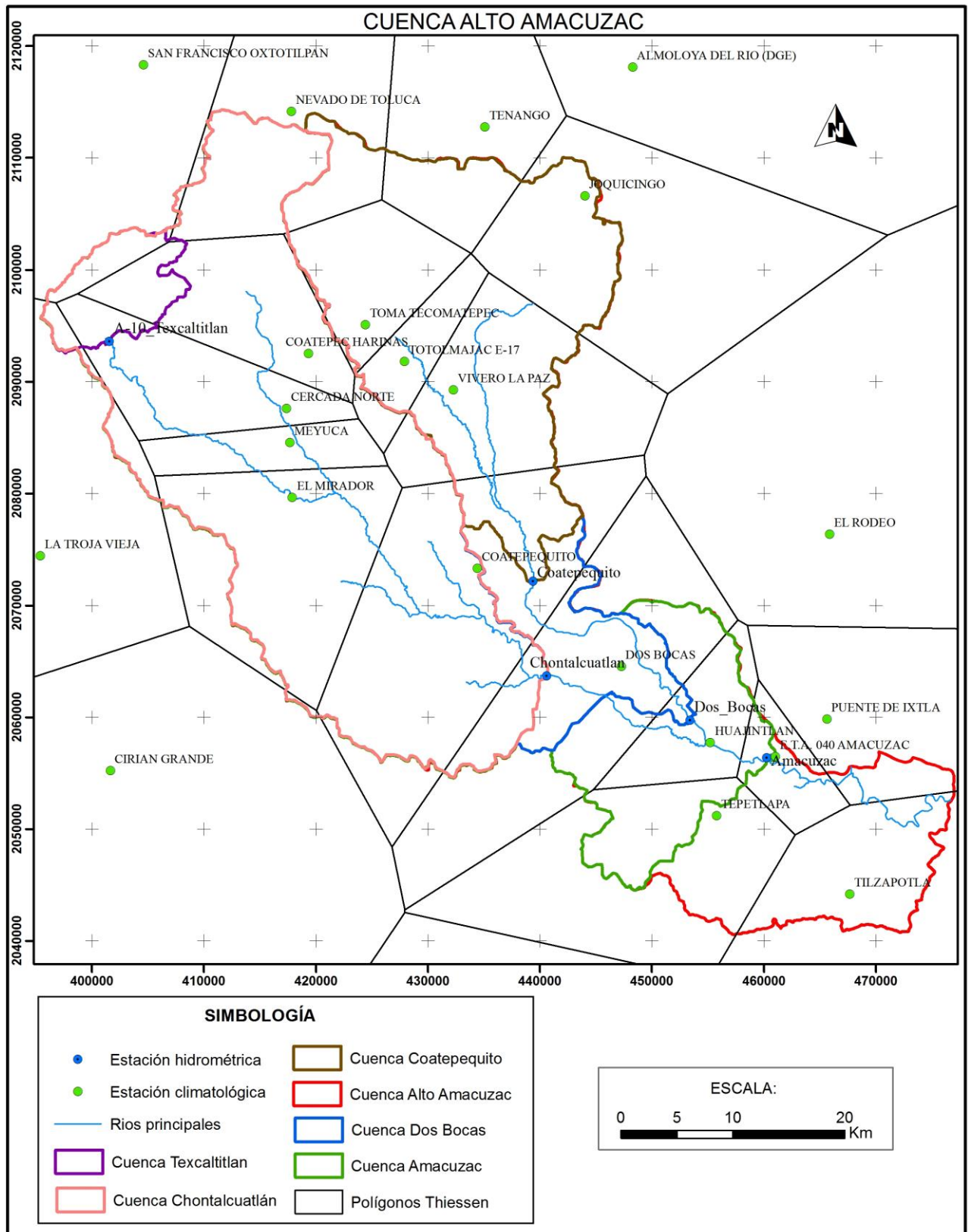


Figura 9. Ubicación de las estaciones climatológicas e hidrométricas.

III.4. Calibración y validación del modelo hidrológico semidistribuido

El modelo hidrológico está constituido por tres etapas de cálculo. En la primera se determina el flujo del agua de precipitación con el modelo SMA, ya sea que se evapotranspire, se infiltre, percole o escurra. Luego se utiliza el modelo de Clark para representar la transformación de la precipitación en exceso en escorrentía superficial y finalmente se determina la contribución del flujo base en el hidrograma resultante mediante el modelo de depósitos lineales (Bennett, 1998). Para realizar la calibración y validación se emplearon los periodos mostrados en la tabla 10.

Tabla 10. Periodos de calibración y validación para las cuencas hidrológicas.

No.	Cuenca	Calibración	Validación
1	Texcaltitlan	1982-1985	1963-1970
2	Coatepequito	2001-2005	1966-1985
3	Dos Bocas	2001-2006	1985-2000
4	Chontalcuatlán	1982-1985	1991-2006
5	Amacuzac	2001-2006	1985-2000

El proceso de calibración resulta complejo al tener que definir valores adecuados para cada parámetro; se puede decir que entre mayor sea el número de parámetros involucrados en cada etapa de cálculo, mayor es el grado de dificultad para obtenerlos. En este caso, para cada cuenca hidrológica se tienen que establecer 25 parámetros: 17 pertenecientes al modelo SMA, 2 pertenecientes al modelo de Clark y 6 pertenecientes al modelo de depósitos lineales. En este caso el valor de los parámetros iniciales se eligió tomando los valores recomendados por diferentes autores como los descritos en el trabajo realizado por Bennett (1998) y el Grupo de Emisarios Submarinos e Hidráulica Ambiental de la Universidad de Cantabria (2004). En la tabla 11 se muestran los parámetros que involucran el modelo SMA, el modelo de Clark y el modelo de depósitos lineales.

Tabla 11. Parámetros necesarios para la simulación (programa HEC-HMS).

Modelo	No.	Descripción	Unidades
SMA	1	Intercepción por vegetación	mm
	2	Capacidad de almacenamiento superficial en depresiones	mm
	3	Máxima capacidad de infiltración en el suelo	mm/h
	4	Capacidad de almacenamiento del suelo	mm
	5	Capacidad de almacenamiento en la zona de tensión del suelo	mm
	6	Máxima capacidad de percolación del suelo	mm/h
	7	Capacidad de almacenamiento del depósito subterráneo #1	mm
	8	Máxima capacidad de percolación del depósito subterráneo #1	mm/h
	9	Coeficiente de almacenamiento del depósito subterráneo #1	h
	10	Capacidad de almacenamiento del depósito subterráneo #2	mm
	11	Máxima capacidad de percolación del depósito subterráneo #2	mm/h
	12	Coeficiente de almacenamiento del depósito subterráneo #2	h
	13	Contenido inicial del almacenamiento por intercepción	%
	14	Contenido inicial del almacenamiento superficial en depresiones	%
	15	Contenido inicial del almacenamiento en el suelo	%
	16	Contenido inicial del almacenamiento en el depósito subterráneo # 1	%
	17	Contenido inicial del almacenamiento en el depósito subterráneo # 2	%
De Clark	1	Coeficiente de almacenamiento	h
	2	Tiempo de concentración	h
De depósitos lineales	1	Coeficiente de almacenamiento del depósito subterráneo 1	h
	2	Coeficiente de almacenamiento del depósito subterráneo 2	h
	3	Número de depósitos conectados en serie en depósito subterráneo 1	
	4	Número de depósitos conectados en serie en depósito subterráneo 2	
	5	Descarga inicial en el depósito subterráneo 1	m ³ /s
	6	Descarga inicial en el depósito subterráneo 2	m ³ /s

III.4.1. Análisis de sensibilidad

Para realizar el análisis de sensibilidad se propusieron valores de los parámetros tomando como base los reportados en otros trabajos y se realizó la simulación en la cuenca Texcaltitlan. En esta cuenca, el hidrograma registrado en la estación hidrométrica durante los años de 1981 a 1983 indica que el día primero de octubre de 1981 se presentó el caudal pico de 8.3 m³/s y el volumen total de escurrimiento fue de 92,686,900 m³. En la tabla 12 se muestran los valores de los parámetros propuestos para realizar el análisis de sensibilidad.

Tabla 12. Valores propuestos de los parámetros.

Código	Descripción	Unidades	Valor
INTVEG	Intercepción por vegetación	mm	7.65
CADSUP	Capacidad de almacenamiento superficial en depresiones	mm	7.08
MCIS	Máxima capacidad de infiltración en el suelo	mm/h	5.45
CAS	Capacidad de almacenamiento del suelo	mm	106.00
CAZTS	Capacidad de almacenamiento en la zona de tensión del suelo	mm	79.83
MCPS	Máxima capacidad de percolación del suelo	mm/h	3.02
CADS1	Capacidad de almacenamiento del depósito subterráneo #1	mm	15.00
MCPDS1	Máxima capacidad de percolación del depósito subterráneo #1	mm/h	1.51
TADS1	Coefficiente de almacenamiento del depósito subterráneo #1	h	192.00
CADS2	Capacidad de almacenamiento del depósito subterráneo #2	mm	20.00
MCPDS2	Máxima capacidad de percolación del depósito subterráneo #2	mm/h	0.04
TADS2	Coefficiente de almacenamiento del depósito subterráneo #2	h	350.00
CIINTVEG	Contenido inicial del almacenamiento por intercepción	%	3.36
CIADSUP	Contenido inicial del almacenamiento superficial en depresiones	%	3.10
CIAS	Contenido inicial del almacenamiento en el suelo	%	46.51
CIADS1	Contenido inicial del almacenamiento en el depósito subterráneo # 1	%	6.58
CIADS2	Contenido inicial del almacenamiento en el depósito subterráneo # 2	%	8.78

Al realizar la simulación se obtuvo el hidrograma de la figura 10. Se puede observar que el hidrograma obtenido se ajusta pobremente al hidrograma de los caudales medidos. El caudal pico simulado es de $25.5 \text{ m}^3/\text{s}$ y se presentó el día 30 de agosto de 1981, mientras que el volumen base descargado fue de $118,391,600 \text{ m}^3$, el volumen de escurrimiento directo de $69,560,600 \text{ m}^3$ y el volumen total descargado fue de $187,952,200 \text{ m}^3$.

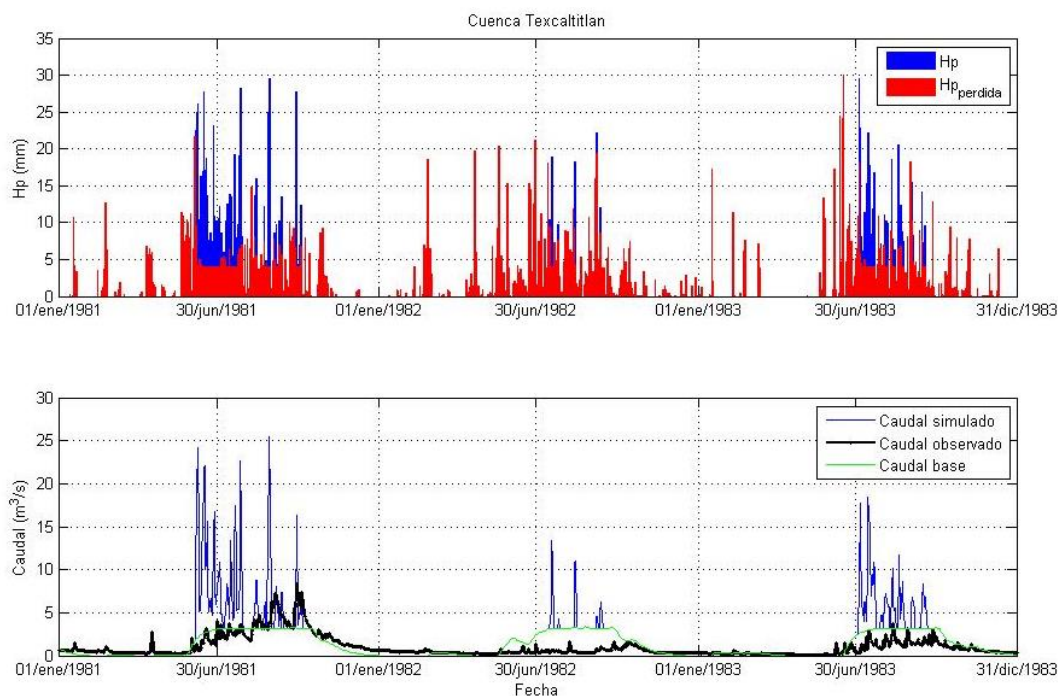


Figura 10. Hidrograma obtenido con los valores propuestos.

Después se optó por aumentar (10 veces) los valores de los parámetros necesarios para realizar la simulación en el modelo SMA excepto los valores que consideran la cantidad de agua presente en la vegetación, en superficie, en el suelo y subsuelo al inicio de la simulación, estos son, el contenido inicial del almacenamiento por intercepción, el contenido inicial del almacenamiento superficial en depresiones, el contenido inicial del almacenamiento en el suelo, el contenido inicial del almacenamiento en el depósito subterráneo # 1 y el contenido inicial del almacenamiento en el depósito subterráneo # 2, puesto que estos valores no afectan los resultados obtenidos cuando se hace la simulación continua de varios años. Los parámetros utilizados en este caso se indican en la tabla 13 y en la figura 11 se puede observar cómo se comporta la curva tiempo-caudal.

Tabla 13. Valores incrementados de los parámetros propuestos.

Código	Descripción	Unidades	Valor
INTVEG	Intercepción por vegetación	mm	7.65
CADSUP	Capacidad de almacenamiento superficial en depresiones	mm	7.08
MCIS	Máxima capacidad de infiltración en el suelo	mm/h	54.46
CAS	Capacidad de almacenamiento del suelo	mm	1060.00
CAZTS	Capacidad de almacenamiento en la zona de tensión del suelo	mm	798.30
MCPS	Máxima capacidad de percolación del suelo	mm/h	30.18
CADS1	Capacidad de almacenamiento del depósito subterráneo # 1	mm	150.00
MCPDS1	Máxima capacidad de percolación del depósito subterráneo # 1	mm/h	15.10
TADS1	Coefficiente de almacenamiento del depósito subterráneo # 1	h	1920.00
CADS2	Capacidad de almacenamiento del depósito subterráneo # 2	mm	200.00
MCPDS2	Máxima capacidad de percolación del depósito subterráneo # 2	mm/h	0.38
TADS2	Coefficiente de almacenamiento del depósito subterráneo # 2	h	3500.00
CIINTVEG	Contenido inicial del almacenamiento por intercepción	%	3.36
CIADSUP	Contenido inicial del almacenamiento superficial en depresiones	%	3.10
CIAS	Contenido inicial del almacenamiento en el suelo	%	46.51
CIADS1	Contenido inicial del almacenamiento en el depósito subterráneo # 1	%	6.58
CIADS2	Contenido inicial del almacenamiento en el depósito subterráneo # 2	%	8.78

Al realizar la simulación variando el valor de un parámetro a la vez se obtuvieron los resultados mostrados en la figura 11.

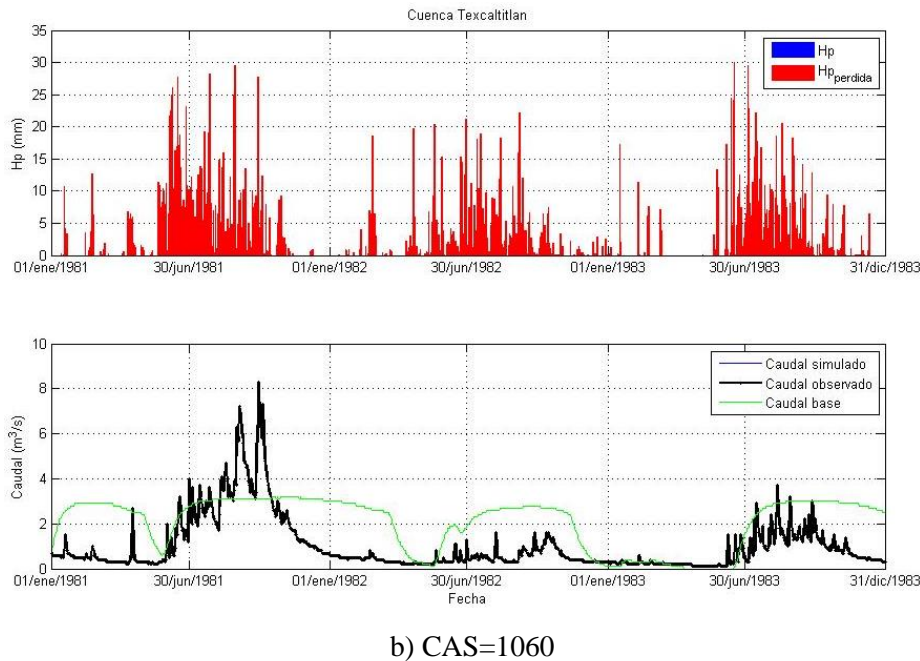
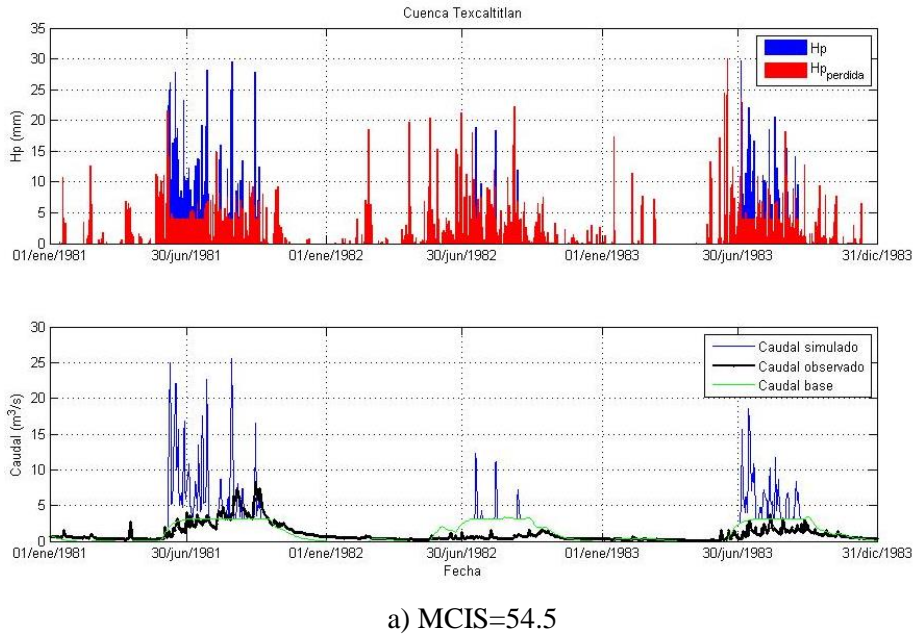
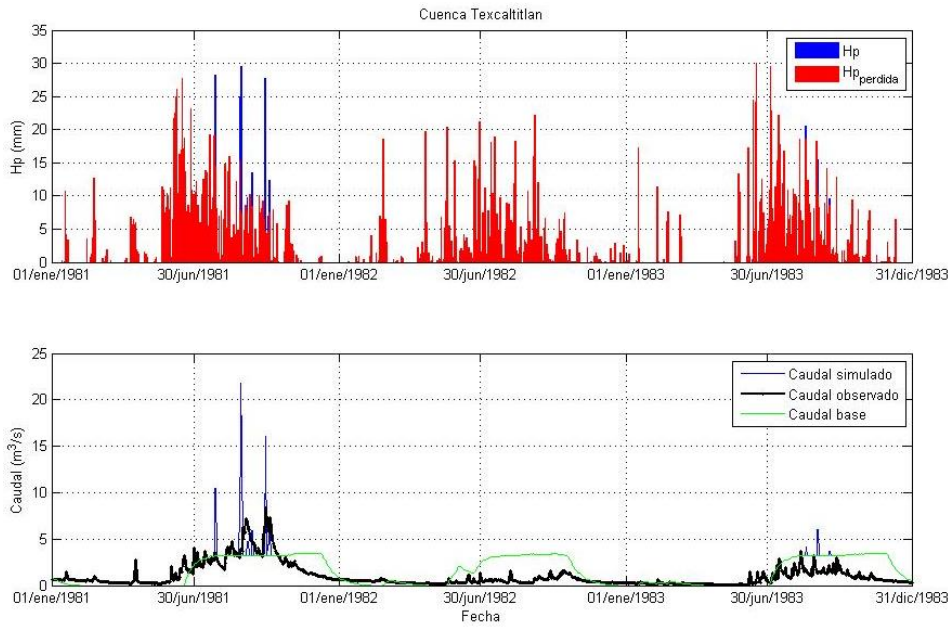


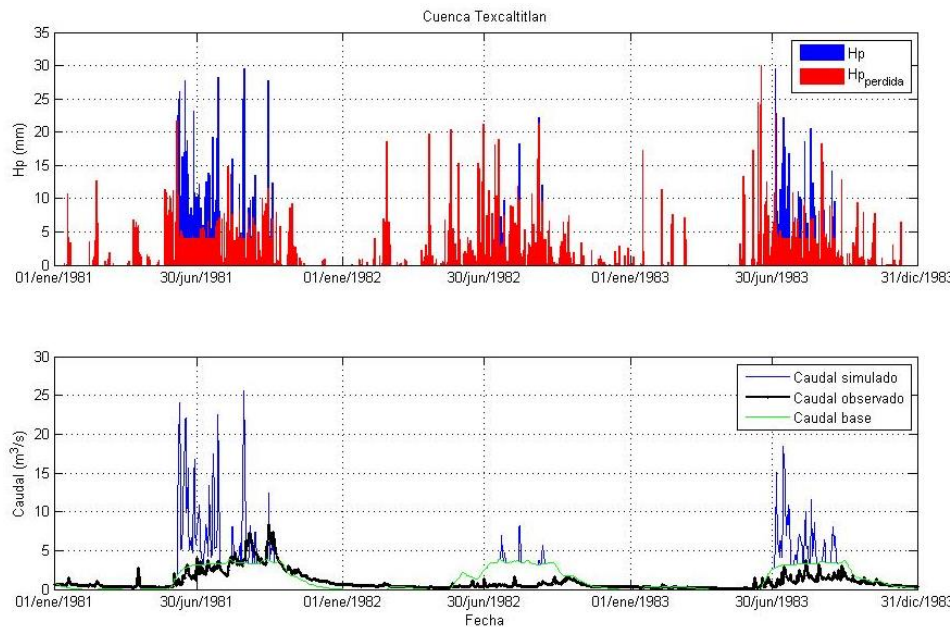
Figura 11. Hidrogramas obtenidos al aumentar los parámetros 10 veces.

En la figura 11a se observa que el caudal pico obtenido al variar la máxima capacidad de infiltración en el suelo (MCIS) es el mismo que en la simulación con los valores propuestos de los parámetros (ver figura 10). Pero el volumen base es de $119,193,600 \text{ m}^3$, el volumen de escurrimiento directo de $68,634,200 \text{ m}^3$ y es volumen total de $187,827,700 \text{ m}^3$.

En la figura 11b se muestra cómo al cambiar la capacidad de almacenamiento del suelo (CAS) no hay escurrimiento directo sólo escurrimiento base, cuyo valor del volumen de escurrimiento base es de $195,238,600 \text{ m}^3$. El caudal pico es de $3.2 \text{ m}^3/\text{s}$ y se presentó el 7 de noviembre de 1981.



c) CAZTS=798.30 y CAS=1060

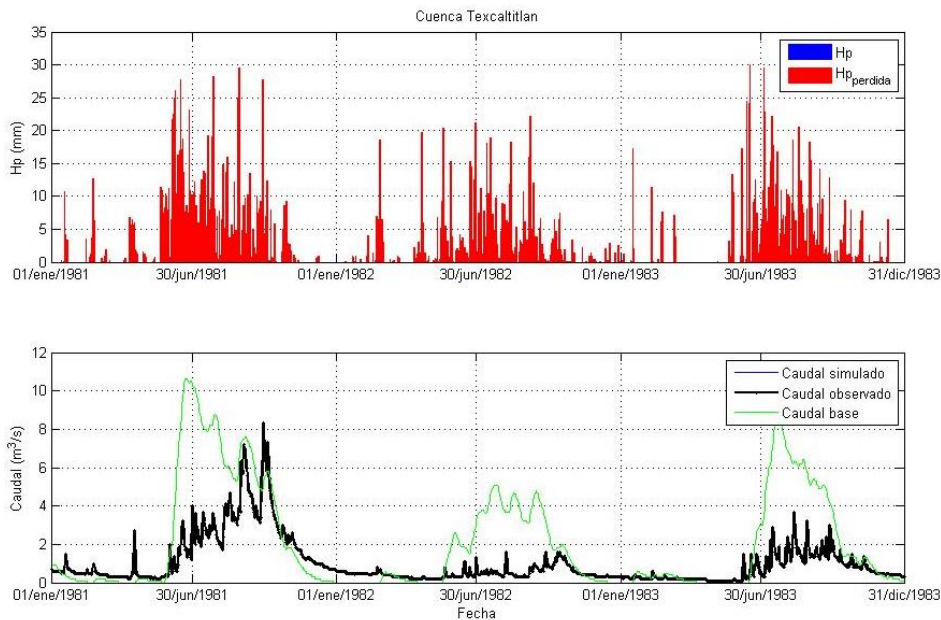


d) MCPS=30.18

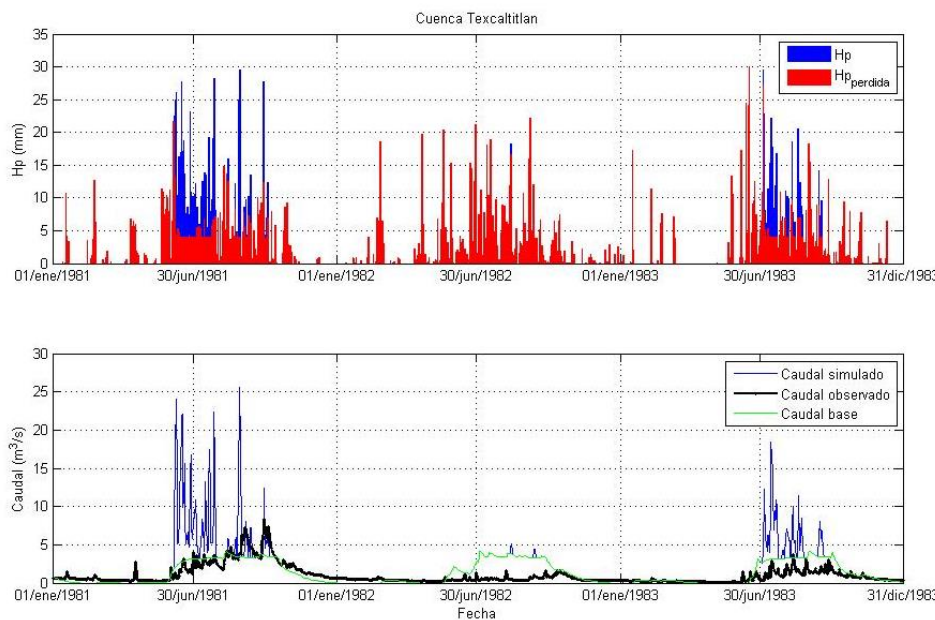
Figura 11. Continuación...

En la figura 11c se observa al variar la capacidad de almacenamiento en la zona de tensión del suelo (CAZTS) que el escurrimiento es menor al obtenido en la figura 10 con un caudal pico de $21.8 \text{ m}^3/\text{s}$. El escurrimiento base es de $139,348,700 \text{ m}^3$ y el escurrimiento directo es de $9,681,500 \text{ m}^3$.

En la figura 11d se indican los resultados al variar la máxima capacidad de percolación del suelo (MCPS). Se puede ver que el caudal pico cambia muy poco, pues resulta de $25.6 \text{ m}^3/\text{s}$. El volumen de escurrimiento directo es de $63,370,100 \text{ m}^3$ y el volumen de escurrimiento base de $124,605,600 \text{ m}^3$.



e) CADS1=150.00

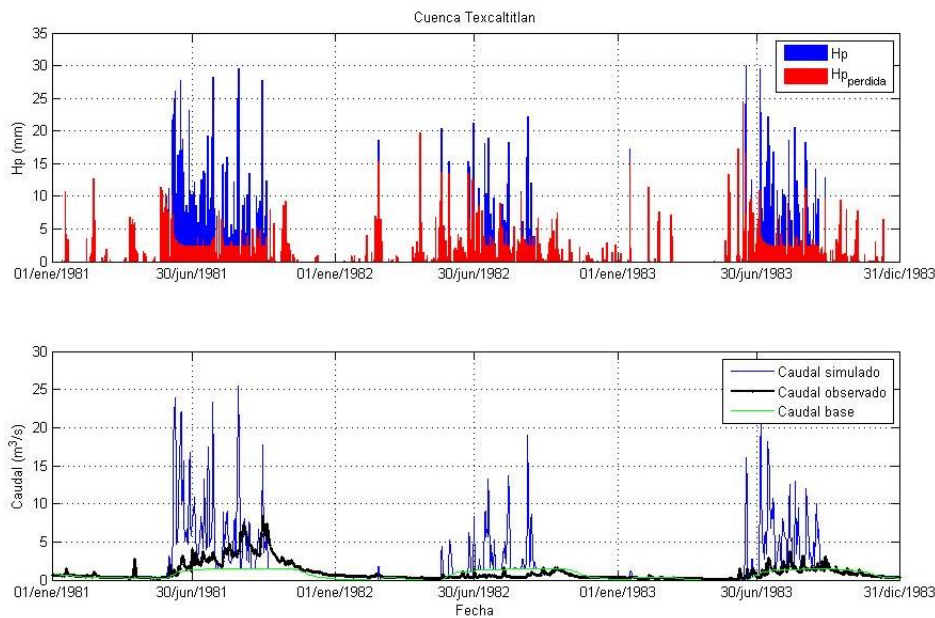


f) MCPDS1=15.1

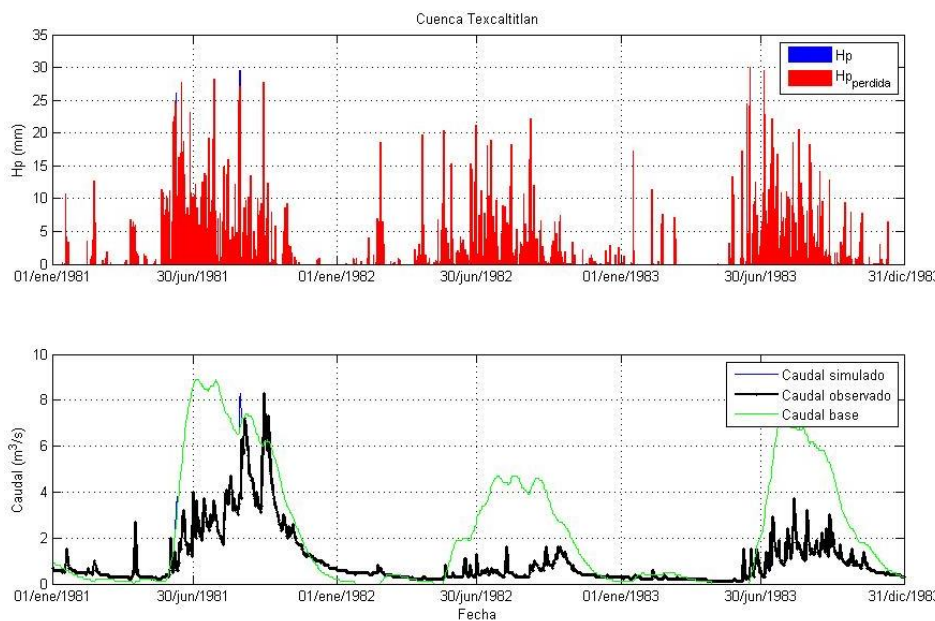
Figura 11. Continuación...

En la figura 11e se puede ver el comportamiento del caudal al cambiar la capacidad de almacenamiento del depósito subterráneo # 1 (CADS1), en este caso tampoco hay escurrimiento directo. Pero el volumen de escurrimiento base es de 198,312,400 m³. El caudal pico ocurrió el 24 de junio de 1981 y fue de 10.6 m³/s.

En la figura 11f se varió la máxima capacidad de percolación del depósito subterráneo # 1 (MCPDS1) y el hidrograma se comportó parecido al de la figura 10. Con el caudal pico de 25.6 m³/s, el volumen de escurrimiento directo fue de 59,671,500 m³ y el volumen de escurrimiento base de 124,731,500 m³.



g) TADS1=1920.00

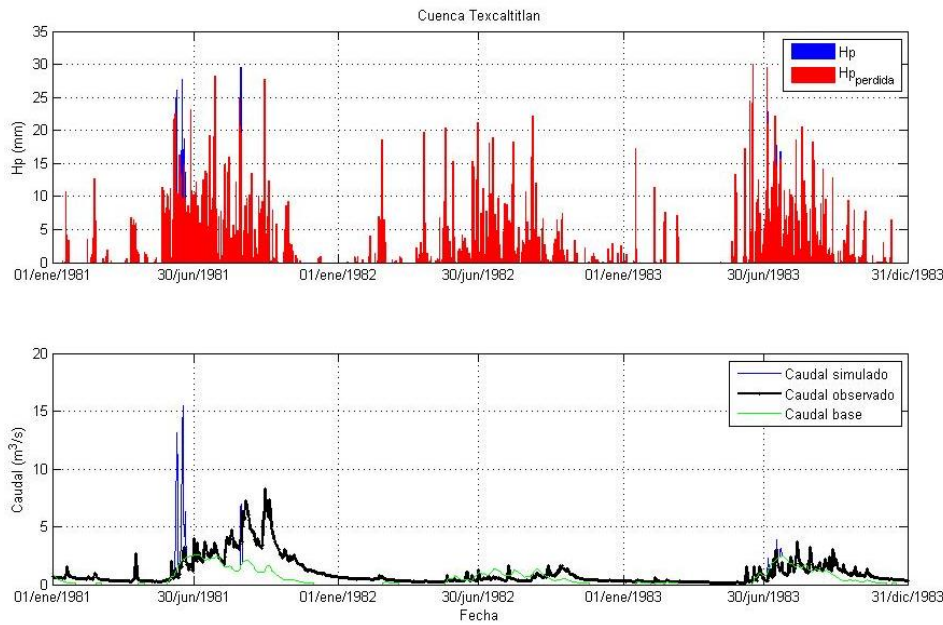


h) CADS2=200.00

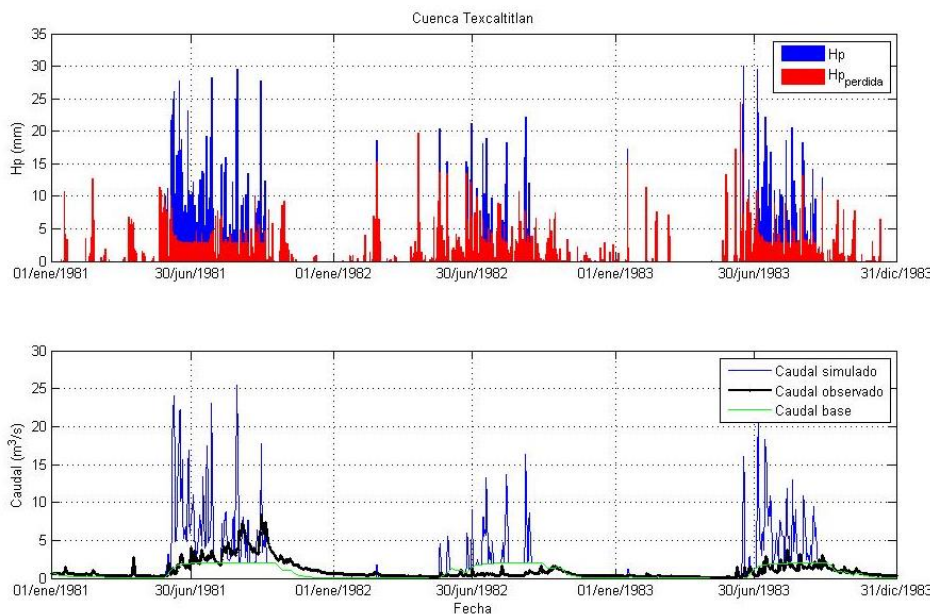
Figura 11. Continuación...

En la figura 11g se observa cómo se comporta la curva de tiempo-caudal. Se varió el coeficiente de almacenamiento del depósito subterráneo # 1 (TADS1) y el caudal pico es igual al del hidrograma obtenido con los parámetros propuestos (ver figura 10), pero el volumen de escurrimiento directo es de $119,216,100 \text{ m}^3$ y el volumen de escurrimiento base de $70,525,400 \text{ m}^3$.

En la figura 11h se muestra el hidrograma obtenido al variar la capacidad de almacenamiento del depósito subterráneo # 2 (CADS2), en este caso el caudal pico fue de $8.9 \text{ m}^3/\text{s}$ y se presentó el 6 de julio de 1981, el escurrimiento directo es igual a $377,000 \text{ m}^3$ y el volumen de escurrimiento directo de $214,830,300 \text{ m}^3$, teniendo un escurrimiento total de $215,207,300 \text{ m}^3$.



i) MCPDS2=0.38



j) TADS2=3500

Figura 11. Continuación...

Al cambiar la máxima capacidad de percolación del depósito subterráneo # 2 (MCPDS2) se obtuvo el hidrograma mostrado en la figura 11i, en esta se puede observar que el escurrimiento es mínimo y el caudal pico de $15.5 \text{ m}^3/\text{s}$ ocurrido el 17 de junio de 1981. El volumen de escurrimiento directo fue de $6,830,600 \text{ m}^3$ y el volumen de escurrimiento base de $49,531,400 \text{ m}^3$.

