



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

**POSGRADO EN INGENIERÍA AGRÍCOLA
Y USO INTEGRAL DEL AGUA**

**MODELACIÓN DE EVENTOS HIDROMETEOROLÓGICOS
MÁXIMOS EN LA CUENCA DEL RÍO TECOLUTLA**

TESIS

**QUE COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE**

MAESTRO EN INGENIERÍA AGRÍCOLA Y USO INTEGRAL DEL AGUA

PRESENTA:

LEYDI YANIRETH GÓMEZ VICENTE



**DIRECCIÓN DE LA ACADEMIA
DEPTO. DE SERVICIOS ESCOLARES
OFICINA DE EXÁMENES PROFESIONALES**

Chapingo, Estado de México, Diciembre 2015.



MODELACIÓN DE EVENTOS HIDROMETEOROLÓGICOS MÁXIMOS EN LA CUENCA DEL RÍO TECOLUTLA

Tesis realizada por **Leydi Yanireth Gómez Vicente** bajo la dirección del comité asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN INGENIERÍA AGRÍCOLA Y USO INTEGRAL DEL AGUA

DIRECTORA:



Ph. D. Laura Alicia Ibáñez Castillo

ASESOR:



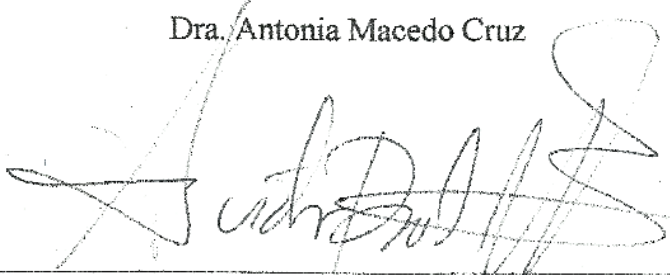
Dr. Gustavo Antonio Arévalo Galarza

ASESOR:



Dra. Antonia Macedo Cruz

ASESOR:



Dr. Jorge Víctor Prado Hernández

DEDICATORIA

Al forjador de mi camino, creador de todas las cosas, que me permitió vivir y crecer, por ser mi fuerza cuando a punto de caer eh estado.

A mi padre Q. P. D., porque siento tu ausencia, pero es grato tu recuerdo.

A mi madre, mi apoyo incondicional, por estar a mi lado en los buenos y malos momentos, porque has sabido guiarme y comprenderme.

A mi pequeño gran amor, Héctor, por ponerme la prueba más grande que una mujer pueda tener, ser madre; por ser el detonante de mi felicidad, y de mi esfuerzo. Te Amo Hijo!!!

A mis hermanos, Elsa, Alonso, Danna, por seguir siendo fuertes; por ser los mejores.

A la familia Gómez Amaro Q. P. D., los amo y los extraño mucho. Chinita, gracias por ser mi prima preferida.

A mis hermanos que yo elegí y que siguen estando al lado mío, seguimos siendo tropa, Cesar, Katya, Yesi, David, Andrés, Maguita.

A todos los amigos y familiares que quiero y que están siempre cerca de mi corazón, a ustedes gracias, por las risas y lágrimas y por todas las historias que serían infinitas y es por ello que es imposible mencionar a cada uno de ustedes.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por la beca otorgada para la realización de la maestría.

A la Universidad Autónoma Chapingo, por seguir acogéndome y permitirme seguir con mis estudios.

Al Posgrado en Ingeniería Agrícola y Uso Integral del agua, por bríndame la oportunidad de formar parte del mismo.

A la Ph. D. Laura Alicia Ibáñez Castillo, por el apoyo incondicional, académico y moral, por ser una excelente guía, ingeniera y maestra.

Al Dr. Gustavo Arévalo Galarza, por la disposición, profesionalismo y recomendaciones para el desarrollo del proyecto.

A la Dra. Antonia Macedo del Colegio de Postgraduados (CP), por su apoyo y disposición para la obtención de material importante para la investigación.

Al Dr. Víctor Prado Hernández, por las recomendaciones lo largo de la maestría.

A la comisión Nacional del Agua (CONAGUA), Servicio Meteorológico Nacional (SMN) y Comisión Federal de Electricidad (CFE), por la generación de información hidrológica y meteorológica que hizo posible el desarrollo de la investigación.

A la Estación de Recepción México Nueva Generación (ERMEX_NG), por las facilidades y apoyo en el proceso para la obtención de imágenes de satélite SPOT 5.

A los profesores y compañeros de maestría que me inspiraron para que este proceso llegara a un buen término.

DATOS BIOGRÁFICOS

Leydi Yanireth Gómez Vicente, nació el 18 de agosto de 1991, en la ciudad de Oaxaca de Juárez, realizó sus estudios de primaria en el periodo 1997-2003 y telesecundaria en el periodo 2003-2009 en la comunidad de El Punto, municipio de Santa Catarina Ixtepeji, Ixtlán de Juárez, en el estado de Oaxaca.

Ingresó a la Universidad Autónoma Chapingo en el año 2006, para iniciar sus estudios en el nivel medio superior en la Preparatoria Agrícola de la universidad, y posteriormente en el año 2009 inicia sus estudios de educación superior, en el Departamento de Suelos ingresando al programa de Ingeniería en Recursos Naturales Renovables. En julio del año 2013 obtiene su título de Ingeniero en Recursos Naturales Renovables bajo la modalidad de tesis con el tema, Potencial De Recarga Hídrica Con Escenarios De Cambio Climático en la Subcuenca Coyotepec, Oaxaca.

En agosto de 2013, ingresó a la maestría en Ingeniería Agrícola y Uso Integral del Agua en la Universidad Autónoma Chapingo, finalizando en el mes de Julio de 2015.

Ha desempeñado labores de realización, gestión e implementación de proyectos productivos en su estado de origen: Oaxaca.

Modelación de eventos hidrometeorológicos máximos en la cuenca del Río Tecolutla.

Modeling of maximum hydrometeorological events in the Tecolutla River basin.

Ing. Leydi Yanireth Gómez Vicente¹

Ph. D. Laura Alicia Ibáñez Castillo²

RESUMEN

En este trabajo se simuló el proceso lluvia-escurrimiento en la cuenca del Río Tecolutla. La delimitación de la cuenca se realizó por medio de la extensión HEC-GeoHMS 10.1 en el programa ArcGIS 10.1 usando la estación El Remolino; se obtuvo un área de 7136.98 Km² distribuida en 59 subcuencas. Con la teoría del hidrograma unitario propuesto por el Servicio de Conservación de suelos (SCS) se simularon y calibraron dos eventos registrados en la estación hidrométrica El Espinal usando el software HEC-HMS 4.0 (Hydrologic Engineering Center's Hydrologic Modeling System) y bajo los escenarios de uso de suelo 2005, 2009 y 2014 interpretados en imágenes de satélite. El primer evento se simuló del 20 de septiembre al 06 de octubre de 2009 con gasto pico de 2,961.9 m³/s, el segundo evento del 12 al 22 de octubre de 2009 con gasto pico de 4,765 m³/s. En la calibración del modelo se buscó maximizar el caudal pico simulado y obtener un buen coeficiente de Nash & Sutcliffe (1970). Es por ello que se consideraron 3 corridas de optimización, la primera muestra un equilibrio entre el gasto pico y el coeficiente de ajuste pues el primer evento presentó un coeficiente de Nash de 0.644 y un gasto pico de 2800.4 m³/s, el segundo evento fue de 0.731, y un gasto pico de 4,254.7 m³/s, la segunda corrida se enfoca sólo en obtener el gasto pico simulado más cercano al observado los picos obtenidos tienen un valor de 2,819.0 m³/s y 4,254.7 m³/s para el primer y segundo evento, la corrida de optimización 3, representa el mejor coeficiente de Nash & Sutcliffe con un valor de 0.770 y 0.841 respectivamente. De acuerdo con los resultados; la corrida de optimización 1 simula aceptablemente los hidrogramas medidos. En la corrida de optimización 2 los caudales estimados pueden considerarse como insumo para elaborar modelos hidráulicos de inundaciones. El impacto del cambio de uso de suelo se refleja en el aumento del caudal pico de cada una de las subcuencas, el impacto que un evento máximo tenga en el área dependerá de la conservación del sitio.

Palabras Clave: lluvia-escurrimiento, gasto pico, coeficiente de Nash & Sutcliffe

ABSTRACT

The rainfall-runoff process in the Tecolutla River basin was simulated in this study. The delimitation of the basin was made by means of the HEC-GeoHMS 10.1 extension in ArcGIS 10.1 software using the El Remolino station; a 7136.98 Km² area distributed in 59 sub-basins was obtained. With the unit hydrograph theory proposed by the Soil Conservation Service (SCS), two events recorded at the El Espinal hydrometric station were simulated and calibrated using the HEC-HMS 4.0 (Hydrologic Engineering Center's Hydrologic Modeling System) software and under the 2005, 2009 and 2014 land-use scenarios interpreted from satellite images. The first event was simulated from September 20 to October 6, 2009, with peak flow of 2,961.9 m³/s; the second event was from October 12-22, 2009 with peak flow of 4.765 m³/s. In calibrating the model, we sought to maximize the peak flow simulated and obtain a good Nash-Sutcliffe coefficient. This is why three optimization runs were considered. The first shows a balance between the peak flow and the coefficient of adjustment since the first event presented a Nash-Sutcliffe (1970) coefficient of 0.644 and an peak flow of 2800.4 m³/s, The second event was 0.731, and a peak flow of 4,254.7 m³/s; the second run is focused only on getting the peak flow simulated closer to the observed peaks, obtaining a value of 2,819.0 m³/s and 4,254.7 m³/s for the first and second event respectively. The third optimization run represents the best Nash-Sutcliffe coefficient with a value of 0.770 and 0.841 respectively. In accordance with the results, the first optimization run acceptably simulates the measured hydrographs. In the second optimization run, the estimated flows can be considered as input for hydraulic flood modeling. The impact of land-use change is reflected in the increase in the peak flow of each of the sub-basins; the impact that a maximum event has in the area will depend on the conservation of the site.

Keywords: rainfall-runoff, peak flow, Nash-Sutcliffe coefficient

¹ Tesista

² Director

TABLA DE CONTENIDO

DEDICATORIA	III
AGRADECIMIENTOS	IV
DATOS BIOGRÁFICOS.....	V
ÍNDICE DE CUADROS.....	XI
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XII
ÍNDICE DE ANEXOS.....	XIV
1 INTRODUCCIÓN.....	15
2 OBJETIVOS.....	17
2.1 Objetivo general	17
2.2 Objetivos específicos	17
2.3 Hipótesis.....	18
3 MARCO TEÓRICO	19
3.1 HIDROLOGÍA SUPERFICIAL.....	19
3.1.1 Definición.....	19
3.1.2 El ciclo hidrológico.....	19
3.1.3 Precipitación.....	21
3.1.4 Escurrimiento superficial	22
3.1.5 Relación precipitación-escurrimiento	24
3.1.6 Métodos de análisis lluvia-escurrimiento	25
3.2 MODELOS DE SIMULACIÓN HIDROLÓGICA.....	30
3.2.1 Principales modelos hidrológicos.....	30
3.2.2 Desarrollo de los modelos hidrológicos.....	31
3.2.3 Modelación hidrológica en México	32
3.3 MODELO DE SIMULACIÓN HEC-HMS	33
3.3.1 Descripción del modelo	33
3.3.2 Modelo de cuenca.....	35

3.3.3	Modelo meteorológico	36
3.3.4	Especificaciones de control.....	36
3.3.5	Resultados de la Simulación	37
3.4	EXTENSIÓN HEC-GeoHMS.....	37
3.4.1	Descripción de la extensión	37
3.4.2	Esquema de trabajo en HEC-GeoHMS	38
3.5	PRINCIPIOS DE LA TELEDETECCIÓN.....	39
3.5.1	Sensores remotos	40
3.5.2	Generalidades de imágenes SPOT.....	42
3.5.3	SPOT 5.....	44
3.5.4	Análisis de imágenes de satélite	44
3.5.5	Funciones del procesamiento de imágenes de satélite.....	45
3.5.6	Clasificación de imágenes de satélite	46
3.5.7	Métodos de modelación para cambios de uso de suelo.	47
4	MATERIALES Y MÉTODOS.....	49
4.1	Cuenca: Río Tecolutla.....	49
4.1.1	Fisiografía	51
4.1.2	Geología	52
4.1.3	Vegetación.....	53
4.1.4	Hidrografía	54
4.1.5	Presas dentro de la cuenca.....	55
4.1.6	Precipitación media de la cuenca	57
4.1.7	Tormentas severas en la cuenca del Río Tecolutla	58
4.2	Materiales	60
4.3	Metodología.....	61
4.3.1	Creación del modelo de cuenca con HEC-GeoHMS.....	62
4.3.2	Información hidrometeorológica y de precipitación	64
4.3.3	Distribución de la precipitación-Polígonos de Thiessen.....	65

4.3.4	Fusión de imágenes de satélite	67
4.3.5	Mosaico de imágenes de satélite	68
4.3.6	Clasificación supervisada de imágenes de satélite	68
4.3.7	Mapa de transición.....	69
4.3.8	Número de curva	72
4.3.9	Tiempo de retraso	75
4.3.10	Tiempo de concentración	75
4.3.11	Parámetros K, x.	76
4.3.12	Corrida de simulación	77
4.3.13	Calibración del modelo	78
4.3.14	Validación del modelo	79
4.3.15	Análisis estadístico	80
5.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	83
5.1	Cambio de uso de suelo 2005-2009-2014.....	83
5.1.1	Recorrido de campo	83
5.1.2	Clasificación supervisada de imágenes de satélite	88
5.1.3	Matriz de confusión	93
5.2	Delimitación de la cuenca con HEC-GeoHMS	94
5.3	Parámetros hidrológicos.....	97
5.3.1	Número de curva	97
5.3.2	Tiempo de retraso	99
5.3.3	Parámetros K, x	100
5.4	Simulación de eventos en HEC_HMS	102
5.4.1	Método de optimización 1: Suma de errores absolutos	105
5.4.2	Método de optimización 2: Error porcentual del caudal pico	107
5.4.3	Método de optimización 3: Ajuste del coeficiente Nash & Suttcliffe	109
5.1.1	Resumen de optimizaciones	110
5.2	Efectos del cambio de uso de suelo sobre los escurrimientos.....	111

6.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	116
7.	LITERATURA CITADA.....	119
8.	ANEXOS.....	125

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Modelos de simulación hidrológica. -----	30
Cuadro 2. Historia de la familia SPOT. -----	43
Cuadro 3. Rango espectral de SPOT 5. -----	44
Cuadro 4. Características principales de la cuenca del Río Tecolutla. -----	50
Cuadro 5. Características de los componentes de las presas. -----	57
Cuadro 6. Estaciones climatológicas y automáticas en la cuenca, con un registro de datos mayor a 30 años. -----	58
Cuadro 7. Tormentas severas en la cuenca Tecolutla para el periodo 1961-1990. -----	59
Cuadro 8. Estaciones automáticas, climatológicas e hidrométrica. -----	64
Cuadro 9. Características de los suelos clasificados por el SCS. -----	72
Cuadro 10. Características de la condición hidrológica. -----	72
Cuadro 11. Curva numérica bajo diferentes usos de suelo, cobertura y manejo, clasificación de acuerdo al Servicio de conservación de suelos (SCS). -----	73
Cuadro 12. Evaluación de modelos hidrológicos a escala mensual. -----	79
Cuadro 13. Extensión y porcentaje de uso de suelo para los años 2005, 2009 y 2014. --	91
Cuadro 14. Matriz de confusión. -----	93
Cuadro 15. Números de curva para tipo de suelo y condición hidrológica. -----	98
Cuadro 16. Número de curva por subcuenca. -----	99
Cuadro 17. Características principales de las subcuencas. -----	100
Cuadro 18. Características principales de los tramos de cauce. -----	100
Cuadro 19. Gastos máximos por subcuenca para el evento del 20 de septiembre de 2009 al 06 de octubre de 2009. -----	103
Cuadro 20. Gastos máximos por subcuenca para el evento del 12 al 22 de octubre de 2009. -----	104
Cuadro 21. Resultados generales de la simulación y calibración de eventos. -----	110
Cuadro 22. Resumen de corridas de simulación realizadas para cambio de uso de suelo. -----	111
Cuadro 23. Efecto del cambio de uso de suelo por subcuenca. -----	113

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. El ciclo hidrológico. Fuente: Campos, 1998.	20
Figura 2. Hidrograma aislado. Fuente: Aparicio, 2013.....	23
Figura 3. Relación precipitación-escorrimento total. Fuente: Chow, 1964.	24
Figura 4. Hidrograma Unitario.	27
Figura 5. Hidrogramas unitarios sintéticos del SCS. Hidrograma unitario adimensional e hidrograma unitario triangular. Fuente: Chow et al., 1994.	30
Figura 6. Ubicación geográfica de la cuenca del Río Tecolutla.	49
Figura 7. Fisiografía de la cuenca Tecolutla.	51
Figura 8. Mapa geológico de la cuenca del Río Tecolutla.	52
Figura 9. Corriente principal y corrientes tributarias del Río Tecolutla.	55
Figura 10. Presas existentes en la cuenca.....	56
Figura 11. Esquema de la metodología general utilizada.	61
Figura 12. Desarrollo del modelo hidrológico en HEC-GeoHMS.	62
Figura 13. Ubicación de las estaciones hidrométricas, automáticas y climatológicas. ...	65
Figura 14. Polígonos de Thiessen para distribución de precipitación.	66
Figura 15. Fusión de imágenes de satélite: Multiespectral (10m) + Pancromática (5m) = Multiespectral (5m).....	67
Figura 16. Metodología general para cambio de uso de suelo.	71
Figura 17. Metodología para estimación de número de curva.	74
Figura 18. Prueba de normalidad realizada a los escurrimientos 2005-2014.....	81
Figura 19. Prueba Wilcoxon para datos dependientes aplicada a los escurrimientos 2005-2014.....	82
Figura 20. Uso de suelo y vegetación, zona oriente de la presa Nexapa.	84
Figura 21. Bosque mesófilo de montaña conservado.	84
Figura 22. Cedro cultivado en la localidad de Jaltepec, Puebla.	85
Figura 23. Cultivo de maíz y frijol en la parte suroeste de la cuenca.	86
Figura 24. Corriente tributaria del Río Tecolutla.	87
Figura 25. Mapa de uso de suelo 2005.....	88
Figura 26. Mapa de uso de suelo 2009.....	89
Figura 27. Mapa de uso de suelo 2014.....	89
Figura 28. Gráfica de pérdidas y ganancias para el periodo 2005-2014.....	92
Figura 29. Modelo de elevación digital.	94
Figura 30. Mapa de dirección de flujo.	95
Figura 31. Subcuenas generadas con la delimitación en HEC-GeoHMS.	96

Figura 32 Modelo final generado en HEC_GeoHMS.....	97
Figura 33. Número de curva 2005, 2009 y 2014 en la cuenca Tecolutla.....	98
Figura 34. Simulación simple para el evento del 20 de septiembre al 06 de octubre de 2009.....	102
Figura 35. Simulación simple para el evento del 12 al 22 de octubre de 2009.....	104
Figura 36. Optimización 1; evento del 20 de septiembre al 06 de octubre de 2009.....	106
Figura 37. Optimización 1; evento del 12 al 22 de octubre de 2009.	107
Figura 38. Optimización 2; evento del 20 de septiembre al 06 de octubre de 2009.....	108
Figura 39. Optimización 2; evento del 12 al 22 de octubre de 2009.	108
Figura 40. Optimización 3; evento del 20 de septiembre al 06 de octubre de 2009.....	109
Figura 41. Optimización 3; evento del 12 al 22 de octubre de 2009.	109
Figura 42. Simulación del proceso lluvia-escorrentamiento para los años 2005- 2014.....	112
Figura 43. Prueba de normalidad para el año 2005.	114
Figura 44. Prueba de normalidad para el año 2014.	114

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Hidrograma de salida observado en la estación El Espinal para el evento del 20 de septiembre de 2009 al 06 de octubre de 2009, en intervalos de una hora.	126
Anexo 2. Hidrograma de salida observado en la estación El Espinal para el evento del 12 al 22 de octubre de 2009, en intervalos de una hora.	131
Anexo 3. Hietograma de la estación automática Huauchinango para el evento del 20 de septiembre al 06 de octubre de 2009.....	134
Anexo 4. Hietograma de la estación automática Huamantla para el evento del 20 de septiembre al 06 de octubre de 2009.....	138
Anexo 5. Hietograma de la estación automática Tezuitlán para el evento del 20 de septiembre al 06 de octubre de 2009.....	142
Anexo 6. Hietograma de la estación automática Huauchinango para el evento del 12 al 22 de octubre de 2009.....	146
Anexo 7. Hietograma de la estación automática Tezuitlán para el evento del 12 al 22 de octubre de 2009.	148
Anexo 9. Tabla Elevaciones-Capacidades de la presa El Tejocote.	150
Anexo 10. Tabla Elevaciones-Capacidades de la presa Necaxa.	153
Anexo 11. Tabla Elevaciones-Capacidades de la presa Tenango.	159
Anexo 12. Tabla Elevaciones-Capacidades de la presa Nexapa	163

1 INTRODUCCIÓN

Los cambios en la cobertura vegetal, como resultado de la expansión de la agricultura y uso del suelo urbano, asociados a la contaminación, tienen un fuerte efecto sobre los procesos del ciclo hidrológico (Gaytán *et al.*, 2008); entre estos procesos se encuentra el escurrimiento superficial. La cuantificación de los impactos del uso y cobertura del suelo es importante, pues influye en los cambios de dichos procesos (Wang & Kalin, 2010).

La modificación del terreno en las cuencas, produce daños considerables, los más frecuentes en los últimos años, son resultado del efecto de las inundaciones, debido a que se producen crecientes mayores a las que habían ocurrido cuando las cuencas eran naturales o la degradación del medio ambiente era mínima (Salas & Jiménez, 2007).

Debido a la condición geográfica y fisiográfica de México, este país es afectado por precipitaciones producidas por actividad ciclónica y tormentas tropicales. El estado de Veracruz, es uno de los más susceptibles a inundaciones por localizarse en el oriente del país, en una región a través de la cual desembocan varios ríos en el Golfo de México (Garnica & Alcántara, 2004), los años 1991, 2005 y 2010 han sido particularmente severos en inundaciones. Los asentamientos humanos ubicados en las zonas inundables y la carencia de una política efectiva en prevención de desastres hacen de este territorio un lugar involuntario de riesgos. La vulnerabilidad se puede disminuir con la información y educación adecuada, el peligro puede anticiparse a través de un sistema de alerta temprana (Tejeda, 2011).

Sin embargo, debe reconocerse que hay vacíos importantes en el conocimiento del comportamiento de los elementos del sistema de alerta. Atendiendo a esta situación se modelaron eventos máximos en la cuenca del Río Tecolutla bajo los escenarios de uso de suelo interpretados en imágenes de satélite durante los periodos 2005, 2009, 2014 y para simular el escurrimiento generado por tormentas severas utilizando el modelo numérico HEC-HMS (USACE, 2014_b), pues el desarrollo de la percepción remota posibilita la gestión de los recursos naturales, beneficiando diversas áreas con la información numérica de las imágenes satelitales (Maya *et al.*, 2004). De esta forma, el cambio de uso de suelo, puede valorarse de acuerdo a las técnicas compatibles de teledetección y sistemas de información geográficos, mediante el procesamiento y análisis de imágenes satelitales. Esta investigación servirá como base para desarrollar un sistema de alerta temprana y como estudio previo para el desarrollo de proyectos a largo plazo, pues debido a sus características hidrometeorológicas, éste sitio es considerado de suma importancia para el país, pues se prevee usar el agua de la cuenca para abastecer de agua potable a las ciudades de Poza Rica y hasta la propia ciudad de México.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo general

- Simular el proceso lluvia-escurrimiento, en la cuenca del Río Tecolutla mediante la teoría del hidrograma unitario usando el modelo numérico HEC-HMS (Hydrologic Engineering Center's Hydrologic Modeling System).

2.2 Objetivos específicos

- Simular caudales con datos hidrometeorológicos y de precipitación usando el modelo HEC-HMS.
- Determinar el hidrograma de salida de la cuenca usando la teoría del hidrograma unitario del Servicio de Conservación de Suelos (SCS).
- Analizar el cambio de uso de suelo y vegetación en la cuenca del Río Tecolutla en un periodo de nueve años.
- Determinar el efecto del cambio de uso de suelo sobre los escurrimientos en la cuenca.

2.3 Hipótesis

En base a estudios anteriores, se ha observado que el software HEC-HMS, ha sido usado para la representación del proceso lluvia-escurrimiento. Sin embargo, en México, los modelos generados no han priorizado la calibración de los mismos.

Usando el programa HEC-HMS y la teoría del hidrograma unitario, se puede simular el proceso lluvia-escurrimiento y obtener un modelo que sirva como referencia para la elaboración de un sistema de alerta temprana para inundaciones.

3 MARCO TEÓRICO

3.1 HIDROLOGÍA SUPERFICIAL

3.1.1 Definición

Hidrología es una palabra de origen griego compuesta de dos partes: “hidros” que significa agua y “logos” que se traduce como tratado o ciencia, por lo anterior, la hidrología es la ciencia del agua (Campos, 1998). Existen varias definiciones de hidrología, la más completa es la siguiente: “Hidrología es la ciencia natural que estudia el agua, su ocurrencia, circulación y distribución en la superficie terrestre, sus propiedades químicas y físicas y su relación con el medio ambiente, incluyendo a los seres vivos” (Chow *et al.*, 1994).

3.1.2 El ciclo hidrológico

La hidrosfera es un espacio de 15 kilómetros arriba de la atmosfera, hasta un kilómetro por debajo de la corteza terrestre, el agua circula en la hidrosfera por medio de caminos que componen el ciclo hidrológico (Figura 1). El ciclo hidrológico y sus demás procesos, no tienen principio ni fin, y se describe a continuación:

El agua se evapora desde los océanos y la superficie terrestre para volverse a la atmosfera, el vapor de agua se transporta y se eleva hacia la atmosfera, y posteriormente se condensa y precipita sobre los océanos y la superficie terrestre.

El agua precipitada puede ser interceptada por la vegetación, se convierte en flujo superficial sobre el suelo, infiltrarse en él, correr como flujo subsuperficial y descargar en los ríos como escorrentía superficial. La mayor parte del agua regresa a la atmosfera mediante la evaporación.

El agua infiltrada puede percolar y recargar el agua subterránea, en esa parte emerge en manantiales o se desliza hacia ríos para formar la escorrentía superficial y finalmente fluye hacia el mar o se evapora en la atmosfera a medida que continúa el ciclo hidrológico (Chow *et al.*, 1994).

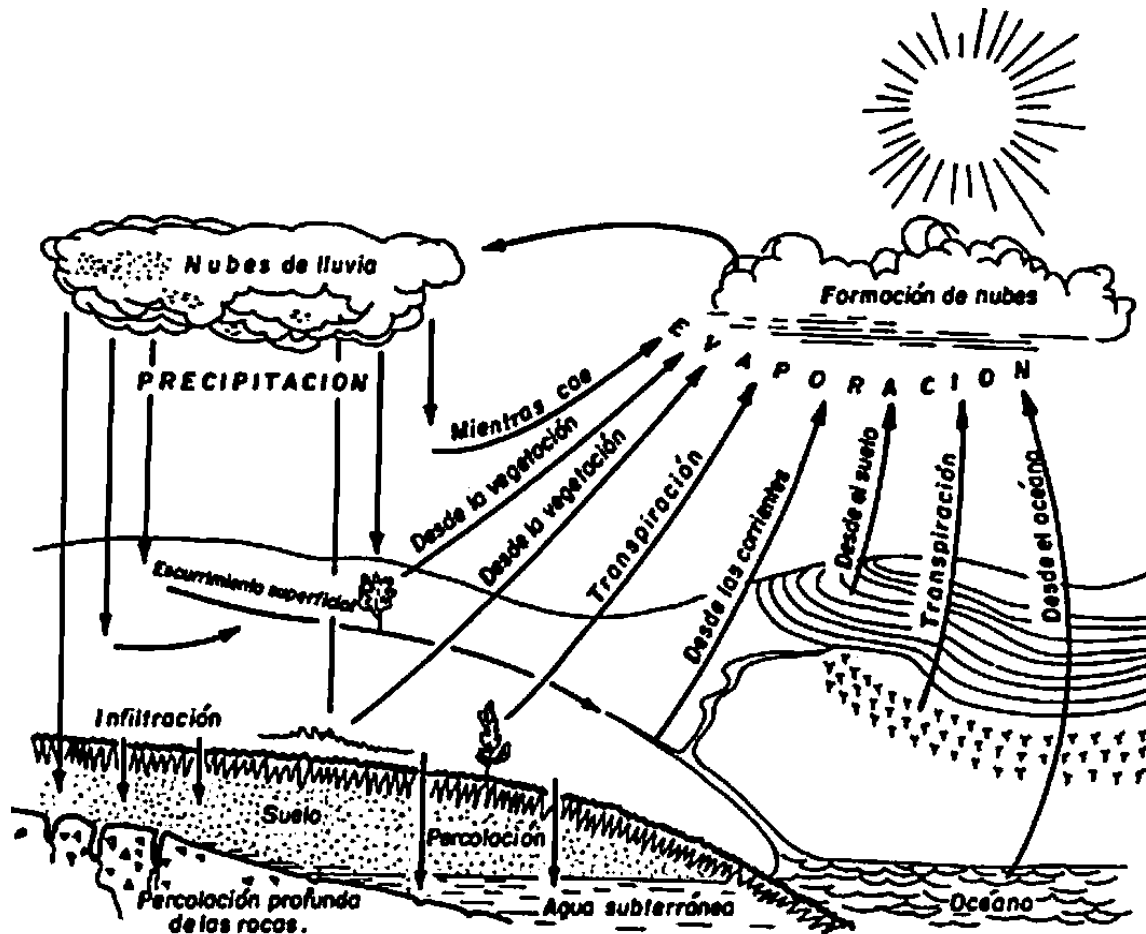


Figura 1. El ciclo hidrológico. Fuente: Campos, 1998.

3.1.3 Precipitación

La precipitación se compone por la lluvia, la nieve, granizo y nevisca a través de los cuales el agua cae sobre la superficie terrestre. El proceso inicia cuando una masa de agua se eleva a la atmosfera donde se enfría y parte de su humedad se condensa. Existen tres formas de elevación de las masas de aire, la primera se denomina elevación frontal, donde el aire caliente se eleva sobre el aire frio por un pasaje frontal, la elevación orográfica es la segunda forma, mediante la cual una masa de aire se eleva y pasa encima de una cadena montañosa, y la elevación convectiva, donde el aire se arrastra hacia arriba por una acción convectiva (Chow *et al.*, 1994).

Los tres factores más importantes que influyen en la precipitación promedio que recibe un lugar determinado son: a) Latitud: La precipitación disminuye al aumentar la latitud; b) Altitud: la precipitación depende del ascenso de las masas de aire; c) Continentalidad: es la fuente principal de la precipitación, tenderá a ser mayor en las costas. (Campos, 1998)

Existe un conjunto de dispositivos eléctricos y mecánicos en toda la república mexicana que realizan mediciones de la precipitación y otras variables meteorológicas, su función principal es la recopilación y monitoreo de dichas variables, generando archivos de registro por estación. Las estaciones automáticas, generan archivos promedio de cada 10 minutos, las estaciones climatológicas, son instrumentos colocados a la intemperie que miden las variaciones del clima y son colocados en sitios estratégicos.

En México, la precipitación es medida por medio de pluviógrafos y pluviómetros, los primeros miden la columna vertical de agua que se acumula sobre una superficie impermeable a nivel a partir de las 8 de la mañana de cada día, los pluviógrafos son

utilizados para producir un registro continuo de precipitación, el más utilizado en la República Mexicana es el de flotador, el cual, hace sus registros con una pluma sobre la gráfica denominada banda pluviografica (Campos, 1998).

La Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), la cual pertenece a la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), posee un organismo denominado Servicio Meteorológico Nacional (SMN); dicho organismo es el encargado de recopilar y proporcionar la información meteorológica a nivel local y regional en todo el país, está integrado por 79 observatorios meteorológicos, 16 estaciones de radiosondeo, 13 radares meteorológicos, así como estaciones climatológicas y automáticas en operación distribuidas en el territorio nacional. (SMN, 2015b).

3.1.4 Esgurrimiento superficial

El esgurrimento se define como el agua precipitada que circula sobre o bajo la superficie de la tierra y se drena hasta la salida de la cuenca. El agua que proviene de la precipitación es interceptada, evaporada, y una parte llega hasta la superficie terrestre, la cual sigue diversos caminos hasta llegar a la salida de la cuenca (Aparicio, 2013).

Cuando la precipitación alcanza la superficie del suelo, se infiltra hasta que las capas del mismo se saturan, con ello se comienzan a llenar las depresiones del terreno y a escurrir sobre la superficie, a este esgurrimento se le denomina flujo en la superficie del terreno, esto se produce cuando no hay cauces bien definidos, cuando llega a la corriente más próxima, el agua es infiltrada y evaporada en pequeñas cantidades, convirtiéndose al llegar a un cauce en esgurrimento en corrientes.

El flujo sobre el terreno más el flujo en corrientes forma el escurrimiento superficial. Dicho escurrimiento es el que llega más rápido a la salida de la cuenca, se relaciona directamente con una tormenta, se dice que proviene de la precipitación en exceso o efectiva y constituye el escurrimiento directo (Aparicio, 2013). El volumen de escurrimiento por unidad de tiempo se denomina gasto, este gasto es medido de manera continua por una determinada sección transversal de un río y los valores obtenidos se grafican contra el tiempo, a esta gráfica se le denomina hidrograma (Figura 2).

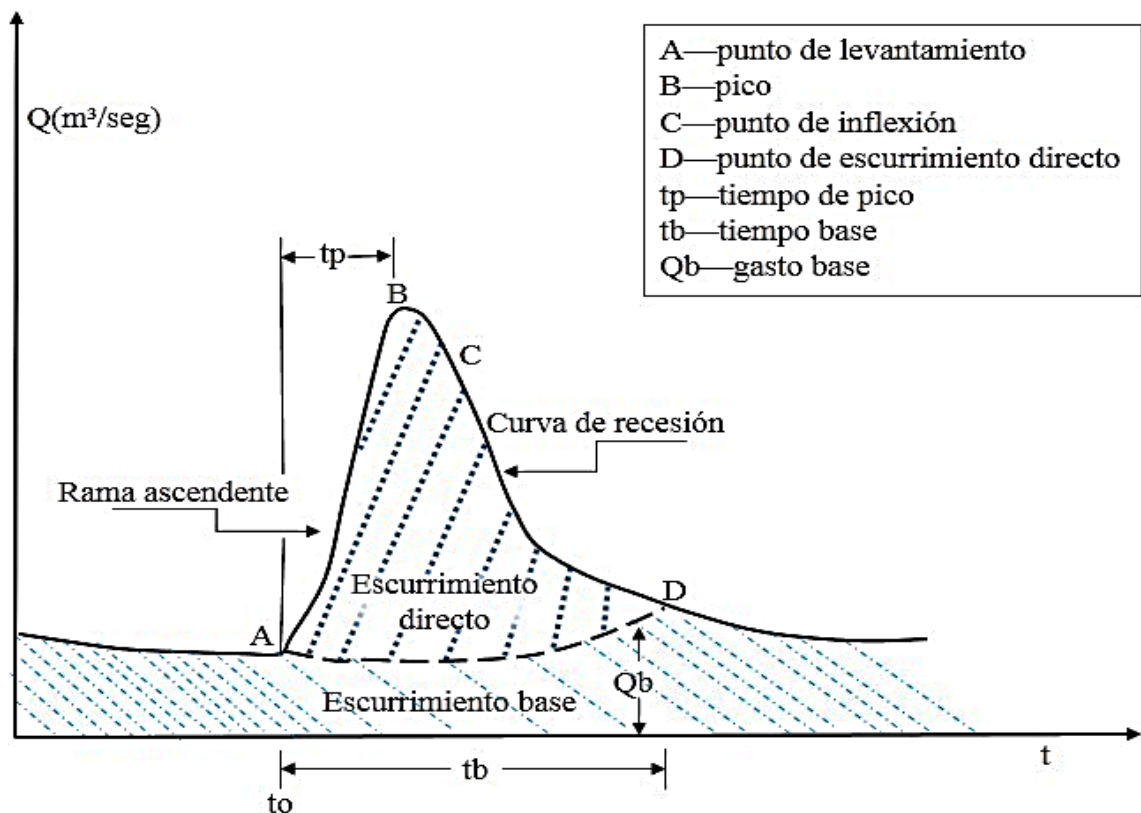


Figura 2. Hidrograma aislado. Fuente: Aparicio, 2013.

3.1.5 Relación precipitación-escorrimento

La relación entre la precipitación y el escurrimiento es compleja (Figura 3); depende por una parte de las características de la cuenca y por otra de la distribución de la lluvia en la cuenca y en el tiempo (CFE, 1981).

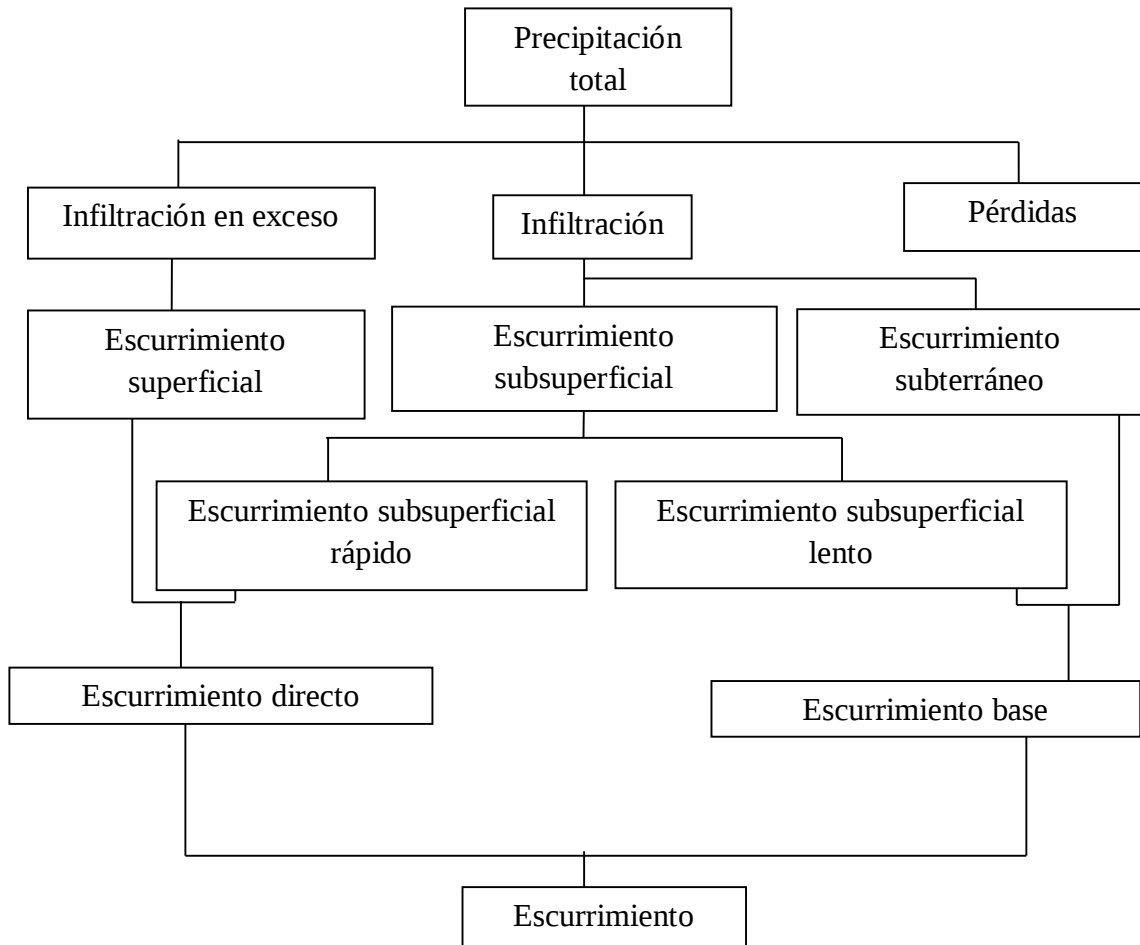


Figura 3. Relación precipitación-escorrimento total. Fuente: Chow, 1964.

Los registros de precipitación son más abundantes que los de escurrimiento, además de que no se ven afectados por los cambios en la cuenca; por lo tanto es conveniente contar con métodos que permitan determinar el escurrimiento en una cuenca mediante las características de la misma y la precipitación.

Los principales parámetros que intervienen en la conversión de lluvia a escurrimiento son:

- a) Área de la cuenca.
- b) Altura total de precipitación.
- c) Características generales o promedio de la cuenca.
- d) Distribución de la lluvia en el tiempo.
- e) Distribución en el espacio de la lluvia y las características de la cuenca.

Los métodos para analizar la relación lluvia-escurrimiento dependen de la cantidad y calidad de la información disponible (Aparicio, 2013).

3.1.6 Métodos de análisis lluvia-escurrimiento

3.1.6.1 Métodos de envolventes

Estos métodos, toman en cuenta el área de la cuenca, la idea fundamental es relacionar el gasto máximo con el área de la cuenca en la forma:

$$Q = \alpha A_c^\beta \quad (1)$$

Dónde:

Q= gasto máximo

A_C= área de la cuenca

α , β = parámetros empíricos en función de A_C.

Existen diversas fórmulas que relacionan el gasto máximo con el área de la cuenca. En México son usadas las fórmulas de Creager (Creager, Justin & Hinds, 1945) y Lowry

(Aparicio, 2013), las fórmulas son útiles cuando se hacen estimaciones gruesas de los gastos máximos probables o cuando la información es escasa (Aparicio, 2013). Creager obtuvo datos de avenidas máximas registradas en diferentes cuencas del mundo y formó una gráfica, en la gráfica trazo una envolvente cuya ecuación resultó (CFE, 1981).

$$q = 1.303\{c(0.386A)^\alpha\}A_c^{-1} \quad (2)$$

Dónde:

A= área de la cuenca en km²

q = gasto máximo por unidad de área de la cuenca, en m³/s/km²

C= 100, envolvente mundial.

$$\alpha = \frac{0.936}{A^{0.048}} \quad (3)$$

La fórmula de Lowry se representa con la ecuación:

$$q = \frac{C_L}{(A_c + 259)^{0.85}} \quad (4)$$

Dónde: C_L= 3500, valor mundial.

3.1.6.2 Fórmula racional

La fórmula racional, puede ser considerado el modelo más antiguo de la relación lluvia-escurrimiento, toma en cuenta el área de la cuenca, la altura o la intensidad de la precipitación.

La fórmula racional es:

$$Q_p = Ci A_c \quad (5)$$

Donde:

C = coeficiente de escurrimiento, lo cual corresponde a la fracción de lluvia que escurre en forma directa.

Q_p = gasto máximo posible que puede producirse con una lluvia de intensidad i , en una cuenca con un área A_c y un coeficiente de escurrimiento C , este coeficiente toma valores de 0 y 1, y varia con respecto a las condiciones de humedad iniciales (Aparicio, 2013).

3.1.6.3 Método del hidrograma unitario

El hidrograma unitario es la función respuesta de pulso unitario para un sistema hidrológico lineal, se define como la gráfica del escurrimiento directo resultante de 1 mm (aunque también puede ser de una pulgada, un centímetro, etc.) de lluvia en exceso que se genera, de manera uniforme, sobre un área de drenaje (cuenca) a razón constante, durante la duración de la precipitación efectiva (Figura 4) (Chow *et al.*, 1994).

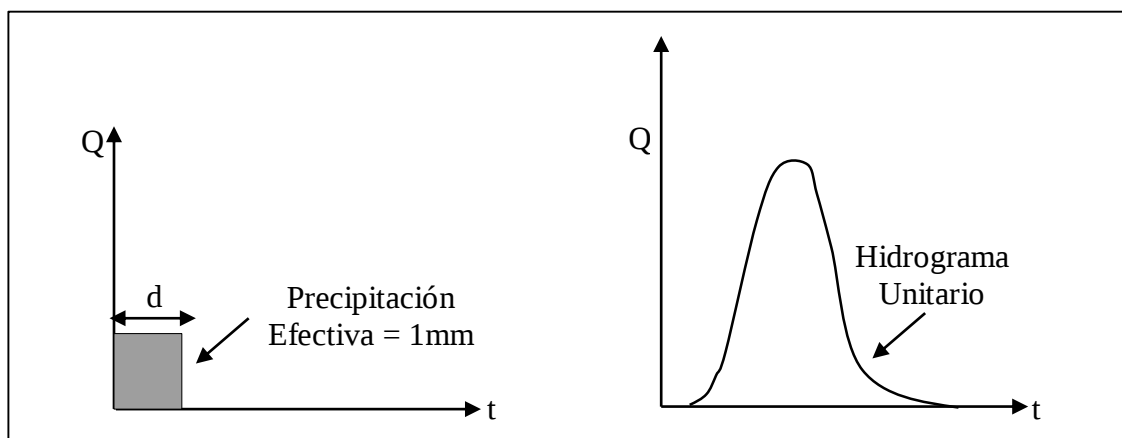


Figura 4. Hidrograma Unitario.

El método del hidrograma unitario, se basa en las siguientes hipótesis:

- a) Tiempo base constante: todo hidrograma unitario está ligado a una duración de la lluvia en exceso, el tiempo base es el mismo para todas las tormentas con la misma duración de lluvia efectiva, independientemente del volumen total escurrido.
- b) Linealidad o proporcionalidad: las ordenadas de todos los hidrogramas con el mismo tiempo base son directamente proporcionales al volumen total de lluvia efectiva.
- c) Superposición de causas y efectos: el hidrograma resultante de un periodo de lluvia determinado, se puede superponer a hidrogramas de periodos anteriores (Aparicio, 2013).

En condiciones naturales, estas hipótesis no se cumplen, por lo tanto, la información hidrológica que se usa, debe seleccionarse para que las hipótesis se cumplan de forma aproximada. El modelo fue desarrollado para cuencas grandes pero puede aplicarse a cuencas con menos de 0.5 hectáreas. En hidrología, la función respuesta de impulso se denomina hidrograma S y la función respuesta de impulso se denomina el hidrograma unitario instantáneo, esta es la respuesta hipotética una profundidad unitaria de exceso de precipitación depositada instantáneamente en toda la superficie de la cuenca (Chow *et al.*, 1994).

3.1.6.3.1 Hidrograma unitario del Servicio de Conservación de Suelos (SCS)

Este método fue desarrollado por el Servicio de Conservación de suelos, suele denominarse también “número de curva”. Es un hidrograma unitario sintético generado a través del estudio de una gran cantidad de hidrogramas registrados en una gran variedad de subcuencas en el que se obtuvieron hidrogramas adimensionales; donde el caudal se

expresa por la relación del caudal (q) con respecto al caudal pico (q_p) y la relación del tiempo (t) con respecto al tiempo al pico (t_p) en el hidrograma unitario (Aparicio, 2013).

Para la obtención del hidrograma, primero se estima el volumen escurrido resultante de una precipitación-escurrimiento directo, los datos de lluvia son obtenidos principalmente de pluviómetros, y son relacionados con el escurrimiento. Posteriormente, se determina el tiempo de distribución del escurrimiento incluyendo el caudal pico. El SCS sugiere que el tiempo de recesión es igual a $1.67 t_p$. puesto que el área bajo el hidrograma unitario debe ser igual a una escorrentía directa de 1cm, etc. Se demuestra que:

$$q_p = \frac{CA}{T_p} \quad (6)$$

Dónde:

$C = 2.08$

$A =$ área de drenaje en Km^2

Así mismo se indica que el tiempo de retraso puede aproximarse como $0.6 T_c$, siendo T_c el tiempo de concentración de la cuenca. El tiempo de ocurrencia pico T_p , puede expresarse en función del tiempo de retraso t_p y de la duración de la lluvia efectiva t_r (Chow *et al.*, 1994).

$$T_p = \frac{t_r}{2} + t_p \quad (7)$$

Cuando los eventos de lluvia son cortos y homogéneos y además se cuenta con los datos del pico del hidrograma (t_p) y (q_p), se puede calcular el hidrograma resultante multiplicando las coordenadas por (t_p) y (q_p) (Figura 5).

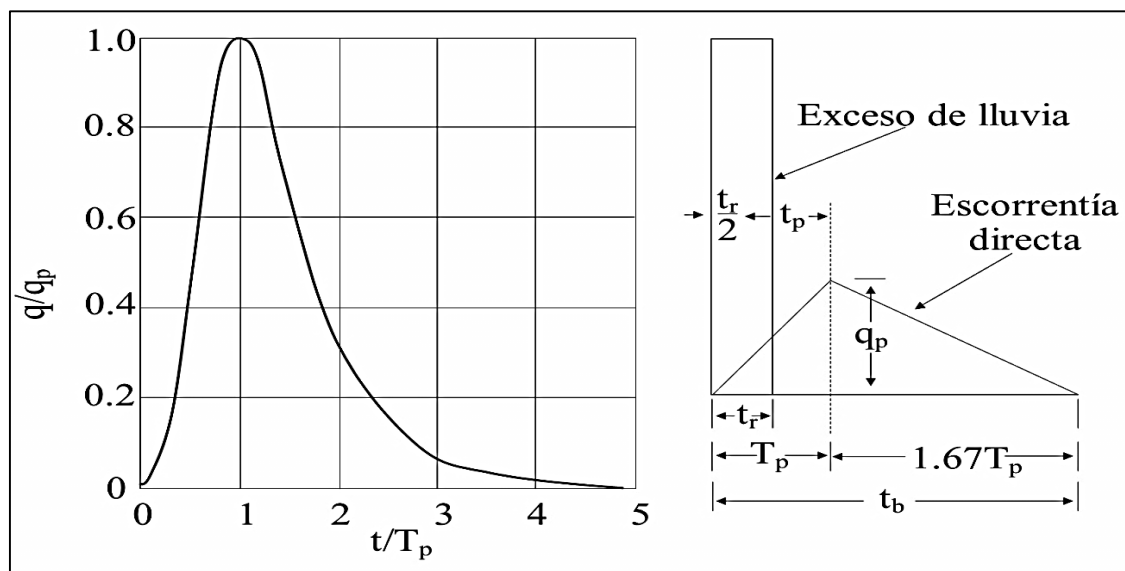


Figura 5. Hidrogramas unitarios sintéticos del SCS. Hidrograma unitario adimensional e hidrograma unitario triangular. Fuente: Chow *et al.*, 1994.

3.2 MODELOS DE SIMULACIÓN HIDROLÓGICA

3.2.1 Principales modelos hidrológicos.

Los modelos de simulación hidrológica, pueden ser clasificados de acuerdo a sus características (Cuadro 1).

Cuadro 1. Modelos de simulación hidrológica.

Tipo de modelo	Ejemplo de modelo
Integrado	Snyder o Clark Hidrograma unitario
Distribuido	Onda cinemática
Eventuales	HEC-1, HEC-HMS, SWMM, SCS TR-20
Continuos	Modelo Stanford, SWMM, HSPF, STORM
Basados físicamente	HEC-1, HEC-HMS, SWMM, HSPF
Estocásticos	Flujo sintético de la corriente
Numéricos	Modelos de onda cinemática o dinámica
Analíticos	Método racional, Nash IUH

Fuente: Bedient *et al.* (2012).

