UNIVERSIDAD DE PIURA

REPOSITORIO INSTITUCIONAL PIRHUA

MODELO HIDROLÓGICO DE LA CUENCA CATAMAYO-CHIRA HASTA EL INGRESO AL RESERVORIO POECHOS USANDO HEC-HMS

Mylenne Varona-Alama

Piura, junio de 2018

FACULTAD DE INGENIERÍA

Departamento de Ingeniería Civil

Varona, M. (2018). *Modelo hidrológico de la cuenca Catamayo-Chira hasta el ingreso al reservorio Poechos usando Hec-Hms* (Tesis para optar el título de Ingeniero Civil). Universidad de Piura, Facultad de Ingeniería. Programa Académico de Ingeniería Civil. Piura, Perú.

Esta obra está bajo una licencia
Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivar 4.0 Internacional

Repositorio institucional PIRHUA – Universidad de Piura

U N I V E R S I D A D D E P I U R A

FACULTAD DE INGENIERÍA

"Modelo hidrológico de la cuenca Catamayo-Chira hasta el ingreso al reservorio Poechos usando Hec-Hms"

Tesis para optar el Título de
Ingeniera Civil

Mylenne Cecilia Varona Alama

Asesora: Mgtr. Clara Marina Farías Zegada de Reyes

Piura, Junio 2018

A Dios, a mis padres Guillermo y Nelly y a mis hermanos Milagros y Diego

Prólogo

Muchas de las obras hidráulicas construidas para un determinado tiempo de vida útil, no siempre llegan a cumplir con dicho periodo. Esto se debe muchas veces a que en el diseño no se toman en cuenta los fenómenos que puedan ocurrir durante su funcionamiento, hechos que pueden ser altamente perjudiciales para las obras y que pueden alterar su comportamiento y muchas veces hasta ocasionar su colapso.

Es así como el reservorio Poechos, obra hidráulica de gran importancia en el departamento de Piura, que forma parte del Proyecto Especial Chira Piura, sufrió la presencia de dos eventos anómalos, el Fenómeno El Niño de 1982-1983 y el de 1997-1998 ocasionando grandes consecuencias, una de ellas y quizá la más importante es la colmatación acelerada del embalse. Es por ello que es de vital importancia hacer un análisis hidrológico de la(s) cuenca(s) hidrológica(s) involucrada(s) en esta obra hidráulica, y mediante ello estimar valores de parámetros que podrían ocurrir durante su vida útil y afecten su funcionamiento. Si bien es cierto, no se puede determinar con exactitud la fecha y hora de ocurrencia de dichos fenómenos, sí podemos hacer un análisis de datos que nos permita estimar caudales futuros y poder hacer frente a dichas situaciones catastróficas, evitando pérdidas importantes. Lo que se pretende con esta tesis es tomar los datos hidrometeorológicos de las estaciones Puente Internacional, Paraje Grande, Ciruelo y Ardilla ubicadas aguas arriba del embalse, y mediante el uso del programa Hec-Hms modelar la cuenca del Catamayo-Chira, en el área enmarcada en esas cuatro estaciones para, una vez calibrado el modelo, poder estimar las variables hidrológicas a la entrada del reservorio Poechos.

Se agradece al Ing. Félix Zapata, quien trabaja en el área de Hidrometeorología del Proyecto Especial Chira Piura por su atención cada vez que se solicitó información, así como por compartir sus experiencias profesionales de gran utilidad. La tesis de grado que se desarrolla a continuación forma parte del proyecto “Desarrollo de una metodología de descolmatación de un reservorio utilizando la misma energía de agua y a un bajo costo. Caso piloto: Reservorio Poechos Piura” ejecutado por el Instituto de Hidráulica, Hidrología e Ingeniería Sanitaria de la Universidad de Piura, bajo contrato N° 392 FINCyT-IX-2014, cuya coordinadora general es la Mgtr. Marina Farías de Reyes, a quien agradezco la oportunidad de haberme permitido formar parte de su equipo y al asesoramiento brindado para el desarrollo de la presente tesis.

Resumen

El objetivo principal de la presente tesis es la modelación de la cuenca Catamayo-Chira hasta el ingreso al reservorio Poechos mediante el programa Hec-Hms, basada en la información recopilada en las estaciones Puente Internacional, Paraje Grande, Ciruelo y Ardilla, ubicadas aguas arriba de dicho reservorio. De esta manera, se podrán evaluar los caudales que se originan producto de la escorrentía de las lluvias en la parte alta de la cuenca y su influencia en la entrada del reservorio Poechos.

Para ello, en el primer capítulo se ha realizado un estudio general de la cuenca que nos permite conocer el territorio que se va a modelar, también se muestra una descripción del Proyecto Especial Chira Piura, así como del Reservorio Poechos y la importancia que tiene este en la población piurana, se describe además las estaciones hidrométricas de estudio y un análisis hidrológico de la cuenca.

En el segundo capítulo se muestra una descripción del programa Hec-Hms y sus aplicaciones, para luego en el tercer capítulo describir el proceso de modelación de la cuenca y los resultados obtenidos. Finalizando en el cuarto capítulo se muestran las conclusiones obtenidas y las recomendaciones, producto de la modelación realizada.

Índice

Capítulo 1 Ámbito de estudio 3
1.1 Cuenca binacional Catamayo - Chira 3
1.1.1 Ubicación y extensión 3
1.1.2 Hidrografía 7
1.1.3 Subcuencas 9
1.1.4 Geomorfología 15
1.1.5 Clima 19
1.2 Proyecto Especial Chira Piura 21
1.2.1 Antecedentes 21
1.2.2 Etapas 22
1.2.3 Infraestructura mayor de riego 23
1.3 Reservorio Poechos 25
1.3.1 Ubicación 25
1.3.2 Descripción 25
1.3.3 Operación del reservorio Poechos 26
1.3.4 Colmatación del reservorio Poechos 27
1.3.5 Importancia e impacto en la población 28
1.4 Estaciones hidrométricas de estudio 30
1.4.1 Estación Ciruelo 30
1.4.2 Estación Puente Internacional 30

1.4.3 Estación Paraje Grande 30
1.4.4 Estación Ardilla 30
1.5 Análisis hidrológico de la cuenca 31
Capítulo 2 Programa Hec-Hms 37
2.1 Descripción 37
2.1.1 El sistema Hec-Hms 38
2.1.2 Componentes de un proyecto en Hec-Hms 39
2.1.3 Fases de trabajo del Hec-Hms 43
2.2. Aplicaciones 48
Capítulo 3 Modelamiento hidrológico de la cuenca Catamayo-Chira usando Hec-Hms 49
3.1 Modelo de la cuenca Catamayo-Chira 51
3.1.1 Definir el modelo de la cuenca 51
3.1.2 Crear elementos hidrológicos 51
3.1.3 Conexión de los elementos hidrológicos 51
3.1.4 Datos en los elementos del modelo de la cuenca 54
3.2 Modelo meteorológico 74
3.3 Especificaciones de control 76
3.4 Crear la simulación 77
3.5 Resultados de la modelación 78
3.5.1 Resultados preliminares y modificaciones 78
3.5.2 Resultados finales 80
Capítulo 4 Conclusiones y Recomendaciones 99
3.1 Conclusiones 99
3.2 Recomendaciones 101
Bibliografía 103
ANEXOS 105

Introducción

Los seres humanos siempre estamos buscando crear herramientas y/o construcciones que ayuden a la sociedad a atender sus necesidades. Cuando no se cuenta con infraestructura de protección sucede lo que se vivió en la ciudad de Piura el pasado 27 de marzo del 2017, en donde el caudal que trajo el río Piura sobrepasó los límites y al no poseer en su cauce ninguna infraestructura que sirva de regulador de las aguas, invadió la ciudad causando muchos daños en la población.

A diferencia del río Piura, el río Chira sí cuenta con una infraestructura que funciona como regulador de las aguas que provienen de la parte alta de la cuenca y es el reservorio Poechos. Es muy importante que esta infraestructura se encuentre en buen estado y pueda continuar con su buen funcionamiento. Para ello se debe combatir el mayor problema que sufre en la actualidad que es la colmatación del embalse, sino el reservorio quedará colmatado en su totalidad y la infraestructura quedará sin cumplir su función reguladora y laminadora de avenidas.

Como trabajo de investigación se ha realizado en la presente tesis un modelamiento de la cuenca Catamayo-Chira hasta el reservorio Poechos utilizando el programa Hec-Hms. Ello nos permite conocer cómo se transforman las precipitaciones a caudales y los aportes de la parte alta de la cuenca en la entrada al reservorio Poechos. Mediante el modelamiento se podrá conocer con anticipación los posibles caudales de ingreso a la infraestructura y por ende se podrá prever la operación del mismo.

El estudio se ha realizado en cuatro capítulos, en el primero se hace un análisis de toda la cuenca y las estructuras que forman parte del ámbito de estudio, en el segundo se describe el programa en sí y sus aplicaciones, en el tercero se muestra todo el procedimiento que se ha realizado para la modelación y los resultados obtenidos; finalmente en el cuarto capítulo se muestran las conclusiones y recomendaciones producto de la investigación realizada.

Capítulo 1
Ámbito de estudio

En la presente tesis se ha realizado la modelación hidrológica de una parte de la cuenca Catamayo-Chira con el programa Hec-Hms, es por ello que para fines de estudio en este primer capítulo se caracteriza la cuenca como conocimiento previo a la modelación, así como los proyectos y obras ejecutadas en el mismo entorno.

1.1 Cuenca binacional Catamayo - Chira

El área de modelamiento se ubica en la parte alta de la Cuenca Catamayo - Chira hasta la entrada al reservorio Poechos. Su área y delimitación específica se muestra en los acápites siguientes.

1.1.1 Ubicación y extensión

La cuenca binacional Catamayo Chira, también conocida como cuenca del río Chira en el Perú, ocupa una superficie total de 17 199,18 km^2 comprendida entre territorio peruano y ecuatoriano; de los cuales 7 212,37 km^2 pertenecen al país de Ecuador y 9 986,81 km^2 pertenecen a nuestro país. Entre las zonas ecuatorianas que recorre la cuenca Catamayo-Chira se encuentran los cantones de Célica, Pindal, Macará, Sozoranga, Calvas, Espíndola, Gonzanamá, Quilanga, y parte de los territorios de los cantones de Loja, Catamayo, Paltas, Olmedo, Puyango y Zapotillo. Así mismo, la cuenca recorre las provincias de Ayabaca, Huancabamba, Paita, Piura, Sullana y Talara en el departamento de Piura, Perú (CONSORCIO ATA-UNL-UNP, 2005). La Ilustración 1 muestra el mapa de ubicación de la Cuenca Catamayo Chira, en el cual se observa la binacionalidad de la misma.

Según la clasificación Pfafstetter, la cuenca Catamayo – Chira es representada por el código 138 (Ilustración 2) y se sitúa geográficamente entre las coordenadas 03° 30´a 05° 08´ latitud sur y 79° 10´a 81° 11´ longitud oeste, localizándose en el área fronteriza del Perú y Ecuador, en las jurisdicciones del departamento de Piura en el Perú y la provincia de Loja en el Ecuador. El rango altitudinal va desde la cota 4 000 msnm hasta el nivel del mar en la desembocadura del río en el Océano Pacífico (Universidad de Piura , 2015)

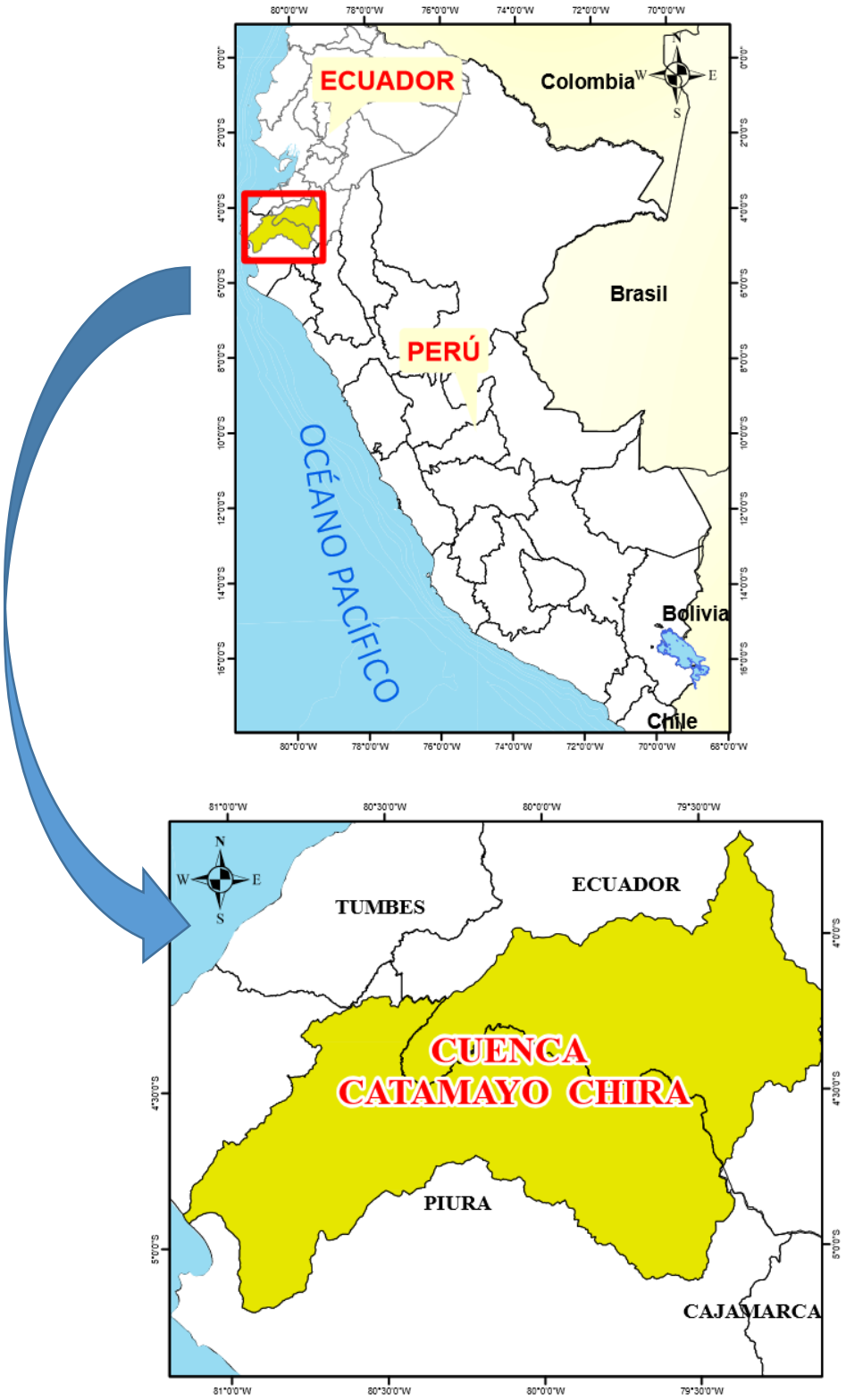


Ilustración 1 Ubicación de la cuenca binacional Catamayo Chira
Fuente: (CONSORCIO ATA-UNL-UNP, 2005).
Elaboración propia