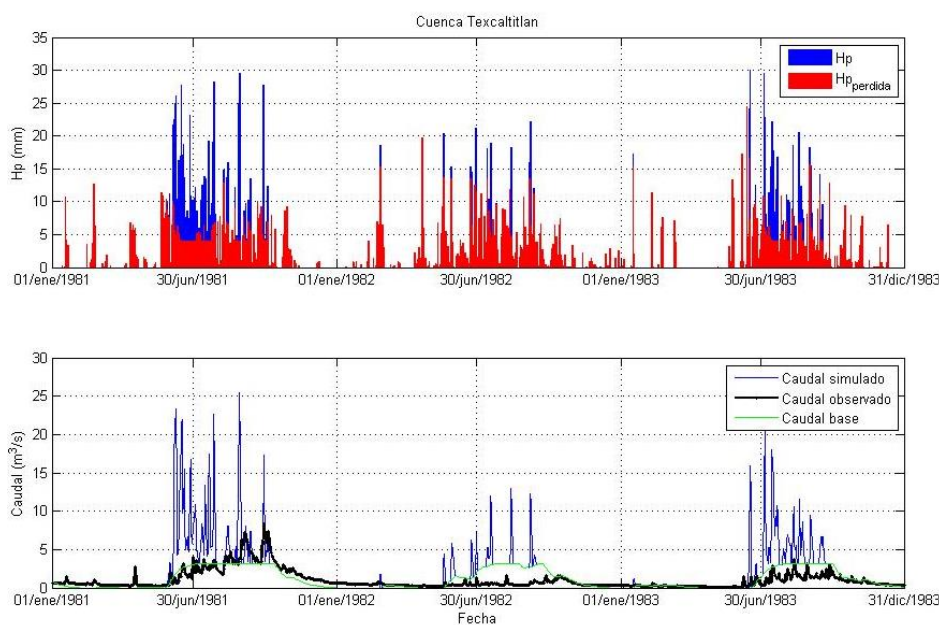
En la figura 11j se varió el coeficiente de almacenamiento del depósito subterráneo # 2 (TADS2) y se obtuvo un caudal pico de $25.5 \text{ m}^3/\text{s}$ igual al obtenido con los parámetros propuestos (ver figura 10). El volumen de escurrimiento directo fue de $107,021,200 \text{ m}^3$ y el volumen de escurrimiento base de $74,003,500 \text{ m}^3$.

También se disminuyeron los valores propuestos de los parámetros 0.2 veces. En este caso los parámetros utilizados son los mostrados en la tabla 14.

Tabla 14. Valores reducidos de los parámetros propuestos.

Código	Descripción	Unidades	Valor
INTVEG	Intercepción por vegetación	mm	7.65
CADSUP	Capacidad de almacenamiento superficial en depresiones	mm	7.08
MCIS	Máxima capacidad de infiltración en el suelo	mm/h	1.09
CAS	Capacidad de almacenamiento del suelo	mm	21.20
CAZTS	Capacidad de almacenamiento en la zona de tensión del suelo	mm	15.97
MCPS	Máxima capacidad de percolación del suelo	mm/h	0.60
CADS1	Capacidad de almacenamiento del depósito subterráneo # 1	mm	3.00
MCPDS1	Máxima capacidad de percolación del depósito subterráneo # 1	mm/h	0.30
TADS1	Coefficiente de almacenamiento del depósito subterráneo # 1	h	38.40
CADS2	Capacidad de almacenamiento del depósito subterráneo # 2	mm	4.00
MCPDS2	Máxima capacidad de percolación del depósito subterráneo # 2	mm/h	0.01
TADS2	Coefficiente de almacenamiento del depósito subterráneo # 2	h	70.00
CIINTVEG	Contenido inicial del almacenamiento por intercepción	%	3.36
CIADSUP	Contenido inicial del almacenamiento superficial en depresiones	%	3.10
CIAS	Contenido inicial del almacenamiento en el suelo	%	46.51
CIADS1	Contenido inicial del almacenamiento en el depósito subterráneo # 1	%	6.58
CIADS2	Contenido inicial del almacenamiento en el depósito subterráneo # 2	%	8.78

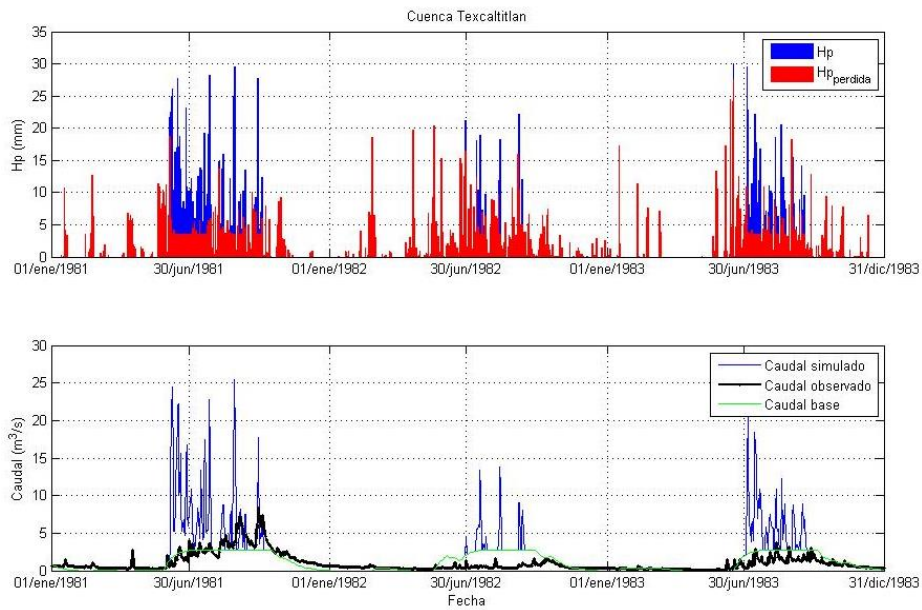
En la figura 12 se muestran los resultados de las corridas al disminuir el valor de los parámetros en 0.2 y cambiando uno a la vez.



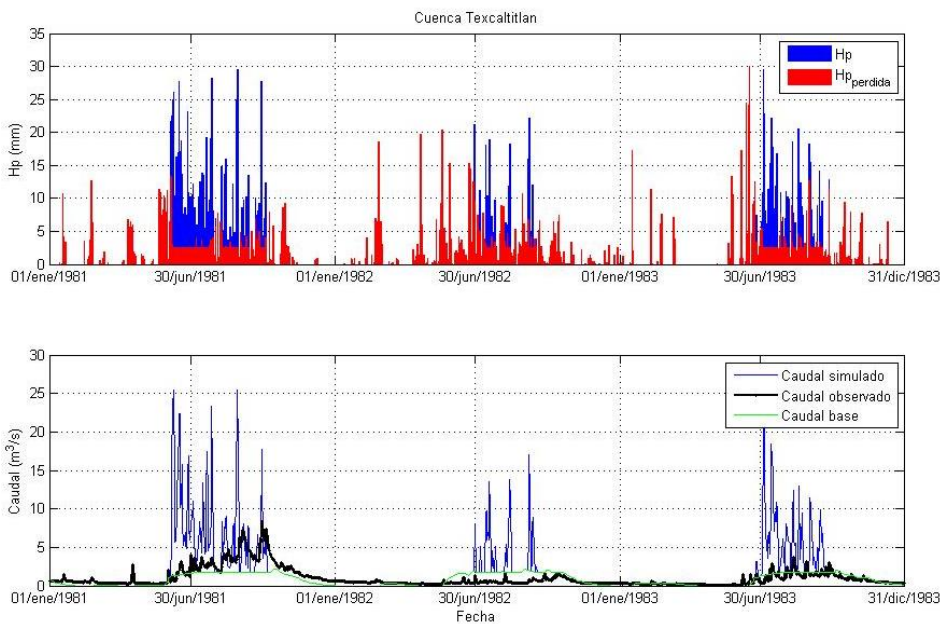
a) MCIS=1.09

Figura 12. Hidrogramas obtenidos al disminuir los valores de los parámetros 0.2 veces.

En la figura 12a se observa que el caudal pico obtenido al usar el valor de la máxima capacidad de infiltración en el suelo (MCIS), el caudal pico resulta igual al del hidrograma obtenido con los parámetros iniciales. El escurrimiento directo fue de 80,328,200 m³ y el volumen de escurrimiento base de 109,299,300 m³.



b) MCPS=0.6

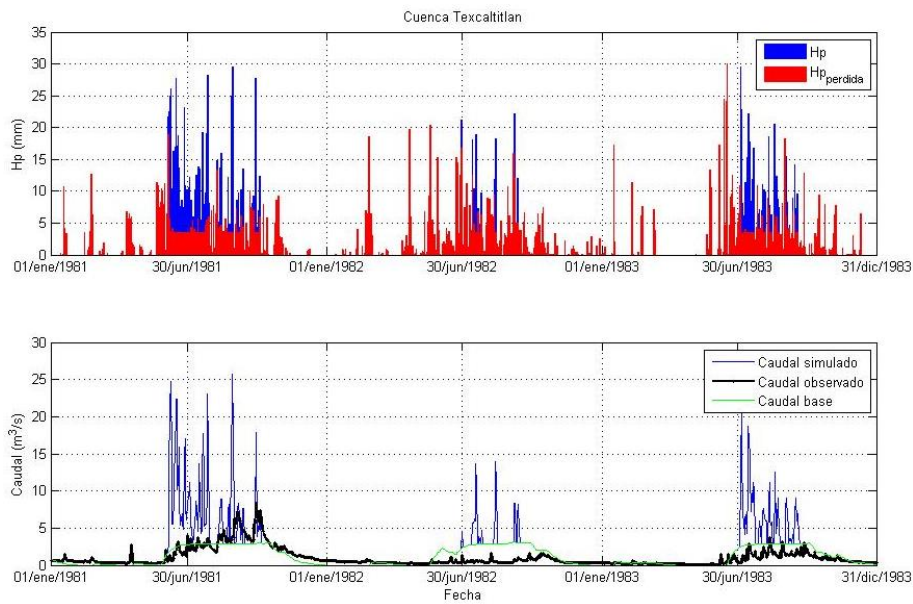


c) CADS1=3

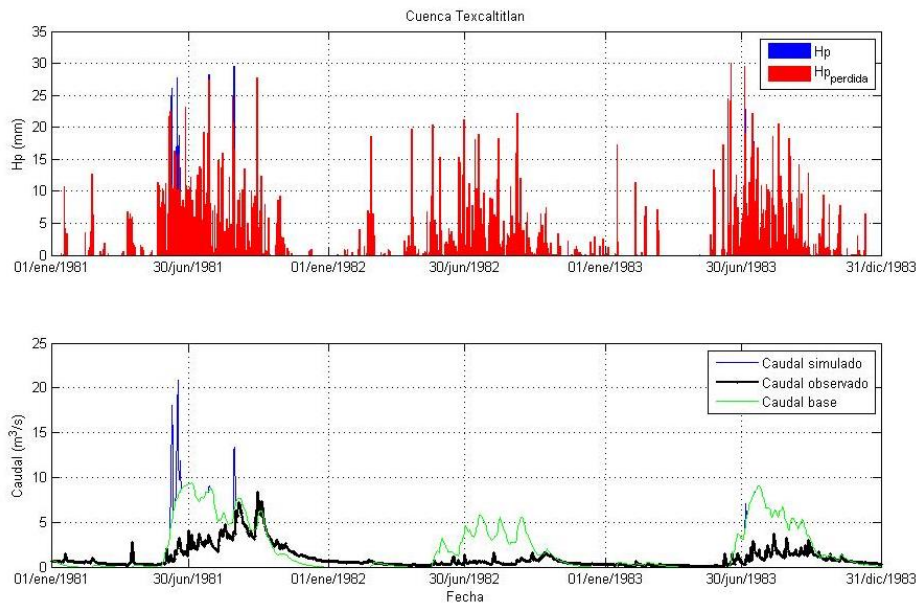
Figura 12. Continuación...

En la figura 12b se indican los resultados al variar la máxima capacidad de percolación del suelo (MCPS). Se puede ver que el caudal pico no cambia. Pero el volumen de escurrimiento directo es de $82,503,600 \text{ m}^3$, el volumen de escurrimiento base de $105,856,800 \text{ m}^3$. Se tiene un escurrimiento total de $188,360,400 \text{ m}^3$.

En la figura 12c se puede ver el comportamiento del caudal al cambiar la capacidad de almacenamiento del depósito subterráneo # 1 (CADS1), en este caso el escurrimiento aumenta. El día 6 de julio se presentó el caudal pico igual a $26.3 \text{ m}^3/\text{s}$, se tiene un volumen de escurrimiento directo de $109,914,200 \text{ m}^3$ y un volumen de escurrimiento base de $76,424,700 \text{ m}^3$.



d) MCPDS1=0.3

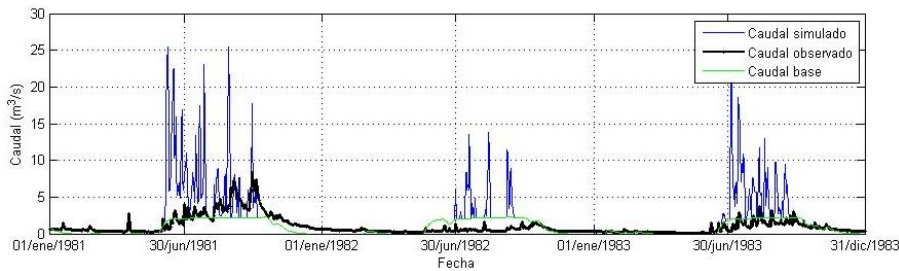
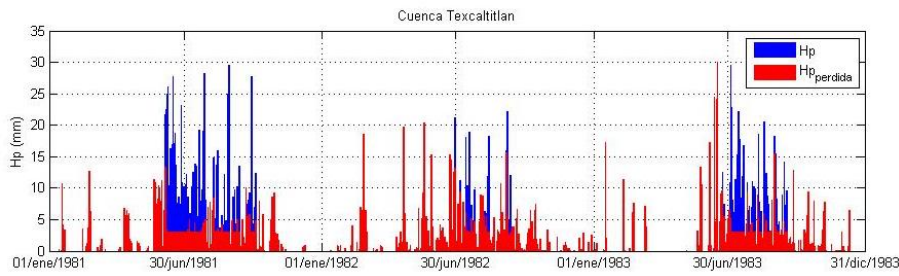


e) TADS1=38.4

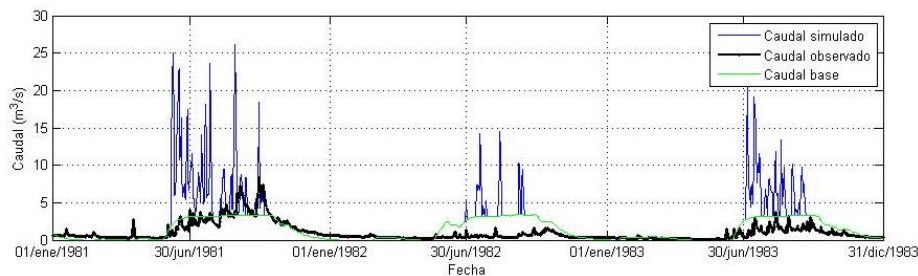
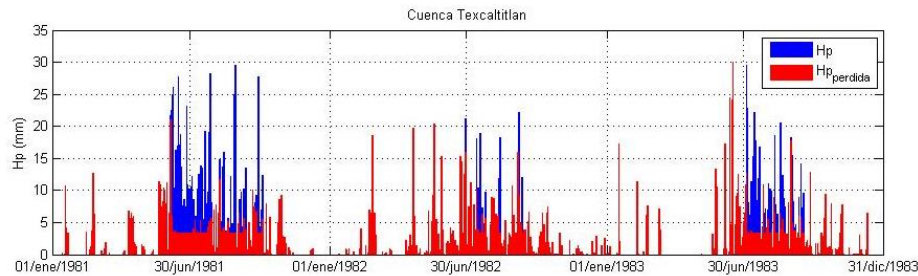
Figura 12. Continuación...

En la figura 12d se varió la máxima capacidad de percolación del depósito subterráneo # 1 (MCPDS1) y el hidrograma se comportó similar al de la figura 10. El caudal pico fue $25.7 \text{ m}^3/\text{s}$, el volumen de escurrimiento directo fue de $82,531,500 \text{ m}^3$ y el volumen de escurrimiento base de $113,545,100 \text{ m}^3$.

En la figura 12e se observa cómo se comporta la curva de tiempo-caudal. Se varió el coeficiente de almacenamiento del depósito subterráneo # 1 (TADS1) y el caudal pico disminuyó a $22.2 \text{ m}^3/\text{s}$, este ocurrió el 17 de junio de 1981. Se obtuvo un volumen de escurrimiento directo de $6,765,500 \text{ m}^3$ y un volumen de escurrimiento base de $187,491,200 \text{ m}^3$. El volumen total de escurrimiento fue de $194,256,700 \text{ m}^3$.



f) CADS2=4

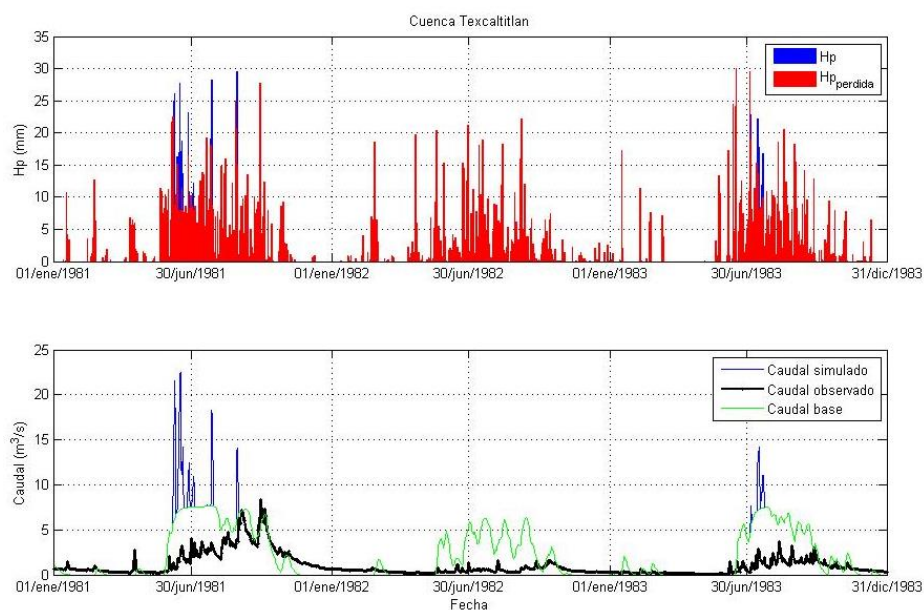


g) MCPDS2=0.01

Figura 12. Continuación...

En la figura 12f se muestra el hidrograma obtenido al variar la capacidad de almacenamiento del depósito subterráneo # 2 (CADS2), en este caso el escurrimiento aumentó y el día 6 de julio de 1981 ocurrió el caudal pico de $26.4 \text{ m}^3/\text{s}$. Se obtuvo un volumen de escurrimiento directo de $98,315,400 \text{ m}^3$ y un volumen de escurrimiento base de $83,740,800 \text{ m}^3$.

Al cambiar la máxima capacidad de percolación del depósito subterráneo # 2 (MCPDS2) se obtuvo el hidrograma mostrado en la figura 12g, en la cual se puede observar que el escurrimiento aumentó y el caudal pico es de $26.2 \text{ m}^3/\text{s}$. Se obtuvo un volumen de escurrimiento directo de $86,840,700 \text{ m}^3$ y un volumen de escurrimiento base de $129,709,500 \text{ m}^3$.



h) TADS2=70

Figura 12. Continuación...

En la figura 12h se varió el coeficiente de almacenamiento del depósito subterráneo # 2 (TADS2) y el día 17 de junio se presentó el caudal pico de $22.5 \text{ m}^3/\text{s}$ menor al obtenido con los parámetros propuestos (ver figura 10). El volumen de escurrimiento directo fue de $15,674,100 \text{ m}^3$ y el volumen de escurrimiento base de $189,847,100 \text{ m}^3$.

Del análisis de sensibilidad se concluye que los parámetros que influyen mayormente en la variabilidad del caudal obtenido en la simulación son los siguientes:

1. La capacidad de almacenamiento del suelo (CAS)
2. La capacidad del almacenamiento en la zona de tensión del suelo (CAZTS)
3. La capacidad de almacenamiento del depósito subterráneo # 1 (CADS1)
4. La capacidad de almacenamiento del depósito subterráneo # 2 (CADS2)
5. La máxima capacidad de percolación del depósito subterráneo # 2 (MCPDS2)
6. Los coeficientes de almacenamiento del depósito subterráneo # 1 y # 2 (TADS1 y TADS2)

III.4.2. Calibración del modelo para las subcuencas hidrológicas

Se realizó la simulación asignando un peso espacial y temporal a las estaciones climatológicas. El peso temporal es un factor que representa el porcentaje (%) de la precipitación total que se registró en el intervalo de tiempo utilizado, en nuestro caso 24 h, se utiliza para representar la variación de la precipitación media en el área en el tiempo t y permite ajustar la fecha del caudal pico medido y simulado. Se obtuvo un volumen aproximado al medido y una fecha cercana a la de ocurrencia del caudal pico al realizar la variación prueba y error del valor ponderado temporal. Mientras que el peso espacial es representado por el porcentaje de área dentro de los polígonos de Thiessen. Para realizar la calibración se optimizaron los parámetros utilizando las funciones objetivo incluidas en el programa HEC-HMS. Las funciones objetivo principales son las siguientes:

a) Suma de errores absolutos (Stephenson, 1979).

$$Z = \sum_{i=1}^{NQ} |q_o(i) - q_s(i)| \quad (2)$$

b) Suma de residuos cuadrados (Diskin y Simon, 1977).

$$Z = \sum_{i=1}^{NQ} [q_o(i) - q_s(i)]^2 \quad (3)$$

c) Error porcentual en pico

$$Z = 100 \left| \frac{q_s(\text{pico}) - q_o(\text{pico})}{q_o(\text{pico})} \right| \quad (4)$$

d) Raíz del pico-ponderado de la función objetivo del error cuadrático medio (USACE, 1998).

$$Z = \left\{ \frac{1}{NQ} \left[\sum_{i=1}^{NQ} [q_o(i) - q_s(i)]^2 \left(\frac{q_o(i) + q_o(\text{medio})}{2q_o(\text{medio})} \right) \right] \right\}^{1/2} \quad (5)$$

e) Error porcentual en volumen

$$Z = 100 \left| \frac{V_s - V_o}{V_o} \right| \quad (6)$$

Donde

NQ : Número de coordenadas del hidrograma simulado;

$q_o(t)$: Caudal observado;

$q_s(t)$: Caudal simulado, calculado con un conjunto seleccionado de los parámetros del modelo;

$q_o(\text{pico})$: Pico observado;

$q_o(\text{medio})$: Media de los caudales observados;

$q_s(\text{pico})$: Pico simulado;

V_s : Volumen simulado;

V_o : Volumen observado.

En este caso nos interesa conocer el caudal de escurrimiento diario, por lo que se optimizaron los parámetros con algunas de las funciones objetivo, obteniendo mejores resultados con la función objetivo “error porcentual en volumen” (Roy *et al.*, 2013). En la calibración de parámetros se mantuvieron constantes el tiempo de concentración, el número de depósitos conectados en serie en los depósitos subterráneos 1 y 2, y la descarga inicial en los depósitos subterráneos 1 y 2.

Para determinar la bondad de ajuste del modelo hidrológico, se usa el criterio de ajuste Nash-Sutcliffe (Nash and Sutcliffe, 1970) para determinar la eficiencia del modelo. Los valores sugeridos para la toma de decisiones se incluyen en la tabla 15, pues de acuerdo con Moriasi *et al.* (2007), los valores del coeficiente de eficiencia de Nash-Sutcliffe entre 0 y 1 son aceptables y el óptimo es el valor 1, mientras que un valor menor que 0 indica que la media de los valores observados es mejor predictor que el modelo.

Tabla 15. Valores referenciales del criterio de Nash-Sutcliffe (Molnar, 2011 citado por Cabrera, 2013).

E	Ajuste
<0.2	Insuficiente
0.2-0.4	Satisfactorio
0.4-0.6	Bueno
0.6-0.8	Muy bueno
>0.8	Excelente

III.4.2.1. Calibración de parámetros de la cuenca Texcaltitlan

La calibración de los parámetros en la cuenca Texcaltitlan se realizó con la información de precipitación diaria de 5 estaciones climatológicas y el caudal medio diario registrado en la estación hidrométrica A-10 Texcaltitlan ubicada en el municipio de Texcaltitlán, Distrito de Zultepec, estado de México. En la Tabla 16 se indican los pesos utilizados para obtener un volumen aproximado al medido. El peso temporal, en la estación 15016 indica que el 100% de la precipitación de cada tormenta registrada en esa estación cayó en 24 horas.

Tabla 16. Pesos espacial y temporal asignados a las estaciones climatológicas.

Clave	Nombre	Peso espacial	Peso temporal
15016	Coatepec Harinas	0.387	1
15062	Nevado de Toluca	0.003	1
15088	San Francisco Oxtotilpan	0.289	0.289
15350	La Troja Vieja	0.083	0.083
15166	Cercada Norte	0.238	1

A continuación se hace la simulación con los parámetros iniciales y los pesos encontrados. Después se realiza la calibración obteniendo los valores optimizados mostrados en la tabla 17. Los hidrogramas obtenidos en cada caso se encuentran a detalle en anexo A.

Tabla 17. Valores de los parámetros optimizados para la cuenca Texcaltitlan.

Parámetro	Unidades	Valor inicial	Valor optimizado
Canopy Capacity	mm	1.500	1.609
Canopy Initial Storage Percentage	%	0.001	0.100
Clark Storage Coefficient	h	846.000	846.090
Clark Time of Concentration	h	2.110	2.110
Groundwater 1 Capacity	mm	20.000	20.121
Groundwater 1 Initial Storage Percentage	%	0.001	0.102
Groundwater 1 Percolation Rate	mm/h	0.500	0.734
Groundwater 1 Storage Coefficient	h	3300.000	3300.100
Groundwater 2 Capacity	mm	16.600	16.651
Groundwater 2 Initial Storage Percentage	%	0.001	0.102
Groundwater 2 Percolation Rate	mm/h	2.000	2.118
Groundwater 2 Storage Coefficient	h	3522.000	3522.100
Linear Reservoir GW 1 Coefficient	h	3300.000	3300.100
Linear Reservoir GW 1 Steps		2.000	2.000
Linear Reservoir GW 2 Coefficient	h	3522.000	3522.100
Linear Reservoir GW 2 Steps		2.000	2.000
Soil Capacity	mm	2.500	2.613
Soil Infiltration Rate	mm/h	2.140	2.266
Soil Initial Storage Percentage	%	0.001	0.089
Soil Percolation Rate	mm/h	0.400	0.531
Surface Capacity	mm	0.996	1.127
Surface Initial Storage Percentage	%	0.001	0.096
Tension Zone Capacity	mm	0.500	0.541

III.4.2.2. Calibración de parámetros de la cuenca Coatepequito

La calibración se realizó con 7 estaciones climatológicas y la estación hidrométrica Coatepequito ubicada dentro del municipio de San Gaspar Tonático, estado de México. Para calibrar la cuenca se introdujeron los pesos espacial y temporal mostrados en la tabla 18.

Tabla 18. Pesos espacial y temporal de las estaciones climatológicas.

Clave	Nombre	Peso espacial	Peso temporal
15062	Nevado de Toluca	0.08	1.00
15134	Vivero la Paz	0.26	1.00
15248	Coatepequito	0.09	0.09
15305	Totolmajac E-17	0.09	0.09
15038	Joquicingo	0.19	0.19
15122	Tenango	0.10	0.10
15120	Toma Tecomatepec	0.19	1.00

Los parámetros optimizados con mayor variación son la máxima capacidad de percolación del suelo (Soil Percolation Rate) y la máxima capacidad de percolación del depósito subterráneo 1 (Groundwater 1 Percolation Rate). En la tabla 19 se muestran los parámetros iniciales y optimizados. Los hidrogramas obtenidos se muestran en el anexo B.

Tabla 19. Valores de los parámetros optimizados para la cuenca Coatepequito.

Parámetro	Unidades	Valor inicial	Valor optimizado
Canopy Capacity	mm	1.10	1.174
Canopy Initial Storage Percentage	%	0.10	0.228
Clark Storage Coefficient	h	780.00	780.060
Clark Time of Concentration	h	5.98	5.980
Groundwater 1 Capacity	mm	45.00	45.073
Groundwater 1 Initial Storage Percentage	%	0.11	0.254
Groundwater 1 Percolation Rate	mm/h	0.76	0.631
Groundwater 1 Storage Coefficient	h	6000.00	6000.100
Groundwater 2 Capacity	mm	38.00	38.063
Groundwater 2 Initial Storage Percentage	%	0.11	0.253
Groundwater 2 Percolation Rate	mm/h	1.50	1.566
Groundwater 2 Storage Coefficient	h	4750.00	4750.100
Linear Reservoir GW 1 Coefficient	h	6000.00	6000.100
Linear Reservoir GW 1 Steps		15.00	15.000
Linear Reservoir GW 2 Coefficient	h	4750.00	4750.100
Linear Reservoir GW 2 Steps		15.00	15.000
Soil Capacity	mm	2.80	2.874
Soil Infiltration Rate	mm/h	1.57	1.463
Soil Initial Storage Percentage	%	0.12	0.248
Soil Percolation Rate	mm/h	0.64	0.445
Surface Capacity	mm	1.12	1.152
Surface Initial Storage Percentage	%	0.11	0.230
Tension Zone Capacity	mm	0.68	0.749

III.4.2.3. Calibración de parámetros de la cuenca Chontalcuatlán

La calibración en la cuenca Chontalcuatlán se realizó con información de 9 estaciones climatológicas y la estación hidrométrica Chontalcuatlán ubicada en Taxco Guerrero, se utilizaron los valores de los pesos espacial y temporal mostrados en la tabla 20.

Tabla 20. Pesos espacial y temporal de las estaciones climatológicas.

Clave	Nombre	Peso espacial	Peso temporal
15016	Coatepec Harinas	0.21	0
15062	Nevado de Toluca	0.09	0
15088	San Francisco Oxtotilpan	0.02	1
15350	La Troja Vieja	0.03	0
15134	Vivero la Paz	0.02	1
15248	Coatepequito	0.23	0
12215	Dos Bocas	0.04	1
15272	El mirador	0.21	0
15270	Meyuca	0.14	0

En la optimización de parámetros se observa que la máxima capacidad de percolación del suelo (Soil Percolation Rate) y la máxima capacidad de infiltración en el suelo (Soil Infiltration Rate) son los que tienen mayor variación entre el valor inicial y el optimizado. Los valores optimizados se muestran en la tabla 21. Los hidrogramas obtenidos se encuentran a detalle en anexo C.

Tabla 21. Valores de los parámetros optimizados para la cuenca Chontalcuatlán.

Parámetro	Unidades	Valor inicial	Valor optimizado
Canopy Capacity	mm	1.000	1.063
Canopy Initial Storage Percentage	%	0.001	0.147
Clark Storage Coefficient	h	780.000	780.100
Clark Time of Concentration	h	8.210	8.210
Groundwater 1 Capacity	mm	55.000	54.988
Groundwater 1 Initial Storage Percentage	%	0.001	0.205
Groundwater 1 Percolation Rate	mm/h	0.800	0.907
Groundwater 1 Storage Coefficient	h	7000.000	7000.100
Groundwater 2 Capacity	mm	50.000	50.138
Groundwater 2 Initial Storage Percentage	%	0.001	0.197
Groundwater 2 Percolation Rate	mm/h	0.800	0.918
Groundwater 2 Storage Coefficient	h	6000.000	5999.700
Linear Reservoir GW 1 Coefficient	h	7000.000	7000.000
Linear Reservoir GW 1 Steps		18.000	18.000
Linear Reservoir GW 2 Coefficient	h	6000.000	6000.100
Linear Reservoir GW 2 Steps		18.000	18.000
Soil Capacity	mm	2.000	2.090
Soil Infiltration Rate	mm/h	0.070	0.769
Soil Initial Storage Percentage	%	0.001	0.151
Soil Percolation Rate	mm/h	0.600	1.111
Surface Capacity	mm	1.000	1.075
Surface Initial Storage Percentage	%	0.001	0.144
Tension Zone Capacity	mm	0.500	0.574

III.4.2.4. Calibración de parámetros de la cuenca Dos Bocas

La calibración de la cuenca Dos Bocas se realizó con información de 14 estaciones climatológicas y los datos de caudal diario de la estación hidrométrica Dos Bocas ubicada en el municipio de Amacuzac en el Estado de Morelos. Los pesos espacial y temporal utilizados en el modelo se muestran en la tabla 22.

Tabla 22. Pesos espacial y temporal de las estaciones climatológicas.

Clave	Nombre	Peso espacial	Peso temporal
15016	Coatepec Harinas	0.125	0.125
15248	Coatepequito	0.196	0.196
12215	Dos Bocas	0.076	1.000
15272	El Mirador	0.122	0.122
17007	Huajintlan	0.003	0.003
15038	Joquicingo	0.062	1.000
15270	Meyuca	0.080	0.080
15062	Nevado de Toluca	0.076	1.000
15088	San Francisco Oxtotilpan	0.013	0.013
15122	Tenago	0.033	0.033
15120	Toma Tecomatepec	0.065	0.065
15305	Totolmajac E-17	0.037	1.000
15350	La Troja Vieja	0.016	0.016
15134	Vivero la Paz	0.096	1.00

De los parámetros optimizados en la cuenca Dos Bocas, la máxima capacidad de percolación del suelo (Soil Percolation Rate), la máxima capacidad de percolación de los depósitos subterráneos 1 y 2 (Groundwater 1 Percolation Rate y Groundwater 2 Percolation Rate) y la capacidad de almacenamiento del suelo (Soil Capacity) tiene mayor variación respecto a los parámetros iniciales. Los valores de los parámetros optimizados se incluyen en la tabla 23 y en el anexo D los hidrogramas obtenidos con los parámetros iniciales y los optimizados.

Tabla 23. Parámetros obtenidos para la cuenca Dos Bocas.

Parámetro	Unidades	Valor inicial	Valor optimizado
Canopy Capacity	mm	1.100	1.155
Canopy Initial Storage Percentage	%	0.076	0.136
Clark Storage Coefficient	h	780.000	780.020
Clark Time of Concentration	h	10.100	10.100
Groundwater 1 Capacity	mm	55.100	55.124
Groundwater 1 Initial Storage Percentage	%	0.072	0.418
Groundwater 1 Percolation Rate	mm/h	0.870	1.106
Groundwater 1 Storage Coefficient	h	7000.000	7000.000
Groundwater 2 Capacity	mm	50.000	50.000
Groundwater 2 Initial Storage Percentage	%	0.079	0.084
Groundwater 2 Percolation Rate	mm/h	0.880	0.894
Groundwater 2 Storage Coefficient	h	6000.000	6000.000
Linear Reservoir GW 1 Coefficient	h	7000.000	6999.900
Linear Reservoir GW 1 Steps		28.000	28.000
Linear Reservoir GW 2 Coefficient	h	6000.000	6000.000
Linear Reservoir GW 2 Steps		28.000	28.000
Soil Capacity	mm	2.100	2.184
Soil Infiltration Rate	mm/h	1.000	1.186
Soil Initial Storage Percentage	%	0.100	0.173
Soil Percolation Rate	mm/h	0.680	0.755
Surface Capacity	mm	1.100	1.190
Surface Initial Storage Percentage	%	0.074	0.122
Tension Zone Capacity	mm	0.540	0.606

III.4.2.5. Calibración de parámetros de la cuenca Amacuzac

La calibración se realizó con la información de precipitación diaria de 16 estaciones climatológicas y los datos de caudal diario de la estación hidrométrica Amacuzac ubicada en el municipio del mismo nombre en Morelos. En la tabla 24 se indican los pesos espacial y temporal asignados a las estaciones climatológicas.

Tabla 24. Pesos espacial y temporal de las estaciones climatológicas.

Estación	Nombre	Peso espacial	Peso temporal
17044	E.T.A. 040 Amacuzac	0.01	0.01
15016	Coatepec Harinas	0.11	1.00
15248	Coatepequito	0.17	1.00
12215	Dos Bocas	0.10	1.00
17007	Huajintlan	0.04	1.00
15038	Joquicingo	0.06	1.00
15270	Meyuca	0.07	1.00
15062	El mirador	0.11	1.00
15088	Nevado de Toluca	0.07	0.07
15122	San Francisco Oxtotilpan	0.01	0.01
17007	Tenago	0.03	1.00
12167	Tepetlapa	0.03	0.03
15120	Toma Tecomatepec	0.06	0.06
15305	Totolmajac E-17	0.03	0.03
15350	La troja vieja	0.01	0.01
15134	Vivero la paz	0.09	0.09

De los parámetros calibrados para la cuenca Amacuzac, se encontró mayor variación en la capacidad de almacenamiento superficial en depresiones (Surface Capacity), la máxima capacidad de percolación del suelo (Soil Percolation Rate), la capacidad de almacenamiento del suelo (Soil Capacity) y la máxima capacidad de percolación del depósito subterráneo 1 (Groundwater 1 Percolation Rate). Los resultados de los valores optimizados se muestran en la tabla 25. La comparación de los hidrogramas obtenidos se incluye en el anexo E.

Tabla 25. Valores de los parámetros optimizados para la cuenca Amacuzac.