Para el análisis de cuencas, las principales categorías tienen como interés modelos integrados versus distribuidos y estocásticos versus determinísticos.

Una de las ventajas principales de los modelos de simulación es la organización de los datos que son requeridos como entrada para satisfacer algoritmos matemáticos que comprenden el modelo del sistema. Esto, puede guiar la recolección de los datos directos o adicionales que mejoran la formulación matemática, para que la representación de la cuenca sea mejor. La gran cantidad de alternativas y esquemas para el control de avenidas, pueden probarse y compararse en algunas ocasiones con el modelo de simulación.

La mayor limitación de los modelos de simulación, es la incapacidad para calibrarse correctamente y verificar aplicaciones en las cuales faltan datos de entrada. A pesar de sus limitaciones, los modelos de simulación proveen el acercamiento más lógico y científicamente adelantado para entender el comportamiento hidrológico de las cuencas y de los sistemas del recurso agua. El desarrollo de los modelos y sus aplicaciones, han hecho una nueva época en la ciencia de la hidrología y han conducido a muchos nuevos diseños y políticas operativas nunca antes realizadas (Bedient et al. 2012).

3.2.2 Desarrollo de los modelos hidrológicos.

El desarrollo de los modelos fueron apoyados por universidades y agencias federales, algunos de los modelos están bien documentados y como resultado se han aplicado ampliamente a las cuencas hidrográficas otros se han aplicado sólo a áreas específicas en el país. El modelo de cuenca Stanford, SWM-IV fue uno de los primeros y más comprensibles modelos hidrológicos. El modelo se compone de una secuencia de rutinas para cada proceso en el ciclo hidrológico en una base continua. La ecuación de

continuidad, es balanceada para cada paso y precipitación, intercepción, evapotranspiración, infiltración, humedad del suelo, entre otros. HSPF fue el sucesor comercial del SWM-IV y fue modificado para incluir cualidades del agua, onda cinemática y variables de tiempo. El modelo simula hidrología de la cuenca y calidad de aguas. Esto desarrolla una simulación integrada de contaminantes de tierra y suelo y procesos de escurrimiento para corrientes e interacciones químicas de sedimentos.

En los años setentas, se desarrolló el SWMM, es un modelo de escurrimiento urbano y eventos de simulación para una gran variedad de volúmenes, corrientes. El servicio de conservación de suelos ha desarrollado numerosos modelos que son basados en bases de datos de pequeñas subcuencas. El programa desarrolla hidrogramas de escurrimiento, corrientes, presas, etc. Para cada subcuenca se requiere el área, número de curva de escurrimiento, y tiempo de concentración. El modelo más conocido es el HEC-HMS, que sustituyó al HEC-1, pues HEC-HMS, incluyo las propiedades originales de HEC-1, le fueron incluidas más propiedades para la simulación. (Bedient et al. 2012).

3.2.3 Modelación hidrológica en México

El programa más utilizado a nivel mundial es el HEC-HMS, debido a que se puede hacer uso de diversos modelos hidrológicos del proceso lluvia-escurrimiento, además de que utiliza modelos semi-distribuidos, aislados o continuos y modela una gran variedad de cuencas, es potente, popular y de libre acceso (Baldemar, 2005).

En la república mexicana, para modelar el proceso lluvia-escurrimiento se usan dos modelos, el Soil and Water Assessment Tool (SWAT) y el Hydrologic Engineering Center's Hydrologic Modeling System (HEC-HMS). El modelo SWAT usa una escala de

tiempo diaria y es usado en las cuencas de México para balance hídrico, y pérdidas de suelo, la cantidad de datos requeridos para la alimentación del modelo es la mayor limitante pues no existen registros o los datos no están disponibles. El método más trabajado en México con el modelo HEC-HMS, es por evento meteorológico máximo, sin embargo, la mayoría de las cuencas urbanas en la República Mexicana no cuentan con la información hidrométrica suficiente (Vargas-Castañeda, Ibáñez- Castillo & Arteaga-Ramírez, 2015). El MIKE-SHE, es un modelo que se está iniciando en México, pero tiene la desventaja de que es cotizado en euros. De forma general, en México no existen modelos calibrados de acuerdo a las condiciones de nuestro país para el proceso lluvia escurrimiento (Rojas & Gonzáles, 2015).

3.3 MODELO DE SIMULACIÓN HEC-HMS

3.3.1 Descripción del modelo

El programa es un sistema de modelado generalizado, capaz de representar cuencas diferentes. Un modelo de cuenca se construye separando el ciclo hidrológico en porciones manejables y la construcción de límites en torno a la cuenca de interés. En la mayoría de los casos, varias opciones de modelo están disponibles para la representación de un flujo. Cada modelo matemático que se incluye en el programa es adecuado para entornos diversos y bajo diferentes condiciones.

El sistema de modelación hidrológica está diseñado para simular los procesos de precipitación-escurrimiento de los sistemas de cuencas dendríticas y para resolver una amplia gama de problemas y puede aplicarse en diferentes áreas geográficas. Esto incluye

cuencas hidrográficas, hidrología de inundación y el escurrimiento en cuencas naturales y urbanas. Los hidrogramas generados por el programa son utilizados directamente o en colaboración con otro software para estudios de disponibilidad de agua, drenaje urbano, pronóstico de avenidas, impacto futuro de la urbanización, diseño de vertedores de presas, reducción de daños por inundaciones, regulación de la llanura de inundación y la operación de sistemas.

La representación física de una cuenca se lleva a cabo con un modelo de cuenca, en una red dendrítica se conectan elementos hidrológicos, los cuales simulan procesos de escurrimiento. Dentro de dichos elementos pueden mencionarse: subcuenca, alcance, unión depósito, desviación, fuente y sumidero. En las opciones para modelar un evento se incluye el número de curva del SCS, numero de curva cuadrículada, exponencial, Green Ampt, entre otros. Para la modelación lluvia-escurrimiento, se usan métodos de hidrograma unitario como el Clark, Snyder y técnicas del SCS.

El lapso de tiempo de una simulación está controlada por las especificaciones de control que incluyen fecha y hora de inicio y finalización, así como un intervalo de tiempo. Una corrida de simulación se crea mediante la combinación del modelo de cuenca. El modelo meteorológico y las especificaciones de control. Los resultados de la simulación se pueden ver desde un mapa de la cuenca, con tablas de resumen global con información del flujo máximo y el volumen total para cada uno de los elementos. (USACE, 2013_b)

3.3.2 Modelo de cuenca

El modelo de cuenca, es una representación de la cuenca física en donde se incluyen elementos hidrológicos, los cuales usan modelos matemáticos para describir los procesos físicos producidos en la cuenca. Los elementos hidrológicos se describen a continuación:

- a) Subbasin: se usa para representar físicamente en el modelo las subcuencas, las cuales son uno de los elementos principales en las que se divide una cuenca, a dichos elementos, se les atribuyen parámetros específicos, como el área.
- b) Reach: se utiliza para transportar el caudal en el modelo de la cuenca, dicho caudal puede provenir aguas arriba. Los hidrogramas resultantes en la salida de las subcuencas se propagan a través de cauces. Para tener en cuenta el efecto que tiene un hidrograma al viajar por un cauce se utiliza la herramienta de reach, a la cual pueden adicionarse métodos de propagación y rellenar los parámetros necesarios para su definición.
- c) Reservoir: para prevenir crecidas en los puntos de interés, se deben ubicar embalses, los cuales se modelan mediante los elementos reservoir.
- d) Junction: representa la operación de suma de hidrogramas en un punto.
- e) Diversión: con esta herramienta se representan estructuras hidráulicas como vertederos o azudes de derivación que extraen cierta cantidad de caudal, derivándola a otros puntos.
- f) Source: representa el aporte de caudal extra conocido, modela el aporte de caudal constante en el tiempo o en forma de hidrograma.
- g) Sink: la herramienta debe usarse para representar pérdidas en puntos de la red.

Para poder simular un caso real, cada uno de los elementos usados, se deben conectar con la herramienta connect downstream y connect diversión (USACE, 2013_b).

3.3.3 Modelo meteorológico

La entrada de precipitación para una subcuenca, es calculada por un modelo meteorológico, este modelo puede usar precipitación puntual o por celdas y puede modelar una precipitación sólida y líquida junto con la evapotranspiración.

Cuando se cuenta con un modelo de cuenca, se debe proporcionar al programa un modelo meteorológico que debe incluir como mínimo una lluvia, la cual será la precipitación bruta del modelo que se puede obtener con datos reales de precipitación. Pueden usarse precipitaciones reales, precipitaciones teóricas o tormentas diseño.

La introducción de lluvias en HMS se realiza a través de Gages, los cuales son registros pluviométricos hipotéticos, los datos de lluvia se introducen en milímetros, así como la fecha y hora de inicio de la lluvia, además de asignar para cada cuenca la lluvia que corresponde (USACE, 2013_b).

3.3.4 Especificaciones de control

Las especificaciones de control, son especificaciones de cálculo para determinar la cantidad de puntos en que se dividirá el hidrograma, definiendo un cierto intervalo de tiempo, además se debe determinar la fecha y hora de inicio y final de lluvia.

Una vez definidos los parámetros de cálculo, se ejecuta la corrida con la herramienta Run. Para cada elemento del modelo, se pueden ver los resultados de manera gráfica o con

tablas numéricas que pueden ser manipuladas en un paquete de datos deferente al software utilizado (USACE, 2013_b).

3.3.5 Resultados de la Simulación

Para crear una simulación hay que combinar un modelo de cuenca, un modelo meteorológico y unas especificaciones de control. Los resultados de la simulación pueden verse tanto para la cuenca completa como para un elemento en particular, y en formato tabla o en formato gráfico (USACE, 2013_b).

HEC-HMS es un modelo tipo evento, lineal y semidistribuido, una corrida de simulación consiste en calcular la componente de escorrentía directa como una función en el tiempo, producto de un evento de lluvia de duración variable que se produce a la salida de las subcuencas.

Los hidrogramas finales, se combinan de acuerdo a la estructura de la cuenca, estrictamente de aguas arriba hacia aguas abajo, para finalmente obtener el hidrograma resultante a la salida de la cuenca. Para la aplicación del programa, el modelo debe someterse a procesos de calibración y validación de los resultados dentro de la cuenca.

3.4 EXTENSIÓN HEC-GeoHMS

3.4.1 Descripción de la extensión

HEC_GeoHMS se usa para procesar los datos de la cuenca después de preparar y compilar los datos iniciales del terreno. Se pueden estimar los parámetros hidrológicos a partir de las características de la cuenca, cauces, precipitaciones y caudales.

La herramienta es una implementación de la tecnología SIG que proporciona la conexión para trasladar la información espacial a los modelos hidrológicos para obtener las características físicas de una cuenca hidrográfica y posteriormente estimar los parámetros hidrológicos, que serán los datos de entrada para HEC-HMS. Todas las operaciones raster involucradas en la delineación de subcuencas están basadas en la premisa de que el agua fluye siguiendo la línea de máxima pendiente.

3.4.2 Esquema de trabajo en HEC-GeoHMS

- a) Preprocesamiento del terreno: el MDE es usado como dato de entrada para obtener ocho archivos de datos adicionales, que conjuntamente describen los patrones de drenaje de la cuenca y permiten una primera delineación de los cauces y de las subcuencas.
- b) Extracción de la cuenca de estudio: Después de preprocesar el terreno se extrae la cuenca hidrográfica de estudio. Para ello se define el punto de drenaje de la cuenca. En esta ventana se realiza el procesado hidrológico, consistente en el procesado de cuenca, la obtención de las características físicas de cauces y subcuencas, la estimación de los parámetros hidrológicos y la exportación de los datos a HEC-HMS.
- c) Procesado de la cuenca: La herramienta permite combinar o dividir subcuencas de forma interactiva, así como delinear subcuencas a partir de un punto determinado.
- d) Obtención de las características de cauces y subcuencas: HEC-GeoHMS permite la extracción de varias características físicas de los cauces y de las subcuencas. Estas características son almacenadas en tablas de atributos, que pueden ser

exportadas a hojas de cálculo o a otros programas. A partir de las características físicas se obtendrán posteriormente los parámetros hidrológicos, que forman parte de los datos de conforman en modelo hidrológico.

- e) Estimación de los parámetros hidrológicos: Cuando las características físicas de los cauces y de las subcuencas se extraen, posteriormente se calculan los parámetros hidrológicos. Este cálculo se puede hacer de dos formas: mediante una hoja de cálculo o mediante el menú “Hydrologic Parameters” de HEC-GeoHMS.
- f) Exportar datos a HEC-HMS: El objetivo último de HEC-GeoHMS es obtener una serie de datos hidrológicos que formarán parte de los datos de entrada para HEC-HMS. Como los parámetros hidrológicos calculados dentro de la extensión y el modelo de cuenca con el área de las subcuencas y el mapa de fondo con los cauces y subcuencas, son exportados al Software HEC-HMS. Las herramientas, que están en el menú “HMS”, permiten nombrar automáticamente los cauces y las subcuencas, comprobar si hay errores en la conectividad entre cauces y subcuencas y producir el esquema del modelo de cuenca para HEC-HMS (USACE, 2013_b)

3.5 PRINCIPIOS DE LA TELEDETECCIÓN

La teledetección es una ciencia multidisciplinaria que incluye una combinación de disciplinas como la óptica, espectroscopia, fotografía, informática, electrónica, telecomunicaciones, lanzamiento de satélites, entre otros. Todas estas tecnologías, se integran para actuar como un sistema completo conocido como sistema de teledetección, cada una de las siguientes etapas es importante para una operación de teledetección exitosa (22, 2010).

- a) La emisión de radiación electromagnética, o EMR por sus siglas en inglés.
- b) La transmisión de energía desde la fuente a la superficie de la tierra, conocidas como absorción y dispersión
- c) La interacción de EMR con la superficie de la tierra: la reflexión y emisión
- d) La transmisión de energía desde la superficie hasta el sensor remoto
- e) Salida de datos del sensor

3.5.1 Sensores remotos

La ciencia de los sensores remotos, consiste en el análisis e interpretación de mediciones de la radiación electromagnética que es reflejada por un objetivo y observada desde un punto de vista por un observador en un instrumento que no está en contacto con el objetivo.

La observación de la tierra por medio de los sensores remotos, es la interpretación y comprensión de las mediciones realizadas por instrumentos a bordo de satélites de emitidos por objetos en la superficie de la tierra, mar o hielo dentro de la atmosfera (Mather & Koch, 2011).

Cuando se trabaja con información espacial, es importante considerar varios aspectos, principalmente la escala, que es la proporción entre la imagen y la realidad, de esto depende la cantidad de información que puede extraerse. En el caso de las imágenes espaciales, se habla de resolución. La resolución de un sensor, es la habilidad para registrar y discriminar información de detalle y depende del efecto de la combinación de sus componentes. Se consideran cuatro tipos de resolución:

- a) Resolución espacial: se define como la sección angular medida en radianes, observada en el momento dado, depende de la apertura del dispositivo óptico del sensor, la resolución espacial, es el tamaño de la mínima unidad de la imagen de la que se tiene información, esto es, el tamaño medio del pixel. Cuando menor es el tamaño del pixel, mejor es la resolución de la imagen. De acuerdo con esto, los sensores se clasifican en muy alta, alta, media o baja resolución.
- b) Resolución espectral: expresa la aptitud del sensor para separar señales de longitudes de onda diferentes y depende del dispositivo de filtro óptico que separa la radiación incidente en bandas espectrales más o menos amplias, indica el número y anchura de las bandas espectrales. Cuanto mayor sea el número de bandas y más estrechas sean, la resolución espectral es mejor.
- c) Resolución radiométrica: se refiere a la sensibilidad de un sensor y expresa su aptitud en una banda espectral dada para diferenciar señales electromagnéticas de energía diferente. Cuanto mayor sea el número de niveles, mejor es la resolución radiométrica y mejor la información.
- d) Resolución temporal: se refiere a la frecuencia de cobertura que proporciona el sensor, esto es, la periodicidad con que adquiere imágenes de la misma porción de la superficie terrestre. El ciclo de cobertura está en función de las características orbitales de la plataforma así como del diseño del sensor.

A escala regional y local, los sensores de alta resolución constituyen una fuente importante de información para multitud de disciplinas:

- a) Agricultura: identificación y extensión de cultivos, seguimiento, predicción de cosechas y gestión.

- b) Cartografía de usos del suelo y evaluación de caminos en el paisaje, extensión de zonas urbanas, evolución de cultivos, desertificación, análisis de cambio de uso de suelo, etc.
- c) Geología: identificación de estructuras geológicas y depósito de minerales, gas o petróleo.
- d) Hidrología: cartografía de zonas afectadas por inundaciones e identificación de zonas vulnerables, análisis de calidad de aguas en embalse y lagunas, control de extracción de agua en acuíferos, seguimiento de zonas húmedas, estimación de volúmenes de agua almacenada en las cuencas por la capa de nieve.
- e) Biogeografía: inventario de recursos forestales, cartografía de zonas afectadas por incendios, establecimiento de zonas de riesgo.
- f) Gestión de zonas costeras: evaluación de cambios en la línea de costa, erosión y deposición, control de vertidos de aguas, dinámica litoral (Sobrino, 2000).

3.5.2 Generalidades de imágenes SPOT

La aparición de nuevos sensores remotos satelitales como Ikonos, QuickBird, SPOT, poseen una mejor resolución espacial, espectral, radiométrica y temporal, y permiten usar esta tecnología para el manejo de los recursos naturales. (Valdez et al., 2006)

El sistema probatorio de observación de la tierra (SPOT) entro en operación en el año de 1986, se conforma por una serie de satélites civiles de observación de la tierra, fue desarrollado por el Centro Nacional de Estudios Especiales francés (CNES) en colaboración con Bélgica y Suecia, aprobado en 1978.

Desde el lanzamiento del primer satélite en el año de 1986, se han lanzado 5 satélites SPOT, los cuales proporcionan imágenes de media y alta resolución de la superficie de la tierra, cuenta con un total de 43 estaciones distribuidas entre los 5 continentes (INEGI, 2015_a).

Las características históricas de SPOT se resumen en el Cuadro 2:

Cuadro 2. Historia de la familia SPOT.

Satélite	Fecha de lanzamiento	Resolución (m)	Intervalo de visita (días)
SPOT 1	2/22/1986	Pan 10; MS 20	26
SPOT 2	1/22/1990	Pan 10; MS 20	26
SPOT 3	9/26/1993	Pan 10; MS 20	26
SPOT 4	3/04/1998	Pan 10; MS 20	26
SPOT 5	5/04/2002	Pan 2.5; MS 10	26

Fuente: Ünsalan & Boyer, (2011).

SPOT abarca una superficie mínima de 3600 km² (60km*60km), pero pueden extraerse escenas flotantes de 1/2, ¼, 1/8 de escena. Las imágenes SPOT se clasifican como de alta resolución espacial; el tamaño de pixel varía de 2.5 a 20m. en función del sensor y de la banda del espectro observada. Su característica principal es su resolución que equivale a 10 m.

La frecuencia temporal de repetición de SPOT es de 26 días, y tiene la capacidad de variar su campo de visión 27° a ambos lados del nadir, esto hace disminuir la frecuencia de revisita a 2 o 3 días, con esta característica de observación y la conjunción de la constelación de los satélites, se puede obtener una imagen de cualquier punto de la tierra en un día determinado (Spot Image, 2010).

3.5.3 SPOT 5

Presenta una imagen con 2.5 m de resolución a partir de dos imágenes de 5 m adquiridas simultáneamente con un semi-píxel de desfase (Cuadro 3) (ERMEX NG, 2015). Con este sensor, la aplicación de las imágenes para la cartografía topográfica tendrá escala 1:50,000, con un error en la planimetría de 10m. y en la elevación de 5m (Sobrino, 2000). Su combinación se realiza mediante técnicas avanzadas de tratamiento y restauración de imágenes.

Cuadro 3. Rango espectral de SPOT 5.

Banda	Rango espectral (μm)	Resolución (m)
MULTIESPECTRAL	0.50-0.59	10
PANCROMÁTICA	0.48-0.71	2.5-5

Fuente: Ünsalan & Boyer, (2011).

3.5.4 Análisis de imágenes de satélite

Para aprovechar los datos de la teledetección, es necesario hacer un buen uso de los datos y ser capaces de extraer información significativa de las imágenes. La interpretación y el análisis de imágenes implican la identificación y medición de diversos objetivos en una imagen con el fin de extraer información útil. Los objetivos pueden ser cualquier función y objeto que se puede observar en una imagen y cumple con las siguientes características:

- a) Los objetivos pueden ser una característica de punto, línea o área.
- b) El objetivo debe ser distinguible.

La interpretación de imágenes se realiza de forma manual o visual cuando se trata de imágenes en formato analógico. Sin embargo, las imágenes de sensores remotos, pueden ser presentadas en un ordenador como matrices de píxeles, en este caso, los datos están en

formato digital. La interpretación visual, también se puede realizar mediante el examen de imágenes digitales que aparecen en una pantalla de ordenador. Todas las imágenes se pueden mostrar como imágenes en blanco y negro también llamada monocromo, o como imágenes en color mediante la combinación de diferentes canales o bandas que representan diferentes longitudes de onda. El procesamiento digital puede utilizarse para mejorar los datos antes de realizar la interpretación visual. Los análisis visuales y digitales de imágenes de sensores remotos no son mutuamente excluyentes, una mezcla de ambos métodos es empleada generalmente en el análisis de imágenes, pues en la decisión de la última utilidad y relevancia de la información extraída al final del proceso de análisis, debe hacerse manualmente. (Natural Resources Canada, 2015).

3.5.5 Funciones del procesamiento de imágenes de satélite

Las funciones disponibles para el procesamiento y análisis digital de imágenes pueden ser clasificadas en cuatro categorías.

- a) Preprocesamiento: involucran operaciones que requieren del análisis de los datos y de la extracción de la información, se agrupan en correcciones radiométricas que incluyen la corrección de las irregularidades del sensor, ruido atmosférico, así como la conversión de datos para representar exactamente la radiación reflejada o emitida por el sensor. y correcciones geométricas que incluyen la corrección de distorsiones geométricas debidas a la variación geométrica sensor-tierra convirtiendo los datos a coordenadas del mundo real, latitud y longitud sobre la superficie terrestre.

- b) **Realce de la imagen:** Mejora la apariencia de la imagen para ayudar a la interpretación visual, pueden mencionarse la expansión del contraste que incrementa la diferencia tonal de las características de la escena, así como el filtrado espacial, que mejora los patrones espaciales específicos de una imagen.
- c) **Transformación de la imagen:** Implican un procesamiento combinado de datos de múltiples bandas espectrales. Se realizan operaciones aritméticas para combinar y transformar las bandas originales en nuevas imágenes que realzan ciertas características de la escena.
- d) **Clasificación y análisis de la imagen:** se utiliza para la clasificación de píxeles, se realiza habitualmente sobre conjuntos de datos multicanal, asignando cada píxel de la imagen a una clase particular, atendiendo a las propiedades estadísticas del brillo de los píxeles (Natural Resources Canada, 2015).

3.5.6 Clasificación de imágenes de satélite

Los procedimientos de clasificación habituales pueden dividirse en dos grandes categorías basadas en el método utilizado: clasificación supervisada y clasificación no supervisada.

La selección de las áreas apropiadas se basa en la experiencia con el área geográfica, y el conocimiento de los diferentes tipos de uso de suelo presentes en la imagen. De esta forma se dice que se supervisa la categorización de un conjunto específico de clases. La información numérica en las bandas espectrales de los píxeles que comprenden las áreas se utilizan para entrenar un algoritmo para reconocer espectralmente áreas similares para cada clase (Arévalo, 2001).

3.5.7 Métodos de modelación para cambios de uso de suelo.

Se conoce como uso de suelo a los diferentes usos en que se emplea un terreno y su cubierta vegetal. (García *et al.* 2011). Las acciones humanas en lugar de las fuerzas naturales son la fuente de la mayoría de los cambios contemporáneos de un sitio, la comprensión de esas acciones y las fuerzas sociales que los impulsan, son de vital importancia para la comprensión, modelización y predicción del cambio ambiental global y para la gestión y respuesta a dicho cambio. (Meyer & Turner, 1998)

Los modelos de simulación son una representación de un componente o proceso de la realidad, capaces de pronosticar posibles comportamientos, señalan la potencialidad de representar magnitud, localización y patrones espaciales. Existen modelos estáticos, donde los datos de entrada y salida corresponden a un mismo instante en el tiempo, y modelos dinámicos donde la salida corresponde a un tiempo distinto a los datos de entrada.

Los modelos estáticos combinan varias entradas para obtener un resultado relevante. Los modelos dinámicos, representan procesos como cambios de uso de suelo y ayudan a predecir el comportamiento futuro para prever probables consecuencias de las transformaciones proyectadas (Henríquez & Azócar, 2007). En la literatura, se identifican tres tipos de métodos para modelar el cambio de uso y cobertura de suelo:

El método estadístico se basa en datos funcionales o modelo paramétrico de tipo logístico esta modelización, utiliza funciones polinomiales y considera la ocupación del suelo y las variables ambientales supuestamente explicativas. La función integra la mayor parte de las capas de información de la base de datos espacial. Ante la distancia temporal de la serie cartográfica construye indicadores intermedios que toman en cuenta las variables y

es efecto espacio-temporal. El resultado de los cálculos, son una serie de mapas de carácter prospectivo y retrospectivo.

Los algoritmos de redes neuronales, aventajan las funciones estadísticas clásicas, además de proponer soluciones no lineales.

El método basado en las cadenas de Markov, la evaluación multicriterio (EMC) y la evaluación multiobjetivo (EMO), se apoya en constatar diferencias significativas de comportamiento espacio-temporal en relación con una repartición teórica supuesta, analizando el impacto de la “rugosidad” geográfica, la cual depende de un conjunto de variables conocidas, disponibles y cartografiadas a una escala compatible con la serie cronológica de los mapas de uso de suelo (Paegelow et al, 2003). Las cadenas de Markov entregan las posibilidades de cambio, mientras que la evaluación multicriterio y los autómatas celulares especializan dichas probabilidades otorgando una ubicación geográfica (Sandoval, 2009). Finalmente se analizan las transiciones de un uso en cada pixel, dando como resultado mapas de cambio entre todos los usos (Figuerola, 2011). Con el módulo de las cadenas de Markov, se simula la predicción del estado de un sistema en un tiempo determinado a partir de estados precedentes, basándose exclusivamente en el análisis de la dinámica interna del sistema. El resultado de la serie cronológica, es una matriz de probabilidades de transición entre todas las categorías de ocupación del suelo, esta matriz indica el número de pixeles que pueden sufrir una transformación (Paegelow et al, 2003).

4 MATERIALES Y MÉTODOS

4.1 Cuenca: Río Tecolutla

La cuenca del Río Tecolutla se ubica en los estados de Hidalgo, Puebla, Tlaxcala y Veracruz (Figura 6), entre los paralelos $19^{\circ} 28'$ y $20^{\circ} 30'$ de latitud norte y los meridianos $96^{\circ} 58'$ y $98^{\circ} 15'$ de longitud oeste, pertenece a la región hidrológica administrativa 10, Golfo centro, región hidrológica 27 (CONAGUA, 2012).

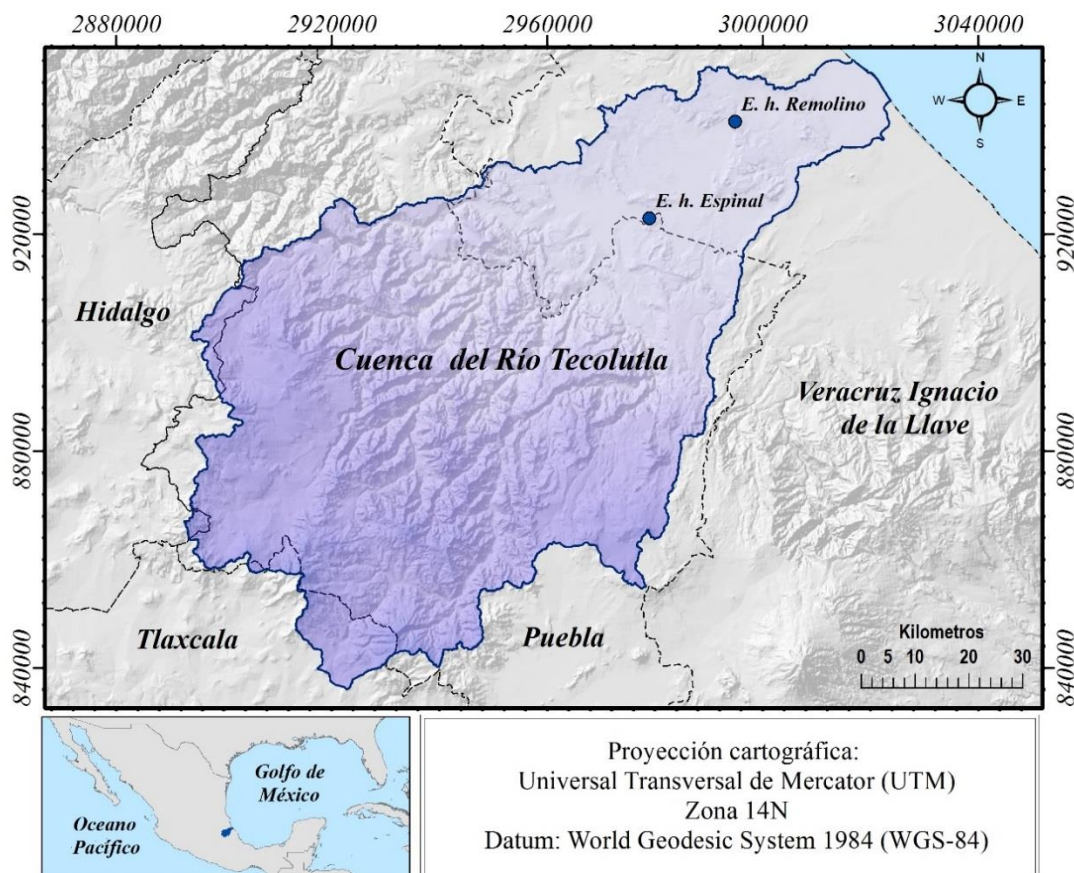


Figura 6. Ubicación geográfica de la cuenca del Río Tecolutla.

La cuenca mencionada se delimitó a partir de la estación hidrométrica El Remolino. La estación hidrométrica tomada para la simulación de eventos, tiene por nombre El Espinal, esta se ubica en la localidad del mismo nombre en el estado de Veracruz en la corriente del Río Tecolutla, con una elevación de 49 msnm, el periodo de operación de esta estación es del año 2007 al 2011. En el Cuadro 4 se muestra la descripción de las principales características de la cuenca del Río Tecolutla.

Cuadro 4. Características principales de la cuenca del Río Tecolutla.

Propiedad	Descripción
Área de la cuenca	7136.98 Km ² hasta la estación hidrométrica El Remolino.
Distribución del área	80% Puebla, 16% Veracruz, 3% Tlaxcala, 1% Hidalgo.
Principales localidades urbanas	Estado de Puebla: Xicotepec de Juárez, Huauchinango, Nuevo Necaxa, Zacatlán, Tezuitlán y Zaragoza. Estado de Veracruz: Papantla y Agua Dulce.
Población total de las principales localidades urbanas	Xicotepec de Juárez, 48,804 habitantes; Huauchinango, 46,671 habitantes; Nuevo Necaxa, 10,213 habitantes; Tezuitlán, 56,029 habitantes; Zacatlán, 28,773 habitantes; Zaragoza, 9,721 habitantes; Papantla, 48,804 habitantes; Agua Dulce, 5,914 habitantes. Total: 254,929 habitantes.
Climas dentro de la cuenca	Se presentan de acuerdo al cambio de elevaciones, cálido húmedo, cálido subhúmedo, semicálido húmedo, templado húmedo, templado subhúmedo y semifrío subhúmedo.
Uso de suelo dominante	Agricultura 48.6%, bosque 31.9%, pastizal 17.8%, matorral 1%, selva 0.3%, área urbana 0.2%.
Clase textural de suelos dominante	71% Media, 20% Fina y 9% Gruesa de la superficie total.
Lluvia promedio anual en la cuenca	1294 mm. (Más del 50% de la precipitación se concentra en el periodo que corresponde a los meses de junio a noviembre.)
Pendiente media de la cuenca	28.76%
Longitud del cauce principal	507.33 Km desde la estación El Remolino
Pendiente del cauce principal	1.7 %
Tiempo de concentración	60 horas
Rango de elevaciones	Desde los 2 hasta los 3500 msnm.
Principales presas dentro de la cuenca	El Tejocote, Necaxa, Tenango, Nexapa, La Soledad.
Caudales máximos históricos en la estación el espinal	5170 m ³ /s, 22 de agosto de 2007 4765 m ³ /s, 18 de octubre de 2009 6292 m ³ /s, 17 de septiembre de 2010 7372 m ³ /s, 23 de agosto de 2011

Fuente: INEGI (2015_b).

4.1.1 Fisiografía

La cuenca del Río Tecolutla, se ubica dentro de tres provincias fisiográficas (Figura 7):

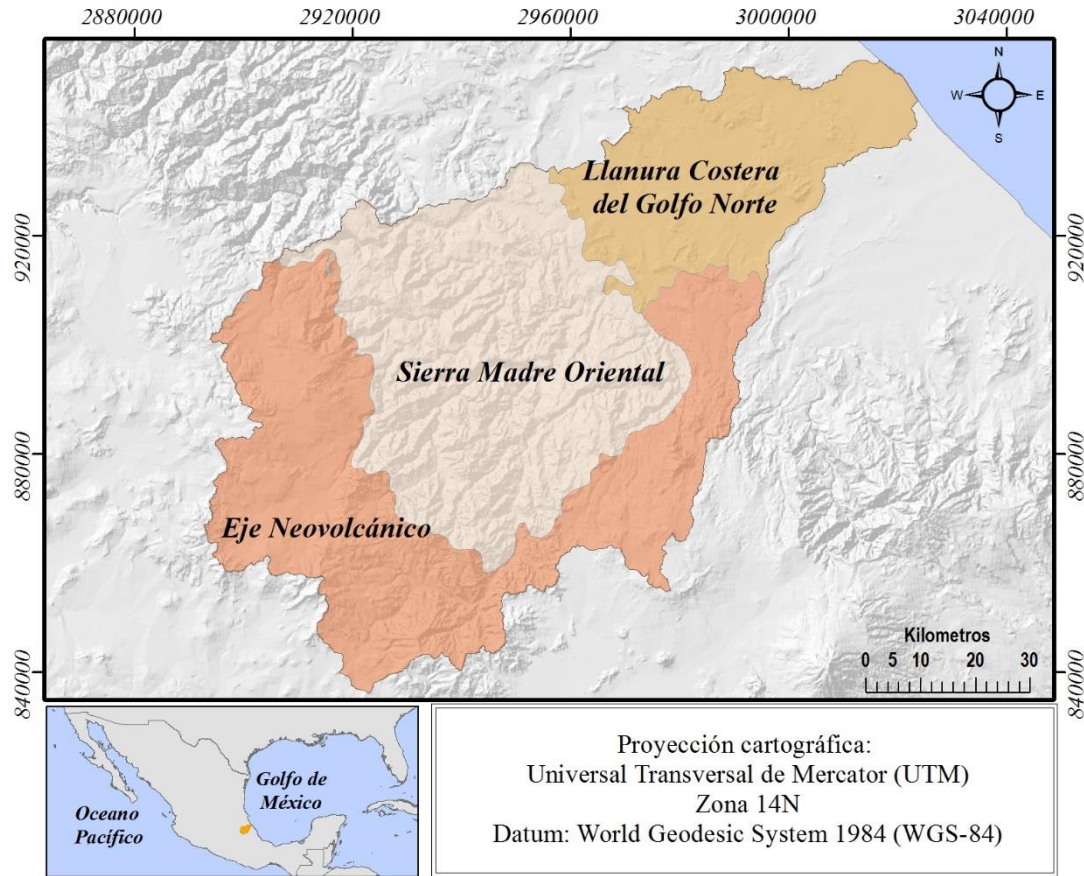


Figura 7. Fisiografía de la cuenca Tecolutla.

Eje Neovolcánico Transversal: En esta provincia se encuentran áreas que forman parte de dos subprovincias; Lagos y volcanes del Anáhuac, la cual consta de sierras volcánicas que alternan con amplias llanuras formadas mayormente por vasos lacustres y Chiconquiaco, dominado por lomeríos.

Llanura Costera del Golfo Norte: Esta provincia se extiende a las costas del Golfo de México, hasta la zona de Nautla, Veracruz. En esta región se encuentran valles labrados

por el río Tecolutla que atraviesan sistemas de lomeríos, además de mesetas constituidas de sedimentos antiguos.

Sierra Madre Oriental: Conjunto de sierras formadas por estratos plegados, constituidos de rocas sedimentarias calcáreas y arcillosas de edad mesozoica, con escasas rocas ígneas (Pérez, 2009).

4.1.2 Geología

En la cuenca del río Tecolutla se localizan los tres tipos de rocas, su edad va del paleozoico hasta el cuaternario (Figura 8).

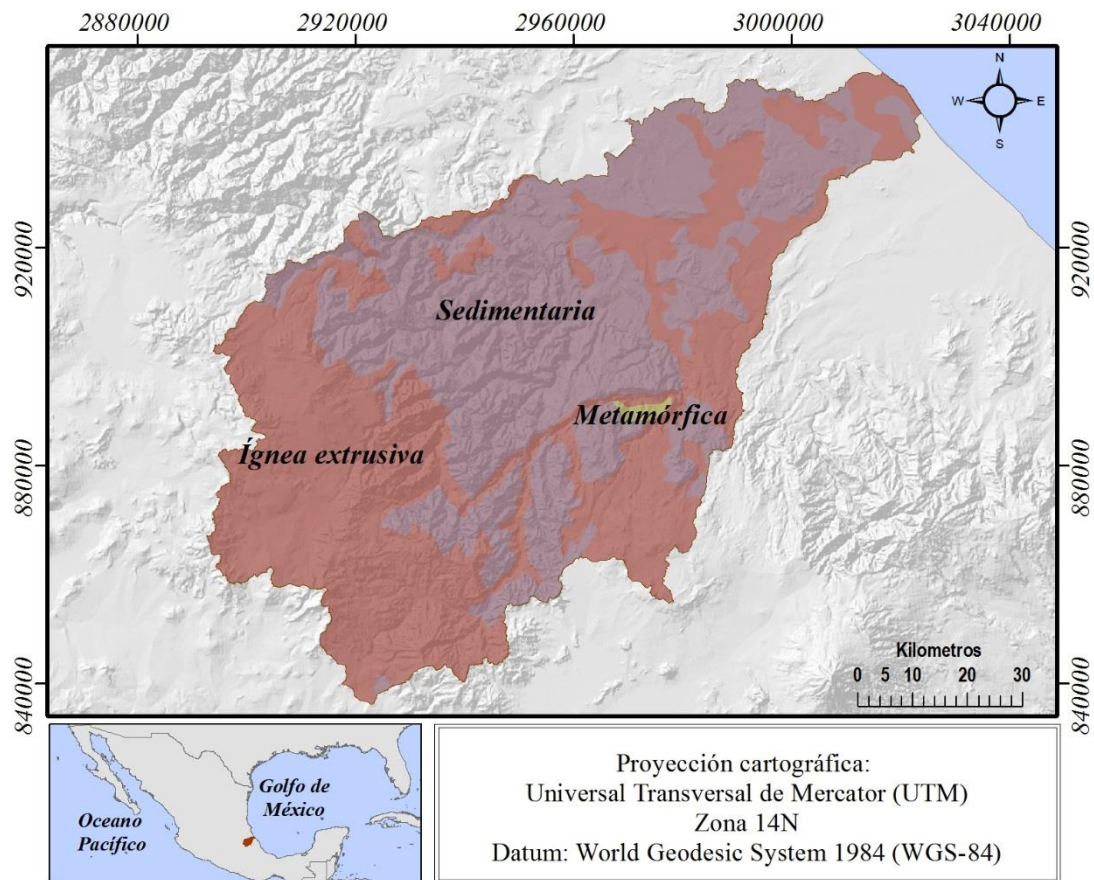


Figura 8. Mapa geológico de la cuenca del Río Tecolutla.

Las rocas ígneas constituyen el núcleo de las sierras de Chignahuapan, Tezuitlán y en gran parte de la región media y alta de la cuenca, son particularmente rocas ácidas de tipo granítico.

Las rocas sedimentarias se localizan en su mayoría en los alrededores de las Sierras Chignahuapan y Tezuitlán, en la zona media de la cuenca han sido formadas a través de medios físicos o mecánicos algunas son producidas por precipitación química o bioquímica, entre las principales rocas sedimentarias están los conglomerados, areniscas, pizarras y calizas.

Las rocas metamórficas se originan por alteraciones geológicas que generan calor y presión, se derivan de las rocas ígneas y sedimentarias, los afloramientos de este tipo de roca en la cuenca son escasos. Los más notables se localizan en la región media de la cuenca (Pérez, 2009).

4.1.3 Vegetación

La cubierta vegetal de la cuenca, ha presentado grandes cambios a través de los años, los cambios son principalmente antropogénicos y ocasionados por patrones climatológicos como los desastres naturales.

Clasificando la vegetación a nivel tipo, dentro de la cuenca se encuentra una gran variedad de comunidades vegetales, dentro de las que se destacan las siguientes: bosque de coníferas se compone por abetos, piceas, pinabetes y pinos, se desarrollan en la parte alta de la cuenca colindante con la sierra madre oriental: bosques de encino, localizados en las vecindades de los estados de Hidalgo y Tlaxcala; bosque mesófilo de montaña o

caducifolio en las estribaciones de la Sierra Madre Oriental, selva subcaducifolia, se desarrolla en la parte media y baja de la cuenca y vegetación hidrófila confinada en la parte baja en las vecindades de la zona costera del Golfo de México (Pérez, 2009).

4.1.4 Hidrografía

Los arroyos que dan origen a la corriente nacen en los distritos de Huauchinango, Zacatlán, Acatlán y Teziutlán en la sierra norte de Puebla, La corriente principal recibe los nombres de arroyo Zapata, Río Coyuca, río Apulco y río Tecolutla.

Los afluentes principales son los ríos Xiucayucan, Tehuacantepec, Laxaxalpan el que tiene como subafluente al río Necaxa, en el curso medio recibe aportaciones del arroyo Joloapan y del río Chichicatzapan. Se origina a 3,500 msnm en el arroyo Zapata, y a 20 km. al norte de Huamantla, en el estado de Tlaxcala. Posteriormente se desarrolla a 2,200 m de altitud en el estado de Puebla tomando el nombre de río Apulco; 13 km después de su nacimiento a 2500 m de altitud, se localizan las estaciones hidrométricas La Gloria y Rancho Apulco.

La corriente principal recibe en su margen derecha los afluentes de los arroyos Xilitla y Sontalaco; hacia el norte, la corriente principal cambia hacia el norte por un cañón angosto, teniendo a 2 km la presa La Soledad. Al iniciar su recorrido en la planicie costera, la corriente toma el nombre de río Tecolutla, el recorrido continúa hacia el este-noreste pasando por Gutiérrez Zamora, para finalmente desembocar en la barra de Tecolutla en el Golfo de México a través de un canal de 25 m de ancho y 2 m de profundidad (Figura 9). La barra continua mar adentro formando un banco a 500 m. de su desembocadura de aproximadamente 3 km (SRH, 1971).

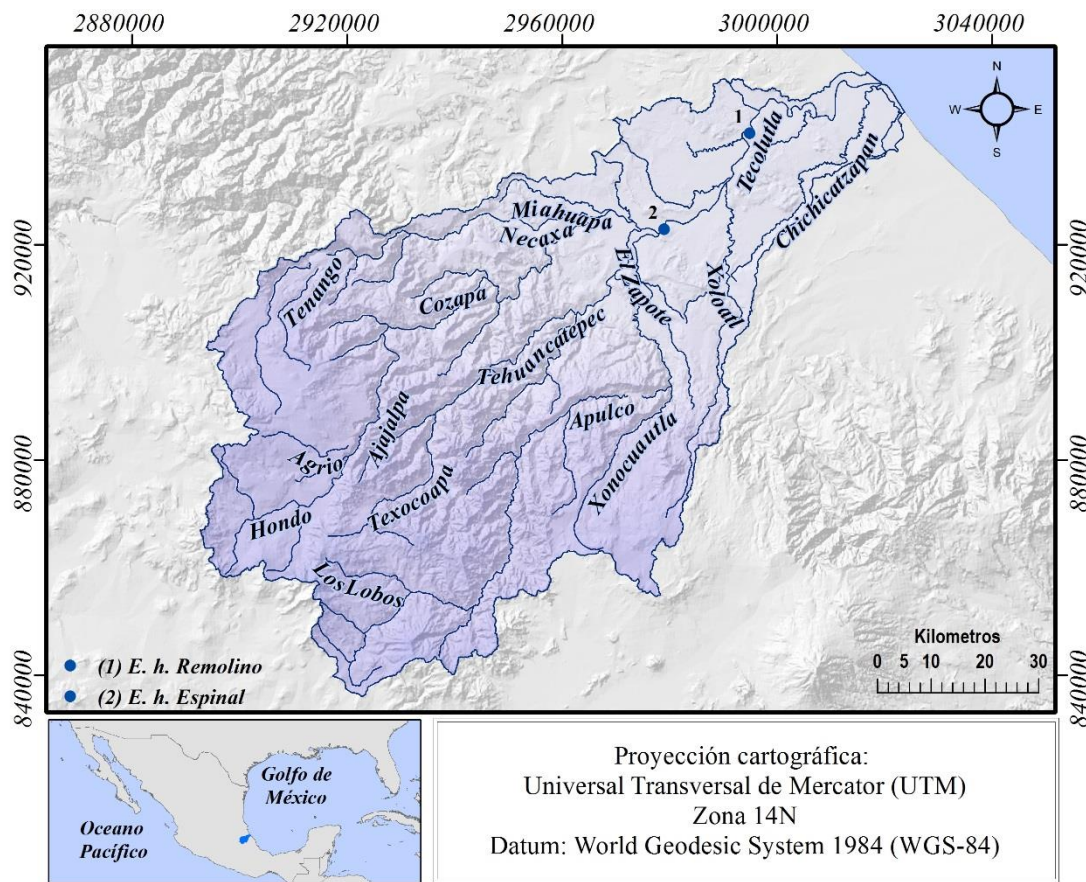


Figura 9. Corriente principal y corrientes tributarias del Río Tecolutla.

4.1.5 Presas dentro de la cuenca

En esta cuenca se construyeron los primeros aprovechamientos hidráulicos de importancia en el país, sobre el río Necaxa se encuentra el sistema hidroeléctrico del mismo nombre, este sistema está integrado por presas de almacenamiento, en la primera división se localiza La Laguna con un área de embalse de 586 ha. Y una capacidad de 43.5 millones de m³, corresponde a los llamados vasos altos.

El sistema hidroeléctrico Necaxa, se integra principalmente por las presas Necaxa, Tenango y Nexapa (Figura 10).

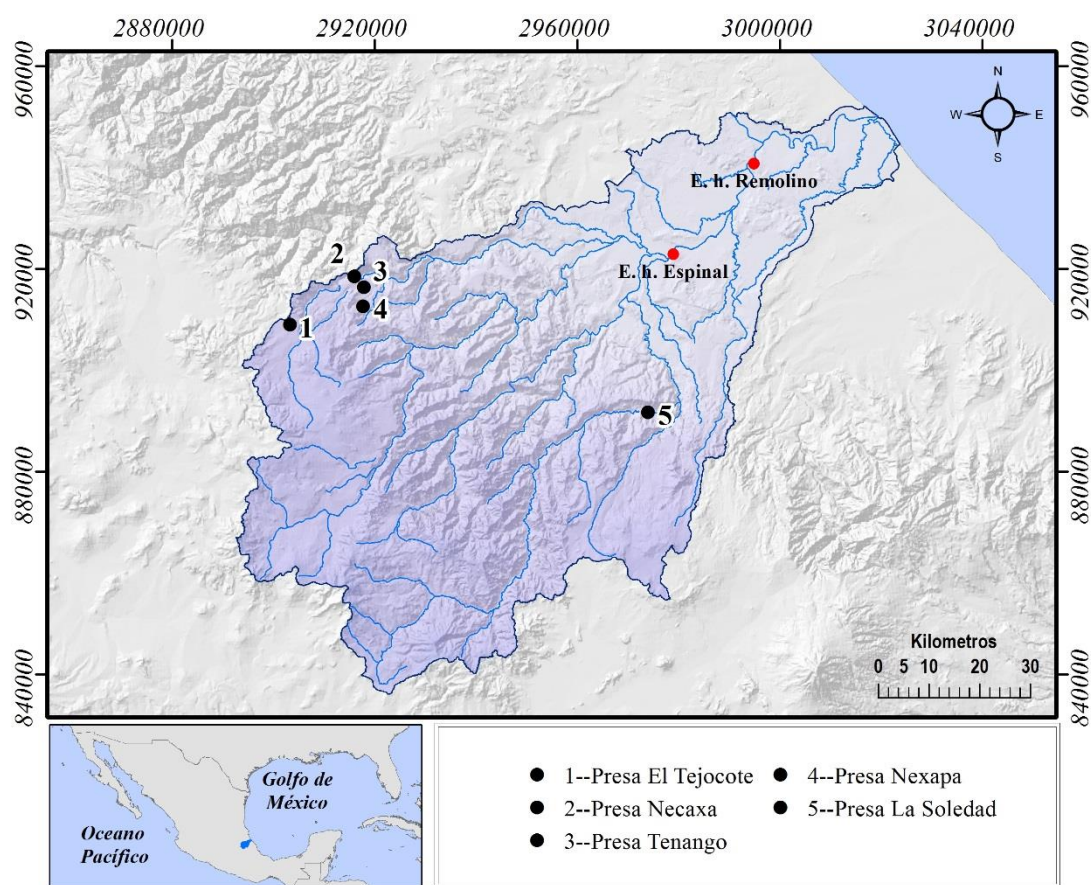


Figura 10. Presas existentes en la cuenca.

La presa Necaxa tiene un área de embalse de 189.4 ha. Y su capacidad es de 43 millones de m^3 . Sus aportaciones provienen del río Necaxa y de la presa Tenango por medio de un túnel que permite incrementar el volumen y así la generación de energía hidroeléctrica producida en la planta de Necaxa. La obra de toma tiene una capacidad de 12 m^3 y una longitud de 1,600 m. hasta la casa de máquinas, en la cual se generan 75,000 kwh (SRH, 1971).

Tenango es la presa con mayor extensión en el sistema, con un área de embalse de 341 ha. Y una capacidad de 43.1 millones de m^3 , la cortina mide 2,912 m.

La presa Nexapa, es la de menor capacidad, únicamente almacena 15.5 millones de m³, su área de embalse es de 150 ha. Posee 26 tomas, de las cuales solo operan 22, cada una de ellas admite una capacidad determinada y el excedente es vertido al cauce natural.