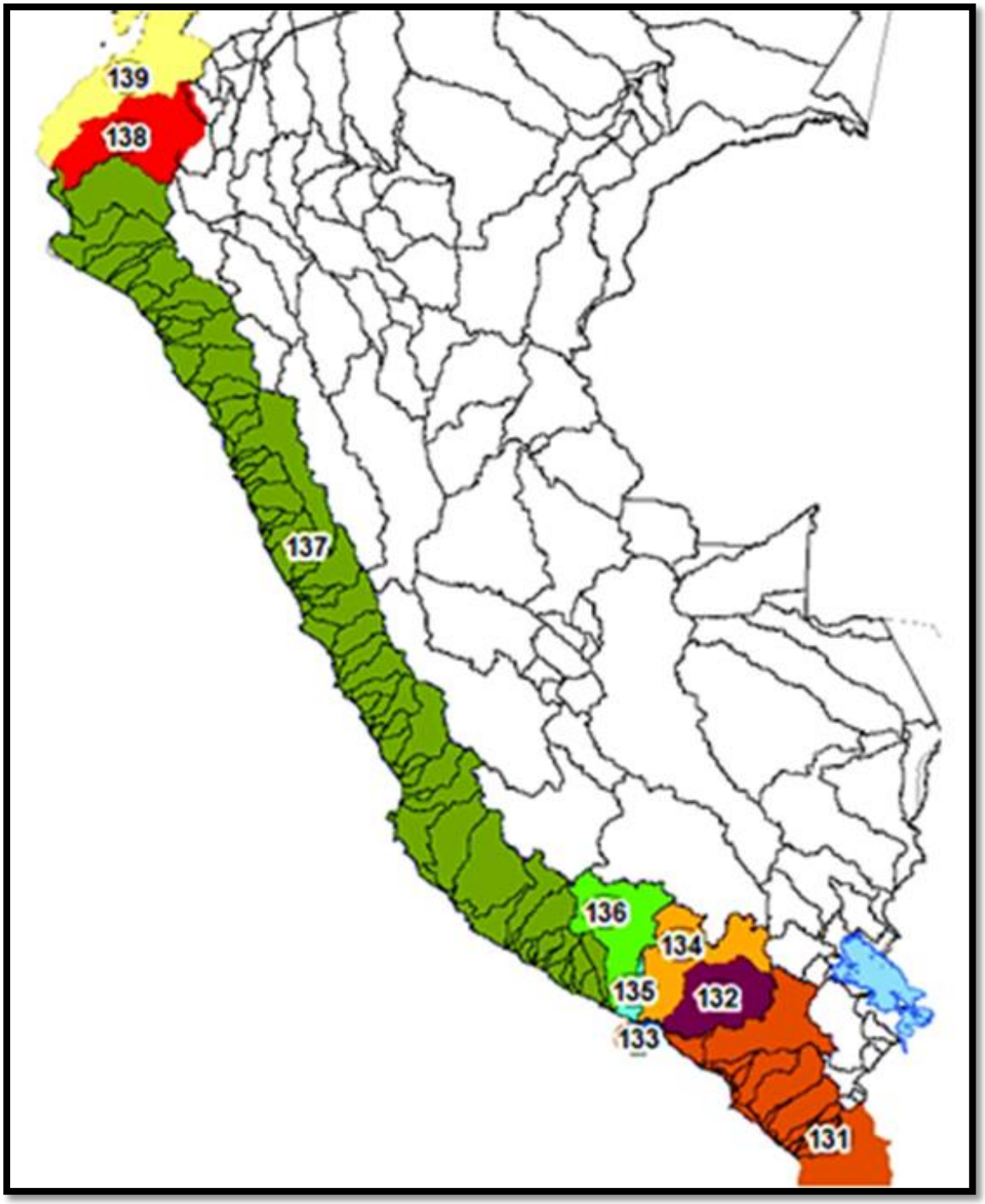


Ilustración 2 Unidad Hidrográfica 13. Cuenca Catamayo Chira Código 138
Fuente: (CONSORCIO ATA-UNL-UNP, 2005).
Elaboración propia

La zona estudiada cuenta con puertos marinos importantes como el de Paita. Entre las vías principales está la Carretera Panamericana Norte en Piura, y su prolongación Sullana-Las Lomas–Suyo–Macará-Loja, y la carretera Sullana-Las Lomas-Ayabaca. También hay obras de infraestructura muy importantes como los reservorios de Poechos y San Lorenzo, la presa derivadora de Sullana y los canales de riego Daniel Escobar, Miguel Checa entre otros (Vílchez, Núñez, & Valenzuela, 2006).

Los límites hidrográficos de la cuenca son (Universidad de Piura , 2015):

- Por el Norte, limita con la cuenca del río Puyango – Tumbes (departamento de Tumbes en Perú y las provincias de El Oro y Loja en Ecuador)
- Por el Sur, limita con las cuencas de los ríos Piura y Huancabamba, situados en las provincias del mismo nombre.
- Por el Este, limita con la Cuenca del Río Mayo y Chinchipe.
- Por el Oeste, con el Océano Pacífico.

En la Ilustración 3 se observa las cuencas que limitan con la cuenca binacional Catamayo Chira, tanto en el territorio peruano como en el ecuatoriano.

Ilustración 3 Mapa de cuencas hidrográficas que limitan con la cuenca binacional Catamayo Chira
Fuente: (Universidad de Piura , 2015)
Elaboración propia

1.1.2 Hidrografía

El río Chira pertenece a la vertiente hidrográfica del Pacífico, nace en la Cordillera Occidental de Los Andes con el nombre de Catamayo.

Esta red hidrográfica presenta características dendríticas lo que muestra un buen drenaje, desde sus nacientes hasta su desembocadura en el Océano Pacífico. Su curso principal es el río Catamayo Chira, cuya longitud total es de 315 km, de los cuales 196 km están en territorio ecuatoriano y 119 km en territorio peruano (Universidad de Piura , 2015).

El río Catamayo en zona ecuatoriana, tiene sus orígenes en la unión de dos ríos, uno fluye de sureste a noroeste y en diferentes tramos toma las denominaciones de río Palmira, Piscobamba, Solanda, Chinguilamaca y El Arenal. Otro que fluye de norte a sur, es el río Guayabal que hasta unirse con El Arenal recorre 45 km.

Así, constituido el río Catamayo-Chira, recorre aguas abajo recibiendo la contribución de pequeños ríos hasta su encuentro con el río Macará denominado aguas arriba río Calvas, a su vez originado por la unión de los ríos Chiriyacu, que recorre de noreste a suroeste y Espíndola, que recorre en dirección de sur hacia norte.

A partir de la unión de los ríos Catamayo y Macará, el curso principal de la cuenca toma la denominación de Chira, el cual recorre 50 km, sirviendo de límite al Perú y Ecuador, hasta encontrarse con el río Alamor, continuando en dirección suroeste en territorio peruano, hasta la ciudad de Sullana, para después tomar una dirección este-oeste hasta su desembocadura en el Océano Pacífico.

Los afluentes principales del río Chira en territorio peruano son: por su margen derecha, la quebrada Honda, Peroles, Saman, La Tina, Poechos y Cóndor, el río Pilares, por su margen izquierda, los ríos Quiroz y Chipillico, el río Macará y hasta su desembocadura en el mar recibe los aportes de otras quebradas que se activan en épocas de lluvia. Los afluentes principales en territorio ecuatoriano son el río Alamor por la margen izquierda y Tangula por la margen derecha, como se aprecia en la Ilustración 4 (Vílchez, Núñez, & Valenzuela, 2006).

El río Chira es el segundo de la costa peruana con mayor caudal, luego del río Santa, y es el que provee de agua a la represa de Poechos, la más grande del Perú, que regula el agua de riego de más de 108 000 hectáreas de los valles de Chira y Piura; es por ello que el río Chira representa gran importancia para la agricultura de la zona (CONSORCIO ATA-UNL-UNP, 2005).

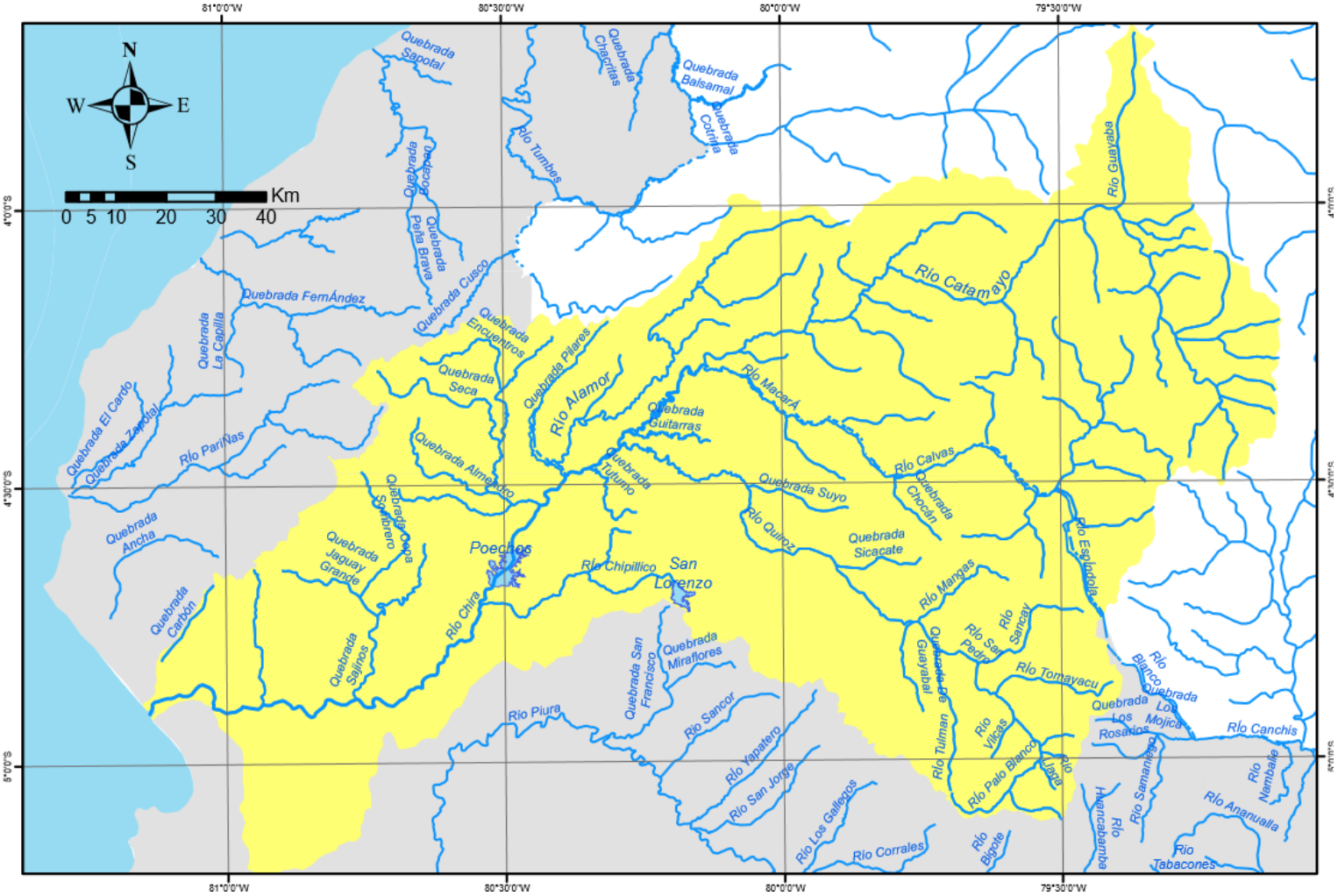


Ilustración 4 Hidrografía de la cuenca Catamayo Chira
Elaboración propia

1.1.3 Subcuencas

El estudio de caracterización hídrica y adecuación entre la oferta y la demanda, desarrollado por el consorcio ATA-UNL-UNP, en el ámbito de la cuenca binacional Catamayo Chira divide la cuenca Catamayo Chira en 6 subcuencas (Ilustración 5), esta división se realiza debido a la hidrografía que presenta la cuenca. El colector receptor principal, el Río Catamayo Chira, recibe aguas de seis afluentes principales, delimitando así cada una de las subcuencas.