Parámetro	Unidades	Valor inicial	Valor optimizado
Canopy Capacity	mm	1.080	1.154
Canopy Initial Storage Percentage	%	0.076	0.175
Clark Storage Coefficient	h	780.000	780.070
Clark Time of Concentration	h	11.130	10.815
Groundwater 1 Capacity	mm	55.100	55.162
Groundwater 1 Initial Storage Percentage	%	0.073	0.188
Groundwater 1 Percolation Rate	mm/h	0.870	0.873
Groundwater 1 Storage Coefficient	h	7000.000	7000.100
Groundwater 2 Capacity	mm	50.100	50.167
Groundwater 2 Initial Storage Percentage	%	0.080	0.183
Groundwater 2 Percolation Rate	mm/h	0.680	0.721
Groundwater 2 Storage Coefficient	h	6000.100	6000.200
Linear Reservoir GW 1 Coefficient	h	7000.000	7000.000
Linear Reservoir GW 1 Steps		30.000	30.000
Linear Reservoir GW 2 Coefficient	h	6000.100	6000.200
Linear Reservoir GW 2 Steps		30.000	30.000
Soil Capacity	mm	2.100	2.175
Soil Infiltration Rate	mm/h	1.000	0.839
Soil Initial Storage Percentage	%	0.100	0.190
Soil Percolation Rate	mm/h	0.680	0.689
Surface Capacity	mm	1.090	1.153
Surface Initial Storage Percentage	%	0.074	0.162
Tension Zone Capacity	mm	0.540	0.647

De los 25 parámetros sólo se incluyen 23, pues la descarga inicial en los depósitos subterráneos 1 y 2 se consideró igual al caudal base observado en el primer año de simulación. Se asignaron los valores 0.237, 0,3, 0.4, 0.7 y 0.8 m³/s a la descarga inicial en el depósito subterráneo 1, mientras que a la descarga inicial en el depósito subterráneo 2 se le dieron los valores 0.1, 0.2, 0.1,0.5 y 0.2 m³/s en las cuencas Texcaltitlan, Coatepequito, Chontalcuatlán, Dos Bocas y Amacuzac respectivamente. En la tabla 26 se muestra un resumen de los parámetros obtenidos para cada cuenca hidrológica.

Tabla 26. Compilación de los parámetros calibrados para las cuencas hidrológicas.

No.	Parámetro	Unidades	Texcaltitlan	Coatepequito	Chontalcuatlán	Dos Bocas	Amacuzac
1	Canopy Capacity	mm	1.609	1.174	1.063	1.155	1.154
2	Canopy Initial Storage Percentage	%	0.100	0.228	0.147	0.136	0.175
3	Clark Storage Coefficient	h	846.090	780.060	780.100	780.020	780.070
4	Clark Time of Concentration	h	2.110	5.980	8.210	10.100	11.130
5	Groundwater 1 Capacity	mm	20.121	45.073	54.988	55.124	55.162
6	Groundwater 1 Initial Storage Percentage	%	0.102	0.254	0.205	0.418	0.188
7	Groundwater 1 Percolation Rate	mm/h	0.734	0.631	0.907	1.106	0.873
8	Groundwater 1 Storage Coefficient	h	3300.100	6000.100	7000.100	7000.000	7000.100
9	Groundwater 2 Capacity	mm	16.651	38.063	50.138	50.000	50.167
10	Groundwater 2 Initial Storage Percentage	%	0.102	0.253	0.197	0.084	0.183
11	Groundwater 2 Percolation Rate	mm/h	2.118	1.566	0.918	0.894	0.721
12	Groundwater 2 Storage Coefficient	h	3522.100	4750.100	5999.700	6000.000	6000.200
13	Linear Reservoir GW 1 Coefficient	h	3300.100	6000.100	7000.000	6999.900	7000.000
14	Linear Reservoir GW 1 Steps		2.000	15.000	18.000	28.000	30.000
15	Linear Reservoir GW 2 Coefficient	h	3522.100	4750.100	6000.100	6000.000	6000.200
16	Linear Reservoir GW 2 Steps		2.000	15.000	18.000	28.000	30.000
17	Soil Capacity	mm	2.613	2.874	2.090	2.184	2.175
18	Soil Infiltration Rate	mm/h	2.266	1.463	0.769	1.186	0.839
19	Soil Initial Storage Percentage	%	0.089	0.248	0.151	0.173	0.190
20	Soil Percolation Rate	mm/h	0.531	0.445	1.111	0.755	0.689
21	Surface Capacity	mm	1.127	1.152	1.075	1.190	1.153
22	Surface Initial Storage Percentage	%	0.096	0.230	0.144	0.122	0.162
23	Tension Zone Capacity	mm	0.541	0.749	0.574	0.606	0.647

III.4.3. Validación de los parámetros obtenidos en la calibración del modelo

Se realizó la validación de los parámetros optimizados obtenidos en la calibración para las cuencas hidrológicas utilizando datos de precipitación diaria y caudal diario observado durante un periodo diferente al usado para la calibración. En las figuras 13 - 17 se muestran los hietogramas con la precipitación total y la precipitación que se pierde en la intercepción por vegetación, retención superficial en depresiones, evapotranspiración e infiltración, y los hidrogramas obtenidos para cada cuenca hidrológica. En la figura 13 se puede observar que en la cuenca Texcaltitlan el caudal pico fue de $7.5 \text{ m}^3/\text{s}$ y se presentó el día 27 de septiembre de 1967 al igual que el caudal pico observado. Con respecto al volumen acumulado bajo la curva, se encontró que el 1 de enero de 1963, la relación $\frac{V_{obs}}{V_{sim}}$ fue de 2 descendiendo hasta 1.01 el 19 de junio del mismo año. Después de este tiempo el valor de $\frac{V_{obs}}{V_{sim}}$ varió entre 0.99 a 0.82 durante casi tres meses. Posteriormente, a partir del 14 de septiembre de 1963, el volumen observado se mantuvo igual o por arriba del volumen simulado tomando valores de 1 a 1.49.

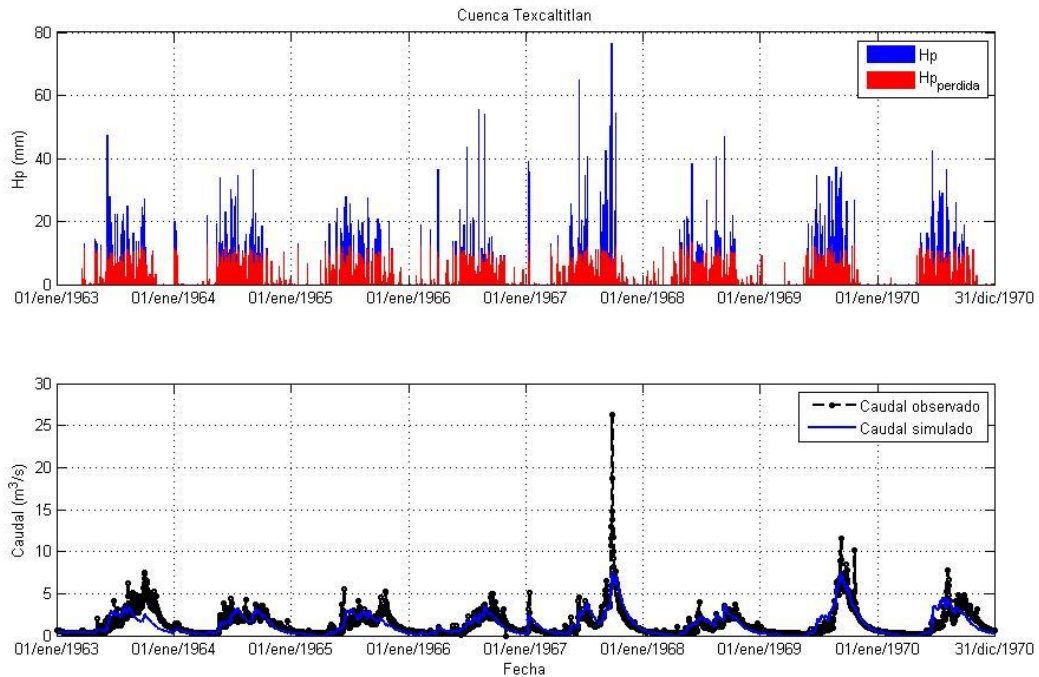


Figura 13. Hidrograma obtenido para la cuenca Texcaltitlan.

En la figura 14 se muestra el comportamiento del escurrimiento en la cuenca Coatepequito, en ésta el caudal pico fue de $42.1 \text{ m}^3/\text{s}$ y se presentó el 28 de septiembre de 1967, pero el caudal observado se presentó el 10 de octubre de 1976 con un valor de $101.4 \text{ m}^3/\text{s}$. En el análisis de volumen acumulado se determinó el comportamiento de los volúmenes de acuerdo con la relación $\frac{V_{obs}}{V_{sim}}$, obteniendo los siguientes resultados: del 1 de enero al 26 de abril de 1966 la relación decreció de 4.8 a 1.01 y a partir del 27 de abril la relación tomó valores de 0.998 a 0.629, es decir, el volumen acumulado observado fue menor al volumen acumulado obtenido con la simulación.

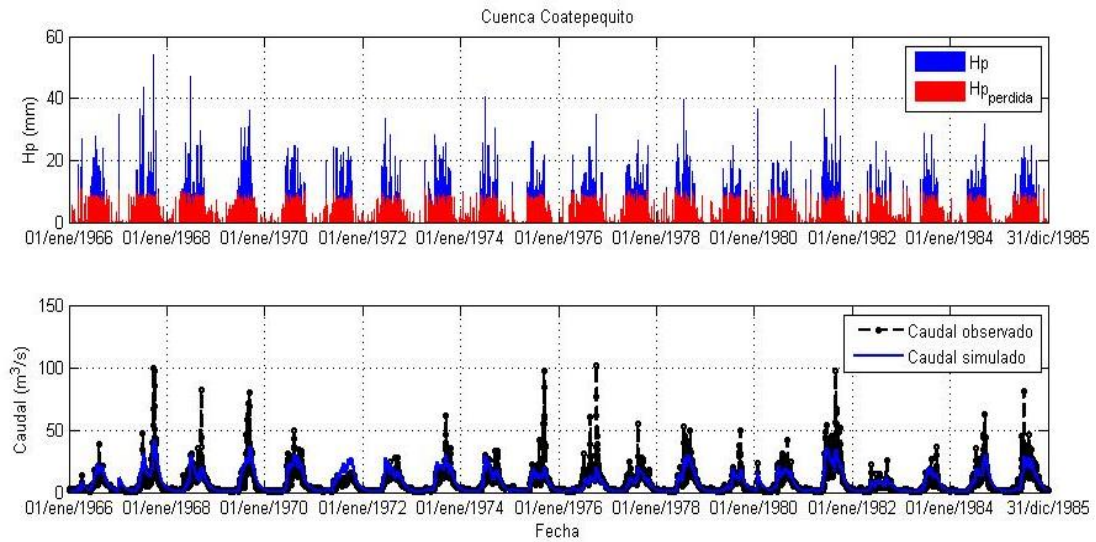


Figura 14. Hidrograma obtenido para la cuenca Coatepequito.

En la validación de los parámetros para la cuenca Chontalcuatlán, el caudal pico resultó de 70.3 m³/s se presentó el 10 de septiembre del 2003 y el caudal pico observado el 10 de octubre del 2004 (ver figura 15). Con el análisis de volumen acumulado se encontró que la relación $\frac{V_{obs}}{V_{sim}}$ se incrementó de 2.8 a 3.03 del 1 de enero al 11 de febrero de 1991 y fue decreciendo de 2.986 a 1 del 12 de febrero al 23 de mayo de 1991. Después el índice varió entre 0.999 a 0.312 del 24 de mayo de 1991 al 27 de junio de 1993. A partir del 28 de junio de 1993 varió entre 1 y 1.397, esto es, en este periodo el volumen observado resultó igual o mayor que el volumen obtenido con el modelo lluvia-escorrentamiento.

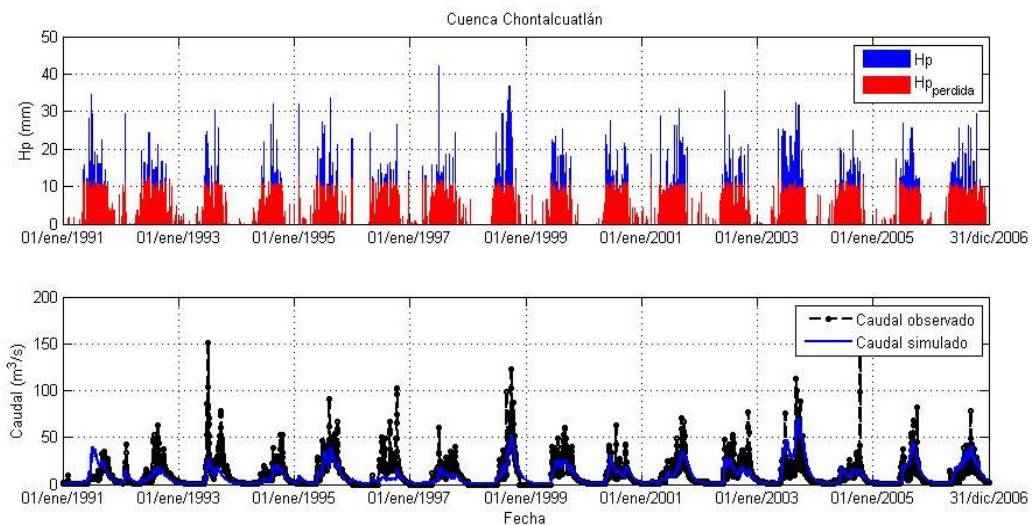


Figura 15. Hidrograma obtenido para la cuenca Chontalcuatlán.

De acuerdo con la figura 16, en la cuenca Dos Bocas se observó un caudal pico de 236.2 m³/s el día 6 de septiembre de 1988 y el caudal pico obtenido con la simulación se presentó el día 30 de septiembre de 1998 con un valor de 101.9 m³/s. Al realizar el análisis del volumen acumulado se encontró que el índice obtenido por la relación $\frac{V_{obs}}{V_{sim}}$ decreció de 2.08 a 1.01 del 1 de enero al 4 de agosto de 1985. Del 5 de agosto de 1985 al 5 de noviembre de 1987 el índice varió entre 1.01 y 0.89. En el periodo comprendido del 6 de noviembre de 1987 al 31 de diciembre de 2000, el caudal observado permaneció por abajo del caudal simulado, pues los índices tomaron valores de 0.99 a 0.87.

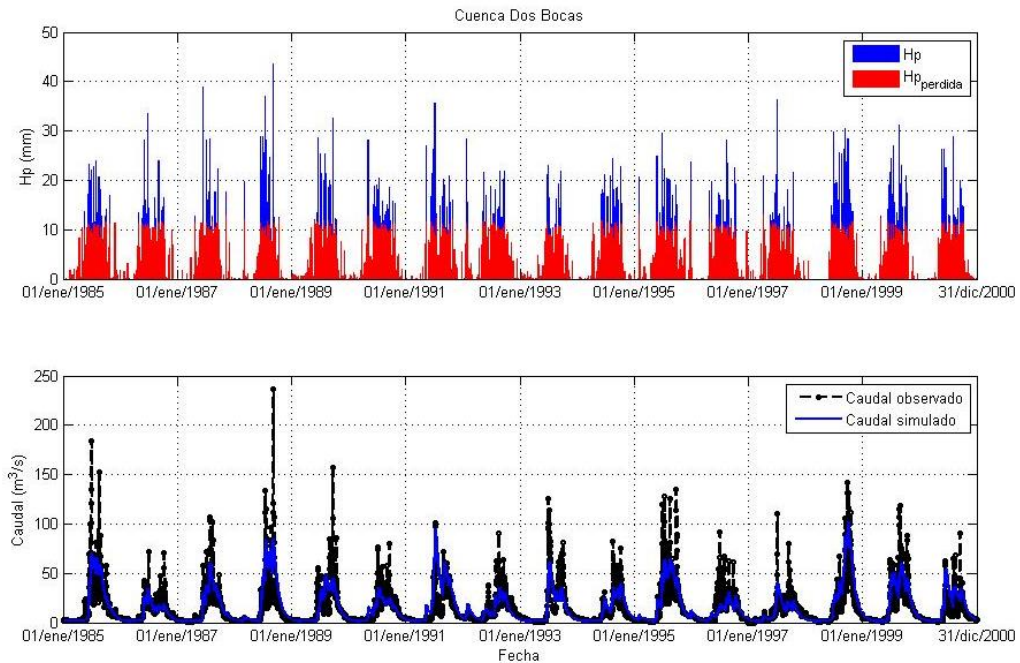


Figura 16. Hidrograma obtenido para la cuenca Dos Bocas.

Los resultados de la validación de los parámetros para la cuenca Amacuzac se muestran en la figura 17. Se obtuvo un caudal pico simulado de 147.3 m³/s y se presentó el 4 de julio de 1985, mientras que el caudal pico observado de 506.6 m³/s se presentó el 9 de julio de 1993. Al realizar un análisis del volumen acumulado se encontró que la relación $\frac{V_{obs}}{V_{sim}}$ es 3.8 el 1 de enero, disminuyendo hasta 1.05 el 25 de junio de 1985, sin embargo, después del 26 de junio hasta el 31 de diciembre de 2000, esta relación fue menor a la unidad tomando valores de 0.997 a 0.62.

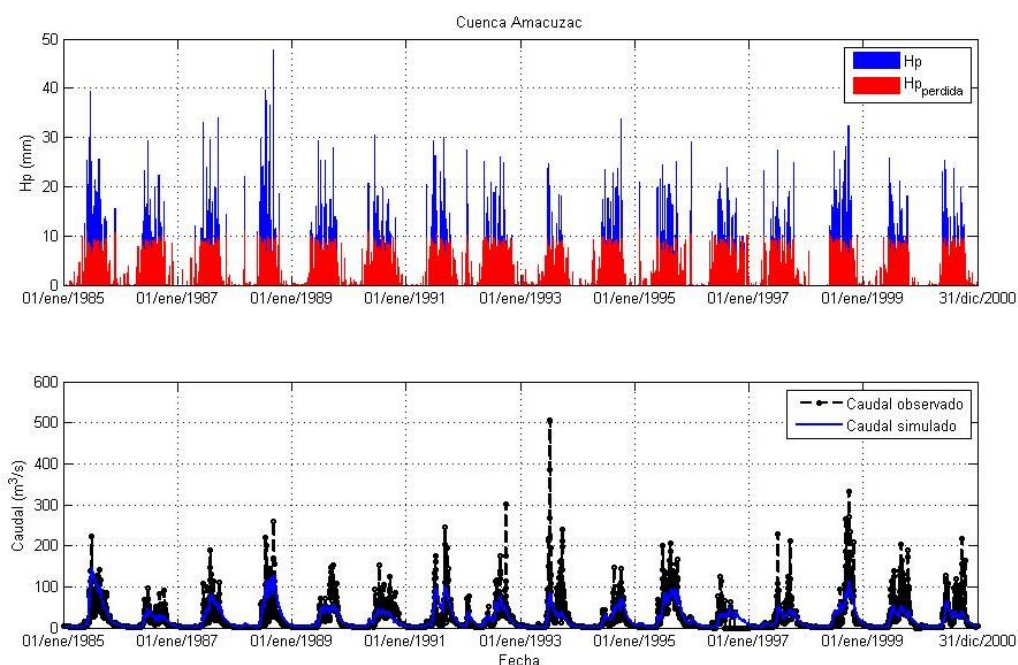


Figura 17. Hidrograma obtenido para la cuenca Amacuzac.

Se determinaron los porcentajes de error entre el volumen obtenido con la simulación y el volumen del hidrograma observado, tomando como criterio para aceptar el modelo un error menor del 10 %. En la tabla 27 se indica el error obtenido con los volúmenes bajo los hidrogramas en la validación de los parámetros de las cuencas hidrológicas.

Tabla 27. Error porcentual en el volumen.

Cuenca	Volumen observado [1000 m ³]	Volumen simulado [1000 m ³]	% Error
Texcaltitlan	357358.6	322079.6	-9.9
Coatepequito	4343477.5	4728424.0	8.9
Chontalcuatlán	4558647.6	4382425.4	-3.9
Dos Bocas	7001816.8	7485436.0	6.9
Amacuzac	10514401.4	10714209.1	1.9

De los hidrogramas obtenidos en la validación de los parámetros se tienen los resultados mostrados en la tabla 28 para el caudal pico de los hidrogramas observado y simulado. De acuerdo con el criterio de Nash - Sutcliffe, el caudal simulado representa aceptablemente la variabilidad del caudal observado.

Tabla 28. Comparación de los caudales pico observado y simulado.

Cuenca	Caudal pico observado [m ³ /s]	Caudal pico simulado [m ³ /s]	Nash-Sutcliffe [E]	Ajuste
Texcaltitlan	26.3	7.5	0.610	Muy bueno
Coatepequito	101.4	42.1	0.614	Muy bueno
Chontalcuatlán	154.2	70.3	0.397	Satisfactorio
Dos Bocas	236.2	101.9	0.562	Bueno
Amacuzac	506.6	147.3	0.518	Bueno

Los hidrogramas obtenidos en la validación de los parámetros se incluyen en los anexos A, B, C, D y E para las cuencas Texcaltitlan, Coatepequito, Chontalcuatlán, Dos Bocas y Amacuzac respectivamente. Al analizar la bondad de ajuste del modelo para simular el volumen acumulado bajo el hidrograma se encontraron excelentes resultados, pues el coeficiente de Nash-Sutcliffe fue de 0.9 o mayor en las cuencas hidrológicas.

CAPÍTULO IV.
ANÁLISIS
HIDROELÉCTRICO Y
RESULTADOS

IV.1. Determinación del caudal medio disponible

Con el modelo calibrado en HEC-HMS se realizó la simulación para cada sitio disponible, utilizando un periodo de 16 años (1991-2006) de precipitación diaria para las cuencas Texcaltitlan y Chontalcuatlán, mientras que el periodo de simulación en las cuencas Coatepequito, Dos Bocas y Amacuzac fue de 20 años, de 1966 a 1985. A partir de los datos de caudal diario obtenidos de la simulación se determinó la curva de duración de caudales. Posteriormente, de la curva de duración de caudales se obtuvo el caudal que se encuentra en el río el 90% del año, pues Ortiz (2011) menciona que para evaluar la potencia disponible generalmente se toma el caudal que dura 90% (Q_{90}) y el que dura el 50% para obtener la potencia adicional con almacenamiento o se puede tomar el caudal que está presente el mayor tiempo en el cauce de acuerdo con la curva de frecuencias. Esto implica que el 90% del año habrá un caudal igual o mayor que el Q_{90} . Además, en IMTA y CFE (2007) se utiliza el caudal presente en el río el 85% del año. En la figura 18 se muestra una curva tipo de las cuencas Texcaltitlan, Coatepequito, Chontalcuatlán, y Dos Bocas. Para la cuenca Texcaltitlan el $Q_{90} = 1.1 \frac{m^3}{s}$; de la curva de duración de caudal en la cuenca Coatepequito se observa un $Q_{90} = 1.9 \frac{m^3}{s}$; para la cuenca Chontalcuatlán se tiene en este ejemplo un $Q_{90} = 3.5 \frac{m^3}{s}$; y en la curva de duración de caudal de la cuenca Dos Bocas, el $Q_{90} = 3.9 \frac{m^3}{s}$.

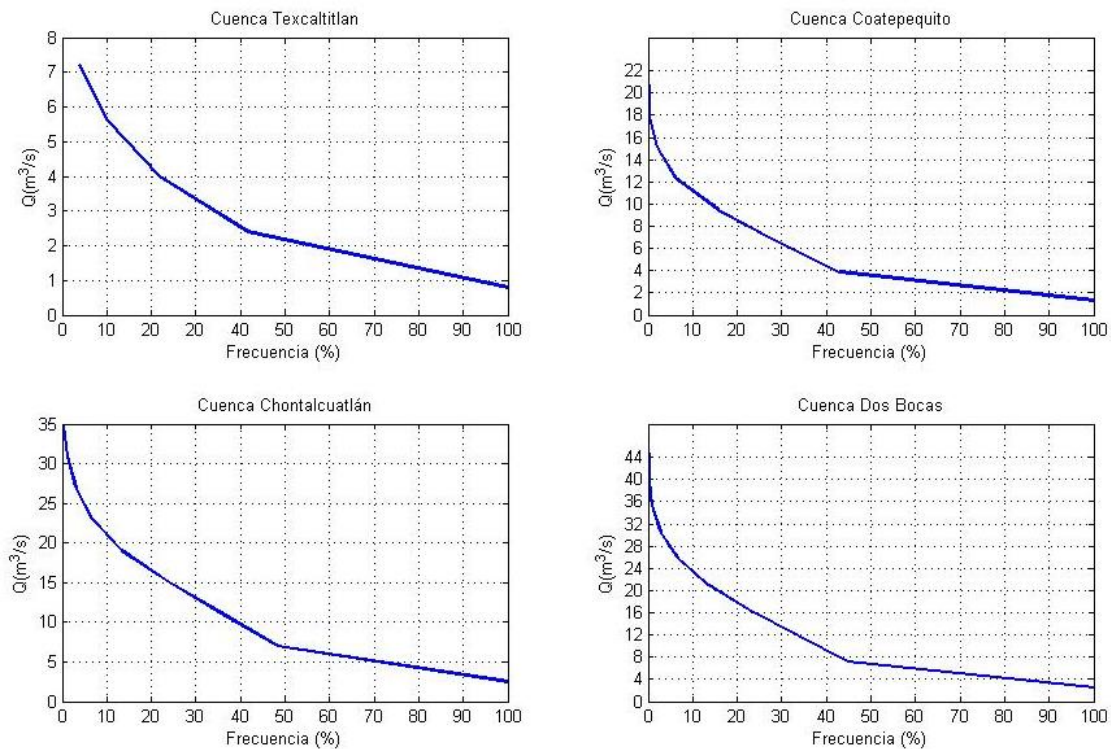


Figura 18. Curva de duración de caudales tipo en las cuencas hidrológicas.

IV.2. Estimación del potencial disponible

Conociendo el desnivel topográfico y el caudal medio disponible se obtuvo la potencia utilizando la ecuación 1. Hasta aquí se tienen los sitios con potencial básico disponible, pero en la siguiente etapa se eliminan los sitios en los que no es factible construir pequeñas centrales hidroeléctricas (potencial técnico disponible), en este caso sólo los sitios ubicados en las áreas protegidas pues no hay sitios que coincidan con la ubicación de obras existentes o ubicadas dentro del área urbana, para obtener los sitios con potencial disponible. Una vez realizado esto se encontró que el potencial hidroenergético de la cuenca Alto Amacuzac es de 49,227 kW distribuido en 578 sitios en la cuenca hidrológica. En la tabla 29 se muestran las coordenadas de localización de algunos sitios disponibles, el desnivel o carga bruta y la distancia horizontal en el tramo considerado, la pendiente media del tramo, el área de aportación al sitio elegido, el caudal presente en el cauce el 90% de año y la potencia bruta disponible en los sitios elegidos. En la anexo F se indican todos los sitios disponibles para construir pequeñas centrales hidroeléctricas y sus características principales. Dentro de los sitios localizados, el que tiene un potencial máximo es de 1,831.07 kW y el de menor potencial de 1.43 kW.

En la figura 19 se puede observar la ubicación de los sitios disponibles localizados sobre las corrientes perennes de las cuencas hidrológicas. La mayor parte de los sitios se encuentran ubicados al norte de los municipios Coatepec Harinas e Ixtapan de la Sal y al oeste de Pilcaya. Las presas más importantes en la cuenca se ubican al este y sureste de Coatepec Harinas, lo que implica que el suministro de agua a la población ubicada al noroeste de Ixtapan de la Sal no es de presas. En efecto, de acuerdo con Camacho (2013) se abastecen de pozos y manantiales con caudales del orden de 55 l/s.

Tabla 29. Características de algunos de los sitios localizados.

Sitio	Código	Desnivel [m]	Distancia [m]	Pendiente Media	$A_{(cuenca)}$ [Km ²]	Q [m ³ /s]	Potencia _{bruta} [kW]	Coordenada Y	Coordenada X
1	23	82.84	1754.91	0.047	27.491	0.250	203.16	2095009.0078	427021.9932
2	99	5.172	130.51	0.040	20.05	0.156	7.915	2070013.0093	420986.9931
3	107	17.577	257.51	0.068	11.04	0.220	37.935	2069313.0091	418833.9927
4	199	70.29	1027.77	0.068	10.750	0.075	51.71	2100231.0067	421948.9926
5	208	59.90	613.67	0.098	61.572	0.520	305.54	2081065.0079	436243.9924
6	282	74.55	2122.64	0.035	45.930	0.290	212.10	2097597.0073	429966.9935
7	287	46.135	958.05	0.048	72.89	0.480	217.239	2076676.0090	428107.9930
8	326	59.830	1000.93	0.060	24.42	0.200	117.386	2098992.0078	415354.9938
9	352	3.52	116.33	0.030	21.915	0.280	9.66	2052843.0080	453644.9929
10	388	65.17	1290.00	0.051	26.020	0.200	127.86	2105192.6844	430792.1391

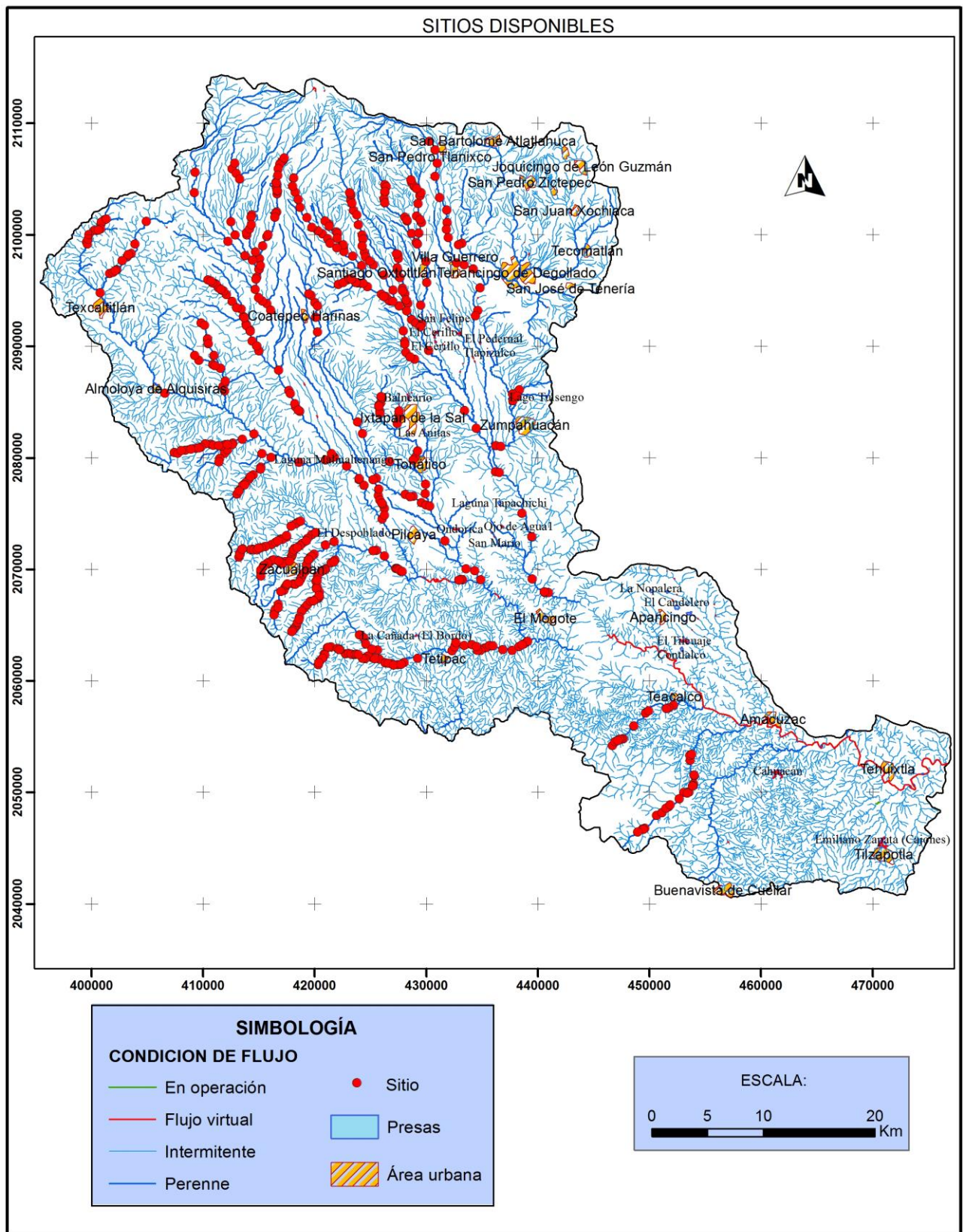


Figura 19. Localización de los sitios disponibles para la construcción de PCHs.

Para poder visualizar con mayor detalle los sitios factibles para construir pequeñas centrales hidroeléctricas con potencial menor a 367.4 kW en la figura 20, se utilizó el método *rotura natural Jenks* integrado en el software ArcGIS, pues con el método de intervalos iguales, los datos se agruparían en los primeros dos intervalos (1.43 - 184.4 y 184.5 - 367.4) si se utilizan 10 intervalos de clase y no permite observar la distribución de los sitios con potencia menor que 367.4 kW y el método *de rotura natural Jenks* sí. En el método de *rotura natural Jenks* las clases se basan en las agrupaciones propias de los datos, es decir, se eligen los límites de clase donde la diferencia entre datos es máxima (Arcgisdesktop). Se encontraron 575 sitios con potencial menor de 1 MW y 3 sitios con potencial mayor que 1 MW. Así, en la cuenca Alto Amacuzac se pueden construir 575 microcentrales hidroeléctricas y sólo 3 centrales minihidroeléctricas de acuerdo con la clasificación propuesta por la CONUEE. En la tabla 30 se muestra el rango de frecuencias de potencial hidroeléctrico y la energía que se podría generar en promedio al año si la eficiencia del hidrogro grupo turbina - generador es del 80% y las centrales son al hilo de agua.

Tabla 30. Agrupación del potencial hidroeléctrico disponible.

Clase	Intervalo de clase [kW]		Frecuencia	Energía [kWh]
1	1.43	17.04	186	58,336
2	17.28	33.61	105	160,731
3	34.67	54.5	81	281,635
4	56.88	87.03	50	454,525
5	87.75	128.58	45	683,257
6	130.18	192.61	41	1,019,500
7	194.97	287.52	37	1,523,896
8	299.21	466.57	17	2,418,640
9	480.62	836.47	13	4,159,897
10	1203.21	1831.07	3	9,583,470

La importancia de estos intervalos de clase de potencia radica en que al hacer una comparación de la energía factible de generar al año con la consumida en una vivienda tipo “E”, “D”, “C”, “B” o “A” (ver anexo G), se puede observar que con la energía generada en la primera clase se cubre la demanda de energía en cada tipo de vivienda.

En la figura 20 se presenta un mapa con la distribución de los sitios resaltando el potencial disponible ubicado principalmente en los ríos El Chiquihuitero hasta el río de las Flores, río Chiltepec, río Palo seco al norte de Texcaltitlan , río Los Capulines que pasa por las localidades de Las Vueltas y Pachuquilla, los ríos Yerbabuena y El Cristo al oeste del poblado La Unión Riva Palacios, Arroyo Florido (segunda sección), río Ayatuxco, arroyo Santiago y río El Alacrán cerca de Zacualpan, río Acevedocla, río San José cerca de la localidad Poder de Dios (San Mateo) y el municipio de Tetipac, Arroyo Los Tizantes, Arroyo San Gaspar, río San Mateo al este de

Totolmajac, Arroyo Los Cuervos, Arroyo Tintojo, Arroyo Grande aguas abajo de San Pedro Tlanixco, río San Jerónimo, río Granadas al sur de Teacalco, río Zacapalco y río Tlahuichia.

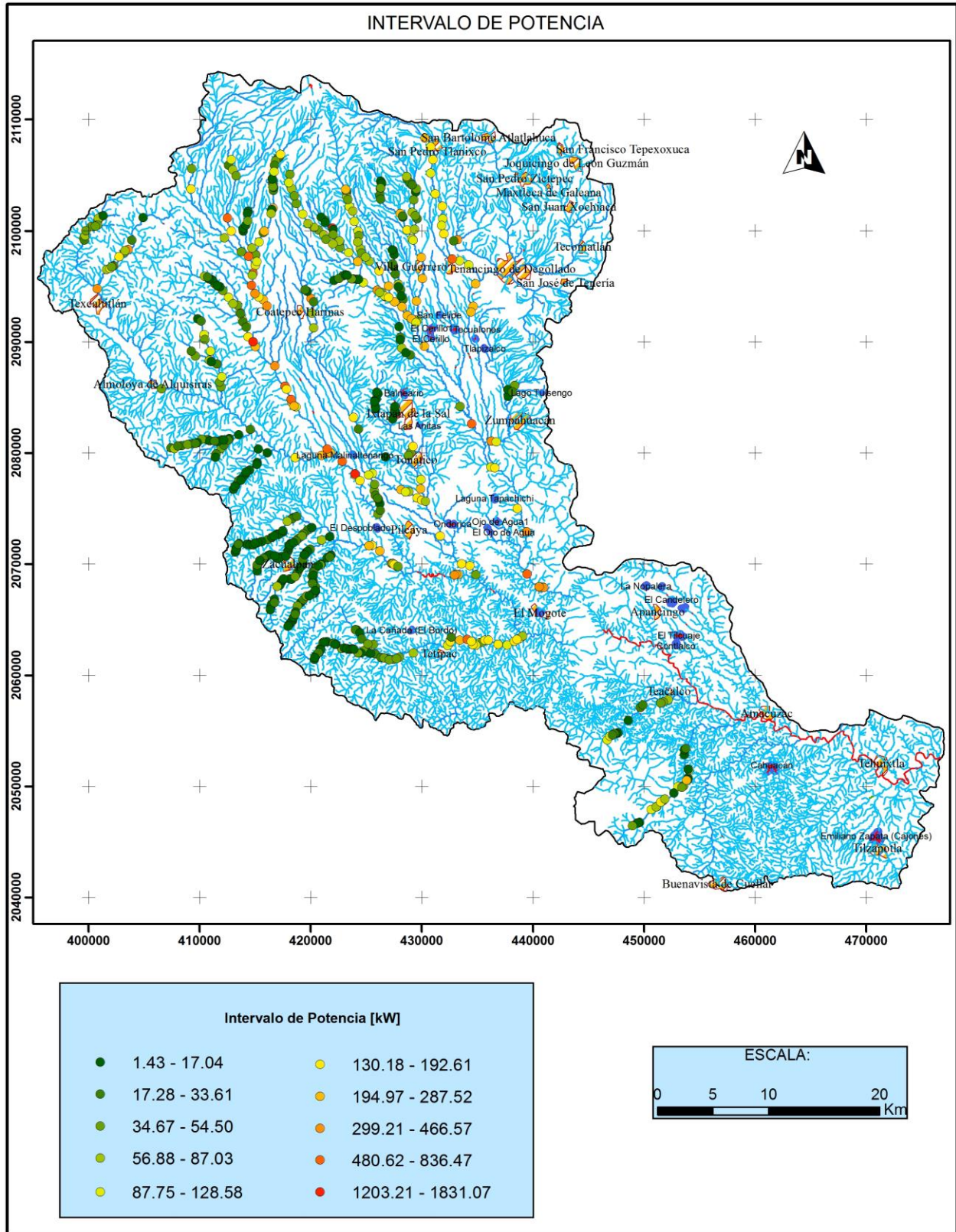


Figura 20. Distribución de los sitios con potencial micro y mini hidroeléctrico.