En el cauce del río Apulco, se encuentra la presa La Soledad, construida por la Comisión Federal de Electricidad, su objetivo fue la generación de energía hidroeléctrica en la planta de Mazatepec, en el estado de Puebla (SRH, 1971).

En el Cuadro 5 se presentan los valores de los principales componentes de las presas de almacenamiento existentes en la cuenca.

Cuadro 5. Características de los componentes de las presas.

Presa	Niveles en m.			Capacidad en Mm ³	
	NAMINO	NAMO	NAME	Total	Útil
El Tejocote	2171.00	2183.00	2185.00	52.090	40.638
Necaxa	1319.00	1338.00	1343.00	39.134	29.055
Tenango	1329.00	1345.00	1352.00	48.570	26.820
Nexapa	1345.00	1360.00	1363.00	16.655	12.500
La Soledad	768.76	804.50	805.00	59.700	45.900

Fuente: CFE, (2015).

4.1.6 Precipitación media de la cuenca

De acuerdo con la precipitación media de la cuenca, se distinguen tres zonas importantes; en la parte alta, ubicada en los estados de Tlaxcala, Hidalgo y Puebla, la precipitación media anual es de 700 mm (Pereyra & Hernández, 1987 citado por Pérez, 2009).

La parte media, en Jopala, Atexcaco y Puebla, la precipitación toma un valor de 2,500 mm., esta zona tiene centros de alta precipitación, alcanzando los 3,400 mm.

En la parte baja la precipitación es de 1,400 mm. aproximadamente (Pereyra & Hernández, 1987 citado por Pérez, 2009).

Existen 43 estaciones climatológicas y 5 estaciones automáticas distribuidas en el área de la cuenca, las cuales registran la precipitación diaria (Cuadro 6), sin embargo no todas las estaciones están en operación o cuentan con registros de precipitación.

Cuadro 6. Estaciones climatológicas y automáticas en la cuenca, con un registro de datos mayor a 30 años.

Nombre	Estación	Tipo	Estado	Municipio	Organismo
21021	Capuluaque	Climatológica	Puebla	Tetela de Ocampo	CFE
21047	Ixtacamaxtitlan	Climatológica	Puebla	Ixtacamaxtitlan	CFE
21059	Oyameles	Climatológica	Puebla	Tlatlauquitepec	CONAGUA-DGE
21107	Zacatlán	Climatológica	Puebla	Zacatlán	CONAGUA-DGE
30055	El Remolino	Climatológica	Veracruz	Papantla	CFE
30058	Espinal	Climatológica	Veracruz	Espinal	CFE
	Huauchinango	Automática	Puebla	Huauchinango	SMN EMAS
	Tezuitlán	Automática	Puebla	Tezuitlán	SMN EMAS
	Huamantla	Automática	Tlaxcala	Huamantla	SMN EMAS

4.1.7 Tormentas severas en la cuenca del Río Tecolutla

En el estado de Veracruz se registran un promedio de 3.5 inundaciones por año (Ortiz *et al.*, 1992 citado por Garnica y Alcántara, 2004). Algunos ríos como Tuxpan, Papaloapan, Coatzacoalcos, Jamapa, Blanco, Cazones, Nautla y Tecolutla, sufren desbordamientos debido a los ciclones y tormentas tropicales presentadas.

Dentro de la cuenca Tecolutla, se identifican dos centros de alta precipitación, ubicados en las regiones de Jopala y Atexcaco en el estado de Puebla (Pérez, 2009). El curso bajo del río Tecolutla, se ha visto afectado en los años 1974, 1981, 1986, 1988, 1995 y 1999. En este último año, ocurrió un desbordamiento del río Tecolutla, inundando las planicies aledañas y las depresiones, las márgenes del cauce se ampliaron y se formaron surcos en la planicie costera al norte de la cabecera municipal de Tecolutla, el tirante de agua alcanzó

una altura aproximada de 2.5m (Garnica & Alcántara, 2004). En el Cuadro 7, se muestran las tormentas más desfavorables, con un gasto mayor a 3000 m³/s en la estación hidrométrica El Remolino.

Cuadro 7. Tormentas severas en la cuenca Tecolutla para el periodo 1961-1990.

No. De tormenta	Año	Periodo	Gasto máximo (m ³ /s)
1	1969	4 al 9 de septiembre	3952
2	1971	8 al 10 de octubre	4258
3	1973	25 al 30 de agosto	4415
4	1974	18 al 26 de septiembre	7491
5	1975	7 al 12 de septiembre	3049
6	1976	15 al 17 de octubre	3188
7	1979	4 al 6 de agosto	3198
8	1979	6 al 10 de septiembre	3621
9	1980	22 al 26 de septiembre	3467
10	1981	23 al 28 de agosto	8321
11	1981	16 al 18 de septiembre	3031
12	1984	10 al 14 de septiembre	3024
13	1986	14 al 16 de octubre	3447
14	1986	11 al 14 de noviembre	7755
15	1988	3 al 5 de septiembre	5782
16	1989	21 al 23 de septiembre	4481

Fuente: Pérez *et al.*, (2009).

En el año 2007, se formó en el océano Atlántico el huracán Deán, comenzó su recorrido por el oeste y se impactó el 22 de agosto como categoría uno en el Norte de Veracruz a la altura de Tecolutla. Por la gran cantidad de lluvia que dejó a su paso, la mayor parte del estado de Veracruz se vio afectado por inundaciones.

En la zona norte de la entidad, el 25 de septiembre de 2007, nació el huracán Lorenzo, en las primeras horas del día 28 como categoría uno azotó a Tecolutla y Nautla, ocasionando pérdidas en la agricultura y ganadería.

El 9 de septiembre de 2010 se generó el huracán Karl, el día 15 se impactó como huracán intenso en el norte de Veracruz, para el día 18, Karl, solo se mencionaba como remanentes de un sistema de baja presión (Tejeda, 2011).

4.2 Materiales

Para el desarrollo de la investigación se usaron los siguientes insumos y programas:

- Información de precipitación de 12 estaciones climatológicas y 3 estaciones automáticas.
- Información hidrométrica de la estación El Espinal.
- Información de tablas elevaciones-capacidades de las presas: El tejocote, Necaxa, Nexapa, Tenango y La Soledad.
- Imágenes de satélite SPOT 5 de los años 2005 y 2014.
- Cartas edafológica y de uso de suelo y vegetación INEGI 1:250 000 en formato digital.
- Modelo de elevación digital a 15 metros descargado del sitio INEGI.
- Software ArcGIS versión 10.1.
- Software Idrisi versión Selva.
- Software HEC-HMS versión 4.0.
- Extensión HEC Geo-HMS versión 10.1.

4.3 Metodología

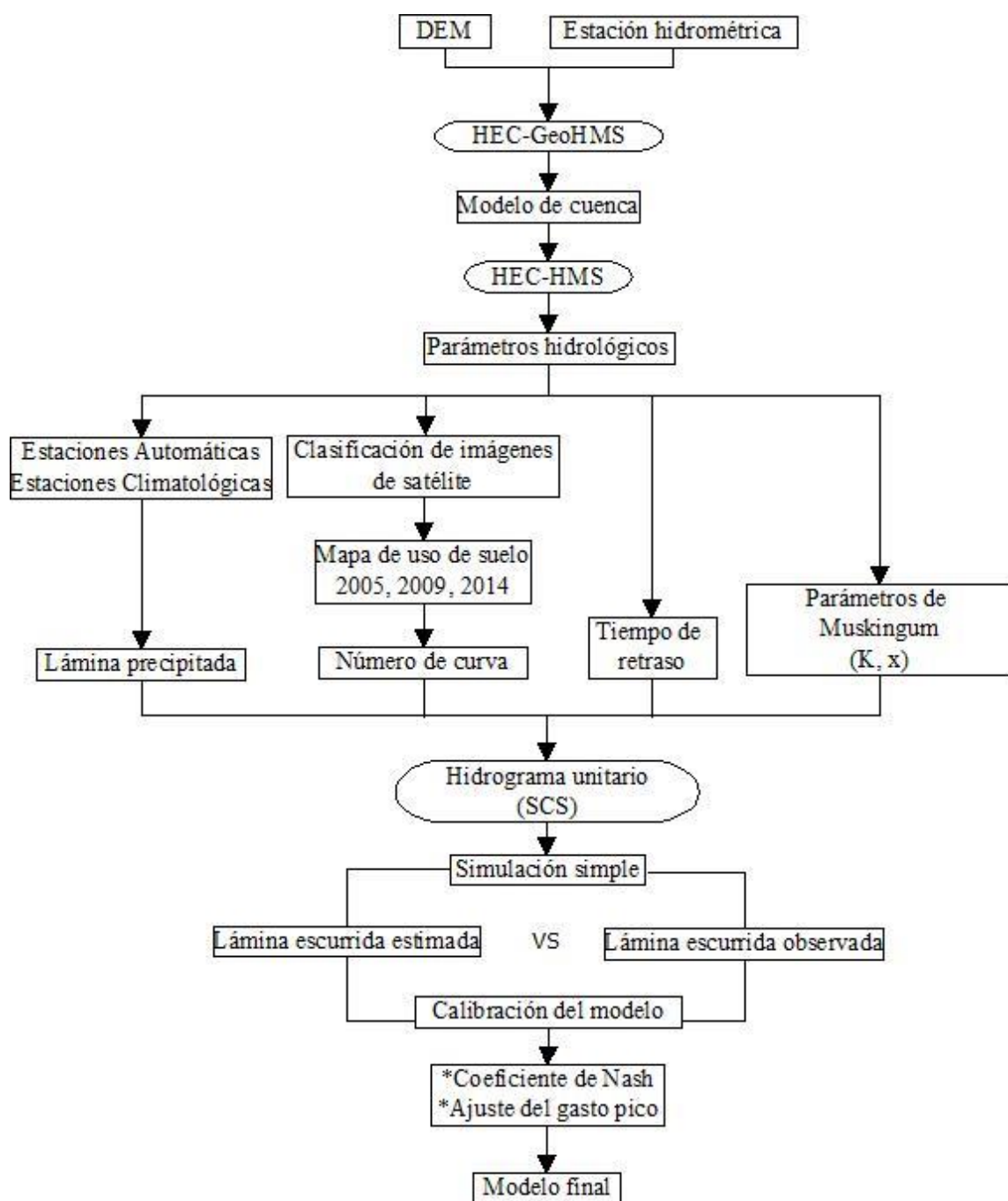


Figura 11. Esquema de la metodología general utilizada.

4.3.1 Creación del modelo de cuenca con HEC-GeoHMS

El modelo hidrológico fue creado de acuerdo a la metodología de USACE 2013_a Dentro del sistema de información geográfica, Arc Gis 10.1, con la extensión del HEC_GeoHMS (USACE, 2014_a), se realizó el preprocesamiento del terreno (Figura 13).

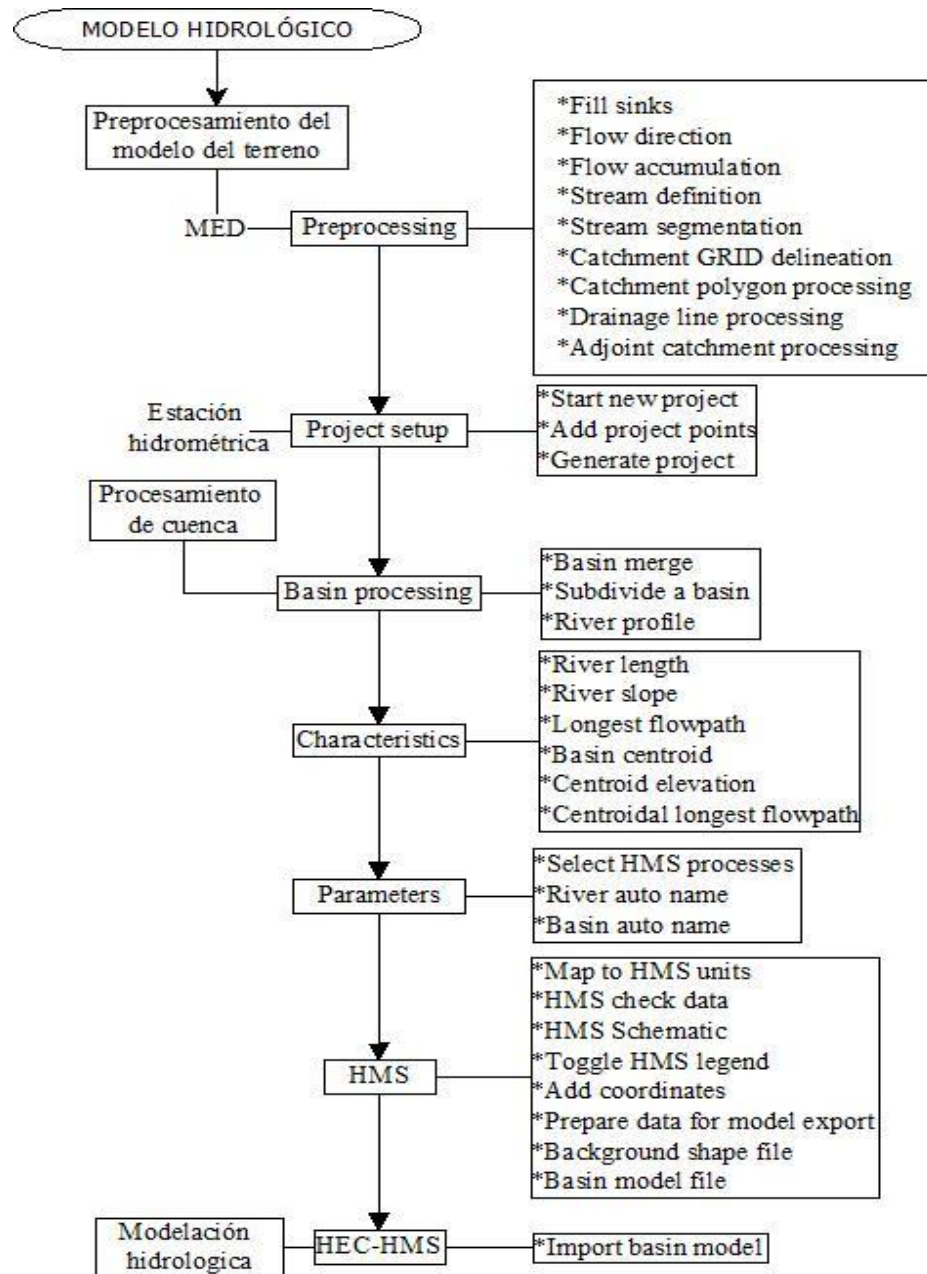


Figura 12. Desarrollo del modelo hidrológico en HEC-GeoHMS.

Partiendo del modelo de elevación digital (INEGI, 2014_a), se generaron cinco archivos raster y dos archivos en formato vector, dichos archivos permiten la delineación de las subcuencas y la red de drenaje. Usando la herramienta HMS Project Setup, se especificaron los puntos de control a la salida de la cuenca, se generaron los puntos y el área del proyecto específico.

Después de generar dicho proyecto, se realizó el procesado de la cuenca, que permitió unir, subdividir y crear subcuencas y cauces. Posteriormente, se generaron las características de los cauces y las cuencas las cuales son útiles para comparar y estimar los parámetros hidrológicos, con esto se realizó la caracterización morfométrica de la cuenca y su topología, se destacan las distancias de cauces, pendientes, máximos recorridos, centroides de subcuenca, áreas y perímetros.

Las características físicas de la cuenca y corrientes, son almacenadas en tablas de atributos. Los nombres de los diferentes componentes de la cuenca, fueron generados automáticamente a través de la misma herramienta. Se creó el esquema de la cuenca para HMS, este esquema es la representación de SIG del modelo hidrológico de la cuenca, tomando en cuenta sus conexiones y sus elementos, y se usó la simbología para describir cada uno de los elementos hidrológicos, se establecieron las coordenadas del área, y de la misma forma, se adjuntó el mapa de fondo, el cual captura la información geográfica de los límites de las subcuencas y los cauces.

Finalmente se preparó y exportó el modelo final, con sus elementos hidrológicos, sus conexiones y la información geográfica para ser leído por HEC-HMS.

4.3.2 Información hidrometeorológica y de precipitación

En la cuenca Tecolutla, se ubicaron las estaciones hidrométricas que tuvieran registros recientes, finalmente se escogió a la más representativa, la cual corresponde a la estación denominada El Espinal, de esta estación se obtuvo información y el periodo de registro.

De acuerdo al registro de la estación hidrométrica, se eligieron estaciones automáticas y climatológicas cercanas a la zona que tuvieran un registro de datos en el mismo periodo de tiempo que la estación El Espinal, los datos de precipitación fueron suministrados por el Sistema Meteorológico Nacional para 3 estaciones automáticas (SMN, 2014) y 12 estaciones climatológicas (SMN, 2015a) (Cuadro 8) y los datos de escurrimiento de la estación hidrométrica se obtuvieron de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA, 2014).

Cuadro 8. Estaciones automáticas, climatológicas e hidrométrica.

Clave	Estado	Nombre	Tipo
21140	Puebla	Chignahuapan	Climatológica
21032	Puebla	Cuetzalan del Progreso	Climatológica
29165	Tlaxcala	El Epazote	Climatológica
30055	Veracruz	El Remolino	Climatológica
30058	Veracruz	Espinal	Climatológica
21047	Puebla	Ixtacamaxtitlan	Climatológica
21201	Puebla	Las Margaritas	Climatológica
21224	Puebla	San Nicolás Tetela	Climatológica
21250	Puebla	Tepango de Rodríguez	Climatológica
21127	Puebla	Xicotepec de Juárez	Climatológica
21107	Puebla	Zacatlán	Climatológica
21207	Puebla	Zaragoza	Climatológica
TL01_10M	Tlaxcala	Huamantla	Automática
PU-04_10M	Puebla	Huauchinango	Automática
PU-03_10M	Puebla	Teziutlán	Automática
27106	Veracruz	El Espinal	Hidrométrica

El intervalo de tiempo propuesto para la generación del hidrograma fue de una hora, por lo tanto, los datos hidrométricos y de precipitación, fueron distribuidos de acuerdo al intervalo mencionado. La ubicación de las estaciones hidrométricas, automáticas y climatológicas se muestra en la Figura 14.

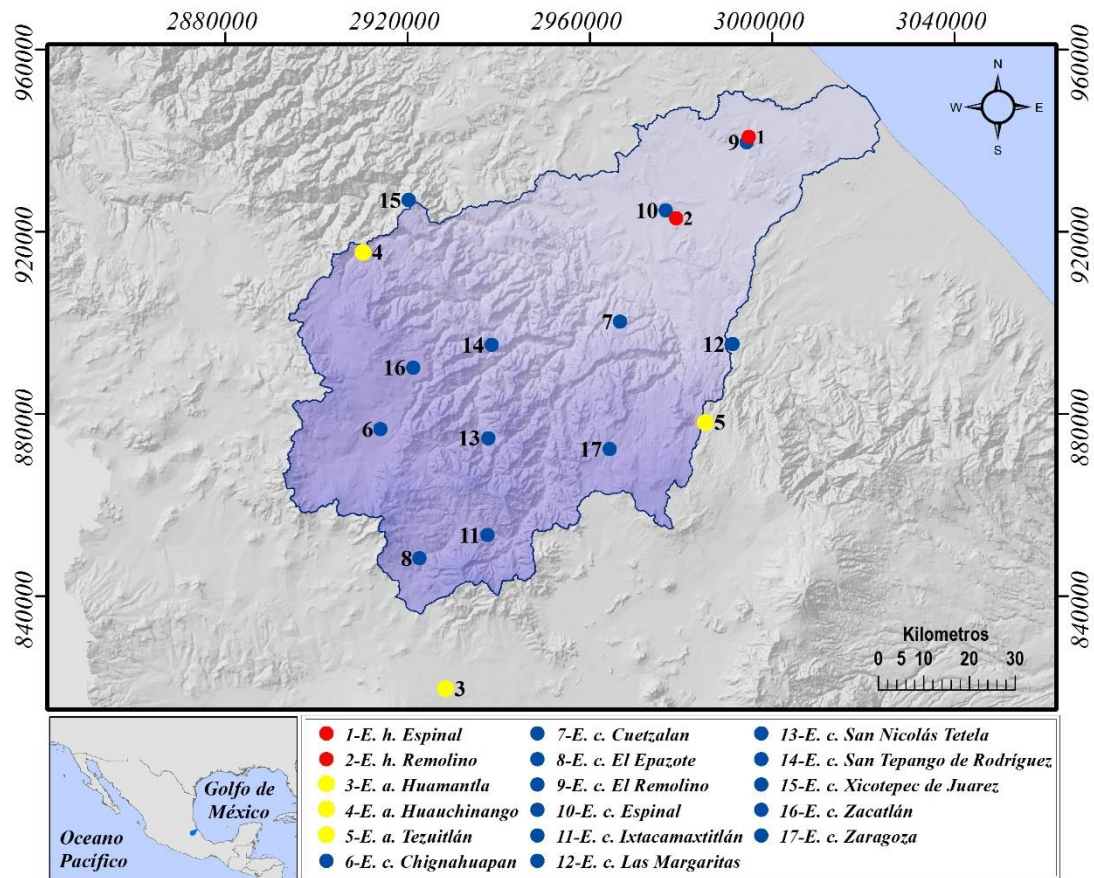


Figura 13. Ubicación de las estaciones hidrométricas, automáticas y climatológicas.

4.3.3 Distribución de la precipitación-Polígonos de Thiessen

El método de polígonos de Thiessen, se aplica a zonas con una distribución irregular de las estaciones. Para la aplicación de este método, debe conocerse el área de influencia de cada pluviómetro, dicha área se considera dentro de un polígono comprendido dentro de la cuenca. Para establecer la lluvia en intervalos de una hora, se consideró que la

distribución de lluvia en las estaciones climatológicas, es igual a la distribución de la lluvia de las estaciones automáticas. El cálculo se inicia ubicando en los mapas las estaciones climatológicas y automáticas dentro de la cuenca y en áreas circunvecinas. Las estaciones son unidas con trazos rectos formando triángulos, los lados deben ser de la más mínima longitud posible, posteriormente se trazan las mediatrices de todos los lados, con lo que se formarán polígonos alrededor de cada estación (Figura 15). El área para cada polígono se relaciona con el área total, obteniendo una ponderación para cada estación. La precipitación resultante es la multiplicación de la ponderación de la EMA distribuida a cada hora por la precipitación diaria registrada en la estación climatológica. La distribución espacial de la lluvia se realizó por este método con el software Arc Gis 10.1, usando la herramienta Create Thiessen Polygons.

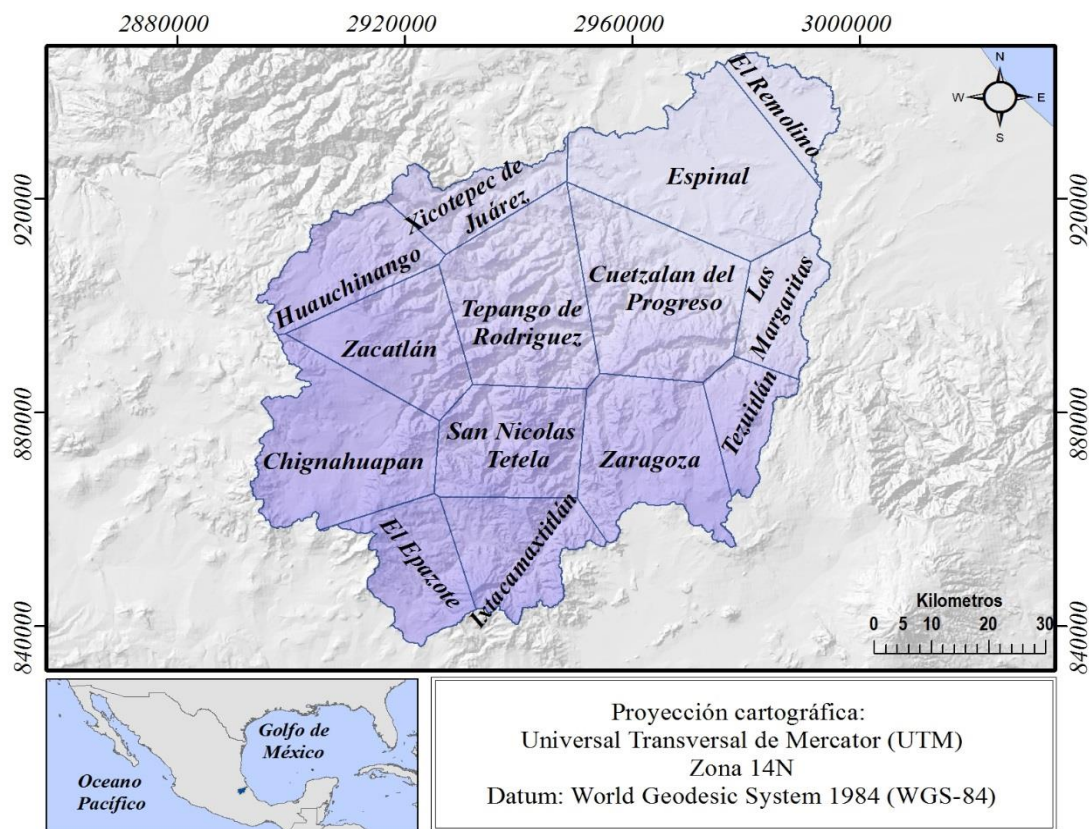


Figura 14. Polígonos de Thiessen para distribución de precipitación.

4.3.4 Fusión de imágenes de satélite

Las imágenes multispectrales, se fusionaron con las pancromáticas usando el software ArcMap 10.1 (ESRI, 2012), mediante la herramienta de geoprocesamiento Pan-sharpening, esta es una técnica de fusión a nivel pixel que describe un proceso de cambio de un conjunto de imágenes Multiespectrales de baja resolución espacial (10 m) a imágenes en color de alta resolución espacial (5 m), mediante la fusión con una imagen de resolución espacial fina en blanco y negro mejor conocida como pancromática (5 m), de la misma zona. Se realizó una composición RGB, por lo que dicha composición se aplicó únicamente a tres bandas, que después de varias combinaciones, la mejor se obtuvo con las bandas 2,3, 4.

La técnica de remuestreo usada fue el método de convolución cúbica, la cual que considera los 16 pixeles más cercanos al nuevo pixel en la imagen original (Arenas *et al.*, 2011). La imagen final obtenida fué una imagen multispectral con resolución de 5 metros, manteniendo los datos espectrales originales de longitud de onda media y ancho de banda efectivo (Figura 15).

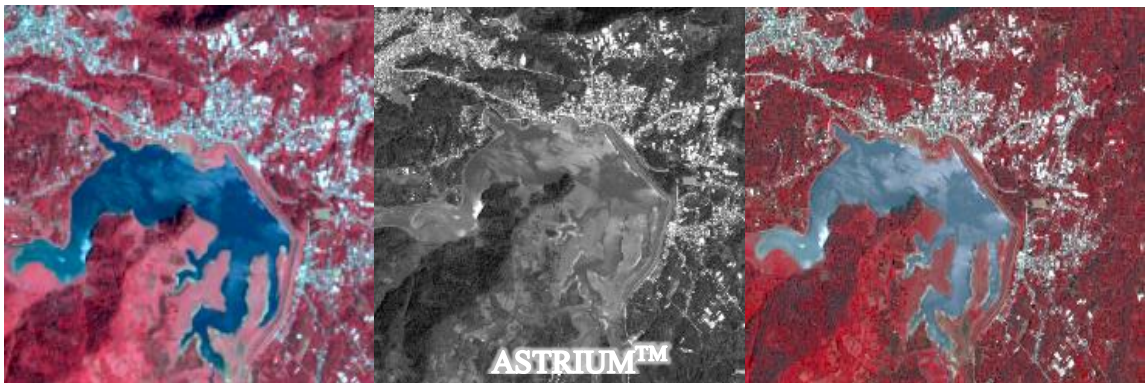


Figura 15. Fusión de imágenes de satélite: Multiespectral (10m) + Pancromática (5m) = Multiespectral (5m).

4.3.5 Mosaico de imágenes de satélite

El mosaico de imágenes se realizó usando 8 imágenes adyacentes, por medio de complejos algoritmos informáticos que hacen coincidir exactamente los bordes de las escenas y equilibran los colores para crear una base de datos sin fisuras de la zona extensa.

El método utilizado al superponer las áreas de las diferentes imágenes, fue la media, donde el valor de la celda de salida, es el valor promedio de las celdas originales, el mapa de colores de mosaico usado se determinó de acuerdo a un método equilibrado en el cual se utilizan todos los valores de color posibles, haciendo coincidir el valor con el color más cercano que está disponible. Después de obtener el mosaico de las imágenes, se realizó un recorte del área específica a trabajar por medio de las herramientas de análisis del software ArcGIS y la función de extracción denominada clip.

4.3.6 Clasificación supervisada de imágenes de satélite

Con la interpretación de imágenes SPOT 5, de los años 2005 y 2014, (ERMEX NG & CP, 2015), se pudo obtener el estado o uso de suelo de la cuenca por medio de la cobertura vegetal en una clasificación supervisada. El procesamiento digital de imágenes se llevó a cabo con la extensión Image Analysis del paquete ArcMap 10.1 obteniendo una clasificación supervisada usando como mascara el borde de cuenca y la imagen en composición falso color. El área analizada para cambio de uso de suelo fue establecida de acuerdo a la herramienta HEC_GeoHMS, dicha área ocupa una extensión total de 7136.98 Km², se analizó el cambio de uso de suelo de la última década, en el periodo específico de los años 2005-2014, con un intermedio que corresponde al año 2009.

Por medio de ArcMap 10.1 y sus herramientas se realizó una preclasificación, donde se identificaron en las imágenes muestras representativas homogéneas de los diferentes tipos de usos de suelo, las cuales se denominan áreas de entrenamiento.

ArcMap, utiliza un algoritmo para determinar firmas para cada clase, cada pixel de la imagen es comparado con dichas firmas y etiquetado como perteneciente a la clase con la que más se le parece digitalmente. Posteriormente, se realizó el reconocimiento del área a través de un recorrido de campo, ubicando geográficamente sitios específicos donde se identificaron los principales usos de suelo y vegetación existentes, los puntos de control establecidos, se consideraron los sitios más conflictivos dentro del área; posteriormente se determinó la clase espectral que las representan. Se establecieron 21 sitios de muestreo en un área de aproximadamente 300 km², la región seleccionada poseía 9 de los 10 usos de suelo considerados en la preclasificación.

En la preclasificación, se establecieron 400 puntos para entrenar el algoritmo, se muestrearon 21 puntos de acuerdo a los usos de suelo presentes clasificados a nivel tipo para evaluar la clasificación realizada.

La precisión de una clasificación se obtiene calculando el número total de tipos de cubierta entre el total de ejemplos de prueba (Arango Gutiérrez, Branch Bedoya, & Botero Fernández, 2005).

4.3.7 Mapa de transición

En los sistemas de información geográfica, se han incorporado funciones de análisis destinadas a la modelización. El mapa de cambio de uso de suelo se realizó con la función

CA-MARKOV, incluida en el SIG IDRISI. Esta función permite integrar la modelización temporal basándose en una serie cronológica de usos del suelo y la lógica basada en la evaluación multicriterio y multiobjetivo.

Las áreas de cambio en los periodos 2005-2014, 2005-2009, se identificaron mediante sobre-posición digital de los mapas clasificados en 2005 y 2014, esto se realizó usando la modelación markoviana, la cual utiliza dos mapas, con una diferencia de años, y el mismo número de categorías, complementa el análisis multitemporal con el análisis multivariable para obtener una modelización más ajustada a la dinámica real de los paisajes. Usando el algoritmo de automatismo celular, se estableció la probabilidad de que un pixel perteneciera a una categoría por vecindad.

Después de obtener los mapas de probabilidad, se aplicó el módulo de proyección estocástica STCHOICE, que evalúa para cada pixel, la probabilidad de pertenecer a una u otra categoría, configurando un mapa único. Para facilitar la elección de las variables significativas para cada categoría de uso de suelo, se precisaron las restricciones, que corresponden a mapas binarios (0/1) o booleanos, donde la zona no útil, es decir el fondo de la imagen poseen el valor de cero, las restricciones tomadas para crear el mapa de transición fueron, cuerpos de agua, carreteras, localidades y el mapa de pendientes de la cuenca. Finalmente, se aplicó el modulo CA-MARKOV, el cual consiste en la aplicación de un algoritmo de automatismo celular, con filtro medio booleano 5*5, que mide la contigüidad local.

El resultado se multiplicó por los mapas obtenidos en la fase de evaluación multicriterio, incrementando la probabilidad de pertenecer a una categoría por vecindad. Los

requerimientos necesarios para la aplicación de cadenas de Markov son, la matriz de áreas de transición, y los mapas de aptitud para cada uso de suelo, y se indica el número de interacciones. El resultado final fue la modelización para el año 2009. La Figura 16 presenta de manera general la metodología seguida para la elaboración del mapa de transición.

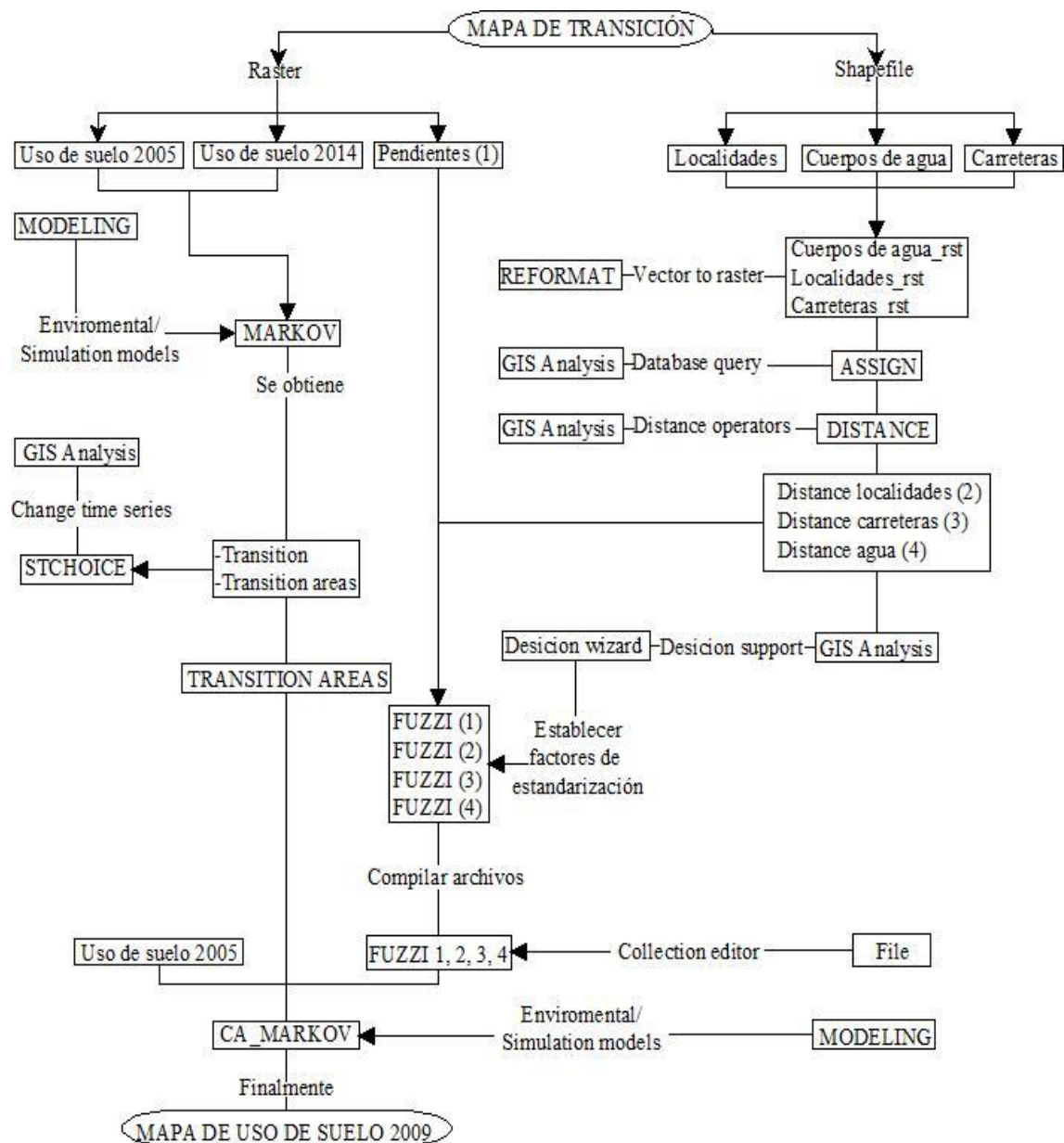


Figura 16. Metodología general para cambio de uso de suelo.

4.3.8 Número de curva

Los modelos cartográficos, se utilizan para la determinación de parámetros hidrológicos tales como el número de curva (CN), aplicando álgebra de mapas y reclasificaciones digitales de los mapas de cobertura vegetal y grupos hidrológicos de suelos, modelos de elevación digital y mapas derivados de pendientes y aspectos. Usando las características texturales de los suelos clasificados por el Servicio de Conservación de Suelos (Cuadro 9). Se obtuvieron los grupos hidrológicos de suelos de la cuenca.

Cuadro 9. Características de los suelos clasificados por el SCS.

Grupo de suelos	Descripción de las características del suelo
A	Suelo con bajo potencial de escurrimiento, incluye arenas profundas con muy poco limo y arcilla; también suelo permeable con grava en el perfil. Infiltración básica 8-12 mm/h
B	Suelos con moderadamente bajo potencial de escurrimiento. Son suelos arenosos menos profundos y más agregados que el grupo A. este grupo tiene una infiltración mayor que el promedio cuando húmedo. Suelos migajones, arenosos ligeros y migajones limosos. Infiltración básica 1-4 mm/h
C	Suelos con moderadamente alto potencial de escurrimiento. Comprende suelos someros y suelos con considerable contenido de arcilla, pero menos que en el grupo D. este grupo tiene una infiltración menor que la promedio después de saturación. Suelos migajones arcillosos. Infiltración básica 1-4 mm/h
D	Suelos con alto potencial de escurrimiento. Suelos pesados con alto contenido de arcillas expandibles y suelos someros con materiales fuertemente cementados. Infiltración básica menos a 1 mm/h

Fuente: McCuen, (2005).

La condición hidrológica, es un indicador de la cubierta vegetal y su variación depende de la densidad de cobertura, se agrupan en tres grupos que se describen en el Cuadro 10.

Cuadro 10. Características de la condición hidrológica.

Condición hidrológica	Cobertura
Buena	>75%
Regular	50%-75%
Mala	<50%

Fuente: McCuen, (2005).

Los números de curva para las diferentes condiciones hidrológicas y tipos de suelo, toman en cuenta las prácticas de cultivo y tratamiento del suelo, estos números se obtienen del Cuadro 11

Cuadro 11. Curva numérica bajo diferentes usos de suelo, cobertura y manejo, clasificación de acuerdo al Servicio de conservación de suelos (SCS).

Uso del suelo	Tratamiento o práctica	Condición hidrológica	Grupo Hidrológico del Suelo			
			A	B	C	D
Barbecho	Surcos rectos		77	86	91	94
	Labranza de conservación	Pobre	76	85	90	93
	Labranza de conservación	Buena	74	83	88	90
	Surcos continuos	Pobre	72	81	88	91
	Surcos continuos	Buena	67	78	85	89
Cultivos en línea	Labranza de conservación	Pobre	71	80	87	90
	Labranza de conservación	Buena	64	75	82	85
	Contorneado	Pobre	70	79	84	88
	Contorneado	Buena	65	75	82	86
	Contorneado y terrazas	Pobre	66	74	80	82
	Contorneado y terrazas	Buena	62	71	78	81
	Surcos rectos	Pobre	66	77	85	89
	Surcos rectos	Buena	58	72	81	85
	Contorneo	Pobre	64	75	83	85
	Contorneo	Buena	55	69	78	83
Leguminosas praderas con rotación de cultivos	Contorneado y terrazas	Pobre	66	73	80	83
	Contorneado y terrazas	Buena	51	67	76	80
	Tratamiento no mecanizado	Pobre	68	79	86	89
	Tratamiento no mecanizado	Buena	49	69	79	84
	Tratamiento no mecanizado	Pobre	39	61	74	80
	Contorneado	Buena	47	67	81	88
Tierra agrícola no cultivada	Contorneado	Pobre	25	59	75	83
	Contorneado	Buena	6	35	70	79
		-	30	58	71	78
			77	86	91	94
Pradera permanente		Pobre	48	67	77	83
Áreas Urbanas		Buena	20	48	65	73
Matorral		Pobre	45	66	77	83
		Media	36	60	73	79
		Buena	25	55	70	77
Bosque			92	92	92	92
Cuerpos de agua			92	92	92	92

Fuente: McCuen, (2005).

La determinación de número de curva, se llevó a cabo de forma distribuida utilizando una tabla de clasificación.

El cruzamiento de los mapas se llevó a cabo dentro del SIG, se usó el mapa obtenido de la clasificación supervisada de los años 2005, 2014, y el mapa de transición 2009 descritos anteriormente y el mapa de suelos fue descargado del portal del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, (INEGI, 2014_b). Cada uno de los tres mapas clasificados, fueron considerados como de cobertura de vegetación para cada año, todos fueron contrastados en el terreno y usados como uso de suelo para el cálculo de CN. El proceso se aplicó como se muestra en la Figura 17:

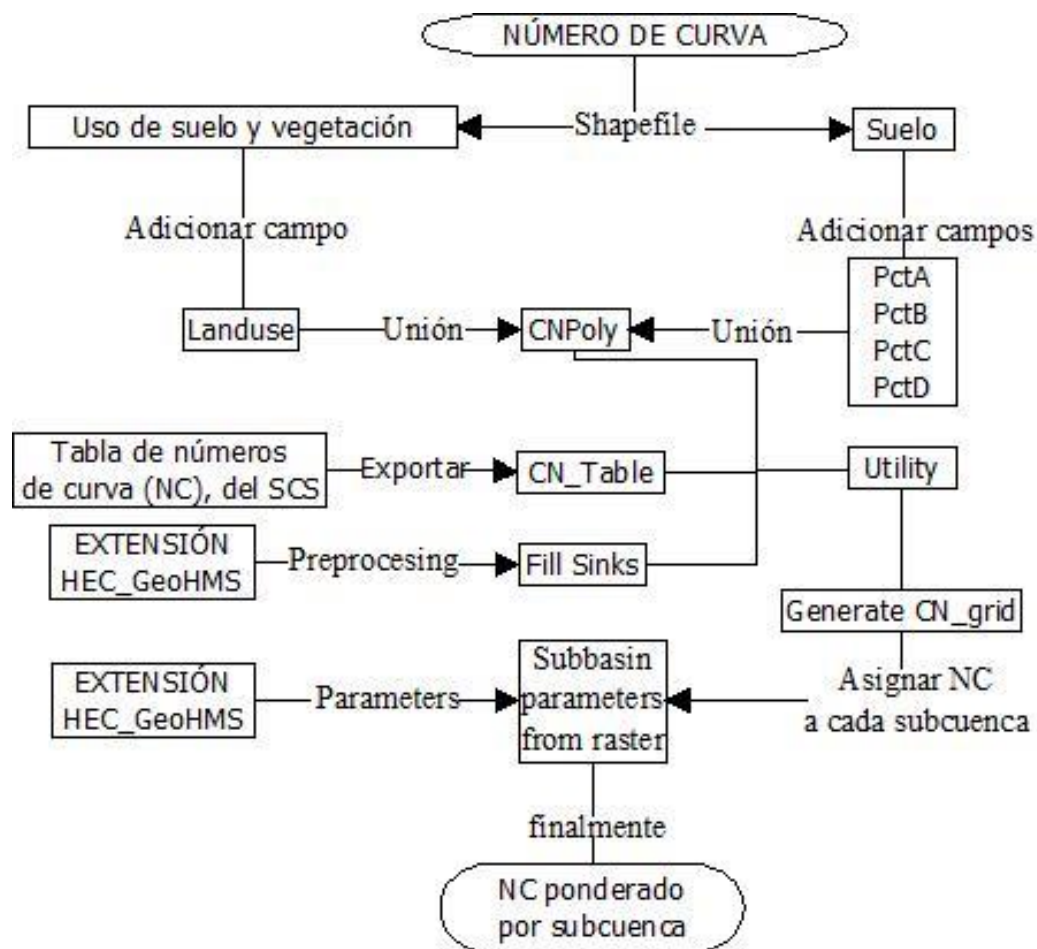


Figura 17. Metodología para estimación de número de curva.

El método usado es el que viene implementado en HEC-GeoHMS, en el menú “Utility”, está basado en las tablas originales del SCS, calculando Número Curva como función de la combinación del uso y tipo de suelo, sin que la pendiente tenga que ser determinada.

4.3.9 Tiempo de retraso

Es el tiempo que transcurre entre el centro de duración efectiva de la lluvia y el tiempo en el que se alcanza el gasto pico, el parámetro se calculó de acuerdo a la fórmula de CN Lag method, el cual se basa en el método del número de curva, el método fue desarrollado para aplicación en cuencas de menos de 2000 hectáreas. Para el cálculo se aplicó la ecuación:

$$\text{lag} = \frac{(L^{0.8} * (S + 1)^{0.7}}{(1900 * Y^{0.5})} \quad (8)$$

Dónde:

Lag= Tiempo de retraso (horas)

L= Longitud hidráulica de la subcuenca (pies)

Y= Pendiente de la subcuenca (%)

$S = \frac{1000}{CN}$ la formula se aplica cuando los valores de CN se oscilan entre 50 y 95.

4.3.10 Tiempo de concentración

Es el tiempo para el cual, la cuenca comienza a contribuir, específicamente, equivale al tiempo que tarda el agua en pasar del punto más alejado hasta la salida de la cuenca. (Aparicio, 2013). Depende de la longitud máxima que debe recorrer el agua hasta la salida de la cuenca y de la velocidad que adquiere, en promedio, dentro de la misma. La

velocidad está en función de las pendientes del terreno y los cauces, y de la rugosidad de la superficie de los mismos. El tiempo de concentración se calculó con la fórmula de Kirpish:

$$t_c = 0.000325 \frac{L^{0.77}}{S^{0.385}} \quad (9)$$

Dónde:

t_c = Tiempo de concentración (horas)

S = Pendiente del cauce (%)

L = Longitud total del cauce (metros)

4.3.11 Parámetros K , x .

Son calculados para el tránsito de avenidas en cauces naturales por el método de Muskingum; siendo K una constante llamada parámetro de almacenamiento y x un factor de peso que expresa la influencia relativa de las entradas y salidas del almacenamiento en el tramo de cauce (Aparicio, 2013). El parámetro K tiene unidades de tiempo y su valor es aproximadamente igual al tiempo de viaje del pico de la avenida a lo largo del tramo. Se calculó con la siguiente ecuación:

$$K = \frac{L}{w} \quad (10)$$

Donde:

L = longitud del tramo

w = velocidad promedio del pico de la avenida; es un parámetro que puede estimarse tomando en cuenta la velocidad media del agua v .

$$w \approx 1.5v \quad (11)$$

El parámetro x varía entre 0.0 y 0.5, x se aproxima a 0.0 en cauces muy caudalosos y con una pendiente pequeña, y equivale a 0.5 cuando la pendiente es grande; cuando no existen datos suficientes es recomendable tomar el valor medio (Aparicio, 2013).

4.3.12 Corrida de simulación

De acuerdo al manual del software HEC-HMS establecida por USACE 2013_b, y después de obtener los parámetros, se creó la primera simulación en el software HEC-HMS (USACE, 2014_b) desde el menú `compute→create compute→simulation run`, el proceso fue guiado desde un cuadro de dialogo. Se introdujo un nombre, un modelo de cuenca, que fue delimitado y exportado con el programa ArcMap con la extensión HEC_GeoHMS.

El modelo meteorológico incluido fue de acuerdo a hietogramas que corresponden a 12 estaciones climatológicas y 3 estaciones automáticas, ubicadas dentro de la cuenca y a 5 km. fuera de ella. Se incluyeron también los datos de la curva elevaciones-capacidades de las 5 presas de almacenamiento ubicadas dentro de la cuenca, estos datos fueron proporcionados por la Comisión Federal de Electricidad (CFE, 2015) (Anexo 6, 7, 8, 9).

Las especificaciones de control se establecieron en un periodo simulado que corresponde para el primer evento, del 20 de septiembre de 2009 a las 08:00 am. al 06 de octubre de 2009 a las 16:00 y para el segundo evento del 12 de octubre a las 08:00 am al 22 de octubre de 2009 a las 16:00 pm.

Los resultados de la simulación se observaron desde el menú `results→-global summary table`.

4.3.13 Calibración del modelo

La calibración es la estimación y ajuste de los parámetros del modelo y de las constantes para mejorar la concordancia entre la salida del modelo y un conjunto de datos. La calibración de las variables es parte esencial del proceso de modelización.

La calibración con caudales reales y una optimización de parámetros se hace necesario debido a que se debe de buscar el mayor ajuste entre el hidrograma estimado y observado. Calibrar un modelo significa, lograr un ajuste satisfactorio entre los escurrimientos observados y calculados, cambiando los valores de los parámetros de mayor influencia, aun de aquellos que se consideran conocidos (Mena, 2012). Las funciones objetivo son expresiones matemáticas y expresan la medida de la diferencia entre los valores observados y simulados. En la fase de calibración, son usados para medir el rendimiento del modelo (IRENAT, 2012).

Para obtener una calibración óptima, se realizaron pruebas de optimización, con datos de caudales medidos en la estación hidrométrica El Espinal, dichas pruebas se establecieron desde el menú `compute`→`create compute`→`optimization trial`. En el explorador de cuenca se seleccionó la opción `Add parameter`, eligiendo el elemento, el parámetro y el valor inicial, mínimo y máximo. Se ejecutó la corrida de optimización, y en el registro de mensajes se observaron las interacciones realizadas y la variación en la función objetivo. En la pestaña `results` se mostró la lista de resultados disponibles, dentro de los que se encuentran los parámetros optimizados.

Para ver la bondad de ajuste entre los dos hidrogramas, se usó el Índice de eficiencia de Nash & Suttcliffe (Nash & Suttcliffe, 1970), este índice representa el grado de semejanza

entre los hidrogramas simulado y observado, respectivamente. En el coeficiente de eficiencia NSE, un valor igual a 1 indica un ajuste perfecto, un valor igual a 0 indica que el modelo ajusta los valores reales tanto como la media aritmética, valores menores a 0 indican que el modelo es malo. Se calcula con la ecuación.

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{t=1}^n (Q_t^{obs} - Q_t^{sim})^2}{\sum_{t=1}^n (Q_t^{obs} - \bar{Q}_t^{sim})^2} \quad (12)$$

En esta ecuación, Q^{sim} y Q^{obs} representan los caudales simulados y observados en el tiempo t , y n es el número de observaciones en el periodo considerado. (Vargas-Castañeda *et al.* 2015). Moriasi, et al., 2007, para modelos hidrológicos a nivel mensual, considera la clasificación del cuadro 12. Por lo que considerando que los modelos con escalas de tiempo horarias son más difíciles de predecir, pues esta clasificación de Moriasi es aplicada de manera menos restrictiva para los modelos hidrológicos a niveles sub-horarios.

Cuadro 12. Evaluación de modelos hidrológicos a escala mensual.