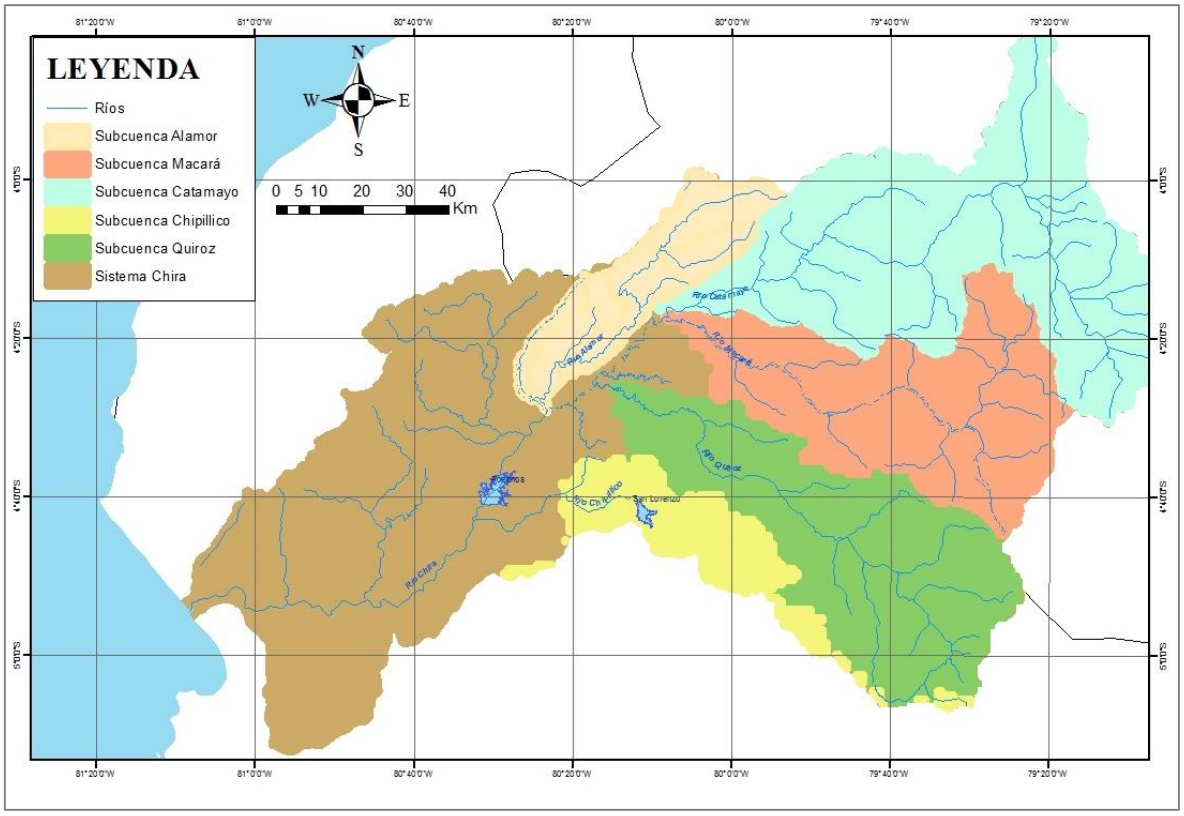


Ilustración 5 Mapa de subcuencas de la cuenca binacional Catamayo Chira
Fuente: (CONSORCIO ATA-UNL-UNP, 2005), elaboración propia

En la Tabla 1 se muestra un resumen de las áreas correspondientes a cada subcuenca, así como el porcentaje que representan del área total de la cuenca.

Tabla 1 Subcuencas de la cuenca binacional Catamayo Chira

Subcuenca	**Área (Km^2)**	**%**
Quiroz	3 108,8	18,1
Sistema Chira	4 711,9	27,4
Chipillico	1 170,9	6,8
Alamor	1 190,3	6,9
Macará	2 833,3	16,5
Catamayo	4 184,0	24,3

Fuente: (CONSORCIO ATA-UNL-UNP, 2005)

- **Subcuenca del río Catamayo**

Se ubica íntegramente en territorio ecuatoriano (Ilustración 6). Es considerada de gran importancia por su extensión y condiciones estratégicas y geográficas, presenta una configuración topográfica accidentada dando lugar a la conformación de un valle de importancia como es el Valle de Catamayo, en el cual se desarrollan importantes actividades agrícolas. El río Catamayo termina cuando se une con el río Macará y conforma el río Chira a una altura de 284 msnm.

Ilustración 6 Río Catamayo, Loja – Ecuador
Fuente: (CONSORCIO ATA-UNL-UNP, 2005)

- **Subcuenca del río Alamor**

Esta subcuenca se ubica en territorio ecuatoriano, dentro de ella se ubica parte del área de influencia del Proyecto de Riego Zapotillo, de singular importancia en la zona sur ecuatoriana. Los aportes hídricos de la parte media y baja de la subcuenca son efímeros y poco significativos, debido a que algunas quebradas sólo se activan en periodos de precipitación excepcional (Ilustración 7). El río Alamor tiene su origen a 3080 msnm en la localidad de Mercadillo y desemboca en el río Chira, a una altura de 135 msnm, además realiza aportes hídricos al embalse de Poechos.

Ilustración 7 Río Alamor – Ecuador
Fuente: (CONSORCIO ATA-UNL-UNP, 2005)

- **Subcuenca del río Macará**

El río Macará, principal colector de la red de drenaje de esta subcuenca del mismo nombre, es un río binacional (ecuatoriano/peruano) que tiene su nacimiento en la Cordillera Oriental de los Andes, alrededor de las Lagunas Negras, a la altura de 3 884 msnm (Ilustración 8), además tiene gran importancia económica para el Ecuador y Perú. Con sus aguas se riegan extensas áreas de cultivo, por ejemplo, las tierras de Samanga y Gigante que sirven para promover la ganadería. Las tierras de Anchalay también se desarrollan gracias a este río.

Ilustración 8 Confluencia de los ríos Catamayo y Macará. Frontera Ecuador – Perú
Fuente: (CONSORCIO ATA-UNL-UNP, 2005)

- **Subcuenca del río Quiroz**

Se ubica íntegramente en territorio peruano; sus nacientes se encuentran a 3900 msnm en la cordillera Huamaní o más conocida como “Huaringas” en la provincia de Huancabamba en el departamento de Piura. Las aguas del río Quiroz contribuyen con la población local en el mantenimiento de la agricultura de consumo. Sus aguas también se derivan en la toma de Zamba hacia la cuenca del río Chipillico donde son almacenadas en el reservorio de San Lorenzo o Los Cocos, que sirve para incrementar la frontera agrícola en el valle San Lorenzo, es cual se ha creado como una colonización a partir de la construcción de la presa. El río Quiroz desemboca finalmente en el río Chira y aporta a la alimentación del embalse de Poechos. En la Ilustración 9 se muestra el recorrido del río en la parte alta de la cuenca.

Ilustración 9 Río Quiroz. Provincia de Ayabaca – Perú
Fuente: (CONSORCIO ATA-UNL-UNP, 2005)

- **Subcuenca del río Chipillico**

El río Chipillico tiene su nacimiento sobre los 3 200 msnm y aporta significativamente al reservorio de San Lorenzo conjuntamente con la quebrada Cerezal que a su vez es alimentada por las quebradas Guayabo y Pariamarca. Aguas abajo el río Chipillico llega al río Chira en la sección de 88 msnm (Ilustración 10).

Ilustración 10 Río Chipillico, se observa bosque seco y vegetación ribereña, provincia de Ayabaca – Perú
Fuente: (CONSORCIO ATA-UNL-UNP, 2005)

- **Sistema del río Chira**

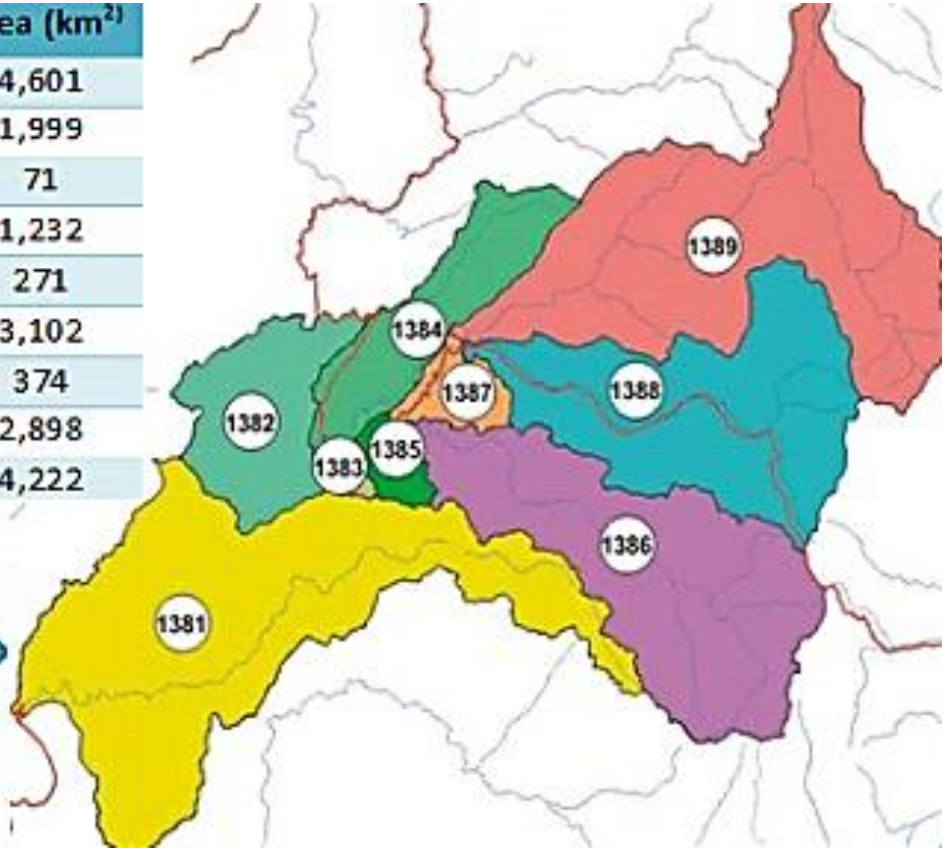
Para fines del presente estudio se denomina sistema Chira al sistema hidrográfico que a partir de la unión de los ríos Macará y Catamayo toma el nombre de río Chira, punto desde el cual este sistema tiene el carácter de binacional hasta el sitio Lalamor (Ecuador), donde se interna en territorio peruano (Ilustración 11) hasta desembocar en el océano Pacífico. Esta intercuenca está conformado por todos los afluentes que drenan al río Chira (márgenes izquierda y derecha).

Dentro de este sistema se consideran también todas las áreas interfluviales, es decir aquellas que por su topografía y pendiente drenan directamente al río Chira independiente de sus sistemas hidrográficos grandes o pequeños, que abarcan 14 404 ha. También se incluyen algunas áreas de drenaje de las microcuencas cuyos nombres no ha sido posible identificar, que suman 39 733 ha.

Ilustración 11 Rio Chira. Provincia de Sullana – Perú
Fuente: (CONSORCIO ATA-UNL-UNP, 2005)

Por su parte, el ANA divide a la cuenca binacional Catamayo Chira en nueve unidades hidrográficas, según la nomenclatura internacional (Ilustración 12).

Nivel 4	Unidad Hidrográfica	Área (km^2)
1381	Unidad Hidrografica 1381	4,601
1382	Cuenca de la Quebrada La Solana	1,999
1383	Unidad Hidrográfica 1383	71
1384	Cuenca del Río Alamor	1,232
1385	Unidad Hidrográfica 1385	271
1386	Cuenca del Río Quiroz	3,102
1387	Unidad Hidrográfica 1387	374
1388	Cuenca del Río Macará	2,898
1389	Unidad Hidrográfica 1389	4,222



Unidad Hidrográfica 138 (Cuenca del Río Chira). Unidades del nivel 4. Obsérvese las unidades transfronterizas con el Ecuador

Ilustración 12 Mapa de las unidades hidrográficas nivel 4 de la cuenca binacional Catamayo Chira
Fuente: (ANA, 2012)

1.1.4 Geomorfología

El estudio geoambiental de la cuenca del río Chira – Catamayo (Vílchez, Núñez, & Valenzuela, 2006) describe que la configuración del territorio de la cuenca Catamayo Chira guarda relación entre el tectonismo y los factores climáticos que le dieron origen. Comprende la faja litoral, pampas y terrazas estructurales. Se presentan dos unidades bien diferenciadas, una de ellas caracterizada por su relieve plano y ausencia de precipitaciones pluviales. En esta zona, se encuentran formas de acumulación marina como las playas y zonas de erosión del tipo acantilados marinos; los vientos soplan hacia el continente, dando origen a acumulaciones de arenas que se observan en todo el litoral costero.