IV.3. Costo de instalación de una pequeña central hidroeléctrica

El costo del kilowatt instalado es variable aún en centrales diseñadas con la misma potencia, pues este depende de las condiciones propias del sitio y de las características técnicas del proyecto, tales como: vías de acceso, redes de interconexión y nivel de desarrollo del lugar, topografía, carga neta o caída del proyecto, entre otras. Con el fin de conocer el costo aproximado de la inversión que se realizaría al llevar los sitios disponibles a las siguientes etapas de planeación y construir las PCHs, se hizo la evaluación de los sitios disponibles utilizando información del costo por kilowatt instalado reportado en Ortiz, 2011. Donde el costo de instalación de la PCH depende la caída y la potencia, como se puede observar en la figura 21. En esta se tiene tres curvas o intervalos para determinar el costo del kilowatt instalado, estos son, para potencias menores a 250 Kw mostradas con línea azul, para potencia entre 250 y 1,000 kW indicadas con línea roja, y otra para obtener el costo de instalación de centrales con potencia mayor a 1,000 kW presentada con línea verde. En el primer caso se tiene que las centrales hidroeléctricas con caídas menores a 8 metros el costo por kilowatt instalado es mayor al de las centrales con cargas mayores a 8 metros, pues se obtiene una menor potencia; en el segundo caso, el costo por kilowatt instalado para centrales con cargas menores de 15 metros es más grande que las que se construyen con cargas mayores a 15 metros; y lo mismo ocurre con las centrales con potencias mayores a 1,000 kW. A partir de la ecuación de la línea de tendencia en cada caso, se obtuvo el costo por kilowatt instalado considerando que el valor del euro es de \$17.5. Posteriormente se determinó el costo de cada PCH y la energía generada anualmente, considerando que la eficiencia del grupo turbina-generator es de 80%, pues se consideran turbinas hidráulicas tipo Michell Banki por ser de bajo costo y tener un mecanismo sencillo de funcionamiento, son adecuadas para saltos bajos, pero su rendimiento es de cerca del 80% y son muy estables de 1/3 a 3/3 de carga. Se obtuvieron los egresos anuales por los costos de operación anual, reparación y mantenimiento anual de la planta e insumos para administración anual, considerándolos como el 3.5% del costo por kilowatt instalado. El ingreso anual es por concepto de la venta de energía a un costo de \$1.65 el kWh según las tarifas domésticas de Comisión Federal de Electricidad (CFE). Con esta información se obtuvo el ingreso neto anual como la diferencia entre los egresos e ingresos anuales, necesario para analizar la rentabilidad de cada proyecto, pero esto queda fuera de los objetivos del trabajo por lo que sólo se dará un ejemplo para analizar la viabilidad de un proyecto en la etapa de factibilidad.

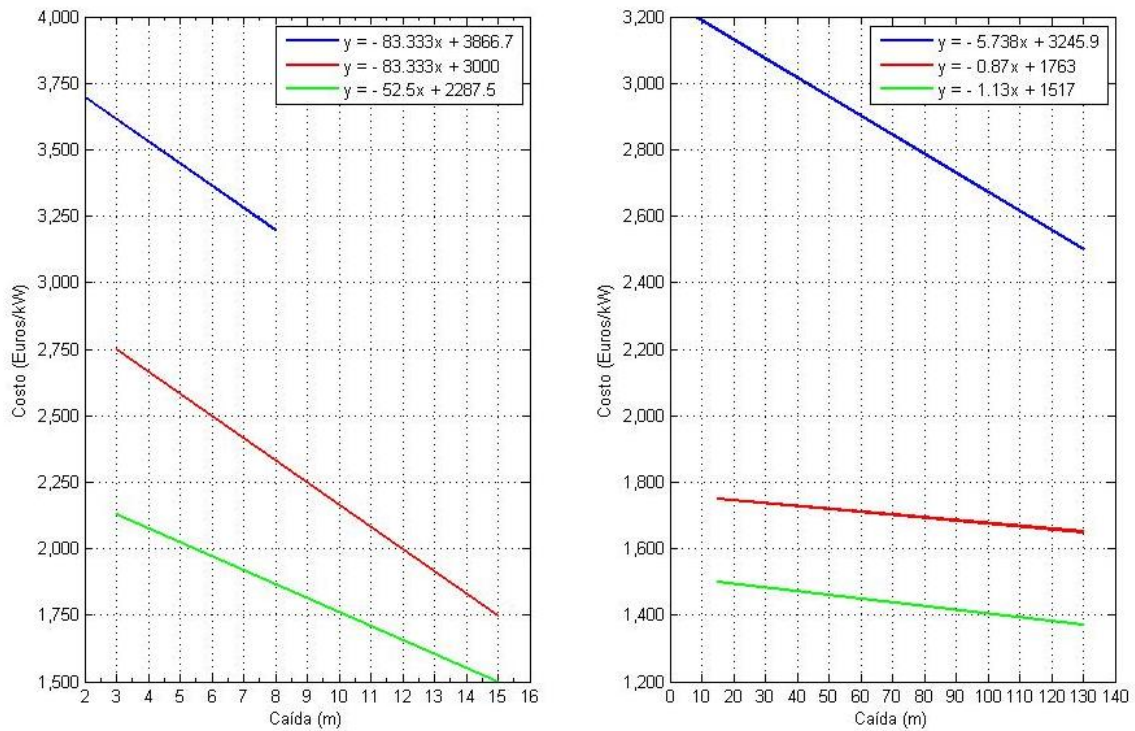


Figura 21. Costo por kilowatt instalado para PCHs en función de la caída (Ortiz, 2011).

En este estudio se encontraron 534 sitios con potencia bruta menor de 250 kW, 41 sitios con potencia entre 250 y 1000 kW y 3 con potencia mayor a 1000 kW. El costo más elevado fue de \$43,781,104 para el sitio con una potencia bruta de 1,831.1 kW, con caída de 133.32 metros y caudal de 1.4 m³/s, y el mínimo de \$86,357 correspondiente a un sitio con caída bruta de 7.362 metros y potencia bruta de 1.52 kW.

Se determinó que el costo total promedio de una PCH es de \$3,672,636 y el costo por kW instalado es \$52,865 en promedio. En la tabla 31 se indican el costo de instalación de las PCHs, la energía generada anualmente en algunos sitios disponibles y el ingreso neto anual por la venta de energía, la información del resto de los sitios se encuentra en el anexo H.

Tabla 31. Valores estimados del costo de instalación de una PCH y energía aproximada de generación anual.

Sitio	Costo [\$/kW]	Costo_PCH [\$]	Energía [kWh]	Egreso [\$]	Ingreso [\$]	Ingreso Neto [\$]
1	48,484	9,849,991	1,404,241	344,750	2,316,998	1,972,248
2	60,131	475,906	54,705	16,657	90,264	73,607
3	55,039	2,087,900	262,204	73,076	432,637	359,561
4	49,745	2,572,492	357,447	90,037	589,787	499,750
5	29,941	9,148,189	2,111,896	320,187	3,484,628	3,164,441
6	49,316	10,459,741	1,466,005	366,091	2,418,908	2,052,817
7	52,171	11,333,539	1,501,558	396,674	2,477,570	2,080,896
8	50,795	5,962,650	811,375	208,693	1,338,768	1,130,075
9	62,541	604,459	66,804	21,156	110,227	89,071
10	50,259	6,425,953	883,745	224,908	1,458,180	1,233,272

IV.4. Factibilidad de una PCH al hilo de agua

Al realizar el estudio de factibilidad, es difícil decidir cuál debe ser el caudal de diseño para estas pequeñas centrales hidroeléctricas, por ello se hace un bosquejo de la curva de duración de caudales para determinar la viabilidad del proyecto de acuerdo con cada uno de los caudales presentes en el cauce durante el año en el sitio 351 con código 7749 ubicado en la cuenca Chontalcuatlán con las características mostradas en la tabla 32. La potencia de diseño es la potencia obtenida con la carga neta, es decir, la carga bruta o disponible menos las pérdidas en la tubería. La potencia mínima es la potencia a la cuál funciona la turbina de manera estable, en este caso es equivalente al 70% de la potencia de diseño.

Tabla 32. Variación de la potencia de acuerdo con la curva de duración de caudales.

Frecuencia [%]	Q [m ³ /s]	Potencia_diseño [kW]	Potencia_min [kW]	Q_min [m ³ /s]
100	2.6	213.3	149.3	1.8
90	3.5	286.4	200.5	2.5
80	4.1	331.6	232.1	2.9
70	5.0	401.8	281.3	3.5
60	5.8	461.0	322.7	4.1
50	6.8	547.2	383.0	4.8
40	9.0	722.2	505.6	6.3
30	13.0	1,040.2	728.1	9.1
20	16.3	1,315.1	920.6	11.4
10	20.9	1,681.9	1,177.4	14.6

Se propuso material de acero inoxidable con un coeficiente de rugosidad $n = 0.014$ para determinar las pérdidas en la tubería, pues se buscó el diámetro de tubería con el que se perdiera menos del 10% de la carga disponible (desnivel topográfico). También se usaron las restricciones de velocidad máxima de 5 m/s para evitar la erosión o desgaste excesivo de las paredes de la tubería y mínima de 0.3 m/s para que no se depositen sedimentos o partículas que arrastre el agua dentro de la tubería (CNA, 2007). Como resultados principales se obtuvieron diámetros de 1.27 metros a 2.79 metros para cada uno de los caudales de diseño.

IV.4.1. Rentabilidad y periodo de recuperación de la inversión

Se presentan dos criterios para determinar la rentabilidad de los proyectos, la tasa interna de retorno (TIR) y el valor presente neto (VPN), la primera es la tasa efectiva anual con la que el valor presente neto de los costos es igual al valor presente neto de los beneficios. Esta permite determinar si conviene o no invertir en las alternativas de proyectos. Mientras que el criterio de valor presente neto permite decidir cuál es más interesante o dejaría mayores ganancias durante la vida útil de la obra, dando cierto grado de prioridad para llevarlo a cabo. Para este caso se considera que la vida útil de cada proyecto es de 25 años, pues aunque la obra puede tener una vida útil de 50 años, la tubería forzada de 50 años, la turbina de 35 años y el generador de 14 a 25 años dependiendo de la potencia, el proyecto requeriría una nueva inversión en el generador o turbina si se sigue utilizando la pequeña central hasta los 50 años.

Al realizar el análisis económico se obtuvo la tasa interna de retorno mostrada en la figura 22 para cada uno de los proyectos diseñados con los caudales obtenidos de la curva de duración de caudales. La tasa interna de retorno de cada proyecto es la que se obtiene cuando la curva cruza el eje cero del valor presente neto.

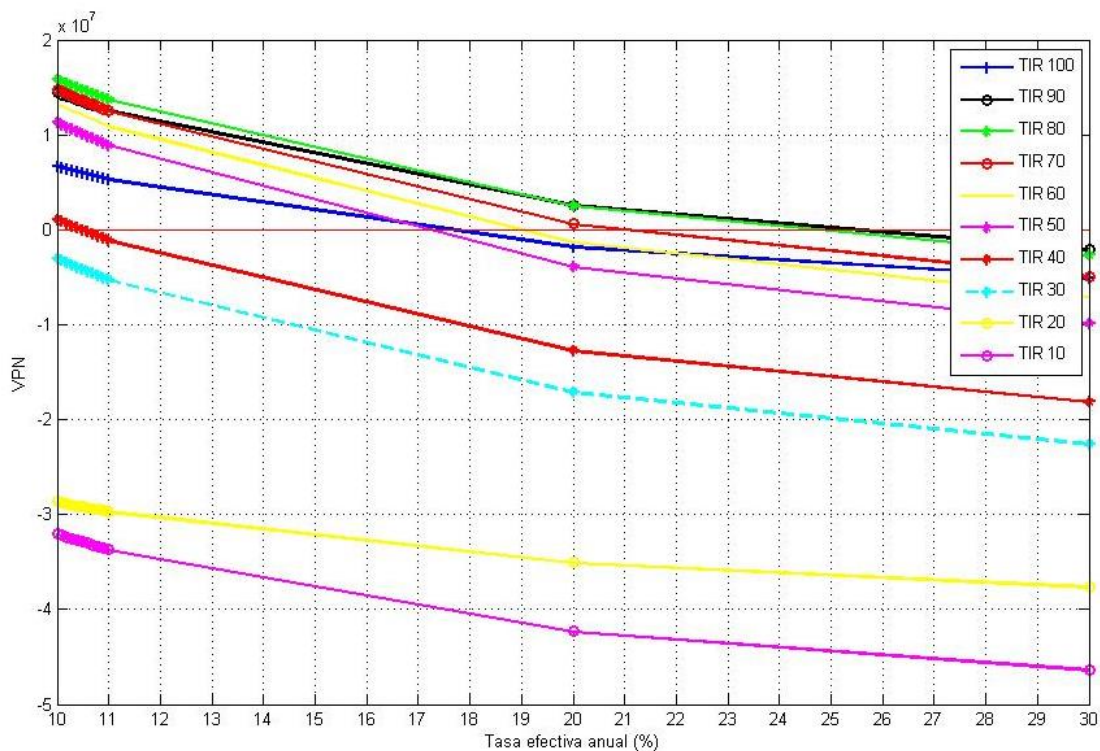


Figura 22. Tasa interna de retorno para los proyectos diseñados con diferentes caudales.

El tiempo de recuperación de la inversión realizada en la construcción de la PCH se obtiene considerando que la inversión se hace con recursos propios y a una tasa de descuento equivalente a la tasa de interés pasiva que paga la institución bancaria a quién deposita dinero, por ejemplo si se invierte dinero en CETES (certificados de tesorería de la Federación), la tasa de interés es de 2.5% anual. Esta tasa fija se utiliza para traer a valor presente los ingresos e ingresos a lo largo de la vida útil del proyecto. En la figura 23 se puede observar el comportamiento del valor presente neto durante la vida útil de cada proyecto, en el que el periodo de recuperación de la inversión (PRI) se encuentra cuando el valor presente neto de la inversión inicial se iguala al valor presente neto de las ganancias.

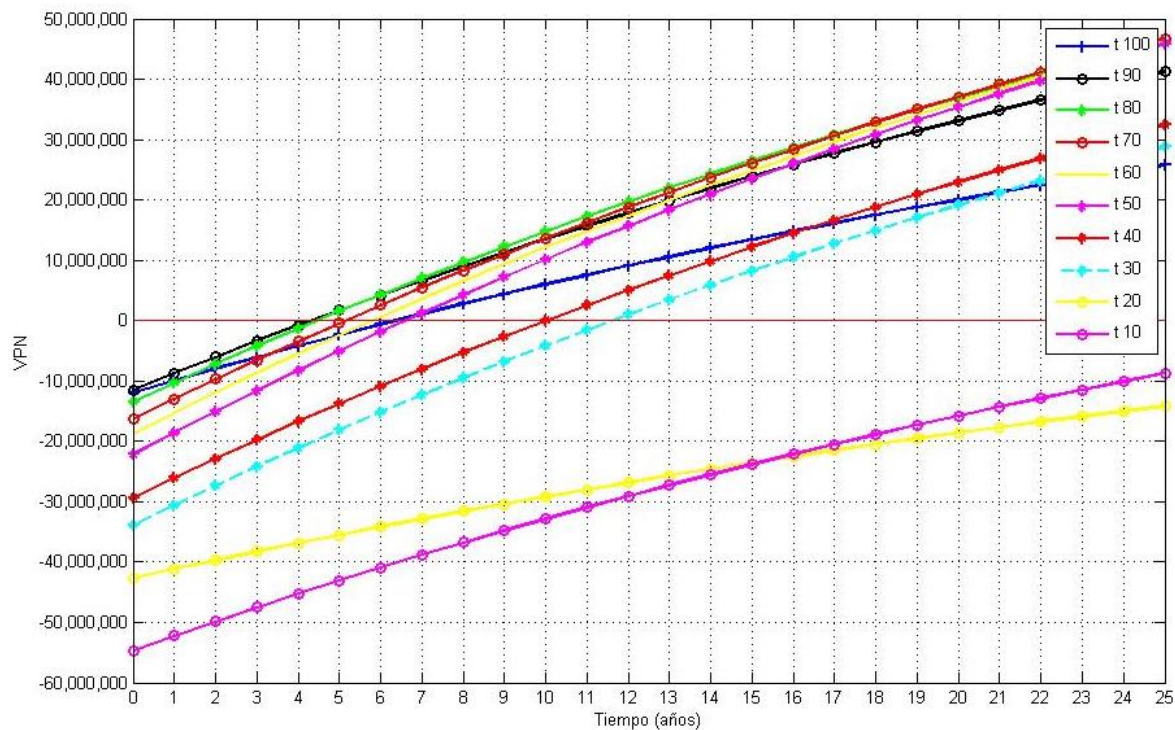


Figura 23. Periodo de recuperación de la inversión.

Como resultado del análisis de factibilidad se tiene que el diseñar un proyecto con el Q_{90} es el más conveniente y se obtendría mayor beneficio por la inversión de acuerdo con la TIR, pero el valor presente neto indica que el proyecto que aporta mayores ganancias es el obtenido al realizar el proyecto con un caudal de diseño igual al Q_{70} . Mientras que el periodo de recuperación indica que los proyectos con mayor factibilidad a corto plazo son los que se diseñan con el Q_{90} y Q_{80} , pues el riesgo para obtener la inversión inicial es menor y se puede disponer de efectivo en menor tiempo que en los otros proyectos. En la tabla 33 se presenta estos resultados, en donde el proyecto diseñado con el Q_{90} es uno de los más ambiciosos por realizar aunque la energía que se puede aprovechar al año sea menor que en la mayoría de los proyectos.

Tabla 33. Periodo de recuperación de la inversión en la PCH.

Frecuencia [% año]	Energía [kWh]	TIR [%]	VPN [\$]	PRI [años]
100	1,494,789	21	25,806,989	7
90	1,981,023	25	41,223,766	5
80	2,238,529	24	45,976,453	5
70	2,420,070	21	46,766,724	6
60	2,535,854	19	46,239,083	6
50	2,708,771	17	45,863,069	7
40	2,653,049	11	32,456,464	10
30	2,780,588	9	28,815,690	12
20	2,945,873	0	-14,213,412	28
10	2,669,053	2	-8,756,791	26

En la figura 24 se puede observar como la tasa interna de retorno aumenta a partir del proyecto diseñado con el Q_{20} y disminuye después del Q_{90} , donde el proyecto diseñado con el Q_{90} es el que presenta mayor tasa interna de retorno.

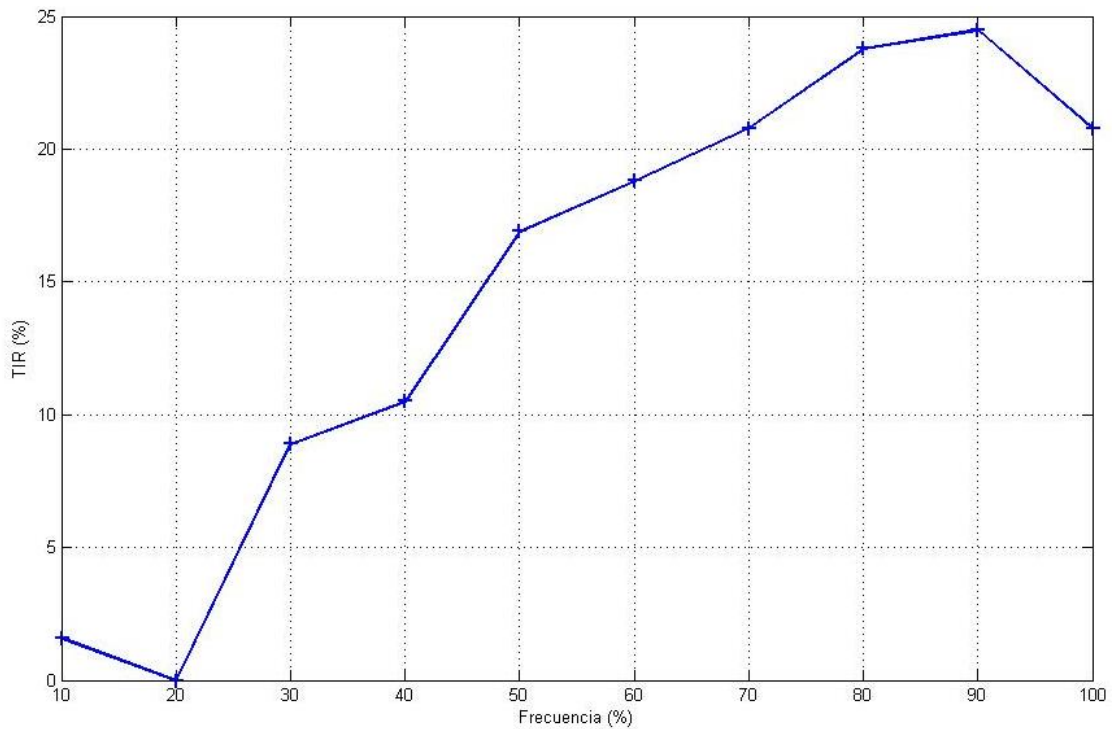


Figura 24. Comportamiento de la tasa interna de retorno con la curva de duración de caudales.

El criterio de valor presente neto permite ordenar los proyectos por nivel de importancia de acuerdo a las ganancias que representan actualmente, estando en el siguiente orden: el proyecto diseñado con el Q_{70} , Q_{60} , Q_{80} , Q_{50} , Q_{90} , Q_{40} , Q_{30} y Q_{100} , los proyectos diseñados con el Q_{20} y Q_{10} se descartan pues la inversión no se recupera. En la figura 25 se puede ver que los proyectos más interesantes son los diseñados del Q_{50} al Q_{90} .

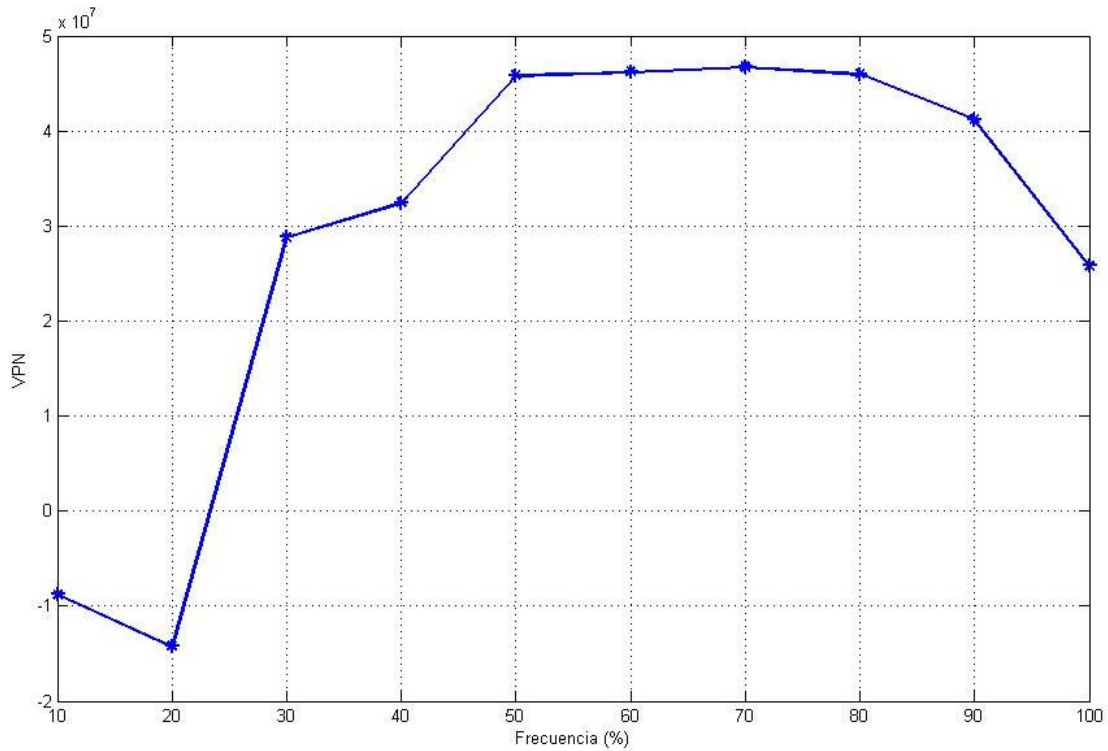


Figura 25. Variación del valor presente neto con la curva de duración de caudales.

CAPÍTULO V.
CONCLUSIONES

La planeación en el sector energético de manera global facilita el desarrollo de generación de energía con fuentes renovables como las pequeñas centrales hidroeléctricas. Para dicha planeación es necesario conocer el potencial que existe para esta fuente de energía en México. En este trabajo se desarrolló una metodología para determinar el potencial hidroeléctrico disponible para PCHs que da resultados aceptables en el estudio de reconocimiento e identificación de proyectos y permite visualizar y tener en cuenta los sitios más apropiados para llevar a cabo las siguientes etapas de planeación. Con respecto al modelo hidrológico implementado y los resultados obtenidos se concluye lo siguiente:

1. El modelo *Soil Moisture Accounting* es una buena herramienta para conocer el caudal medio en cuencas no aforadas siempre y cuando se tenga información confiable para realizar la calibración y validación de los parámetros que se incluyen en el modelo.
2. El modelo SMA permite obtener una curva de duración de caudales por sitio elegido y utilizarla para el diseño de las pequeñas centrales hidroeléctricas en la etapa del estudio de factibilidad.
3. El uso del modelo requiere de experiencia, pues pequeñas variaciones en los parámetros más sensibles pueden dar resultados completamente diferentes.
4. Las curvas de duración de caudales obtenidas con los caudales simulados son similares a las curvas obtenidas con los datos medidos, en las que por lo menos el 60% de los datos se encuentran por debajo de la media, de acuerdo con la curva de frecuencias, por lo que se puede inferir que el modelo es válido para determinar el caudal presente en el río el 90% del año para el diseño de una PCH utilizando la curva de duración de caudales.
5. En la cuenca del río Alto Amacuzac se encontraron 672 sitios con potencial básico bruto disponible de 54,724.17 kW, y al realizar la exclusión de sitios ubicados en las áreas naturales protegidas se obtuvieron 578 sitios con un potencial bruto disponible de 49,227.00 kW, esto es, se determinaron los sitios que al evaluar un aspecto técnico como el uso de suelo no presentarán dificultades para llevarlos a la etapa de factibilidad.
6. En la evaluación realizada para los sitios disponibles, el costo aproximado de inversión en una PCH es de \$3,672,636 en promedio, y los costos variaron de \$86,357 para el caso de la PCH con menor potencial a \$43,781,104 para la del potencial mayor encontrado.
7. Del estudio de factibilidad que se realizó para un caso específico se puede deducir que el Q_{90} es una buena alternativa para el diseño de PCH al hilo de agua. La evaluación de los proyectos permite ver la factibilidad económica que tiene la construcción de una pequeña central hidroeléctrica y da elementos para invertir capital en esta forma de energía.
8. El método propuesto es simple y se puede aplicar teniendo conocimientos básicos de sistemas de información geográfica. No es necesario aprender el manejo de un software complejo para poder localizar los sitios factibles para construir pequeñas centrales hidroeléctricas.

9. El método desarrollado en este trabajo permite obtener una estimación del potencial que se podría explotar en la cuenca hidrológica Alto Amacuzac y tiene ciertas ventajas comparado con otros métodos. En este estudio se utiliza información de fácil acceso que puede obtenerse a través del INEGI.

**BIBLIOGRAFÍA Y FUENTES
CONSULTADAS**

1. Aparicio, M. F. J. *Fundamentos de Hidrología de Superficie*. 2a ed. Ed. Limusa, México, 2010.
2. Bennett, T. H. *Development and Application of a Continuous Soil Moisture Accounting Algorithm for the Hydrologic Engineering Center Hydrologic Modeling System (HEC-HMS)*. Thesis (M.S.), Univ. of California, Davis, 1998.
3. Breña, P. A. F. *Precipitación y Recursos Hidráulicos en México*. Universidad Autónoma Metropolitana. México, 2004.
4. Cabrera, J. *Calibración de Modelos Hidrológicos*. Universidad Nacional de Ingeniería. Facultad de Ingeniería Civil. 2013.
5. Camacho, S. J. M. *Jornada estatal de coordinación con entidades municipales de agua y saneamiento: Operación y atención a emergencias (Valle de Bravo-Ixtapan de la Sal)*. México 2013.
6. Campos, A. D. F. *Estimación y aprovechamiento del escurrimiento*. Enero, 2007.
7. Comisión Nacional de Agua (CNA). *Banco Nacional de Datos de Aguas Superficiales*. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA). Actualización hasta 2006. Jiutepec Morelos, 2013.
8. Comisión Nacional del Agua (CNA). *Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento. Datos básicos*. México, D.F., 2007.
9. Fritz, J. J. *Small and mini hydropower systems. Resources Assessment and Project Feasibility*. USA, 1984.
10. Góngora V., C. A. *Micro Turbinas para pequeños aprovechamientos hidroeléctricos. Turbina Michell-Banki*. Universidad Nacional de Córdoba. Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Tesis de Maestría. Argentina, 2012.
11. González, S. J.M. *La generación eléctrica a partir de combustibles fósiles*. Divulgación. Boletín IIE. Oct-dic 2009.
12. Grupo de Emisarios Submarinos e Hidráulica Ambiental Universidad de Cantabria, Gobierno de Cantabria (Consejería de Medio Ambiente) y Empresa de residuos de Cantabria. *Plan de Investigación integral para la caracterización y diagnóstico ambiental de los sistemas acuáticos de Cantabria. Estudio de recursos hídricos. Anexo2: Descripción y características del programa HEC-HMS*. Santander, 2004.
13. Hall, D. G. *Hydropower Resource Assessment of Brazilian Streams. HydroVision Brazil*. September 2011.
14. Idaho National Laboratory. *Feasibility Assessment of the Water Energy Resources of the United States for New Low Power and Small Hydro Classes of Hydroelectric Plants*. Junio, 2006.
15. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA). *Base de datos meteorológica nacional (CLICOM)*. Actualización hasta 2012. IMTA-Comisión Nacional de Agua, SEMARNAT. Jiutepec Morelos, 2012.
16. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA). *Banco Nacional de Datos de Aguas Superficiales (BANDAS)*. Actualización hasta 2006. IMTA-Comisión Nacional de Agua, SEMARNAT. Jiutepec Morelos, 2012.

17. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA) y Comisión Federal de Electricidad (CFE). *Identificación y evaluación de proyectos minihidroeléctricos en las cuencas de los ríos Nautla y Tecolutla, ubicadas en los estados de Puebla y Veracruz*. Informe Técnico. Proyecto TH0659.3. Convenio de Colaboración CFE – IMTA: SC – CPH – 08. Presentado a la Comisión Federal de Electricidad Coordinación de Proyectos Hidroeléctricos. Diciembre de 2007.
18. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). *Guía para la interpretación de cartografía: edafológica. Capítulo2: Interpretación de la carta*. México 2004.
19. Méndez, G. J., Nívar, Ch J. de J. y González, O. V. *Análisis de tendencias de precipitación (1920-2004) en México*. Revista: Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM. ISSN 0188-4611, Núm. 65, pp. 38-55, 2008.
20. Molnar, P. "Calibration". *Watershed Modelling*. Institute of Environmental Engineering, Chair of Hydrology and Water Resources Management, ETH Zürich. Switzerland. 2011.
21. Moriasi, D. N., Arnold, J. G., Van Liew, M. W., Bingner, R.D. Harmel, R. L. and T. L. Veith, T.L. 2007. *Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations*. Transactions of the ASABE. Volume 50, Issue 3, Pages 885-900. May 2007.
22. Nash, J. E. and Sutcliffe, J.V. *River flow forecasting through conceptual models part 1-A discussion of principles*. Journal of Hydrology 10 (1970) 282-290. North-Holland Publishing Co., Amsterdam, 1970.
23. NIPSA y Masons Buxeda Menchén. *Plan Estratégico del Sector Energético de la República del Paraguay 2004-2013*. Asunción: VMME. Paraguay, 2004.
24. Ortiz F., R. *Pequeñas Centrales Hidroeléctricas. Construcción paso a paso*. Bogotá, Colombia, 2011.
25. Ramírez G., C. A. *Revisión del estado del arte en manuales de diseño de pequeñas centrales hidroeléctricas*. Universidad Tecnológica de Pereira. Facultad de Tecnología. 2012.
26. Roy D., Begam S., Ghosh S. and Jana S. *Calibration and validation of HEC-HMS model for a river basin in eastern India*. Journal of Engineering and Applied Sciences, Vol. 8, no. 1, January 2013.
27. Secretaría de Energía. *Prospectiva de energías renovables 2012-2026*. México 2012.
28. Sotelo Ávila G. *Hidráulica General: Fundamentos. Volumen 1*. Editorial Limusa. México 2011.
29. Structuralia y Universidad Pontificia Comillas Madrid. *Master en generación eléctrica. Promoción, tecnología y explotación. Modulo 9: Centrales hidráulicas y minihidráulicas*. México 2014.
30. Tinna Þórarinsdóttir. *Development of a methodology for estimation of technical hydropower potential in iceland using high resolution hydrological modeling*. National Energy Authority. March 2012.
31. Torres R., F. y Gómez M., E. *Energías renovables para el desarrollo sustentable en México*. Secretaría de energía. México 2006.
32. Valdez Ingenieros S.A. de C.V. *Estimación del Recurso para Pequeña, Mini y Micro Hidroenergía. Aplicaciones en México*. Anexo 8. Agosto de 2005.
33. <http://www.aguaysig.com/search/label/Hydrology> (consultado en enero de 2014).

34. [http://webhelp.esri.com/arcgisdesktop/9.2/index.cfm?topicname=natural_breaks_\(jenks\)](http://webhelp.esri.com/arcgisdesktop/9.2/index.cfm?topicname=natural_breaks_(jenks)) (consultado en abril de 2014).
35. <http://www.turbinas3hc.com/turbinas.html> (consultado en septiembre de 2014).
36. http://www.banxico.org.mx/portal_disf/wwwProyectoInternetTPA.jsp (consultada en septiembre de 2014).

ANEXOS

Anexo A. Calibración y validación de parámetros para la cuenca Texcaltitlan

A.1. Simulación con los parámetros iniciales.

Tabla a.1. Valor de los parámetros iniciales.

Parámetro	Unidades	Valor inicial
Canopy Capacity	mm	1.500
Canopy Initial Storage Percentage	%	0.001
Clark Storage Coefficient	h	846.000
Clark Time of Concentration	h	2.110
Groundwater 1 Capacity	mm	20.000
Groundwater 1 Initial Storage Percentage	%	0.001
Groundwater 1 Percolation Rate	mm/h	0.500
Groundwater 1 Storage Coefficient	h	3300.000
Groundwater 2 Capacity	mm	16.600
Groundwater 2 Initial Storage Percentage	%	0.001
Groundwater 2 Percolation Rate	mm/h	2.000
Groundwater 2 Storage Coefficient	h	3522.000
Linear Reservoir GW 1 Coefficient	h	3300.000
Linear Reservoir GW 1 Steps		2.000
Linear Reservoir GW 2 Coefficient	h	3522.000
Linear Reservoir GW 2 Steps		2.000
Soil Capacity	mm	2.500
Soil Infiltration Rate	mm/h	2.140
Soil Initial Storage Percentage	%	0.001
Soil Percolation Rate	mm/h	0.400
Surface Capacity	mm	0.996
Surface Initial Storage Percentage	%	0.001
Tension Zone Capacity	mm	0.500

En la cuenca Texcaltitlan se tiene un caudal pico observado de 5.7 m³/s en el periodo de simulación del 01/ene/1982 al 31/dic/1984, pero se obtuvo un gasto pico simulado de 5.8 m³/s. El índice de Nash-Sutcliffe de 0.035 indica que la bondad de ajuste del modelo es insuficiente por lo que es necesario optimizar los parámetros.