NSE < 0.5	Modelo insatisfactorio
0.5 < NSE < 0.65	Modelo satisfactorio
0.65 < NSE < 0.75	Modelo bueno
0.75 < NSE < 1.0	Modelo muy bueno
NSE= Índice de eficiencia de Nash & Suttcliffe	

4.3.14 Validación del modelo

La validación del modelo consiste en medir su capacidad predictiva mediante la comparación de los escurrimientos calculados y los observados con los parámetros que de

acuerdo con la calibración son determinados, tomando un periodo de tiempo diferente al de la calibración. Es común que el ajuste entre los escurrimientos observados y calculados en el proceso de la validación sea menos satisfactorio que el obtenido en la calibración, pero representan mayormente, la exactitud de las predicciones que se hagan posteriormente con el modelo (IRENAT, 2012). En esta investigación se estableció que la prueba de validación se realizaría dependiendo de la mejor prueba de calibración para el primer evento. Sin embargo, debido a la escasez de datos de las estaciones automáticas, no se encontró otro evento de lluvia que tuviera las mismas condiciones, es decir había escasez de parámetros que reemplazaran el periodo de precipitación. Por lo tanto, se optó por modelar dos eventos diferentes y realizar la calibración de los mismos de acuerdo a los registros de datos existentes.

4.3.15 Análisis estadístico

Después de realizar la corrida de simulación y las calibraciones respectivas, se realizó un análisis estadístico basado en la comparación de medias de los escurrimientos resultantes para el año 2005 y 2014 tomando en cuenta dos posibles pruebas, de las cuales solo se eligió una de acuerdo a la prueba de normalidad aplicada a los datos de escurrimientos, el análisis se realizó para determinar si entre los datos, las diferencias son estadísticamente significativas o si sólo son diferencias aleatorias.

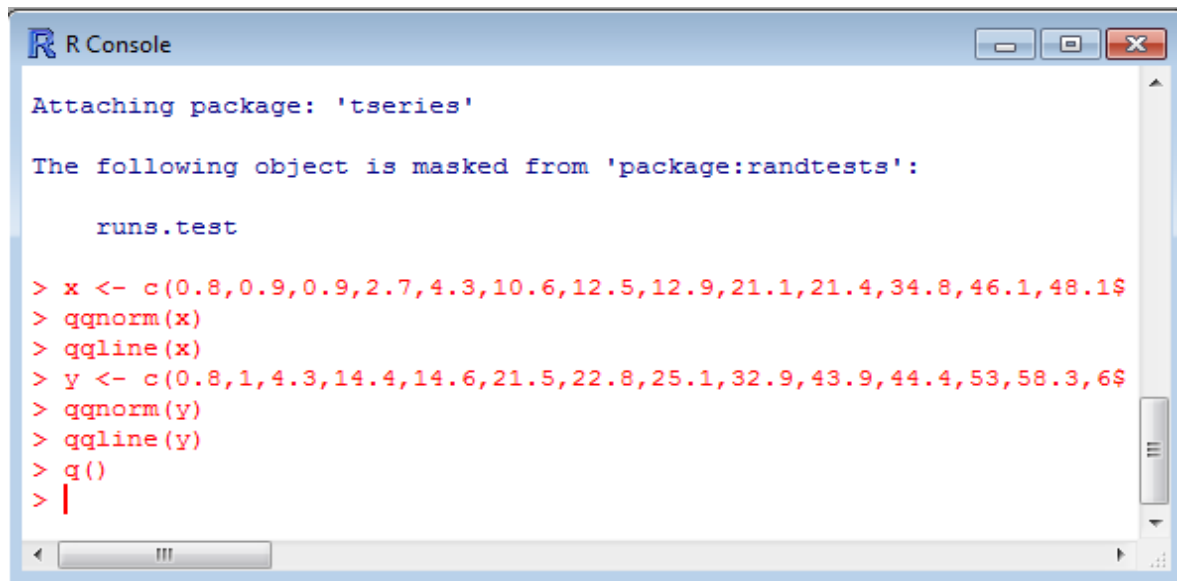
Para conocer el efecto del cambio de uso de suelo sobre los escurrimientos, se consideró el evento que corresponde al periodo del 20 de septiembre al 06 de octubre de 2009 debido a que la serie de datos de precipitación en las estaciones automáticas y convencionales estaba completa.

Las pruebas consideradas fueron:

Distribución T de student: Aplicada para datos dependientes, la prueba sería aplicable si la distribución de los escurrimientos fuera normal, esta prueba estadística exige la dependencia entre ambas muestras, en las que existe un antes y un después, las primeras observaciones servirán de control para conocer los cambios suscitados después de aplicar una variable experimental.

Distribución Wilcoxon: Aplicada para datos dependientes, la prueba sería aplicable si la distribución de los escurrimientos fuera anormal.

La prueba de normalidad fue realizada de acuerdo al software libre R versión 3.2.2, en el cual fueron introducidos los datos de los escurrimientos por año y se aplicó el comando representado en la Figura 18.



```
R Console

Attaching package: 'tseries'

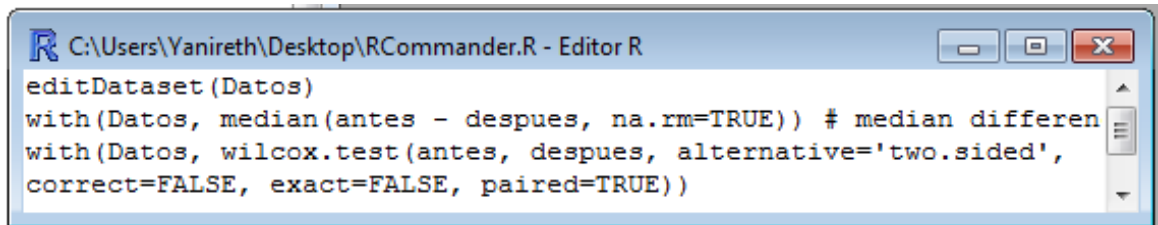
The following object is masked from 'package:randtests':

    runs.test

> x <- c(0.8,0.9,0.9,2.7,4.3,10.6,12.5,12.9,21.1,21.4,34.8,46.1,48.1$
> qqnorm(x)
> qqline(x)
> y <- c(0.8,1,4.3,14.4,14.6,21.5,22.8,25.1,32.9,43.9,44.4,53,58.3,6$
> qqnorm(y)
> qqline(y)
> q()
> |
```

Figura 18. Prueba de normalidad realizada a los escurrimientos 2005-2014.

Con la prueba de normalidad realizada, se determinó que la prueba aplicable para este caso fue la de Wilcoxon, la cual también fue aplicada por medio del programa R, usando el comando de la Figura 19:

The image shows a screenshot of an R Commander editor window. The title bar reads "C:\Users\Yanireth\Desktop\RCommander.R - Editor R". The code editor contains the following R commands:

```
editDataset(Datos)
with(Datos, median(antes - despues, na.rm=TRUE)) # median differen
with(Datos, wilcox.test(antes, despues, alternative='two.sided',
correct=FALSE, exact=FALSE, paired=TRUE))
```

Figura 19. Prueba Wilcoxon para datos dependientes aplicada a los escurrimientos 2005-2014.

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1 Cambio de uso de suelo 2005-2009-2014

5.1.1 Recorrido de campo

En el recorrido de campo, se encontraron diferentes usos de suelo y vegetación, los cuales se describen de la siguiente manera:

- Vegetación alterada

La vegetación de la mayor parte de la cuenca, actualmente se encuentra alterada, los sitios se componen de tres estratos visibles, en la parte baja se encuentran cultivos anuales, generalmente maíz o café, en la parte media, la vegetación se compone por árboles pequeños, arbustos y herbáceas mezclados con plantaciones de café, en la parte superior se encuentran relictos arbóreos, generalmente pino y encino con un diámetro de 30 a 80 centímetros asociados con vegetación secundaria de porte pequeño (Figura 20).

El suelo presenta afloraciones rocosas, y está cubierto de hojarasca en descomposición inicial y en estado sáprico después de los 5 centímetros de profundidad. Es visible la erosión laminar ya que la mayor parte de los sitios con esta composición de vegetación se encuentran en pendientes pronunciadas, además de que las lluvias estacionales son considerables.



Figura 20. Uso de suelo y vegetación, zona oriente de la presa Nexapa.

- Bosque mesófilo de montaña

Arboles de porte alto y vegetación arbustiva predominante, algunos sitios presentan combinaciones de árboles y cultivos de café, esta asociación se debe a que los arboles de porte grande proporcionan sombra a los cultivos de café (Figura 21).

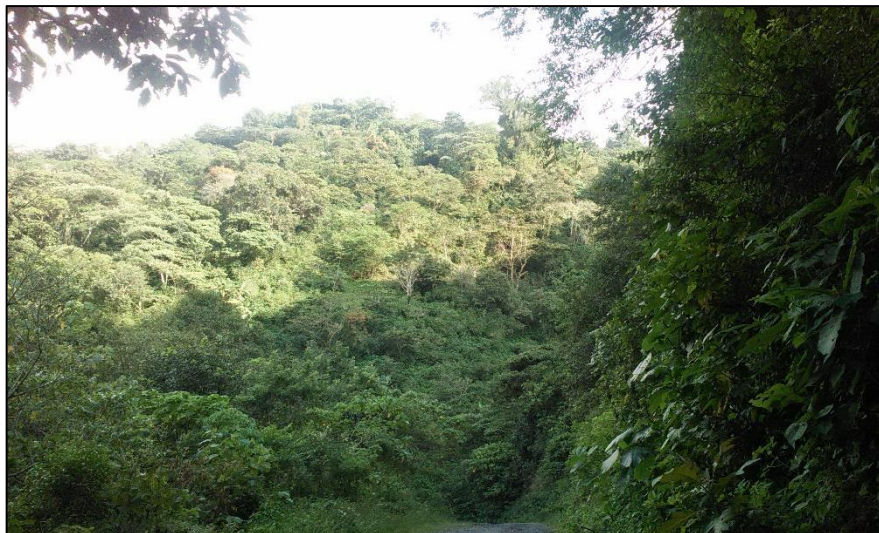


Figura 21. Bosque mesófilo de montaña conservado.

La mayor parte de los suelos son rocosos y con una densidad de raíces medias y finas abundantes, la materia orgánica es considerable. Las pendientes son moderadas o muy inclinadas; en los sitios donde el bosque mesófilo se encuentra alterado, los suelos son de color amarillo debido a la intemperización de la roca. La cobertura arbórea va del 50 al 90%.

- Cultivos de ornamentales

En la cuenca se ubicaron cultivos de ornamentales, principalmente cedro y cedro limón de porte pequeño, con una altura que va de 1.50 a 1.70 metros y densidad de 4 a 6 árboles por metro cuadrado (Figura 22). Parcelas con manejo intensivo, suelos profundos y pedregosos en la superficie, la mayoría de los sitios se encuentran intemperizados, se aprecia una textura franco-arcillosa. Las pendientes donde se establecen dichos cultivos son generalmente pronunciadas.



Figura 22. Cedro cultivado en la localidad de Jaltepec, Puebla.

- Agricultura

Los sitios cultivados presentan especies de maíz y frijol intercalados con herbáceas, principalmente malezas, con una densidad de seis plantas por metro cuadrado (Figura 23), las herbáceas cubren aproximadamente el 90% del suelo, el cual presenta pedregosidad superficial en un 40%, se aprecian detritos indicativos de alto intemperismo, son suelos medianamente profundos y con erosión aparente, debido a que son suelos sobreelaborados, se deduce una mediana productividad.



Figura 23. Cultivo de maíz y frijol en la parte suroeste de la cuenca.

- Cuerpos de agua

En el área de estudio, se encuentran visiblemente corrientes de agua, las cuales fungen como tributarios del cauce principal del Río Tecolutla, diversos manantiales, surgen desde las partes más elevadas de las montañas, y siguen su cauce aguas abajo, la mayoría de estas corrientes pasan a orillas de las localidades, siendo así una fuente importante de aprovechamiento (Figura 24).

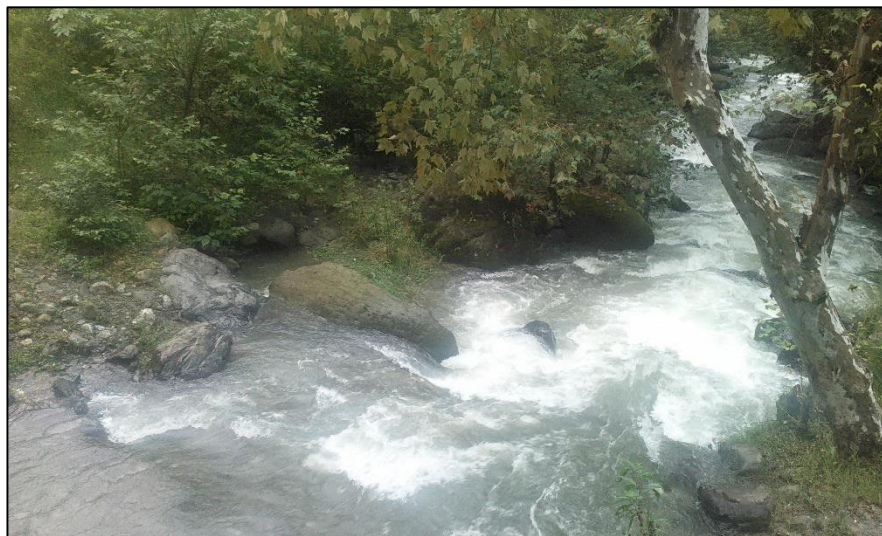


Figura 24. Corriente tributaria del Río Tecolutla.

En el recorrido fueron visitadas cuatro de las cinco presas existentes en la cuenca, las cuales pertenecen al Sistema Hidroeléctrico Necaxa y son denominadas, presa El Tejocote, Necaxa, Nexapa y Tenango. Las dos últimas presentan una importante invasión de lirio acuático, característico de los sistemas contaminados.

- Zona de transición

Esta zona se ubica en la parte serrana limítrofe con la zona templada-fría. La vegetación está compuesta por tres estratos, las herbáceas cubren el 80% de la superficie, se observaron helechos característicos del bosque mesófilo de montaña, el estrato medio está compuesto por arbustos de mediana estatura con diámetros que van de 10 a 15 centímetros, en la parte superior se observan pinos, cuyas estaturas van de 5 a 10 metros, la cobertura vegetal se presenta en un 70%.

La transición se da en zonas con vegetación de bosque mesófilo de montaña y bosque de pino.

Los suelos son profundos con abundante materia orgánica en la superficie, conocida como colochal, este se encuentra en estado de descomposición moderado, la pendiente es muy inclinada. Las condiciones de los sitios con las mismas características indican que la condición de infiltración es buena.

5.1.2 Clasificación supervisada de imágenes de satélite

Los resultados de las clasificaciones muestran un significativo cambio temporal y espacial entre las fechas de análisis. Las clasificaciones resultantes para los años 2005, 2009 y 2014 se muestran en las (Figuras 25, 26, 27).

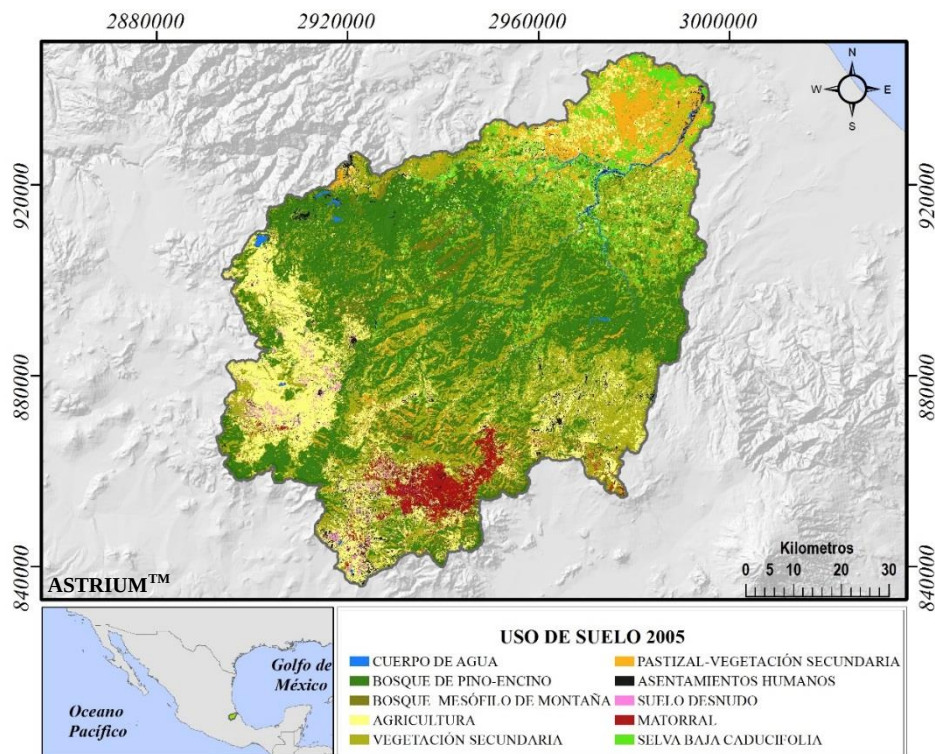


Figura 25. Mapa de uso de suelo 2005.

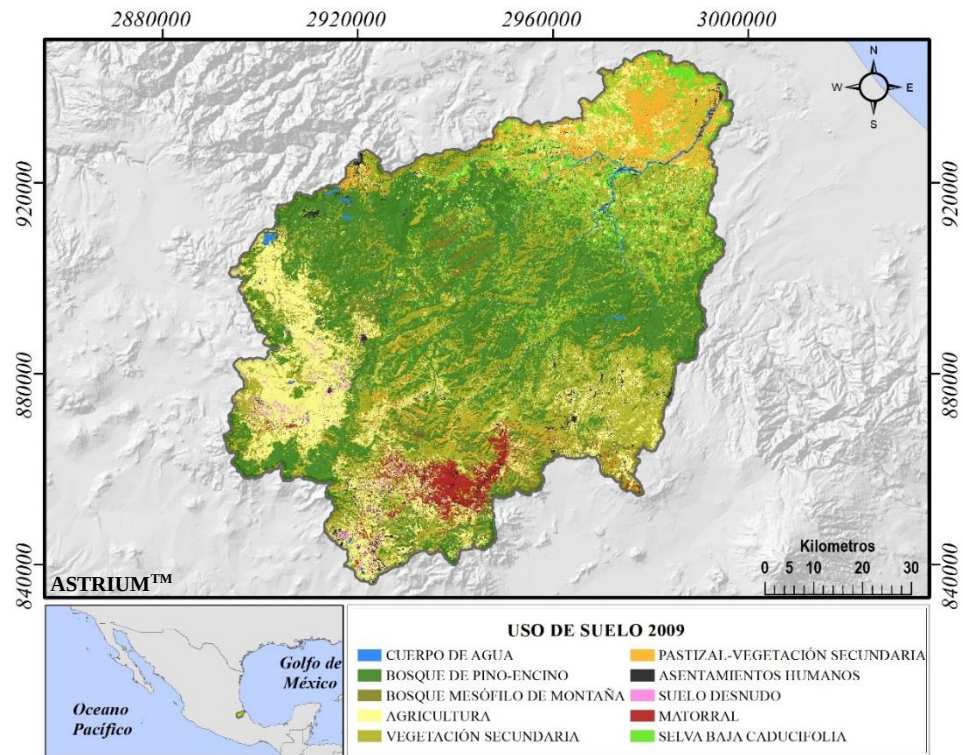


Figura 26. Mapa de uso de suelo 2009.

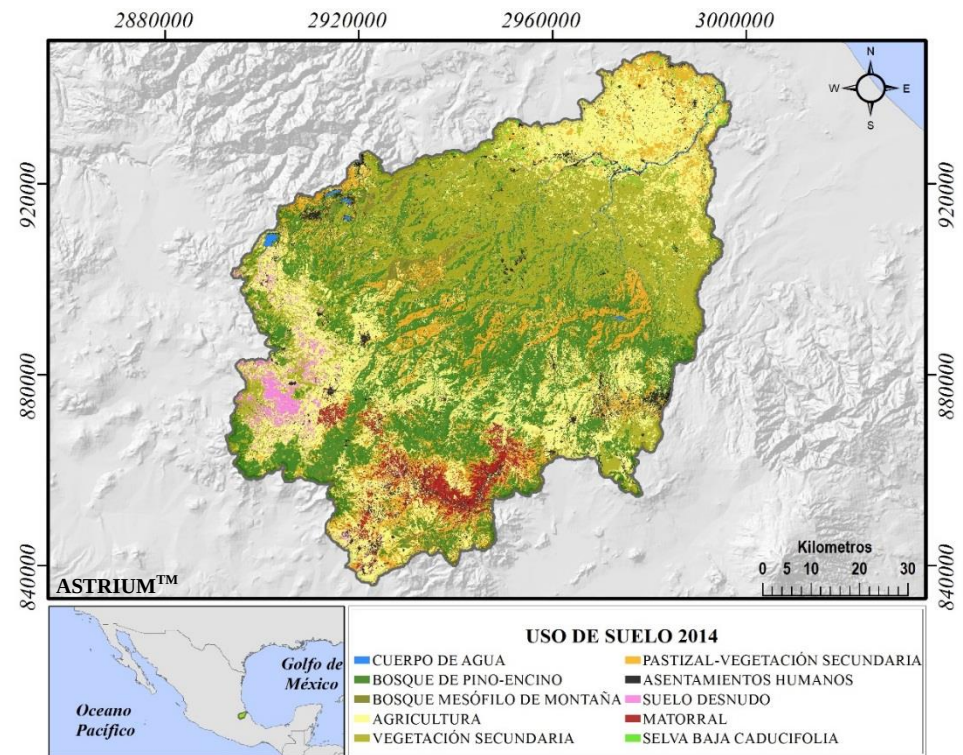


Figura 27. Mapa de uso de suelo 2014.

En la cuenca del Río Tecolutla, se identificaron diez diferentes usos, el bosque de pino - encino; así como el bosque mesófilo de montaña, se distribuyen en la parte más alta de la cuenca, esta zona forma parte de la Sierra Madre Oriental. La Agricultura se distribuye mayormente en los municipios de Chignahuapan, Zacatlán, Ixtacamaxtitlan y Aquixtla, en el estado de Puebla, Terrenate en el estado de Tlaxcala, así como en los municipios de Gutiérrez Zamora, y Papantla en el estado de Veracruz.

La vegetación secundaria se distribuye principalmente en zonas cercanas a los bosques de pino y encino. En zonas con poca pendiente se encuentra distribuido el pastizal, en la mayoría de los casos, estos sitios son alteraciones de la vegetación original, en la que solo quedan relictos y el suelo se encuentra cubierto por herbáceas, principalmente pastos.

La selva baja caducifolia, forma parte de la llanura costera del Golfo Norte. Existe también un área que corresponde a matorral, este uso de suelo se encuentra en el estado de Puebla, abarca una parte del Eje Neovolcánico.

Se encuentran áreas donde se percibe suelo desnudo y asentamientos humanos, aproximadamente se reconocen ocho localidades urbanas principales, en las que destacan, Xicotepec de Juárez, Zacatlán, Zaragoza, Huauchinango, Tezuitlán, Papantla y Gutiérrez Zamora. Los cuerpos de agua corresponden a la corriente principal y corrientes tributarias del río Tecolutla, además de que en el área de estudio existen cinco presas de almacenamiento ubicadas en los estados de Hidalgo y Puebla, dichas presas forman parte del Sistema Hidroeléctrico Necaxa.

En el Cuadro 13, se muestra la superficie ocupada por cada tipo de vegetación y uso del suelo para cada fecha de análisis. La mayor parte de la superficie de la cuenca para los

años 2005 y 2009, es ocupada por el bosque de pino, seguida por la vegetación secundaria y la agricultura, cada uno de estos usos del suelo ocupan más del 10% de la superficie total. Para el año 2014, la agricultura, ocupa la mayor extensión; la vegetación secundaria y el bosque de pino, tienen porcentajes de superficie similares, ambos usos, ocupan aproximadamente el 50% del área total de la cuenca.

La superficie que ocupan los usos de suelo para los años 2005 y 2009, son similares, esto indica que el cambio de uso no fue tan significativo para ese periodo, el cambio no es perceptible ya que el intervalo de tiempo transcurrido entre las dos fechas, es igual a cuatro años.

Cuadro 13. Extensión y porcentaje de uso de suelo para los años 2005, 2009 y 2014.

USO DE SUELO	AÑO					
	2005		2009		2014	
	Km ²	%	Km ²	%	Km ²	%
Cuerpo de agua	42.10	0.59	42.01	0.59	25.66	0.36
Bosque de pino-encino	2581.68	36.17	2576.21	36.10	1850.10	25.92
Bosque mesófilo de montaña	126.97	1.78	120.61	1.69	112.75	1.58
Agricultura	1262.73	17.69	1265.82	17.74	1875.93	26.28
Vegetación secundaria	1723.55	24.15	1754.32	24.58	1672.57	23.43
Pastizal/Vegetación secundaria	537.96	7.54	561.30	7.86	987.43	13.83
Asentamientos humanos	152.65	2.14	153.09	2.14	244.62	3.43
Suelo desnudo	57.71	0.81	56.99	0.80	129.17	1.81
Matorral	220.60	3.09	193.23	2.71	194.93	2.73
Selva baja caducifolia	431.04	6.04	413.41	5.79	44.56	0.62

Realizada la clasificación con las diez categorías anteriores, se analizaron los cambios de forma general que ha sufrido la cuenca del Río Tecolutla en el transcurso de nueve años.

En la Figura 28 se muestra la exención en kilómetros cuadrados de pérdidas y ganancias de las distintas coberturas vegetales de la cuenca.

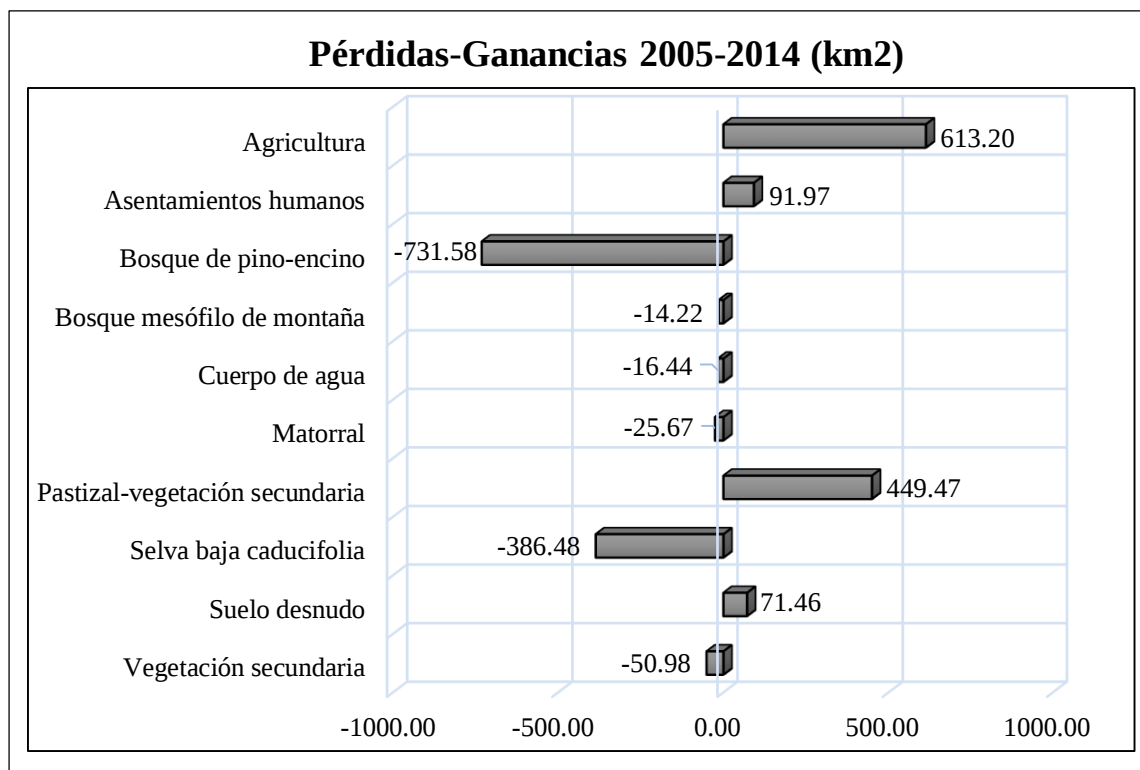


Figura 28. Gráfica de pérdidas y ganancias para el periodo 2005-2014.

Los cambios detectados en el periodo 2005-2014, fueron el aumento del uso de suelo clasificado como pastizal, el incremento para este periodo fue de aproximadamente 449.47 Km², además de la agricultura, la cual ganó 613.20 Km², el bosque de pino-encino, fue uno de los usos más afectados ya que en el intervalo de tiempo que corresponde a los años considerados, se perdieron más de 731.58 Km², la selva baja caducifolia, también fue afectada considerablemente, reduciendo su extensión en más de 386.48 Km², el bosque mesófilo de montaña redujo aproximadamente el 10% de su extensión. Debido a la modificación que con el paso de los años ha sufrido el área de estudio, existe un aumento de 72 Km² de suelo desnudo, así como una expansión de zonas urbanas de más de 92 Km².

5.1.3 Matriz de confusión

Después de elaborar las clasificaciones de uso de suelo y de verificar en campo 21 sitios y de acuerdo a los 400 puntos de entrenamiento establecidos, la relación entre los pixeles asignados correctamente corresponde al 85% en un área de 300 Km². En las columnas del Cuadro 14, se expresan los datos verificados en campo y las filas corresponden a los tipos de cubiertas definidos en la clasificación. La clase catalogada como agricultura, se confundió con el bosque mesófilo de montaña al momento de realizar la clasificación, esto fue ocasionado porque en las zonas, se cultivaban plantas de ornato, como el cedro y cedro limón, es por ello que las firmas espectrales en la clasificación llegaron a confundirse ocasionando el error.

Cuadro 14. Matriz de confusión.

Clases espectrales	Cuerpo de agua	Bosque de pino	Bosque Mesófilo de montaña	Agricultura	Vegetación secundaria	Pastizal	Asentamientos humanos	Suelo desnudo	matorral	Selva baja caducifolia	Total
Cuerpo de agua	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Bosque de pino	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Bosque Mesófilo de montaña	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	5
Agricultura	0	0	3	11	0	0	0	0	0	0	14
Vegetación secundaria	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1
Pastizal	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Asentamientos humanos	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Suelo desnudo	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
matorral	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Selva baja caducifolia	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total	0	1	8	11	1	0	0	0	0	0	21

5.2 Delimitación de la cuenca con HEC-GeoHMS

Del modelo de elevación digital nacional, se obtuvo el recorte de la cuenca del Río Tecolutla (Figura 29).

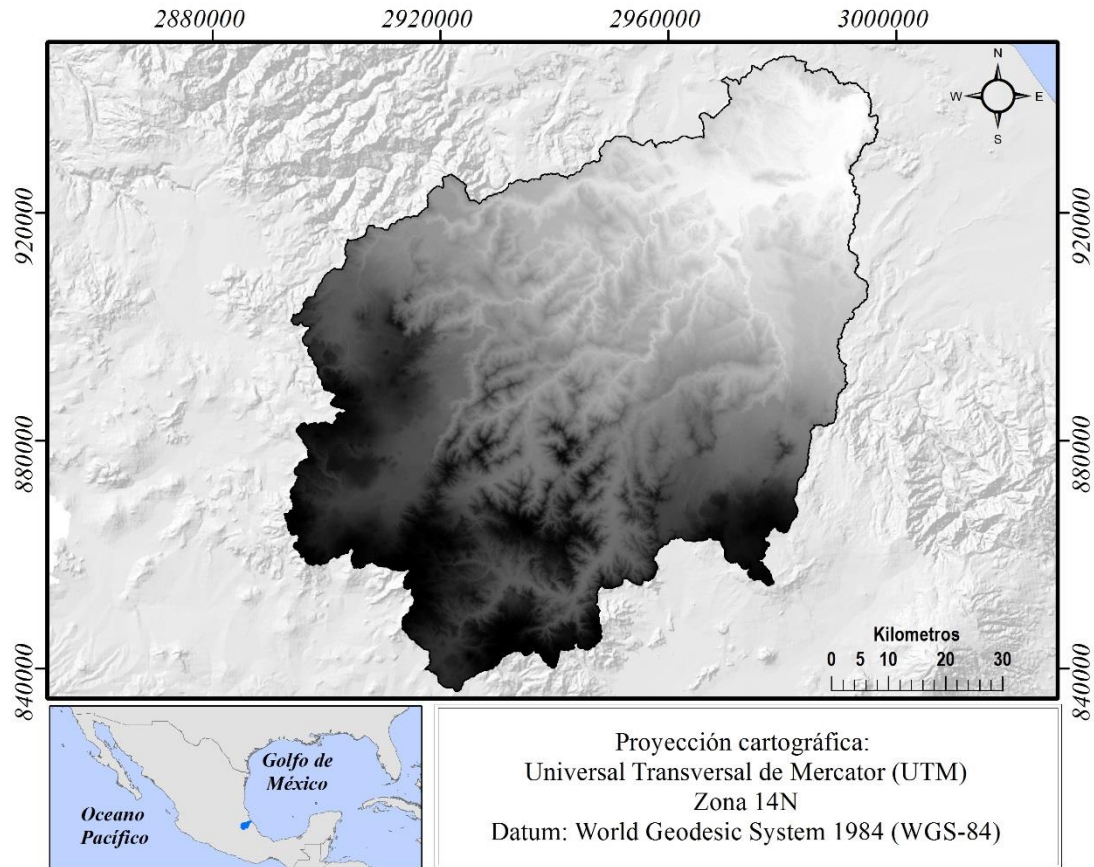


Figura 29. Modelo de elevación digital.

El recorte del modelo se obtuvo en formato raster, con un tamaño de pixel de 15 * 15 m. La delimitación de la cuenca se desarrolló tomando en cuenta el área generada desde la estación Remolino.

La dirección de flujo de agua en la superficie, parte de la célula central moviéndose en ocho direcciones: este, sureste, sur, suroeste, oeste, noroeste, norte y noreste (Figura 30).

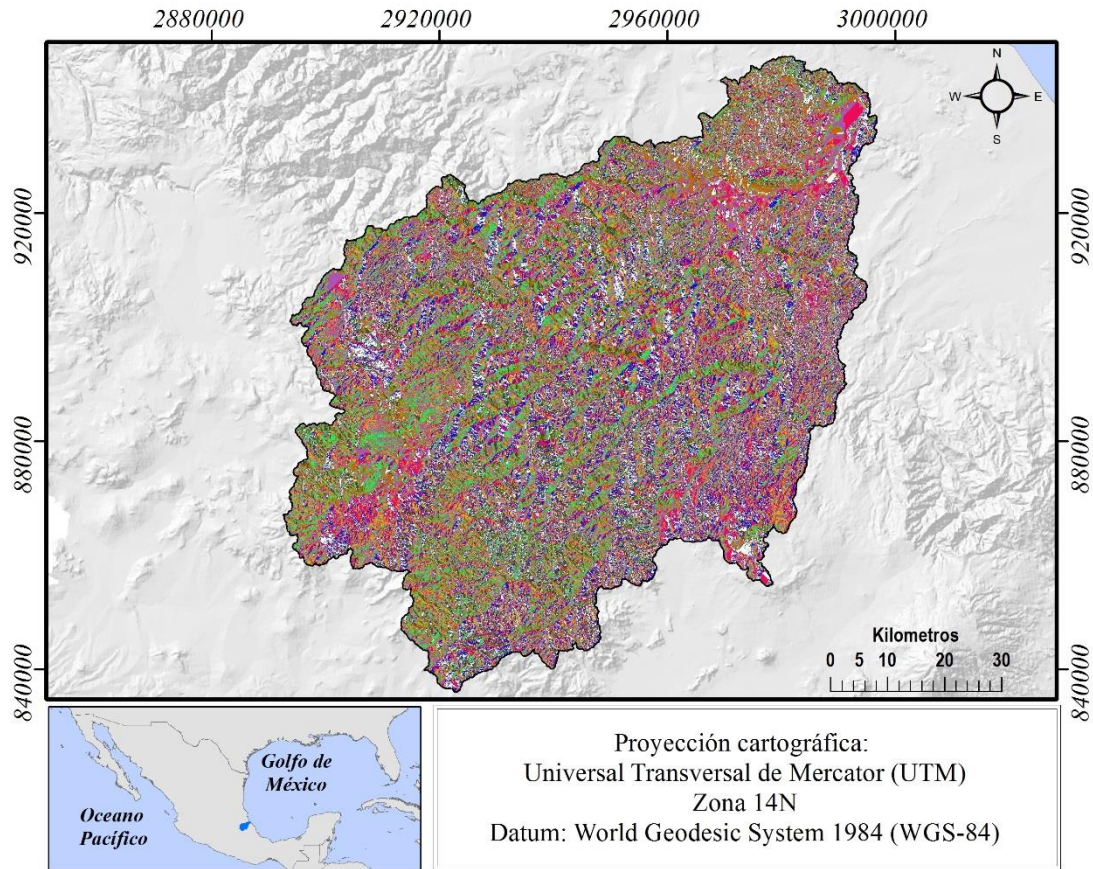


Figura 30. Mapa de dirección de flujo.

El flujo acumulado en cada celda supone que hay una unidad de agua en cada celda, el cálculo de acumulación de flujo se realizó a través de la dirección del flujo. En la definición de corrientes, se clasificaron las celdas pertenecientes a una red de flujo, valores bajos del umbral representan corrientes pequeñas, valores altos corresponden a drenajes de mayor tamaño.

Con la delimitación de las subcuencas y después de realizar el procesamiento de la cuenca, finalmente se generaron 59 subcuencas como se muestra en la Figura 31.

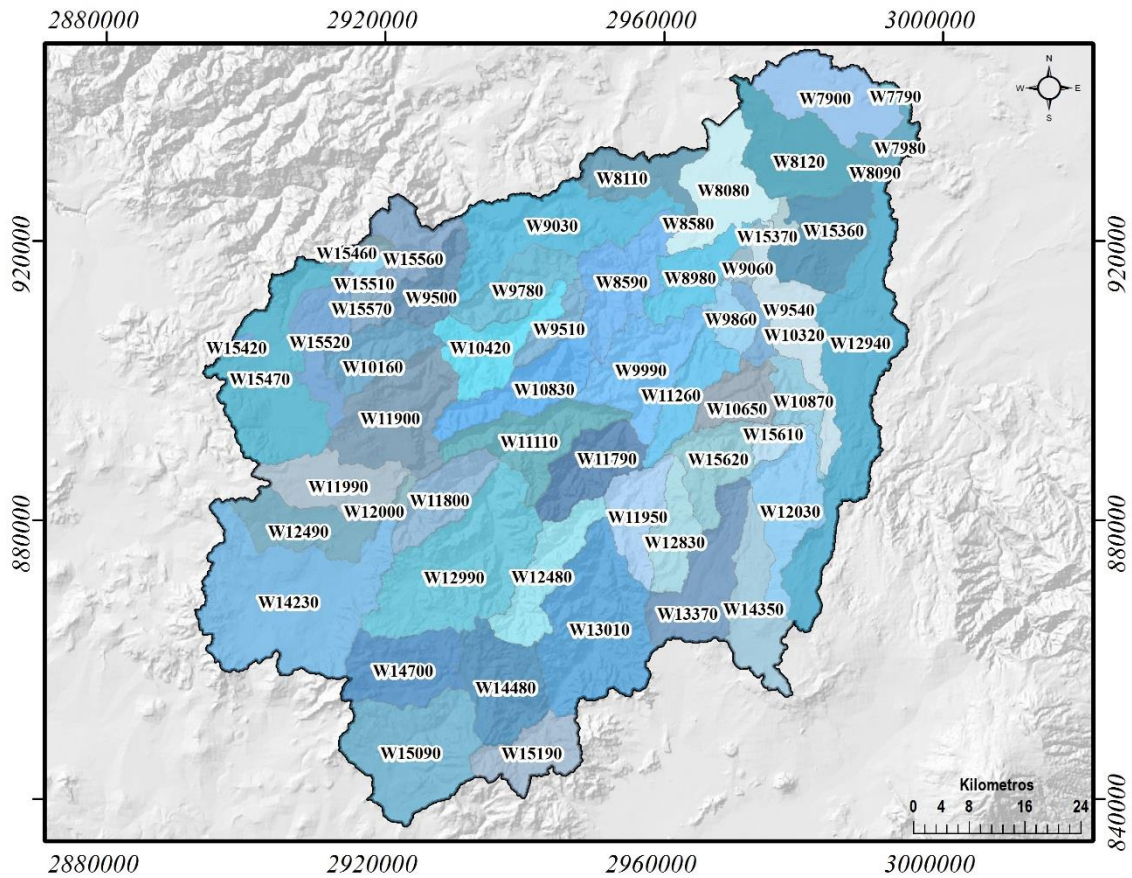


Figura 31. Subcuencas generadas con la delimitación en HEC-GeoHMS.

La longitud de la corriente principal es de 507.33 Km. Las 5 presas existentes se establecieron de acuerdo a coordenadas, cada una de ellas fue ubicada en la corriente específica que las alimenta.

La representación de cada uno de los elementos de la cuenca fue de acuerdo a los símbolos establecidos en el software.

El modelo final exportado al software HEC-HMS, toma en cuenta la segmentación en subcuencas, interconexión de cauces principales, corrientes y presas (Figura 32).

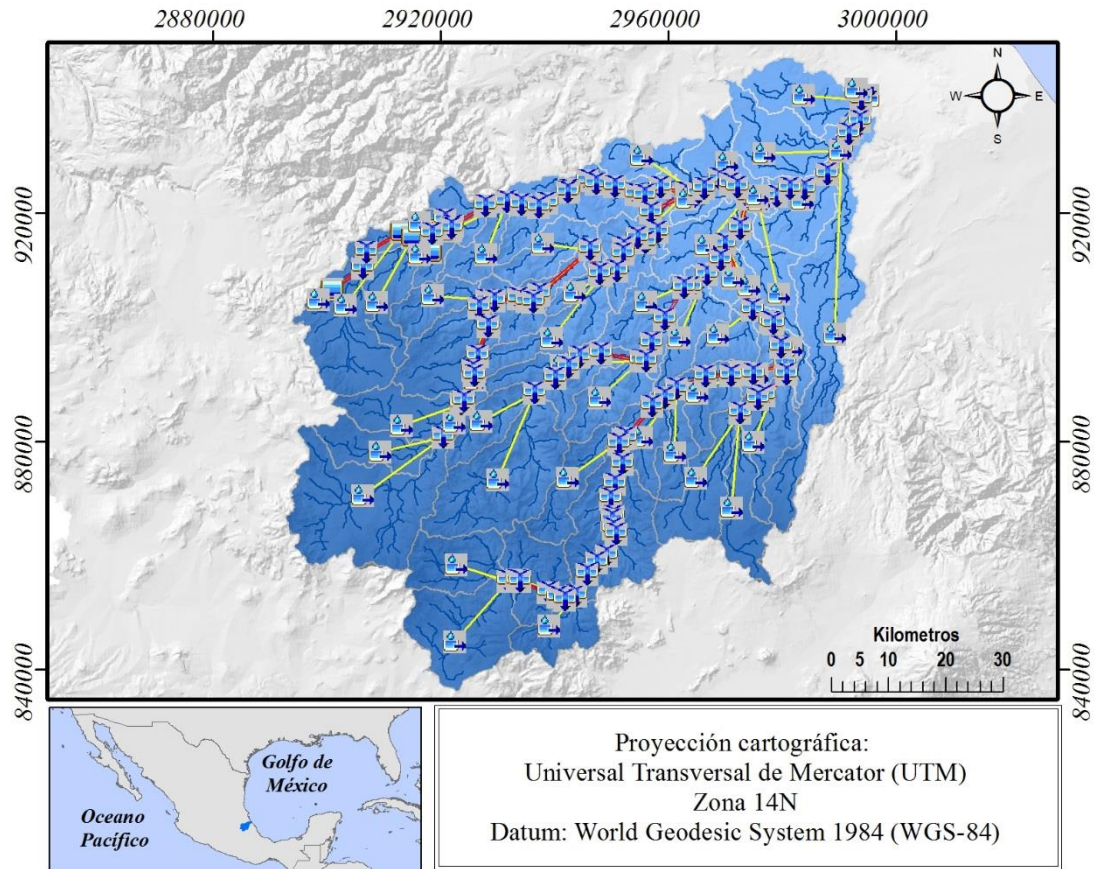


Figura 32 Modelo final generado en HEC_GeoHMS.

5.3 Parámetros hidrológicos

5.3.1 Número de curva

El número de curva fue uno de los parámetros más importantes dentro del proceso. Los números de curva representan el comportamiento de las precipitaciones sobre los suelos y la vegetación presente en las cuencas con el objetivo de obtener hidrogramas similares a los reales.

Los números de curva se obtuvieron a partir del Cuadro 15, estos números fueron extraídos de la clasificación original del Servicio de Conservación de Suelos.

Cuadro 15. Números de curva para tipo de suelo y condición hidrológica.

Uso de suelo	Condición hidrológica	A	B	C	D
Cuerpo de agua		92	92	92	92
Bosque de pino	Regular	36	60	73	79
Bosque de encino	Regular	36	60	73	79
Agricultura	Regular	58	72	81	85
Vegetación secundaria	Regular	0	61	74	84
Pastizal-vegetación secundaria	Regular	49	69	79	84
Asentamientos humanos	Regular	77	86	91	94
Suelo desnudo	Regular	72	82	87	89
Matorral	Regular	20	48	65	73
Selva baja caducifolia	Regular	36	60	73	79

Los números de curva que se obtuvieron usando la tabla anterior mediante el menú Utility, fueron ponderados, para obtener un número de curva para cada subcuenca, y se presentan en un mapa GRID (Figura 33).

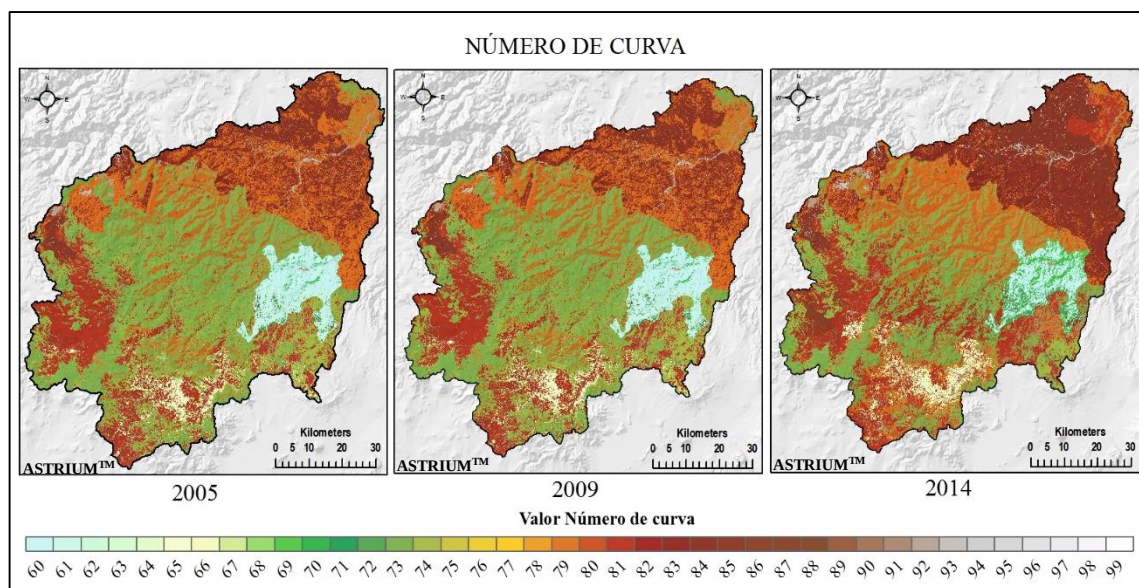


Figura 33. Número de curva 2005, 2009 y 2014 en la cuenca Tecolutla.

De acuerdo con los resultados, los escenarios 2005 y 2009 muestran valores similares de número de curva; más del 50% de las subcuencas posee valores que oscilan entre 70, 80 y 90 (Cuadro 16).

Cuadro 16. Número de curva por subcuenca.

ID	Número de curva			ID	Número de curva		
	2005	2009	2014		2005	2009	2014
W7790	76.83	76.83	79.79	W15460	80.62	80.59	82.76
W7900	80.31	80.31	82.85	W11260	73.29	73.29	75.32
W7980	79.59	79.59	80.95	W15610	62.40	62.35	65.37
W8080	82.98	82.99	84.97	W11790	74.25	74.24	75.59
W8090	86.83	86.83	89.31	W11800	74.76	74.76	76.92
W8110	83.05	83.06	84.60	W11900	74.63	74.62	76.61
W8120	82.03	82.03	83.84	W11950	72.40	72.39	74.02
W15360	82.85	82.86	84.40	W11990	78.80	78.80	80.13
W8580	82.60	82.65	84.38	W12000	73.84	73.82	76.85
W8590	79.32	79.34	81.18	W12030	67.47	67.47	70.13
W8710	85.63	85.72	87.25	W12480	74.91	74.91	76.06
W8730	90.71	90.87	89.35	W12490	79.93	79.93	81.19
W8980	81.55	81.56	83.75	W12830	67.97	67.97	70.86
W9030	80.31	80.32	82.22	W12940	79.18	79.18	81.75
W9060	84.27	84.30	85.06	W12990	75.46	75.46	76.60
W15560	79.94	79.94	80.62	W13010	74.68	74.68	74.74
W9500	78.87	78.87	79.16	W13370	74.48	74.49	76.94
W9510	75.72	75.73	77.15	W14230	77.10	77.10	77.47
W9540	81.29	81.30	83.62	W14350	75.91	75.91	78.02
W15510	78.80	78.78	82.54	W14480	74.69	74.69	74.98
W9780	76.58	76.58	77.90	W14700	77.18	77.18	77.43
W9860	81.15	81.16	83.35	W15090	78.71	78.71	79.03
W9990	75.81	75.79	78.02	W15190	74.84	74.84	76.34
W10160	74.89	74.89	77.45	W15370	83.42	83.44	85.03
W10320	79.83	79.83	82.29	W15420	80.71	80.72	81.31
W10420	75.30	75.29	76.81	W15470	79.37	79.37	80.27
W10650	69.18	69.18	71.68	W15520	78.24	78.24	79.87
W10830	74.94	74.93	76.50	W15570	76.86	76.86	80.44
W10870	71.70	71.66	74.72	W15620	62.58	62.57	64.95
W11110	74.61	74.58	75.89				

5.3.2 Tiempo de retraso

El tiempo de retraso se calculó con la ecuación 8 toma en cuenta la longitud hidráulica, la pendiente media y el número de curva. Los cálculos se realizaron con los datos específicos de cada una de las subcuenca, los resultados se muestran en el Cuadro 17.

El tiempo de retraso oscila de 6 minutos a 7 horas para las diferentes subcuencas.

Cuadro 17. Características principales de las subcuencas.