Por otro, lado la Cordillera Occidental de los Andes, que sigue una dirección suroeste-noreste, forma una barrera montañosa, con alturas que varían entre los 3900 msnm en el límite de la cuenca y 1500 msnm en el límite con las áreas colinosas de la región costera (Ilustración 13). Esta unidad posee relieves muy escarpados y formas irregulares, de fuerte desnivel y pendiente y es donde se originan los ríos que desembocan en el río Chira. Las rocas antiguas al ser cortadas por las aguas formaron profundas vertientes que acentuaron aún más la irregularidad y heterogeneidad del relieve y formaron valles angostos labrados en el macizo cristalino y afloramientos de rocas cercanas al litoral (Ilustración 14).

En la parte ecuatoriana, se observan como unidades subyacentes rocas metamórficas tipo pizarras, cuarcitas, gneises, esquistos y filitas; también rocas volcánicas constituidas por lavas andesíticas, piroclastos y tobas. Dentro de las rocas intrusivas se encuentran granitos gneisíticos, granitos, dioritas, tonalitas que dan origen a derrumbes en época de lluvias estacionales; el relieve es abrupto, complejo y disectado por torrentes de agua que forman valles estrechos intramontanos. Las pendientes de las laderas fluctúan entre 35° y más de 60°.

Se presentan unidades montañosas en ciudades y pueblos importantes como Ayabaca, Montero, Pacaipampa y Lagunas en el sector peruano, y Gonzanama, Catamayo, Amaluza y Vilcabamba en el sector del Ecuador. En estas montañas, las laderas se encuentran cubiertas por vegetación tipo pasto natural con áreas muy localizadas de bosques intervenidos por la actividad humana, lo que hace que se incrementen los procesos de erosión de laderas.

Por otro lado, el Consorcio ATA-UNL-UNP (2005) presenta las características geomorfológicas de la cuenca (Ilustración 15). El cauce de mayor pendiente es el del río Alamor (Tabla 2), mientras que la cuenca de mayor pendiente es la del río Quiroz (Tabla 3). Además entre las condiciones de drenaje de las subcuencas, la que presenta mayor densidad de red de cauces y mayor densidad de drenaje es el sistema del río Chira (Tabla 4).

Los terrenos de baja y muy baja pendiente se encuentran principalmente en planicies, lomadas y colinas bajas en las zonas de Paita, Sullana, Lancones, Las Lomas y otras localidades comprendidas en la cuenca baja del río Catamayo-Chira. En estas pendientes también se localizan los poblados de Suyo, Macará, Catamayo, El Lucero y otros ubicados en las montañas de la cuenca alta. Los terrenos de pendiente media están distribuidos indistintamente en una amplia extensión de las laderas de las montañas de la cuenca alta, destacan las localidades de Sapillica, Ayabaca, Amaluza, Jimbura y Alamor. Por último las áreas con fuerte pendiente, se encuentran ampliamente distribuidas también en las laderas las montañas y en los valles; en estas zonas se ubican las localidades de Pacaipampa, Sícchez, Jililí en Perú y El Cisne, Chuquiribamba, Gualel y otras localidades del Ecuador, así como en los valles de los ríos Quiroz, Sanambay, Yangana, Yacuri y Limones (CONSORCIO ATA-UNL-UNP, 2005).

Tabla 2 Pendiente media de cauces tributarios del Catamayo Chira

Subcuenca	Cauce principal %
Río Chira	1,13
Río Alamor	2,25
Río Catamayo	1,50
Río Macará	1,36
Río Quiroz	1,75
Río Chipillico	2,04

Fuente: (CONSORCIO ATA-UNL-UNP, 2005).

Tabla 3 Pendiente media de las subcuencas del Catamayo Chira

Subcuenca	Pendiente media %
Río Chira	16,7
Río Alamor	56,5
Río Catamayo	91,9
Río Macará	85,7
Río Quiroz	94,1
Río Chipillico	52,8

Fuente: (CONSORCIO ATA-UNL-UNP, 2005).

Tabla 4 Condiciones de drenaje de las subcuencas

Subcuenca	Densidad de red de cauces (cauces/km^2)	Densidad de drenaje (km/km^2)
Río Chira	0,093	0,453
Río Alamor	0,063	0,302
Río Catamayo	0,060	0,347
Río Macará	0,119	0,432
Río Quiroz	0,032	0,159
Río Chipillico	0,347	1,23

Fuente: (CONSORCIO ATA-UNL-UNP, 2005).

Ilustración 13 Unidad de montañas que conforman el límite de la cuenca en la zona de Las Huaringas, distrito de Pacaipampa, provincia de Ayabaca, Piura, Perú.
Fuente: (Vílchez, Núñez, & Valenzuela, 2006)

Ilustración 14 Unidad de colinas estructurales vista hacia el sector de Alamor, provincia de Sullana, en la frontera Perú-Ecuador
Fuente: (Vílchez, Núñez, & Valenzuela, 2006)

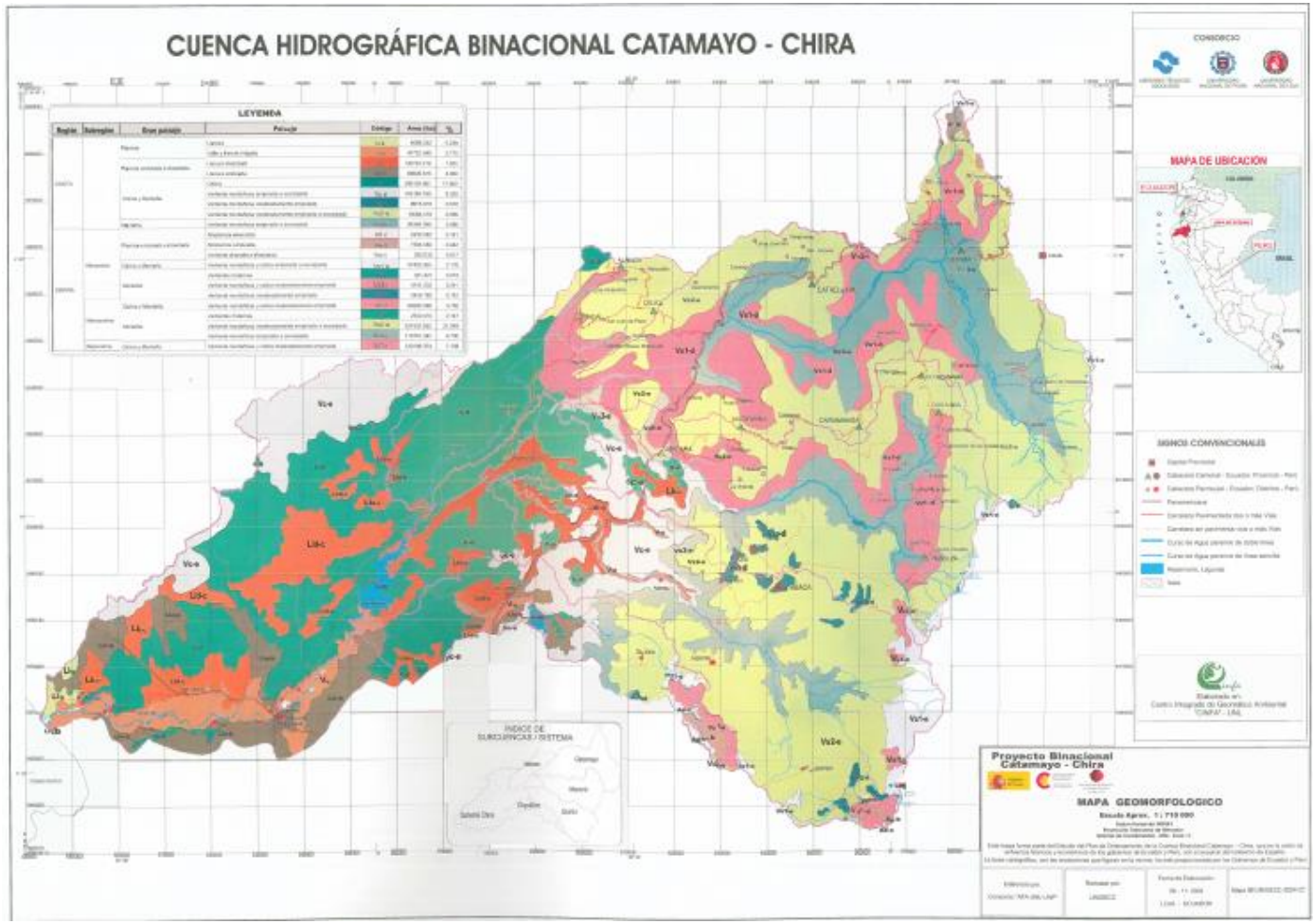


Ilustración 15 Mapa geomorfológico de la cuenca binacional Catamayo Chira
Fuente: (CONSORCIO ATA-UNL-UNP, 2005)

1.1.5 Clima

En la cuenca Catamayo Chira, se han identificado seis tipos de clima, los cuales se pueden observar en la Tabla 5, así como el porcentaje que representan de la superficie total y los rangos altitudinales respectivos.

Tabla 5 Tipos de clima en la cuenca Catamayo-Chira

Clima	%	Localidad	Altitud
Cálido	44,6	Esperanza, Mallares, Lancones, Zapotillo, Pindal, Las Lomas, Suyo, Paimas, Saudal de Culucán, Macará, Sabiango, Catamayo, Las Canoas, El Huayco.	<1000 msnm
Semicálido	23,6	Nazaino, Sapillica, Montero, Sícchez, Ciruelo, Amaluza, Vizancio, Zozoranga, Suquianda, Sacapalca, Las Conchas, Malacatos, Vilcabamba.	1000 a 1700 msnm
Templado cálido	20,4	Palo Blanco, Lagunas, Pacaipampa, Jimbura, Quilanga, Quinara, Cariamanga, Colaisaca, Mambazo, Changaimina, Bellavista, El Cisne, Catacocha, Lauro Guerrero.	1700 a 2300 msnm
Templado frío	7,28	Los Alisos, Minas, Seise, Ayabaca, Yangana, Pacaipampa, Gualel, Chuquiribamba.	2300 a 3000 msnm
Semifrío	3,54	Arrendamientos, Las Pircas, Talaneo.	3000 a 3500 msnm
Frío moderado	0,66	Las cumbres más altas de la cuenca.	>3500 msnm

Fuente: (CONSORCIO ATA-UNL-UNP, 2005)

Las temperaturas varían desde relativamente altas, en la cuenca baja, del orden de 24° C hasta temperaturas del entorno de 7° C en las partes altas de la cuenca, sobre altitudes superiores a 3200 msnm, siendo del orden de 20° C en la cuenca media (Ilustración 16).

Las precipitaciones en la cuenca presentan marcadas variaciones en el espacio y en el tiempo por ejemplo:

- En la cuenca baja los períodos lluviosos son cortos y escasos, a excepción de los años El Niño, llueve de enero a abril con una media anual de 10 a 80 mm.
- En la cuenca media el período de lluvias es diciembre a mayo con precipitaciones medias anuales de 500 a 1 000 mm.
- En la cuenca alta, las lluvias ocurren de octubre a mayo con medias anuales superiores a 1 000 mm. En este mismo espacio hay zonas de excepción como son las partes altas de los cantones de Quilanga y Gonzanamá donde llueve todo el año en forma regularmente distribuida, llegando a medias anuales de 1 000 a 2 000 mm.

La variación temporal de la evaporación es pequeña pero su variación espacial es grande, oscilando desde 6,0 mm/día en la cuenca baja hasta 3,0 mm/día en la cuenca alta (CONSORCIO ATA-UNL-UNP, 2005).

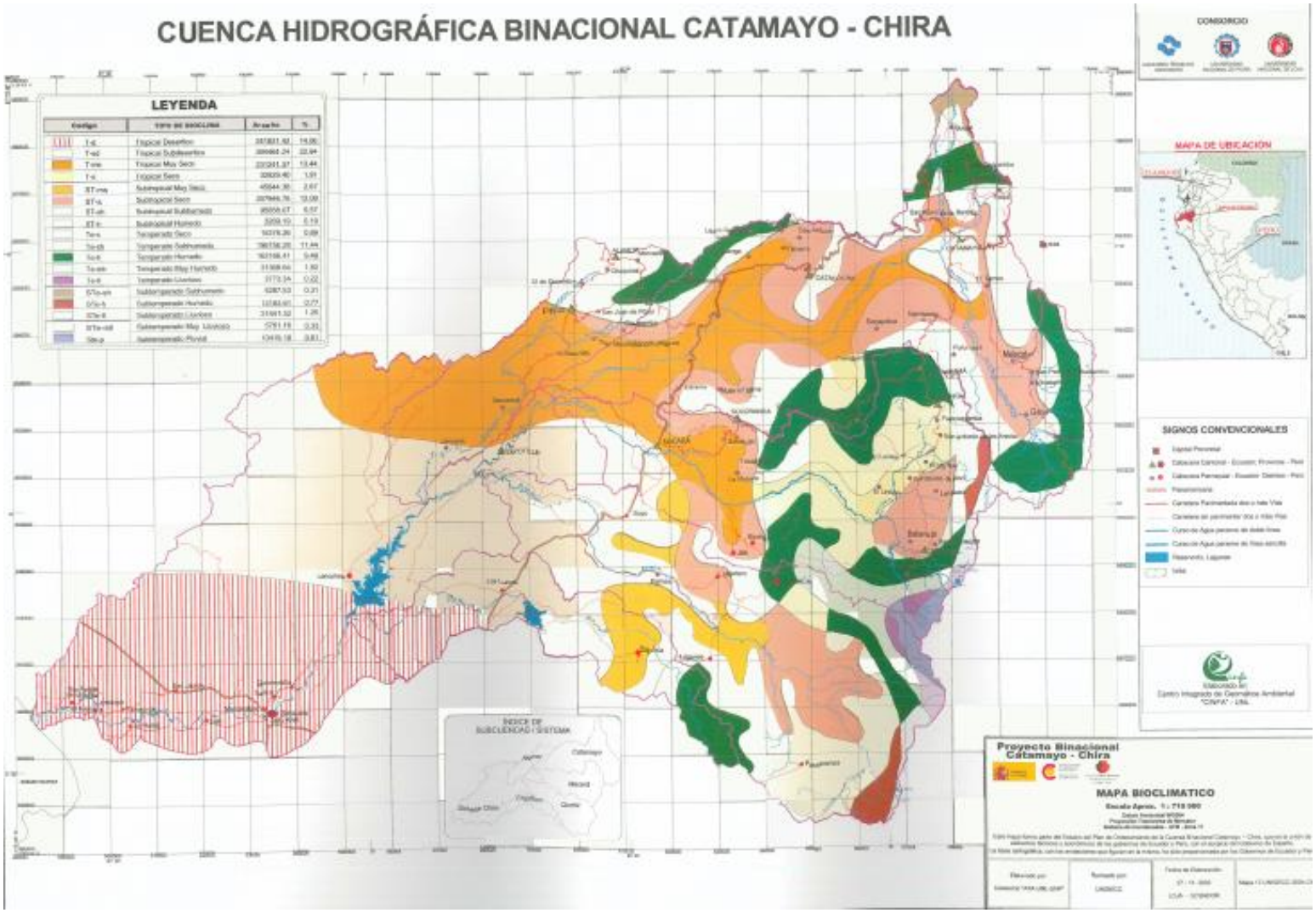


Ilustración 16 Mapa bioclimático de la cuenca binacional Catamayo Chira
Fuente: (CONSORCIO ATA-UNL-UNP, 2005)