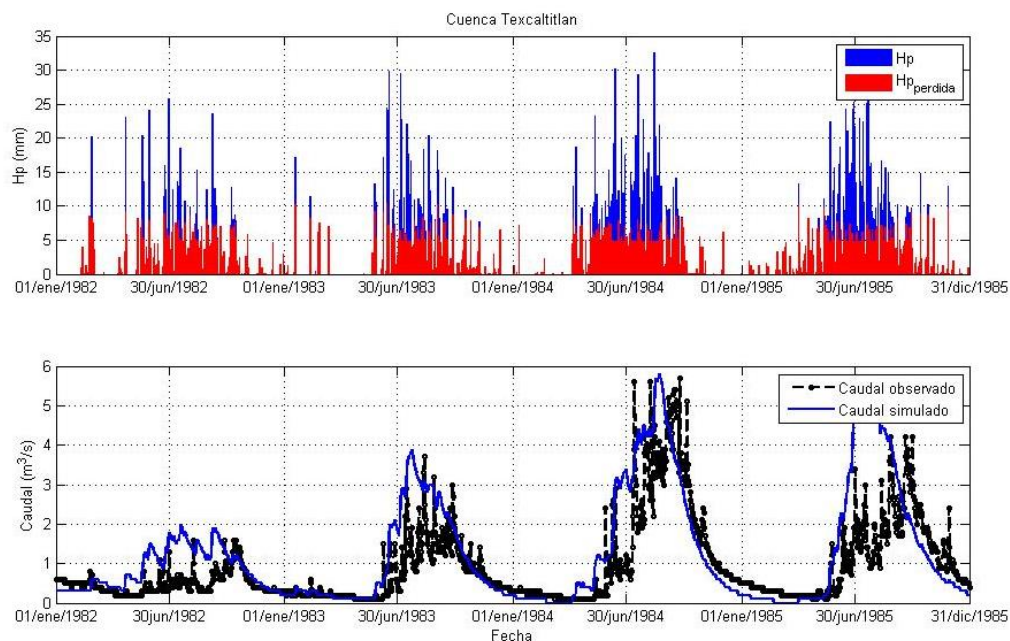


Figura a.1. Hidrograma obtenido con los parámetros iniciales.

A.2. Resultados de la optimización de parámetros

Al optimizar los parámetros se obtiene un gasto pico simulado de $4.5 \text{ m}^3/\text{s}$ y el índice de Nash-Sutcliffe de 0.37, en este caso ya es satisfactorio el ajuste que realiza el modelo sobre el hidrograma observado.

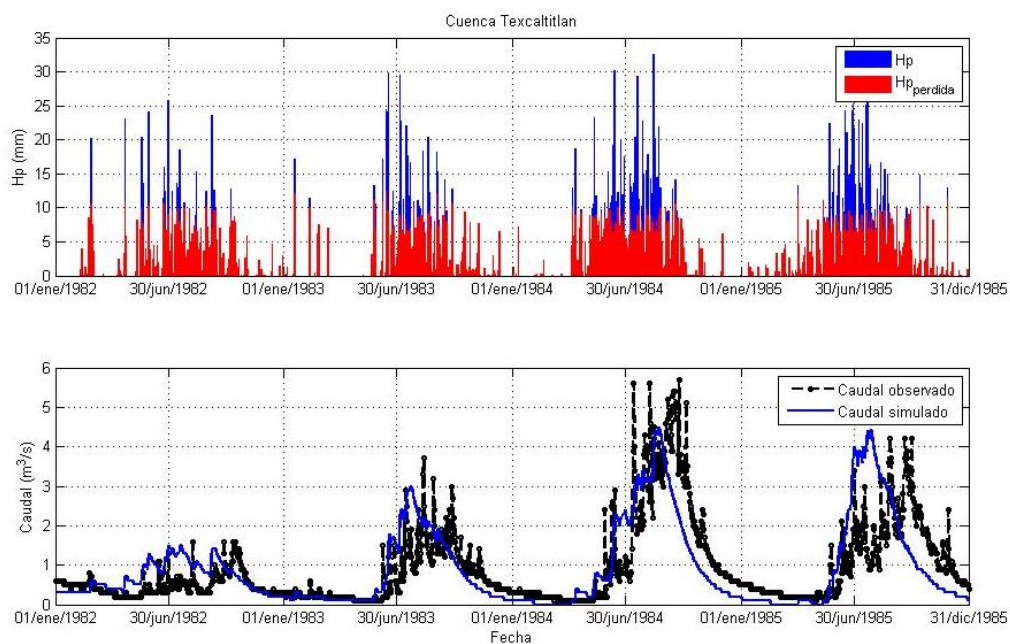


Figura a.2. Optimización de parámetros para la cuenca Texcaltitlan.

A.3. Resultados de la validación de parámetros para la cuenca Texcaltitlan.

El modelo representa satisfactoriamente el volumen acumulado bajo el hidrograma. Donde el coeficiente de Nash-Sutcliffe es de 0.92.

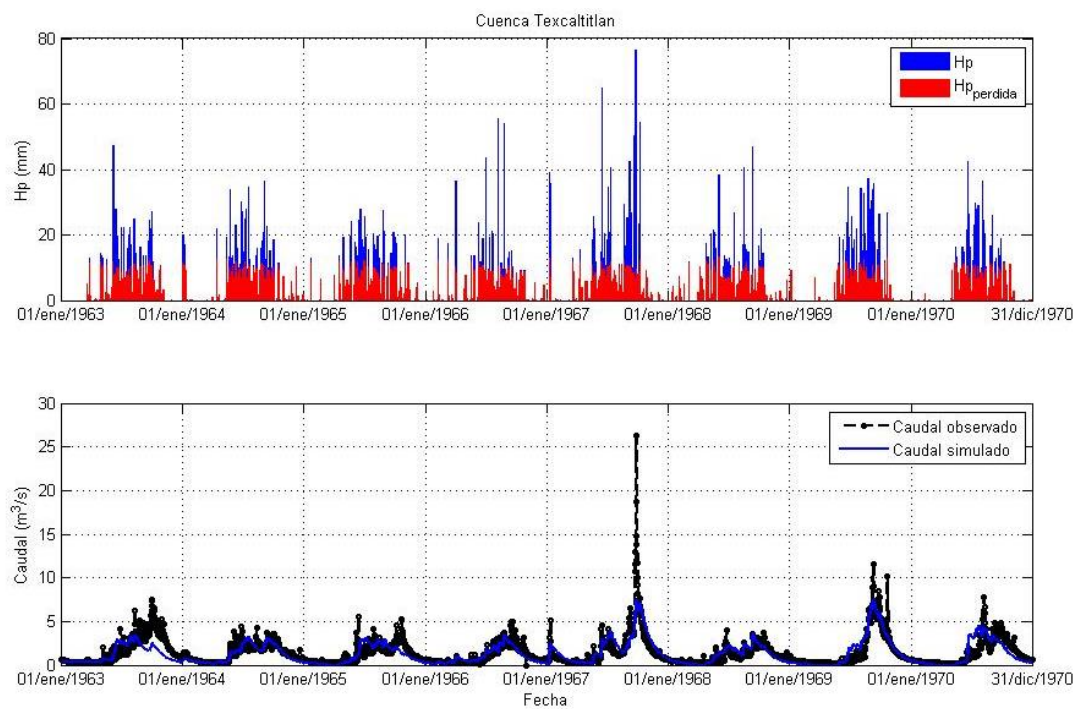


Figura a.3. Simulación para validar los parámetros obtenidos.

Anexo B. Calibración y validación de parámetros para la cuenca Coatepequito

B.1. Simulación con los parámetros iniciales

Tabla b.1. Valor de los parámetros iniciales.

Parámetro	Unidades	Valor inicial
Canopy Capacity	mm	1.10
Canopy Initial Storage Percentage	%	0.10
Clark Storage Coefficient	h	780.00
Clark Time of Concentration	h	5.98
Groundwater 1 Capacity	mm	45.00
Groundwater 1 Initial Storage Percentage	%	0.11
Groundwater 1 Percolation Rate	mm/h	0.76
Groundwater 1 Storage Coefficient	h	6000.00
Groundwater 2 Capacity	mm	38.00
Groundwater 2 Initial Storage Percentage	%	0.11
Groundwater 2 Percolation Rate	mm/h	1.50
Groundwater 2 Storage Coefficient	h	4750.00
Linear Reservoir GW 1 Coefficient	h	6000.00
Linear Reservoir GW 1 Steps		15.00
Linear Reservoir GW 2 Coefficient	h	4750.00
Linear Reservoir GW 2 Steps		15.00
Soil Capacity	mm	2.80
Soil Infiltration Rate	mm/h	1.57
Soil Initial Storage Percentage	%	0.12
Soil Percolation Rate	mm/h	0.64
Surface Capacity	mm	1.12
Surface Initial Storage Percentage	%	0.11
Tension Zone Capacity	mm	0.68

Para la cuenca Coatepequito, el gasto pico observado en el periodo del 1 de enero de 2001 al 31 de diciembre de 2005 es de 54.4 m³/s y el obtenido de 21.5 m³/s. De acuerdo con el índice de Nash-Sutcliffe la simulación es satisfactoria, pero de acuerdo al criterio del 10% de error en el volumen la simulación no cumple con este requisito.

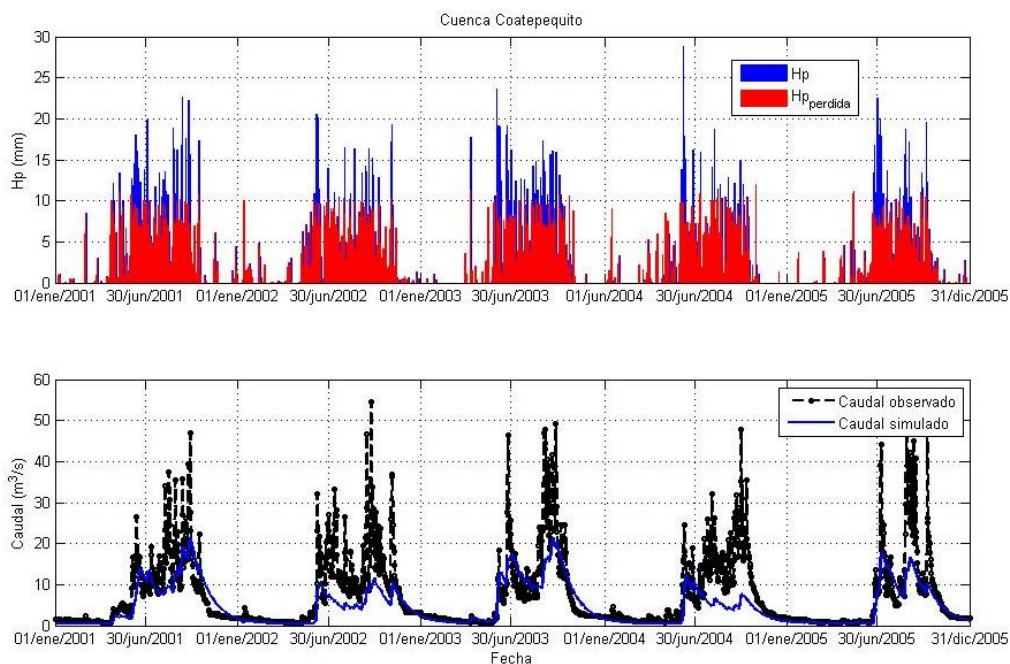


Figura b.1. Hidrograma obtenido con los parámetros iniciales.

B.2. Resultados de la optimización de parámetros

En este caso el caudal pico simulado es de $30.2 \text{ m}^3/\text{s}$ y el índice de Nash-Sutcliffe es de 0.577. El volumen obtenido está dentro de un rango permisible.

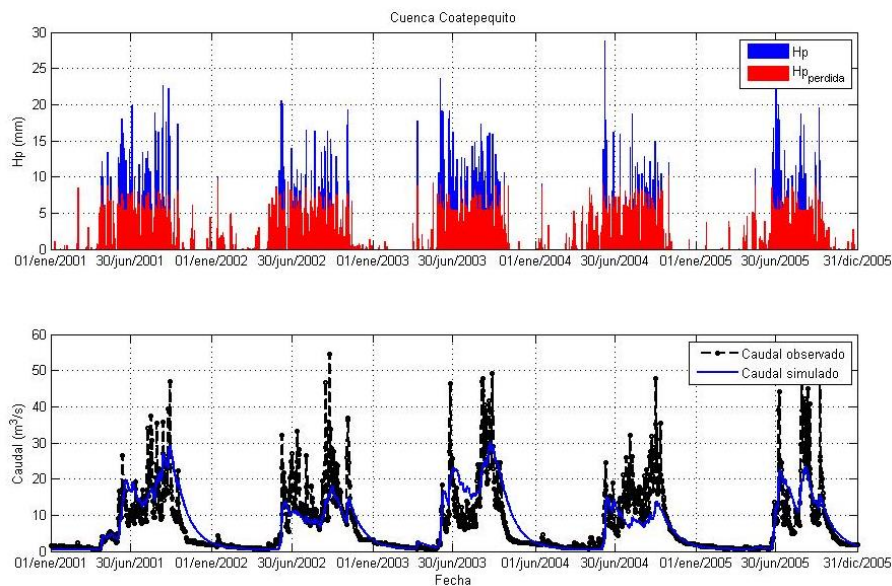


Figura b.2. Hidrograma obtenido con los parámetros optimizados.

B.3. Resultados de la validación de parámetros para la cuenca Coatepequito

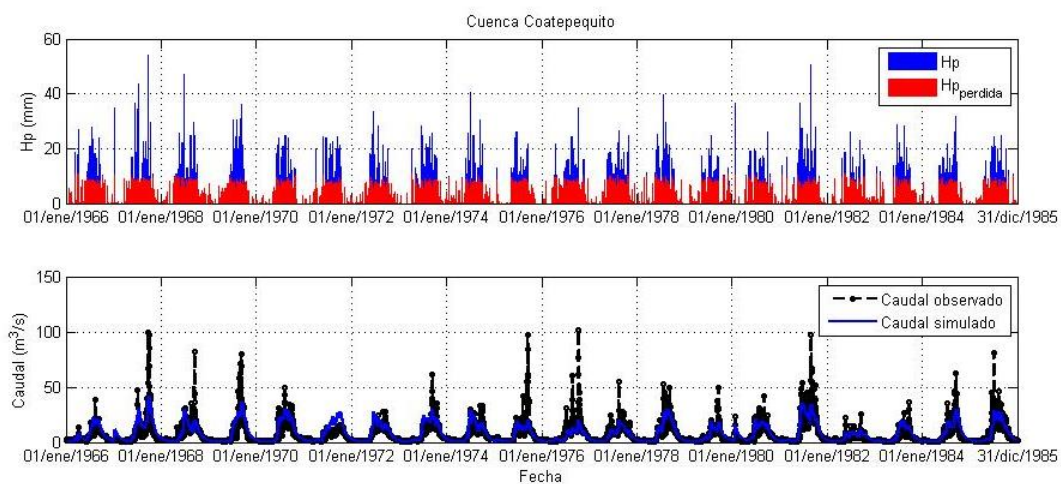


Figura b.3. Hidrograma obtenido para validar los parámetros.

Anexo C. Calibración y validación de parámetros para la cuenca Chontalcuatlán

C.1. Simulación con los parámetros iniciales.

Tabla c.1. Valor de los parámetros iniciales.

Parámetro	Unidades	Valor inicial
Canopy Capacity	mm	1.000
Canopy Initial Storage Percentage	%	0.001
Clark Storage Coefficient	h	780.000
Clark Time of Concentration	h	8.210
Groundwater 1 Capacity	mm	55.000
Groundwater 1 Initial Storage Percentage	%	0.001
Groundwater 1 Percolation Rate	mm/h	0.800
Groundwater 1 Storage Coefficient	h	7000.000
Groundwater 2 Capacity	mm	50.000
Groundwater 2 Initial Storage Percentage	%	0.001
Groundwater 2 Percolation Rate	mm/h	0.800
Groundwater 2 Storage Coefficient	h	6000.000
Linear Reservoir GW 1 Coefficient	h	7000.000
Linear Reservoir GW 1 Steps		18.000
Linear Reservoir GW 2 Coefficient	h	6000.000
Linear Reservoir GW 2 Steps		18.000
Soil Capacity	mm	2.000
Soil Infiltration Rate	mm/h	0.070
Soil Initial Storage Percentage	%	0.001
Soil Percolation Rate	mm/h	0.600
Surface Capacity	mm	1.000
Surface Initial Storage Percentage	%	0.001
Tension Zone Capacity	mm	0.500

Para cuenca Chontalcuatlán, el gasto pico observado durante el periodo comprendido del 1 de enero de 1982 al 31 de diciembre de 1985 es de 141 m³/s y el obtenido de 100 m³/s, de acuerdo con el índice de Nash-Sutcliffe de 3.282 la simulación no es satisfactoria.

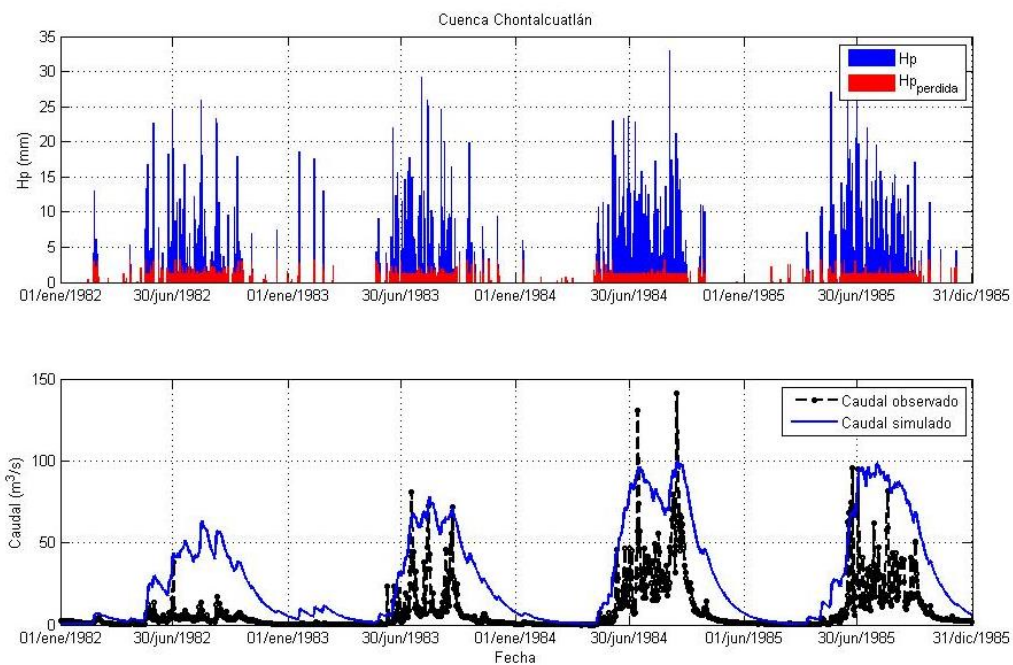


Figura c.1. Hidrograma obtenido con los parámetros iniciales.

C.2. Resultados de la optimización de parámetros

En este caso el caudal pico simulado es de $41.9 \text{ m}^3/\text{s}$ y el índice de Nash-Sutcliffe de 0.526.

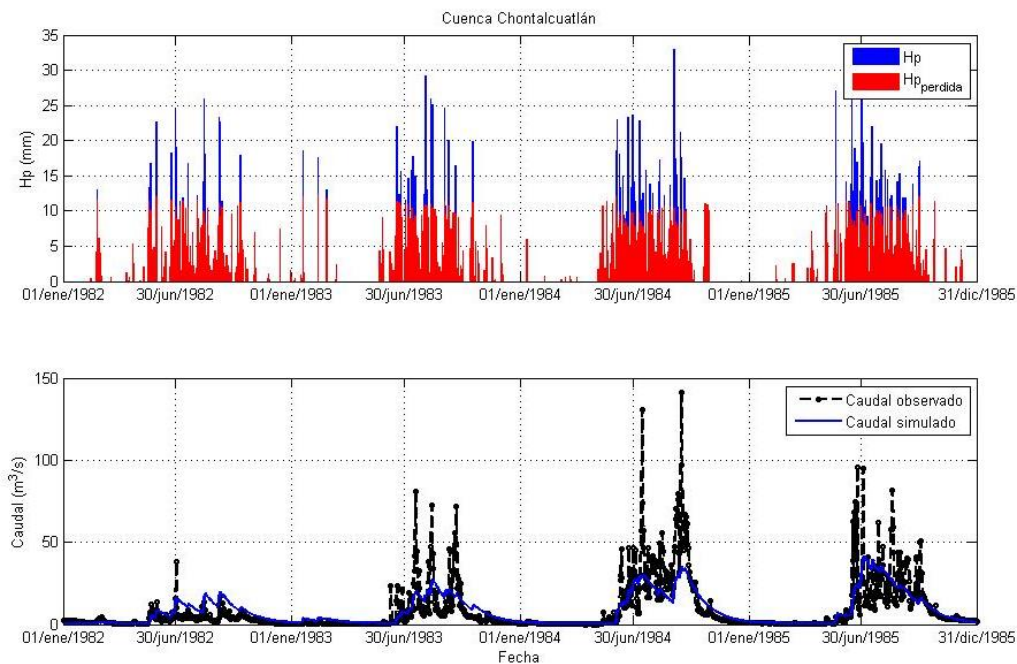


Figura c.2. Hidrograma obtenido con los parámetros optimizados.

C.3. Resultados de la validación de parámetros para la cuenca Chontalcuatlán.

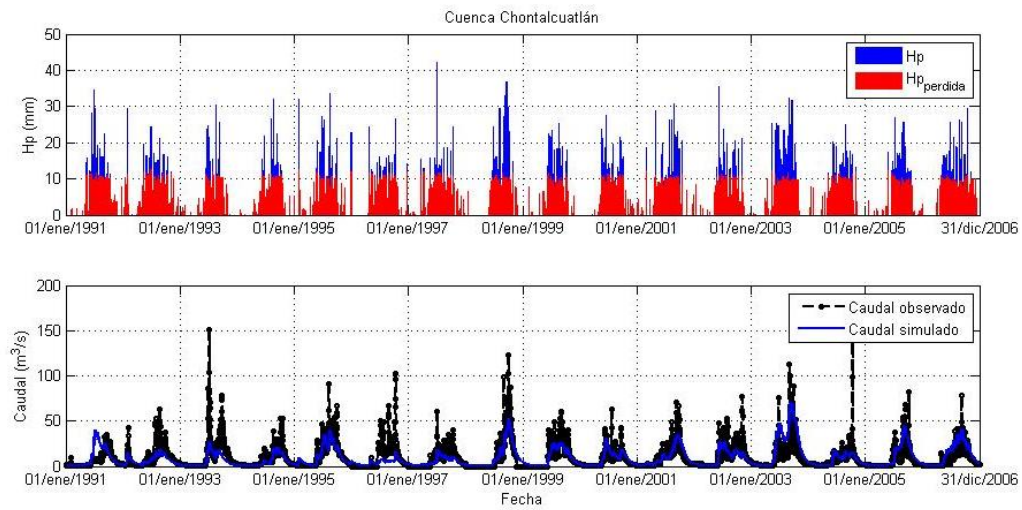


Figura c.3. Hidrograma obtenido para validar los valores de los parámetros.

Anexo D. Calibración y validación de parámetros para la cuenca Dos Bocas

D.1. Simulación con los parámetros iniciales

Tabla d.1. Valores de los parámetros iniciales.

Parámetro	Unidades	Valor inicial
Canopy Capacity	mm	1.100
Canopy Initial Storage Percentage	%	0.076
Clark Storage Coefficient	h	780.000
Clark Time of Concentration	h	10.100
Groundwater 1 Capacity	mm	55.100
Groundwater 1 Initial Storage Percentage	%	0.072
Groundwater 1 Percolation Rate	mm/h	0.870
Groundwater 1 Storage Coefficient	h	7000.000
Groundwater 2 Capacity	mm	50.000
Groundwater 2 Initial Storage Percentage	%	0.079
Groundwater 2 Percolation Rate	mm/h	0.880
Groundwater 2 Storage Coefficient	h	6000.000
Linear Reservoir GW 1 Coefficient	h	7000.000
Linear Reservoir GW 1 Steps		28.000
Linear Reservoir GW 2 Coefficient	h	6000.000
Linear Reservoir GW 2 Steps		28.000
Soil Capacity	mm	2.100
Soil Infiltration Rate	mm/h	1.000
Soil Initial Storage Percentage	%	0.100
Soil Percolation Rate	mm/h	0.680
Surface Capacity	mm	1.100
Surface Initial Storage Percentage	%	0.074
Tension Zone Capacity	mm	0.540

Para la cuenca Dos Bocas, el periodo de simulación es del 1 de enero de 2001 al 31 de diciembre de 2005. El gasto pico observado es de 122.2 m³/s y el obtenido de 85.1 m³/s, de acuerdo con el índice de Nash-Sutcliffe (0.527) la simulación es satisfactoria, pero el volumen obtenido no es muy representativo del volumen bajo el hidrograma observado.

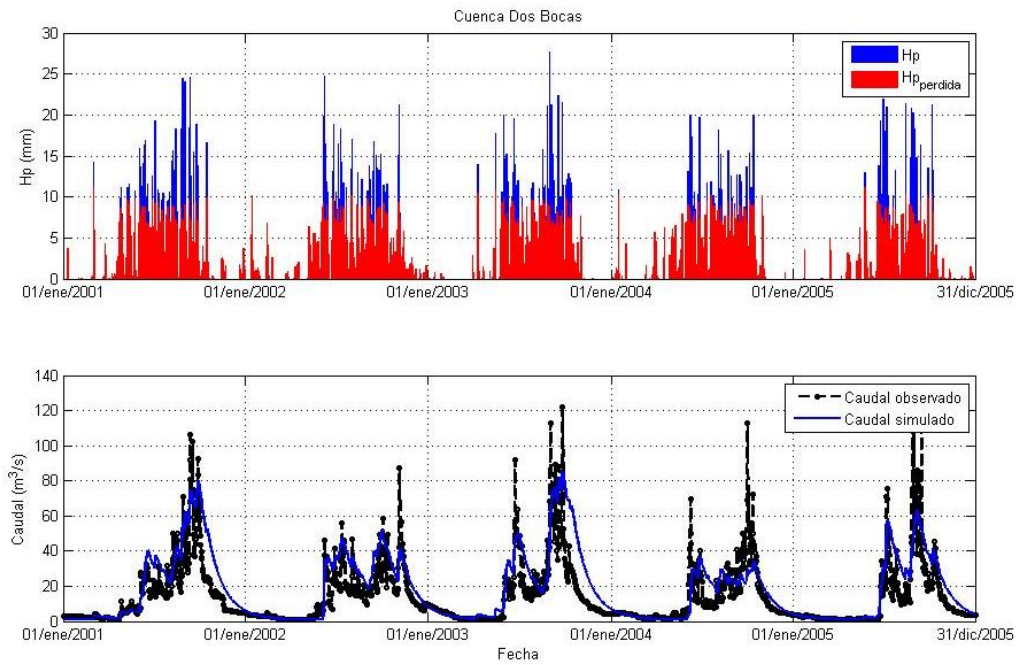


Figura d.1. Hidrograma obtenido con los parámetros iniciales.

D.2. Resultados de la optimización de parámetros

En este caso el caudal pico obtenido es de $69.4 \text{ m}^3/\text{s}$ y el índice de Nash-Sutcliffe de 0.659.

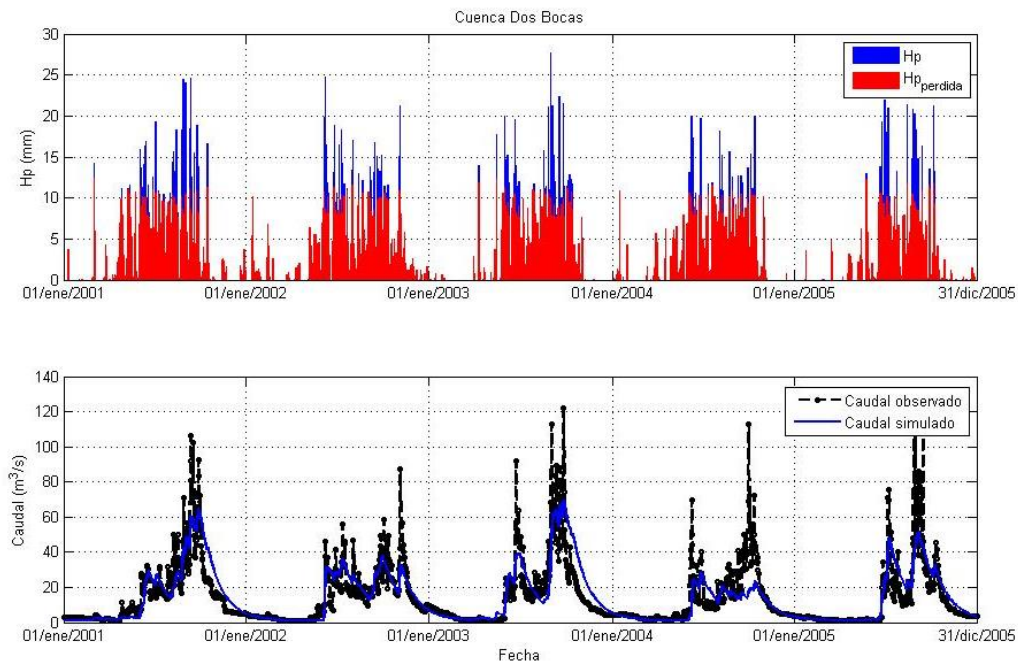


Figura d.2. Hidrograma obtenido con los parámetros optimizados.

D.3. Resultados de la validación de parámetros para la cuenca Dos Bocas.

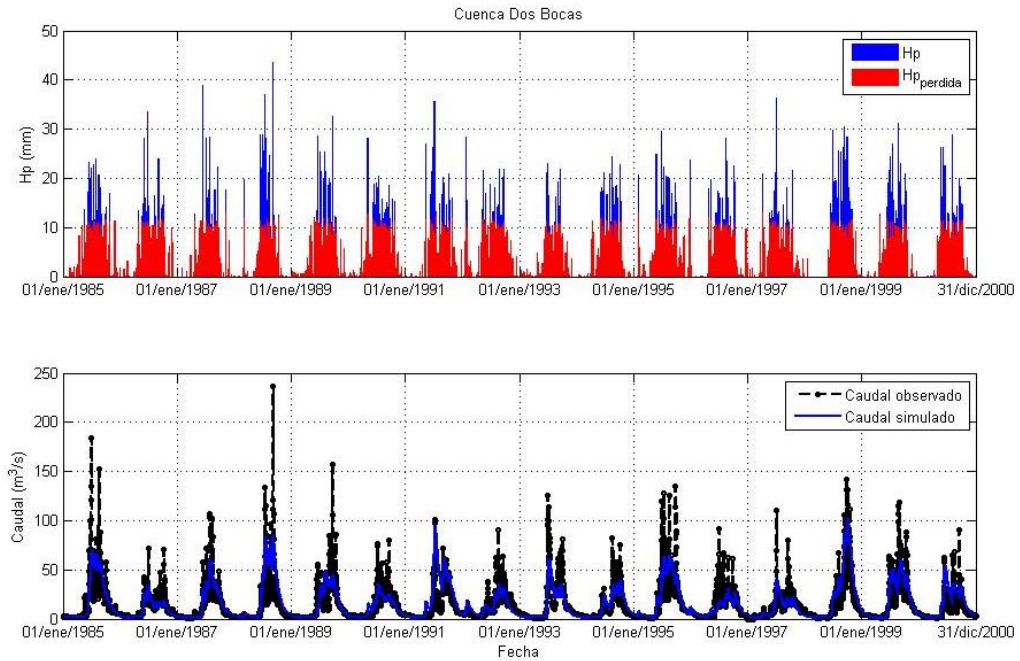


Figura d.3. Hidrograma obtenido para validar los parámetros.

Anexo E. Calibración y validación de parámetros para la cuenca Amacuzac

E.1. Simulación con los parámetros iniciales

Tabla e.1. Valores de los parámetros iniciales.

Parámetro	Unidades	Valor inicial
Canopy Capacity	mm	1.08
Canopy Initial Storage Percentage	%	0.076
Clark Storage Coefficient	h	780
Clark Time of Concentration	h	11.13
Groundwater 1 Capacity	mm	55.1
Groundwater 1 Initial Storage Percentage	%	0.073
Groundwater 1 Percolation Rate	mm/h	0.87
Groundwater 1 Storage Coefficient	h	7000
Groundwater 2 Capacity	mm	50.1
Groundwater 2 Initial Storage Percentage	%	0.08
Groundwater 2 Percolation Rate	mm/h	0.68
Groundwater 2 Storage Coefficient	h	6000.1
Linear Reservoir GW 1 Coefficient	h	7000
Linear Reservoir GW 1 Steps		30
Linear Reservoir GW 2 Coefficient	h	6000.1
Linear Reservoir GW 2 Steps		30
Soil Capacity	mm	2.1
Soil Infiltration Rate	mm/h	1
Soil Initial Storage Percentage	%	0.1
Soil Percolation Rate	mm/h	0.68
Surface Capacity	mm	1.09
Surface Initial Storage Percentage	%	0.074
Tension Zone Capacity	mm	0.54

Se realizó la simulación de la cuenca Amacuzac durante el periodo del 1 de enero de 2001 al 31 de diciembre de 2005 y se obtuvieron los siguientes resultados: el caudal pico observado es de 191.8 m³/s y el simulado de 79.8 m³/s. El índice de Nash-Sutcliffe es de 0.624

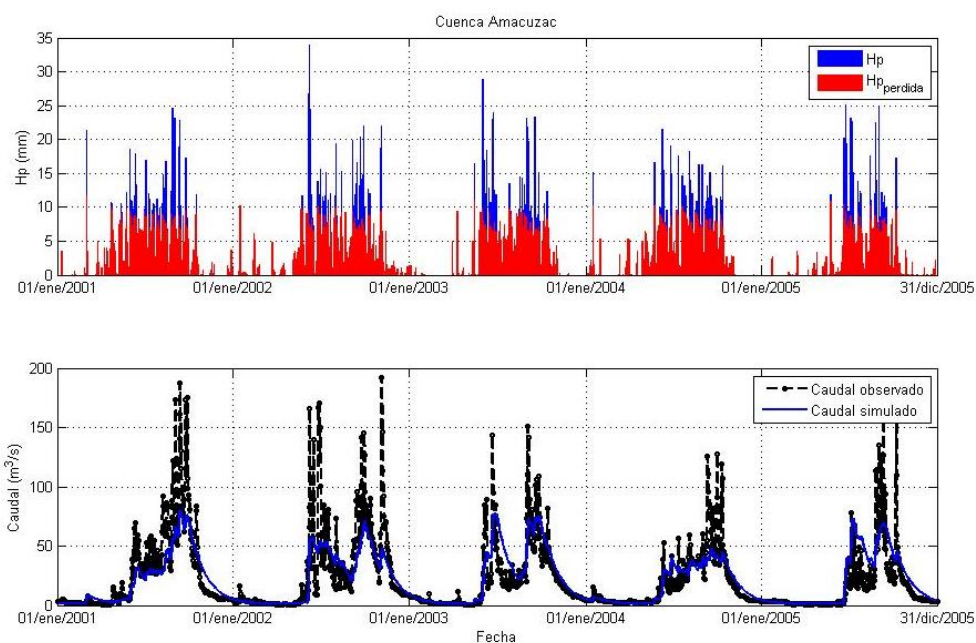


Figura e.1. Hidrograma obtenido con los parámetros iniciales.

E.2. Resultados de la optimización de parámetros

El caudal pico obtenido es de $82 \text{ m}^3/\text{s}$ y el índice de Nash-Sutcliffe de 0.63.

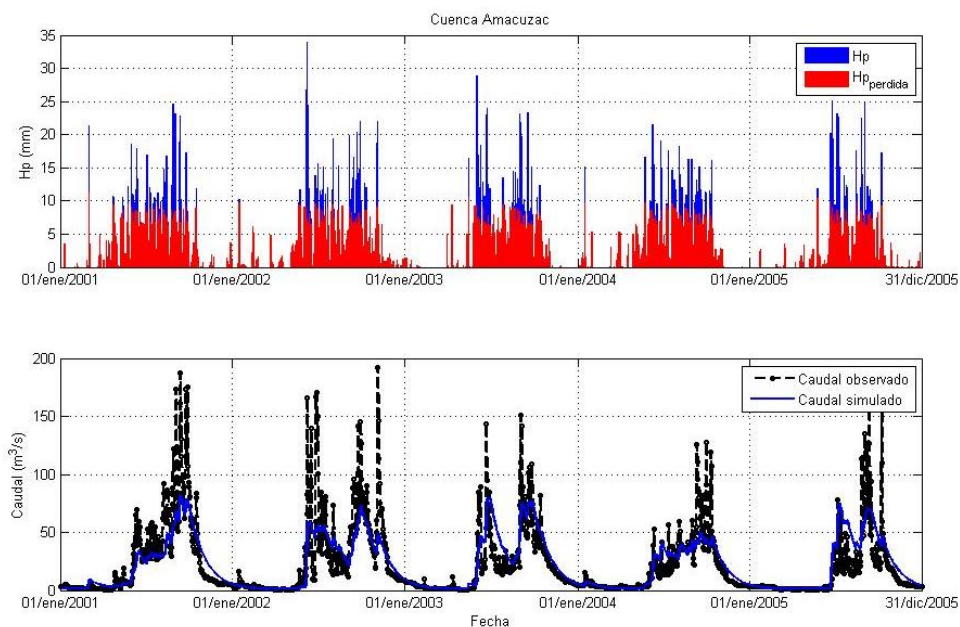


Figura e.2. Hidrograma obtenido con los parámetros optimizados.

E.3. Resultados de la validación de parámetros para la cuenca Amacuzac.