Subcuenca	Área de drenaje	Pendiente (%)	Tr (horas)	Subcuenca	Área de drenaje	Pendiente (%)	Tr (horas)
W10160	99.22	50.60	1.79	W15420	7.42	26.06	0.75
W10320	134.08	13.40	5.23	W15460	21.76	45.62	0.92
W10420	128.21	46.51	2.33	W15470	286.04	18.20	4.25
W10650	81.38	33.90	2.17	W15510	17.65	22.63	1.23
W10830	142.43	54.38	2.43	W15520	116.41	22.12	3.29
W10870	63.44	35.08	2.47	W15560	113.29	41.55	2.10
W11110	155.76	59.59	2.24	W15570	7.20	38.15	0.44
W11260	99.48	33.37	2.67	W15610	32.06	48.40	1.59
W11790	122.20	58.23	1.69	W15620	108.88	42.47	2.70
W11800	106.85	61.54	1.65	W7790	7.46	24.02	0.70
W11900	218.51	36.81	3.21	W7900	168.69	11.29	4.18
W11950	104.58	36.49	2.41	W7980	44.00	13.46	2.22
W11990	136.23	11.85	4.56	W8080	157.24	9.18	3.27
W12000	13.65	61.24	0.76	W8090	0.05	22.83	0.10
W12030	151.85	28.15	4.23	W8110	98.07	16.68	2.73
W12480	128.00	54.86	2.29	W8120	182.58	7.35	5.37
W12490	123.54	10.78	4.23	W8580	3.82	10.45	0.87
W12830	84.51	25.05	3.27	W8590	154.07	36.08	2.69
W12940	383.49	18.26	7.46	W8710	0.16	6.23	0.41
W12990	349.68	45.73	2.99	W8730	0.70	17.26	0.28
W13010	308.42	48.58	2.84	W8980	102.50	17.36	2.84
W13370	172.22	19.84	3.73	W9030	249.78	27.86	3.74
W14230	436.53	18.66	4.72	W9060	22.98	13.57	1.54
W14350	138.89	13.83	4.82	W9500	81.86	43.94	1.71
W14480	159.26	35.76	2.27	W9510	46.27	51.85	1.26
W14700	158.02	27.07	2.38	W9540	35.57	23.42	2.02
W15090	257.56	25.02	3.14	W9780	108.00	37.89	1.99
W15190	104.06	43.75	1.48	W9860	44.20	20.21	1.75
W15360	161.49	11.32	3.38	W9990	179.14	43.28	2.50
W15370	15.60	9.03	1.37				

5.3.3 Parámetros K, x

Para el tránsito de avenidas, al parámetro x se le asignó un valor 0 a las pendientes planas, 0.3 a las pendientes medias y 0.5 a las pendientes más elevadas. El parámetro K, fue calculado de acuerdo a la ecuación 10. Los valores de K y x se muestran en el Cuadro 18.

Cuadro 18. Características principales de los tramos de cauce.

Nombre	Longitud (Km)	Pendiente %	K (horas)	x	Nombre	Longitud (Km)	Pendiente %	K (horas)	x
R1070	9.381	0.256	2.895	0	R2400	16.760	0.853	5.173	0
R110	2.909	0.000	0.898	0	R2600	1.822	2.196	0.375	0
R1130	1.910	3.141	0.393	0.3	R2610	1.730	5.551	0.267	0.3

R1170	0.454	4.842	0.070	0.3	R2630	2.063	2.666	0.425	0
R1190	10.036	2.033	2.065	0	R2650	1.262	5.945	0.195	0.3
R1220	5.446	10.742	0.672	0.5	R2660	5.416	3.489	1.114	0.3
R1250	6.744	0.000	2.081	0	R2710	2.357	1.994	0.727	0
R1290	5.017	0.319	1.549	0	R2790	20.136	0.611	6.215	0
R1380	3.783	0.079	1.168	0	R2850	9.977	0.932	3.079	0
R1470	4.220	0.308	1.302	0	R2890	4.788	5.576	0.739	0.3
R1480	1.995	-0.100	0.616	0	R2970	5.760	0.556	1.778	0
R15390	4.255	0.000	1.313	0	R2990	0.614	0.652	0.189	0
R15480	10.396	2.049	2.139	0	R3250	7.545	1.670	2.329	0
R1560	4.361	0.000	1.346	0	R3320	5.203	0.404	1.606	0
R15630	2.070	1.111	0.639	0	R3360	9.131	1.829	2.818	0
R1580	10.454	5.471	1.613	0.3	R3410	4.589	1.700	1.416	0
R1630	7.306	8.801	0.902	0.5	R3450	9.141	1.488	2.821	0
R1640	4.931	0.264	1.522	0	R3490	0.988	2.429	0.203	0
R1710	1.287	0.000	0.397	0	R3500	3.875	3.123	0.797	0.3
R1820	4.561	0.000	1.408	0	R3580	3.316	2.593	0.682	0
R1830	3.235	8.130	0.399	0.5	R3620	3.079	2.566	0.633	0
R2020	4.966	0.463	1.533	0	R3660	3.917	3.165	0.806	0.3
R2060	7.126	0.477	2.200	0	R370	4.784	0.000	1.477	0
R2090	0.546	0.366	0.168	0	R3700	1.138	1.318	0.351	0
R2100	4.816	0.519	1.486	0	R3760	3.939	4.087	0.608	0.3
R2130	5.505	0.000	1.699	0	R3780	2.739	0.000	0.846	0
R220	6.204	0.000	1.915	0	R3790	2.331	4.934	0.360	0.3
R2260	7.480	5.067	1.154	0.3	R380	0.353	0.000	0.109	0
R2280	4.886	2.292	1.005	0	R3810	5.610	1.711	1.731	0
R2300	2.233	0.045	0.689	0	R3830	7.779	4.821	1.200	0.3
R240	3.990	0.000	1.232	0	R3920	7.384	4.469	1.139	0.3
R3960	6.080	1.892	1.876	0	R6950	3.075	0.911	0.949	0
R4040	3.111	2.764	0.640	0	R7060	0.655	0.763	0.202	0
R4060	7.652	2.013	1.574	0	R7070	1.695	0.826	0.349	0
R4070	7.275	5.498	1.123	0.3	R710	3.583	0.000	1.106	0
R4090	0.897	2.340	0.185	0	R7130	6.394	0.766	1.974	0
R4120	1.527	10.607	0.189	0.5	R7140	6.060	1.007	1.870	0
R4220	3.056	4.286	0.472	0.3	R7150	2.235	0.805	0.690	0
R4400	5.002	9.637	0.617	0.5	R7170	1.757	0.740	0.542	0
R4640	8.983	2.883	1.848	0	R7210	2.555	0.900	0.788	0
R4690	10.044	1.762	3.100	0	R730	0.611	0.000	0.189	0
R4710	0.588	3.908	0.121	0.3	R760	5.992	0.467	1.849	0
R4800	1.580	1.582	0.488	0	R780	1.282	0.000	0.396	0
R5140	4.201	2.237	0.864	0	R790	4.794	0.355	1.480	0
R5460	5.773	0.572	1.782	0	R800	6.634	0.347	2.048	0
R5810	3.916	0.741	1.209	0	R810	2.913	0.034	0.899	0
R590	6.701	0.000	2.068	0	R820	3.677	-0.027	1.135	0
R6140	4.099	1.269	1.265	0	R830	2.485	2.374	0.511	0
R620	1.761	0.000	0.543	0	R870	2.142	0.000	0.661	0
R6230	0.912	0.329	0.282	0	R880	4.755	0.000	1.468	0
R6350	1.777	1.857	0.549	0	R890	0.073	0.000	0.022	0
R640	3.711	0.000	1.145	0	R900	5.301	1.811	1.636	0
R6440	1.415	1.131	0.437	0	R910	1.933	0.000	0.597	0
R650	2.740	0.000	0.846	0	R920	2.872	0.000	0.886	0
R6690	5.309	1.206	1.639	0	R930	5.509	2.741	1.134	0
R6780	2.996	1.001	0.925	0	R950	3.457	0.000	1.067	0
R680	4.376	0.000	1.350	0	R970	2.028	0.000	0.626	0
R690	1.709	0.000	0.528	0	R980	3.446	1.915	1.064	0

5.4 Simulación de eventos en HEC_HMS

Se simularon dos eventos que presentan gastos máximos considerables, el primer evento tiene un gasto pico igual a 2,961.9 m³/s, se presentó a las 13:00 horas del día 24 de septiembre de 2009 (Anexo 1). La primera corrida de simulación para este evento, se realizó usando 12 estaciones climatológicas y 3 estaciones automáticas, el periodo de simulación se consideró del 20 de septiembre al 06 de octubre de 2009 (Figura 32). El intervalo de tiempo usado para la simulación del evento fue de una hora.

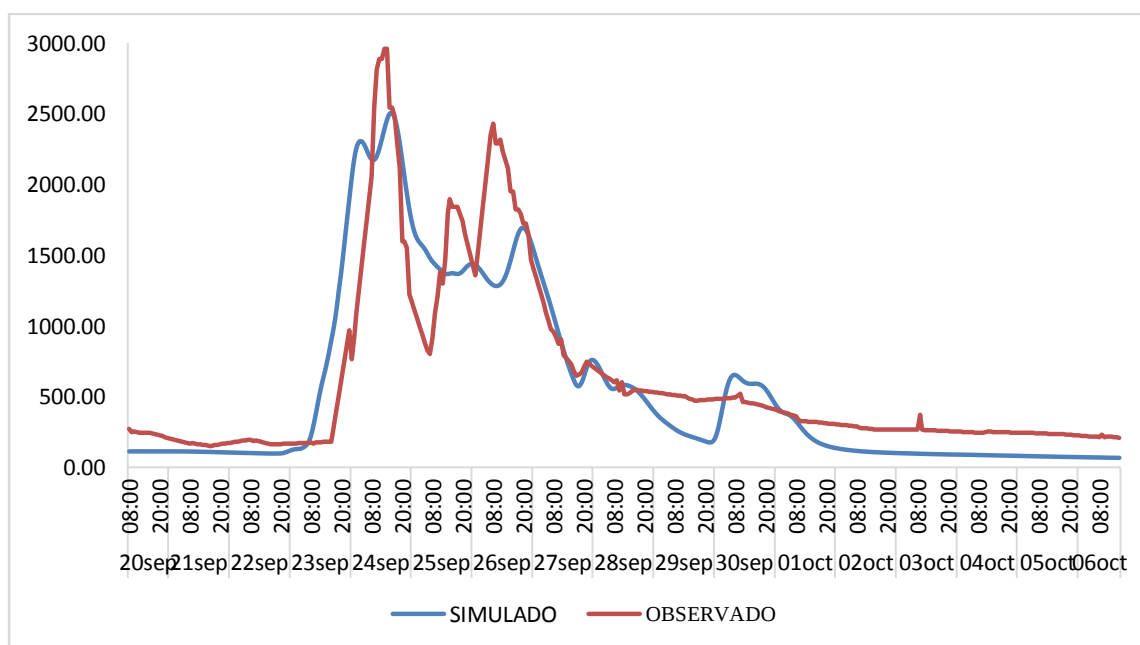


Figura 34. Simulación simple para el evento del 20 de septiembre al 06 de octubre de 2009.

Considerando los gastos máximos en cada subcuenca, se presenta el Cuadro 19 que incluye el área de drenaje y escurrimientos.

Cuadro 19. Gastos máximos por subcuenca para el evento del 20 de septiembre de 2009 al 06 de octubre de 2009.

Subcuenca	Área de drenaje	Qmax (m3/s)	Q _u (m ³ s ⁻¹ Km ⁻²)	Subcuenca	Área de drenaje	Qmax (m3/s)	Q _u (m ³ s ⁻¹ Km ⁻²)
W8090	0.05	0.80	14.73	W9780	108.00	153.20	1.69
W7790	7.46	99.60	12.81	W15620	108.88	132.70	1.57
W15570	7.20	54.80	7.92	W12000	13.65	19.20	1.57
W7980	44.00	336.60	7.59	W11950	104.58	152.10	1.50
W8730	0.70	4.00	6.10	W10870	63.44	85.80	1.49
W15360	161.49	966.40	6.07	W15420	7.42	10.10	1.43
W8710	0.16	0.80	5.67	W9030	249.78	300.20	1.42
W9510	46.27	164.30	4.59	W10320	134.08	174.10	1.41
W9500	81.86	324.60	3.80	W11790	122.20	166.40	1.41
W9860	44.20	178.90	3.72	W12830	84.51	100.70	1.30
W8580	3.82	12.50	3.41	W12480	128.00	163.10	1.30
W10420	128.21	365.40	3.36	W13370	172.22	207.60	1.29
W9540	35.57	122.50	3.36	W11800	106.85	129.10	1.26
W15370	15.60	45.90	3.19	W10160	99.22	116.10	1.25
W9060	22.98	64.60	3.01	W12940	383.49	442.50	1.23
W15610	32.06	91.30	2.99	W10830	142.43	154.70	1.15
W8590	154.07	439.70	2.91	W11900	218.51	205.80	1.01
W9990	179.14	508.70	2.90	W15470	286.04	210.10	0.77
W10650	81.38	221.90	2.87	W14350	138.89	61.20	0.53
W11260	99.48	271.90	2.80	W12490	123.54	44.80	0.47
W15520	116.41	305.50	2.71	W15190	104.06	32.00	0.46
W12030	151.85	371.70	2.53	W11990	136.23	46.50	0.44
W8110	98.07	220.90	2.41	W14230	436.53	138.00	0.41
W8980	102.50	222.30	2.35	W14480	159.26	38.50	0.37
W7900	168.69	364.70	2.34	W15090	257.56	11.70	0.08
W8080	157.24	335.50	2.34	W14700	158.02	6.60	0.08
W15460	21.76	44.30	2.12	W12990	349.68	0.00	0.01
W15510	17.65	33.80	1.97	W11110	155.76	0.00	0.01
W8120	182.58	328.20	1.95	W13010	308.42	0.00	0.00
W15560	113.29	173.50	1.79				

De acuerdo a los datos que se presentan en el cuadro anterior, la relación entre el gasto máximo y el área de drenaje, muestra que las subcuencas W8090 y W7790 son las más productivas hidrológicamente en el evento simulado.

El segundo evento tiene un gasto pico de 3,641 m³/s, se presentó el día 18 de octubre de 2009 a las 09:00 de la mañana (Anexo 2). Debido a que existen datos incompletos de una de las estaciones automáticas, la distribución de la precipitación se realizó de acuerdo a

dos EMAs y 12 estaciones climatológicas, mismas que se usaron en el primer evento. El periodo considerado para la simulación corresponde del 12 al 22 de octubre de 2009 (Figura 33).

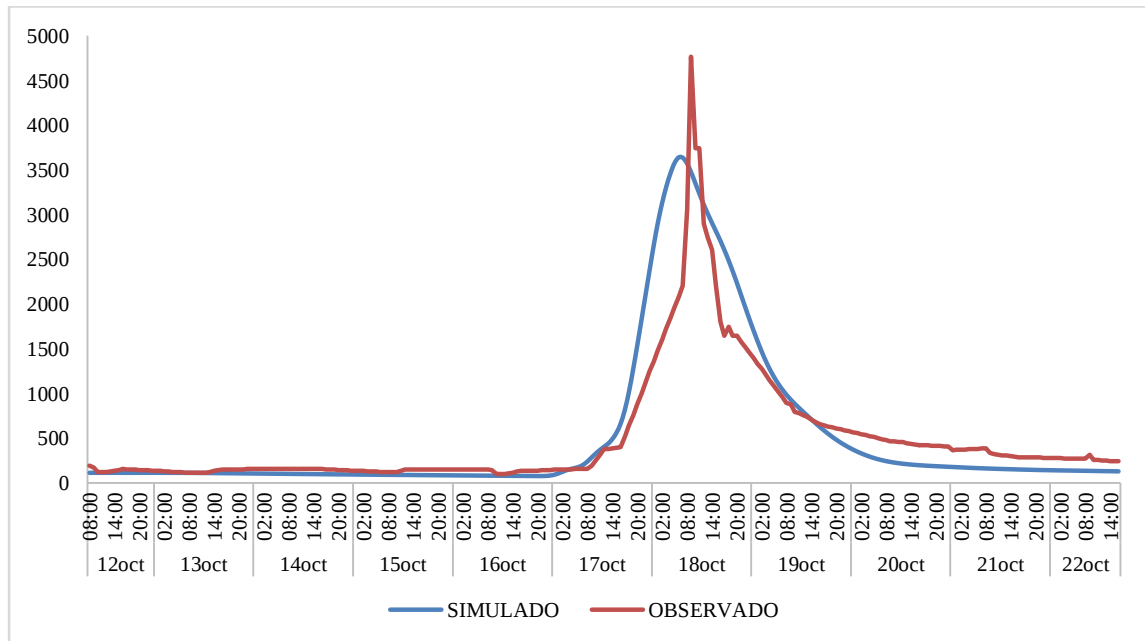


Figura 35. Simulación simple para el evento del 12 al 22 de octubre de 2009.

El Cuadro 20 muestra el gasto máximo para cada subcuenca, este gasto fue generado de acuerdo a la simulación del evento con los datos de precipitación existentes.

Cuadro 20. Gastos máximos por subcuenca para el evento del 12 al 22 de octubre de 2009.

Subcuenca	Área de drenaje	Qmax (m3/s)	Q_u ($m^3s^{-1}Km^{-2}$)	Subcuenca	Área de drenaje	Qmax (m3/s)	Q_u ($m^3s^{-1}Km^{-2}$)
W9510	46.27	399.00	8.62	W15620	108.88	237.00	2.18
W10420	128.21	941.30	7.34	W9780	108.00	215.30	1.99
W8710	0.16	0.70	4.41	W10160	99.22	194.40	1.96
W8730	0.70	3.10	4.40	W12480	128.00	248.30	1.94
W8110	98.07	417.10	4.25	W14480	159.26	308.20	1.94
W8580	3.82	14.50	3.80	W15520	116.41	217.50	1.87
W7790	7.46	27.80	3.73	W15420	7.42	13.20	1.78
W8090	0.05	0.20	3.68	W11110	155.76	275.90	1.77
W9030	249.78	916.80	3.67	W15460	21.76	38.00	1.75

W9060	22.98	82.00	3.57	W13010	308.42	533.20	1.73
W15370	15.60	54.90	3.52	W10830	142.43	244.70	1.72
W9860	44.20	146.20	3.31	W15560	113.29	183.30	1.62
W9540	35.57	114.50	3.22	W15510	17.65	28.50	1.61
W8080	157.24	494.10	3.14	W9500	81.86	130.30	1.59
W8980	102.50	321.90	3.14	W11900	218.51	331.40	1.52
W7980	44.00	138.00	3.14	W15470	286.04	399.70	1.40
W15360	161.49	504.10	3.12	W12000	13.65	3.90	0.29
W8590	154.07	472.30	3.07	W14700	158.02	37.40	0.24
W9990	179.14	525.30	2.93	W12490	123.54	27.90	0.23
W7900	168.69	482.70	2.86	W11990	136.23	26.10	0.19
W11950	104.58	290.70	2.78	W14230	436.53	68.70	0.16
W11260	99.48	276.20	2.78	W14350	138.89	1.80	0.01
W8120	182.58	501.40	2.75	W13370	172.22	1.70	0.01
W10870	63.44	173.30	2.73	W11790	122.20	0.00	0.00
W10320	134.08	357.00	2.66	W11800	106.85	0.00	0.00
W10650	81.38	215.70	2.65	W12030	151.85	0.00	0.00
W15570	7.20	18.80	2.61	W12990	349.68	0.00	0.00
W12830	84.51	199.80	2.36	W15090	257.56	0.00	0.00
W15610	32.06	75.50	2.36	W15190	104.06	0.00	0.00
W12940	383.49	883.40	2.30				

En este evento simulado, la relación entre el área de drenaje y el gasto máximo, las cuencas hidrológicamente productivas son la W9510 Y W10420. Los resultados de las simulaciones de los dos eventos, muestran que el modelo simula aceptablemente los hidrogramas medidos. Sin embargo, es necesario realizar corridas de optimización para calibrar el modelo y obtener un modelo más cercano a la realidad.

5.4.1 Método de optimización 1: Suma de errores absolutos

La calibración del modelo inició después de realizar la primera corrida de simulación, se buscó sensibilizar la variable de mayor incidencia para el escurrimiento, en este caso correspondió al número de curva y tiempo de retraso, debido a que fueron los parámetros más sensibles pues al realizar un ajuste, los parámetros que modifican considerablemente el gasto pico y el coeficiente de ajuste son los que se mencionan anteriormente. El método de optimización 1, se desarrolla comparando cada una de las ordenadas del hidrograma observado, con la correspondiente al hidrograma simulado, el error es la diferencia entre

las mismas. Este método se utilizó para obtener un caudal pico y un coeficiente de Nash aceptables entre hidrograma simulado y observado, es decir el gasto pico simulado debía ser cercano al gasto pico observado y el coeficiente de Nash debía tener un valor cercano a uno. Para el primer evento, el equilibrio se obtuvo aumentando para cada subcuenca el 10% del valor del número de curva y del tiempo de retraso respectivamente; para el evento dos, sólo se aumentó el valor del tiempo de retraso en un 10% para cada subcuenca. El resultado de la calibración para ambos eventos, se muestran en las figuras 34 y 35.

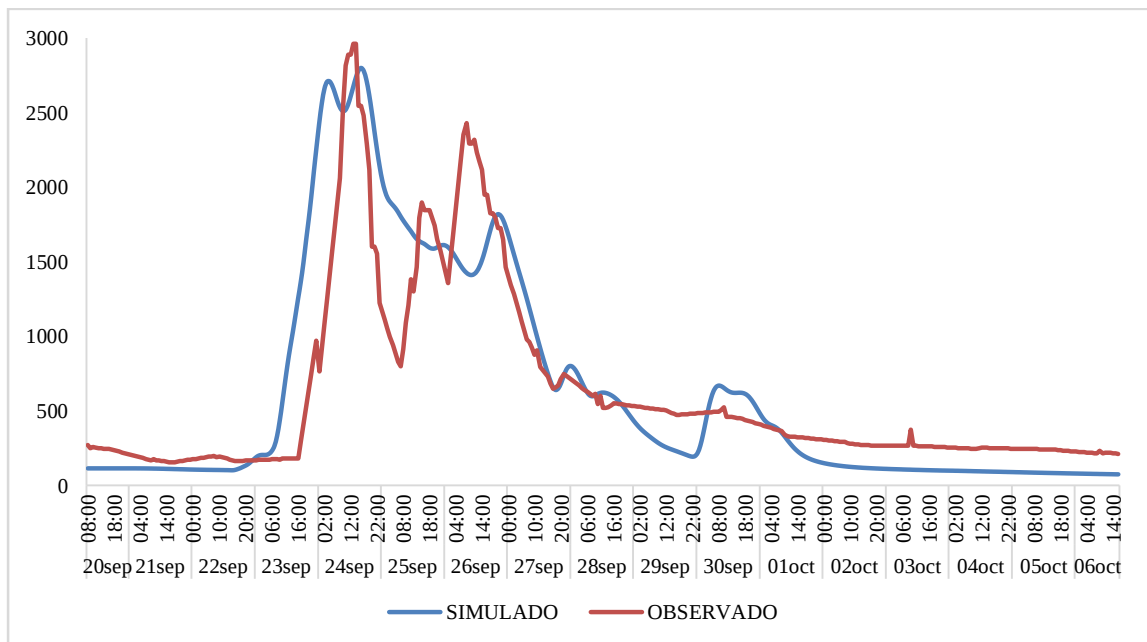


Figura 36. Optimización 1; evento del 20 de septiembre al 06 de octubre de 2009.

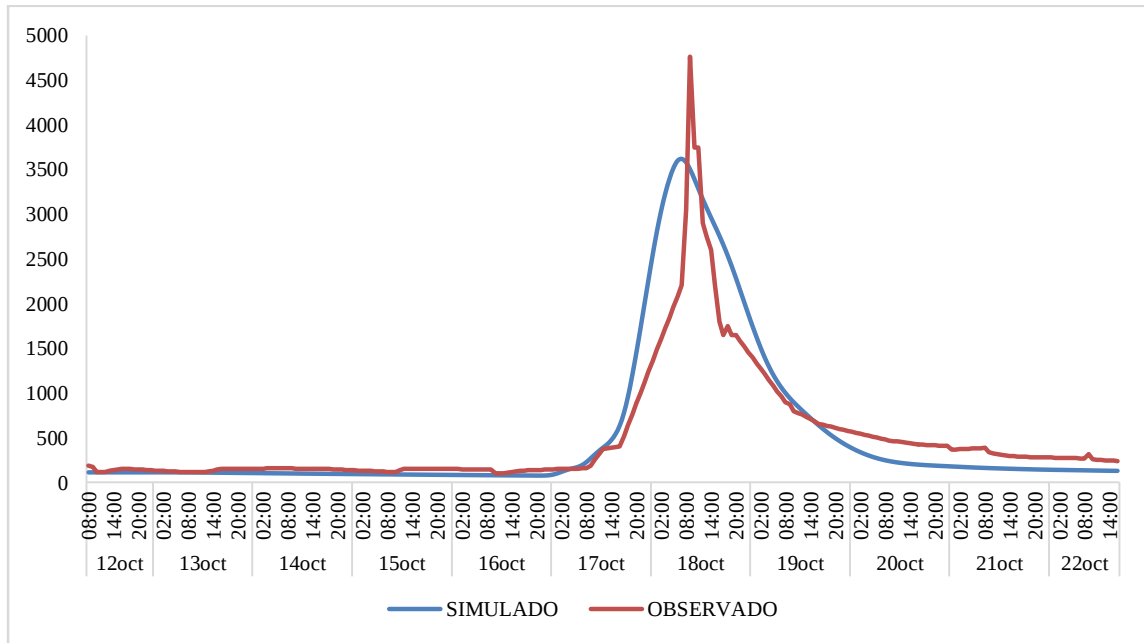


Figura 37. Optimización 1; evento del 12 al 22 de octubre de 2009.

5.4.2 Método de optimización 2: Error porcentual del caudal pico

El método de optimización 2 (Figura 36 y 37), se centra exclusivamente en el valor del caudal pico del hidrograma, calculando el error cometido en la simulación en forma de porcentaje, respecto al valor observado. En este método, se buscó maximizar solo el valor del gasto pico, esta función se incluye en la herramienta de Optimización del programa HEC_HMS.

Para el primer evento se obtuvo un caudal pico de 2819 m³/s aumentando el número de curva en un 10% y disminuyendo el tiempo de retraso al 10%. En el segundo evento se aumentó el 10% en ambos parámetros y se obtuvo un gasto pico de 4254.7 m³/s.

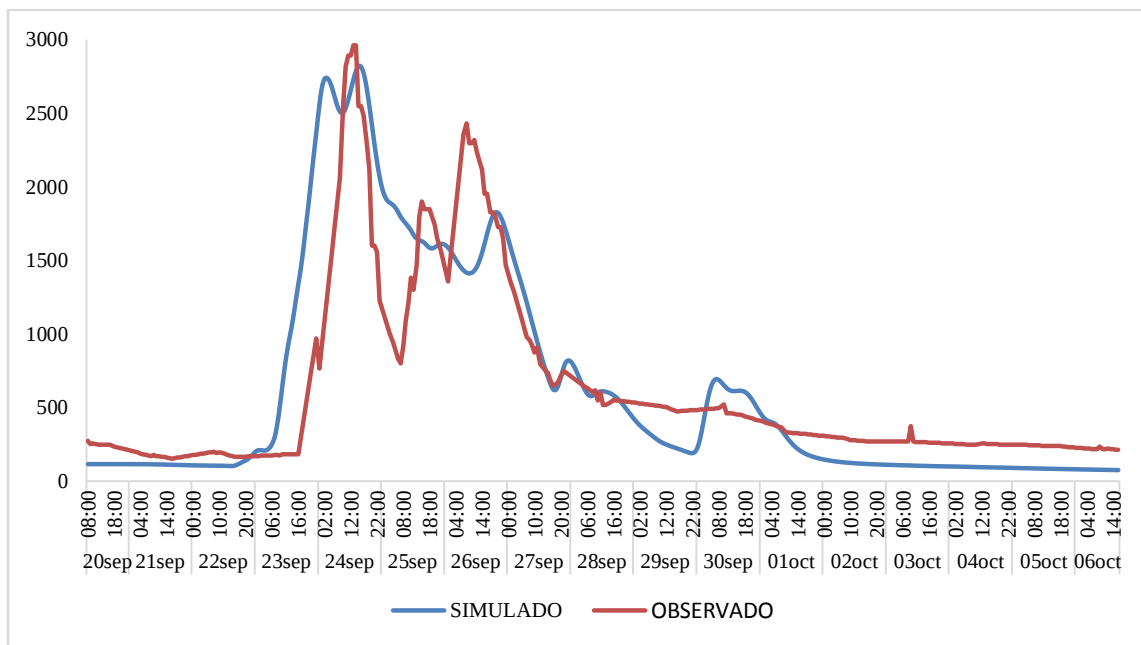


Figura 38. Optimización 2; evento del 20 de septiembre al 06 de octubre de 2009.

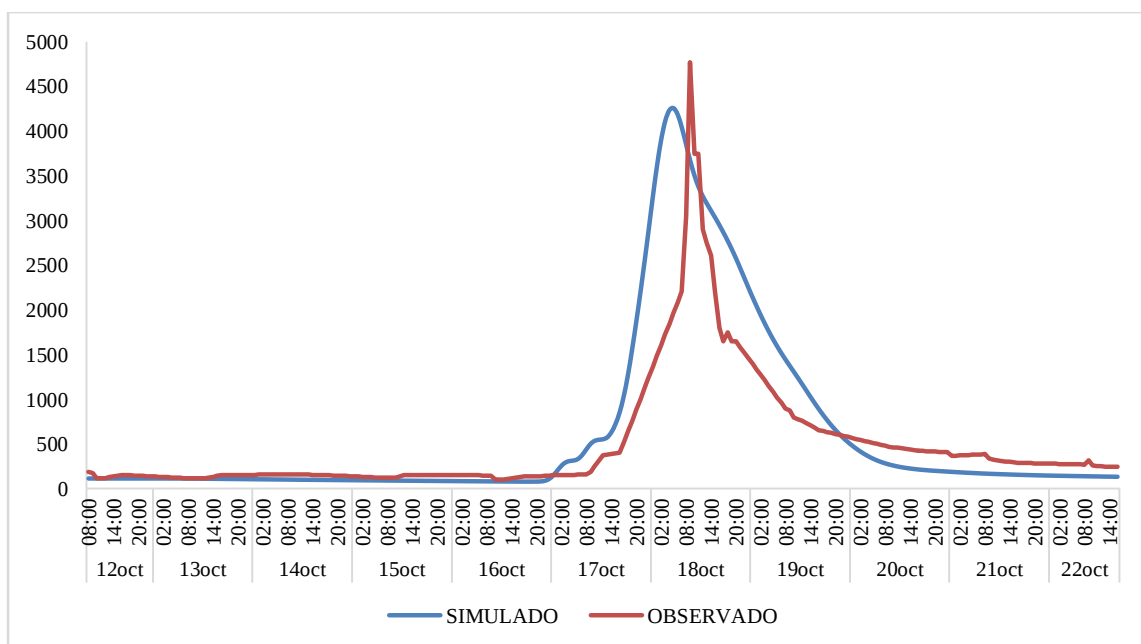


Figura 39. Optimización 2; evento del 12 al 22 de octubre de 2009.

5.4.3 Método de optimización 3: Ajuste del coeficiente Nash & Suttcliffe

Las figuras 38 y 39, muestran los resultados de la optimización 3, El objetivo de la calibración fue alcanzar el mayor coeficiente de Nash & Suttcliffe.

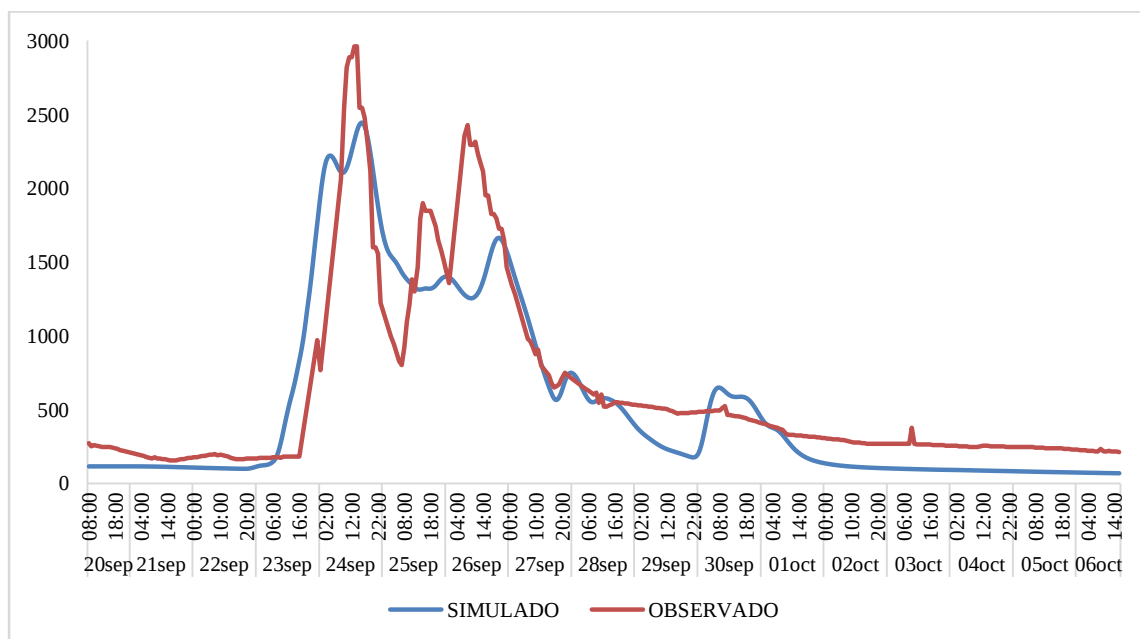


Figura 40. Optimización 3; evento del 20 de septiembre al 06 de octubre de 2009.

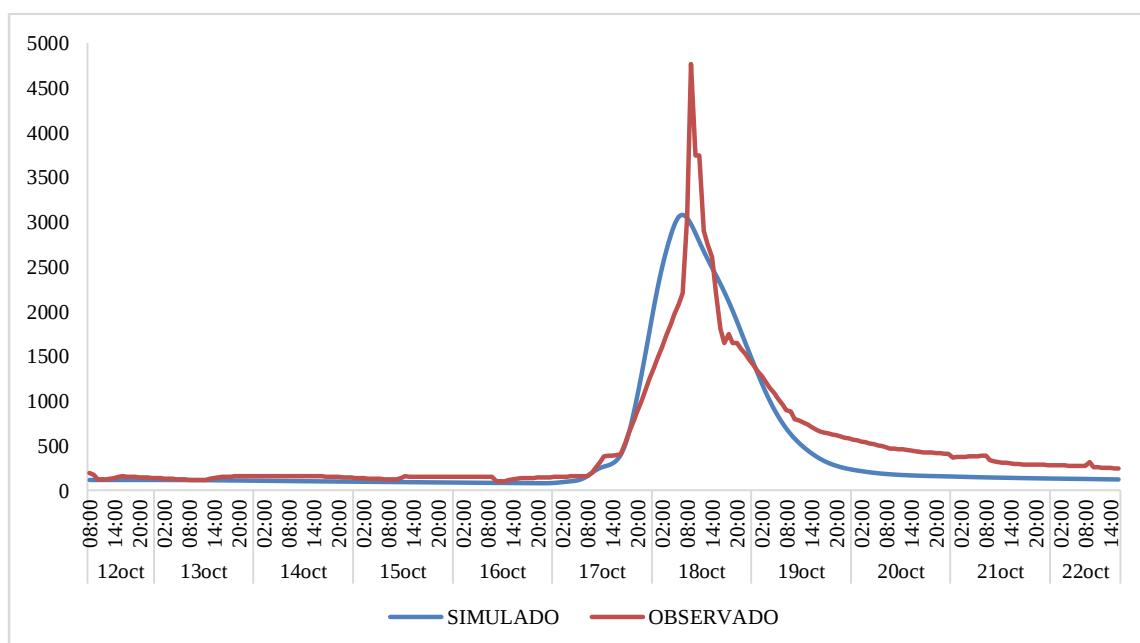


Figura 41. Optimización 3; evento del 12 al 22 de octubre de 2009.

La calibración consistió en la experimentación con varias combinaciones de valores de los parámetros de número de curva y tiempo de retraso. Para el primer evento el mejor coeficiente de Nash & Suttcliffe se obtuvo aplicando un aumento de número de curva y tiempo de retraso en un 2%, el coeficiente obtenido fue de 0.770, el segundo evento tuvo un mejor ajuste al reducir el número de curva en un 14%, logrando un coeficiente de 0.841.

5.1.1 Resumen de optimizaciones

En el Cuadro 21, se presenta el resumen de los principales resultados obtenidos de acuerdo a las diferentes corridas de optimización realizadas para los dos eventos seleccionados.

Cuadro 21. Resultados generales de la simulación y calibración de eventos.

Evento 1: 20 de septiembre al 06 de octubre de 2009						
Modelo	Gasto pico (m3/s)	Coeficiente de Nash & Suttcliffe	Volumen (mm)	RMS error (m3/s)	Volumen residual	Tiempo pico
Evento observado	2961.90		140.77			24 sep 2009--13:00 horas
Simulación simple	2507.40	0.76	127.44	306.30	-13.33	24 sep 2009--16:00 horas
Optimización 1	2800.40	0.64	144.37	371.70	3.60	24 sep 2009--16:00 horas
Optimización 2	2819.00	0.63	144.40	379.60	3.63	24 sep 2009--15:00 horas
Optimización 3	2444.50	0.77	124.08	299.10	-16.69	24 sep 2009--16:00 horas
Evento 2: 12 al 22 de octubre de 2009						
Modelo	Gasto pico (m3/s)	Coeficiente de Nash & Suttcliffe	Volumen (mm)	RMS error (m3/s)	Volumen residual	Tiempo pico
Evento observado	4765.00		71.66			18 oct 09--09:00 horas
Simulación simple	3641.00	0.71	127.44	358.10	4.07	18 oct 09--06:00 horas
Optimización 1	3618.50	0.73	75.70	347.30	4.04	18 oct 09--07:00 horas
Optimización 2	4254.70	0.41	89.62	512.30	17.96	18 oct 09--05:00 horas
Optimización 3	3019.40	0.84	59.92	267.10	-11.74	18 oct 09--07:00 horas

De acuerdo con los resultados para los dos eventos calibrados. Ninguno de los dos modelos se pudo validar ya que no existía la misma cantidad y calidad de información en

cuanto a las estaciones meteorológicas automáticas, cuando se registró cada uno de los dos eventos analizados en este trabajo.

De los tres métodos de optimización utilizados para calibrar los modelos, se recomienda utilizar el calibrado por el método de optimización 3. Así que considerando los criterios de Moriasi et al., 2007, para cada uno de los eventos calibrados, los modelos presentaron un NSE de 0.770 y 0.841, respectivamente; se puede decir que los NSE clasifican al modelo hidrológico aquí presentado como un modelo muy bueno, lo cual es la máxima categoría para calificar un modelo.

5.2 Efectos del cambio de uso de suelo sobre los escurrimientos

En el Cuadro 22 se presentan los escenarios simulados considerando los diferentes escenarios de uso de suelo.

Cuadro 22. Resumen de corridas de simulación realizadas para cambio de uso de suelo.

Simulación 2005	Simulación 2009	Simulación 2014
Escenario de uso de suelo 2005 + Evento del 20 de septiembre al 06 de octubre de 2009	Escenario de uso de suelo 2009 + Evento del 20 de septiembre al 06 de octubre de 2009	Escenario de uso de suelo 2014 + Evento del 20 de septiembre al 06 de octubre de 2009

La simulación 2009, fue usada para realizar la calibración del modelo para el evento mencionado y posteriormente se tomó como referencia para la simulación 2005 y 2014, dichas simulaciones se realizaron usando la serie de datos del evento 2009, sin embargo, el número de curva fue de acuerdo a los resultados de los escenarios de uso de suelo generados de acuerdo al cuadro anterior.

La comparación de los hidrogramas se realizó con los años 2005 y 2014, los cambios en el escurrimiento generales están representados en la Figura 40, el gasto pico presentado en los dos años comparados se describen como sigue, para el año 2005, el gasto pico tiene un valor de 2,800.4 m³/s, y en el año 2014 el gasto pico aumentó a 2,900.9 m³/s.

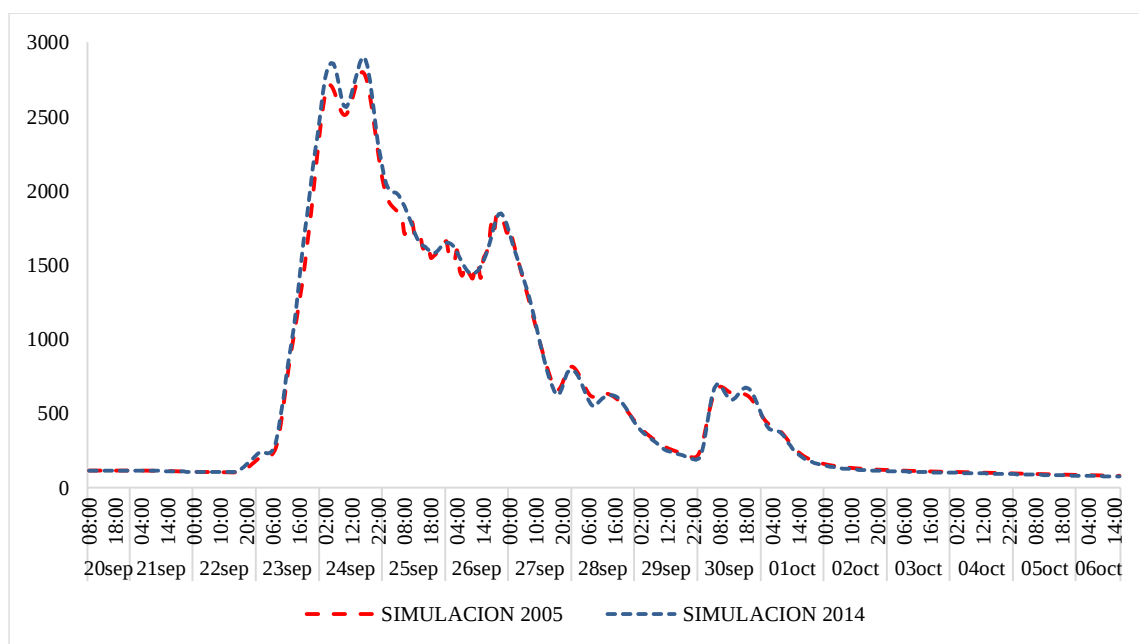


Figura 42. Simulación del proceso lluvia-escurrimiento para los años 2005- 2014.

El impacto del cambio de uso de suelo se refleja cuando el análisis se realiza específicamente con cada una de las subcuencas, los resultados se muestran en el Cuadro 23, la subcuenca W15620 y W10420, son las subcuencas en las que se observa una diferencia significativa de caudales máximos en años 2005 y 2014.

Las subcuencas con caudales más elevados, tienen números de curva bajos, pues oscilan entre 60 y 70. La diferencia de caudales se debe al cambio de uso de suelo, pues en los sitios donde anteriormente era bosque en el año 2005, en el año 2014 existe pastizal o vegetación secundaria.

Al reducirse la extensión de bosque, el número de curva aumentó, y al generarse las nuevas corridas de simulación, se perciben caudales más elevados a los que se presentan en el año 2005.

Cuadro 23. Efecto del cambio de uso de suelo por subcuenca.

Subcuenca	Qmax (m ³ /s)		Diferencia (2014-2005)	Subcuenca	Qmax (m ³ /s)		Diferencia (2014-2005)
	2005	2014			2005	2014	
W15620	171.3	730.3	559.0	W10830	163.7	176.3	12.6
W10420	431.0	669.4	238.4	W14700	12.5	25.1	12.6
W9510	212.2	308.2	96.0	W12030	384.1	395.9	11.8
W9030	356.0	421.9	65.9	W11800	138.6	149.9	11.3
W9780	185.6	251.4	65.8	W14350	73.6	84.5	10.9
W15560	203.4	267.1	63.7	W8110	236.4	246.6	10.2
W15460	46.1	104.3	58.2	W11990	60.2	70.1	9.9
W15470	219.0	275.2	56.2	W15610	95.8	105.3	9.5
W12940	484.9	536.2	51.3	W7790	94.4	103.9	9.5
W9990	520.0	562.7	42.7	W12490	57.5	65.9	8.4
W12990	2.7	44.4	41.7	W10160	128.0	136.2	8.2
W15510	34.8	75.4	40.6	W11790	171.8	178.3	6.5
W13010	0.0	32.9	32.9	W13370	223.4	229.8	6.4
W8590	448.8	479.0	30.2	W12480	166.4	172.8	6.4
W14230	180.1	209.9	29.8	W9500	310.7	316.8	6.1
W7900	395.0	424.7	29.7	W7980	334.0	339.5	5.5
W14480	58.5	88.0	29.5	W15520	315.7	321.1	5.4
W11900	220.4	249.1	28.7	W12830	110.9	116.1	5.2
W8120	355.5	381.2	25.7	W15420	10.6	14.6	4.0
W15190	48.1	71.9	23.8	W15370	49.8	53.0	3.2
W10870	95.5	118.9	23.4	W9060	69.1	71.9	2.8
W10650	233.2	256.0	22.8	W9540	119.4	122.2	2.8
W15090	21.1	43.9	22.8	W11950	163.1	165.3	2.2
W15360	979.9	1001.7	21.8	W8580	12.9	14.4	1.5
W11110	0.9	21.5	20.6	W12000	21.4	22.8	1.4
W11260	279.0	299.3	20.3	W15570	57.0	58.3	1.3
W8080	368.1	384.6	16.5	W8710	0.9	1.0	0.1
W10320	189.7	204.3	14.6	W8730	4.3	4.3	0.0
W9860	164.6	179.1	14.5	W8090	0.8	0.8	0.0
W8980	241.1	255.1	14.0				

El análisis estadístico muestra que los escurrimientos tienen una distribución anormal como se muestra en las Figuras 43 y 44.

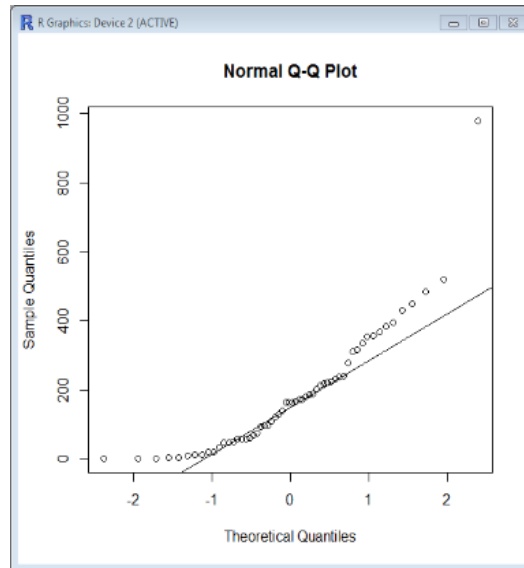


Figura 43. Prueba de normalidad para el año 2005.

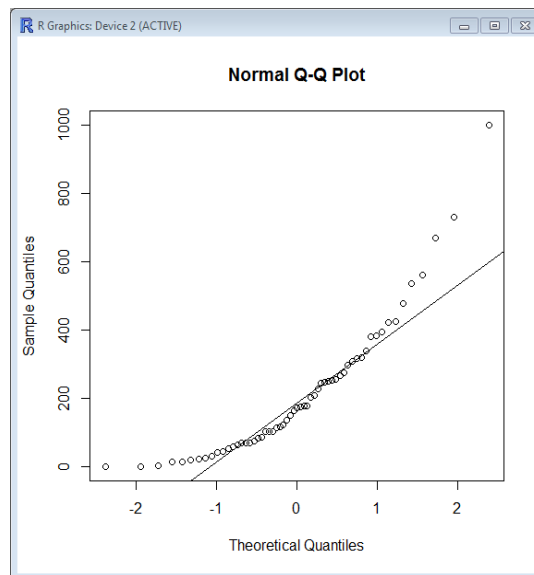


Figura 44. Prueba de normalidad para el año 2014.

Con los resultados anteriores, se aplicó la prueba de Wilcoxon para muestras dependientes obteniendo los siguientes resultados.

Partiendo de las siguientes hipótesis:

$$H_0: \eta_1 = \eta_2$$

$$H_a: \eta_1 \neq \eta_2$$

Con el programa R se obtuvo:

$$p\text{-value} = 5.142e^{-11}$$

Por lo tanto, si se aplica un nivel de significancia del 5%, con una $\eta_1 = 181.9$ y una $\eta_2 = 215.4$, los resultados de la prueba Wilcoxon indican que la hipótesis nula es rechazada, ya existe evidencia estadística, de que los escurrimientos son diferentes en los dos años evaluados, ya que el escurrimiento en el año 2014, es mayor al escurrimiento presentado en el año 2005.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El modelo HEC-HMS permitió establecer el funcionamiento hidrológico de la cuenca, la modelación hidrológica presentada en este trabajo indica que el escurrimiento de los dos eventos elegidos, muestran resultados confiables de acuerdo al método de bondad de ajuste, donde el porcentaje de confiabilidad corresponde al 75 % para el primer evento y 85% para el segundo evento.

Las series incompletas de datos meteorológicos, fueron una gran limitante para el desarrollo de esta investigación, ya que la precisión de los modelos meteorológicos, obedece principalmente al comportamiento de los mismos. El supuesto usado para la distribución de la precipitación en los dos eventos, fue una opción buena pero no exacta, ya que el patrón de distribución temporal de la lluvia en algunas EMAs, no es la misma que en las climatológicas, tal es el caso de la estación automática Huauchinango y la estación convencional Xicotepec.

La modelación de eventos de varios picos es muy difícil debido a la variabilidad de los datos, pues la ausencia de más eventos que nos ayuden a validar el modelo, impide la representación satisfactoria del evento. La corrida de optimización 1 para el evento del 20 de septiembre al 06 de octubre de 2009, muestra un gasto pico y un coeficiente de ajuste aceptables, con valores de $2800.4 \text{ m}^3/\text{s}$ y 0.758 respectivamente, el segundo evento del 12 al 22 de octubre de 2009 valores de $3641 \text{ m}^3/\text{s}$ y 0.714 de gasto pico y coeficiente de ajuste, y aunque el gasto máximo en todos los escenarios calibrados fue

menor a los observados durante los eventos, los hidrogramas generados, tienen la misma forma pero el tiempo pico varia de 1 a 3 horas como se observa en el cuadro 20.

De todos los métodos de optimización presentados, el número 2, que corresponde al error porcentual del gasto pico muestra caudales máximos estimados cercanos a los observados, pero solo en valor, ya que el tiempo en el que se presenta el pico, es diferente al observado, en el primer evento existe una diferencia de caudal de $142.9 \text{ m}^3/\text{s}$, pero el gasto pico simulado se presenta 3 horas después que en el observado, en el caso del segundo evento existe una diferencia de caudal de $510.3 \text{ m}^3/\text{s}$ y el hidrograma simulado se presenta 2 horas antes del observado. Sin embargo, los valores obtenidos pueden ser considerados como insumo para la elaboración de modelos hidráulicos de inundaciones.