1.2 Proyecto Especial Chira Piura

El Proyecto Especial Chira Piura (PEChP) nace con la finalidad de maximizar la explotación de los valles Chira y Piura, a través de su dotación de agua por gravedad para el riego oportuno y suficiente, así como para protegerlos contra inundaciones; buscando incrementar, tanto la productividad y producción agrícola, como la rentabilidad y competitividad agropecuaria y agroindustrial (PEChP, 2016). El ámbito del proyecto se muestra en la Ilustración 17.

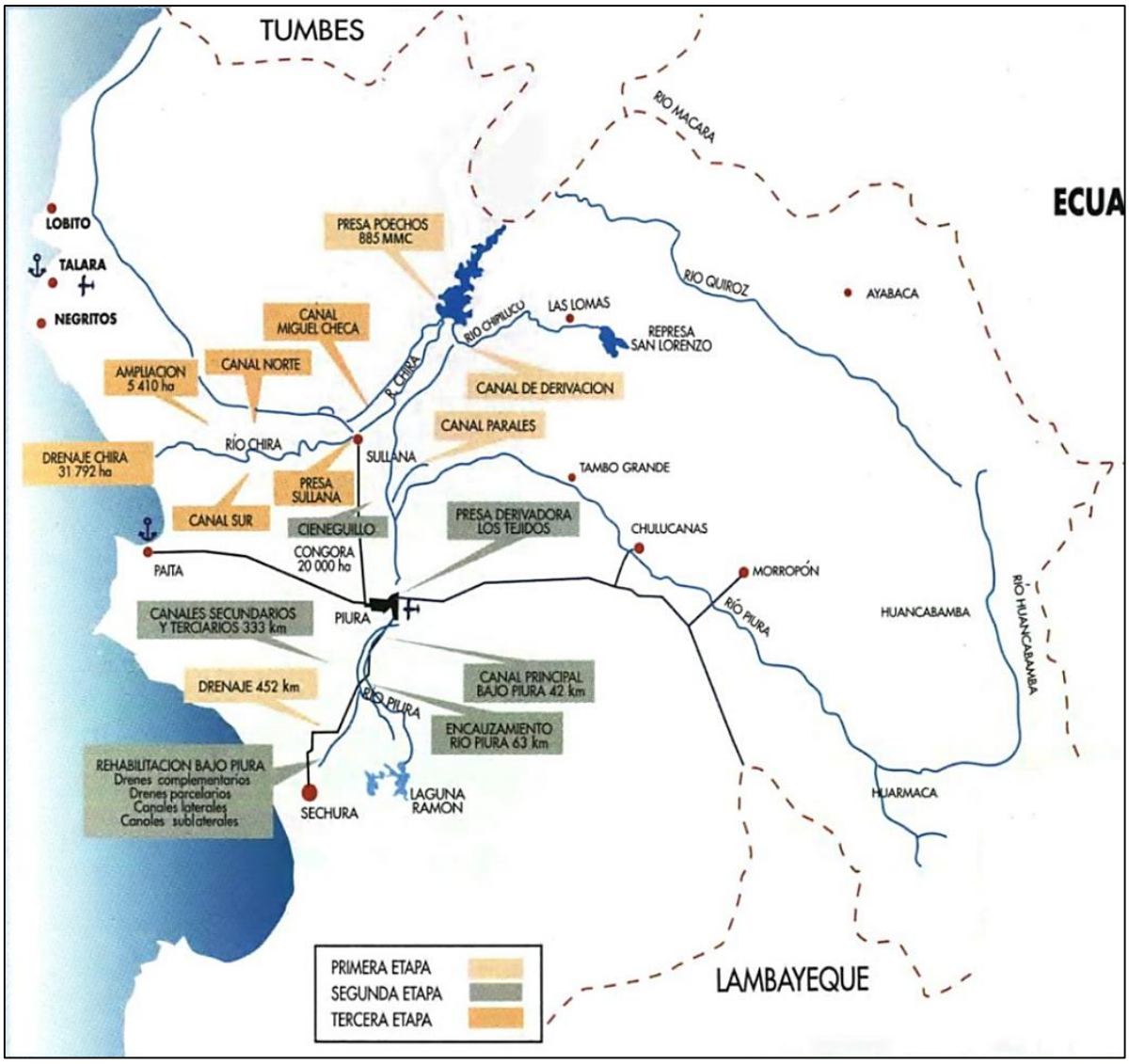


Ilustración 17 Ámbito del Proyecto Especial Chira Piura.
Fuente: (PEChP, 2016).

1.2.1 Antecedentes

Antes de la construcción del reservorio Poechos la agricultura presente en los valles de los ríos Chira y Piura, se desarrollaba en base a las descargas naturales de ambos ríos, de régimen irregular. El valle del río Piura, a pesar de la excelencia de sus tierras de cultivo, tenía una agricultura que disminuía paulatinamente por falta de agua. Por otro lado, a pesar de la gran cantidad de agua con la que contaba el Chira, las tierras de cultivo del bajo Chira eran limitadas por los elevados costos de bombeo. En 1954 se puso en operación el sistema San Lorenzo. Sin embargo, no fue solución para los valles del medio y bajo Piura porque los

excedentes de la quebrada San Francisco no eran significativos. Esta situación dio origen a la ejecución de un plan integral para el desarrollo de las cuencas del Chira y Piura, para la cual los excedentes del río Chira se almacenarían en el reservorio de Poechos y, luego del almacenamiento, el agua requerida se derivaría a los valles del Medio y Bajo Piura a través de un canal derivación (Morocho, 2004).

1.2.2 Etapas

Debido a la magnitud de las obras y la inversión que debía realizarse, el proyecto abarcaba un total de 120 000 ha, se planificó la ejecución de las obras se planificó en tres etapas. (PEChP, 2016)

- **I Etapa**

Se ejecutó con el fin de mantener el abastecimiento de agua de riego regulada en los valles del Medio y Bajo Piura; así como de realizar obras de drenaje para rehabilitar las tierras de cultivo. La obra consistió en trasvasar el agua del río Chira al río Piura a través del canal de derivación Daniel Escobar. Fue autorizada por D.S N° 290-70 AG del 4 de octubre de 1970.

Las obras que se ejecutaron en esta primera etapa fueron:

- Reservorio de Poechos de capacidad de 885 Hm^3.
- Canal de derivación "Daniel Escobar", de 54 km de longitud y 70 m^3/s de capacidad. Deriva las aguas del río Chira al río Piura.
- Canal Parales, de 8 km de longitud y 4,8 m^3/s de capacidad para irrigar 5 514 hectáreas.
- Canal Paralelo Cieneguillo de 7,8 km de longitud y 6,2 m^3/s de capacidad para irrigar 5 422 ha.
- Construcción de 452 km de drenes troncales en el Bajo Piura.
- Ampliación en 5 422 hectáreas de frontera agrícola, asentamiento agrícola de Cieneguillo.

- **II Etapa**

Se ejecutó con la finalidad de aumentar la producción y productividad de 30 000 ha agrícolas del valle del Bajo Piura e incorporar 5 615 ha bajo riego. Fue autorizada por D.S N° 101-79-EF del 25 de julio de 1970.

Las obras se iniciaron en enero de 1980 y terminaron en 1989 con la ejecución de los trabajos de reconstrucción de las obras dañadas por el fenómeno El Niño 1983.

Obras ejecutadas

- Presa derivadora Los Ejidos que capta las aguas provenientes de Poechos y del río Piura, derivándolas por el canal principal Biaggio Arbulú para irrigar el valle del Bajo Piura.
- Canal principal Biaggio Arbulú, de 56 km de longitud desde Ejidos hasta Sechura (Chusis) y un caudal de 60 m^3/s en la bocatoma.
- Construcción de 63 km de diques de encauzamiento del río Piura, desde el puente Bolognesi en la ciudad de Piura hasta la Laguna Ramón.
- Rehabilitación de 7 980 ha de tierras afectadas con problemas de salinidad y drenaje.

- Obras de riego y drenaje a nivel parcelario.
- Construcción de 86 km de canales secundarios y terciarios revestidos de concreto.
- Obras de reconstrucción fenómeno El Niño 1983: Canal de derivación Chira - Piura, Canal principal del Bajo Piura, drenaje troncal del Bajo Piura, diques de encauzamiento del río Piura.
- Servicios de extensión agrícola y riego tecnificado.
- Estudios definitivos de remodelación del valle del Chira y estudio de factibilidad del Alto Piura

- **III Etapa**

Se ejecutó con la finalidad de irrigar por gravedad 37 277,6 ha e incorporar a la agricultura 4 908,40 ha en el Valle del Chira; eliminando de esta manera el antiguo y costoso sistema de riego por bombeo. Fue autorizada mediante D.S N° 260-89-EF del 10 de noviembre de 1989 con el cual se aprobó el contrato de financiamiento y reestructuracón de deuda suscrita con la firma Energoprojetk de Yugoslavia y por D.S N° 072-89-MIPRE del 19 de diciembre de 1989, se aprobó el contrato de ejecución.

Las obras empezaron el 19 de agosto de 1988 con la ejecución del canal Miguel Checa.

Obras ejecutadas

- Canal Miguel Checa
- Presa derivadora Sullana
- Canal Norte
- Canal Sur, el cual es revestido de concreto, de sección trapezoidal, de 7 m^3/s de capacidad y 25,75 km de longitud. Tiene como estructura más importante el sifón Sojo de 1 515 metros de longitud.
- Sistema de Drenaje: comprende una red de drenes principales de 53 km para drenar las áreas agrícolas afectadas por salinidad en el valle del Chira.
- Diques de Encauzamiento: comprende la ejecución de 57,03 km de diques de defensa y encauzamiento con sus respectivos espigones en ambas márgenes del río Chira

1.2.3 Infraestructura mayor de riego

Presas

- Reservorio Poechos

  Tiene una capacidad de 885 Hm^3 en su cota de operación normal a 103 msnm. Por ser la principal estructura del sistema de irrigación Chira-Piura, será explicado con más detalle en el punto 1.3 de la presente tesis.

- Presa derivadora Los Ejidos

  Está ubicada en el cauce del río Piura a 7 km aguas arriba de la ciudad de Piura. Tiene como función captar las aguas reguladas provenientes de la presa Poechos, así como las del mismo río Piura para el suministro de agua al valle del Bajo Piura. El nivel normal de operación de la presa es a 30,5 msnm, con un volumen de 4,8 Hm^3.

Estructuras

- Vertedero libre: Tiene una longitud de 120 m y una capacidad de evacuación de 950 m³/s.
- Aliviadero de compuertas: Está conformado por 7 compuertas radiales, con una capacidad de evacuación de 1 550 m³/s.
- Canal de limpia: Está conformado por 2 compuertas radiales, con una capacidad de evacuación de 700 m³/s.
- Bocatoma canal Principal: Con 3 compuertas radiales y con capacidad de captación de 64 m³/s.

- Presa derivadora Sullana

Está ubicada en el cauce del río Chira a 0,5 km aguas abajo de la ciudad de Sullana. Esta obra, que fue inaugurada el 10 de julio de 1997, forma parte de los trabajos de remodelación del Valle del Chira y representó para el estado una inversión de 24 millones 933 mil dólares. Fue construida íntegramente de concreto armado y tiene una longitud de coronamiento de 362 m, con su ejecución se aprovecha 250 millones de m^3 de agua que se perdían anualmente en el mar. El nivel normal de operación de la presa es a 36,5 msnm, con un volumen de 6 Hm^3.