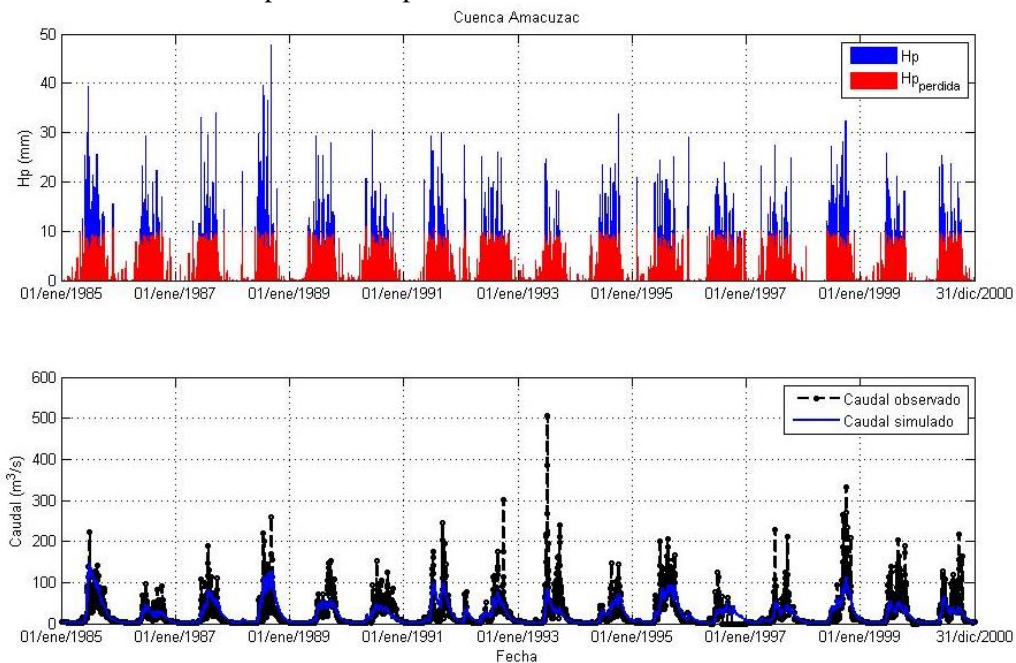


Figura e.3. Hidrograma obtenido para validar los parámetros.

Anexo F. Sitios disponibles para construir pequeñas centrales hidroeléctricas localizados en la cuenca Alto Amacuzac.

Tabla f.1. Localización de los sitios disponibles.

Sitio	Código	Desnivel [m]	Distancia [m]	Pendiente media	A (cuenca) [Km ²]	Q [m ³ /s]	Potencia_bruta [kW]	Coordenada Y	Coordenada X
1	23	82.8	1754.9	0.047	27.49	0.250	203.2	2,095,009.008	427,021.993
2	99	5.2	130.5	0.040	20.05	0.156	7.9	2,070,013.009	420,986.993
3	107	17.6	257.5	0.068	11.04	0.220	37.9	2,069,313.009	418,833.993
4	199	70.3	1027.8	0.068	10.75	0.075	51.7	2,100,231.007	421,948.993
5	208	59.9	613.7	0.098	61.57	0.520	305.5	2,081,065.008	436,243.992
6	282	74.6	2122.6	0.035	45.93	0.290	212.1	2,097,597.007	429,966.994
7	287	46.1	958.0	0.048	72.89	0.480	217.2	2,076,676.009	428,107.993
8	326	59.8	1000.9	0.060	24.42	0.200	117.4	2,098,992.008	415,354.994
9	352	3.5	116.3	0.030	21.92	0.280	9.7	2,052,843.008	453,644.993
10	388	65.2	1290.0	0.051	26.02	0.200	127.9	2,105,192.684	430,792.139
11	398	13.4	235.3	0.057	673.67	2.920	383.7	2,072,913.471	439,454.085
12	401	4.5	107.5	0.042	591.81	3.000	132.2	2,078,008.008	423,984.993
13	434	60.1	1315.2	0.046	46.54	0.390	229.9	2,097,207.007	424,229.994
14	461	10.0	261.6	0.038	44.40	0.315	30.9	2,061,525.008	426,832.993
15	469	89.9	1035.2	0.087	3.80	0.051	45.0	2,086,078.009	438,359.993
16	491	60.7	830.1	0.073	44.85	0.248	147.7	2,099,735.008	431,976.993
17	494	5.7	143.4	0.040	8.06	0.070	3.9	2,095,650.009	423,831.993
18	500	3.7	91.2	0.041	17.43	0.155	5.7	2,072,443.008	421,732.994
19	508	23.8	215.9	0.110	8.73	0.170	39.8	2,100,943.008	400,844.994
20	524	13.9	384.9	0.036	16.32	0.160	21.7	2,094,704.008	428,077.992
21	528	21.3	670.5	0.032	23.12	0.200	41.7	2,080,016.222	429,014.622
22	529	18.1	237.3	0.076	17.29	0.180	32.0	2,104,406.623	416,597.679
23	609	8.0	264.1	0.030	150.55	1.300	102.2	2,062,711.008	437,686.993
24	619	6.6	187.1	0.035	7.67	0.060	3.9	2,071,787.008	414,419.993
25	682	42.7	881.2	0.048	15.36	0.920	385.0	2,093,914.007	420,023.994
26	694	10.2	136.4	0.075	11.13	0.095	9.5	2,071,677.008	418,078.994
27	695	6.0	190.1	0.032	12.89	0.088	5.2	2,079,134.007	415,193.993
28	710	5.4	146.9	0.037	5.13	0.056	3.0	2,084,714.009	425,784.994
29	756	41.9	427.0	0.098	7.90	0.062	25.5	2,080,827.009	409,337.994
30	811	13.1	285.0	0.046	18.19	0.185	23.8	2,103,635.642	416,632.379
31	834	40.9	1328.4	0.031	591.66	3.000	1203.2	2,078,115.009	423,977.993
32	843	3.9	61.6	0.064	5.33	0.037	1.4	2,062,034.008	420,744.993
33	878	50.2	1477.6	0.034	64.82	0.610	300.2	2,094,639.008	425,984.992
34	884	122.5	2121.7	0.058	55.03	0.510	612.6	2,098,112.008	413,753.994
35	910	38.2	636.1	0.060	12.26	0.098	36.8	2,062,407.009	422,758.993
36	934	38.8	488.0	0.080	8.29	0.070	26.7	2,100,934.008	421,276.993
37	940	19.5	250.8	0.078	13.09	0.192	36.7	2,048,676.008	451,712.994
38	955	6.1	182.3	0.033	29.96	0.230	13.8	2,081,623.008	413,534.994

Tabla f.1. Continuación...

Sitio	Código	Desnivel [m]	Distancia [m]	Pendiente media	A _(cuenca) [Km ²]	Q [m ³ /s]	Potencia_bruta [kW]	Coordenada Y	Coordenada X
39	996	71.8	2080.5	0.035	31.16	0.250	176.1	2,103,744.979	409,222.662
40	1029	3.6	113.0	0.032	6.25	0.056	2.0	2,084,194.007	425,830.993
41	1041	6.1	178.0	0.034	21.00	0.184	11.1	2,070,558.009	421,476.993
42	1043	16.0	291.5	0.055	141.85	1.100	172.9	2,071,691.009	425,530.993
43	1050	85.6	2549.3	0.034	51.26	0.330	277.0	2,093,654.008	429,517.993
44	1070	6.8	105.0	0.064	14.95	0.132	8.7	2,101,221.880	428,293.622
45	1188	12.3	403.9	0.030	172.90	1.100	132.3	2,069,856.007	434,336.992
46	1207	30.5	356.8	0.085	3.57	0.060	17.9	2,070,205.008	415,384.994
47	1226	12.7	147.4	0.086	61.78	0.500	62.4	2,091,964.009	429,600.993
48	1227	30.4	586.7	0.052	21.63	0.192	57.4	2,098,802.009	422,569.993
49	1249	6.0	191.3	0.031	18.85	0.250	14.6	2,050,754.008	453,955.993
50	1263	21.8	568.5	0.038	19.42	0.180	38.5	2,069,788.007	420,583.993
51	1289	6.3	145.4	0.043	8.54	0.071	4.4	2,098,193.009	427,459.993
52	1329	15.9	474.8	0.033	14.51	0.121	18.9	2,073,055.008	419,716.993
53	1348	15.8	294.3	0.054	170.31	1.430	222.2	2,063,451.009	439,002.993
54	1352	6.4	193.2	0.033	12.98	0.100	6.3	2,062,327.008	423,426.993
55	1358	67.6	1089.0	0.062	28.19	0.251	166.3	2,094,008.007	427,008.993
56	1384	11.7	235.3	0.050	14.70	0.120	13.7	2,095,590.007	411,068.993
57	1396	23.3	451.0	0.052	150.98	1.500	342.8	2,070,068.008	427,284.992
58	1415	32.3	960.8	0.034	15.57	0.195	61.8	2,095,190.008	427,892.993
59	1417	24.7	721.4	0.034	7.34	0.065	15.7	2,083,076.008	427,390.992
60	1430	17.3	104.5	0.166	1.95	0.020	3.4	2,076,735.008	413,032.993
61	1441	20.6	501.8	0.041	173.32	1.300	262.7	2,093,785.008	415,728.993
62	1454	6.9	157.8	0.044	18.32	0.251	17.0	2,054,790.009	447,609.993
63	1474	73.1	1095.0	0.067	104.16	0.070	50.2	2,096,887.007	415,012.993
64	1477	5.4	116.3	0.046	737.19	3.300	174.2	2,067,887.008	440,652.992
65	1478	18.9	469.8	0.040	162.66	0.915	170.0	2,094,042.009	415,307.993
66	1489	47.6	893.3	0.053	16.94	0.245	114.3	2,049,982.008	453,068.993
67	1532	19.8	195.0	0.102	7.67	0.155	30.1	2,101,300.343	401,144.146
68	1538	92.8	2235.0	0.042	27.89	0.205	186.6	2,103,311.244	431,207.482
69	1544	24.9	324.1	0.077	3.12	0.030	7.3	2,069,720.007	415,174.994
70	1554	68.7	957.7	0.072	160.97	0.900	606.4	2,095,089.008	414,668.993
71	1570	9.4	193.1	0.049	15.75	0.420	38.6	2,098,030.007	403,224.994
72	1574	32.8	491.9	0.067	12.83	0.093	29.9	2,081,186.009	410,690.994
73	1577	6.9	200.8	0.034	279.25	1.420	96.1	2,078,733.008	436,221.993
74	1578	5.9	142.3	0.042	25.44	0.180	10.4	2,074,138.007	418,412.994
75	1589	9.4	154.2	0.061	6.91	0.073	6.7	2,046,752.008	449,589.992
76	1615	39.4	1041.8	0.038	4.25	0.056	21.6	2,090,408.008	428,093.993
77	1625	19.3	260.4	0.074	15.05	0.110	20.8	2,106,623.466	417,182.024
78	1626	5.2	148.5	0.035	12.21	0.092	4.7	2,069,866.009	419,197.994
79	1639	17.3	328.5	0.053	18.74	0.095	16.1	2,072,683.008	416,971.994

Tabla f.1. Continuación...

Sitio	Código	Desnivel [m]	Distancia [m]	Pendiente media	A _(cuenca) [Km ²]	Q [m ³ /s]	Potencia_bruta [kW]	Coordenada Y	Coordenada X
80	1640	6.3	196.7	0.032	829.94	3.760	231.3	2,069,035.008	433,273.993
81	1647	42.6	371.3	0.115	38.02	0.251	104.8	2,096,887.007	415,012.993
82	1661	91.9	1396.9	0.066	8.45	0.085	76.6	2,088,010.008	411,569.993
83	1678	4.7	76.0	0.062	151.09	1.510	69.5	2,070,068.007	427,360.993
84	1683	22.5	479.5	0.047	4.98	0.080	17.7	2,070,744.008	416,743.994
85	1778	33.5	583.0	0.058	24.79	0.152	50.0	2,076,603.008	425,703.993
86	1785	44.3	429.0	0.103	10.31	0.092	40.0	2,071,112.007	417,914.994
87	1799	6.6	65.6	0.101	3.89	0.060	3.9	2,064,911.008	418,370.993
88	1807	12.7	283.5	0.045	12.58	0.098	12.2	2,062,431.007	423,036.993
89	1813	79.9	1269.8	0.063	14.00	0.390	305.7	2,098,298.008	403,566.993
90	1873	17.7	225.7	0.079	13.16	0.110	19.2	2,072,735.008	419,335.992
91	1878	31.6	299.5	0.106	12.51	0.097	30.1	2,072,280.008	418,871.994
92	1938	31.8	551.4	0.058	4.61	0.063	19.7	2,095,677.009	423,693.992
93	2004	74.5	589.5	0.126	5.27	0.050	36.5	2,088,727.007	409,637.993
94	2012	8.3	81.6	0.101	3.77	0.050	4.1	2,077,055.008	413,251.994
95	2026	10.6	245.3	0.043	12.43	0.094	9.7	2,070,073.008	419,321.994
96	2095	67.5	1358.9	0.050	25.19	2.100	1389.9	2,097,817.009	415,032.993
97	2120	31.5	570.0	0.055	15.14	0.100	30.9	2,105,900.112	412,612.451
98	2132	53.5	906.6	0.059	145.29	1.000	525.3	2,096,156.009	414,810.994
99	2145	9.1	271.0	0.034	317.96	1.900	169.4	2,079,584.009	418,594.992
100	2148	46.0	313.0	0.147	8.20	0.160	72.2	2,101,117.429	400,895.740
101	2164	81.6	1622.2	0.050	8.62	0.120	96.1	2,047,903.009	450,651.993
102	2174	9.3	300.2	0.031	17.41	0.131	12.0	2,061,920.007	425,769.993
103	2194	3.4	81.8	0.042	16.93	0.160	5.3	2,068,325.008	420,159.992
104	2217	59.7	810.0	0.074	14.77	0.079	46.3	2,103,492.845	429,445.225
105	2224	12.3	353.0	0.035	16.68	0.150	18.1	2,072,195.008	416,128.993
106	2240	27.6	451.5	0.061	13.52	0.120	32.4	2,070,807.007	419,426.993
107	2259	4.9	145.7	0.034	9.25	0.090	4.3	2,070,650.009	417,359.993
108	2318	59.9	339.1	0.177	2.59	0.020	11.7	2,069,379.007	415,172.993
109	2334	20.4	427.6	0.048	16.65	0.130	26.0	2,062,069.008	425,146.992
110	2337	38.9	1166.5	0.033	37.51	0.280	106.9	2,098,047.008	423,411.993
111	2400	61.1	817.6	0.075	18.52	0.151	90.6	2,094,012.008	412,613.993
112	2432	10.8	26.8	0.404	9.10	0.130	13.8	2,048,141.009	451,123.993
113	2434	3.4	96.7	0.035	18.73	0.250	8.3	2,050,585.007	453,923.992
114	2446	36.5	1108.1	0.033	24.05	0.151	54.0	2,077,171.008	425,758.992
115	2453	5.0	151.5	0.033	16.69	0.086	4.2	2,064,046.008	424,166.993
116	2481	15.6	275.4	0.057	6.87	0.100	15.3	2,063,009.009	421,472.993
117	2499	32.3	609.6	0.053	9.95	0.088	27.9	2,068,655.009	418,103.992
118	2516	11.0	363.0	0.030	18.83	0.160	17.3	2,069,328.008	420,252.993
119	2521	60.2	849.4	0.071	12.19	0.076	44.8	2,097,817.009	415,032.993
120	2570	39.7	300.0	0.132	3.92	0.040	15.6	2,103,492.845	429,445.225

Tabla f.1. Continuación...

Sitio	Código	Desnivel [m]	Distancia [m]	Pendiente media	A _(cuenca) [Km ²]	Q [m ³ /s]	Potencia_bruta [kW]	Coordenada Y	Coordenada X
121	2594	12.9	305.6	0.042	73.62	0.490	62.2	2,076,537.008	428,837.993
122	2595	32.8	925.0	0.035	243.95	1.551	499.5	2,086,001.008	417,699.993
123	2612	14.8	470.3	0.031	23.50	0.128	18.6	2,061,920.007	425,769.993
124	2616	23.7	252.4	0.094	3.50	0.030	7.0	2,066,114.008	416,407.994
125	2623	50.9	797.8	0.064	9.49	0.080	40.0	2,080,380.008	411,933.993
126	2624	4.3	65.8	0.066	8.88	0.096	4.1	2,062,760.009	422,269.993
127	2638	7.4	152.6	0.048	829.72	3.750	272.3	2,069,063.008	433,080.993
128	2682	14.3	219.3	0.065	18.13	0.248	34.7	2,050,018.007	453,553.993
129	2695	7.6	225.5	0.034	27.46	0.210	15.6	2,070,801.009	421,823.994
130	2697	39.1	674.5	0.058	37.84	0.250	95.8	2,097,227.007	415,145.993
131	2898	201.6	4110.8	0.049	36.27	0.300	593.4	2,101,156.672	412,498.590
132	2904	14.9	250.0	0.060	325.35	1.970	287.5	2,080,047.008	421,746.994
133	2923	15.7	319.8	0.049	2.22	0.020	3.1	2,080,358.007	415,269.993
134	2952	14.5	188.3	0.077	23.37	0.190	27.0	2,099,823.008	415,719.993
135	2977	8.0	135.0	0.059	18.24	0.191	14.9	2,103,502.844	423,251.900
136	2993	21.3	303.6	0.070	4.86	0.080	16.7	2,066,833.008	416,752.993
137	3012	13.9	320.2	0.044	246.61	1.554	212.5	2,084,539.009	418,284.993
138	3052	5.7	98.8	0.057	16.61	0.130	7.2	2,095,009.009	411,663.993
139	3056	11.9	249.4	0.048	11.69	0.110	12.8	2,090,166.008	428,070.993
140	3088	12.7	241.8	0.052	91.86	0.521	64.8	2,063,227.008	432,617.994
141	3105	35.0	568.5	0.062	22.97	0.124	42.6	2,062,755.009	425,642.993
142	3131	24.7	459.2	0.054	16.49	0.085	20.6	2,064,108.007	424,031.993
143	3134	24.0	492.9	0.049	73.44	0.490	115.2	2,076,487.008	428,539.993
144	3148	23.4	225.0	0.104	14.05	0.082	18.8	2,104,662.942	428,675.802
145	3171	29.6	533.9	0.055	37.58	0.350	101.6	2,091,446.007	414,210.993
146	3193	22.1	569.6	0.039	69.66	0.450	97.6	2,078,141.008	425,543.993
147	3263	69.1	592.1	0.117	2.61	0.020	13.6	2,092,075.008	409,820.994
148	3288	13.6	290.6	0.047	34.39	0.300	40.2	2,079,761.008	428,809.993
149	3291	13.5	396.9	0.034	67.11	0.410	54.5	2,061,611.008	428,002.994
150	3310	29.8	541.4	0.055	44.96	0.300	87.7	2,077,604.009	429,931.993
151	3397	16.0	423.7	0.038	8.74	0.071	11.1	2,097,854.008	427,506.993
152	3466	21.4	451.3	0.048	15.89	0.110	23.1	2,081,153.008	412,009.993
153	3475	6.8	114.2	0.059	14.14	0.095	6.3	2,070,893.008	419,521.994
154	3534	23.9	311.9	0.077	17.76	0.190	44.5	2,092,383.007	428,688.993
155	3571	22.5	516.3	0.044	10.66	0.180	39.8	2,100,508.009	400,829.992
156	3576	43.3	568.0	0.076	5.27	0.071	30.2	2,046,680.009	449,379.994
157	3631	66.3	1322.0	0.050	18.91	0.200	130.2	2,100,079.009	428,681.992
158	3677	15.5	189.7	0.082	10.60	0.093	14.2	2,071,267.009	417,993.993
159	3705	6.8	166.1	0.041	10.28	0.099	6.6	2,068,637.008	418,263.993
160	3721	14.2	348.6	0.041	17.33	0.087	12.1	2,063,824.008	424,418.993
161	3725	8.9	291.9	0.030	14.32	0.430	37.5	2,099,326.007	399,568.994

Tabla f.1. Continuación...

Sitio	Código	Desnivel [m]	Distancia [m]	Pendiente media	A _(cuenca) [Km ²]	Q [m ³ /s]	Potencia_bruta [kW]	Coordenada Y	Coordenada X
162	3726	26.1	350.6	0.074	8.86	0.078	20.0	2,079,920.009	411,477.993
163	3732	47.7	469.2	0.102	12.93	0.098	45.9	2,072,538.008	419,229.993
164	3807	7.2	173.8	0.041	16.47	0.450	31.7	2,099,163.008	399,626.994
165	3840	22.5	634.1	0.035	18.67	0.120	26.5	2,063,283.008	424,601.993
166	3849	21.0	370.1	0.057	15.46	0.120	24.7	2,095,221.008	411,395.992
167	3880	22.9	365.0	0.063	8.74	0.071	15.9	2,095,616.008	424,155.993
168	3893	34.9	450.0	0.078	18.86	0.192	65.8	2,103,063.284	423,248.477
169	3895	23.3	552.9	0.042	25.13	0.250	57.1	2,097,271.008	425,262.993
170	3896	5.7	77.5	0.073	592.16	3.000	166.3	2,077,503.009	424,426.993
171	3931	22.0	351.2	0.063	91.38	0.510	110.1	2,062,660.009	432,309.993
172	3932	48.2	865.6	0.056	108.01	0.600	283.7	2,063,151.009	433,406.993
173	3933	54.0	660.0	0.082	20.20	0.193	102.3	2,102,176.013	423,487.881
174	3941	72.5	1269.8	0.057	21.12	0.080	56.9	2,101,654.955	429,140.602
175	3945	7.1	187.5	0.038	64.23	0.310	21.5	2,082,161.007	424,292.993
176	3950	9.9	220.9	0.045	14.47	0.100	9.7	2,071,086.008	419,618.992
177	3955	30.1	311.3	0.097	16.32	0.122	36.0	2,062,191.008	424,758.993
178	4014	65.4	1032.0	0.063	17.58	0.430	276.0	2,096,834.008	402,290.993
179	4041	23.2	251.3	0.093	7.48	0.070	16.0	2,071,764.008	414,257.993
180	4054	19.6	347.5	0.056	13.12	0.120	23.1	2,070,398.008	419,281.992
181	4077	139.8	843.0	0.166	111.91	0.610	836.5	2,063,212.009	434,098.993
182	4111	34.3	459.9	0.075	5.60	0.055	18.5	2,080,446.007	407,420.994
183	4134	13.2	423.9	0.031	22.04	0.200	26.0	2,088,833.007	428,966.993
184	4177	15.6	235.6	0.066	3.89	0.061	9.3	2,066,356.008	416,457.992
185	4191	38.8	612.0	0.063	6.97	0.051	19.4	2,088,010.008	411,569.993
186	4193	23.1	323.6	0.071	41.37	0.350	79.2	2,096,513.007	401,636.993
187	4194	13.4	413.5	0.032	134.10	0.980	128.6	2,062,899.008	435,198.994
188	4279	25.3	270.0	0.094	19.45	0.192	47.7	2,102,802.923	423,337.358
189	4308	10.2	321.1	0.032	737.61	3.310	332.0	2,067,902.008	440,960.993
190	4355	18.5	261.2	0.071	3.79	0.060	10.9	2,064,881.008	418,313.994
191	4402	91.9	2217.1	0.041	87.77	0.400	360.6	2,094,792.008	400,787.994
192	4409	35.1	654.1	0.054	23.87	0.210	72.3	2,098,386.009	424,454.992
193	4415	49.7	488.1	0.102	7.03	0.068	33.1	2,080,661.598	408,388.475
194	4419	32.3	456.6	0.071	3.09	0.061	19.3	2,095,939.008	422,920.993
195	4433	49.8	992.6	0.050	22.38	0.195	95.3	2,099,975.008	424,252.993
196	4532	5.4	90.0	0.060	17.91	0.183	9.7	2,103,877.811	416,677.736
197	4571	9.8	125.5	0.078	4.23	0.060	5.8	2,070,563.008	415,906.993
198	4585	6.8	169.2	0.040	248.39	1.555	103.5	2,084,157.007	418,661.994
199	4602	32.8	841.6	0.039	17.71	0.190	61.2	2,089,434.008	428,180.992
200	4606	12.1	391.0	0.031	324.59	1.950	230.5	2,079,774.007	420,979.993
201	4611	16.2	430.1	0.038	23.72	0.160	25.5	2,074,067.008	418,291.994
202	4637	46.1	1050.7	0.044	19.72	0.210	95.0	2,099,274.007	429,104.994

Tabla f.1. Continuación...

Sitio	Código	Desnivel [m]	Distancia [m]	Pendiente media	A _(cuenca) [Km ²]	Q [m ³ /s]	Potencia_bruta [kW]	Coordenada Y	Coordenada X
203	4670	10.5	153.5	0.069	12.20	0.083	8.6	2,100,106.007	422,037.993
204	4708	68.3	1389.0	0.049	26.25	0.250	167.4	2,096,363.007	426,172.993
205	4709	11.4	203.9	0.056	169.76	1.420	158.6	2,063,287.008	438,760.993
206	4726	28.8	698.1	0.041	4.11	0.052	14.7	2,085,103.009	437,762.994
207	4741	29.8	584.8	0.051	33.39	0.310	90.7	2,091,976.007	413,845.993
208	4772	8.6	173.6	0.050	6.38	0.065	5.5	2,083,674.009	427,620.994
209	4777	37.8	1178.0	0.032	261.87	1.450	538.2	2,082,624.008	434,490.993
210	4844	68.0	561.3	0.121	7.68	0.075	50.0	2,080,755.007	408,920.994
211	4851	25.6	292.7	0.087	12.14	0.096	24.1	2,072,074.007	418,669.994
212	4884	205.5	2506.4	0.082	11.91	0.130	262.1	2,101,557.883	428,069.204
213	4988	6.7	82.5	0.081	16.92	0.205	13.4	2,054,539.007	446,994.992
214	4995	6.0	60.4	0.100	3.80	0.050	3.0	2,103,788.882	426,277.431
215	5002	10.2	266.0	0.038	5.12	0.080	8.0	2,070,539.008	416,960.994
216	5047	40.6	830.3	0.049	25.51	0.200	79.7	2,092,657.008	413,612.994
217	5076	70.7	1335.0	0.053	24.85	0.200	138.6	2,106,398.182	430,998.299
218	5080	6.2	200.1	0.031	18.68	0.191	11.6	2,089,019.008	428,563.993
219	5082	27.6	721.8	0.038	98.91	0.750	202.8	2,093,592.009	427,559.992
220	5092	9.4	178.0	0.053	145.58	0.890	82.2	2,096,005.008	414,753.993
221	5106	9.9	216.4	0.046	8.77	0.086	8.3	2,068,369.009	417,335.993
222	5109	17.9	522.6	0.034	14.79	0.122	21.4	2,073,273.007	420,079.993
223	5124	5.8	140.3	0.042	11.47	0.090	5.2	2,071,703.008	414,528.993
224	5128	47.9	348.2	0.138	15.53	0.195	91.7	2,054,172.009	446,678.993
225	5183	130.2	2319.0	0.056	48.50	0.034	43.4	2,098,112.008	413,753.994
226	5195	19.9	361.3	0.055	8.09	0.080	15.6	2,066,543.009	419,115.994
227	5197	56.0	1569.1	0.036	16.92	0.150	82.4	2,072,165.008	420,983.993
228	5198	6.9	230.9	0.030	12.77	0.099	6.7	2,062,381.008	423,257.993
229	5206	44.3	1395.0	0.032	43.02	0.260	113.1	2,101,073.490	431,867.679
230	5217	10.6	309.5	0.034	11.56	0.340	35.2	2,100,356.007	400,253.994
231	5220	26.7	477.8	0.056	19.50	0.190	49.7	2,100,068.008	420,705.993
232	5275	7.3	217.7	0.034	19.77	0.150	10.8	2,072,876.009	417,488.993
233	5279	61.4	1300.6	0.047	47.08	0.320	192.6	2,099,955.009	412,861.993
234	5298	34.4	988.1	0.035	54.84	0.300	101.1	2,096,910.009	434,208.993
235	5321	9.7	173.2	0.056	8.86	0.090	8.5	2,070,506.008	417,130.994
236	5349	67.1	615.0	0.109	4.17	0.051	33.6	2,103,204.669	426,235.231
237	5365	5.4	159.4	0.034	135.05	1.000	52.8	2,062,978.008	435,423.993
238	5373	61.5	1462.6	0.042	23.37	0.150	90.5	2,078,030.007	425,223.993
239	5378	75.3	562.5	0.134	5.88	0.070	51.7	2,105,084.159	418,119.814
240	5379	29.4	282.5	0.104	10.88	0.091	26.3	2,069,080.008	418,730.992
241	5398	17.0	553.3	0.031	725.90	3.100	516.4	2,069,090.007	439,479.993
242	5406	53.7	627.9	0.086	5.86	0.071	37.4	2,066,232.009	418,824.994
243	5413	28.1	678.0	0.041	133.25	1.000	275.9	2,071,646.008	425,246.994

Tabla f.1. Continuación...

Sitio	Código	Desnivel [m]	Distancia [m]	Pendiente media	A _(cuenca) [Km ²]	Q [m ³ /s]	Potencia_bruta [kW]	Coordenada Y	Coordenada X
244	5416	20.3	579.6	0.035	146.81	0.700	139.5	2,072,530.008	431,659.993
245	5549	118.5	1724.4	0.069	19.80	0.186	216.2	2,102,016.140	416,596.119
246	5576	153.4	1280.0	0.120	5.87	0.075	112.9	2,090,637.008	410,397.993
247	5591	21.2	422.1	0.050	22.78	0.200	41.6	2,099,573.008	424,326.992
248	5596	18.8	135.0	0.140	18.11	0.191	35.3	2,103,622.754	423,192.888
249	5610	4.7	148.5	0.032	37.42	0.430	19.8	2,057,079.008	449,671.993
250	5671	11.5	375.7	0.031	7.81	0.030	3.4	2,101,169.286	404,912.896
251	5688	8.5	170.3	0.050	33.95	0.310	25.8	2,091,816.009	413,893.992
252	5746	7.4	203.8	0.036	69.21	0.651	47.0	2,094,442.008	426,380.992
253	5748	13.6	236.5	0.057	10.79	0.280	37.3	2,100,409.008	400,616.993
254	5788	5.0	83.2	0.060	6.44	0.074	3.6	2,046,666.009	449,461.993
255	5844	24.3	668.0	0.036	174.06	1.320	315.1	2,093,236.008	416,070.993
256	5860	17.9	226.8	0.079	39.26	0.640	112.4	2,096,606.008	401,922.992
257	5886	74.7	1869.7	0.040	47.48	0.420	307.6	2,095,623.008	424,306.993
258	5909	23.6	202.6	0.116	5.40	0.070	16.2	2,065,683.008	418,648.993
259	5929	9.5	165.2	0.057	3.56	0.030	2.8	2,064,676.008	418,158.993
260	5998	169.3	2302.9	0.073	33.19	0.250	415.1	2,099,202.007	433,194.992
261	6003	5.1	159.4	0.032	18.94	0.095	4.8	2,072,676.008	417,110.993
262	6033	7.8	236.9	0.033	6.47	0.070	5.3	2,083,961.008	425,856.993
263	6044	47.1	688.1	0.068	16.82	0.180	83.1	2,104,680.719	416,543.559
264	6056	81.2	728.7	0.111	12.38	0.090	71.7	2,095,913.007	410,437.993
265	6078	40.9	1309.2	0.031	16.57	0.145	58.2	2,092,593.008	420,083.992
266	6083	39.4	585.0	0.067	16.01	0.150	58.0	2,105,483.186	412,990.464
267	6085	7.2	178.4	0.041	9.60	0.078	5.5	2,078,467.008	414,507.993
268	6106	31.0	629.1	0.049	16.33	0.151	45.9	2,104,958.299	413,281.988
269	6112	25.0	452.5	0.055	25.10	0.090	22.1	2,076,201.008	425,829.994
270	6138	11.6	360.2	0.032	12.70	0.088	10.0	2,078,969.008	415,148.993
271	6242	67.5	1830.3	0.037	22.90	0.200	132.4	2,080,583.530	429,220.232
272	6333	9.4	154.0	0.061	19.78	0.210	19.4	2,099,155.008	429,201.994
273	6365	3.6	117.3	0.030	22.37	0.285	10.0	2,053,302.008	453,617.993
274	6370	21.2	559.7	0.038	56.97	0.500	104.2	2,095,326.007	424,742.993
275	6444	11.9	276.6	0.043	14.74	0.090	10.5	2,094,538.008	419,696.993
276	6446	14.7	105.0	0.140	2.02	0.040	5.8	2,104,372.395	426,316.216
277	6459	58.2	1579.8	0.037	19.31	0.150	85.6	2,091,259.008	420,272.993
278	6460	10.4	337.7	0.031	4.53	0.060	6.1	2,070,780.009	416,150.994
279	6464	5.7	150.0	0.038	19.97	0.186	10.3	2,101,894.589	416,510.397
280	6468	35.1	555.0	0.063	20.67	0.192	66.1	2,101,764.015	423,772.557
281	6469	19.2	430.9	0.044	13.89	0.400	75.2	2,099,575.009	399,699.992
282	6499	21.0	305.3	0.069	151.49	1.520	312.9	2,069,787.008	427,755.994
283	6531	89.9	1125.0	0.080	3.85	0.040	35.3	2,103,753.451	429,528.629
284	6542	4.7	129.4	0.036	19.87	0.150	6.9	2,073,005.008	417,490.993

Tabla f.1. Continuación...

Sitio	Código	Desnivel [m]	Distancia [m]	Pendiente media	A _(cuenca) [Km ²]	Q [m ³ /s]	Potencia_bruta [kW]	Coordenada Y	Coordenada X
285	6545	13.4	295.9	0.045	10.82	0.095	12.5	2,071,544.007	418,051.993
286	6585	22.2	641.5	0.035	26.61	0.188	40.9	2,085,957.007	411,930.994
287	6610	12.7	238.1	0.053	3.62	0.030	3.7	2,101,745.068	414,364.424
288	6619	10.5	298.6	0.035	133.56	0.970	100.0	2,062,702.009	434,851.994
289	6644	14.0	453.6	0.031	54.01	0.500	68.7	2,099,367.009	412,230.992
290	6648	11.2	226.1	0.050	9.64	0.070	7.7	2,099,948.009	413,939.993
291	6665	33.2	525.0	0.063	14.44	0.078	25.4	2,104,318.559	428,931.400
292	6670	17.7	489.9	0.036	17.78	0.160	27.8	2,068,917.008	420,124.993
293	6682	30.7	838.6	0.037	239.59	1.550	466.6	2,087,850.007	416,779.994
294	6699	59.2	634.3	0.093	8.93	0.120	69.7	2,103,784.706	418,254.184
295	6701	10.9	208.6	0.052	3.32	0.300	32.0	2,069,928.009	415,172.994
296	6705	4.5	109.4	0.041	5.82	0.039	1.7	2,062,406.009	420,872.993
297	6719	15.7	255.8	0.061	11.76	0.096	14.8	2,069,568.008	418,965.993
298	6743	45.1	662.2	0.068	17.85	0.152	67.3	2,100,316.007	420,305.993
299	6751	41.9	390.0	0.107	5.96	0.070	28.8	2,102,830.294	426,289.333
300	6758	89.7	1050.0	0.085	23.87	0.192	168.9	2,107,568.368	430,805.574
301	6822	11.8	340.3	0.035	6.09	0.060	7.0	2,083,838.792	427,547.761
302	6858	31.5	1029.5	0.031	246.13	1.553	480.6	2,084,834.008	418,215.993
303	6861	5.3	165.0	0.032	17.19	0.155	8.0	2,068,463.007	420,228.994
304	6870	8.9	272.3	0.033	356.63	1.900	166.0	2,078,668.008	436,564.994
305	6879	13.4	415.3	0.032	25.79	0.180	23.7	2,074,283.007	418,740.993
306	6891	9.7	142.3	0.068	32.75	0.300	28.4	2,092,531.007	413,678.993
307	6892	21.2	331.8	0.064	5.47	0.060	12.5	2,084,176.008	427,587.993
308	6905	62.0	446.8	0.139	6.81	0.075	45.6	2,090,203.009	410,476.993
309	6907	13.5	414.0	0.033	15.02	0.120	15.9	2,080,001.008	416,088.994
310	6914	11.5	139.5	0.083	14.98	0.121	13.7	2,095,521.008	411,189.994
311	6920	113.8	350.3	0.325	6.16	0.060	67.0	2,080,391.008	407,714.992
312	6940	43.9	536.4	0.082	11.67	0.086	37.0	2,081,229.008	410,215.993
313	6988	116.4	846.9	0.137	103.66	0.650	742.0	2,097,686.007	414,418.993
314	7005	13.2	382.9	0.035	41.00	0.485	63.0	2,057,789.008	452,176.993
315	7012	12.9	260.1	0.049	10.37	0.098	12.4	2,067,379.008	420,321.993
316	7027	11.7	175.2	0.067	13.76	0.100	11.4	2,062,325.008	423,600.993
317	7034	84.8	1230.0	0.069	16.55	0.150	124.8	2,101,502.125	419,293.742
318	7044	15.8	410.9	0.038	4.39	0.055	8.5	2,084,879.009	425,922.994
319	7045	33.0	476.9	0.069	19.55	0.121	39.2	2,062,803.008	425,131.993
320	7065	8.3	203.3	0.041	4.70	0.060	4.9	2,070,825.008	416,327.993
321	7073	15.3	192.6	0.079	10.95	0.086	12.9	2,080,925.007	409,802.994
322	7079	22.6	504.8	0.045	16.45	0.120	26.5	2,081,180.008	412,591.993
323	7093	17.6	337.6	0.052	17.12	0.246	42.5	2,049,901.008	453,395.992
324	7113	5.0	96.4	0.052	6.31	0.060	2.9	2,071,832.008	413,563.992
325	7116	11.3	299.5	0.038	43.96	0.300	33.3	2,061,577.008	426,316.993

Tabla f.1. Continuación...