Los coeficientes de Nash & Sutcliffe presentados en la corrida de optimización 3 con valores de 0.770 y 0.841 para el primer y segundo evento, reflejan un ajuste bueno a pesar de la escasez de datos en las estaciones automáticas y convencionales.

Por otra parte; de acuerdo a las imágenes satelitales usadas y a la distribución difusa de la vegetación, es difícil obtener una clasificación libre de errores. Por ello, es muy importante realizar la evaluación de la confiabilidad de los datos obtenidos, ya que una buena clasificación proporciona la seguridad de poder ser usadas como insumos en ordenamiento territorial, conservación de la biodiversidad, y en este caso particular para el cálculo de uno de los parámetros hidrológicos que alimentan el modelo creado.

El mapa de uso de suelo y vegetación obtenido, es cuantitativamente confiable, ya que la precisión de la localización y distribución de las coberturas mencionadas es del 85%.

Con el análisis del cambio de uso de suelo sobre los escurrimientos, se concluye que el uso de suelo, es uno de los factores más importantes para el amortiguamiento de las inundaciones, pues el efecto que estas tengan sobre la cuenca, dependerá de la conservación que tenga el sitio. Pues los resultados de análisis por subcuenca indican que el cambio de uso de suelo influye de manera significativa sobre los escurrimientos pues las subcuencas en las que se tenía bosque en el año 2005 y en el año 2014 cambió a pastizal o vegetación secundaria, el aumento del caudal tuvo una diferencia de 559 m³/s, lo que se presentó en la subcuenca W15620, la cual se encuentra cerca de la presa La Soledad. La subcuenca W10420, presenta un aumento de gasto pico de 2005 a 2014 de 238.4 m³/s, el principal cambio de uso se presenta de bosque a vegetación secundaria, dentro de dicha subcuenca se encuentran las comunidades de San Felipe Tepatlán y Xochicutla.

Finalmente, es necesario seguir realizando este tipo de estudios para las diferentes cuencas en el estado de Veracruz e incluso a nivel nacional, pues un sistema de alerta temprana es vital para la protección de la población en zonas costeras.

7. LITERATURA CITADA

- Aggarwal, S. (2010). Principles of remote sensing. Satellite Remote Sensing and GIS Applications in Agricultural Meteorology. 23-48.
- Aparicio, M. F. J. (2013). Fundamentos de hidrología de superficie: LIMUSA. México, D. F. 303p.
- Arenas, S., Haeger, J. F. & Jordano D. (2011). Aplicación de técnicas de teledetección y GIS sobre imágenes QuickBird para identificar y mapear individuos de peral silvestre (*Pyrus bourgeana*) en bosque esclerófilo mediterráneo. Revista de Teledetección. 35, 55-77.
- Arévalo, E. V. M. (2001). Detección automática de cambios urbanos a partir de imágenes de satélites. Tesis de licenciatura. Escuela Técnica Superior de Ingeniería Informática. Universidad de Málaga. Málaga.
- Bedient, P. B., Huber, W. C. & Vieux, B.E. (2012). Hydrology and Floodplain Analysis. Fifth edition. Prentice-Hall. USA.
- Campos, A. D. F. (1998). Procesos del ciclo hidrológico. Tercera edición. Universitaria Potosina. San Luis Potosí, México:529p.
- Comisión Federal de Electricidad (CFE). (1981). Manual de diseño de obras civiles, Hidrotécnica. A.1.5 Relación entre precipitación y escurrimiento. Instituto de Investigaciones eléctricas, México.
- Comisión Federal de Electricidad (CFE). (2015). Tablas elevaciones-capacidades de 5 presas de almacenamiento. Información obtenida por medio de un oficio dirigido a la Subdirección de generación con fecha 14 de mayo de 2015.
- Chow, V. T. (1964). Handbook of Applied Hydrology. McGRAW-HILL. New York, USA.
- Chow V. T., Maidment D. R., & Mays L. W. (1994). Hidrología aplicada. McGRAW-HILL. Santafé de Bogotá, Colombia: 584 p.

- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). (2012). Atlas del agua en México. México, D. F. Disponible en <http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Noticias/SGP-36-12.pdf> [Último acceso: 28 de mayo de 2015]
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). (2014). Banco Nacional de Aguas Superficiales BANDAS. Información de los registros de escurrimiento 2007-2011 de la estación hidrométrica El Espinal. Disponible en <http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Contenido/Documentos/Portada%20BANDAS.htm> [Último acceso: 05 de diciembre de 2014]
- Creager, W. P., Justin, J. D. W., & Hinds, J. (1945). Engineering for dams. General design. Vol. I. New York: John Wiley and Sons.
- Estación de recepción México Nueva Generación (ERMEX NG). (2015). Información disponible en <http://ermexnuevageneracion.blogspot.mx/p/productos-disponibles-de-spot-6-en-la.html> [Último acceso: 16 de junio de 2015]
- Estación de recepción México Nueva Generación (ERMEX NG). & Colegio de Postgraduados (CP). (2015). Imágenes obtenidas a través de un gestor por medio de 11un oficio con fecha 02 de septiembre de 2014.
- Environmental Systems Research (ESRI). (2012). Arc View GIS. Versión 10.1.
- Figueroa-Jáuregui M. L., Ibáñez-Castillo. L. A., Arteaga-Ramírez. R., Arellano-Monterrosas J. L. & Vázquez-Peña M. (2011) Cambio de uso de suelo en la cuenca de San Cristobal de las Casas, México. *Agrociencia* 45. 531-544.
- García, O. J. A., Gutiérrez, C. G., Juan, P. I. & Balderas P. M. A., (2011). . Cambio de uso de suelo en una microcuenca del altiplano mexicano. *Redalyc*, 53-54. 125-135.
- Garnica, P. R. J., & Alcántara, A. I. (2004). Riesgos por inundación asociados a eventos de precipitación extraordinaria en el curso bajo del río Tecolutla, Veracruz. *Investigaciones Geográficas*, 55, 23-45.
- Gaytán, R., de Anda, J., & Nelson, J. (2008). Computation of changes in the run-off regimen of the Lake Santa Anna watershed (Zacatecas, México). *Lake & Reservoirs: Research and Management*, 13, 155-167.
- Henríquez, R. C. & Azócar, G. G. (2007). Propuesta de planificación territorial y evaluación de impacto ambiental. *Scripta Nova, Revista electrónica de geografía y ciencias sociales*, XI, 245 (41).
- IRENAT. (2002). Empleo del Modelo SWAT para Generar Alternativas de Manejo en la Cuenca del Río Laja, Guanajuato. México.

- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). (2014_a). Modelo de elevación digital con resolución 15m. Descargado por medio de un polígono con coordenadas extremas. Disponible en <http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/datosrelieve/continental/descarga.aspx> [Último acceso: 16 de agosto de 2014]
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). (2014_b). Carta geológica y edafológica 1:250000 en formato digital, recorte del área de estudio. Información obtenida directamente de las oficinas del INEGI en el Estado de México.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). (2015_a). Aspectos técnicos de imágenes SPOT. Disponible en http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/imgpercepcion/imgsatelite/doc/aspectos_tecnicos_de_imagenes_spot.pdf [Último acceso: 14 de abril de 2015]
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). (2015_b). Censo de población y vivienda. Disponible en <http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/proyectos/estadistica/default.aspx> [Último acceso: 10 de octubre de 2015]
- Mather, M. P. & Koch, M. (2011). Computer processing of remotely-sensed images, an introduction. Fourth edition. Wiley-Blackwell. USA. 460p.
- Maya, Y., Lacaze B., Monteforte, M., & Passini, M.-F. (2004). Análisis de imágenes SPOT: erosión en la región montañosa del sur de la península de Baja California, México. *TERRA Latinoamericana*, 22(1), 23-34.
- Mena, S. (2010). Evolución de la Dinámica de los escurrimientos en zonas de alta montaña: caso del volcán Antisana. Tesis de licenciatura. Facultad de Ingeniería civil y ambiental. Escuela Politécnica Nacional.
- Méndez A. B. (2005). Aplicación hidrológica de los radares meteorológicos. Tesis de doctorado. Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional Autónoma de México. México.
- Meyer, W. B. & Turner, B. L. II. (1998). *Changes and Land Cover: A Global Perspective*. Cambridge University Press, 537pp.
- Moriasi, D.N., J.G. Arnold, M.W. Van Liew, R.L. Bingner, R.D. Harmel, T.L. Veith (2007). Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations. *American Society of Agricultural and Biological Engineers*. 50(3): 885–900.

- Nash, J. E., & Sutcliffe, J. V. (1970). River flow forecasting through conceptual models part I - A discussion of principles. *Journal of Hydrology*, 10, 282-290.
- Natural Resources Canada. (2015). Fundamentals of Remote Sensing. Disponible en https://www.nrcan.gc.ca/sites/www.nrcan.gc.ca/files/earthsciences/pdf/resource/tutor/fundam/pdf/fundamentals_e.pdf [Último acceso: 10 de junio de 2015]
- Paegelow, M., Camacho, O. M. & Menor, T. J. (2003). Cadenas de Markov, evaluación multicriterio y evaluación multiobjetivo para la modelización prospectiva del paisaje. *GeoFocus*, 3, 22-44.
- Pereyra, D. D., Pérez, S. A. & Salas, O. M. R. (2010). "Hidrología". En. Florescano E., Ortiz E. J. (coords.). Capítulo en atlas del patrimonio natural, histórico, cultural de Veracruz, tomo I. Gobierno del estado de Veracruz-Universidad Veracruzana. 146p.
- Rojas Sigala, D., & González Pérez, M. G. (2015). Incertidumbre en los modelos hidrológicos y planeación de obras hidráulicas en México. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, 36(2), 69-83.
- Salas, S. M. A., & Jiménez, E. M. (2007). Inundaciones, Serie fascículos s/n. Centro Nacional de Prevención de Desastre (CENAPRED). Disponible en <http://www.cenapred.unam.mx/es/Publicaciones/archivos/3FASCCULOINUNDACIONES.PDF> [Último acceso: 21 de diciembre de 2014]
- Sandoval, V. S. G. (2009). Análisis del proceso de cambio de uso y cobertura de suelo en la expansión urbana del Gran Valparaíso, su evolución y escenarios futuros. Tesis de licenciatura. Facultad de arquitectura y urbanismo. Escuela de geografía. Universidad de Chile. Santiago Chile.
- Servicio Meteorológico Nacional (SMN). (2014). Registros de precipitación diaria en intervalos de 10 min de 3 estaciones automáticas para el periodo 2008-2010. Información obtenida por medio de un oficio dirigido al SMN con fecha 07 de octubre de 2014.
- Servicio Meteorológico Nacional (SMN). (2015a). Registros de precipitación diaria de 12 estaciones climatológicas para el año 2009. Disponible en http://smn.cna.gob.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=42&Itemid=75 [Último acceso: 25 de junio de 2015]
- Servicio Meteorológico Nacional (SMN). (2015b). Disponible en http://smn.cna.gob.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=18&Itemid=81 [Último acceso: 18 de noviembre de 2015]

- Sobrino J. A. (2000). Teledetección. Universitat de València. AECI. España. 355p.
- Spot Image. (2005). Programación de los satélites Spot; Un servicio a medida. Fichas Técnicas Spot. Disponible en http://www2.geo-airbusds.com/files/pmedia/public/r2000_9_programacionsatelitesspot_esp_sept2010.pdf [Último acceso: 21 de septiembre de 2015]
- Secretaría de Recursos Hidráulicos (SRH). (1971). Boletín hidrológico núm. 42, Región hidrológica No. 27, Tuxpan-Nautla, Tomo I, Datos generales, crecientes, envoltantes de gastos máximos y áreas de cuenca. México, D. F.
- Tejeda, M. A. (2011). Inundaciones 2010 en el estado de Veracruz. Consejo Veracruzano de Investigación Científica y Desarrollo Tecnológico (COVECYT), Veracruz, México. Disponible en <http://peccuv.mx/wp-content/uploads/pdf/libroinundaciones%202010%20en%20Veracruz.pdf> [Último acceso: 26 de julio de 2014]
- Ünsalan C. & Boyer K .L. (2011). Multispectral satellite Image Understanding: From land classification to building and road detection. Springer. New York. 186 p.
- United States Army Corps of Engineers (USACE). (2013_a). Geospatial Hydrologic Modeling Extension HEC-GeoHMS. User's Manual. Davis C A. Disponible en http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-geohms/documentation/HEC-GeoHMS_Users_Manual_10.1.pdf [Último acceso: 10 de junio de 2014]
- United States Army Corps of Engineers (USACE). (2013_b). Hydrologic modeling system HEC-HMS: Technical reference manual. Washington DC. Disponible en http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-hms/documentation/HEC-HMS_Release_Notes_4.0.pdf [Último acceso: 10 de junio de 2014]
- United States Army Corps of Engineers (USACE). (2014_a). Geospatial Hydrologic Modeling Extension HEC-GeoHMS (Versión 10.1) . Disponible en <http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-geohms/> [Último acceso: 10 de junio de 2014]
- United States Army Corps of Engineers (USACE). (2014_b). Hydrologic modeling system HEC-HMS (Versión 4.0) . Disponible en <http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-hms/> [Último acceso: 10 de junio de 2014]
- Valdez, L. R. J., González, G. M. de J. & De los Santos, P. H. M. (2006). Estimación de Cobertura Arbórea Mediante Imágenes Satelitales Multiespectrales de Alta resolución. Agrociencia. 40 (3), 383-394.

- Vargas-Castañeda, G., Ibáñez- Castillo, L. A., & Arteaga-Ramírez, R. (2015). Development, classification and trends in rainfall-runoff modeling. *Ingeniería Agrícola y Biosistemas*, 7(1), 5-21.
- Wang, R., & Kalin, L. (2010). Modelling effects of land use/cover changes under limited data. *ECOHYDROLOGY*, 4, 265-276.

8. ANEXOS

Anexo 1. Hidrograma de salida observado en la estación El Espinal para el evento del 20 de septiembre de 2009 al 06 de octubre de 2009, en intervalos de una hora.

Fecha	Hora	Gasto (m ³ /s)	Fecha	Hora	Gasto (m ³ /s)
15/09/2009	08:00:00 a. m.	328.17	17/09/2009	10:00:00 a. m.	217.93
	09:00:00 a. m.	329.93		11:00:00 a. m.	227.27
	10:00:00 a. m.	307.22		12:00:00 p. m.	236.61
	11:00:00 a. m.	295.68		01:00:00 p. m.	238.70
	12:00:00 p. m.	284.14		02:00:00 p. m.	240.80
	01:00:00 p. m.	275.79		03:00:00 p. m.	242.90
	02:00:00 p. m.	267.43		04:00:00 p. m.	244.99
	03:00:00 p. m.	259.07		05:00:00 p. m.	249.67
	04:00:00 p. m.	250.72		06:00:00 p. m.	254.35
	05:00:00 p. m.	252.29		07:00:00 p. m.	259.02
	06:00:00 p. m.	253.86		08:00:00 p. m.	263.70
	07:00:00 p. m.	255.44		09:00:00 p. m.	268.37
	08:00:00 p. m.	257.01		10:00:00 p. m.	273.05
	09:00:00 p. m.	258.59		11:00:00 p. m.	277.73
16/09/2009	10:00:00 p. m.	260.16	18/09/2009	12:00:00 a. m.	282.40
	11:00:00 p. m.	261.74		01:00:00 a. m.	287.08
	12:00:00 a. m.	263.31		02:00:00 a. m.	291.76
	01:00:00 a. m.	264.88		03:00:00 a. m.	296.43
	02:00:00 a. m.	266.46		04:00:00 a. m.	301.11
	03:00:00 a. m.	268.03		05:00:00 a. m.	305.78
	04:00:00 a. m.	269.61		06:00:00 a. m.	310.46
	05:00:00 a. m.	271.18		07:00:00 a. m.	315.14
	06:00:00 a. m.	272.76		08:00:00 a. m.	319.81
	07:00:00 a. m.	274.33		09:00:00 a. m.	310.63
	08:00:00 a. m.	275.90		10:00:00 a. m.	303.83
	09:00:00 a. m.	259.50		11:00:00 a. m.	295.59
	10:00:00 a. m.	256.55		12:00:00 p. m.	287.35
	11:00:00 a. m.	250.77		01:00:00 p. m.	283.41
	12:00:00 p. m.	244.99		02:00:00 p. m.	279.47
	01:00:00 p. m.	242.21		03:00:00 p. m.	275.54
	02:00:00 p. m.	239.43		04:00:00 p. m.	271.60
	03:00:00 p. m.	236.64		05:00:00 p. m.	285.29
	04:00:00 p. m.	233.86		06:00:00 p. m.	298.98
	05:00:00 p. m.	232.96		07:00:00 p. m.	312.67
	06:00:00 p. m.	232.07		08:00:00 p. m.	326.37
	07:00:00 p. m.	231.17		09:00:00 p. m.	340.06
	08:00:00 p. m.	230.27		10:00:00 p. m.	353.75
17/09/2009	09:00:00 p. m.	229.37	19/09/2009	11:00:00 p. m.	367.44
	10:00:00 p. m.	228.48		12:00:00 a. m.	381.14
	11:00:00 p. m.	227.58		01:00:00 a. m.	394.83
	12:00:00 a. m.	226.68		02:00:00 a. m.	408.52
	01:00:00 a. m.	225.78		03:00:00 a. m.	422.21
	02:00:00 a. m.	224.89		04:00:00 a. m.	435.91
	03:00:00 a. m.	223.99		05:00:00 a. m.	449.60
	04:00:00 a. m.	223.09		06:00:00 a. m.	463.29
	05:00:00 a. m.	222.19		07:00:00 a. m.	476.98
	06:00:00 a. m.	221.30		08:00:00 a. m.	490.67
	07:00:00 a. m.	220.40		09:00:00 a. m.	479.35
	08:00:00 a. m.	219.50		10:00:00 a. m.	469.70
	09:00:00 a. m.	195.68		11:00:00 a. m.	446.75

Fecha	Hora	Gasto (m ³ /s)	Fecha	Hora	Gasto (m ³ /s)
19/09/2009	12:00:00 p. m.	423.79	21/09/2009	05:00:00 p. m.	155.57
	01:00:00 p. m.	409.25		06:00:00 p. m.	158.42
	02:00:00 p. m.	394.71		07:00:00 p. m.	161.26
	03:00:00 p. m.	380.18		08:00:00 p. m.	164.10
	04:00:00 p. m.	365.64		09:00:00 p. m.	166.95
	05:00:00 p. m.	359.71		10:00:00 p. m.	169.79
	06:00:00 p. m.	353.77		11:00:00 p. m.	172.63
	07:00:00 p. m.	347.84	22/09/2009	12:00:00 a. m.	175.48
	08:00:00 p. m.	341.91		01:00:00 a. m.	178.32
	09:00:00 p. m.	335.98		02:00:00 a. m.	181.16
	10:00:00 p. m.	330.05		03:00:00 a. m.	184.01
	11:00:00 p. m.	324.12		04:00:00 a. m.	186.85
20/09/2009	12:00:00 a. m.	318.18		05:00:00 a. m.	189.69
	01:00:00 a. m.	312.25		06:00:00 a. m.	192.54
	02:00:00 a. m.	306.32		07:00:00 a. m.	195.38
	03:00:00 a. m.	300.39		08:00:00 a. m.	198.22
	04:00:00 a. m.	294.46		09:00:00 a. m.	188.68
	05:00:00 a. m.	288.52		10:00:00 a. m.	193.32
	06:00:00 a. m.	282.59		11:00:00 a. m.	188.73
	07:00:00 a. m.	276.66		12:00:00 p. m.	184.13
	08:00:00 a. m.	270.73		01:00:00 p. m.	178.77
	09:00:00 a. m.	250.72		02:00:00 p. m.	173.40
	10:00:00 a. m.	256.55		03:00:00 p. m.	168.04
	11:00:00 a. m.	252.19		04:00:00 p. m.	162.67
	12:00:00 p. m.	247.84		05:00:00 p. m.	163.51
	01:00:00 p. m.	247.13		06:00:00 p. m.	164.35
	02:00:00 p. m.	246.42		07:00:00 p. m.	165.19
	03:00:00 p. m.	245.70		08:00:00 p. m.	166.03
	04:00:00 p. m.	244.99		09:00:00 p. m.	166.87
	05:00:00 p. m.	240.21		10:00:00 p. m.	167.71
	06:00:00 p. m.	235.43		11:00:00 p. m.	168.55
	07:00:00 p. m.	230.64	23/09/2009	12:00:00 a. m.	169.39
	08:00:00 p. m.	225.86		01:00:00 a. m.	170.23
	09:00:00 p. m.	221.08		02:00:00 a. m.	171.07
	10:00:00 p. m.	216.29		03:00:00 a. m.	171.90
	11:00:00 p. m.	211.51		04:00:00 a. m.	172.74
21/09/2009	12:00:00 a. m.	206.73		05:00:00 a. m.	173.58
	01:00:00 a. m.	201.95		06:00:00 a. m.	174.42
	02:00:00 a. m.	197.16		07:00:00 a. m.	175.26
	03:00:00 a. m.	192.38		08:00:00 a. m.	176.10
	04:00:00 a. m.	187.60		09:00:00 a. m.	171.00
	05:00:00 a. m.	182.81		10:00:00 a. m.	179.67
	06:00:00 a. m.	178.03		11:00:00 a. m.	179.67
	07:00:00 a. m.	173.25		12:00:00 p. m.	179.67
	08:00:00 a. m.	168.46		01:00:00 p. m.	180.22
	09:00:00 a. m.	175.29		02:00:00 p. m.	180.78
	10:00:00 a. m.	168.46		03:00:00 p. m.	181.33
	11:00:00 a. m.	166.60		04:00:00 p. m.	181.89
	12:00:00 p. m.	164.73		05:00:00 p. m.	294.42
	01:00:00 p. m.	161.73		06:00:00 p. m.	406.96
	02:00:00 p. m.	158.73		07:00:00 p. m.	519.50
	03:00:00 p. m.	155.73		08:00:00 p. m.	632.03
	04:00:00 p. m.	152.73		09:00:00 p. m.	744.57

Fecha	Hora	Gasto (m³/s)	Fecha	Hora	Gasto (m³/s)
23/09/2009	10:00:00 p. m.	857.10	26/09/2009	02:00:00 a. m.	1523.05
	11:00:00 p. m.	969.64		03:00:00 a. m.	1689.26
24/09/2009	12:00:00 a. m.	765.50		04:00:00 a. m.	1855.46
	01:00:00 a. m.	927.29		05:00:00 a. m.	2021.67
	02:00:00 a. m.	1089.08		06:00:00 a. m.	2187.87
	03:00:00 a. m.	1250.88		07:00:00 a. m.	2354.08
	04:00:00 a. m.	1412.67		08:00:00 a. m.	2429.16
	05:00:00 a. m.	1574.46		09:00:00 a. m.	2292.86
	06:00:00 a. m.	1736.25		10:00:00 a. m.	2292.86
	07:00:00 a. m.	1898.04		11:00:00 a. m.	2317.20
	08:00:00 a. m.	2059.83		12:00:00 p. m.	2232.84
	09:00:00 a. m.	2545.13		01:00:00 p. m.	2174.01
	10:00:00 a. m.	2817.68		02:00:00 p. m.	2116.34
	11:00:00 a. m.	2889.10		03:00:00 p. m.	1950.23
	12:00:00 p. m.	2889.10		04:00:00 p. m.	1950.23
	01:00:00 p. m.	2961.88		05:00:00 p. m.	1824.54
	02:00:00 p. m.	2961.88		06:00:00 p. m.	1824.54
	03:00:00 p. m.	2545.13		07:00:00 p. m.	1794.09
	04:00:00 p. m.	2545.13		08:00:00 p. m.	1724.53
	05:00:00 p. m.	2480.20		09:00:00 p. m.	1724.53
	06:00:00 p. m.	2292.86		10:00:00 p. m.	1647.54
	07:00:00 p. m.	2116.34		11:00:00 p. m.	1466.33
	08:00:00 p. m.	1600.74	27/09/2009	12:00:00 a. m.	1405.42
	09:00:00 p. m.	1600.74		01:00:00 a. m.	1344.51
	10:00:00 p. m.	1554.95		02:00:00 a. m.	1283.60
	11:00:00 p. m.	1223.08		03:00:00 a. m.	1222.69
25/09/2009	12:00:00 a. m.	1166.72		04:00:00 a. m.	1161.78
	01:00:00 a. m.	1110.36		05:00:00 a. m.	1100.87
	02:00:00 a. m.	1054.00		06:00:00 a. m.	1039.96
	03:00:00 a. m.	997.64		07:00:00 a. m.	979.05
	04:00:00 a. m.	941.28		08:00:00 a. m.	959.98
	05:00:00 a. m.	884.92		09:00:00 a. m.	922.69
	06:00:00 a. m.	828.56		10:00:00 a. m.	874.68
	07:00:00 a. m.	800.68		11:00:00 a. m.	905.38
	08:00:00 a. m.	916.59		12:00:00 p. m.	795.19
	09:00:00 a. m.	1092.49		01:00:00 p. m.	773.51
	10:00:00 a. m.	1208.02		02:00:00 p. m.	752.28
	11:00:00 a. m.	1381.55		03:00:00 p. m.	731.49
	12:00:00 p. m.	1300.50		04:00:00 p. m.	681.40
	01:00:00 p. m.	1466.33		05:00:00 p. m.	647.89
	02:00:00 p. m.	1794.09		06:00:00 p. m.	657.34
	03:00:00 p. m.	1897.10		07:00:00 p. m.	671.69
	04:00:00 p. m.	1845.06		08:00:00 p. m.	711.13
	05:00:00 p. m.	1845.06		09:00:00 p. m.	747.04
	06:00:00 p. m.	1845.06		10:00:00 p. m.	733.88
	07:00:00 p. m.	1794.09		11:00:00 p. m.	720.71
	08:00:00 p. m.	1744.20	28/09/2009	12:00:00 a. m.	707.54
	09:00:00 p. m.	1647.54		01:00:00 a. m.	694.37
	10:00:00 p. m.	1574.87		02:00:00 a. m.	681.20
	11:00:00 p. m.	1502.19		03:00:00 a. m.	668.04
				04:00:00 a. m.	654.87
26/09/2009	12:00:00 a. m.	1429.52		05:00:00 a. m.	641.70
	01:00:00 a. m.	1356.85			

Fecha	Hora	Gasto (m ³ /s)	Fecha	Hora	Gasto (m ³ /s)
28/09/2009	06:00:00 a. m.	628.53	30/09/2009	11:00:00 a. m.	461.07
	07:00:00 a. m.	615.37		12:00:00 p. m.	461.07
	08:00:00 a. m.	602.20		01:00:00 p. m.	458.36
	09:00:00 a. m.	615.64		02:00:00 p. m.	455.66
	10:00:00 a. m.	546.46		03:00:00 p. m.	452.95
	11:00:00 a. m.	603.06		04:00:00 p. m.	450.25
	12:00:00 p. m.	518.10		05:00:00 p. m.	444.84
	01:00:00 p. m.	518.10		06:00:00 p. m.	439.42
	02:00:00 p. m.	526.09		07:00:00 p. m.	434.01
	03:00:00 p. m.	538.24		08:00:00 p. m.	428.59
	04:00:00 p. m.	550.60		09:00:00 p. m.	423.18
	05:00:00 p. m.	548.19		10:00:00 p. m.	417.76
	06:00:00 p. m.	545.78		11:00:00 p. m.	412.35
	07:00:00 p. m.	543.37	01/10/2009	12:00:00 a. m.	406.93
	08:00:00 p. m.	540.96		01:00:00 a. m.	401.52
	09:00:00 p. m.	538.55		02:00:00 a. m.	396.10
	10:00:00 p. m.	536.14		03:00:00 a. m.	390.69
	11:00:00 p. m.	533.73		04:00:00 a. m.	385.27
29/09/2009	12:00:00 a. m.	531.32		05:00:00 a. m.	379.86
	01:00:00 a. m.	528.91		06:00:00 a. m.	374.44
	02:00:00 a. m.	526.50		07:00:00 a. m.	369.03
	03:00:00 a. m.	524.09		08:00:00 a. m.	363.61
	04:00:00 a. m.	521.68		09:00:00 a. m.	337.62
	05:00:00 a. m.	519.27		10:00:00 a. m.	329.07
	06:00:00 a. m.	516.86		11:00:00 a. m.	327.66
	07:00:00 a. m.	514.45		12:00:00 p. m.	326.25
	08:00:00 a. m.	512.04		01:00:00 p. m.	324.86
	09:00:00 a. m.	509.63		02:00:00 p. m.	323.46
	10:00:00 a. m.	507.22		03:00:00 p. m.	322.07
	11:00:00 a. m.	504.81		04:00:00 p. m.	320.68
	12:00:00 p. m.	502.40		05:00:00 p. m.	318.78
	01:00:00 p. m.	494.82		06:00:00 p. m.	316.88
	02:00:00 p. m.	487.24		07:00:00 p. m.	314.99
	03:00:00 p. m.	479.66		08:00:00 p. m.	313.09
	04:00:00 p. m.	472.08		09:00:00 p. m.	311.20
	05:00:00 p. m.	473.49		10:00:00 p. m.	309.30
	06:00:00 p. m.	474.90		11:00:00 p. m.	307.41
30/09/2009	07:00:00 p. m.	476.32	02/10/2009	12:00:00 a. m.	305.51
	08:00:00 p. m.	477.73		01:00:00 a. m.	303.62
	09:00:00 p. m.	479.14		02:00:00 a. m.	301.72
	10:00:00 p. m.	480.56		03:00:00 a. m.	299.83
	11:00:00 p. m.	481.97		04:00:00 a. m.	297.93
	12:00:00 a. m.	483.38		05:00:00 a. m.	296.04
	01:00:00 a. m.	484.80		06:00:00 a. m.	294.14
	02:00:00 a. m.	486.21		07:00:00 a. m.	292.24
	03:00:00 a. m.	487.62		08:00:00 a. m.	290.35
	04:00:00 a. m.	489.04		09:00:00 a. m.	283.62
	05:00:00 a. m.	490.45		10:00:00 a. m.	278.60
	06:00:00 a. m.	491.86		11:00:00 a. m.	277.36
	07:00:00 a. m.	493.27		12:00:00 p. m.	276.12
	08:00:00 a. m.	494.69		01:00:00 p. m.	274.28
	09:00:00 a. m.	508.34		02:00:00 p. m.	272.44
	10:00:00 a. m.	521.99		03:00:00 p. m.	270.60

Fecha	Hora	Gasto (m ³ /s)	Fecha	Hora	Gasto (m ³ /s)
02/10/2009	04:00:00 p. m.	268.76	04/10/2009	09:00:00 p. m.	247.74
	05:00:00 p. m.	268.61		10:00:00 p. m.	247.32
	06:00:00 p. m.	268.46		11:00:00 p. m.	246.89
	07:00:00 p. m.	268.31	05/10/2009	12:00:00 a. m.	246.47
	08:00:00 p. m.	268.16		01:00:00 a. m.	246.04
	09:00:00 p. m.	268.01		02:00:00 a. m.	245.61
	10:00:00 p. m.	267.86		03:00:00 a. m.	245.19
	11:00:00 p. m.	267.71		04:00:00 a. m.	244.76
03/10/2009	12:00:00 a. m.	267.56		05:00:00 a. m.	244.33
	01:00:00 a. m.	267.40		06:00:00 a. m.	243.91
	02:00:00 a. m.	267.25		07:00:00 a. m.	243.48
	03:00:00 a. m.	267.10		08:00:00 a. m.	243.05
	04:00:00 a. m.	266.95		09:00:00 a. m.	243.05
	05:00:00 a. m.	266.80		10:00:00 a. m.	240.81
	06:00:00 a. m.	266.65		11:00:00 a. m.	239.70
	07:00:00 a. m.	266.50		12:00:00 p. m.	238.59
	08:00:00 a. m.	266.35		01:00:00 p. m.	238.59
	09:00:00 a. m.	374.25		02:00:00 p. m.	238.59
	10:00:00 a. m.	266.35		03:00:00 p. m.	238.59
	11:00:00 a. m.	265.15		04:00:00 p. m.	238.59
	12:00:00 p. m.	263.94		05:00:00 p. m.	237.11
	01:00:00 p. m.	263.35		06:00:00 p. m.	235.63
	02:00:00 p. m.	262.75		07:00:00 p. m.	234.15
	03:00:00 p. m.	262.16		08:00:00 p. m.	232.67
	04:00:00 p. m.	261.56		09:00:00 p. m.	231.19
	05:00:00 p. m.	260.62		10:00:00 p. m.	229.71
	06:00:00 p. m.	259.68		11:00:00 p. m.	228.23
	07:00:00 p. m.	258.74	06/10/2009	12:00:00 a. m.	226.75
	08:00:00 p. m.	257.80		01:00:00 a. m.	225.28
	09:00:00 p. m.	256.86		02:00:00 a. m.	223.80
	10:00:00 p. m.	255.92		03:00:00 a. m.	222.32
	11:00:00 p. m.	254.98		04:00:00 a. m.	220.84
04/10/2009	12:00:00 a. m.	254.04		05:00:00 a. m.	219.36
	01:00:00 a. m.	253.11		06:00:00 a. m.	217.88
	02:00:00 a. m.	252.17		07:00:00 a. m.	216.40
	03:00:00 a. m.	251.23		08:00:00 a. m.	214.92
	04:00:00 a. m.	250.29		09:00:00 a. m.	232.00
	05:00:00 a. m.	249.35		10:00:00 a. m.	214.92
	06:00:00 a. m.	248.41		11:00:00 a. m.	217.08
	07:00:00 a. m.	247.47		12:00:00 p. m.	219.24
	08:00:00 a. m.	246.53		01:00:00 p. m.	217.18
	09:00:00 a. m.	246.53		02:00:00 p. m.	215.13
	10:00:00 a. m.	246.53		03:00:00 p. m.	213.08
	11:00:00 a. m.	250.52		04:00:00 p. m.	211.03
	12:00:00 p. m.	254.50			
	01:00:00 p. m.	253.34			
	02:00:00 p. m.	252.19			
	03:00:00 p. m.	251.03			
	04:00:00 p. m.	249.88			
	05:00:00 p. m.	249.45			
	06:00:00 p. m.	249.02			
	07:00:00 p. m.	248.60			
	08:00:00 p. m.	248.17			

Anexo 2. Hidrograma de salida observado en la estación El Espinal para el evento del 12 al 22 de octubre de 2009, en intervalos de una hora.

Fecha	Hora	Gasto (m ³ /s)	Fecha	Hora	Gasto (m ³ /s)
12/10/2008	12:00:00 a. m.	193.40	14/10/2008	02:00:00 a. m.	156.80
	01:00:00 a. m.	193.17		03:00:00 a. m.	157.31
	02:00:00 a. m.	192.93		04:00:00 a. m.	157.81
	03:00:00 a. m.	192.69		05:00:00 a. m.	158.32
	04:00:00 a. m.	192.46		06:00:00 a. m.	158.82
	05:00:00 a. m.	192.22		07:00:00 a. m.	159.32
	06:00:00 a. m.	191.98		08:00:00 a. m.	159.83
	07:00:00 a. m.	191.74		09:00:00 a. m.	158.19
	08:00:00 a. m.	191.51		10:00:00 a. m.	156.57
	09:00:00 a. m.	173.38		11:00:00 a. m.	156.57
	10:00:00 a. m.	119.71		12:00:00 p. m.	156.57
	11:00:00 a. m.	119.71		01:00:00 p. m.	156.16
	12:00:00 p. m.	119.71		02:00:00 p. m.	155.76
	01:00:00 p. m.	128.52		03:00:00 p. m.	155.36
	02:00:00 p. m.	137.33		04:00:00 p. m.	154.96
	03:00:00 p. m.	146.14		05:00:00 p. m.	152.79
	04:00:00 p. m.	154.96		06:00:00 p. m.	150.63
	05:00:00 p. m.	152.52		07:00:00 p. m.	148.47
	06:00:00 p. m.	150.09		08:00:00 p. m.	146.31
	07:00:00 p. m.	147.66		09:00:00 p. m.	144.15
	08:00:00 p. m.	145.22		10:00:00 p. m.	141.98
	09:00:00 p. m.	142.79		11:00:00 p. m.	139.82
	10:00:00 p. m.	140.36	15/10/2008	12:00:00 a. m.	137.66
	11:00:00 p. m.	137.92		01:00:00 a. m.	135.50
13/10/2008	12:00:00 a. m.	135.49		02:00:00 a. m.	133.34
	01:00:00 a. m.	133.06		03:00:00 a. m.	131.18
	02:00:00 a. m.	130.63		04:00:00 a. m.	129.01
	03:00:00 a. m.	128.19		05:00:00 a. m.	126.85
	04:00:00 a. m.	125.76		06:00:00 a. m.	124.69
	05:00:00 a. m.	123.33		07:00:00 a. m.	122.53
	06:00:00 a. m.	120.89		08:00:00 a. m.	120.37
	07:00:00 a. m.	118.46		09:00:00 a. m.	120.37
	08:00:00 a. m.	116.03		10:00:00 a. m.	120.37
	09:00:00 a. m.	116.03		11:00:00 a. m.	136.86
	10:00:00 a. m.	116.03		12:00:00 p. m.	153.36
	11:00:00 a. m.	116.03		01:00:00 p. m.	152.96
	12:00:00 p. m.	116.03		02:00:00 p. m.	152.56
	01:00:00 p. m.	124.96		03:00:00 p. m.	152.17
	02:00:00 p. m.	133.90		04:00:00 p. m.	151.77
	03:00:00 p. m.	142.83		05:00:00 p. m.	151.57
	04:00:00 p. m.	151.77		06:00:00 p. m.	151.38
	05:00:00 p. m.	152.27		07:00:00 p. m.	151.18
	06:00:00 p. m.	152.78		08:00:00 p. m.	150.99
	07:00:00 p. m.	153.28		09:00:00 p. m.	150.79
	08:00:00 p. m.	153.78		10:00:00 p. m.	150.59
	09:00:00 p. m.	154.29		11:00:00 p. m.	150.40
	10:00:00 p. m.	154.79	16/10/2008	12:00:00 a. m.	150.20
	11:00:00 p. m.	155.29		01:00:00 a. m.	150.01
14/10/2008	12:00:00 a. m.	155.80		02:00:00 a. m.	149.81
	01:00:00 a. m.	156.30		03:00:00 a. m.	149.61

Fecha	Hora	Gasto (m ³ /s)	Fecha	Hora	Gasto (m ³ /s)
16/10/2008	04:00:00 a. m.	149.42	18/10/2008	08:00:00 a. m.	3054.24
	05:00:00 a. m.	149.22		09:00:00 a. m.	4765.01
	06:00:00 a. m.	149.03		10:00:00 a. m.	3744.04
	07:00:00 a. m.	148.83		11:00:00 a. m.	3744.04
	08:00:00 a. m.	148.63		12:00:00 p. m.	2897.96
	09:00:00 a. m.	147.09		01:00:00 p. m.	2747.81
	10:00:00 a. m.	103.11		02:00:00 p. m.	2603.62
	11:00:00 a. m.	103.11		03:00:00 p. m.	2205.22
	12:00:00 p. m.	103.11		04:00:00 p. m.	1800.74
	01:00:00 p. m.	110.75		05:00:00 p. m.	1645.76
	02:00:00 p. m.	118.39		06:00:00 p. m.	1747.90
	03:00:00 p. m.	126.04		07:00:00 p. m.	1645.76
	04:00:00 p. m.	133.68		08:00:00 p. m.	1645.76
	05:00:00 p. m.	135.25		09:00:00 p. m.	1583.38
	06:00:00 p. m.	136.83		10:00:00 p. m.	1520.99
	07:00:00 p. m.	138.40		11:00:00 p. m.	1458.61
	08:00:00 p. m.	139.97	19/10/2008	12:00:00 a. m.	1396.22
	09:00:00 p. m.	141.55		01:00:00 a. m.	1333.83
	10:00:00 p. m.	143.12		02:00:00 a. m.	1271.45
	11:00:00 p. m.	144.69		03:00:00 a. m.	1209.06
17/10/2008	12:00:00 a. m.	149.70		04:00:00 a. m.	1146.68
	01:00:00 a. m.	150.84		05:00:00 a. m.	1084.29
	02:00:00 a. m.	151.98		06:00:00 a. m.	1021.91
	03:00:00 a. m.	153.13		07:00:00 a. m.	959.52
	04:00:00 a. m.	154.27		08:00:00 a. m.	897.14
	05:00:00 a. m.	155.42		09:00:00 a. m.	878.37
	06:00:00 a. m.	156.56		10:00:00 a. m.	794.67
	07:00:00 a. m.	157.70		11:00:00 a. m.	777.69
	08:00:00 a. m.	158.85		12:00:00 p. m.	760.71
	09:00:00 a. m.	191.78		01:00:00 p. m.	734.38
	10:00:00 a. m.	252.97		02:00:00 p. m.	708.05
	11:00:00 a. m.	315.14		03:00:00 p. m.	681.72
	12:00:00 p. m.	377.32		04:00:00 p. m.	655.39
	01:00:00 p. m.	383.26		05:00:00 p. m.	644.38
	02:00:00 p. m.	389.21		06:00:00 p. m.	633.38
	03:00:00 p. m.	395.15		07:00:00 p. m.	622.37
	04:00:00 p. m.	401.09		08:00:00 p. m.	611.36
	05:00:00 p. m.	521.37		09:00:00 p. m.	600.35
	06:00:00 p. m.	641.64		10:00:00 p. m.	589.35
	07:00:00 p. m.	761.92		11:00:00 p. m.	578.34
18/10/2008	08:00:00 p. m.	882.19	20/10/2008	12:00:00 a. m.	567.33
	09:00:00 p. m.	1002.47		01:00:00 a. m.	556.32
	10:00:00 p. m.	1122.74		02:00:00 a. m.	545.32
	11:00:00 p. m.	1243.02		03:00:00 a. m.	534.31
	12:00:00 a. m.	1363.30		04:00:00 a. m.	523.30
	01:00:00 a. m.	1483.57		05:00:00 a. m.	512.30
	02:00:00 a. m.	1603.85		06:00:00 a. m.	501.29
	03:00:00 a. m.	1724.12		07:00:00 a. m.	490.28
	04:00:00 a. m.	1844.40		08:00:00 a. m.	479.27
	05:00:00 a. m.	1964.67		09:00:00 a. m.	466.51
	06:00:00 a. m.	2084.95		10:00:00 a. m.	462.68
	07:00:00 a. m.	2205.22		11:00:00 a. m.	458.88

Fecha	Hora	Gasto (m ³ /s)	Fecha	Hora	Gasto (m ³ /s)
20/10/2008	12:00:00 p. m.	455.09	22/10/2008	04:00:00 p. m.	242.31
	01:00:00 p. m.	447.73		05:00:00 p. m.	247.59
	02:00:00 p. m.	440.37		06:00:00 p. m.	252.87
	03:00:00 p. m.	433.01		07:00:00 p. m.	258.15
	04:00:00 p. m.	425.65		08:00:00 p. m.	263.43
	05:00:00 p. m.	423.13		09:00:00 p. m.	268.72
	06:00:00 p. m.	420.61		10:00:00 p. m.	274.00
	07:00:00 p. m.	418.08		11:00:00 p. m.	279.28
	08:00:00 p. m.	415.56			
	09:00:00 p. m.	413.04			
	10:00:00 p. m.	410.52			
	11:00:00 p. m.	408.00			
21/10/2008	12:00:00 a. m.	367.79			
	01:00:00 a. m.	370.13			
	02:00:00 a. m.	372.47			
	03:00:00 a. m.	374.80			
	04:00:00 a. m.	377.14			
	05:00:00 a. m.	379.48			
	06:00:00 a. m.	381.81			
	07:00:00 a. m.	384.15			
	08:00:00 a. m.	386.49			
	09:00:00 a. m.	336.14			
	10:00:00 a. m.	324.86			
	11:00:00 a. m.	317.58			
	12:00:00 p. m.	310.30			
	01:00:00 p. m.	305.09			
	02:00:00 p. m.	299.88			
	03:00:00 p. m.	294.67			
	04:00:00 p. m.	289.46			
	05:00:00 p. m.	288.23			
	06:00:00 p. m.	287.00			
	07:00:00 p. m.	285.77			
	08:00:00 p. m.	284.54			
	09:00:00 p. m.	283.31			
	10:00:00 p. m.	282.08			
	11:00:00 p. m.	280.85			
22/10/2008	12:00:00 a. m.	279.62			
	01:00:00 a. m.	278.39			
	02:00:00 a. m.	277.16			
	03:00:00 a. m.	275.93			
	04:00:00 a. m.	274.70			
	05:00:00 a. m.	273.47			
	06:00:00 a. m.	272.24			
	07:00:00 a. m.	271.01			
	08:00:00 a. m.	269.78			
	09:00:00 a. m.	317.72			
	10:00:00 a. m.	260.35			
	11:00:00 a. m.	255.78			
	12:00:00 p. m.	251.20			
	01:00:00 p. m.	248.98			
	02:00:00 p. m.	246.75			
	03:00:00 p. m.	244.53			

Anexo 3. Hietograma de la estación automática Huauchinango para el evento del 20 de septiembre al 06 de octubre de 2009.

Día	Hora	mm	Día	Hora	mm	Día	Hora	mm
15/09/2009	08:00	0	17/09/2009	10:00	0	19/09/2009	12:00	0.2
	09:00	0		11:00	0		13:00	0
	10:00	0		12:00	0		14:00	0
	11:00	0		13:00	0		15:00	0
	12:00	0.2		14:00	0		16:00	0.2
	13:00	0		15:00	0		17:00	0.4
	14:00	0		16:00	0		18:00	0
	15:00	0		17:00	3.4		19:00	0
	16:00	0		18:00	8.4		20:00	0.2
	17:00	0		19:00	3		21:00	0
	18:00	0.4		20:00	5		22:00	0
	19:00	0		21:00	1		23:00	0
	20:00	4.2		22:00	0	20/09/2009	00:00	0
	21:00	0.2		23:00	0		01:00	0
16/09/2009	22:00	2	18/09/2009	00:00	0		02:00	0
	23:00	0.4		01:00	0		03:00	0
	00:00	0		02:00	0		04:00	0
	01:00	0.4		03:00	0.2		05:00	0
	02:00	0.2		04:00	0		06:00	0
	03:00	0.2		05:00	0		07:00	0
	04:00	0.8		06:00	0		08:00	0
	05:00	0		07:00	0		09:00	0
	06:00	0		08:00	0		10:00	0
	07:00	0		09:00	0		11:00	0
	08:00	0		10:00	0		12:00	0
	09:00	0		11:00	0.2		13:00	0
	10:00	0		12:00	0		14:00	0
	11:00	0		13:00	0		15:00	0
	12:00	0.4		14:00	0		16:00	0
17/09/2009	13:00	0		15:00	0		17:00	0
	14:00	0		16:00	0		18:00	0
	15:00	0		17:00	0		19:00	0
	16:00	0		18:00	0		20:00	0
	17:00	0		19:00	0		21:00	0
	18:00	0		20:00	0		22:00	0
	19:00	0		21:00	0.4		23:00	0
	20:00	0		22:00	0	21/09/2009	00:00	0
	21:00	0		23:00	0		01:00	0
	22:00	0	19/09/2009	00:00	29.6		02:00	0
	23:00	0		01:00	19		03:00	0
	00:00	0		02:00	3		04:00	0
	01:00	0		03:00	0.6		05:00	0
	02:00	0		04:00	0		06:00	0
	03:00	0		05:00	0		07:00	0
	04:00	0		06:00	0		08:00	0
	05:00	0		07:00	0		09:00	0
	06:00	0		08:00	0		10:00	0
	07:00	0		09:00	0		11:00	0
	08:00	0		10:00	0		12:00	0.2
	09:00	0		11:00	0		13:00	0

Día	Hora	mm	Día	Hora	mm	Día	Hora	mm
21/09/2009	14:00	0	23/09/2009	21:00	0.2	26/09/2009	04:00	6.2
	15:00	0		22:00	0.2		05:00	9.4
	16:00	0		23:00	0.6		06:00	7.6
	17:00	0	24/09/2009	00:00	0.8		07:00	1.2
	18:00	0		01:00	8.2		08:00	0.6
	19:00	0		02:00	6.6		09:00	0.2
	20:00	0		03:00	3		10:00	0.4
	21:00	0		04:00	7.8		11:00	6.8
	22:00	0		05:00	8.4		12:00	1.2
	23:00	0		06:00	8.8		13:00	1.2
22/09/2009	00:00	0		07:00	6.4		14:00	0.2
	01:00	0	25/09/2009	08:00	2.4		15:00	0
	02:00	0		09:00	9.4		16:00	0
	03:00	0		10:00	3		17:00	0
	04:00	0		11:00	2		18:00	0.6
	05:00	0		12:00	1.2		19:00	0
	06:00	0		13:00	0.6		20:00	0
	07:00	0		14:00	0		21:00	0
	08:00	0		15:00	0		22:00	0
	09:00	0		16:00	0		23:00	0.2
	10:00	0		17:00	0	27/09/2009	00:00	0
	11:00	0		18:00	0		01:00	0.6
	12:00	0.2		19:00	0		02:00	0.2
	13:00	0		20:00	0		03:00	0
	14:00	0		21:00	0		04:00	0
	15:00	0		22:00	1.8		05:00	0
	16:00	0		23:00	5		06:00	0
	17:00	0	26/09/2009	00:00	0.8		07:00	0.2
	18:00	0		01:00	1.2		08:00	0
	19:00	0		02:00	0.4		09:00	0
	20:00	1.2		03:00	2.2		10:00	0
	21:00	0		04:00	1		11:00	0
	22:00	8.6		05:00	1.2		12:00	0
	23:00	5.8		06:00	1		13:00	1.6
23/09/2009	00:00	7.2		07:00	1.4		14:00	0
	01:00	3.2	25/09/2009	08:00	4.4		15:00	0
	02:00	0.6		09:00	3.4		16:00	0.6
	03:00	0.2		10:00	1.4		17:00	0
	04:00	0.4		11:00	0.2		18:00	1.8
	05:00	0		12:00	0.6		19:00	7.8
	06:00	0		13:00	0.2		20:00	0
	07:00	0		14:00	4.2		21:00	0.2
	08:00	1.2		15:00	0		22:00	4.2
	09:00	2		16:00	0.2		23:00	2.2
	10:00	4.8	26/09/2009	17:00	3	28/09/2009	00:00	3
	11:00	0.2		18:00	0.4		01:00	1.8
	12:00	5.4		19:00	0.4		02:00	0.4
	13:00	1.2		20:00	0.6		03:00	0
	14:00	0		21:00	0.6		04:00	0
	15:00	0		22:00	0.4		05:00	0
	16:00	0		23:00	0.8		06:00	0.2
	17:00	0		00:00	0.8		07:00	0
	18:00	0		01:00	1.4		08:00	0
	19:00	3.2		02:00	5.4		09:00	0
	20:00	4.8		03:00	2.8		10:00	0

Día	Hora	mm	Día	Hora	mm	Día	Hora	mm
28/09/2009	12:00	0	30/09/2009	19:00	0	03/10/2009	02:00	0
	13:00	0		20:00	0		03:00	0
	14:00	0		21:00	0		04:00	0
	15:00	0		22:00	0		05:00	0
	16:00	0		23:00	0		06:00	0
	17:00	0	01/10/2009	00:00	0		07:00	0
	18:00	0		01:00	0		08:00	0
	19:00	0		02:00	0		09:00	0
	20:00	0		03:00	0		10:00	0
	21:00	7.8		04:00	0		11:00	0
	22:00	0		05:00	0		12:00	0
	23:00	0		06:00	0		13:00	0
29/09/2009	00:00	0		07:00	0		14:00	0
	01:00	0		08:00	0		15:00	0
	02:00	0		09:00	0		16:00	0
	03:00	0		10:00	0		17:00	0
	04:00	0		11:00	0		18:00	0
	05:00	0.2		12:00	0		19:00	0
	06:00	0		13:00	0		20:00	0
	07:00	0		14:00	0		21:00	0
	08:00	0		15:00	0		22:00	0
	09:00	0		16:00	0		23:00	0
	10:00	0		17:00	0	04/10/2009	00:00	0
	11:00	0		18:00	0		01:00	0
	12:00	0		19:00	0		02:00	0
	13:00	0		20:00	0		03:00	0
	14:00	0		21:00	0		04:00	0
	15:00	0		22:00	0		05:00	0
	16:00	0		23:00	0		06:00	0
	17:00	0	02/10/2009	00:00	0		07:00	0
	18:00	0		01:00	0		08:00	0
	19:00	0		02:00	0		09:00	0
	20:00	5.8		03:00	0		10:00	0
	21:00	6.4		04:00	0		11:00	0
	22:00	6		05:00	0		12:00	0
	23:00	7.4		06:00	0		13:00	0
30/09/2009	00:00	1.6		07:00	0		14:00	0
	01:00	6.4		08:00	0		15:00	0
	02:00	4		09:00	0		16:00	0
	03:00	0		10:00	0		17:00	0
	04:00	0		11:00	0		18:00	0
	05:00	0		12:00	0		19:00	0
	06:00	0		13:00	0		20:00	0
	07:00	0		14:00	0		21:00	0
	08:00	0		15:00	0		22:00	0
	09:00	0		16:00	0		23:00	0
	10:00	0		17:00	0	05/10/2009	00:00	0
	11:00	0		18:00	0		01:00	0
	12:00	0		19:00	0		02:00	0
	13:00	0		20:00	0		03:00	0
	14:00	0		21:00	0		04:00	0
	15:00	0		22:00	0		05:00	0
	16:00	0		23:00	0		06:00	0
	17:00	0	03/10/2009	00:00	0		07:00	0
	18:00	0		01:00	0		08:00	0

Día	Hora	mm
05/10/2009	09:00	0
	10:00	0
	11:00	0
	12:00	0
	13:00	0
	14:00	0
	15:00	0
	16:00	0
	17:00	0
	18:00	0
	19:00	0
	20:00	0
	21:00	0
	22:00	0
	23:00	0
06/10/2009	00:00	0
	01:00	0
	02:00	0
	03:00	0
	04:00	0
	05:00	0
	06:00	0
	07:00	0
	08:00	0
	09:00	0
	10:00	0
	11:00	0
	12:00	0
	13:00	0
	14:00	0
	15:00	0
	16:00	0
	17:00	0
	18:00	0
	19:00	0
	20:00	0
	21:00	0
	22:00	0
	23:00	0

Anexo 4. Hietograma de la estación automática Huamantla para el evento del 20 de septiembre al 06 de octubre de 2009.