La estructura básica de la presa comprende:

- Tomas de derivación hacia los canales Norte, la Minicentral hidroeléctrica y canal Capilla-Jíbito.
- Aliviadero de compuertas de 76 m de longitud con 8 compuertas radiales diseñadas para evacuar 2 300 m^3/s y rediseñadas
- Aliviadero fijo de 290 m. diseñado para evacuar 2 700m^3/s y rediseñado para 4 400 m^3/s

Canales principales

- Canal de derivación Daniel Escobar

Es un canal de 54 km de longitud, de sección trapezoidal, totalmente revestido de concreto y con una capacidad máxima de 75 m³/s.

Lleva las aguas del río Chira reguladas en Poechos hasta la cuenca del río Piura. Sus aguas abastecen demanda agrícola (juntas de usuarios del Medio y Bajo Piura), industrial (Aquaperu, etc.), energética (Poechos II y la central hidroeléctrica de Curumuy) y poblacional; con un total de 27 tomas de diferentes tamaños a lo largo de su longitud, con anchos que van de 2m a 5m para captar caudales de 10 l/s, 100 l/s, etc.

- Canal Miguel Checa

Es el canal principal más importante del distrito de riego del valle del Chira. Es un canal de tierra de sección trapezoidal de 79 km de longitud. Diseñado para un caudal inicial de 19 m^3/s en bocatoma y en el extremo final de 1 m^3/s. Este canal permite el desarrollo de aproximadamente 14 481 ha.

Lleva las aguas del río Chira reguladas en Poechos hacia el valle del Chira.

- Canal Norte

  Es un canal revestido de concreto, de sección trapezoidal, que en su inicio conduce 25,5 m^3/s, tiene un recorrido de 39 km, hasta la altura de la ciudad de Amotape. En su recorrido en la margen derecha del río Chira, cruza hacia la margen izquierda a través del sifón Chira de 687 m de longitud y trasvasa 6,9 m^3/s para irrigar 4 550 ha en el sector "El Arenal". Conduce las aguas reguladas del río Chira en la Presa de Sullana, para conducirlas a la parte baja del valle.

1.3 Reservorio Poechos

1.3.1 Ubicación

El reservorio Poechos está ubicado sobre el río Chira, al noroeste del Perú, en una zona costera y desértica, a unos 60 Km al norte de la Ciudad de Piura y 1000 km de Lima. La zona que rodea el reservorio pertenece al sistema climático de bosque seco subtropical, con áreas verdes alrededor de los ríos y canales. Además se encuentra dentro del territorio de la Cuenca Binacional Catamayo Chira (Vílchez, Núñez, & Valenzuela, 2006).

1.3.2 Descripción

Poechos constituye la obra principal de la primera de las tres etapas del PECHP y representa la infraestructura más importante del Sistema de Riego Chira-Piura.

Su construcción se inició en el año 1972 y culminó en 1976. Su objetivo principal es almacenar los excedentes de agua del río Chira durante el periodo lluvioso y regular anualmente los caudales del río Chira. Así, se pretende satisfacer la demanda de los valles Piura y Chira con una alta probabilidad de que la operación sea segura y confiable.

La superficie drenada del río Catamayo-Chira en la zona del Ecuador es de 7 063 km^2, lo que corresponde a un 40% de área drenada hasta el Pacifico.

El reservorio Poechos está conformado por el dique principal, que cierra el cauce del río Chira, y los diques laterales izquierdo y derecho; formando un embalse de 1 000 Hm^3 de capacidad. El nivel normal de operación es la cota 103 msnm, con el cual se almacenan 885 Hm^3.

La obra fue construida por Energoprojekt y supervisada por Binnie & Partners Corporación Peruana de Ingeniería S.A y fue puesta en operación el 4 de junio de 1976.

El reservorio Poechos permite irrigar más de 108 000 hectáreas, en los valles Chira y Piura, es fuente generador de 42 MW de energía; entre las centrales hidroeléctricas de Curumuy, Poechos I y Poechos II; y abastece de agua para uso poblacional a las ciudades de Piura, Sullana, Paita y Talara (PEChP, 2016).

Como estructuras de operación y seguridad el reservorio Poechos cuenta con cuatro salidas, descritas a continuación:

- **Aliviadero de compuertas**

Constituido por tres compuertas radiales, de 10 m de ancho por 12 m de altura y 210 ton de peso cada una. La función del aliviadero es controlar las descargas de agua hacia el río Chira en época de avenidas. Su capacidad máxima de descarga es de 5 400 m^3/s. La operación se realiza sobre la base de un procesamiento de datos hidrológicos de la cuenca del Chira,

obtenidos de las estaciones limnigráficas Ciruelo, Paraje Grande y Ardilla, haciéndose la respectiva evaluación para las descargas de avenidas en tiempos fluviales. La abertura de compuertas se evalúa en función de la cota a la que opera el embalse y del caudal que se pretende evacuar, distribuido entre las tres compuertas. De esta manera, a un nivel de operación de 103 m y caudal máximo de 1 800 m^3/s por compuerta, se tiene una abertura máxima de 12,33 m, por ejemplo. Por otro lado, cada compuerta tiene un tablero de control que necesita 160 psi y 50 psi, para subir y bajar, respectivamente. La operación de compuertas se hace progresivamente evacuando el caudal cada 50 m^3/s en un tiempo aproximado de 12 a 14 minutos.

- **Aliviadero de emergencia**

Está localizado en el dique izquierdo de la presa. Es un solado de concreto de 400 m de longitud con muros laterales, tiene 4 cuerpos individuales de 100 m cada uno, sobre el cual existe un relleno fusible de tierra provisto para ser erosionado cuando las aguas excedan al nivel máximo de seguridad de la presa (105 msnm). La capacidad máxima de descarga es de 10 000 m^3/s.

Desde su puesta en operación en 1976, esta estructura se encuentra inactiva evitando a toda costa su puesta en funcionamiento por las inundaciones que causaría aguas abajo.

- **Salida al canal de derivación Daniel Escobar**

Ubicado en el dique izquierdo de la Presa, tiene dos compuertas radiales al final de dos conductos de 2,4 m de diámetro. El canal es de sección trapezoidal totalmente revestido de concreto, su capacidad máxima es de 70 m^3/s y 54 km de longitud

Actualmente, con la adición de la central hidroeléctrica Poechos I, el agua es redirigida a la central a través de su propia compuerta, para aprovechar la fuerza del recurso hídrico, para ya después continuar con el canal propiamente dicho.

- **Salida de fondo**

Estructura de concreto armado con blindaje. Tiene 300 m^3/s de capacidad y 415 m de longitud. Consta de compuertas de rueda de 4,50 m de diámetro, válvula de mariposa y compuerta radial. Constituye las salidas hacia los canales laterales Miguel Checa y Huaypirá, que irrigan el valle del Chira.

1.3.3 Operación del reservorio Poechos

La operación se realiza en base a un procesamiento de datos hidrológicos de la cuenca, y a las demandas de los planes de cultivo y riego de los valles Chira y Piura. El embalse permite controlar avenidas y descargas máximas en el río Chira, para que no se produzcan desastres en las partes bajas. El nivel normal de operación es la cota 103 msnm con el cual se forma un espejo de agua de 63,1 Km^2. La masa de agua almacenada es utilizada básicamente para fines agrícolas, utilizándose también para fines hidroenergéticos y pesqueros.

Actualmente abastece de agua a través del canal de derivación para funcionamiento de la central hidroeléctrica "Curumuy" ubicada en el km. 54 del canal de derivación; y en un futuro inmediato se atenderá a la central hidroeléctrica Poechos I actualmente en construcción.

1.3.4 Colmatación del reservorio Poechos

Según señala PECHP el reservorio Poechos se diseñó para una capacidad de almacenamiento de 885 Hm^3, incluido el volumen muerto de 180 Hm^3, en el nivel de operación normal en la cota 103 msnm. En este diseño se consideró también la colmatación del mismo, el cual debería oscilar entre los valores entre 8 a 9 Hm^3/año con lo cual llegaría a cumplir sus 50 años de vida útil, para los cuales se diseñó, sin presentarse ningún problema.

Sin embargo, estos valores solo se cumplieron hasta antes de la presencia del Fenómeno El Niño de 1983 ya que durante los fenómenos del niño extraordinarios de 1983 y 1998 el volumen de colmatación alcanzó un promedio de alrededor de 75 Hm^3/año.

El volumen de colmatación de la presa Poechos según la batimetría realizada por el PECHP al año 2014, sería de 479 Hm^3, dejando una capacidad de tan sólo 406 Hm^3 lo cual representa el 46% del volumen operativo de 885 Hm^3 es decir menos de la mitad de capacidad para lo que fue diseñada, poniendo en riesgo no sólo el sistema de irrigación Chira- Piura; sino también el crecimiento general de la región de Piura.

Esta colmatación se origina, principalmente, en el arrastre de sedimentos por el río Chira provenientes de la erosión laminar o hídrica que se produce en las zonas desprotegidas de la cuenca alta, así mismo por las prácticas culturales que se realizan en los lechos de quebradas importantes como La Solana, donde anualmente se depositan más de 2 Hm^3 de suelo agrícola que en los periodos de avenida es arrastrado al vaso de la presa.

En el estudio “Plan de Manejo de las cuencas del reservorio de Poechos”, se han realizado trabajos de análisis de sedimentos transportados hacia el reservorio, en función a la concentración de sólidos en el agua y en función a los resultados de las muestras granulométricas del lecho del río. En función a la concentración de sólidos en el agua, las muestras se analizaron para determinar la concentración de sólidos en suspensión y solidos totales, se obtuvieron las siguientes conclusiones:

- Río Macará-Puente Internacional: Es el río que más sedimentos aporta al reservorio, con una concentración de 0,349 gr/l de sólidos totales, para una descarga estimada de 80 m^3/s aporta 2 412 t/día.
- Río Quiroz-Puente Quiroz: Tiene una concentración de sólidos totales de 0,257 gr/l y con un caudal estimado de 20 m^3/s el aporte en sólidos al reservorio es de 444 t/día.
- Río Quiroz-Puente Tondopa: Su concentración de sólidos es mayor que las anteriores, con 0,498 gr/l y para una descarga de 60 m^3/s tiene un gasto sólido de 2581 t/día, el mayor caudal de este río es derivado hacia el reservorio San Lorenzo.
- Río Chira-Estación Ardilla: La concentración de sólidos totales es de 0,722 gr/l y para una descarga estimada de 120 m^3/s el gasto sólido es de 7 487 t/día.
- Las demás quebradas presentan menor concentración de solidos totales que relacionados a su caudal, su aporte de solidos no es significativo (Vílchez, Núñez, & Valenzuela, 2006).

Entre las medidas alternativas que se vienen planteando para contrarrestar este proceso de colmatación se tienen las siguientes (PEChP, 2016):

- Utilización de técnicas y métodos de descolmatación, al respecto, debemos indicar que son muy caras y con resultados inciertos.
- Elevación de la cortina de la presa.
- Establecimientos de embalses conexos en la cuenca Catamayo Chira y Cuencas afluentes.

- Trabajos de protección en la cuenca alta.
- Racionalizar la demanda de agua.
- La Universidad de Piura a través del proyecto de investigación "Desarrollo de una metodología de un reservorio utilizando la misma energía del agua y a un bajo costo. Caso piloto: Reservorio Poechos Piura" viene desarrollando una alternativa de descolmatación a un bajo costo utilizando la misma energía del agua tal como su nombre lo describe e incorporando elementos de desvío del cauce. Para ello está utilizando una herramienta que es la modelación matemática con la cual se representa el comportamiento hidráulico y sedimentológico del depósito en un periodo de tiempo. También utiliza el programa Hec-Ras para explicar el transporte de los sedimentos.

1.3.5 Importancia e impacto en la población

La importancia del reservorio Poechos se justifica en:

- Que almacena los excedentes de agua del río Chira durante el período lluvioso y regularlos anualmente para satisfacer la demanda de los valles del Medio y Bajo Piura y Chira. Además al funcionar como un regulador de las aguas provenientes de la parte alta de la cuenca, hace que el agua no se desborde en el río Chira ya que amortigua los caudales altos (almacenándolos) y los descarga en cantidades que no ocasionen daños en el cauce del río, si se llegara a colmatar en su totalidad ya no se podría almacenar agua y eso sería perjudicial para la población tanto en periodos de sequía como en periodos lluviosos. Por ello es muy importante priorizar su descolmatación, sino el futuro del rio Chira será un caso similar a lo que ocurrió en el río Piura el pasado 27 de Marzo del 2017.
- Provee el riego de un área total proyectada que suma 108 874 ha aproximadamente, y de este modo poder maximizar la explotación de los valles Chira y Piura.

Es por ello que tiene un gran impacto en la población aledaña, para la cual es vista como su única fuente de suministro de agua.

Según la Ley de Recursos Hídricos Ley N°29338, la demanda del recurso hídrico, se establece prioritariamente en el siguiente orden: uso primario, uso poblacional y uso productivo.

El uso primario consiste en la utilización directa y efectiva de la misma, en las fuentes naturales y cauces públicos de agua, con el fin de satisfacer necesidades humanas primarias. El uso poblacional, consiste en la captación del agua de una fuente o red pública, debidamente tratada, con el fin de satisfacer las necesidades humanas básicas. Y el uso productivo, consiste en la utilización de la misma en procesos de producción o previos a los mismos, tales como: agrario, pecuario y agrícola; acuícola y pesquero; energético; industrial, entre otros (Congreso de la República del Perú, 2015).
La demanda de agua que abastece el reservorio de Poechos es amplia y variada; incluye el uso poblacional, uso piscicola, uso industrial, uso energético y el uso agrícola.