Sitio	Código	Desnivel [m]	Distancia [m]	Pendiente media	A _(cuenca) [Km ²]	Q [m ³ /s]	Potencia_bruta [kW]	Coordenada Y	Coordenada X
326	7124	23.1	528.7	0.044	8.75	0.065	14.8	2,100,165.008	413,893.994
327	7130	25.9	782.9	0.033	4.21	0.052	13.2	2,085,718.009	437,727.993
328	7204	16.2	405.2	0.040	13.58	0.095	15.1	2,072,009.008	415,585.993
329	7213	13.8	286.9	0.048	13.05	0.090	12.2	2,071,906.008	415,224.993
330	7285	66.3	652.5	0.102	8.97	0.130	84.6	2,048,129.009	451,099.994
331	7287	13.3	97.6	0.136	3.54	0.020	2.6	2,071,351.009	413,321.992
332	7288	12.4	340.0	0.037	12.95	0.390	47.6	2,099,986.008	399,758.993
333	7314	5.0	165.9	0.030	35.78	0.590	28.8	2,053,376.008	453,783.994
334	7317	8.6	279.6	0.031	244.60	1.551	130.6	2,085,752.007	417,826.992
335	7355	41.4	565.3	0.073	3.30	0.020	8.1	2,071,063.008	413,229.994
336	7357	5.1	164.2	0.031	69.94	0.660	32.8	2,094,024.008	426,760.993
337	7365	9.2	218.5	0.042	14.38	0.100	9.1	2,095,667.008	410,856.993
338	7412	14.4	248.2	0.058	142.27	1.200	169.2	2,062,775.008	436,862.993
339	7427	23.4	330.0	0.071	14.58	0.140	32.1	2,101,312.670	428,247.023
340	7485	20.9	284.2	0.074	19.87	0.183	37.6	2,069,925.008	420,890.993
341	7595	12.7	370.8	0.034	11.89	0.080	10.0	2,071,699.009	414,827.993
342	7609	94.6	675.1	0.140	18.66	0.250	232.0	2,050,535.008	453,842.992
343	7616	53.9	904.9	0.060	20.14	0.079	41.8	2,102,764.176	429,275.963
344	7623	23.8	361.6	0.066	14.65	0.125	29.2	2,067,963.008	420,433.993
345	7648	32.1	602.2	0.053	6.42	0.090	28.3	2,062,928.009	421,124.992
346	7652	36.1	776.1	0.047	11.36	0.080	28.4	2,094,688.008	419,490.994
347	7694	124.9	449.0	0.278	21.77	0.191	234.1	2,108,344.138	430,277.933
348	7707	33.4	374.6	0.089	20.48	0.187	61.2	2,101,548.036	416,447.027
349	7729	14.8	445.2	0.033	69.64	0.660	95.9	2,094,122.008	426,630.994
350	7733	16.5	404.9	0.041	15.25	0.125	20.2	2,068,248.009	420,157.993
351	7749	9.0	298.7	0.030	829.41	3.750	329.9	2,069,017.008	432,938.994
352	7774	4.4	86.7	0.050	3.82	0.060	2.6	2,071,434.008	413,296.993
353	7813	17.4	323.4	0.054	274.15	1.370	233.4	2,093,174.008	434,631.993
354	7820	5.7	123.8	0.046	16.49	0.245	13.6	2,049,384.515	452,669.121
355	7822	43.0	971.9	0.044	23.21	0.170	71.8	2,073,832.008	417,886.993
356	7827	19.2	182.0	0.106	15.35	0.168	31.7	2,106,525.385	417,041.648
357	7852	6.3	200.1	0.031	3.93	0.031	1.9	2,085,315.007	426,065.993
358	7856	4.1	99.5	0.041	174.04	1.200	47.9	2,069,037.009	434,876.994
359	7866	17.3	224.4	0.077	3.74	0.030	5.1	2,101,544.952	414,286.895
360	7878	3.7	55.0	0.067	18.54	0.252	9.1	2,054,795.007	447,661.992
361	7900	15.4	422.0	0.036	25.91	0.081	12.2	2,075,439.008	426,240.992
362	7930	27.8	336.0	0.083	4.30	0.040	10.9	2,065,221.008	418,474.994
363	7980	5.6	164.8	0.034	18.10	0.250	13.6	2,054,735.008	447,470.993
364	8021	9.2	276.9	0.033	27.34	0.170	15.4	2,073,273.007	420,079.993
365	8042	4.1	106.9	0.038	2.26	0.050	2.0	2,095,523.009	422,110.994
366	8115	11.4	267.1	0.043	16.91	0.121	13.5	2,061,947.007	425,381.992

Tabla f.1. Continuación...

Sitio	Código	Desnivel [m]	Distancia [m]	Pendiente media	A _(cuenca) [Km ²]	Q [m ³ /s]	Potencia_bruta [kW]	Coordenada Y	Coordenada X
367	8137	66.3	631.1	0.105	4.88	0.050	32.5	2,089,147.007	409,267.994
368	8159	26.5	371.2	0.071	8.50	0.085	22.1	2,066,806.009	419,337.993
369	8162	33.4	433.1	0.077	9.68	0.086	28.2	2,080,686.009	412,201.992
370	8166	36.8	485.4	0.076	2.74	0.060	21.7	2,095,701.007	422,550.993
371	8215	43.0	462.6	0.093	10.68	0.090	38.0	2,068,852.007	418,614.993
372	8226	13.7	346.4	0.040	8.42	0.070	9.4	2,098,267.009	427,340.994
373	8256	27.7	277.3	0.100	14.46	0.141	38.4	2,098,802.009	422,569.993
374	8267	7.7	241.2	0.032	40.63	0.481	36.5	2,057,574.009	451,721.993
375	8300	9.8	267.5	0.037	32.22	0.300	28.8	2,082,101.008	414,584.993
376	8310	21.1	354.6	0.060	15.64	0.171	35.4	2,106,307.750	416,858.576
377	8349	5.8	99.1	0.059	5.41	0.056	3.2	2,084,622.008	425,749.994
378	8355	37.8	611.8	0.062	3.64	0.030	11.1	2,085,470.008	425,948.993
379	8361	17.9	380.9	0.047	2.76	0.020	3.5	2,079,648.008	426,733.993
380	8384	17.3	302.0	0.057	8.37	0.085	14.4	2,068,074.009	417,230.993
381	8388	33.2	277.7	0.119	10.77	0.080	26.0	2,080,843.007	409,613.993
382	8392	12.9	152.3	0.085	8.93	0.072	9.1	2,095,623.008	424,306.993
383	8510	31.6	225.0	0.140	1.77	0.040	12.4	2,104,474.258	426,301.513
384	8523	12.6	289.5	0.044	135.61	1.100	136.2	2,063,134.009	435,663.993
385	8576	48.5	862.0	0.056	161.92	0.910	432.6	2,094,334.008	414,984.994
386	8590	10.1	178.4	0.057	11.57	0.095	9.4	2,071,845.009	418,184.993
387	8597	126.1	2071.4	0.061	13.97	0.086	106.4	2,106,404.214	412,841.268
388	8621	22.8	294.6	0.077	15.09	0.120	26.8	2,071,330.008	419,946.993
389	8633	36.9	676.9	0.054	19.96	0.191	69.1	2,099,637.007	421,184.993
390	8677	51.8	1127.1	0.046	24.76	0.195	99.1	2,099,155.008	429,201.994
391	8679	35.5	556.5	0.064	5.46	0.052	18.1	2,077,505.007	413,538.994
392	8694	10.5	181.3	0.058	17.53	0.181	18.6	2,104,235.566	416,567.538
393	8760	45.5	441.4	0.103	16.70	0.205	91.4	2,054,502.008	446,921.993
394	8762	57.9	1009.9	0.057	17.43	0.151	85.7	2,100,649.008	419,740.994
395	8774	14.7	414.1	0.036	247.26	1.555	224.3	2,084,229.008	418,517.993
396	8799	26.1	475.1	0.055	20.77	0.191	48.9	2,099,208.008	421,367.994
397	8818	129.4	781.0	0.166	8.11	0.075	95.2	2,104,338.568	418,018.063
398	8824	9.9	180.0	0.055	7.20	0.150	14.5	2,101,369.136	401,322.969
399	8825	36.0	559.5	0.064	8.18	0.090	31.8	2,062,860.082	422,062.608
400	8831	15.0	278.0	0.054	44.20	0.310	45.7	2,061,557.008	426,603.994
401	8843	73.3	564.1	0.130	11.96	0.190	136.6	2,048,562.009	451,490.993
402	8852	9.5	266.0	0.036	168.72	1.400	131.0	2,063,028.008	438,310.992
403	8868	8.1	162.1	0.050	16.02	0.121	9.6	2,061,977.008	424,538.994
404	8870	49.0	390.3	0.126	3.68	0.050	24.0	2,091,860.008	410,129.993
405	8914	42.8	427.6	0.100	26.66	0.086	36.1	2,074,477.008	426,042.994
406	9008	19.4	498.8	0.039	15.70	0.140	26.7	2,093,587.008	420,264.994
407	9009	5.2	92.4	0.056	670.02	2.900	148.2	2,074,996.428	438,587.468

Tabla f.1. Continuación...

Sitio	Código	Desnivel [m]	Distancia [m]	Pendiente media	A _(cuenca) [Km ²]	Q [m ³ /s]	Potencia_bruta [kW]	Coordenada Y	Coordenada X
408	9034	34.3	968.1	0.035	100.22	0.790	265.9	2,092,383.007	428,688.993
409	9037	47.0	211.4	0.222	3.38	0.020	9.2	2,071,260.009	413,292.994
410	9102	46.0	967.6	0.048	3.77	0.051	23.0	2,085,488.009	438,133.994
411	9121	4.4	64.2	0.068	11.29	0.095	4.1	2,071,716.008	418,129.993
412	9141	16.9	544.5	0.031	276.15	1.380	229.1	2,092,698.008	434,418.994
413	9154	5.4	111.2	0.048	170.38	1.440	75.9	2,063,530.007	439,078.993
414	9160	13.7	188.0	0.073	13.77	0.120	16.2	2,067,530.008	420,426.994
415	9174	7.4	138.2	0.053	3.16	0.021	1.5	2,064,502.008	418,031.994
416	9179	32.5	1066.0	0.030	74.90	0.492	156.8	2,075,962.008	429,578.994
417	9241	5.5	99.8	0.055	6.61	0.100	5.4	2,062,974.009	421,212.994
418	9269	20.3	616.2	0.033	118.35	0.980	195.4	2,092,057.009	429,055.992
419	9270	9.7	254.3	0.038	736.92	3.150	299.2	2,067,967.008	440,571.994
420	9309	26.8	460.2	0.058	91.66	0.520	136.8	2,063,008.008	432,562.993
421	9312	20.8	288.2	0.072	61.83	0.500	102.2	2,091,728.008	429,486.994
422	9316	17.5	271.3	0.064	9.15	0.090	15.4	2,068,571.009	417,491.993
423	9341	17.7	326.7	0.054	5.67	0.038	6.6	2,062,300.009	420,897.994
424	9343	18.7	441.6	0.042	184.75	1.100	201.4	2,089,604.007	430,216.994
425	9362	35.9	300.0	0.120	14.72	0.078	27.4	2,104,135.091	429,128.898
426	9389	20.2	105.0	0.192	6.34	0.055	10.9	2,101,223.639	420,936.483
427	9451	6.7	107.9	0.062	25.57	0.081	5.3	2,075,824.008	426,079.993
428	9462	24.7	475.0	0.052	7.46	0.066	16.0	2,078,085.008	414,117.993
429	9483	18.7	590.0	0.032	14.54	0.150	27.5	2,096,119.009	427,630.993
430	9495	34.1	639.4	0.053	16.69	0.400	133.9	2,097,667.008	402,758.993
431	9506	37.6	988.4	0.038	39.33	0.360	132.6	2,090,432.008	414,383.993
432	9530	16.3	500.6	0.033	81.23	0.500	80.0	2,061,992.008	429,246.994
433	9536	54.6	389.5	0.140	3.96	0.060	32.1	2,070,525.009	415,750.993
434	9546	16.9	502.3	0.034	218.04	1.510	250.5	2,089,574.009	414,998.993
435	9560	143.3	1219.2	0.118	14.94	0.100	140.6	2,106,867.362	417,269.457
436	9564	5.6	142.9	0.039	23.23	0.260	14.2	2,055,935.007	448,598.993
437	9569	77.0	2524.8	0.030	49.74	0.320	241.6	2,095,689.008	430,043.994
438	9588	21.5	360.0	0.060	22.97	0.130	27.4	2,101,088.856	429,574.998
439	9590	16.5	298.0	0.055	6.72	0.065	10.5	2,077,765.008	413,865.994
440	9601	56.0	721.2	0.078	40.09	0.361	198.4	2,090,010.009	414,803.993
441	9604	7.8	124.3	0.063	14.58	0.110	8.4	2,071,136.009	419,731.992
442	9663	6.9	218.3	0.032	10.25	0.113	7.7	2,096,821.008	427,435.993
443	9714	19.2	259.2	0.074	9.92	0.098	18.5	2,067,270.007	420,092.993
444	9722	16.7	514.9	0.032	17.13	0.186	30.4	2,093,819.007	428,338.993
445	9761	19.4	619.6	0.031	588.21	3.000	572.1	2,079,220.819	422,854.984
446	9799	43.9	411.6	0.107	6.65	0.065	28.0	2,080,627.008	408,036.994
447	9803	5.4	149.1	0.036	26.59	0.220	11.7	2,081,291.007	412,688.993
448	9856	9.2	273.6	0.034	12.61	0.095	8.6	2,071,872.008	414,976.993

Tabla f.1. Continuación...

Sitio	Código	Desnivel [m]	Distancia [m]	Pendiente media	A _(cuenca) [Km ²]	Q [m ³ /s]	Potencia_bruta [kW]	Coordenada Y	Coordenada X
449	9893	64.6	1080.8	0.060	49.68	0.350	222.0	2,075,751.008	429,984.994
450	9904	14.3	279.1	0.051	8.86	0.075	10.5	2,078,293.008	414,214.994
451	10014	65.1	870.1	0.075	3.34	0.058	37.1	2,095,677.009	423,693.992
452	10030	27.8	547.2	0.051	75.20	0.493	134.5	2,075,751.008	429,984.994
453	10096	25.2	451.1	0.056	17.44	0.150	37.1	2,094,599.009	412,102.992
454	10111	5.1	96.0	0.053	9.45	0.088	4.4	2,068,653.008	417,541.994
455	10146	6.2	70.3	0.088	151.17	1.510	91.3	2,070,026.007	427,415.993
456	10186	40.7	520.3	0.078	14.81	0.120	48.0	2,061,979.008	424,271.993
457	10200	21.9	300.4	0.073	15.63	0.390	83.8	2,098,202.008	403,300.993
458	10260	17.0	391.0	0.043	131.56	0.950	158.0	2,062,720.008	434,597.993
459	10268	11.9	285.8	0.042	15.43	0.110	12.9	2,081,029.435	411,639.305
460	10299	7.5	170.2	0.044	8.70	0.095	7.0	2,062,770.008	422,204.992
461	10300	24.8	505.1	0.049	7.12	0.065	15.8	2,100,515.009	414,151.993
462	10336	19.5	244.9	0.080	2.94	0.020	3.8	2,065,878.008	416,379.994
463	10360	3.1	35.0	0.089	5.00	0.080	2.4	2,070,723.008	416,771.992
464	10379	34.3	326.9	0.105	5.22	0.062	20.8	2,065,491.009	418,599.993
465	10401	11.7	132.4	0.088	2.26	0.041	4.7	2,104,282.138	426,409.299
466	10405	3.3	108.7	0.030	158.54	1.200	38.7	2,085,757.008	406,570.993
467	10414	23.5	459.3	0.051	24.93	0.180	41.4	2,093,305.009	413,427.993
468	10420	16.4	205.6	0.080	8.43	0.076	12.2	2,100,746.008	421,305.994
469	10460	9.1	237.5	0.038	17.25	0.150	13.3	2,072,405.008	416,498.993
470	10489	133.3	4373.3	0.030	177.53	1.400	1831.1	2,090,010.009	414,803.993
471	10510	28.6	360.1	0.079	4.48	0.062	17.4	2,066,542.009	416,747.993
472	10579	10.4	185.0	0.056	16.87	0.140	14.3	2,094,941.008	411,821.993
473	10599	14.2	289.3	0.049	139.22	1.300	180.8	2,063,127.007	435,976.992
474	10608	9.2	244.5	0.038	15.70	0.140	12.6	2,095,068.008	411,584.994
475	10642	23.1	363.2	0.064	25.29	0.080	18.1	2,075,907.008	426,010.992
476	10648	12.7	126.6	0.100	151.23	1.510	187.9	2,069,967.008	427,527.994
477	10684	13.3	208.1	0.064	3.73	0.055	7.2	2,091,365.008	427,959.993
478	10689	143.0	1188.0	0.120	8.00	0.080	112.2	2,089,163.009	410,967.994
479	10693	126.2	1110.0	0.114	13.94	0.190	235.2	2,103,739.651	423,130.055
480	10698	67.0	765.0	0.088	10.14	0.075	49.3	2,102,438.844	418,698.444
481	10758	15.2	398.9	0.038	9.86	0.091	13.5	2,070,710.008	417,743.992
482	10799	74.2	1767.4	0.042	14.18	0.093	67.7	2,075,653.009	430,324.994
483	10820	16.7	499.3	0.033	168.41	1.000	163.4	2,070,031.008	433,570.992
484	10853	33.2	639.8	0.052	23.27	0.210	68.4	2,098,973.186	424,242.494
485	10858	10.8	210.2	0.052	4.16	0.062	6.6	2,096,034.009	423,105.993
486	10871	8.2	235.1	0.035	17.75	0.160	12.8	2,072,517.008	416,696.993
487	10889	32.0	336.0	0.095	3.56	0.030	9.4	2,061,402.009	420,317.993
488	10896	9.7	304.3	0.032	16.74	0.180	17.0	2,094,123.009	428,167.993
489	10922	12.4	273.8	0.045	27.13	0.200	24.4	2,070,629.008	421,721.993

Tabla f.1. Continuación...

Sitio	Código	Desnivel [m]	Distancia [m]	Pendiente media	A _(cuenca) [Km ²]	Q [m ³ /s]	Potencia_bruta [kW]	Coordenada Y	Coordenada X
490	10933	47.8	518.5	0.092	9.14	0.089	41.8	2,067,122.009	419,610.993
491	10939	11.9	217.9	0.055	3.94	0.035	4.1	2,061,755.008	420,464.992
492	10960	29.6	687.9	0.043	13.31	0.080	23.3	2,099,147.008	403,887.994
493	10968	6.4	151.8	0.042	18.11	0.150	9.4	2,069,007.009	420,238.993
494	10983	18.6	140.3	0.133	3.74	0.060	10.9	2,070,325.007	415,436.992
495	10988	16.3	470.8	0.035	325.22	1.960	312.9	2,079,977.007	421,507.994
496	11012	21.4	400.9	0.053	24.11	0.210	44.2	2,098,000.008	424,555.994
497	11019	37.6	518.6	0.072	43.64	0.260	95.9	2,100,466.008	431,794.993
498	11024	5.6	94.6	0.060	37.66	0.430	23.7	2,057,301.008	449,921.994
499	11040	105.7	1940.0	0.054	21.66	0.188	195.0	2,099,981.007	415,815.992
500	11050	71.6	1440.0	0.050	39.32	0.248	174.1	2,102,193.948	431,839.184
501	11076	31.0	328.6	0.094	12.66	0.091	27.7	2,095,824.009	410,713.993
502	11133	16.4	525.1	0.031	268.32	1.350	216.6	2,095,231.008	434,826.992
503	11145	7.8	242.4	0.032	15.94	0.196	14.9	2,094,956.008	427,888.992
504	11153	17.3	212.4	0.082	2.80	0.020	3.4	2,064,387.008	417,955.993
505	11177	20.4	319.3	0.064	17.82	0.182	36.4	2,103,946.836	416,622.857
506	11212	27.7	506.9	0.055	57.73	0.450	122.3	2,080,989.008	436,687.994
507	11249	29.3	542.1	0.054	12.99	0.121	34.8	2,099,655.008	422,019.993
508	11254	13.0	256.4	0.051	169.19	1.410	179.2	2,063,221.009	438,569.992
509	11276	4.6	84.7	0.055	17.96	0.410	18.7	2,096,801.007	402,212.993
510	11308	20.3	598.8	0.034	26.16	0.185	36.9	2,086,381.008	411,804.993
511	11366	40.1	1315.6	0.030	19.28	0.255	100.2	2,051,453.008	454,033.993
512	11387	7.2	205.3	0.035	17.67	0.250	17.6	2,054,736.009	447,313.992
513	11411	30.4	457.6	0.066	26.48	0.085	25.3	2,074,833.009	426,255.993
514	11441	14.8	412.4	0.036	59.73	0.360	52.4	2,061,431.009	427,450.993
515	11443	71.9	868.2	0.083	5.84	0.081	57.2	2,067,973.009	416,979.993
516	11456	14.5	442.9	0.033	260.85	1.600	228.2	2,080,047.008	421,746.994
517	11469	59.0	839.8	0.070	4.70	0.070	40.5	2,046,428.007	448,953.993
518	11520	6.0	197.2	0.030	93.24	0.530	31.1	2,063,411.010	432,647.993
519	11525	25.8	540.0	0.048	21.45	0.180	45.6	2,101,344.554	429,422.614
520	11561	63.0	1412.6	0.045	24.51	0.185	114.3	2,086,841.008	412,010.994
521	11565	36.6	861.2	0.043	53.77	0.290	104.3	2,097,290.008	433,412.993
522	11578	12.7	147.7	0.086	14.04	0.110	13.7	2,062,373.008	423,738.994
523	11583	28.2	329.8	0.086	3.64	0.050	13.8	2,076,993.008	413,199.992
524	11605	21.3	609.6	0.035	143.76	1.200	250.9	2,071,163.008	426,236.993
525	11610	86.4	1970.4	0.044	11.90	0.075	63.6	2,098,444.008	414,708.992
526	11654	5.5	93.9	0.058	13.98	0.121	6.5	2,067,620.008	420,401.994
527	11671	63.8	765.0	0.083	9.53	0.075	46.9	2,103,137.327	418,529.559
528	11689	13.3	439.6	0.030	15.89	0.175	22.9	2,105,901.375	416,746.098
529	11701	6.1	114.4	0.053	37.91	0.350	21.0	2,091,334.008	414,213.992
530	11702	32.6	240.7	0.136	14.18	0.201	64.3	2,048,854.009	451,861.994

Tabla f.1. Continuación...

Sitio	Código	Desnivel [m]	Distancia [m]	Pendiente media	A _(cuenca) [Km ²]	Q [m ³ /s]	Potencia_bruta [kW]	Coordenada Y	Coordenada X
531	11728	28.0	900.2	0.031	99.80	0.755	207.4	2,093,148.008	428,241.993
532	11757	13.7	347.1	0.040	36.33	0.260	35.0	2,098,466.008	422,621.993
533	11767	13.6	363.1	0.037	43.15	0.252	33.6	2,099,068.009	432,881.993
534	11785	56.5	1197.2	0.047	14.42	0.140	77.5	2,099,074.007	422,552.993
535	11858	30.0	416.1	0.072	5.36	0.060	17.6	2,071,788.009	413,479.993
536	11878	5.6	186.6	0.030	19.32	0.255	14.0	2,051,534.008	453,983.993
537	11930	14.2	202.5	0.070	6.47	0.065	9.1	2,077,524.009	413,732.994
538	11962	26.0	449.8	0.058	112.18	0.620	158.4	2,063,038.007	434,466.993
539	11987	68.3	346.4	0.197	4.46	0.035	23.5	2,062,009.007	420,689.994
540	11993	38.7	812.2	0.048	21.47	0.192	72.9	2,098,815.008	421,993.993
541	12016	71.3	895.9	0.080	46.45	0.310	216.8	2,076,748.008	429,899.992
542	12023	3.5	34.2	0.103	13.69	0.121	4.2	2,070,818.007	419,458.993
543	12025	3.6	45.0	0.081	17.00	0.181	6.5	2,104,637.069	416,554.463
544	12048	16.8	261.2	0.064	11.87	0.095	15.7	2,071,931.009	418,424.993
545	12082	12.1	321.3	0.038	59.43	0.340	40.4	2,061,384.007	427,060.993
546	12149	63.1	967.1	0.065	21.63	0.195	120.6	2,100,860.007	423,910.994
547	12193	196.5	2504.0	0.078	52.97	0.285	549.3	2,097,469.009	432,716.993
548	12265	69.6	617.4	0.113	16.26	0.178	121.5	2,105,325.143	416,699.653
549	12277	133.7	1418.1	0.094	6.46	0.050	65.6	2,088,334.009	410,875.993
550	12324	30.4	571.9	0.053	24.52	0.210	62.7	2,097,615.008	424,923.993
551	12373	9.7	153.1	0.064	18.24	0.420	40.1	2,096,748.009	402,088.994
552	12393	18.3	409.7	0.045	8.60	0.070	12.6	2,079,596.008	411,408.993
553	12406	19.8	370.5	0.053	37.24	0.250	48.5	2,084,195.009	433,434.993
554	12452	10.3	242.5	0.042	66.90	0.400	40.3	2,061,468.009	427,733.993
555	12487	5.7	188.0	0.030	3.72	0.032	1.8	2,061,573.008	420,367.994
556	12501	4.9	130.7	0.037	19.60	0.182	8.7	2,069,847.009	420,660.994
557	12523	56.3	1211.4	0.046	62.13	0.300	165.6	2,083,209.008	423,848.993
558	12646	58.4	945.6	0.062	19.30	0.152	87.0	2,093,414.008	413,019.994
559	12647	55.4	1011.1	0.055	23.93	0.132	71.8	2,100,142.009	429,350.993
560	12657	18.5	215.2	0.086	6.83	0.051	9.2	2,088,227.008	411,056.993
561	12662	116.6	510.0	0.229	2.52	0.041	46.9	2,103,843.941	426,302.013
562	12744	69.8	685.8	0.102	6.06	0.060	41.1	2,100,879.007	414,344.993
563	12746	3.6	106.2	0.034	151.59	1.521	53.9	2,069,778.007	427,858.993
564	12756	80.1	900.0	0.089	11.92	0.085	66.8	2,104,889.059	428,630.870
565	12853	49.7	1174.0	0.042	260.66	1.600	779.9	2,080,351.009	421,497.993
566	12860	9.6	270.5	0.036	65.47	0.650	61.3	2,094,456.008	426,179.994
567	12866	21.1	614.3	0.034	28.38	0.225	46.6	2,105,578.365	409,295.153
568	12882	10.2	240.2	0.042	13.11	0.093	9.3	2,081,085.008	410,902.993
569	12905	38.1	684.9	0.056	9.81	0.086	32.2	2,081,180.008	412,591.993
570	12924	11.4	359.8	0.032	40.50	0.480	53.7	2,057,480.008	451,510.993
571	12957	10.9	194.2	0.056	17.07	0.206	22.0	2,054,614.008	447,153.992

Tabla f.1. Continuación...

Sitio	Código	Desnivel [m]	Distancia [m]	Pendiente media	A _(cuenca) [Km ²]	Q [m ³ /s]	Potencia_bruta [kW]	Coordenada Y	Coordenada X
572	12961	25.4	764.9	0.033	10.06	0.113	28.2	2,097,025.008	427,388.993
573	13029	6.1	171.5	0.036	14.22	0.120	7.2	2,062,331.008	423,904.993
574	13030	22.5	303.6	0.074	70.08	0.662	146.3	2,094,008.007	427,008.993
575	13032	30.8	550.8	0.056	13.60	0.093	28.1	2,081,054.007	411,370.993
576	13048	11.2	193.2	0.058	16.41	0.120	13.1	2,081,174.009	412,162.993
577	13065	6.6	185.8	0.035	4.42	0.063	4.1	2,096,007.009	423,279.992
578	13087	10.7	264.3	0.040	9.64	0.089	9.3	2,067,143.008	419,870.992

Anexo G. Tipo de vivienda típica por nivel socioeconómico.

Tabla g.1. Consumo de energía por tipo de vivienda.

Tipo	Artefactos eléctricos que utiliza normalmente	Potencia eléctrica [KW]	Cantidad de artefactos	Horas de consumo diario	Consumo mensual [kWh]
E (2 habitaciones)	Foco de 50 W	0.05	1	2	3
	Foco de 75 W	0.075	1	5	11.25
	Foco de 100 W	0.1	1	5	15
	TV de 14"	0.08	1	8	19.2
	Radiograbadora	0.03	1	5	4.5
Total consumo en kWh					52.95
D (Incluye baño, cocina, dormitorio y sala-comedor)	Fluorescente de 40 W	0.05	2	2	6
	Foco de 50 W	0.05	1	5	7.5
	Foco de 75 W	0.075	1	3	6.75
	Foco de 100 W	0.1	1	5	15
	Plancha eléctrica	1	1	1	4
	TV de 20"	0.1	1	5	24
	Radiograbadora	0.03	1	7	6.3
Refrigerador	0.25	1	8	60	
Total consumo en kWh					129.55
C (departamento con sala, comedor, 2 dormitorios, baño, cocina)	Fluorescente de 40 W	0.05	3	6	27
	Foco de 50 W	0.05	2	6	18
	Foco de 75 W	0.075	1	6	13.5
	Foco de 100 W	0.1	1	6	18
	Plancha eléctrica	1	1	1	8
	TV de 20"	0.1	1	5	15
	TV de 14"	0.07		5	10.5
	DVD	0.02	1	4	0.32
	Equipo de sonido	0.08	1	5	12
	Refrigerador	0.25	1	10	75
	Licuada	0.3	1	0.2	1.8
	Horno microondas	1.1	1	0.25	8.25
	Computadora	0.3	1	2	18
Ducha eléctrica	3.5	1	0.5	52.5	
Total consumo en kWh					277.87

Tabla g.1. Continuación...

Tipo	Artefactos eléctricos que utiliza normalmente	Potencia eléctrica [KW]	Cantidad de artefactos	Horas de consumo diario	Consumo mensual [kWh]
	Fluorescente de 40 W	0.05	4	6	36
	Foco de 25 W	0.025	3	4	9
	Foco de 75 W	0.075	1	5	11.25
	Foco de 100 W	0.1	2	5	30
	Plancha eléctrica	1	1	1	12
	TV de 14"	0.08	1	6	14.4
	TV de 20"	0.1	1	4	12
B (vivienda con sala, comedor, 3 dormitorios, 2 baños, 1 cocina, 1 patio interior, cochera, sala de estudios, cuarto de servicio)	Radiograbadora	0.03	1	4	3.6
	DVD	0.02	1	4	0.64
	Equipo de sonido	0.08	1	10	24
	Refrigeradora	0.35	1	10	105
	Lavadora	0.5	1	1	6
	Horno microondas	1.1	1	0.25	8.25
	Licuadaora	0.3	1	0.2	1.8
	Batidora	0.2	1	0.25	1.5
	Olla arrocera	1	1	0.75	15
	Waflera	0.7	1	0.1	1.4
	Cafetera	0.8	1	0.25	6
	Secadora de cabello	1.2	1	0.1	3.6
	Aspiradora	0.6	1	1	2.4
	Lustradora	0.3	1	1	1.2
	Terma electrica	1.5	1	3	135
Computadora	0.3	1	4	36	
Electrobomba de 1/2 HP	0.373	1	2	22.38	
Total consumo en kWh					498.42

Tabla g.1. Continuación...

Tipo	Artefactos eléctricos que utiliza normalmente	Potencia eléctrica [KW]	Cantidad de artefactos	Horas de consumo diario	Consumo mensual [kWh]
	Fluorescente de 40 W	0.05	4	6	36
	Foco de 25 W	0.025	4	4	12
	Foco de 75 W	0.075	2	5	22.5
	Foco de 100 W	0.1	3	5	45
	Plancha eléctrica	1	1	1	12
	TV de 14"	0.08	1	6	14.4
	TV de 20"	0.1	1	4	12
	TV de 29"	0.175	1	4	21
	DVD	0.02	1	4	0.64
	Radiograbadora	0.03	1	4	3.6
A	Equipo de sonido	0.08	1	10	24
(vivienda con	Refrigeradora	0.35	1	10	105
sala, comedor, 4	Cocina electrica	7	1	2	420
dormitorio, 2	Lavadora	0.5	1	1	8
baños, 1 cocina,	Secadora de ropa	2.5	1	1	20
1 patio interior,	Horno microondas	1.1	1	0.25	8.25
cochera, sala de	Licuadaora	0.3	1	0.25	2.25
estudios,	Batidora	0.2	1	0.25	1.5
pasadizos,	Olla arrocera	1	1	0.75	15
piscina, cuarto	Waflera	0.7	1	0.1	2.1
de servicio)	Cafetera	0.8	1	0.25	6
	Secadora de cabello	1.2	1	0.1	3.6
	Aspiradora	0.6	1	1	2.4
	Lustradora	0.3	1	1	1.2
	Terma electrica	1.5	1	3	135
	Computadora	0.3	2	4	72
	Electrobomba de 1 HP	0.746	1	2	44.76
Total consumo en kWh					1050.2

Anexo H. Valores estimados del costo de instalación de una PCH y energía aproximada de generación anual.

Tabla h.1. Costo de instalación de una PCH.

Sitio	Costo [\$/kW]	Costo_PCH [\$]	Energía [kWh]	Egreso [\$]	Ingreso [\$]	Ingreso Neto [\$]
1	48,484	9,849,991	1,404,241	344,750	2,316,998	1,972,248
2	60,131	475,906	54,705	16,657	90,264	73,607
3	55,039	2,087,900	262,204	73,076	432,637	359,561
4	49,745	2,572,492	357,447	90,037	589,787	499,750
5	29,941	9,148,189	2,111,896	320,187	3,484,628	3,164,441
6	49,316	10,459,741	1,466,005	366,091	2,418,908	2,052,817
7	52,171	11,333,539	1,501,558	396,674	2,477,570	2,080,896
8	50,795	5,962,650	811,375	208,693	1,338,768	1,130,075
9	62,541	604,459	66,804	21,156	110,227	89,071
10	50,259	6,425,953	883,745	224,908	1,458,180	1,233,272
11	32,965	12,649,197	2,652,242	442,722	4,376,199	3,933,477
12	61,123	8,078,913	913,589	282,762	1,507,421	1,224,659
13	50,769	11,671,807	1,589,074	408,513	2,621,972	2,213,459
14	55,800	1,725,705	213,766	60,400	352,714	292,314
15	47,770	2,149,597	311,030	75,236	513,199	437,963
16	50,706	7,490,467	1,021,071	262,166	1,684,768	1,422,601
17	59,354	232,489	27,074	8,137	44,672	36,535
18	62,216	353,953	39,323	12,388	64,883	52,494
19	54,410	2,163,206	274,802	75,712	453,424	377,712
20	55,413	1,205,126	150,322	42,179	248,031	205,852
21	54,670	2,280,008	288,266	79,800	475,638	395,838
22	54,982	1,761,912	221,497	61,667	365,469	303,802
23	56,000	5,724,515	706,571	200,358	1,165,842	965,484
24	58,091	224,668	26,733	7,863	44,109	36,245
25	30,203	11,628,567	2,661,187	407,000	4,390,959	3,983,959
26	55,778	531,497	65,863	18,602	108,674	90,072
27	58,939	304,717	35,735	10,665	58,963	48,298
28	59,792	177,514	20,521	6,213	33,860	27,647
29	52,598	1,339,978	176,091	46,899	290,550	243,650
30	55,490	1,318,102	164,186	46,134	270,907	224,773
31	25,739	30,969,129	8,316,594	1,083,920	13,722,380	12,638,461
32	61,938	88,404	9,865	3,094	16,278	13,184
33	30,089	9,033,980	2,075,275	316,189	3,424,204	3,108,014
34	28,989	17,759,855	4,234,573	621,595	6,987,045	6,365,450
35	52,963	1,947,457	254,155	68,161	419,356	351,195
36	52,904	1,410,782	184,320	49,377	304,129	254,751
37	54,847	2,013,388	253,733	70,469	418,659	348,190
38	58,781	808,629	95,085	28,302	156,891	128,588
39	49,593	8,732,090	1,217,023	305,623	2,008,088	1,702,464

Tabla h.1. Continuación...

Sitio	Costo [\$/kW]	Costo_PCH [\$]	Energía [kWh]	Egreso [\$]	Ingreso [\$]	Ingreso Neto [\$]
40	62,458	122,693	13,578	4,294	22,404	18,109
41	58,729	650,154	76,519	22,755	126,256	103,501
42	55,195	9,543,489	1,195,108	334,022	1,971,929	1,637,907
43	29,550	8,185,018	1,914,518	286,476	3,158,954	2,872,479
44	57,820	505,837	60,469	17,704	99,774	82,069
45	55,573	7,352,753	914,506	257,346	1,508,936	1,251,589
46	53,742	964,638	124,067	33,762	204,711	170,948
47	55,527	3,464,367	431,242	121,253	711,549	590,296
48	53,746	3,082,363	396,404	107,883	654,066	546,183
49	58,970	863,054	101,160	30,207	166,914	136,707
50	54,614	2,103,675	266,244	73,629	439,303	365,674
51	58,523	255,755	30,207	8,951	49,841	40,890
52	55,208	1,041,795	130,432	36,463	215,212	178,749
53	55,214	12,268,296	1,535,815	429,390	2,534,096	2,104,705
54	58,330	366,578	43,438	12,830	71,674	58,843
55	50,020	8,319,798	1,149,680	291,193	1,896,972	1,605,779
56	55,633	764,042	94,927	26,741	156,629	129,887
57	30,498	10,455,264	2,369,561	365,934	3,909,776	3,543,841
58	53,558	3,311,942	427,429	115,918	705,257	589,339
59	54,326	855,047	108,790	29,927	179,504	149,577
60	55,066	186,998	23,472	6,545	38,729	32,184
61	30,539	8,021,221	1,815,467	280,743	2,995,520	2,714,777
62	57,582	981,089	117,768	34,338	194,317	159,979
63	49,459	2,483,878	347,130	86,936	572,764	485,828
64	59,826	10,420,428	1,203,915	364,715	1,986,459	1,621,744
65	54,902	9,335,855	1,175,355	326,755	1,939,336	1,612,581
66	52,028	5,947,010	790,073	208,145	1,303,621	1,095,476
67	54,814	1,651,636	208,268	57,807	343,642	285,835
68	47,483	8,861,782	1,289,992	310,162	2,128,486	1,818,324
69	54,301	398,437	50,718	13,945	83,684	69,739
70	29,807	18,074,719	4,191,336	632,615	6,915,704	6,283,089
71	55,863	2,158,831	267,116	75,559	440,741	365,182
72	53,512	1,600,236	206,696	56,008	341,049	285,041
73	57,612	5,536,578	664,248	193,780	1,096,009	902,229
74	59,051	616,459	72,157	21,576	119,059	97,483
75	55,859	376,864	46,633	13,190	76,945	63,755
76	52,849	1,143,423	149,546	40,020	246,751	206,731
77	54,867	1,142,429	143,921	39,985	237,469	197,484
78	60,105	281,516	32,374	9,853	53,417	43,564
79	55,072	885,387	111,123	30,989	183,353	152,365
80	58,527	13,539,222	1,598,982	473,873	2,638,320	2,164,447

Tabla h.1. Continuación...