Día	Hora	mm	Día	Hora	mm	Día	Hora	mm
15/09/2009	08:00	0.51	17/09/2009	10:00	0.25	19/09/2009	12:00	0
	09:00	0.25		11:00	0.76		13:00	0
	10:00	0.51		12:00	0.51		14:00	0
	11:00	0.25		13:00	0.25		15:00	0
	12:00	0.51		14:00	0.76		16:00	0
	13:00	0.25		15:00	0.51		17:00	0
	14:00	0.51		16:00	0.25		18:00	0
	15:00	0.25		17:00	0.51		19:00	0
	16:00	0.51		18:00	0.25		20:00	0
	17:00	0.25		19:00	0		21:00	0
	18:00	0.51		20:00	0.51		22:00	0
	19:00	0.25		21:00	0.25		23:00	0
	20:00	0.51		22:00	0.51	20/09/2009	00:00	0
	21:00	0.25		23:00	0.25		01:00	0
16/09/2009	00:00	0.76	18/09/2009	00:00	0.51		02:00	0
	01:00	0.76		01:00	0.25		03:00	0
	02:00	0.76		02:00	0.51		04:00	0
	03:00	0.51		03:00	0		05:00	0
	04:00	0.76		04:00	0.25		06:00	0
	05:00	0.76		05:00	0.51		07:00	0
	06:00	0.76		06:00	0.25		08:00	0
	07:00	0.76		07:00	0		09:00	0
	08:00	0.76		08:00	0.51		10:00	0
	09:00	0.76		09:00	0.25		11:00	0
	10:00	0.76		10:00	0		12:00	0
	11:00	0.76		11:00	0.51		13:00	0
	12:00	1.01		12:00	0.25		14:00	0
	13:00	0.76		13:00	0.51		15:00	0
17/09/2009	14:00	0.51		14:00	0.25		16:00	0
	15:00	0.76	19/09/2009	15:00	0	21/09/2009	17:00	0
	16:00	0.76		16:00	0		18:00	0
	17:00	0.76		17:00	0		19:00	0
	18:00	0.76		18:00	0		20:00	0
	19:00	0.76		19:00	0		21:00	0
	20:00	0.51		20:00	0		22:00	0
	21:00	0.76		21:00	0		23:00	0
	22:00	0.25		22:00	0		00:00	0
	23:00	0.76		23:00	0		01:00	0
				00:00	0		02:00	0
				01:00	0		03:00	0
				02:00	0		04:00	0
				03:00	0		05:00	0
				04:00	0		06:00	0
				05:00	0		07:00	0
				06:00	0		08:00	0
				07:00	0		09:00	0
				08:00	0		10:00	0
				09:00	0		11:00	0
				10:00	0		12:00	0
				11:00	0		13:00	0

Día	Hora	mm	Día	Hora	mm	Día	Hora	mm
21/09/2009	14:00	0	23/09/2009	21:00	0	26/09/2009	04:00	0
	15:00	0		22:00	0		05:00	0
	16:00	0		23:00	0		06:00	0
	17:00	0	24/09/2009	00:00	0		07:00	0
	18:00	0		01:00	0		08:00	0
	19:00	0		02:00	0		09:00	0
	20:00	0		03:00	0		10:00	0
	21:00	0		04:00	0		11:00	0
	22:00	0		05:00	0.76		12:00	0
	23:00	0		06:00	0.76		13:00	0.25
22/09/2009	00:00	0		07:00	0.51		14:00	0
	01:00	0		08:00	0.25		15:00	0
	02:00	0		09:00	0.76		16:00	0.51
	03:00	0		10:00	0.51		17:00	0
	04:00	0		11:00	0.76		18:00	0.25
	05:00	0		12:00	0.25		19:00	0
	06:00	0		13:00	0.51		20:00	0.51
	07:00	0		14:00	0.25		21:00	0
	08:00	0		15:00	0.51		22:00	0
	09:00	0		16:00	0.25		23:00	0.25
	10:00	0		17:00	0	27/09/2009	00:00	0
	11:00	0		18:00	0		01:00	0.51
	12:00	0		19:00	0		02:00	0
	13:00	0		20:00	0		03:00	0
	14:00	0		21:00	0		04:00	0.25
	15:00	0		22:00	0		05:00	0.51
	16:00	0		23:00	0		06:00	0
	17:00	0	25/09/2009	00:00	0		07:00	0.25
	18:00	0		01:00	0		08:00	0
	19:00	0		02:00	0		09:00	0.51
	20:00	0		03:00	0		10:00	0.25
	21:00	0		04:00	0		11:00	0.51
	22:00	0		05:00	0.51		12:00	0
	23:00	0		06:00	0		13:00	0.25
23/09/2009	00:00	0		07:00	0		14:00	0.51
	01:00	0		08:00	0		15:00	0
	02:00	0		09:00	0		16:00	0.25
	03:00	0		10:00	0		17:00	0.51
	04:00	0		11:00	0		18:00	0
	05:00	0		12:00	0		19:00	0.25
	06:00	0		13:00	0		20:00	0.51
	07:00	0		14:00	0		21:00	0
	08:00	0		15:00	0		22:00	0.25
	09:00	0		16:00	0		23:00	0.51
	10:00	0	26/09/2009	17:00	0.25	28/09/2009	00:00	0.25
	11:00	0		18:00	0		01:00	0
	12:00	0		19:00	0.51		02:00	0.76
	13:00	0		20:00	0		03:00	0.51
	14:00	0		21:00	0		04:00	0.76
	15:00	0		22:00	0		05:00	0.76
	16:00	0		23:00	0		06:00	0.76
	17:00	0		00:00	0		07:00	0.25
	18:00	0	26/09/2009	01:00	0		08:00	0.76
	19:00	0		02:00	0		09:00	0.51
	20:00	0		03:00	0		10:00	0.25

Día	Hora	mm	Día	Hora	mm	Día	Hora	mm
28/09/2009	12:00	0.25	30/09/2009	19:00	0	03/10/2009	02:00	0
	13:00	0.51		20:00	0		03:00	0
	14:00	0.25		21:00	0		04:00	0
	15:00	0.76		22:00	0		05:00	0
	16:00	1.27		23:00	0		06:00	0
	17:00	0.76	01/10/2009	00:00	0		07:00	0
	18:00	0.76		01:00	0		08:00	0
	19:00	0.25		02:00	0		09:00	0
	20:00	0.51		03:00	0		10:00	0.51
	21:00	0.25		04:00	0		11:00	0
	22:00	0		05:00	0		12:00	0
	23:00	0		06:00	0		13:00	0
29/09/2009	00:00	0		07:00	0		14:00	0
	01:00	0		08:00	0		15:00	0
	02:00	0		09:00	0		16:00	0
	03:00	0		10:00	0		17:00	0
	04:00	0		11:00	0		18:00	0
	05:00	0		12:00	0		19:00	0
	06:00	0		13:00	0		20:00	0
	07:00	0		14:00	0		21:00	1.52
	08:00	0		15:00	0		22:00	1.27
	09:00	0		16:00	0		23:00	1.01
	10:00	0		17:00	0	04/10/2009	00:00	1.27
	11:00	0		18:00	0		01:00	1.01
	12:00	0		19:00	0		02:00	1.27
	13:00	0		20:00	0		03:00	1.01
	14:00	0		21:00	0		04:00	0
	15:00	0		22:00	0		05:00	0
	16:00	0		23:00	0		06:00	0
	17:00	0	02/10/2009	00:00	0		07:00	0
	18:00	0		01:00	0		08:00	0
	19:00	0		02:00	0		09:00	0
	20:00	0		03:00	0		10:00	0
	21:00	0		04:00	0		11:00	0
	22:00	0		05:00	0		12:00	0
	23:00	0		06:00	0		13:00	0
30/09/2009	00:00	0		07:00	0		14:00	0
	01:00	0		08:00	0		15:00	0
	02:00	0		09:00	0		16:00	0
	03:00	0		10:00	0		17:00	0
	04:00	0		11:00	0		18:00	0
	05:00	0		12:00	0		19:00	0
	06:00	0		13:00	0		20:00	0
	07:00	0		14:00	0		21:00	0
	08:00	0		15:00	0		22:00	0
	09:00	0		16:00	0		23:00	0
	10:00	0		17:00	0	05/10/2009	00:00	0
	11:00	0		18:00	0		01:00	0
	12:00	0		19:00	0		02:00	0
	13:00	0		20:00	0		03:00	0
	14:00	0		21:00	0		04:00	0
	15:00	0		22:00	0		05:00	0
	16:00	0		23:00	0		06:00	0
	17:00	0	03/10/2009	00:00	0		07:00	0
	18:00	0		01:00	0		08:00	0

Día	Hora	mm
05/10/2009	09:00	0
	10:00	0
	11:00	0
	12:00	0
	13:00	0
	14:00	0
	15:00	0
	16:00	0
	17:00	0
	18:00	0
	19:00	0
	20:00	0
	21:00	0
	22:00	0
	23:00	0
06/10/2009	00:00	0
	01:00	0
	02:00	0
	03:00	0
	04:00	0
	05:00	0
	06:00	0
	07:00	0
	08:00	0.51
	09:00	0
	10:00	0
	11:00	0
	12:00	0
	13:00	0
	14:00	0
	15:00	0
	16:00	0
	17:00	0
	18:00	0
	19:00	0
	20:00	0
	21:00	0
	22:00	0
	23:00	0



Anexo 5. Hietograma de la estación automática Tezuatlán para el evento del 20 de septiembre al 06 de octubre de 2009.

Día	Hora	mm	Día	Hora	mm	Día	Hora	mm
15/09/2009	08:00	0.2	17/09/2009	10:00	0	19/09/2009	12:00	0
	09:00	0		11:00	0		13:00	0.6
	10:00	0		12:00	0		14:00	6
	11:00	0		13:00	0		15:00	0
	12:00	0		14:00	0		16:00	0
	13:00	0		15:00	0		17:00	0
	14:00	0		16:00	0.4		18:00	0
	15:00	0		17:00	2.4		19:00	0
	16:00	0.6		18:00	0.2		20:00	0
	17:00	0		19:00	0		21:00	0
	18:00	0		20:00	0		22:00	0
	19:00	0		21:00	0.4		23:00	0
	20:00	0		22:00	0	20/09/2009	00:00	0
	21:00	0.4		23:00	0		01:00	0
16/09/2009	22:00	0.2	18/09/2009	00:00	0		02:00	0
	23:00	0		01:00	0		03:00	0
	00:00	0		02:00	0		04:00	0
	01:00	0		03:00	0		05:00	0
	02:00	0		04:00	0		06:00	0
	03:00	0		05:00	0		07:00	0.4
	04:00	0		06:00	0		08:00	0.6
	05:00	0.2		07:00	0		09:00	0
	06:00	0		08:00	0		10:00	0
	07:00	0		09:00	0		11:00	0
	08:00	0		10:00	0.2		12:00	0
	09:00	0		11:00	0		13:00	0
	10:00	0		12:00	0		14:00	0
	11:00	0		13:00	0		15:00	0
	12:00	0		14:00	0		16:00	2
	13:00	0		15:00	0		17:00	2.4
	14:00	0		16:00	0		18:00	4
	15:00	0		17:00	0		19:00	0.2
	16:00	0		18:00	0		20:00	0
	17:00	0		19:00	0		21:00	0
	18:00	0		20:00	0		22:00	0
	19:00	1		21:00	0		23:00	0
	20:00	0	19/09/2009	22:00	0	21/09/2009	00:00	0
	21:00	0		23:00	0		01:00	0
17/09/2009	22:00	0		00:00	0		02:00	0.2
	23:00	0		01:00	0		03:00	0
	00:00	0		02:00	0		04:00	0
	01:00	0		03:00	0		05:00	0
	02:00	0.4		04:00	0		06:00	0
	03:00	0		05:00	0		07:00	0
	04:00	0		06:00	0		08:00	0
	05:00	0		07:00	0		09:00	0
	06:00	0		08:00	0		10:00	0
	07:00	0		09:00	0		11:00	0
	08:00	0		10:00	0		12:00	0
	09:00	0		11:00	0		13:00	0

Día	Hora	mm	Día	Hora	mm	Día	Hora	mm
21/09/2009	14:00	0.2	23/09/2009	21:00	8.8	26/09/2009	04:00	1.8
	15:00	0		22:00	4.8		05:00	0.6
	16:00	0		23:00	0.8		06:00	2.4
	17:00	0	24/09/2009	00:00	1		07:00	2.6
	18:00	0		01:00	1.6		08:00	2.6
	19:00	1.8		02:00	5.8		09:00	2.4
	20:00	16.6		03:00	13.4		10:00	14.8
	21:00	0		04:00	8.2		11:00	11.6
	22:00	0		05:00	4		12:00	16.8
	23:00	0		06:00	3.6		13:00	4.2
22/09/2009	00:00	0		07:00	9.2		14:00	3
	01:00	0.4	25/09/2009	08:00	18		15:00	1.2
	02:00	0		09:00	3		16:00	1.2
	03:00	0		10:00	9		17:00	0.2
	04:00	0		11:00	6.6		18:00	0.6
	05:00	0		12:00	3		19:00	0
	06:00	0		13:00	0.4		20:00	0
	07:00	0		14:00	1.6		21:00	0
	08:00	0		15:00	0.6		22:00	0
	09:00	0		16:00	0		23:00	0
	10:00	0		17:00	0.2	27/09/2009	00:00	0
	11:00	0		18:00	0		01:00	0
	12:00	0		19:00	2.4		02:00	0.2
	13:00	0		20:00	0.2		03:00	0
	14:00	0		21:00	3.2		04:00	0
	15:00	0.4		22:00	4.2		05:00	0
	16:00	18.2		23:00	2		06:00	0
	17:00	0	26/09/2009	00:00	6.6		07:00	0
	18:00	0		01:00	2.2		08:00	0
	19:00	2.2		02:00	8.6		09:00	0
	20:00	0		03:00	5.2		10:00	0
	21:00	9.4		04:00	4.2		11:00	0
	22:00	0.6		05:00	6.2		12:00	0
	23:00	0		06:00	12		13:00	0
23/09/2009	00:00	0		07:00	15.2		14:00	0
	01:00	0	25/09/2009	08:00	17.6		15:00	0
	02:00	0.2		09:00	2.6		16:00	0
	03:00	0		10:00	11.6		17:00	0.8
	04:00	0		11:00	9		18:00	1.6
	05:00	0		12:00	8.2		19:00	0.4
	06:00	0.8		13:00	15		20:00	0.2
	07:00	3		14:00	3.2		21:00	0.2
	08:00	7.4		15:00	5.6		22:00	0
	09:00	2.6		16:00	2.2		23:00	0
	10:00	0.4	26/09/2009	17:00	3.4	28/09/2009	00:00	0
	11:00	0.2		18:00	13.2		01:00	0
	12:00	1.6		19:00	5.6		02:00	0
	13:00	0		20:00	4		03:00	0
	14:00	3.4		21:00	2.8		04:00	0
	15:00	1.2		22:00	3		05:00	0.4
	16:00	1.8		23:00	1.6		06:00	0
	17:00	0.8		00:00	0.6		07:00	0
	18:00	13.2		01:00	0		08:00	0
	19:00	0.4		02:00	0.2		09:00	0
	20:00	0.6		03:00	0.6		10:00	0

Día	Hora	mm	Día	Hora	mm	Día	Hora	mm
28/09/2009	12:00	0	30/09/2009	19:00	0	03/10/2009	02:00	0
	13:00	0		20:00	0		03:00	0
	14:00	0		21:00	0.6		04:00	0
	15:00	0		22:00	1		05:00	0
	16:00	0		23:00	0		06:00	0
	17:00	0	01/10/2009	00:00	0		07:00	0
	18:00	0		01:00	0		08:00	0
	19:00	0		02:00	0		09:00	0
	20:00	0		03:00	0		10:00	0.4
	21:00	0		04:00	0		11:00	0
	22:00	0		05:00	0		12:00	0
	23:00	0		06:00	0		13:00	0
29/09/2009	00:00	0		07:00	0		14:00	0
	01:00	0		08:00	0		15:00	0
	02:00	0		09:00	0		16:00	0
	03:00	0		10:00	0		17:00	0
	04:00	0		11:00	0		18:00	0
	05:00	0		12:00	0.2		19:00	0
	06:00	0		13:00	0		20:00	0
	07:00	0		14:00	0		21:00	0
	08:00	0		15:00	0		22:00	0
	09:00	0		16:00	0		23:00	0
	10:00	0		17:00	0	04/10/2009	00:00	0
	11:00	0		18:00	0		01:00	0
	12:00	0		19:00	0		02:00	0
	13:00	0		20:00	0		03:00	0.2
	14:00	0		21:00	0		04:00	0
	15:00	0		22:00	0		05:00	0
	16:00	0		23:00	0		06:00	0
	17:00	0	02/10/2009	00:00	0		07:00	0
	18:00	0		01:00	0		08:00	0
	19:00	0		02:00	0		09:00	0
	20:00	0		03:00	0		10:00	0
	21:00	3.2		04:00	0		11:00	0
	22:00	35		05:00	0		12:00	0
	23:00	0		06:00	0		13:00	0
30/09/2009	00:00	0		07:00	0		14:00	0
	01:00	0		08:00	0		15:00	0
	02:00	0		09:00	0		16:00	0
	03:00	0.2		10:00	0		17:00	0
	04:00	0		11:00	0		18:00	0
	05:00	0		12:00	0		19:00	0
	06:00	0		13:00	0		20:00	0
	07:00	0		14:00	0		21:00	0
	08:00	0		15:00	0		22:00	0
	09:00	0		16:00	0		23:00	0
	10:00	0		17:00	0	05/10/2009	00:00	0
	11:00	0		18:00	0		01:00	0
	12:00	0.2		19:00	0		02:00	0
	13:00	0		20:00	0		03:00	0
	14:00	0		21:00	0		04:00	0
	15:00	0		22:00	0		05:00	0
	16:00	0		23:00	0		06:00	0
	17:00	0	03/10/2009	00:00	0		07:00	0
	18:00	0		01:00	0		08:00	0

Día	Hora	mm
05/10/2009	09:00	0
	10:00	0
	11:00	0
	12:00	0
	13:00	0
	14:00	0
	15:00	0
	16:00	0
	17:00	0
	18:00	0
	19:00	0
	20:00	0
	21:00	0
	22:00	0
	23:00	0
06/10/2009	00:00	0
	01:00	0
	02:00	0
	03:00	0
	04:00	0
	05:00	0
	06:00	0
	07:00	0
	08:00	0
	09:00	0
	10:00	0
	11:00	0
	12:00	0
	13:00	0
	14:00	0
	15:00	0
	16:00	0
	17:00	0
	18:00	0
	19:00	0
	20:00	0
	21:00	0
	22:00	0
	23:00	0

Anexo 6. Hietograma de la estación automática Huauchinango para el evento del 12 al 22 de octubre de 2009.

Día	Hora	mm	Día	Hora	mm	Día	Hora	mm
12/09/2009	08:00	0	14/09/2009	10:00	0	16/09/2009	12:00	0
	09:00	0		11:00	0		13:00	0
	10:00	0		12:00	0.2		14:00	0
	11:00	0		13:00	0		15:00	0
	12:00	0		14:00	0		16:00	0
	13:00	0		15:00	0		17:00	0
	14:00	0		16:00	0		18:00	0
	15:00	0		17:00	0		19:00	1.2
	16:00	0		18:00	0		20:00	9.2
	17:00	0		19:00	0		21:00	0.8
	18:00	0		20:00	0		22:00	0
	19:00	0		21:00	0		23:00	0
	20:00	0		22:00	0	17/09/2009	00:00	0
	21:00	0		23:00	0		01:00	0
13/09/2009	22:00	0	15/09/2009	00:00	0		02:00	4.4
	23:00	0		01:00	0		03:00	5.2
	00:00	0		02:00	0		04:00	3.8
	01:00	0		03:00	0		05:00	0.2
	02:00	0		04:00	0		06:00	0
	03:00	0		05:00	0		07:00	0
	04:00	0		06:00	0		08:00	0
	05:00	0		07:00	0		09:00	2.4
	06:00	0		08:00	0		10:00	0
	07:00	0		09:00	0		11:00	0
	08:00	0		10:00	0		12:00	0
	09:00	0		11:00	0		13:00	0
	10:00	0		12:00	0		14:00	0.6
	11:00	0.2		13:00	0		15:00	1
14/09/2009	12:00	0		14:00	0		16:00	0
	13:00	0		15:00	0		17:00	0
	14:00	0		16:00	0		18:00	3.8
	15:00	0		17:00	0		19:00	5
	16:00	0		18:00	0		20:00	9.6
	17:00	0		19:00	0		21:00	3
	18:00	0		20:00	0		22:00	8.6
	19:00	0		21:00	0		23:00	10.4
	20:00	0		22:00	0	18/09/2009	00:00	6.8
	21:00	0		23:00	0		01:00	8.4
	22:00	0	16/09/2009	00:00	0		02:00	6.4
	23:00	0		01:00	0		03:00	9
	00:00	0		02:00	0		04:00	4.6
	01:00	0		03:00	0		05:00	1
	02:00	0		04:00	0		06:00	6.4
	03:00	0		05:00	0		07:00	6.6
	04:00	0		06:00	0		08:00	4.2
	05:00	0		07:00	0		09:00	0.6
	06:00	0		08:00	0		10:00	0.4
	07:00	0		09:00	0		11:00	0
	08:00	0		10:00	0		12:00	1.2
	09:00	0		11:00	0		13:00	4.2

Día	Hora	mm	Día	Hora	mm
18/09/2009	14:00	3.2	20/09/2009	21:00	0
	15:00	3		22:00	0
	16:00	0.4		23:00	0
	17:00	0.4	21/09/2009	00:00	0
	18:00	0		01:00	0
	19:00	0		02:00	0
	20:00	0.2		03:00	0
	21:00	0.8		04:00	0
	22:00	0.6		05:00	0
	23:00	0.2		06:00	0
19/09/2009	00:00	0		07:00	0
	01:00	0		08:00	0
	02:00	0.2		09:00	0
	03:00	0.4		10:00	0.2
	04:00	0.6		11:00	0
	05:00	0.6		12:00	0
	06:00	0		13:00	0
	07:00	0		14:00	0
	08:00	0		15:00	0
	09:00	0		16:00	0
	10:00	0		17:00	0
	11:00	0		18:00	0
	12:00	0		19:00	0
	13:00	0		20:00	0
	14:00	0		21:00	0
	15:00	0		22:00	0
	16:00	0		23:00	0
	17:00	0	22/09/2009	00:00	0
	18:00	0.2		01:00	0
	19:00	0		02:00	0
	20:00	0		03:00	0
	21:00	0		04:00	0
	22:00	0		05:00	0
	23:00	0		06:00	0
20/09/2009	00:00	0		07:00	0
	01:00	0		08:00	0
	02:00	0		09:00	0
	03:00	0.6		10:00	0
	04:00	0.2		11:00	0
	05:00	0		12:00	0
	06:00	0		13:00	0
	07:00	0		14:00	0
	08:00	0		15:00	0
	09:00	0		16:00	0
	10:00	0		17:00	0
	11:00	0		18:00	0
	12:00	0		19:00	0
	13:00	0		20:00	0
	14:00	0		21:00	0
	15:00	0		22:00	0
	16:00	0		23:00	0
	17:00	0.2			
	18:00	0			
	19:00	0			
	20:00	0			

Anexo 7. Hietograma de la estación automática Tezuitlán para el evento del 12 al 22 de octubre de 2009.

Día	Hora	mm	Día	Hora	mm	Día	Hora	mm
12/09/2009	08:00	0	14/09/2009	10:00	0	16/09/2009	12:00	0
	09:00	0		11:00	0		13:00	0
	10:00	0		12:00	0		14:00	0
	11:00	0		13:00	0		15:00	0
	12:00	0		14:00	0		16:00	0
	13:00	0		15:00	0		17:00	0
	14:00	0		16:00	0		18:00	3.2
	15:00	0		17:00	0		19:00	1
	16:00	0		18:00	0		20:00	2
	17:00	0		19:00	0		21:00	1
	18:00	0		20:00	0		22:00	0
	19:00	0		21:00	0		23:00	0
	20:00	0		22:00	0	17/09/2009	00:00	0
	21:00	0		23:00	0		01:00	0
13/09/2009	22:00	0	15/09/2009	00:00	0		02:00	3.4
	23:00	0		01:00	0		03:00	3.4
	00:00	0		02:00	0		04:00	0
	01:00	0		03:00	0		05:00	0
	02:00	0		04:00	0		06:00	0
	03:00	0		05:00	0		07:00	0
	04:00	0		06:00	0		08:00	0
	05:00	0		07:00	0		09:00	0
	06:00	0		08:00	0		10:00	0
	07:00	0		09:00	0		11:00	0.2
	08:00	0		10:00	0		12:00	4.6
	09:00	0		11:00	0		13:00	10
	10:00	0		12:00	0		14:00	4.4
	11:00	0		13:00	0		15:00	7
14/09/2009	12:00	0		14:00	0		16:00	11.6
	13:00	0		15:00	0		17:00	7.2
	14:00	0		16:00	0		18:00	17
	15:00	0		17:00	0		19:00	16.8
	16:00	0		18:00	0		20:00	17
	17:00	0		19:00	0		21:00	10.2
	18:00	0		20:00	0		22:00	11.4
	19:00	0		21:00	0		23:00	15.2
	20:00	0		22:00	0	18/09/2009	00:00	14.2
	21:00	0		23:00	0		01:00	5.6
	22:00	0	16/09/2009	00:00	0		02:00	5
	23:00	0		01:00	0		03:00	2.2
	00:00	0		02:00	0		04:00	10
	01:00	0		03:00	0		05:00	9.2
	02:00	0		04:00	0		06:00	6.8
	03:00	0		05:00	0		07:00	9
	04:00	0		06:00	0		08:00	2.8
	05:00	0.2		07:00	0		09:00	5.4
	06:00	0		08:00	0		10:00	3.6
	07:00	0		09:00	0		11:00	3.8
	08:00	0		10:00	0		12:00	0.8
	09:00	0		11:00	0		13:00	2.2

Día	Hora	mm	Día	Hora	mm
18/09/2009	14:00	3	20/09/2009	21:00	0.2
	15:00	1.2		22:00	0
	16:00	1.8		23:00	0
	17:00	0.8	21/09/2009	00:00	0
	18:00	1.6		01:00	0
	19:00	0.2		02:00	0
	20:00	0		03:00	0
	21:00	0		04:00	0
	22:00	0		05:00	0
	23:00	1.6		06:00	0
19/09/2009	00:00	0.6		07:00	0
	01:00	0		08:00	0
	02:00	0.2		09:00	0
	03:00	0.6		10:00	0
	04:00	0.2		11:00	0
	05:00	0		12:00	0
	06:00	0		13:00	0.2
	07:00	0		14:00	0
	08:00	0		15:00	0
	09:00	0		16:00	0
	10:00	0		17:00	0
	11:00	0		18:00	0
	12:00	0		19:00	0
	13:00	0		20:00	0
	14:00	0		21:00	0
	15:00	0.2		22:00	0
	16:00	0		23:00	0
	17:00	0	22/09/2009	00:00	0
	18:00	0		01:00	0
	19:00	0		02:00	0
	20:00	0		03:00	0
	21:00	0.2		04:00	0
	22:00	0		05:00	0
	23:00	0		06:00	0
20/09/2009	00:00	0.2		07:00	0
	01:00	0		08:00	0
	02:00	0		09:00	0
	03:00	0		10:00	0
	04:00	0		11:00	0
	05:00	0		12:00	0
	06:00	0		13:00	0
	07:00	0		14:00	0
	08:00	0		15:00	0
	09:00	0		16:00	0
	10:00	0		17:00	0
	11:00	0		18:00	0
	12:00	0		19:00	0
	13:00	0		20:00	0
	14:00	0		21:00	0
	15:00	0		22:00	0
	16:00	0		23:00	0
	17:00	0.4			
	18:00	0			
	19:00	0.2			
	20:00	0			

Anexo 8. Tabla Elevaciones-Capacidades de la presa El Tejocote.

VOLUMEN EN MILLONES DE m ³										
NIVEL	0.00	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09
2173.00	1.763	1.777	1.792	1.806	1.820	1.834	1.849	1.863	1.877	1.891
2173.10	1.906	1.920	1.934	1.948	1.963	1.977	1.991	2.005	2.020	2.034
2173.20	2.048	2.062	2.077	2.091	2.105	2.119	2.134	2.148	2.162	2.176
2173.30	2.191	2.205	2.219	2.233	2.248	2.262	2.276	2.290	2.305	2.319
2173.40	2.333	2.347	2.362	2.376	2.390	2.404	2.419	2.433	2.447	2.461
2173.50	2.476	2.490	2.504	2.518	2.533	2.547	2.561	2.575	2.590	2.604
2173.60	2.618	2.632	2.647	2.661	2.675	2.689	2.704	2.718	2.732	2.746
2173.70	2.761	2.775	2.789	2.803	2.818	2.832	2.846	2.860	2.875	2.889
2173.80	2.903	2.917	2.932	2.946	2.960	2.974	2.989	3.003	3.017	3.031
2173.90	3.046	3.060	3.074	3.088	3.103	3.117	3.131	3.145	3.160	3.174
2174.00	3.188	3.208	3.229	3.249	3.270	3.290	3.311	3.331	3.352	3.372
2174.10	3.393	3.413	3.434	3.454	3.475	3.495	3.516	3.536	3.557	3.577
2174.20	3.598	3.618	3.639	3.659	3.680	3.700	3.720	3.741	3.761	3.782
2174.30	3.802	3.823	3.843	3.864	3.884	3.905	3.925	3.946	3.966	3.987
2174.40	4.007	4.028	4.048	4.069	4.089	4.110	4.130	4.151	4.171	4.192
2174.50	4.212	4.232	4.253	4.273	4.294	4.314	4.335	4.355	4.376	4.396
2174.60	4.417	4.437	4.458	4.478	4.499	4.519	4.540	4.560	4.581	4.601
2174.70	4.622	4.642	4.663	4.683	4.704	4.724	4.744	4.765	4.785	4.806
2174.80	4.826	4.847	4.867	4.888	4.908	4.929	4.949	4.970	4.990	5.011
2174.90	5.031	5.052	5.072	5.093	5.113	5.134	5.154	5.175	5.195	5.216
2175.00	5.236	5.263	5.290	5.317	5.344	5.371	5.398	5.424	5.451	5.478
2175.10	5.505	5.532	5.559	5.586	5.613	5.640	5.667	5.694	5.721	5.747
2175.20	5.774	5.801	5.828	5.855	5.882	5.909	5.936	5.963	5.990	6.017
2175.30	6.044	6.071	6.097	6.124	6.151	6.178	6.205	6.232	6.259	6.286
2175.40	6.313	6.340	6.367	6.394	6.420	6.447	6.474	6.501	6.528	6.555
2175.50	6.582	6.609	6.636	6.663	6.690	6.717	6.744	6.770	6.797	6.824
2175.60	6.851	6.878	6.905	6.932	6.959	6.986	7.013	7.040	7.067	7.093
2175.70	7.120	7.147	7.174	7.201	7.228	7.255	7.282	7.309	7.336	7.363
2175.80	7.390	7.417	7.443	7.470	7.497	7.524	7.551	7.578	7.605	7.632
2175.90	7.659	7.686	7.713	7.740	7.766	7.793	7.820	7.847	7.874	7.901
2176.00	7.928	7.961	7.995	8.028	8.061	8.094	8.128	8.161	8.194	8.228
2176.10	8.261	8.294	8.327	8.361	8.394	8.427	8.461	8.494	8.527	8.561
2176.20	8.594	8.627	8.660	8.694	8.727	8.760	8.794	8.827	8.860	8.893
2176.30	8.927	8.960	8.993	9.027	9.060	9.093	9.126	9.160	9.193	9.226
2176.40	9.260	9.293	9.326	9.359	9.393	9.426	9.459	9.493	9.526	9.559
2176.50	9.592	9.626	9.659	9.692	9.726	9.759	9.792	9.826	9.859	9.892
2176.60	9.925	9.959	9.992	10.025	10.059	10.092	10.125	10.158	10.192	10.225
2176.70	10.258	10.292	10.325	10.358	10.391	10.425	10.458	10.491	10.525	10.558
2176.80	10.591	10.624	10.658	10.691	10.724	10.758	10.791	10.824	10.858	10.891

2176.90	10.924	10.957	10.991	11.024	11.057	11.091	11.124	11.157	11.190	11.224
2177.00	11.257	11.296	11.335	11.375	11.414	11.453	11.492	11.532	11.571	11.610
2177.10	11.649	11.688	11.728	11.767	11.806	11.845	11.885	11.924	11.963	12.002
2177.20	12.041	12.081	12.120	12.159	12.198	12.238	12.277	12.316	12.355	12.394
2177.30	12.434	12.473	12.512	12.551	12.590	12.630	12.669	12.708	12.747	12.787
2177.40	12.826	12.865	12.904	12.943	12.983	13.022	13.061	13.100	13.140	13.179
2177.50	13.218	13.257	13.296	13.336	13.375	13.414	13.453	13.493	13.532	13.571
2177.60	13.610	13.649	13.689	13.728	13.767	13.806	13.846	13.885	13.924	13.963
2177.70	14.002	14.042	14.081	14.120	14.159	14.199	14.238	14.277	14.316	14.355
2177.80	14.395	14.434	14.473	14.512	14.551	14.591	14.630	14.669	14.708	14.748
2177.90	14.787	14.826	14.865	14.904	14.944	14.983	15.022	15.061	15.101	15.140
2178.00	15.179	15.223	15.267	15.310	15.354	15.398	15.442	15.485	15.529	15.573
2178.10	15.617	15.661	15.704	15.748	15.792	15.836	15.879	15.923	15.967	16.011
2178.20	16.055	16.098	16.142	16.186	16.230	16.274	16.317	16.361	16.405	16.449
2178.30	16.492	16.536	16.580	16.624	16.668	16.711	16.755	16.799	16.843	16.886
2178.40	16.930	16.974	17.018	17.062	17.105	17.149	17.193	17.237	17.280	17.324
2178.50	17.368	17.412	17.456	17.499	17.543	17.587	17.631	17.674	17.718	17.762
2178.60	17.806	17.850	17.893	17.937	17.981	18.025	18.068	18.112	18.156	18.200
2178.70	18.244	18.287	18.331	18.375	18.419	18.463	18.506	18.550	18.594	18.638
2178.80	18.681	18.725	18.769	18.813	18.857	18.900	18.944	18.988	19.032	19.075
2178.90	19.119	19.163	19.207	19.251	19.294	19.338	19.382	19.426	19.469	19.513
2179.00	19.557	19.605	19.653	19.700	19.748	19.796	19.844	19.891	19.939	19.987
2179.10	20.035	20.082	20.130	20.178	20.226	20.273	20.321	20.369	20.417	20.464
2179.20	20.512	20.560	20.608	20.655	20.703	20.751	20.799	20.847	20.894	20.942
2179.30	20.990	21.038	21.085	21.133	21.181	21.229	21.276	21.324	21.372	21.420
2179.40	21.467	21.515	21.563	21.611	21.658	21.706	21.754	21.802	21.849	21.897
2179.50	21.945	21.993	22.041	22.088	22.136	22.184	22.232	22.279	22.327	22.375
2179.60	22.423	22.470	22.518	22.566	22.614	22.661	22.709	22.757	22.805	22.852
2179.70	22.900	22.948	22.996	23.043	23.091	23.139	23.187	23.235	23.282	23.330
2179.80	23.378	23.426	23.473	23.521	23.569	23.617	23.664	23.712	23.760	23.808
2179.90	23.855	23.903	23.951	23.999	24.046	24.094	24.142	24.190	24.237	24.285
2180.00	24.333	24.384	24.436	24.487	24.538	24.590	24.641	24.692	24.744	24.795
2180.10	24.847	24.898	24.949	25.001	25.052	25.103	25.155	25.206	25.257	25.309
2180.20	25.360	25.411	25.463	25.514	25.565	25.617	25.668	25.719	25.771	25.822
2180.30	25.874	25.925	25.976	26.028	26.079	26.130	26.182	26.233	26.284	26.336
2180.40	26.387	26.438	26.490	26.541	26.592	26.644	26.695	26.746	26.798	26.849
2180.50	26.901	26.952	27.003	27.055	27.106	27.157	27.209	27.260	27.311	27.363
2180.60	27.414	27.465	27.517	27.568	27.619	27.671	27.722	27.773	27.825	27.876
2180.70	27.928	27.979	28.030	28.082	28.133	28.184	28.236	28.287	28.338	28.390
2180.80	28.441	28.492	28.544	28.595	28.646	28.698	28.749	28.800	28.852	28.903
2180.90	28.954	29.006	29.057	29.109	29.160	29.211	29.263	29.314	29.365	29.417
2181.00	29.468	29.522	29.577	29.631	29.686	29.740	29.795	29.849	29.904	29.958
2181.10	30.012	30.067	30.121	30.176	30.230	30.285	30.339	30.393	30.448	30.502

2181.20	30.557	30.611	30.666	30.720	30.775	30.829	30.883	30.938	30.992	31.047
2181.30	31.101	31.156	31.210	31.265	31.319	31.373	31.428	31.482	31.537	31.591
2181.40	31.646	31.700	31.754	31.809	31.863	31.918	31.972	32.027	32.081	32.136
2181.50	32.190	32.244	32.299	32.353	32.408	32.462	32.517	32.571	32.626	32.680
2181.60	32.734	32.789	32.843	32.898	32.952	33.007	33.061	33.115	33.170	33.224
2181.70	33.279	33.333	33.388	33.442	33.497	33.551	33.605	33.660	33.714	33.769
2181.80	33.823	33.878	33.932	33.987	34.041	34.095	34.150	34.204	34.259	34.313
2181.90	34.368	34.422	34.476	34.531	34.585	34.640	34.694	34.749	34.803	34.858
2182.00	34.912	34.969	35.027	35.084	35.141	35.198	35.256	35.313	35.370	35.427
2182.10	35.485	35.542	35.599	35.656	35.714	35.771	35.828	35.885	35.943	36.000
2182.20	36.057	36.114	36.172	36.229	36.286	36.344	36.401	36.458	36.515	36.573
2182.30	36.630	36.687	36.744	36.802	36.859	36.916	36.973	37.031	37.088	37.145
2182.40	37.202	37.260	37.317	37.374	37.431	37.489	37.546	37.603	37.660	37.718
2182.50	37.775	37.832	37.890	37.947	38.004	38.061	38.119	38.176	38.233	38.290
2182.60	38.348	38.405	38.462	38.519	38.577	38.634	38.691	38.748	38.806	38.863
2182.70	38.920	38.977	39.035	39.092	39.149	39.207	39.264	39.321	39.378	39.436
2182.80	39.493	39.550	39.607	39.665	39.722	39.779	39.836	39.894	39.951	40.008
2182.90	40.065	40.123	40.180	40.237	40.294	40.352	40.409	40.466	40.523	40.581
2183.00	40.638	40.695	40.753	40.810	40.867	40.924	40.982	41.039	41.096	41.153
2183.10	41.211	41.268	41.325	41.382	41.440	41.497	41.554	41.611	41.669	41.726
2183.20	41.783	41.840	41.898	41.955	42.012	42.070	42.127	42.184	42.241	42.299
2183.30	42.356	42.413	42.470	42.528	42.585	42.642	42.699	42.757	42.814	42.871
2183.40	42.928	42.986	43.043	43.100	43.157	43.215	43.272	43.329	43.386	43.444
2183.50	43.501	43.558	43.616	43.673	43.730	43.787	43.845	43.902	43.959	44.016
2183.60	44.074	44.131	44.188	44.245	44.303	44.360	44.417	44.474	44.532	44.589
2183.70	44.646	44.703	44.761	44.818	44.875	44.933	44.990	45.047	45.104	45.162
2183.80	45.219	45.276	45.333	45.391	45.448	45.505	45.562	45.620	45.677	45.734
2183.90	45.791	45.849	45.906	45.963	46.020	46.078	46.135	46.192	46.249	46.307
2184.00	46.364	46.421	46.479	46.536	46.593	46.650	46.708	46.765	46.822	46.879
2184.10	46.937	46.994	47.051	47.108	47.166	47.223	47.280	47.337	47.395	47.452
2184.20	47.509	47.566	47.624	47.681	47.738	47.796	47.853	47.910	47.967	48.025
2184.30	48.082	48.139	48.196	48.254	48.311	48.368	48.425	48.483	48.540	48.597
2184.40	48.654	48.712	48.769	48.826	48.883	48.941	48.998	49.055	49.112	49.170
2184.50	49.227	49.284	49.342	49.399	49.456	49.513	49.571	49.628	49.685	49.742
2184.60	49.800	49.857	49.914	49.971	50.029	50.086	50.143	50.200	50.258	50.315
2184.70	50.372	50.429	50.487	50.544	50.601	50.659	50.716	50.773	50.830	50.888
2184.80	50.945	51.002	51.059	51.117	51.174	51.231	51.288	51.346	51.403	51.460
2184.90	51.517	51.575	51.632	51.689	51.746	51.804	51.861	51.918	51.975	52.033
2185.00	52.090									

Anexo 9. Tabla Elevaciones-Capacidades de la presa Necaxa.