- Uso poblacional: Entre las empresas que cubren la demanda poblacional que abastece el reservorio Poechos, se encuentran la de Sullana, Huaypirá, Querecotillo, Paita-Talara, Piura, Santa Sofía e Ignacio Escudero; siendo las más significativas, por el volumen de agua consumido, las de Piura, Sullana y Paita-Talara. El uso poblacional representa tan solo un 1% del total de los volúmenes entregados por el PECHP.

- Uso piscícola: Entre las empresas que cubren la demanda piscícola que abastece el reservorio Poechos, se encuentran la de AQUA S.A y ECOACUICOLA.
- Uso industrial: Entre las empresas que se abastecen del reservorio Poechos, se encuentran AMBEV PERU, AJEPER SA, HIELO POLAR SAC, LIMONES PIURANOS SAC, EMPACADORA DE FRUTOS TROPICALES SAC, SUN LAND FRUITS SAC, FLP DEL PERU SA, AGROJUGOS SA, FRUPACK EIRL y NORAGRO PERU SAC.
- Uso energético: Son tres las centrales hidroeléctricas que abastece el reservorio Poechos: CH Poechos I, CH Poechos II y CH Curumuy. La CH Poechos II es la que más demanda de agua necesita, seguida de la CH Poechos I y de la CH Curumuy.
- Uso agrario: El uso agrícola comprende el abastecimiento a las Juntas de Usuarios del Chira, Junta de Usuarios del Medio y Bajo Piura y a la Junta de Usuarios de Sechura (Calle, 2016).

Actualmente, con la colmatación del reservorio Poechos se ha reducido significativamente su capacidad para la cual fue diseñada, encontrándose sedimentos en más del 50% de su capacidad inicial. Esto genera una gran problemática ya que se dispone de menos agua para atender las necesidades de la población, por ese motivo se racionaliza más estrictamente el suministro del recurso hídrico.

"Actualmente, el agua de Poechos se utiliza para la agricultura, la agroindustria y las centrales hidroeléctricas. El 50% del agua potable de Piura, viene de Curumuy procedente de Poechos y este reservorio se está colmatando. No se hace nada para generar su limpieza" (Reyes, 2014).

Debido a esta problemática muchas personas tratan de conseguir agua del reservorio de una manera ilegal, promoviendo la delincuencia y el desorden, lo cual se debe evitar y por el contrario fomentar al cuidado del recurso ya que no solo es problema de las autoridades sino de toda la población. En la Ilustración 18 se muestra un mapa en el cual se aprecia, el suministro de agua desde el Reservorio Poechos a algunas provincias de Piura.

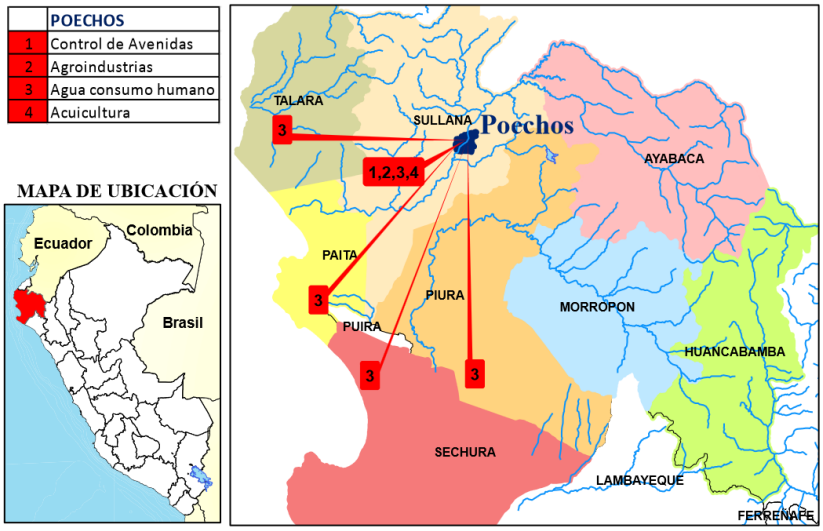


Ilustración 18 Mapa de impacto del Reservorio Poechos en las provincias de Piura
Fuente: (Correa, 2015)
Elaboración propia

1.4 Estaciones hidrométricas de estudio

Para realizar el modelamiento hidrológico con el programa Hec-Hms es necesario conocer eventos de tormentas representativos registrados en diferentes partes de la cuenca, no se podría asumir la uniformidad de un evento en todo el territorio debido a la gran magnitud del área de modelamiento.

Para conocer dichos eventos en la presente tesis se analizó datos de cuatro estaciones presentes en el área de modelamiento (Calle, 2016).

1.4.1 Estación Ciruelo

La estación hidrométrica Ciruelo se ubica en el distrito de Suyo, en la provincia de Ayabaca, departamento de Piura, tiene el propósito de evaluar los recursos hídricos disponibles provenientes del río Chira. Se encuentra a cargo del Proyecto Especial Chira Piura desde el 06 de noviembre del año 1975 hasta la actualidad.

1.4.2 Estación Puente Internacional

La estación hidrométrica Puente Internacional, denominada así por estar ubicada en el paso fronterizo Perú – Ecuador en el caserío de La Tina, en el distrito de Suyo, provincia de Ayabaca, departamento de Piura, tiene el propósito de evaluar los recursos hídricos disponibles provenientes del río binacional Macará. Se encuentra a cargo del Proyecto Especial Chira Piura desde el 12 de enero de 1973 hasta la actualidad.

1.4.3 Estación Paraje Grande

La estación hidrométrica Paraje Grande se ubica en el caserío del mismo nombre, 5 Km aguas abajo de la Bocatoma Zamba, en el distrito de Paimas, provincia de Ayabaca, departamento de Piura, tiene el propósito de evaluar los recursos hídricos disponibles provenientes del río Quiroz. Se encuentra a cargo del Proyecto Especial Chira Piura desde el 01 de setiembre de 1973 hasta la actualidad.

Desde que entró en operación en 1954 la derivación del río Quiroz para el Sistema de Irrigación San Lorenzo, la estación Paraje Grande mide los excedentes no derivados y los caudales reservados para el riego del valle de Pimas (Paulini, 2005).

Con las obras de derivación existentes, la irrigación San Lorenzo aprovecha en promedio el 75% de los recursos del río Quiroz, el saldo aproximado de 25% va hacia el reservorio de Poechos.

1.4.4 Estación Ardilla

La estación hidrométrica Ardilla se ubica en el distrito de Lancones, en la provincia de Sullana, departamento de Piura, tiene el propósito de evaluar los recursos hídricos disponibles provenientes de la corriente del río Chira a la entrada del reservorio Poechos. Se encuentra a cargo del Proyecto Especial Chira Piura desde el 01 de enero del año 1976 hasta la actualidad.

La Ilustración 19 y la Tabla 6 muestran la ubicación geográfica y las características de las estaciones hidrográficas de estudio respectivamente.

Tabla 6 Estaciones hidrométricas de estudio, cuenca Catamayo - Chira

Estación	Corriente	Localización UTM		Altitud (msnm)	Tipo	Dependencia
		Latitud	Longitud			
Ardilla	Chira	9 503,270	567,048	106	LM	PECHP
Ciruelo	Chira	9 524,654	594,327	202	LG	PECHP
Puente Internacional	Macará	9 514,837	615,179	250	LG	PECHP
Paraje Grande	Quiroz	9 488,151	620,548	555	LG	PECHP

Fuente: PECHP: Proyecto Especial Chira Piura, SENAMHI: Servicio Nacional de Meteorología del Perú. (LM: Limnimétrica, LG: Limnigráfica)

Para la presente tesis se obtuvo información de dos estaciones adicionales las cuales son: Espíndola y Ayabaca.

Estas estaciones nos brindaron información complementaria para analizar la parte alta de las subcuencas Macará y Quiroz. La ubicación de ambas estaciones es en el distrito de Ayabaca y se encuentra a cargo del Proyecto Especial Chira Piura en la actualidad.

1.5 Análisis hidrológico de la cuenca

Para la presente tesis las variables de análisis serán las precipitaciones registradas en las estaciones de estudio descritas anteriormente, por ello es importante conocer antes de realizar la modelación algunos datos hidrológicos históricos registrados en la cuenca.

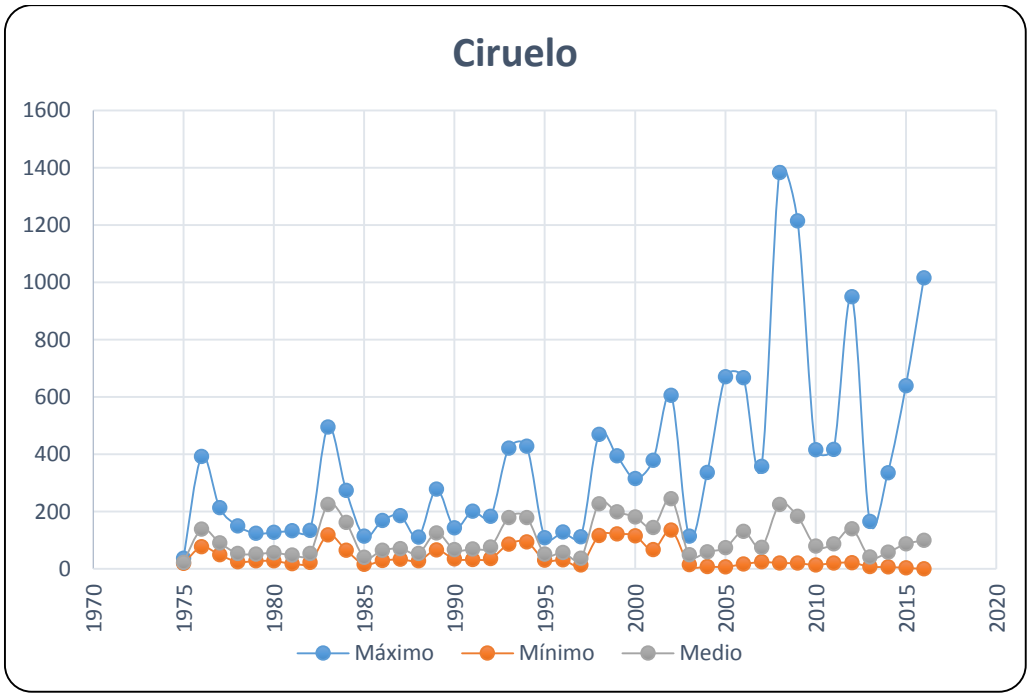
De las estaciones de aforo ubicadas en la parte peruana de la cuenca se ha obtenido información de los caudales promedios máximos, mínimos y medios anuales en periodos desde 1972 hasta el 2016. De los registros obtenidos se puede observar que los máximos caudales fueron aforados en la estación Ardilla, con un caudal de 3,142 m^3/s en el año 2008. (Ilustración 20a-Ilustración 20b).

Ilustración 19 Ubicación geográfica de las estaciones de estudio
Elaboración propia

También se puede observar que los caudales mínimos aforados han sido registrados en la estación Paraje Grande y en la estación Puente Internacional. (Tabla 7).

En la cuenca del río Chira, durante el periodo de 1982-83, las crecidas se incrementaron desde diciembre hasta julio llegando a un máximo en el mes de abril, para luego descender progresivamente entre mayo y julio de 1983. Para el evento de 1997-98, los caudales aumentaron desde el mes de diciembre hasta junio llegando a un máximo en el mes de abril, para luego descender progresivamente entre mayo y junio de 1998 (Ilustración 21).

Las masas anuales registradas en las diferentes estaciones de aforo ubicadas en la cuenca nos muestran que los mayores aportes han sido registrados en las estaciones Ciruelo y Ardilla, mientras que los menores aportes hídricos se registran en la estación Saucillo y Paraje Grande tal como se muestra en la Ilustración 22 (Vílchez, Núñez, & Valenzuela, 2006).