Sitio	Costo [\$/kW]	Costo_PCH [\$]	Energía [kWh]	Egreso [\$]	Ingreso [\$]	Ingreso Neto [\$]
81	52,530	5,504,931	724,352	192,673	1,195,181	1,002,508
82	47,577	3,644,433	529,461	127,555	873,610	746,055
83	60,827	4,229,438	480,603	148,030	792,996	644,965
84	54,546	962,755	121,999	33,696	201,299	167,603
85	53,436	2,672,209	345,651	93,527	570,325	476,798
86	52,354	2,093,601	276,405	73,276	456,068	382,792
87	57,988	226,668	27,018	7,933	44,580	36,647
88	55,529	677,954	84,388	23,728	139,240	115,512
89	29,637	9,058,701	2,112,709	317,055	3,485,970	3,168,916
90	55,022	1,053,790	132,379	36,883	218,426	181,543
91	53,628	1,613,980	208,022	56,489	343,237	286,748
92	53,607	1,054,826	136,008	36,919	224,413	187,494
93	49,323	1,802,070	252,539	63,072	416,690	353,617
94	55,974	227,243	28,062	7,954	46,302	38,348
95	55,744	542,768	67,300	18,997	111,045	92,049
96	25,213	35,042,608	9,606,775	1,226,491	15,851,178	14,624,687
97	53,643	1,656,653	213,464	57,983	352,215	294,233
98	30,038	15,777,931	3,630,678	552,228	5,990,618	5,438,390
99	55,892	9,469,687	1,171,090	331,439	1,932,299	1,600,860
100	52,185	3,767,549	499,022	131,864	823,387	691,523
101	48,607	4,669,730	664,039	163,441	1,095,664	932,224
102	55,866	670,799	82,994	23,478	136,940	113,462
103	62,707	335,167	36,945	11,731	60,959	49,228
104	50,806	2,351,514	319,917	82,303	527,863	445,560
105	55,570	1,005,724	125,097	35,200	206,410	171,209
106	54,038	1,752,571	224,173	61,340	369,886	308,546
107	60,504	262,578	29,997	9,190	49,495	40,304
108	50,791	596,648	81,197	20,883	133,974	113,092
109	54,756	1,424,528	179,823	49,858	296,707	246,849
110	52,894	5,656,976	739,235	197,994	1,219,738	1,021,744
111	50,664	4,588,429	625,997	160,595	1,032,895	872,300
112	55,716	770,516	95,589	26,968	157,722	130,754
113	62,759	518,577	57,113	18,150	94,237	76,087
114	53,141	2,871,456	373,489	100,501	616,257	515,756
115	60,392	254,377	29,114	8,903	48,038	39,135
116	55,241	843,784	105,578	29,532	174,204	144,671
117	53,557	1,494,866	192,925	52,320	318,326	266,005
118	55,699	962,508	119,443	33,688	197,081	163,393
119	50,763	2,276,567	309,984	79,680	511,474	431,794
120	52,820	822,219	107,595	28,778	177,532	148,754
121	55,505	3,452,637	429,954	120,842	709,424	588,581

Tabla h.1. Continuación...

Sitio	Costo [\$/kW]	Costo_PCH [\$]	Energía [kWh]	Egreso [\$]	Ingreso [\$]	Ingreso Neto [\$]
122	30,353	15,160,031	3,452,255	530,601	5,696,221	5,165,620
123	55,319	1,027,579	128,394	35,965	211,850	175,885
124	54,421	380,081	48,274	13,303	79,652	66,349
125	51,688	2,066,490	276,344	72,327	455,967	383,640
126	61,374	249,657	28,117	8,738	46,393	37,655
127	41,707	11,355,015	1,881,826	397,426	3,105,013	2,707,587
128	55,374	1,919,830	239,643	67,194	395,411	328,217
129	56,642	882,619	107,705	30,892	177,713	146,822
130	52,880	5,067,484	662,376	177,362	1,092,921	915,559
131	27,784	16,485,881	4,101,247	577,006	6,767,058	6,190,052
132	30,804	8,856,616	1,987,314	309,982	3,279,068	2,969,087
133	55,225	170,399	21,327	5,964	35,190	29,226
134	55,351	1,493,495	186,502	52,272	307,728	255,456
135	56,046	837,238	103,254	29,303	170,369	141,066
136	54,666	913,514	115,505	31,973	190,583	158,610
137	55,405	11,771,776	1,468,577	412,012	2,423,152	2,011,139
138	59,401	429,677	49,998	15,039	82,496	67,458
139	55,610	714,115	88,761	24,994	146,456	121,461
140	55,531	3,598,296	447,880	125,940	739,001	613,061
141	53,290	2,268,331	294,214	79,392	485,454	406,062
142	54,324	1,118,685	142,337	39,154	234,856	195,702
143	54,398	6,264,753	796,015	219,266	1,313,426	1,094,159
144	54,453	1,025,589	130,183	35,896	214,802	178,906
145	53,834	5,467,175	701,958	191,351	1,158,230	966,879
146	54,584	5,327,166	674,579	186,451	1,113,055	926,604
147	49,861	676,291	93,752	23,670	154,690	131,020
148	55,434	2,226,337	277,598	77,922	458,037	380,115
149	55,444	3,021,593	376,691	105,756	621,541	515,785
150	53,810	4,721,753	606,519	165,261	1,000,756	835,494
151	55,201	613,797	76,856	21,483	126,813	105,330
152	54,652	1,264,291	159,900	44,250	263,835	219,585
153	57,821	364,031	43,517	12,741	71,802	59,061
154	54,404	2,423,586	307,914	84,826	508,058	423,233
155	54,543	2,168,615	274,818	75,902	453,450	377,548
156	52,456	1,581,812	208,431	55,363	343,911	288,548
157	50,140	6,527,129	899,787	228,450	1,484,649	1,256,200
158	55,244	783,358	98,012	27,418	161,720	134,303
159	57,746	381,762	45,696	13,362	75,398	62,036
160	55,376	672,423	83,932	23,535	138,487	114,952
161	55,911	2,099,045	259,495	73,467	428,166	354,699
162	54,182	1,082,614	138,109	37,891	227,880	189,989

Tabla h.1. Continuación...

Sitio	Costo [\$/kW]	Costo_PCH [\$]	Energía [kWh]	Egreso [\$]	Ingreso [\$]	Ingreso Neto [\$]
163	52,010	2,386,696	317,184	83,534	523,354	439,820
164	57,210	1,812,025	218,927	63,421	361,229	297,809
165	54,548	1,442,877	182,833	50,501	301,675	251,174
166	54,694	1,353,280	171,023	47,365	282,188	234,823
167	54,509	867,632	110,019	30,367	181,531	151,164
168	53,298	3,505,084	454,562	122,678	750,028	627,350
169	54,465	3,112,015	394,939	108,921	651,650	542,729
170	59,431	9,884,534	1,149,594	345,959	1,896,831	1,550,872
171	54,595	6,010,045	760,905	210,352	1,255,493	1,045,142
172	30,119	8,545,318	1,961,065	299,086	3,235,758	2,936,672
173	51,378	5,255,600	707,050	183,946	1,166,632	982,686
174	49,525	2,816,797	393,127	98,588	648,660	550,072
175	57,379	1,231,683	148,371	43,109	244,811	201,703
176	55,815	539,447	66,803	18,881	110,226	91,345
177	53,783	1,936,384	248,856	67,773	410,613	342,839
178	29,857	8,241,220	1,907,890	288,443	3,148,019	2,859,576
179	54,470	869,462	110,331	30,431	182,046	151,615
180	54,833	1,267,038	159,716	44,346	263,532	219,185
181	28,725	24,027,831	5,781,676	840,974	9,539,765	8,698,791
182	53,363	986,670	127,802	34,533	210,873	176,340
183	55,476	1,440,401	179,467	50,414	296,121	245,706
184	55,241	514,569	64,385	18,010	106,235	88,225
185	52,904	1,027,870	134,293	35,975	221,583	185,607
186	54,488	4,315,836	547,482	151,054	903,346	752,292
187	55,462	7,131,040	888,719	249,586	1,466,386	1,216,800
188	54,261	2,588,368	329,717	90,593	544,034	453,441
189	37,589	12,480,101	2,294,916	436,804	3,786,611	3,349,807
190	54,943	599,490	75,418	20,982	124,439	103,457
191	29,454	10,621,255	2,492,500	371,744	4,112,625	3,740,881
192	53,279	3,852,420	499,779	134,835	824,636	689,801
193	51,814	1,717,270	229,083	60,104	377,987	317,882
194	53,564	1,034,230	133,459	36,198	220,208	184,010
195	51,802	4,935,327	658,524	172,736	1,086,565	913,828
196	59,783	580,637	67,132	20,322	110,768	90,446
197	55,818	322,702	39,960	11,295	65,934	54,640
198	57,779	5,979,513	715,314	209,283	1,180,268	970,985
199	53,507	3,273,958	422,924	114,589	697,824	583,236
200	55,595	12,815,136	1,593,289	448,530	2,628,927	2,180,397
201	55,174	1,406,208	176,165	49,217	290,672	241,455
202	52,174	4,955,254	656,471	173,434	1,083,177	909,743
203	55,748	477,688	59,227	16,719	97,725	81,005

Tabla h.1. Continuación...

Sitio	Costo [\$/kW]	Costo_PCH [\$]	Energía [kWh]	Egreso [\$]	Ingreso [\$]	Ingreso Neto [\$]
204	49,947	8,363,118	1,157,345	292,709	1,909,620	1,616,910
205	55,661	8,828,928	1,096,375	309,012	1,809,019	1,500,006
206	53,915	791,330	101,450	27,697	167,393	139,696
207	53,810	4,878,460	626,643	170,746	1,033,961	863,215
208	55,941	306,833	37,912	10,739	62,555	51,816
209	30,277	16,293,498	3,719,706	570,272	6,137,515	5,567,243
210	49,974	2,500,453	345,844	87,516	570,642	483,126
211	54,233	1,307,824	166,683	45,774	275,027	229,253
212	27,725	7,266,768	1,811,656	254,337	2,989,232	2,734,895
213	57,934	778,021	92,824	27,231	153,159	125,928
214	58,875	174,222	20,454	6,098	33,749	27,651
215	55,777	447,992	55,516	15,680	91,602	75,922
216	52,724	4,202,586	550,949	147,091	909,066	761,975
217	49,707	6,890,965	958,214	241,184	1,581,053	1,339,869
218	58,611	682,414	80,477	23,884	132,788	108,903
219	54,036	10,959,263	1,401,850	383,574	2,313,053	1,929,479
220	55,859	4,591,711	568,176	160,710	937,491	776,781
221	55,812	465,364	57,632	16,288	95,094	78,806
222	55,007	1,178,176	148,045	41,236	244,274	203,038
223	59,151	305,178	35,661	10,681	58,841	48,160
224	51,991	4,766,221	633,648	166,818	1,045,520	878,702
225	43,727	1,898,825	300,149	66,459	495,246	428,787
226	54,807	855,348	107,872	29,937	177,988	148,051
227	51,178	4,218,379	569,722	147,643	940,041	792,398
228	57,549	387,988	46,599	13,580	76,889	63,310
229	52,352	5,919,101	781,491	207,169	1,289,460	1,082,292
230	55,744	1,963,590	243,475	68,726	401,734	333,009
231	54,127	2,690,109	343,529	94,154	566,823	472,669
232	57,018	613,008	74,312	21,455	122,614	101,159
233	50,642	9,754,299	1,331,350	341,400	2,196,728	1,855,327
234	53,354	5,394,326	698,832	188,801	1,153,073	964,272
235	55,835	476,143	58,944	16,665	97,257	80,592
236	50,069	1,679,816	231,898	58,794	382,632	323,838
237	59,824	3,158,529	364,932	110,549	602,138	491,590
238	50,628	4,581,392	625,479	160,349	1,032,041	871,692
239	49,243	2,545,723	357,333	89,100	589,599	500,499
240	53,850	1,414,035	181,500	49,491	299,474	249,983
241	30,594	15,798,714	3,569,340	552,955	5,889,411	5,336,456
242	51,409	1,923,495	258,616	67,322	426,717	359,395
243	30,425	8,393,821	1,906,952	293,784	3,146,471	2,852,687
244	54,764	7,639,861	964,254	267,395	1,591,019	1,323,623

Tabla h.1. Continuación...

Sitio	Costo [\$/kW]	Costo_PCH [\$]	Energía [kWh]	Egreso [\$]	Ingreso [\$]	Ingreso Neto [\$]
245	44,902	9,708,326	1,494,441	339,791	2,465,828	2,126,037
246	41,396	4,672,123	780,118	163,524	1,287,195	1,123,670
247	54,675	2,274,197	287,501	79,597	474,377	394,780
248	54,912	1,938,709	244,032	67,855	402,653	334,798
249	60,836	1,203,045	136,686	42,107	225,532	183,425
250	55,646	188,880	23,461	6,611	38,711	32,100
251	55,954	1,441,014	178,007	50,435	293,712	243,277
252	56,943	2,675,736	324,795	93,651	535,912	442,261
253	55,441	2,068,328	257,866	72,391	425,479	353,088
254	60,425	217,992	24,936	7,630	41,144	33,514
255	30,482	9,603,925	2,177,738	336,137	3,593,268	3,257,131
256	55,006	6,184,482	777,134	216,457	1,282,271	1,065,814
257	29,716	9,141,902	2,126,408	319,967	3,508,573	3,188,607
258	54,434	882,421	112,050	30,885	184,882	153,998
259	55,851	156,085	19,317	5,463	31,873	26,410
260	28,277	11,737,444	2,869,106	410,811	4,734,026	4,323,215
261	60,181	288,112	33,091	10,084	54,599	44,515
262	56,370	300,016	36,787	10,501	60,699	50,199
263	52,077	4,328,143	574,458	151,485	947,855	796,370
264	48,650	3,487,083	495,430	122,048	817,459	695,411
265	52,692	3,068,690	402,540	107,404	664,191	556,787
266	52,846	3,064,771	400,856	107,267	661,413	554,146
267	57,121	316,242	38,267	11,068	63,141	52,072
268	53,694	2,463,506	317,127	86,223	523,260	437,037
269	54,291	1,199,493	152,711	41,982	251,974	209,991
270	55,636	559,095	69,460	19,568	114,609	95,041
271	50,025	6,624,735	915,347	231,866	1,510,322	1,278,456
272	55,861	1,081,091	133,769	37,838	220,718	182,880
273	62,471	622,984	68,929	21,804	113,733	91,928
274	54,671	5,696,445	720,193	199,376	1,188,319	988,944
275	55,606	585,842	72,822	20,504	120,156	99,651
276	55,326	319,556	39,923	11,184	65,872	54,688
277	50,963	4,361,422	591,530	152,650	976,025	823,375
278	55,765	339,879	42,128	11,896	69,511	57,615
279	59,433	612,739	71,261	21,446	117,581	96,135
280	53,278	3,523,257	457,086	123,314	754,192	630,878
281	54,880	4,127,931	519,907	144,478	857,847	713,370
282	30,533	9,554,133	2,162,835	334,395	3,568,678	3,234,283
283	47,772	1,685,647	243,889	58,998	402,417	343,420
284	60,803	421,468	47,912	14,751	79,055	64,303
285	55,457	693,635	86,453	24,277	142,647	118,370

Tabla h.1. Continuación...

Sitio	Costo [\$/kW]	Costo_PCH [\$]	Energía [kWh]	Egreso [\$]	Ingreso [\$]	Ingreso Neto [\$]
286	54,576	2,233,188	282,829	78,162	466,669	388,507
287	55,532	207,059	25,772	7,247	42,524	35,277
288	55,749	5,576,151	691,353	195,165	1,140,733	945,568
289	55,398	3,804,963	474,741	133,174	783,323	650,149
290	55,678	428,895	53,244	15,011	87,852	72,841
291	53,475	1,356,481	175,334	47,477	289,302	241,825
292	55,025	1,530,448	192,248	53,566	317,209	263,644
293	30,386	14,176,966	3,224,928	496,194	5,321,131	4,824,937
294	50,861	3,543,019	481,497	124,006	794,470	670,464
295	55,714	1,780,157	220,848	62,305	364,400	302,094
296	61,114	105,156	11,893	3,680	19,624	15,943
297	55,226	817,630	102,334	28,617	168,851	140,233
298	52,270	3,518,768	465,309	123,157	767,760	644,603
299	52,595	1,513,575	198,911	52,975	328,204	275,229
300	47,798	8,072,259	1,167,308	282,529	1,926,059	1,643,530
301	55,615	387,823	48,200	13,574	79,530	65,956
302	30,372	14,597,539	3,322,034	510,914	5,481,355	4,970,442
303	59,990	480,550	55,369	16,819	91,358	74,539
304	55,910	9,282,333	1,147,544	324,882	1,893,447	1,568,566
305	55,458	1,313,197	163,670	45,962	270,056	224,094
306	55,835	1,586,170	196,356	55,516	323,987	268,471
307	54,680	680,792	86,057	23,828	141,995	118,167
308	50,576	2,307,418	315,343	80,760	520,316	439,556
309	55,448	881,667	109,906	30,858	181,345	150,486
310	55,646	762,017	94,653	26,671	156,177	129,506
311	45,370	3,040,075	463,151	106,403	764,199	657,796
312	52,395	1,940,673	256,016	67,924	422,426	354,503
313	29,082	21,578,994	5,128,806	755,265	8,462,529	7,707,265
314	55,475	3,493,581	435,285	122,275	718,220	595,945
315	55,513	686,389	85,463	24,024	141,014	116,991
316	55,634	636,471	79,076	22,276	130,476	108,199
317	48,286	6,025,753	862,565	210,901	1,423,233	1,212,331
318	55,218	470,597	58,907	16,471	97,197	80,726
319	53,491	2,094,828	270,690	73,319	446,638	373,319
320	55,967	274,667	33,921	9,613	55,970	46,357
321	55,271	711,988	89,038	24,920	146,913	121,994
322	54,540	1,447,832	183,488	50,674	302,756	252,081
323	55,035	2,340,735	293,981	81,926	485,069	403,144
324	60,413	177,017	20,253	6,196	33,417	27,222
325	55,669	1,853,426	230,128	64,870	379,710	314,841
326	54,481	803,834	101,983	28,134	168,272	140,138

Tabla h.1. Continuación...

Sitio	Costo [\$/kW]	Costo_PCH [\$]	Energía [kWh]	Egreso [\$]	Ingreso [\$]	Ingreso Neto [\$]
327	54,199	717,205	91,465	25,102	150,917	125,815
328	55,176	833,961	104,472	29,189	172,379	143,190
329	55,419	675,142	84,206	23,630	138,939	115,309
330	50,141	4,241,928	584,750	148,467	964,837	816,369
331	55,471	144,523	18,008	5,058	29,714	24,655
332	55,556	2,642,650	328,785	92,493	542,495	450,002
333	60,413	1,740,745	199,164	60,926	328,621	267,694
334	55,943	7,303,635	902,394	255,627	1,488,950	1,233,323
335	52,646	427,704	56,155	14,970	92,655	77,685
336	60,290	1,976,148	226,557	69,165	373,819	304,654
337	55,877	506,620	62,669	17,732	103,405	85,673
338	55,361	9,365,590	1,169,314	327,796	1,929,369	1,601,573
339	54,455	1,749,841	222,109	61,244	366,480	305,236
340	54,704	2,054,173	259,551	71,896	428,259	356,363
341	55,529	553,736	68,927	19,381	113,730	94,349
342	47,304	10,973,289	1,603,413	384,065	2,645,631	2,261,566
343	51,388	2,147,684	288,877	75,169	476,647	401,478
344	54,410	1,591,007	202,116	55,685	333,491	277,806
345	53,580	1,518,927	195,948	53,162	323,314	270,152
346	53,174	1,508,345	196,066	52,792	323,509	270,717
347	44,257	10,358,892	1,617,845	362,561	2,669,444	2,306,882
348	53,453	3,272,081	423,111	114,523	698,134	583,611
349	55,317	5,304,702	662,833	185,665	1,093,675	908,011
350	55,148	1,115,243	139,778	39,034	230,634	191,601
351	39,421	13,006,243	2,280,500	455,218	3,762,826	3,307,607
352	61,325	157,117	17,709	5,499	29,219	23,720
353	55,061	12,850,008	1,613,115	449,750	2,661,640	2,211,890
354	59,395	810,260	94,292	28,359	155,582	127,223
355	52,481	3,767,395	496,182	131,859	818,701	686,842
356	54,872	1,740,216	219,208	60,908	361,693	300,785
357	58,493	111,973	13,232	3,919	21,832	17,913
358	61,734	2,959,533	331,363	103,584	546,749	443,165
359	55,071	279,808	35,119	9,793	57,946	48,153
360	62,293	568,038	63,029	19,881	103,997	84,116
361	55,258	676,094	84,569	23,663	139,540	115,876
362	54,017	588,313	75,280	20,591	124,213	103,622
363	59,560	812,633	94,307	28,442	155,607	127,165
364	55,877	861,223	106,534	30,143	175,782	145,639
365	61,708	123,797	13,867	4,333	22,880	18,547
366	55,659	753,980	93,633	26,389	154,495	128,106
367	50,144	1,630,887	224,805	57,081	370,927	313,846

Tabla h.1. Continuación...

Sitio	Costo [\$/kW]	Costo_PCH [\$]	Energía [kWh]	Egreso [\$]	Ingreso [\$]	Ingreso Neto [\$]
368	54,139	1,198,037	152,954	41,931	252,375	210,443
369	53,452	1,505,274	194,650	52,685	321,173	268,489
370	53,108	1,150,587	149,750	40,271	247,087	206,817
371	52,482	1,993,970	262,608	69,789	433,304	363,515
372	55,425	523,028	65,227	18,306	107,624	89,318
373	54,019	2,072,659	265,209	72,543	437,595	365,052
374	56,385	2,059,400	252,454	72,079	416,549	344,470
375	55,822	1,607,985	199,105	56,279	328,523	272,243
376	54,685	1,935,826	244,681	67,754	403,723	335,969
377	59,181	189,309	22,110	6,626	36,482	29,856
378	53,010	589,388	76,851	20,629	126,803	106,175
379	55,009	192,932	24,242	6,753	40,000	33,247
380	55,070	793,278	99,567	27,765	164,286	136,521
381	53,473	1,392,043	179,938	48,722	296,897	248,176
382	55,504	507,601	63,212	17,766	104,300	86,534
383	53,635	664,183	85,594	23,246	141,230	117,984
384	55,538	7,562,067	941,148	264,672	1,552,894	1,288,221
385	30,115	13,027,144	2,989,984	455,950	4,933,474	4,477,524
386	55,790	525,129	65,059	18,380	107,348	88,968
387	44,138	4,695,671	735,337	164,348	1,213,305	1,048,957
388	54,514	1,463,629	185,578	51,227	306,204	254,977
389	53,100	3,669,843	477,703	128,445	788,209	659,765
390	51,600	5,114,643	685,123	179,012	1,130,452	951,440
391	53,239	964,181	125,180	33,746	206,547	172,800
392	55,752	1,037,899	128,677	36,326	212,316	175,990
393	52,238	4,776,688	632,044	167,184	1,042,873	875,689
394	50,991	4,372,006	592,643	153,020	977,861	824,840
395	55,328	12,408,841	1,550,204	434,309	2,557,836	2,123,527
396	54,186	2,647,355	337,700	92,657	557,205	464,547
397	43,808	4,170,444	658,014	145,966	1,085,722	939,757
398	55,813	810,706	100,399	28,375	165,658	137,283
399	53,184	1,692,682	219,988	59,244	362,980	303,736
400	55,296	2,526,651	315,833	88,433	521,125	432,692
401	49,444	6,753,445	944,095	236,371	1,557,757	1,321,387
402	55,847	7,317,323	905,646	256,106	1,494,316	1,238,210
403	55,996	535,330	66,080	18,737	109,032	90,295
404	51,880	1,247,605	166,218	43,666	274,260	230,594
405	52,510	1,894,072	249,319	66,293	411,377	345,084
406	54,855	1,462,219	184,245	51,178	304,005	252,827
407	60,074	8,905,232	1,024,620	311,683	1,690,623	1,378,940
408	30,330	8,065,949	1,838,157	282,308	3,032,959	2,750,651

Tabla h.1. Continuación...

Sitio	Costo [\$/kW]	Costo_PCH [\$]	Energía [kWh]	Egreso [\$]	Ingreso [\$]	Ingreso Neto [\$]
409	52,081	480,517	63,772	16,818	105,224	88,406
410	52,186	1,200,617	159,021	42,022	262,385	220,364
411	61,285	250,156	28,214	8,755	46,552	37,797
412	55,105	12,625,992	1,583,723	441,910	2,613,142	2,171,233
413	59,837	4,541,986	524,665	158,970	865,698	706,728
414	55,424	896,998	111,866	31,395	184,579	153,184
415	56,936	86,357	10,484	3,023	17,298	14,276
416	53,541	8,395,889	1,083,878	293,856	1,788,399	1,494,543
417	59,609	323,340	37,493	11,317	61,864	50,547
418	54,763	10,702,070	1,350,777	374,572	2,228,781	1,854,209
419	38,380	11,483,457	2,068,123	401,921	3,412,403	3,010,482
420	54,112	7,401,414	945,427	259,049	1,559,955	1,300,905
421	54,712	5,591,550	706,404	195,704	1,165,566	969,862
422	55,049	849,732	106,693	29,741	176,044	146,304
423	55,030	362,427	45,522	12,685	75,111	62,426
424	54,930	11,061,638	1,391,906	387,157	2,296,645	1,909,488
425	53,203	1,459,830	189,658	51,094	312,935	261,841
426	54,779	596,211	75,230	20,867	124,130	103,262
427	57,971	306,445	36,538	10,726	60,287	49,562
428	54,320	870,048	110,710	30,452	182,671	152,220
429	54,926	1,511,675	190,231	52,909	313,882	260,973
430	53,378	7,146,199	925,375	250,117	1,526,869	1,276,752
431	53,032	7,034,599	916,863	246,211	1,512,824	1,266,613
432	55,167	4,411,175	552,681	154,391	911,924	757,533
433	51,323	1,648,751	222,050	57,706	366,383	308,676
434	55,106	13,802,740	1,731,276	483,096	2,856,605	2,373,509
435	42,409	5,962,371	971,773	208,683	1,603,425	1,394,742
436	59,545	846,433	98,254	29,625	162,119	132,493
437	49,073	11,857,921	1,670,208	415,027	2,755,844	2,340,816
438	54,648	1,496,609	189,295	52,381	312,336	259,955
439	55,150	579,462	72,625	20,281	119,831	99,550
440	51,177	10,154,858	1,371,529	355,420	2,263,023	1,907,603
441	56,304	473,643	58,145	16,578	95,939	79,362
442	57,604	440,867	52,900	15,430	87,285	71,855
443	54,877	1,012,712	127,556	35,445	210,467	175,023
444	55,130	1,677,753	210,352	58,721	347,081	288,359
445	30,557	17,482,220	3,954,526	611,878	6,524,968	5,913,090
446	52,396	1,466,595	193,473	51,331	319,230	267,899
447	59,736	701,652	81,188	24,558	133,960	109,402
448	55,876	481,513	59,564	16,853	98,281	81,428
449	50,311	11,167,015	1,534,172	390,846	2,531,384	2,140,539

Tabla h.1. Continuación...

Sitio	Costo [\$/kW]	Costo_PCH [\$]	Energía [kWh]	Egreso [\$]	Ingreso [\$]	Ingreso Neto [\$]
450	55,370	582,117	72,668	20,374	119,902	99,528
451	50,264	1,862,372	256,104	65,183	422,571	357,388
452	54,011	7,266,004	929,862	254,310	1,534,271	1,279,961
453	54,271	2,014,343	256,547	70,502	423,302	352,800
454	60,232	265,293	30,444	9,285	50,232	40,947
455	58,686	5,357,219	630,972	187,503	1,041,104	853,601
456	52,712	2,528,328	331,533	88,491	547,029	458,537
457	54,604	4,578,368	579,553	160,243	956,263	796,020
458	55,102	8,705,578	1,092,026	304,695	1,801,843	1,497,148
459	55,606	716,473	89,060	25,077	146,950	121,873
460	56,691	397,858	48,508	13,925	80,039	66,114
461	54,317	857,900	109,171	30,027	180,131	150,105
462	54,849	209,524	26,404	7,333	43,566	36,233
463	63,132	154,254	16,888	5,399	27,866	22,467
464	53,363	1,112,033	144,038	38,921	237,663	198,742
465	55,635	260,692	32,388	9,124	53,440	44,316
466	62,873	2,435,839	267,785	85,254	441,845	356,591
467	54,449	2,255,112	286,274	78,929	472,353	393,424
468	55,156	675,263	84,623	23,634	139,628	115,993
469	55,895	745,378	92,174	26,088	152,088	125,999
470	23,910	43,781,104	12,656,376	1,532,339	20,883,020	19,350,681
471	53,931	938,459	120,276	32,846	198,456	165,610
472	55,759	797,088	98,808	27,898	163,033	135,135
473	55,381	10,013,765	1,249,804	350,482	2,062,177	1,711,695
474	55,881	705,858	87,308	24,705	144,059	119,354
475	54,483	988,539	125,412	34,599	206,930	172,331
476	55,531	10,434,739	1,298,828	365,216	2,143,066	1,777,851
477	55,470	397,705	49,557	13,920	81,769	67,849
478	42,439	4,763,360	775,807	166,718	1,280,082	1,113,364
479	44,128	10,379,878	1,625,838	363,296	2,682,633	2,319,337
480	50,078	2,467,451	340,569	86,361	561,939	475,578
481	55,282	748,353	93,568	26,192	154,388	128,195
482	49,348	3,342,209	468,131	116,977	772,416	655,439
483	55,132	9,009,841	1,129,588	315,344	1,863,821	1,548,476
484	53,468	3,659,235	473,043	128,073	780,520	652,447
485	55,717	367,028	45,532	12,846	75,127	62,281
486	55,986	716,255	88,428	25,069	145,906	120,837
487	53,594	504,146	65,019	17,645	107,282	89,636
488	55,836	951,471	117,784	33,301	194,344	161,043
489	55,558	1,353,165	168,348	47,361	277,774	230,413
490	51,999	2,172,295	288,756	76,030	476,447	400,417

Tabla h.1. Continuación...

Sitio	Costo [\$/kW]	Costo_PCH [\$]	Energía [kWh]	Egreso [\$]	Ingreso [\$]	Ingreso Neto [\$]
491	55,611	226,945	28,207	7,943	46,542	38,599
492	53,829	1,251,709	160,729	43,810	265,202	221,393
493	58,393	546,752	64,719	19,136	106,786	87,650
494	54,937	601,352	75,660	21,047	124,839	103,792
495	30,605	9,577,745	2,163,104	335,221	3,569,121	3,233,900
496	54,652	2,413,471	305,240	84,471	503,647	419,175
497	53,029	5,084,800	662,776	177,968	1,093,581	915,613
498	59,465	1,411,769	164,099	49,412	270,763	221,351
499	46,186	9,004,820	1,347,627	315,169	2,223,584	1,908,415
500	49,615	8,640,099	1,203,678	302,403	1,986,069	1,683,666
501	53,688	1,487,050	191,447	52,047	315,888	263,841
502	55,162	11,948,607	1,497,203	418,201	2,470,385	2,052,183
503	56,347	841,401	103,213	29,449	170,301	140,852
504	55,064	187,244	23,504	6,554	38,782	32,228
505	54,756	1,994,073	251,717	69,793	415,333	345,540
506	54,023	6,604,762	845,049	231,167	1,394,330	1,163,163
507	53,858	1,875,389	240,681	65,639	397,124	331,486
508	55,503	9,947,786	1,238,826	348,173	2,044,063	1,695,891
509	60,901	1,137,498	129,102	39,812	213,019	173,206
510	54,762	2,021,544	255,158	70,754	421,011	350,257
511	52,782	5,288,449	692,547	185,096	1,142,702	957,606
512	57,233	1,004,862	121,357	35,170	200,240	165,069
513	53,753	1,361,671	175,094	47,658	288,904	241,246
514	55,314	2,900,428	362,439	101,515	598,024	496,509
515	49,579	2,833,916	395,085	99,187	651,891	552,704
516	55,345	12,629,547	1,577,307	442,034	2,602,557	2,160,523
517	50,877	2,061,892	280,124	72,166	462,205	390,039
518	58,951	1,833,136	214,936	64,160	354,644	290,484
519	54,212	2,470,671	315,007	86,473	519,761	433,287
520	50,480	5,768,891	789,914	201,911	1,303,358	1,101,447
521	53,124	5,538,605	720,635	193,851	1,189,048	995,196
522	55,527	762,359	94,899	26,683	156,583	129,900
523	53,972	746,696	95,627	26,134	157,785	131,650
524	54,664	13,713,648	1,734,014	479,978	2,861,123	2,381,146
525	48,124	3,059,823	439,476	107,094	725,135	618,041
526	59,709	387,040	44,804	13,546	73,927	60,381
527	50,401	2,364,149	324,220	82,745	534,963	452,218
528	55,467	1,268,230	158,040	44,388	260,765	216,377
529	58,752	1,233,984	145,175	43,189	239,538	196,349
530	53,528	3,443,659	444,678	120,528	733,719	613,191
531	53,992	11,198,688	1,433,645	391,954	2,365,514	1,973,560

Tabla h.1. Continuación...

Sitio	Costo [\$/kW]	Costo_PCH [\$]	Energía [kWh]	Egreso [\$]	Ingreso [\$]	Ingreso Neto [\$]
532	55,425	1,942,236	242,215	67,978	399,654	331,676
533	55,439	1,863,232	232,302	65,213	383,298	318,085
534	51,133	3,965,166	535,995	138,781	884,392	745,611
535	53,794	949,108	121,951	33,219	201,219	168,000
536	59,491	834,907	97,004	29,222	160,056	130,834
537	55,376	502,262	62,692	17,579	103,442	85,862
538	54,189	8,584,195	1,094,950	300,447	1,806,667	1,506,220
539	49,941	1,171,651	162,159	41,008	267,562	226,555
540	52,918	3,857,338	503,839	135,007	831,335	696,328
541	49,645	10,761,809	1,498,360	376,663	2,472,294	2,095,631
542	62,559	260,370	28,768	9,113	47,466	38,353
543	62,366	402,992	44,664	14,105	73,695	59,590
544	55,116	863,682	108,313	30,229	178,716	148,487
545	55,587	2,247,348	279,446	78,657	461,085	382,428
546	50,471	6,087,741	833,711	213,071	1,375,623	1,162,552
547	27,863	15,303,733	3,796,426	535,631	6,264,104	5,728,473
548	49,815	6,052,814	839,842	211,848	1,385,740	1,173,891
549	43,377	2,844,223	453,220	99,548	747,814	648,266
550	53,748	3,369,967	433,380	117,949	715,077	597,128
551	55,826	2,240,727	277,429	78,425	457,759	379,333
552	54,966	690,997	86,893	24,185	143,373	119,189
553	54,817	2,660,975	335,530	93,134	553,624	460,490
554	55,774	2,245,658	278,300	78,598	459,195	380,597
555	59,313	106,735	12,438	3,736	20,523	16,787
556	60,576	526,324	60,056	18,421	99,093	80,671
557	51,151	8,473,115	1,144,964	296,559	1,889,191	1,592,632
558	50,942	4,433,385	601,534	155,168	992,531	837,363
559	51,239	3,676,806	495,996	128,688	818,393	689,705
560	54,948	508,191	63,926	17,787	105,478	87,691
561	45,092	2,114,803	324,171	74,018	534,882	460,864
562	49,789	2,046,972	284,175	71,644	468,888	397,244
563	62,400	3,366,077	372,855	117,813	615,211	497,398
564	48,760	3,256,374	461,610	113,973	761,657	647,684
565	30,096	23,471,657	5,390,554	821,508	8,894,414	8,072,906
566	55,839	3,424,126	423,854	119,844	699,358	579,514
567	54,685	2,547,199	321,956	89,152	531,228	442,076
568	55,784	517,071	64,068	18,097	105,712	87,615
569	52,973	1,704,757	222,438	59,667	367,023	307,356
570	55,659	2,988,947	371,179	104,613	612,445	507,832
571	55,711	1,226,053	152,115	42,912	250,989	208,077
572	54,251	1,529,209	194,834	53,522	321,476	267,954

Tabla h.1. Continuación...

Sitio	Costo [\$/kW]	Costo_PCH [\$]	Energía [kWh]	Egreso [\$]	Ingreso [\$]	Ingreso Neto [\$]
573	58,761	422,734	49,726	14,796	82,048	67,252
574	54,542	7,978,740	1,011,124	279,256	1,668,355	1,389,099
575	53,707	1,510,957	194,456	52,883	320,852	267,969
576	55,683	732,004	90,864	25,620	149,926	124,306
577	58,061	236,510	28,156	8,278	46,457	38,179
578	55,731	520,442	64,548	18,215	106,504	88,289