VOLUMEN EN MILLONES DE m ³										
NIVEL	0.00	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09
1319.00	0	24	47	71	95	118	142	166	189	213
1319.10	237	260	284	308	331	355	379	402	426	450
1319.20	473	497	521	544	568	592	615	639	663	686
1319.30	710	734	757	781	805	828	852	876	899	923
1319.40	947	970	994	1,018	1,041	1,065	1,089	1,112	1,136	1,160
1319.50	1,184	1,207	1,231	1,255	1,278	1,302	1,326	1,349	1,373	1,397
1319.60	1,420	1,444	1,468	1,491	1,515	1,539	1,562	1,586	1,610	1,633
1319.70	1,657	1,681	1,704	1,728	1,752	1,775	1,799	1,823	1,846	1,870
1319.80	1,894	1,917	1,941	1,965	1,988	2,012	2,036	2,059	2,083	2,107
1319.90	2,130	2,154	2,178	2,201	2,225	2,249	2,272	2,296	2,320	2,343
1320.00	2,367	2,391	2,414	2,438	2,462	2,485	2,509	2,533	2,556	2,580
1320.10	2,604	2,627	2,651	2,675	2,698	2,722	2,746	2,769	2,793	2,817
1320.20	2,840	2,864	2,888	2,911	2,935	2,959	2,982	3,006	3,029	3,053
1320.30	3,077	3,100	3,124	3,148	3,171	3,195	3,219	3,242	3,266	3,290
1320.40	3,313	3,337	3,361	3,384	3,408	3,432	3,455	3,479	3,503	3,526
1320.50	3,550	3,574	3,597	3,621	3,645	3,668	3,692	3,716	3,739	3,763
1320.60	3,787	3,810	3,834	3,858	3,881	3,905	3,929	3,952	3,976	4,000
1320.70	4,023	4,047	4,071	4,094	4,118	4,141	4,165	4,189	4,212	4,236
1320.80	4,260	4,283	4,307	4,331	4,354	4,378	4,402	4,425	4,449	4,473
1320.90	4,496	4,520	4,544	4,567	4,591	4,615	4,638	4,662	4,686	4,709
1321.00	4,733	4,741	4,748	4,756	4,764	4,771	4,779	4,786	4,794	4,802
1321.10	4,809	4,817	4,825	4,832	4,840	4,848	4,855	4,863	4,871	4,878
1321.20	4,886	4,893	4,901	4,909	4,916	4,924	4,932	4,939	4,947	4,955
1321.30	4,962	4,970	4,977	4,985	4,993	5,000	5,008	5,016	5,023	5,031
1321.40	5,039	5,046	5,054	5,062	5,069	5,077	5,084	5,092	5,100	5,107
1321.50	5,115	5,123	5,130	5,138	5,146	5,153	5,161	5,168	5,176	5,184
1321.60	5,191	5,199	5,207	5,214	5,222	5,230	5,237	5,245	5,253	5,260
1321.70	5,268	5,275	5,283	5,291	5,298	5,306	5,314	5,321	5,329	5,337
1321.80	5,344	5,352	5,359	5,367	5,375	5,382	5,390	5,398	5,405	5,413
1321.90	5,421	5,428	5,436	5,444	5,451	5,459	5,466	5,474	5,482	5,489
1322.00	5,497	5,505	5,514	5,522	5,530	5,538	5,547	5,555	5,563	5,572
1322.10	5,580	5,588	5,596	5,605	5,613	5,621	5,630	5,638	5,646	5,655
1322.20	5,663	5,671	5,679	5,688	5,696	5,704	5,713	5,721	5,729	5,737
1322.30	5,746	5,754	5,762	5,771	5,779	5,787	5,795	5,804	5,812	5,820
1322.40	5,829	5,837	5,845	5,853	5,862	5,870	5,878	5,887	5,895	5,903
1322.50	5,912	5,920	5,928	5,936	5,945	5,953	5,961	5,970	5,978	5,986
1322.60	5,994	6,003	6,011	6,019	6,028	6,036	6,044	6,052	6,061	6,069
1322.70	6,077	6,086	6,094	6,102	6,110	6,119	6,127	6,135	6,144	6,152
1322.80	6,160	6,168	6,177	6,185	6,193	6,202	6,210	6,218	6,227	6,235

1322.90	6,243	6,251	6,260	6,268	6,276	6,285	6,293	6,301	6,309	6,318
1323.00	6,326	6,336	6,346	6,356	6,366	6,375	6,385	6,395	6,405	6,415
1323.10	6,425	6,435	6,445	6,455	6,464	6,474	6,484	6,494	6,504	6,514
1323.20	6,524	6,534	6,544	6,553	6,563	6,573	6,583	6,593	6,603	6,613
1323.30	6,623	6,633	6,642	6,652	6,662	6,672	6,682	6,692	6,702	6,712
1323.40	6,722	6,731	6,741	6,751	6,761	6,771	6,781	6,791	6,801	6,811
1323.50	6,821	6,830	6,840	6,850	6,860	6,870	6,880	6,890	6,900	6,910
1323.60	6,919	6,929	6,939	6,949	6,959	6,969	6,979	6,989	6,999	7,008
1323.70	7,018	7,028	7,038	7,048	7,058	7,068	7,078	7,088	7,097	7,107
1323.80	7,117	7,127	7,137	7,147	7,157	7,167	7,177	7,186	7,196	7,206
1323.90	7,216	7,226	7,236	7,246	7,256	7,266	7,275	7,285	7,295	7,305
1324.00	7,315	7,327	7,338	7,350	7,361	7,373	7,385	7,396	7,408	7,419
1324.10	7,431	7,442	7,454	7,466	7,477	7,489	7,500	7,512	7,524	7,535
1324.20	7,547	7,558	7,570	7,582	7,593	7,605	7,616	7,628	7,640	7,651
1324.30	7,663	7,674	7,686	7,697	7,709	7,721	7,732	7,744	7,755	7,767
1324.40	7,779	7,790	7,802	7,813	7,825	7,837	7,848	7,860	7,871	7,883
1324.50	7,895	7,906	7,918	7,929	7,941	7,952	7,964	7,976	7,987	7,999
1324.60	8,010	8,022	8,034	8,045	8,057	8,068	8,080	8,092	8,103	8,115
1324.70	8,126	8,138	8,149	8,161	8,173	8,184	8,196	8,207	8,219	8,231
1324.80	8,242	8,254	8,265	8,277	8,289	8,300	8,312	8,323	8,335	8,347
1324.90	8,358	8,370	8,381	8,393	8,404	8,416	8,428	8,439	8,451	8,462
1325.00	8,474	8,486	8,499	8,511	8,524	8,536	8,549	8,561	8,574	8,586
1325.10	8,598	8,611	8,623	8,636	8,648	8,661	8,673	8,685	8,698	8,710
1325.20	8,723	8,735	8,748	8,760	8,773	8,785	8,797	8,810	8,822	8,835
1325.30	8,847	8,860	8,872	8,885	8,897	8,909	8,922	8,934	8,947	8,959
1325.40	8,972	8,984	8,996	9,009	9,021	9,034	9,046	9,059	9,071	9,084
1325.50	9,096	9,108	9,121	9,133	9,146	9,158	9,171	9,183	9,196	9,208
1325.60	9,220	9,233	9,245	9,258	9,270	9,283	9,295	9,307	9,320	9,332
1325.70	9,345	9,357	9,370	9,382	9,395	9,407	9,419	9,432	9,444	9,457
1325.80	9,469	9,482	9,494	9,507	9,519	9,531	9,544	9,556	9,569	9,581
1325.90	9,594	9,606	9,618	9,631	9,643	9,656	9,668	9,681	9,693	9,706
1326.00	9,718	9,731	9,744	9,757	9,770	9,784	9,797	9,810	9,823	9,836
1326.10	9,849	9,862	9,875	9,888	9,902	9,915	9,928	9,941	9,954	9,967
1326.20	9,980	9,993	10,006	10,020	10,033	10,046	10,059	10,072	10,085	10,098
1326.30	10,111	10,124	10,138	10,151	10,164	10,177	10,190	10,203	10,216	10,229
1326.40	10,242	10,256	10,269	10,282	10,295	10,308	10,321	10,334	10,347	10,360
1326.50	10,374	10,387	10,400	10,413	10,426	10,439	10,452	10,465	10,478	10,491
1326.60	10,505	10,518	10,531	10,544	10,557	10,570	10,583	10,596	10,609	10,623
1326.70	10,636	10,649	10,662	10,675	10,688	10,701	10,714	10,727	10,741	10,754
1326.80	10,767	10,780	10,793	10,806	10,819	10,832	10,845	10,859	10,872	10,885
1326.90	10,898	10,911	10,924	10,937	10,950	10,963	10,977	10,990	11,003	11,016
1327.00	11,029	11,043	11,056	11,070	11,084	11,098	11,111	11,125	11,139	11,152
1327.10	11,166	11,180	11,194	11,207	11,221	11,235	11,249	11,262	11,276	11,290

1327.20	11,303	11,317	11,331	11,345	11,358	11,372	11,386	11,399	11,413	11,427
1327.30	11,441	11,454	11,468	11,482	11,495	11,509	11,523	11,537	11,550	11,564
1327.40	11,578	11,592	11,605	11,619	11,633	11,646	11,660	11,674	11,688	11,701
1327.50	11,715	11,729	11,742	11,756	11,770	11,784	11,797	11,811	11,825	11,838
1327.60	11,852	11,866	11,880	11,893	11,907	11,921	11,935	11,948	11,962	11,976
1327.70	11,989	12,003	12,017	12,031	12,044	12,058	12,072	12,085	12,099	12,113
1327.80	12,127	12,140	12,154	12,168	12,181	12,195	12,209	12,223	12,236	12,250
1327.90	12,264	12,278	12,291	12,305	12,319	12,332	12,346	12,360	12,374	12,387
1328.00	12,401	12,415	12,430	12,444	12,458	12,473	12,487	12,502	12,516	12,530
1328.10	12,545	12,559	12,573	12,588	12,602	12,617	12,631	12,645	12,660	12,674
1328.20	12,688	12,703	12,717	12,732	12,746	12,760	12,775	12,789	12,803	12,818
1328.30	12,832	12,846	12,861	12,875	12,890	12,904	12,918	12,933	12,947	12,961
1328.40	12,976	12,990	13,005	13,019	13,033	13,048	13,062	13,076	13,091	13,105
1328.50	13,120	13,134	13,148	13,163	13,177	13,191	13,206	13,220	13,234	13,249
1328.60	13,263	13,278	13,292	13,306	13,321	13,335	13,349	13,364	13,378	13,393
1328.70	13,407	13,421	13,436	13,450	13,464	13,479	13,493	13,507	13,522	13,536
1328.80	13,551	13,565	13,579	13,594	13,608	13,622	13,637	13,651	13,666	13,680
1328.90	13,694	13,709	13,723	13,737	13,752	13,766	13,781	13,795	13,809	13,824
1329.00	13,838	13,853	13,868	13,883	13,898	13,913	13,928	13,943	13,958	13,973
1329.10	13,988	14,002	14,017	14,032	14,047	14,062	14,077	14,092	14,107	14,122
1329.20	14,137	14,152	14,167	14,182	14,197	14,212	14,227	14,242	14,257	14,272
1329.30	14,287	14,301	14,316	14,331	14,346	14,361	14,376	14,391	14,406	14,421
1329.40	14,436	14,451	14,466	14,481	14,496	14,511	14,526	14,541	14,556	14,571
1329.50	14,586	14,600	14,615	14,630	14,645	14,660	14,675	14,690	14,705	14,720
1329.60	14,735	14,750	14,765	14,780	14,795	14,810	14,825	14,840	14,855	14,870
1329.70	14,885	14,899	14,914	14,929	14,944	14,959	14,974	14,989	15,004	15,019
1329.80	15,034	15,049	15,064	15,079	15,094	15,109	15,124	15,139	15,154	15,169
1329.90	15,184	15,198	15,213	15,228	15,243	15,258	15,273	15,288	15,303	15,318
1330.00	15,333	15,348	15,364	15,379	15,395	15,410	15,426	15,441	15,457	15,472
1330.10	15,488	15,503	15,519	15,534	15,549	15,565	15,580	15,596	15,611	15,627
1330.20	15,642	15,658	15,673	15,689	15,704	15,720	15,735	15,750	15,766	15,781
1330.30	15,797	15,812	15,828	15,843	15,859	15,874	15,890	15,905	15,920	15,936
1330.40	15,951	15,967	15,982	15,998	16,013	16,029	16,044	16,060	16,075	16,091
1330.50	16,106	16,121	16,137	16,152	16,168	16,183	16,199	16,214	16,230	16,245
1330.60	16,261	16,276	16,292	16,307	16,322	16,338	16,353	16,369	16,384	16,400
1330.70	16,415	16,431	16,446	16,462	16,477	16,492	16,508	16,523	16,539	16,554
1330.80	16,570	16,585	16,601	16,616	16,632	16,647	16,663	16,678	16,693	16,709
1330.90	16,724	16,740	16,755	16,771	16,786	16,802	16,817	16,833	16,848	16,864
1331.00	16,879	16,895	16,911	16,927	16,943	16,959	16,975	16,991	17,006	17,022
1331.10	17,038	17,054	17,070	17,086	17,102	17,118	17,134	17,150	17,166	17,182
1331.20	17,198	17,214	17,229	17,245	17,261	17,277	17,293	17,309	17,325	17,341
1331.30	17,357	17,373	17,389	17,405	17,421	17,437	17,452	17,468	17,484	17,500

1331.40	17,516	17,532	17,548	17,564	17,580	17,596	17,612	17,628	17,644	17,660
1331.50	17,676	17,691	17,707	17,723	17,739	17,755	17,771	17,787	17,803	17,819
1331.60	17,835	17,851	17,867	17,883	17,899	17,914	17,930	17,946	17,962	17,978
1331.70	17,994	18,010	18,026	18,042	18,058	18,074	18,090	18,106	18,122	18,137
1331.80	18,153	18,169	18,185	18,201	18,217	18,233	18,249	18,265	18,281	18,297
1331.90	18,313	18,329	18,345	18,360	18,376	18,392	18,408	18,424	18,440	18,456
1332.00	18,472	18,488	18,505	18,521	18,538	18,554	18,570	18,587	18,603	18,620
1332.10	18,636	18,652	18,669	18,685	18,702	18,718	18,734	18,751	18,767	18,784
1332.20	18,800	18,816	18,833	18,849	18,866	18,882	18,898	18,915	18,931	18,948
1332.30	18,964	18,980	18,997	19,013	19,030	19,046	19,062	19,079	19,095	19,112
1332.40	19,128	19,144	19,161	19,177	19,194	19,210	19,226	19,243	19,259	19,276
1332.50	19,292	19,308	19,325	19,341	19,358	19,374	19,390	19,407	19,423	19,440
1332.60	19,456	19,472	19,489	19,505	19,522	19,538	19,554	19,571	19,587	19,604
1332.70	19,620	19,636	19,653	19,669	19,686	19,702	19,718	19,735	19,751	19,768
1332.80	19,784	19,800	19,817	19,833	19,850	19,866	19,882	19,899	19,915	19,932
1332.90	19,948	19,964	19,981	19,997	20,014	20,030	20,046	20,063	20,079	20,096
1333.00	20,112	20,129	20,146	20,163	20,180	20,197	20,214	20,231	20,248	20,264
1333.10	20,281	20,298	20,315	20,332	20,349	20,366	20,383	20,400	20,417	20,434
1333.20	20,451	20,468	20,485	20,502	20,519	20,536	20,552	20,569	20,586	20,603
1333.30	20,620	20,637	20,654	20,671	20,688	20,705	20,722	20,739	20,756	20,773
1333.40	20,790	20,807	20,823	20,840	20,857	20,874	20,891	20,908	20,925	20,942
1333.50	20,959	20,976	20,993	21,010	21,027	21,044	21,061	21,078	21,095	21,111
1333.60	21,128	21,145	21,162	21,179	21,196	21,213	21,230	21,247	21,264	21,281
1333.70	21,298	21,315	21,332	21,349	21,366	21,382	21,399	21,416	21,433	21,450
1333.80	21,467	21,484	21,501	21,518	21,535	21,552	21,569	21,586	21,603	21,620
1333.90	21,637	21,654	21,670	21,687	21,704	21,721	21,738	21,755	21,772	21,789
1334.00	21,806	21,823	21,841	21,858	21,876	21,893	21,911	21,928	21,946	21,963
1334.10	21,981	21,998	22,016	22,033	22,051	22,068	22,086	22,103	22,121	22,138
1334.20	22,156	22,173	22,191	22,208	22,226	22,243	22,261	22,278	22,296	22,313
1334.30	22,331	22,348	22,366	22,383	22,401	22,418	22,436	22,453	22,471	22,488
1334.40	22,506	22,523	22,541	22,558	22,576	22,593	22,611	22,628	22,646	22,663
1334.50	22,681	22,698	22,715	22,733	22,750	22,768	22,785	22,803	22,820	22,838
1334.60	22,855	22,873	22,890	22,908	22,925	22,943	22,960	22,978	22,995	23,013
1334.70	23,030	23,048	23,065	23,083	23,100	23,118	23,135	23,153	23,170	23,188
1334.80	23,205	23,223	23,240	23,258	23,275	23,293	23,310	23,328	23,345	23,363
1334.90	23,380	23,398	23,415	23,433	23,450	23,468	23,485	23,503	23,520	23,538
1335.00	23,555	23,573	23,591	23,609	23,627	23,645	23,663	23,680	23,698	23,716
1335.10	23,734	23,752	23,770	23,788	23,806	23,824	23,842	23,860	23,878	23,895
1335.20	23,913	23,931	23,949	23,967	23,985	24,003	24,021	24,039	24,057	24,075
1335.30	24,093	24,111	24,128	24,146	24,164	24,182	24,200	24,218	24,236	24,254
1335.40	24,272	24,290	24,308	24,326	24,343	24,361	24,379	24,397	24,415	24,433
1335.50	24,451	24,469	24,487	24,505	24,523	24,541	24,559	24,576	24,594	24,612

1335.60	24,630	24,648	24,666	24,684	24,702	24,720	24,738	24,756	24,774	24,791
1335.70	24,809	24,827	24,845	24,863	24,881	24,899	24,917	24,935	24,953	24,971
1335.80	24,989	25,007	25,024	25,042	25,060	25,078	25,096	25,114	25,132	25,150
1335.90	25,168	25,186	25,204	25,222	25,239	25,257	25,275	25,293	25,311	25,329
1336.00	25,347	25,365	25,384	25,402	25,420	25,439	25,457	25,475	25,494	25,512
1336.10	25,530	25,549	25,567	25,585	25,604	25,622	25,640	25,659	25,677	25,695
1336.20	25,714	25,732	25,750	25,769	25,787	25,805	25,824	25,842	25,860	25,879
1336.30	25,897	25,915	25,934	25,952	25,970	25,989	26,007	26,025	26,044	26,062
1336.40	26,080	26,099	26,117	26,135	26,154	26,172	26,190	26,209	26,227	26,245
1336.50	26,264	26,282	26,300	26,318	26,337	26,355	26,373	26,392	26,410	26,428
1336.60	26,447	26,465	26,483	26,502	26,520	26,538	26,557	26,575	26,593	26,612
1336.70	26,630	26,648	26,667	26,685	26,703	26,722	26,740	26,758	26,777	26,795
1336.80	26,813	26,832	26,850	26,868	26,887	26,905	26,923	26,942	26,960	26,978
1336.90	26,997	27,015	27,033	27,052	27,070	27,088	27,107	27,125	27,143	27,162
1337.00	27,180	27,199	27,218	27,236	27,255	27,274	27,293	27,311	27,330	27,349
1337.10	27,368	27,386	27,405	27,424	27,443	27,461	27,480	27,499	27,518	27,536
1337.20	27,555	27,574	27,593	27,611	27,630	27,649	27,668	27,686	27,705	27,724
1337.30	27,743	27,761	27,780	27,799	27,818	27,836	27,855	27,874	27,893	27,911
1337.40	27,930	27,949	27,968	27,986	28,005	28,024	28,043	28,061	28,080	28,099
1337.50	28,118	28,136	28,155	28,174	28,193	28,211	28,230	28,249	28,268	28,286
1337.60	28,305	28,324	28,343	28,361	28,380	28,399	28,418	28,436	28,455	28,474
1337.70	28,493	28,511	28,530	28,549	28,568	28,586	28,605	28,624	28,643	28,661
1337.80	28,680	28,699	28,718	28,736	28,755	28,774	28,793	28,811	28,830	28,849
1337.90	28,868	28,886	28,905	28,924	28,943	28,961	28,980	28,999	29,018	29,036
1338.00	29,055	29,074	29,094	29,113	29,132	29,151	29,171	29,190	29,209	29,228
1338.10	29,248	29,267	29,286	29,306	29,325	29,344	29,363	29,383	29,402	29,421
1338.20	29,440	29,460	29,479	29,498	29,517	29,537	29,556	29,575	29,595	29,614
1338.30	29,633	29,652	29,672	29,691	29,710	29,729	29,749	29,768	29,787	29,807
1338.40	29,826	29,845	29,864	29,884	29,903	29,922	29,941	29,961	29,980	29,999
1338.50	30,019	30,038	30,057	30,076	30,096	30,115	30,134	30,153	30,173	30,192
1338.60	30,211	30,230	30,250	30,269	30,288	30,308	30,327	30,346	30,365	30,385
1338.70	30,404	30,423	30,442	30,462	30,481	30,500	30,520	30,539	30,558	30,577
1338.80	30,597	30,616	30,635	30,654	30,674	30,693	30,712	30,731	30,751	30,770
1338.90	30,789	30,809	30,828	30,847	30,866	30,886	30,905	30,924	30,943	30,963
1339.00	30,982	31,002	31,021	31,041	31,061	31,080	31,100	31,120	31,140	31,159
1339.10	31,179	31,199	31,218	31,238	31,258	31,277	31,297	31,317	31,336	31,356
1339.20	31,376	31,395	31,415	31,435	31,455	31,474	31,494	31,514	31,533	31,553
1339.30	31,573	31,592	31,612	31,632	31,651	31,671	31,691	31,711	31,730	31,750
1339.40	31,770	31,789	31,809	31,829	31,848	31,868	31,888	31,907	31,927	31,947
1339.50	31,966	31,986	32,006	32,026	32,045	32,065	32,085	32,104	32,124	32,144
1339.60	32,163	32,183	32,203	32,222	32,242	32,262	32,282	32,301	32,321	32,341
1339.70	32,360	32,380	32,400	32,419	32,439	32,459	32,478	32,498	32,518	32,538
1339.80	32,557	32,577	32,597	32,616	32,636	32,656	32,675	32,695	32,715	32,734

1339.90	32,754	32,774	32,793	32,813	32,833	32,853	32,872	32,892	32,912	32,931
1340.00	32,951	32,971	32,991	33,012	33,032	33,052	33,072	33,092	33,113	33,133
1340.10	33,153	33,173	33,193	33,213	33,234	33,254	33,274	33,294	33,314	33,335
1340.20	33,355	33,375	33,395	33,415	33,436	33,456	33,476	33,496	33,516	33,537
1340.30	33,557	33,577	33,597	33,617	33,637	33,658	33,678	33,698	33,718	33,738
1340.40	33,759	33,779	33,799	33,819	33,839	33,860	33,880	33,900	33,920	33,940
1340.50	33,961	33,981	34,001	34,021	34,041	34,061	34,082	34,102	34,122	34,142
1340.60	34,162	34,183	34,203	34,223	34,243	34,263	34,284	34,304	34,324	34,344
1340.70	34,364	34,384	34,405	34,425	34,445	34,465	34,485	34,506	34,526	34,546
1340.80	34,566	34,586	34,607	34,627	34,647	34,667	34,687	34,708	34,728	34,748
1340.90	34,768	34,788	34,808	34,829	34,849	34,869	34,889	34,909	34,930	34,950
1341.00	34,970	34,991	35,011	35,032	35,052	35,073	35,094	35,114	35,135	35,155
1341.10	35,176	35,196	35,217	35,238	35,258	35,279	35,299	35,320	35,341	35,361
1341.20	35,382	35,402	35,423	35,444	35,464	35,485	35,505	35,526	35,547	35,567
1341.30	35,588	35,608	35,629	35,649	35,670	35,691	35,711	35,732	35,752	35,773
1341.40	35,794	35,814	35,835	35,855	35,876	35,897	35,917	35,938	35,958	35,979
1341.50	35,999	36,020	36,041	36,061	36,082	36,102	36,123	36,144	36,164	36,185
1341.60	36,205	36,226	36,247	36,267	36,288	36,308	36,329	36,350	36,370	36,391
1341.70	36,411	36,432	36,452	36,473	36,494	36,514	36,535	36,555	36,576	36,597
1341.80	36,617	36,638	36,658	36,679	36,700	36,720	36,741	36,761	36,782	36,803
1341.90	36,823	36,844	36,864	36,885	36,905	36,926	36,947	36,967	36,988	37,008
1342.00	37,029	37,050	37,071	37,092	37,113	37,134	37,155	37,176	37,197	37,218
1342.10	37,240	37,261	37,282	37,303	37,324	37,345	37,366	37,387	37,408	37,429
1342.20	37,450	37,471	37,492	37,513	37,534	37,555	37,576	37,597	37,618	37,639
1342.30	37,661	37,682	37,703	37,724	37,745	37,766	37,787	37,808	37,829	37,850
1342.40	37,871	37,892	37,913	37,934	37,955	37,976	37,997	38,018	38,039	38,060
1342.50	38,082	38,103	38,124	38,145	38,166	38,187	38,208	38,229	38,250	38,271
1342.60	38,292	38,313	38,334	38,355	38,376	38,397	38,418	38,439	38,460	38,481
1342.70	38,503	38,524	38,545	38,566	38,587	38,608	38,629	38,650	38,671	38,692
1342.80	38,713	38,734	38,755	38,776	38,797	38,818	38,839	38,860	38,881	38,902
1342.90	38,924	38,945	38,966	38,987	39,008	39,029	39,050	39,071	39,092	39,113
1343.00	39,134									

Anexo 10. Tabla Elevaciones-Capacidades de la presa Tenango.

VOLUMEN EN MILLONES DE m ³										
NIVEL	0.00	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09
1335.00	7.169	7.183	7.196	7.210	7.223	7.237	7.250	7.264	7.277	7.291
1335.10	7.304	7.318	7.331	7.344	7.358	7.371	7.385	7.398	7.412	7.425
1335.20	7.439	7.452	7.466	7.479	7.493	7.506	7.520	7.533	7.547	7.560
1335.30	7.574	7.587	7.601	7.614	7.628	7.641	7.655	7.668	7.682	7.695
1335.40	7.709	7.722	7.736	7.749	7.763	7.776	7.790	7.803	7.817	7.830
1335.50	7.844	7.857	7.871	7.884	7.898	7.911	7.925	7.938	7.952	7.965
1335.60	7.979	7.992	8.006	8.019	8.033	8.046	8.060	8.073	8.087	8.100
1335.70	8.114	8.127	8.141	8.154	8.168	8.181	8.195	8.208	8.222	8.235
1335.80	8.249	8.262	8.276	8.289	8.303	8.316	8.330	8.343	8.357	8.370
1335.90	8.384	8.397	8.411	8.424	8.438	8.451	8.465	8.479	8.492	8.506
1336.00	8.519	8.533	8.548	8.562	8.577	8.591	8.606	8.620	8.635	8.649
1336.10	8.664	8.678	8.693	8.707	8.722	8.736	8.751	8.765	8.779	8.794
1336.20	8.808	8.823	8.837	8.852	8.866	8.881	8.895	8.910	8.924	8.939
1336.30	8.953	8.968	8.982	8.997	9.011	9.025	9.040	9.054	9.069	9.083
1336.40	9.098	9.112	9.127	9.141	9.156	9.170	9.185	9.199	9.214	9.228
1336.50	9.242	9.257	9.271	9.286	9.300	9.315	9.329	9.344	9.358	9.373
1336.60	9.387	9.402	9.416	9.431	9.445	9.460	9.474	9.488	9.503	9.517
1336.70	9.532	9.546	9.561	9.575	9.590	9.604	9.619	9.633	9.648	9.662
1336.80	9.677	9.691	9.706	9.720	9.734	9.749	9.763	9.778	9.792	9.807
1336.90	9.821	9.836	9.850	9.865	9.879	9.894	9.908	9.923	9.937	9.952
1337.00	9.966	9.982	9.997	10.013	10.029	10.045	10.060	10.076	10.092	10.108
1337.10	10.123	10.139	10.155	10.170	10.186	10.202	10.218	10.233	10.249	10.265
1337.20	10.281	10.296	10.312	10.328	10.344	10.359	10.375	10.391	10.406	10.422
1337.30	10.438	10.454	10.469	10.485	10.501	10.517	10.532	10.548	10.564	10.579
1337.40	10.595	10.611	10.627	10.642	10.658	10.674	10.690	10.705	10.721	10.737
1337.50	10.753	10.768	10.784	10.800	10.815	10.831	10.847	10.863	10.878	10.894
1337.60	10.910	10.926	10.941	10.957	10.973	10.988	11.004	11.020	11.036	11.051
1337.70	11.067	11.083	11.099	11.114	11.130	11.146	11.161	11.177	11.193	11.209
1337.80	11.224	11.240	11.256	11.272	11.287	11.303	11.319	11.335	11.350	11.366
1337.90	11.382	11.397	11.413	11.429	11.445	11.460	11.476	11.492	11.508	11.523
1338.00	11.539	11.556	11.574	11.591	11.608	11.625	11.643	11.660	11.677	11.695
1338.10	11.712	11.729	11.746	11.764	11.781	11.798	11.816	11.833	11.850	11.868
1338.20	11.885	11.902	11.919	11.937	11.954	11.971	11.989	12.006	12.023	12.040
1338.30	12.058	12.075	12.092	12.110	12.127	12.144	12.161	12.179	12.196	12.213
1338.40	12.231	12.248	12.265	12.282	12.300	12.317	12.334	12.352	12.369	12.386
1338.50	12.404	12.421	12.438	12.455	12.473	12.490	12.507	12.525	12.542	12.559
1338.60	12.576	12.594	12.611	12.628	12.646	12.663	12.680	12.697	12.715	12.732
1338.70	12.749	12.767	12.784	12.801	12.818	12.836	12.853	12.870	12.888	12.905
1338.80	12.922	12.939	12.957	12.974	12.991	13.009	13.026	13.043	13.061	13.078

1338.90	13.095	13.112	13.130	13.147	13.164	13.182	13.199	13.216	13.233	13.251
1339.00	13.268	13.287	13.306	13.325	13.344	13.363	13.382	13.401	13.420	13.439
1339.10	13.458	13.477	13.496	13.515	13.534	13.553	13.572	13.591	13.610	13.629
1339.20	13.648	13.667	13.686	13.705	13.724	13.743	13.762	13.781	13.800	13.819
1339.30	13.838	13.857	13.876	13.895	13.914	13.933	13.952	13.971	13.990	14.009
1339.40	14.028	14.047	14.066	14.085	14.104	14.123	14.142	14.161	14.180	14.199
1339.50	14.218	14.236	14.255	14.274	14.293	14.312	14.331	14.350	14.369	14.388
1339.60	14.407	14.426	14.445	14.464	14.483	14.502	14.521	14.540	14.559	14.578
1339.70	14.597	14.616	14.635	14.654	14.673	14.692	14.711	14.730	14.749	14.768
1339.80	14.787	14.806	14.825	14.844	14.863	14.882	14.901	14.920	14.939	14.958
1339.90	14.977	14.996	15.015	15.034	15.053	15.072	15.091	15.110	15.129	15.148
1340.00	15.167	15.187	15.208	15.228	15.249	15.269	15.290	15.310	15.331	15.351
1340.10	15.372	15.392	15.413	15.433	15.454	15.474	15.495	15.515	15.535	15.556
1340.20	15.576	15.597	15.617	15.638	15.658	15.679	15.699	15.720	15.740	15.761
1340.30	15.781	15.802	15.822	15.843	15.863	15.883	15.904	15.924	15.945	15.965
1340.40	15.986	16.006	16.027	16.047	16.068	16.088	16.109	16.129	16.150	16.170
1340.50	16.191	16.211	16.231	16.252	16.272	16.293	16.313	16.334	16.354	16.375
1340.60	16.395	16.416	16.436	16.457	16.477	16.498	16.518	16.538	16.559	16.579
1340.70	16.600	16.620	16.641	16.661	16.682	16.702	16.723	16.743	16.764	16.784
1340.80	16.805	16.825	16.846	16.866	16.886	16.907	16.927	16.948	16.968	16.989
1340.90	17.009	17.030	17.050	17.071	17.091	17.112	17.132	17.153	17.173	17.194
1341.00	17.214	17.236	17.258	17.280	17.302	17.323	17.345	17.367	17.389	17.411
1341.10	17.433	17.455	17.477	17.498	17.520	17.542	17.564	17.586	17.608	17.630
1341.20	17.652	17.673	17.695	17.717	17.739	17.761	17.783	17.805	17.827	17.849
1341.30	17.870	17.892	17.914	17.936	17.958	17.980	18.002	18.024	18.045	18.067
1341.40	18.089	18.111	18.133	18.155	18.177	18.199	18.220	18.242	18.264	18.286
1341.50	18.308	18.330	18.352	18.374	18.396	18.417	18.439	18.461	18.483	18.505
1341.60	18.527	18.549	18.571	18.592	18.614	18.636	18.658	18.680	18.702	18.724
1341.70	18.746	18.767	18.789	18.811	18.833	18.855	18.877	18.899	18.921	18.943
1341.80	18.964	18.986	19.008	19.030	19.052	19.074	19.096	19.118	19.139	19.161
1341.90	19.183	19.205	19.227	19.249	19.271	19.293	19.314	19.336	19.358	19.380
1342.00	19.402	19.425	19.449	19.472	19.495	19.519	19.542	19.565	19.589	19.612
1342.10	19.635	19.659	19.682	19.705	19.729	19.752	19.775	19.799	19.822	19.845
1342.20	19.869	19.892	19.915	19.939	19.962	19.986	20.009	20.032	20.056	20.079
1342.30	20.102	20.126	20.149	20.172	20.196	20.219	20.242	20.266	20.289	20.312
1342.40	20.336	20.359	20.382	20.406	20.429	20.452	20.476	20.499	20.522	20.546
1342.50	20.569	20.592	20.616	20.639	20.662	20.686	20.709	20.732	20.756	20.779
1342.60	20.802	20.826	20.849	20.872	20.896	20.919	20.942	20.966	20.989	21.012
1342.70	21.036	21.059	21.082	21.106	21.129	21.153	21.176	21.199	21.223	21.246
1342.80	21.269	21.293	21.316	21.339	21.363	21.386	21.409	21.433	21.456	21.479
1342.90	21.503	21.526	21.549	21.573	21.596	21.619	21.643	21.666	21.689	21.713
1343.00	21.736	21.761	21.786	21.810	21.835	21.860	21.885	21.909	21.934	21.959
1343.10	21.984	22.008	22.033	22.058	22.083	22.107	22.132	22.157	22.182	22.206

1343.20	22.231	22.256	22.281	22.305	22.330	22.355	22.380	22.405	22.429	22.454
1343.30	22.479	22.504	22.528	22.553	22.578	22.603	22.627	22.652	22.677	22.702
1343.40	22.726	22.751	22.776	22.801	22.825	22.850	22.875	22.900	22.924	22.949
1343.50	22.974	22.999	23.024	23.048	23.073	23.098	23.123	23.147	23.172	23.197
1343.60	23.222	23.246	23.271	23.296	23.321	23.345	23.370	23.395	23.420	23.444
1343.70	23.469	23.494	23.519	23.543	23.568	23.593	23.618	23.643	23.667	23.692
1343.80	23.717	23.742	23.766	23.791	23.816	23.841	23.865	23.890	23.915	23.940
1343.90	23.964	23.989	24.014	24.039	24.063	24.088	24.113	24.138	24.162	24.187
1344.00	24.212	24.238	24.264	24.290	24.316	24.342	24.368	24.395	24.421	24.447
1344.10	24.473	24.499	24.525	24.551	24.577	24.603	24.629	24.655	24.681	24.708
1344.20	24.734	24.760	24.786	24.812	24.838	24.864	24.890	24.916	24.942	24.968
1344.30	24.994	25.020	25.047	25.073	25.099	25.125	25.151	25.177	25.203	25.229
1344.40	25.255	25.281	25.307	25.333	25.360	25.386	25.412	25.438	25.464	25.490
1344.50	25.516	25.542	25.568	25.594	25.620	25.646	25.672	25.699	25.725	25.751
1344.60	25.777	25.803	25.829	25.855	25.881	25.907	25.933	25.959	25.985	26.012
1344.70	26.038	26.064	26.090	26.116	26.142	26.168	26.194	26.220	26.246	26.272
1344.80	26.298	26.324	26.351	26.377	26.403	26.429	26.455	26.481	26.507	26.533
1344.90	26.559	26.585	26.611	26.637	26.664	26.690	26.716	26.742	26.768	26.794
1345.00	26.820	26.848	26.875	26.903	26.931	26.958	26.986	27.014	27.041	27.069
1345.10	27.097	27.124	27.152	27.180	27.207	27.235	27.263	27.290	27.318	27.346
1345.20	27.373	27.401	27.429	27.456	27.484	27.512	27.539	27.567	27.594	27.622
1345.30	27.650	27.677	27.705	27.733	27.760	27.788	27.816	27.843	27.871	27.899
1345.40	27.926	27.954	27.982	28.009	28.037	28.065	28.092	28.120	28.148	28.175
1345.50	28.203	28.231	28.258	28.286	28.314	28.341	28.369	28.397	28.424	28.452
1345.60	28.480	28.507	28.535	28.563	28.590	28.618	28.646	28.673	28.701	28.729
1345.70	28.756	28.784	28.812	28.839	28.867	28.895	28.922	28.950	28.977	29.005
1345.80	29.033	29.060	29.088	29.116	29.143	29.171	29.199	29.226	29.254	29.282
1345.90	29.309	29.337	29.365	29.392	29.420	29.448	29.475	29.503	29.531	29.558
1346.00	29.586	29.614	29.643	29.671	29.699	29.727	29.756	29.784	29.812	29.840
1346.10	29.869	29.897	29.925	29.953	29.982	30.010	30.038	30.066	30.095	30.123
1346.20	30.151	30.179	30.208	30.236	30.264	30.293	30.321	30.349	30.377	30.406
1346.30	30.434	30.462	30.490	30.519	30.547	30.575	30.603	30.632	30.660	30.688
1346.40	30.716	30.745	30.773	30.801	30.829	30.858	30.886	30.914	30.942	30.971
1346.50	30.999	31.027	31.056	31.084	31.112	31.140	31.169	31.197	31.225	31.253
1346.60	31.282	31.310	31.338	31.366	31.395	31.423	31.451	31.479	31.508	31.536
1346.70	31.564	31.592	31.621	31.649	31.677	31.706	31.734	31.762	31.790	31.819
1346.80	31.847	31.875	31.903	31.932	31.960	31.988	32.016	32.045	32.073	32.101
1346.90	32.129	32.158	32.186	32.214	32.242	32.271	32.299	32.327	32.355	32.384
1347.00	32.412	32.442	32.472	32.503	32.533	32.563	32.593	32.623	32.653	32.684
1347.10	32.714	32.744	32.774	32.804	32.835	32.865	32.895	32.925	32.955	32.985
1347.20	33.016	33.046	33.076	33.106	33.136	33.167	33.197	33.227	33.257	33.287
1347.30	33.317	33.348	33.378	33.408	33.438	33.468	33.498	33.529	33.559	33.589

1347.40	33.619	33.649	33.680	33.710	33.740	33.770	33.800	33.830	33.861	33.891
1347.50	33.921	33.951	33.981	34.012	34.042	34.072	34.102	34.132	34.162	34.193
1347.60	34.223	34.253	34.283	34.313	34.344	34.374	34.404	34.434	34.464	34.494
1347.70	34.525	34.555	34.585	34.615	34.645	34.676	34.706	34.736	34.766	34.796
1347.80	34.826	34.857	34.887	34.917	34.947	34.977	35.007	35.038	35.068	35.098
1347.90	35.128	35.158	35.189	35.219	35.249	35.279	35.309	35.339	35.370	35.400
1348.00	35.430	35.462	35.493	35.525	35.557	35.588	35.620	35.652	35.683	35.715
1348.10	35.747	35.778	35.810	35.842	35.874	35.905	35.937	35.969	36.000	36.032
1348.20	36.064	36.095	36.127	36.159	36.190	36.222	36.254	36.285	36.317	36.349
1348.30	36.380	36.412	36.444	36.475	36.507	36.539	36.570	36.602	36.634	36.666
1348.40	36.697	36.729	36.761	36.792	36.824	36.856	36.887	36.919	36.951	36.982
1348.50	37.014	37.046	37.077	37.109	37.141	37.172	37.204	37.236	37.267	37.299
1348.60	37.331	37.362	37.394	37.426	37.458	37.489	37.521	37.553	37.584	37.616
1348.70	37.648	37.679	37.711	37.743	37.774	37.806	37.838	37.869	37.901	37.933
1348.80	37.964	37.996	38.028	38.059	38.091	38.123	38.154	38.186	38.218	38.250
1348.90	38.281	38.313	38.345	38.376	38.408	38.440	38.471	38.503	38.535	38.566
1349.00	38.598	38.631	38.663	38.695	38.726	38.758	38.790	38.821	38.853	38.885
1349.10	38.918	38.951	38.984	39.018	39.051	39.084	39.117	39.151	39.184	39.217
1349.20	39.250	39.284	39.317	39.350	39.383	39.417	39.450	39.483	39.516	39.549
1349.30	39.583	39.616	39.649	39.682	39.716	39.749	39.782	39.815	39.849	39.882
1349.40	39.915	39.948	39.982	40.015	40.048	40.081	40.115	40.148	40.181	40.214
1349.50	40.248	40.281	40.314	40.347	40.380	40.414	40.447	40.480	40.513	40.547
1349.60	40.580	40.613	40.646	40.680	40.713	40.746	40.779	40.813	40.846	40.879
1349.70	40.912	40.946	40.979	41.012	41.045	41.079	41.112	41.145	41.178	41.211
1349.80	41.245	41.278	41.311	41.344	41.378	41.411	41.444	41.477	41.511	41.544
1349.90	41.577	41.610	41.644	41.677	41.710	41.743	41.777	41.810	41.843	41.876
1350.00	41.922	41.955	41.988	42.022	42.055	42.088	42.121	42.155	42.188	42.221
1350.10	42.254	42.288	42.321	42.354	42.387	42.421	42.454	42.487	42.520	42.554
1350.20	42.587	42.620	42.653	42.687	42.720	42.753	42.786	42.819	42.853	42.886
1350.30	42.919	42.952	42.986	43.019	43.052	43.085	43.119	43.152	43.185	43.218
1350.40	43.252	43.285	43.318	43.351	43.385	43.418	43.451	43.484	43.518	43.551
1350.50	43.584	43.617	43.650	43.684	43.717	43.750	43.783	43.817	43.850	43.883
1350.60	43.916	43.950	43.983	44.016	44.049	44.083	44.116	44.149	44.182	44.216
1350.70	44.249	44.282	44.315	44.349	44.382	44.415	44.448	44.481	44.515	44.548
1350.80	44.581	44.614	44.648	44.681	44.714	44.747	44.781	44.814	44.847	44.880
1350.90	44.914	44.947	44.980	45.013	45.047	45.080	45.113	45.146	45.180	45.213
1351.00	45.246	45.279	45.312	45.346	45.379	45.412	45.445	45.479	45.512	45.545
1351.10	45.578	45.612	45.645	45.678	45.711	45.745	45.778	45.811	45.844	45.878
1351.20	45.911	45.944	45.977	46.011	46.044	46.077	46.110	46.143	46.177	46.210
1351.30	46.243	46.276	46.310	46.343	46.376	46.409	46.443	46.476	46.509	46.542
1351.40	46.576									
1352.00	48.570									

Anexo 11. Tabla Elevaciones-Capacidades de la presa Nexapa

VOLUMEN EN MILLONES DE m ³										
NIVEL	0.00	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09
1350.00	2.493	2.499	2.505	2.512	2.518	2.524	2.530	2.536	2.543	2.549
1350.10	2.555	2.561	2.567	2.574	2.580	2.586	2.592	2.598	2.605	2.611
1350.20	2.617	2.623	2.629	2.636	2.642	2.648	2.654	2.660	2.667	2.673
1350.30	2.679	2.685	2.691	2.698	2.704	2.710	2.716	2.722	2.729	2.735
1350.40	2.741	2.747	2.753	2.760	2.766	2.772	2.778	2.784	2.791	2.797
1350.50	2.803	2.809	2.815	2.822	2.828	2.834	2.840	2.846	2.853	2.859
1350.60	2.865	2.871	2.877	2.884	2.890	2.896	2.902	2.908	2.915	2.921
1350.70	2.927	2.933	2.939	2.946	2.952	2.958	2.964	2.970	2.977	2.983
1350.80	2.989	2.995	3.001	3.008	3.014	3.020	3.026	3.032	3.039	3.045
1350.90	3.051	3.057	3.063	3.070	3.076	3.082	3.088	3.094	3.101	3.107
1351.00	3.113	3.120	3.128	3.135	3.142	3.149	3.157	3.164	3.171	3.178
1351.10	3.186	3.193	3.200	3.207	3.215	3.222	3.229	3.236	3.244	3.251
1351.20	3.258	3.265	3.273	3.280	3.287	3.295	3.302	3.309	3.316	3.324
1351.30	3.331	3.338	3.345	3.353	3.360	3.367	3.374	3.382	3.389	3.396
1351.40	3.403	3.411	3.418	3.425	3.432	3.440	3.447	3.454	3.461	3.469
1351.50	3.476	3.483	3.491	3.498	3.505	3.512	3.520	3.527	3.534	3.541
1351.60	3.549	3.556	3.563	3.570	3.578	3.585	3.592	3.599	3.607	3.614
1351.70	3.621	3.628	3.636	3.643	3.650	3.658	3.665	3.672	3.679	3.687
1351.80	3.694	3.701	3.708	3.716	3.723	3.730	3.737	3.745	3.752	3.759
1351.90	3.766	3.774	3.781	3.788	3.795	3.803	3.810	3.817	3.824	3.832
1352.00	3.839	3.847	3.855	3.863	3.871	3.879	3.888	3.896	3.904	3.912
1352.10	3.920	3.928	3.936	3.944	3.952	3.960	3.968	3.977	3.985	3.993
1352.20	4.001	4.009	4.017	4.025	4.033	4.041	4.049	4.057	4.066	4.074
1352.30	4.082	4.090	4.098	4.106	4.114	4.122	4.130	4.138	4.146	4.155
1352.40	4.163	4.171	4.179	4.187	4.195	4.203	4.211	4.219	4.227	4.235
1352.50	4.244	4.252	4.260	4.268	4.276	4.284	4.292	4.300	4.308	4.316
1352.60	4.324	4.332	4.341	4.349	4.357	4.365	4.373	4.381	4.389	4.397
1352.70	4.405	4.413	4.421	4.430	4.438	4.446	4.454	4.462	4.470	4.478
1352.80	4.486	4.494	4.502	4.510	4.519	4.527	4.535	4.543	4.551	4.559
1352.90	4.567	4.575	4.583	4.591	4.599	4.608	4.616	4.624	4.632	4.640
1353.00	4.648	4.657	4.666	4.674	4.683	4.692	4.701	4.710	4.718	4.727
1353.10	4.736	4.745	4.754	4.762	4.771	4.780	4.789	4.798	4.806	4.815
1353.20	4.824	4.833	4.842	4.850	4.859	4.868	4.877	4.886	4.894	4.903
1353.30	4.912	4.921	4.930	4.938	4.947	4.956	4.965	4.974	4.982	4.991
1353.40	5.000	5.009	5.018	5.026	5.035	5.044	5.053	5.062	5.070	5.079
1353.50	5.088	5.097	5.106	5.114	5.123	5.132	5.141	5.150	5.158	5.167
1353.60	5.176	5.185	5.194	5.202	5.211	5.220	5.229	5.238	5.246	5.255
1353.70	5.264	5.273	5.282	5.290	5.299	5.308	5.317	5.326	5.334	5.343
1353.80	5.352	5.361	5.370	5.378	5.387	5.396	5.405	5.414	5.422	5.431

1353.90	5.440	5.449	5.458	5.466	5.475	5.484	5.493	5.502	5.510	5.519
1354.00	5.528	5.538	5.547	5.557	5.566	5.576	5.585	5.595	5.604	5.614
1354.10	5.623	5.633	5.642	5.652	5.661	5.671	5.680	5.690	5.700	5.709
1354.20	5.719	5.728	5.738	5.747	5.757	5.766	5.776	5.785	5.795	5.804
1354.30	5.814	5.823	5.833	5.842	5.852	5.862	5.871	5.881	5.890	5.900
1354.40	5.909	5.919	5.928	5.938	5.947	5.957	5.966	5.976	5.985	5.995
1354.50	6.004	6.014	6.024	6.033	6.043	6.052	6.062	6.071	6.081	6.090
1354.60	6.100	6.109	6.119	6.128	6.138	6.147	6.157	6.167	6.176	6.186
1354.70	6.195	6.205	6.214	6.224	6.233	6.243	6.252	6.262	6.271	6.281
1354.80	6.290	6.300	6.309	6.319	6.329	6.338	6.348	6.357	6.367	6.376
1354.90	6.386	6.395	6.405	6.414	6.424	6.433	6.443	6.452	6.462	6.471
1355.00	6.481	6.491	6.502	6.512	6.522	6.533	6.543	6.553	6.563	6.574
1355.10	6.584	6.594	6.605	6.615	6.625	6.636	6.646	6.656	6.667	6.677
1355.20	6.687	6.698	6.708	6.718	6.728	6.739	6.749	6.759	6.770	6.780
1355.30	6.790	6.801	6.811	6.821	6.832	6.842	6.852	6.862	6.873	6.883
1355.40	6.893	6.904	6.914	6.924	6.935	6.945	6.955	6.966	6.976	6.986
1355.50	6.996	7.007	7.017	7.027	7.038	7.048	7.058	7.069	7.079	7.089
1355.60	7.100	7.110	7.120	7.131	7.141	7.151	7.161	7.172	7.182	7.192
1355.70	7.203	7.213	7.223	7.234	7.244	7.254	7.265	7.275	7.285	7.295
1355.80	7.306	7.316	7.326	7.337	7.347	7.357	7.368	7.378	7.388	7.399
1355.90	7.409	7.419	7.430	7.440	7.450	7.460	7.471	7.481	7.491	7.502
1356.00	7.512	7.523	7.534	7.545	7.557	7.568	7.579	7.590	7.601	7.612
1356.10	7.623	7.635	7.646	7.657	7.668	7.679	7.690	7.701	7.713	7.724
1356.20	7.735	7.746	7.757	7.768	7.779	7.791	7.802	7.813	7.824	7.835
1356.30	7.846	7.857	7.868	7.880	7.891	7.902	7.913	7.924	7.935	7.946
1356.40	7.958	7.969	7.980	7.991	8.002	8.013	8.024	8.036	8.047	8.058
1356.50	8.069	8.080	8.091	8.102	8.114	8.125	8.136	8.147	8.158	8.169
1356.60	8.180	8.192	8.203	8.214	8.225	8.236	8.247	8.258	8.270	8.281
1356.70	8.292	8.303	8.314	8.325	8.336	8.347	8.359	8.370	8.381	8.392
1356.80	8.403	8.414	8.425	8.437	8.448	8.459	8.470	8.481	8.492	8.503
1356.90	8.515	8.526	8.537	8.548	8.559	8.570	8.581	8.593	8.604	8.615
1357.00	8.626	8.638	8.650	8.662	8.674	8.686	8.698	8.710	8.722	8.734
1357.10	8.746	8.758	8.770	8.782	8.794	8.806	8.818	8.830	8.842	8.854
1357.20	8.866	8.878	8.890	8.902	8.914	8.926	8.938	8.950	8.962	8.974
1357.30	8.986	8.998	9.010	9.022	9.034	9.046	9.058	9.070	9.082	9.094
1357.40	9.106	9.118	9.130	9.142	9.154	9.166	9.178	9.190	9.202	9.214
1357.50	9.226	9.238	9.250	9.262	9.274	9.286	9.298	9.310	9.322	9.334
1357.60	9.346	9.358	9.370	9.382	9.394	9.406	9.418	9.430	9.442	9.454
1357.70	9.466	9.478	9.490	9.502	9.514	9.526	9.538	9.550	9.562	9.574
1357.80	9.586	9.598	9.610	9.622	9.634	9.646	9.658	9.670	9.682	9.694
1357.90	9.706	9.718	9.730	9.742	9.754	9.766	9.778	9.790	9.802	9.814
1358.00	9.826	9.839	9.852	9.865	9.878	9.890	9.903	9.916	9.929	9.942
1358.10	9.955	9.968	9.981	9.994	10.006	10.019	10.032	10.045	10.058	10.071

1358.20	10.084	10.097	10.110	10.122	10.135	10.148	10.161	10.174	10.187	10.200
1358.30	10.213	10.226	10.238	10.251	10.264	10.277	10.290	10.303	10.316	10.329
1358.40	10.342	10.354	10.367	10.380	10.393	10.406	10.419	10.432	10.445	10.458
1358.50	10.471	10.483	10.496	10.509	10.522	10.535	10.548	10.561	10.574	10.587
1358.60	10.599	10.612	10.625	10.638	10.651	10.664	10.677	10.690	10.703	10.715
1358.70	10.728	10.741	10.754	10.767	10.780	10.793	10.806	10.819	10.831	10.844
1358.80	10.857	10.870	10.883	10.896	10.909	10.922	10.935	10.947	10.960	10.973
1358.90	10.986	10.999	11.012	11.025	11.038	11.051	11.063	11.076	11.089	11.102
1359.00	11.115	11.129	11.143	11.157	11.170	11.184	11.198	11.212	11.226	11.240
1359.10	11.254	11.267	11.281	11.295	11.309	11.323	11.337	11.350	11.364	11.378
1359.20	11.392	11.406	11.420	11.434	11.447	11.461	11.475	11.489	11.503	11.517
1359.30	11.531	11.544	11.558	11.572	11.586	11.600	11.614	11.627	11.641	11.655
1359.40	11.669	11.683	11.697	11.711	11.724	11.738	11.752	11.766	11.780	11.794
1359.50	11.808	11.821	11.835	11.849	11.863	11.877	11.891	11.904	11.918	11.932
1359.60	11.946	11.960	11.974	11.988	12.001	12.015	12.029	12.043	12.057	12.071
1359.70	12.085	12.098	12.112	12.126	12.140	12.154	12.168	12.181	12.195	12.209
1359.80	12.223	12.237	12.251	12.265	12.278	12.292	12.306	12.320	12.334	12.348
1359.90	12.362	12.375	12.389	12.403	12.417	12.431	12.445	12.458	12.472	12.486
1360.00	12.500	12.514	12.528	12.542	12.555	12.569	12.583	12.597	12.611	12.625
1360.10	12.639	12.652	12.666	12.680	12.694	12.708	12.722	12.735	12.749	12.763
1360.20	12.777	12.791	12.805	12.819	12.832	12.846	12.860	12.874	12.888	12.902
1360.30	12.916	12.929	12.943	12.957	12.971	12.985	12.999	13.012	13.026	13.040
1360.40	13.054	13.068	13.082	13.096	13.109	13.123	13.137	13.151	13.165	13.179
1360.50	13.193	13.206	13.220	13.234	13.248	13.262	13.276	13.289	13.303	13.317
1360.60	13.331	13.345	13.359	13.373	13.386	13.400	13.414	13.428	13.442	13.456
1360.70	13.470	13.483	13.497	13.511	13.525	13.539	13.553	13.566	13.580	13.594
1360.80	13.608	13.622	13.636	13.650	13.663	13.677	13.691	13.705	13.719	13.733
1360.90	13.747	13.760	13.774	13.788	13.802	13.816	13.830	13.843	13.857	13.871
1361.00	13.885	13.899	13.913	13.927	13.940	13.954	13.968	13.982	13.996	14.010
1361.10	14.024	14.037	14.051	14.065	14.079	14.093	14.107	14.120	14.134	14.148
1361.20	14.162	14.176	14.190	14.204	14.217	14.231	14.245	14.259	14.273	14.287
1361.30	14.301	14.314	14.328	14.342	14.356	14.370	14.384	14.397	14.411	14.425
1361.40	14.439	14.453	14.467	14.481	14.494	14.508	14.522	14.536	14.550	14.564
1361.50	14.578	14.591	14.605	14.619	14.633	14.647	14.661	14.674	14.688	14.702
1361.60	14.716	14.730	14.744	14.758	14.771	14.785	14.799	14.813	14.827	14.841
1361.70	14.855	14.868	14.882	14.896	14.910	14.924	14.938	14.951	14.965	14.979
1361.80	14.993	15.007	15.021	15.035	15.048	15.062	15.076	15.090	15.104	15.118
1361.90	15.132	15.145	15.159	15.173	15.187	15.201	15.215	15.228	15.242	15.256
1362.00	15.270	15.284	15.298	15.312	15.325	15.339	15.353	15.367	15.381	15.395
1362.10	15.409	15.422	15.436	15.450	15.464	15.478	15.492	15.505	15.519	15.533
1362.20	15.547	15.561	15.575	15.589	15.602	15.616	15.630	15.644	15.658	15.672
1362.30	15.686	15.699	15.713	15.727	15.741	15.755	15.769	15.782	15.796	15.810

1362.40	15.824	15.838	15.852	15.866	15.879	15.893	15.907	15.921	15.935	15.949
1362.50	15.963	15.976	15.990	16.004	16.018	16.032	16.046	16.059	16.073	16.087
1362.60	16.101	16.115	16.129	16.143	16.156	16.170	16.184	16.198	16.212	16.226
1362.70	16.240	16.253	16.267	16.281	16.295	16.309	16.323	16.336	16.350	16.364
1362.80	16.378	16.392	16.406	16.420	16.433	16.447	16.461	16.475	16.489	16.503
1362.90	16.517	16.530	16.544	16.558	16.572	16.586	16.600	16.613	16.627	16.641
1363.00	16.655									