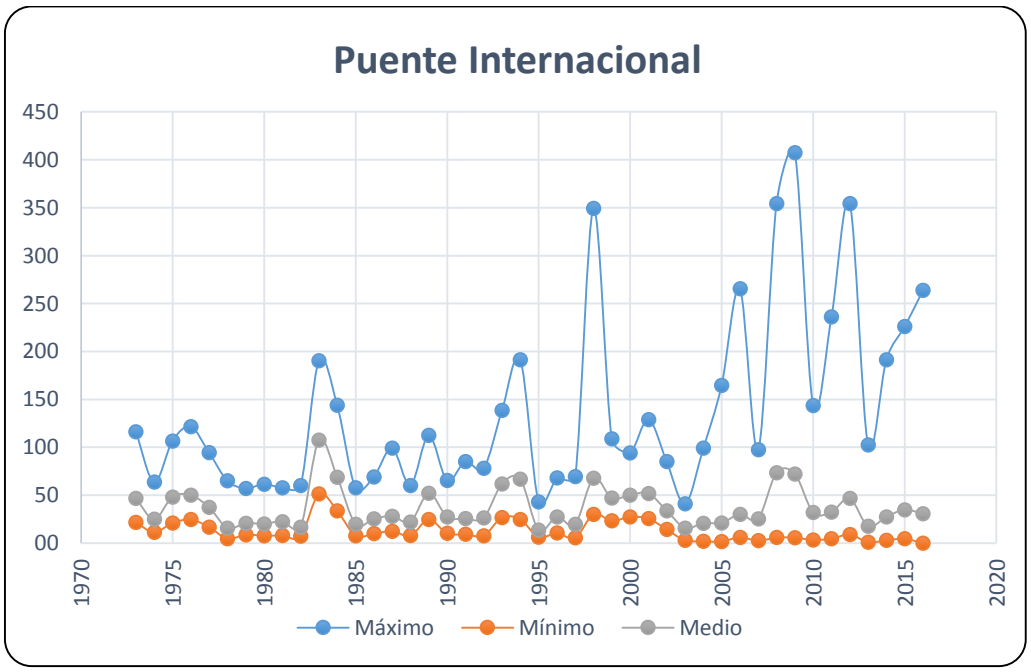
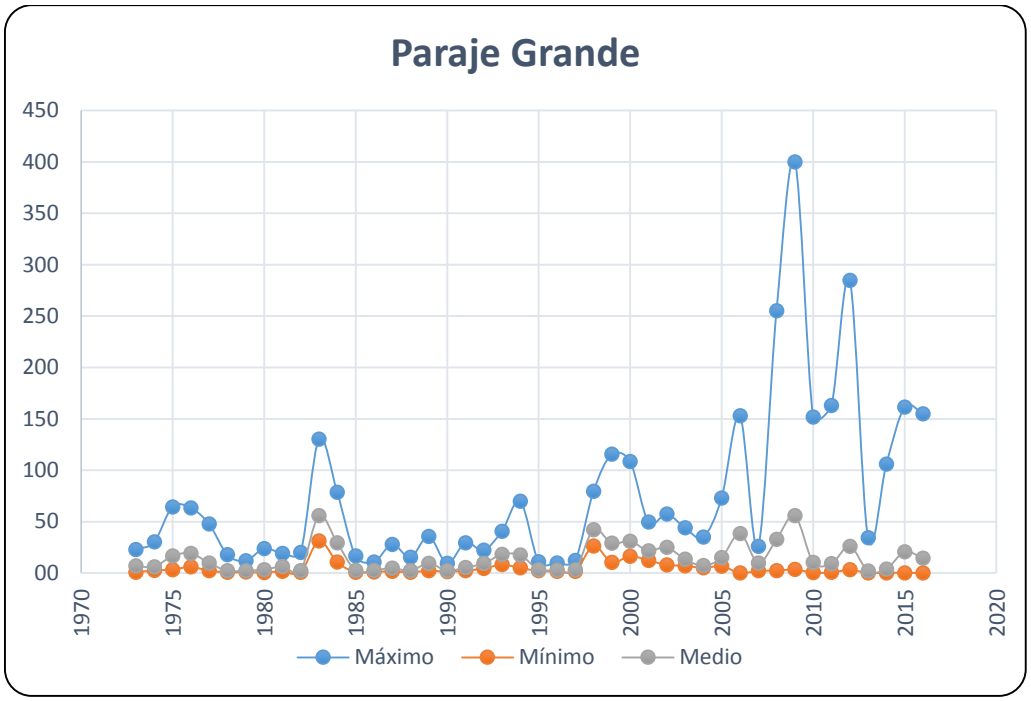


Ilustración 20a Caudales promedio anual máximo, mínimo y medio de las estaciones Ciruelo, Puente Internacional, Paraje Grande y Ardilla

Fuente: (Vílchez, Núñez, & Valenzuela, 2006)



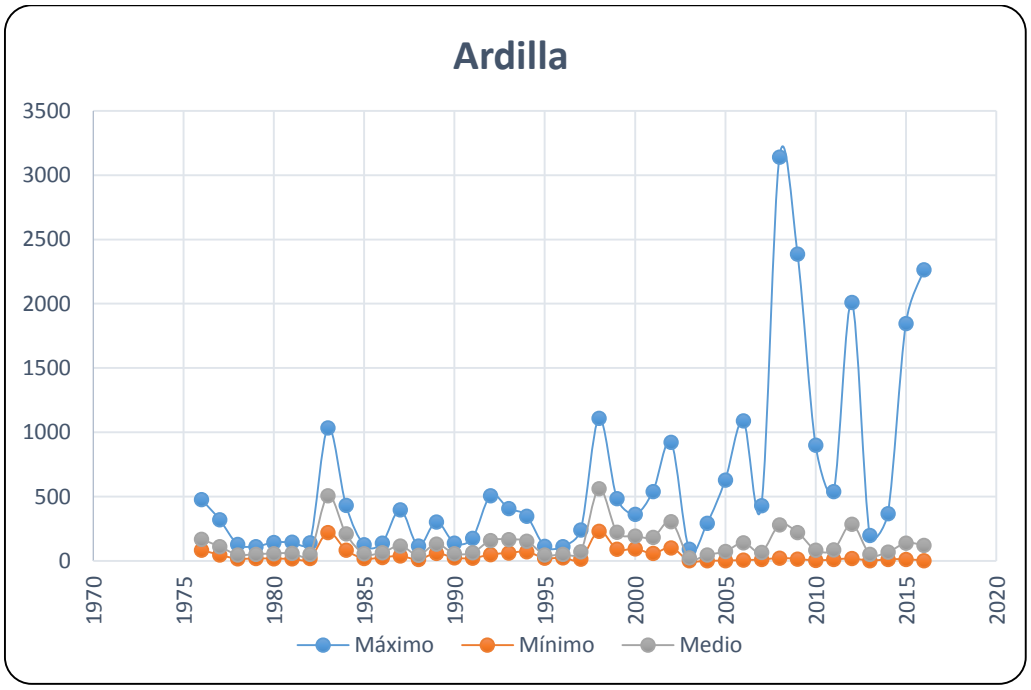


Ilustración 20b Caudales promedio anual máximo, mínimo y medio de las estaciones Ciruelo, Puente Internacional, Paraje Grande y Ardilla
Fuente: (Vílchez, Núñez, & Valenzuela, 2006)

Tabla 7 Caudales (m^3/s) de las cuatro estaciones de estudio en la cuenca Catamayo Chira

Estación	Puente Internacional			Ciruelo			Paraje Grande			Ardilla		
Año	Max.	Min.	Med.	Max.	Min.	Med.	Max.	Min.	Med.	Max.	Min.	Med.
1973	116,1	21,6	46,7				22,9	0,6	6,8			
1974	63,7	11,4	24,9				30,2	2,6	6,1			
1975	106,6	21,1	48,2	37,6	19,0	22,8	64,3	3,3	16,5			
1976	121,4	24,6	49,9	392,3	76,9	138,6	63,2	6,0	19,2	477,1	84,8	168,8
1977	94,4	16,8	37,3	213,7	49,0	91,0	47,6	2,2	9,7	321,0	46,8	110,8
1978	65,1	4,7	15,8	150,4	25,0	54,2	17,8	0,7	2,2	128,8	16,3	47,3
1979	57,2	8,8	20,6	124,4	27,9	51,7	11,9	0,9	2,3	111,6	19,8	51,4
1980	61,5	7,8	20,1	127,6	28,1	56,6	23,7	0,5	3,2	142,8	17,7	57,2
1981	57,8	8,0	22,5	132,9	18,6	48,2	19,2	1,7	6,2	145,0	16,4	60,1
1982	60,0	7,3	16,6	134,8	23,0	54,2	19,9	0,6	2,4	141,8	18,3	52,0
1983	190,4	51,3	107,4	495,5	119,2	224,8	130,1	31,1	55,7	1035,5	220,8	507,6
1984	143,8	33,7	68,8	274,5	65,5	162,5	78,4	10,6	29,2	432,5	85,0	210,3
1985	57,7	7,8	19,7	113,9	16,5	40,9	16,6	0,8	2,5	125,2	18,6	55,7
1986	69,2	10,0	25,3	168,7	29,0	64,8	10,7	1,1	2,5	138,4	26,6	63,3
1987	99,0	12,4	28,1	186,1	33,8	71,1	27,7	1,7	4,8	398,6	38,6	117,2
1988	60,1	7,9	22,0	110,4	28,2	53,7	15,4	0,8	2,2	116,3	11,3	44,7
1989	112,5	24,8	52,0	278,4	66,1	125,4	35,6	2,3	9,4	302,7	59,8	130,3
1990	65,4	10,2	27,3	143,9	35,0	67,2	9,3	1,3	2,2	139,5	24,3	56,8
1991	85,2	9,3	25,7	201,8	32,3	69,4	29,4	2,3	5,4	176,2	21,2	62,9
1992	78,0	7,8	26,3	183,2	36,3	76,8	22,3	4,4	9,3	507,7	49,0	158,5
1993	138,4	26,7	61,8	421,4	86,7	178,7	40,7	8,1	18,0	407,4	61,8	166,5
1994	191,4	24,8	66,6	428,5	94,5	179,5	69,7	5,0	17,4	348,7	70,6	152,5
1995	43,0	6,2	13,7	108,9	31,0	51,9	11,1	2,1	3,3	113,7	22,1	47,7
1996	68,1	10,5	27,3	128,7	32,0	57,6	9,8	1,7	3,0	111,1	24,9	51,6
1997	69,5	5,5	19,6	112,1	13,8	37,1	12,3	1,7	3,1	240,3	14,4	70,7
1998	349,3	30,1	67,7	469,6	116,2	227,4	79,4	26,1	42,1	1108,6	231,9	562,3
1999	108,7	23,3	46,9	394,4	121,9	198,9	115,6	10,5	28,9	486,0	90,7	224,0
2000	94,1	27,4	50,2	315,6	115,9	181,4	108,6	16,4	31,0	362,4	94,3	193,7
2001	129,0	25,6	51,8	379,4	67,2	144,8	49,5	12,3	21,7	540,6	58,4	183,3
2002	85,0	14,3	33,8	606,3	135,1	244,9	57,3	7,9	25,0	922,2	102,4	306,1
2003	41,0	3,0	15,8	114,0	15,0	49,1	44,0	7,0	13,4	90,8	1,2	24,1
2004	99,0	2,0	20,7	337,0	8,5	60,1	35,0	5,0	7,1	293,8	1,2	47,3
2005	164,8	1,7	21,2	670,5	7,6	74,2	73,0	6,7	15,0	629,0	2,8	73,0
2006	265,5	6,1	30,0	667,3	16,8	130,5	153,1	0,0	38,5	1089,9	6,2	140,2
2007	97,5	2,6	25,4	357,8	24,6	75,2	26,1	2,1	9,8	431,1	11,1	67,4
2008	354,3	5,8	73,5	1383,3	20,8	224,4	255,3	2,3	32,7	3142,0	22,1	280,4
2009	407,5	5,7	72,1	1214,7	19,9	183,4	400,0	3,4	55,7	2387,9	15,4	221,4
2010	143,7	3,4	32,0	416,3	14,3	79,8	151,7	0,3	10,4	899,9	4,0	84,3
2011	236,0	4,6	32,5	417,0	20,5	87,6	163,0	0,5	9,2	539,1	11,4	85,8
2012	354,4	9,1	46,6	949,6	22,1	139,7	284,8	3,1	25,9	2011,3	18,7	285,6
2013	102,5	1,0	17,6	165,2	8,0	41,3	34,2	0,1	1,9	199,7	2,7	52,7
2014	191,4	3,1	27,4	335,8	6,9	57,9	106,0	0,2	4,0	366,8	11,8	67,8
2015	225,9	4,6	34,7	639,5	3,8	87,5	161,5	0,2	20,6	1845,7	12,9	138,3
2016	263,8	0,0	30,5	1016,4	0,0	99,8	155,0	0,0	14,4	2264,4	2,7	122,4

Elaboración propia
Fuente: (Vílchez, Núñez, & Valenzuela, 2006)

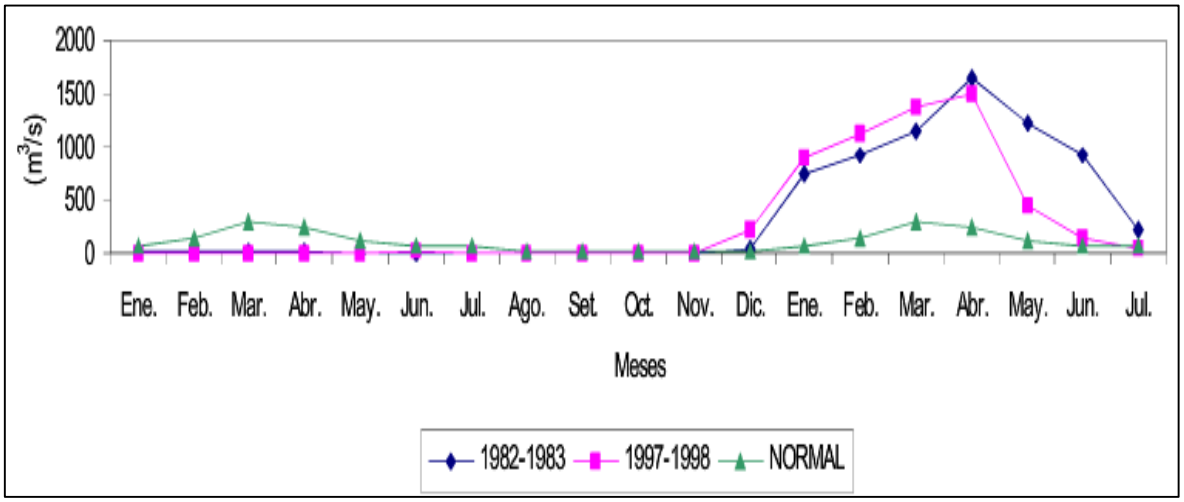


Ilustración 21 Descarga promedio mensual del río Chira durante los Fenómenos El Niño 1982-1983 y 1997-1998
Fuente: (Vílchez, Núñez, & Valenzuela, 2006)

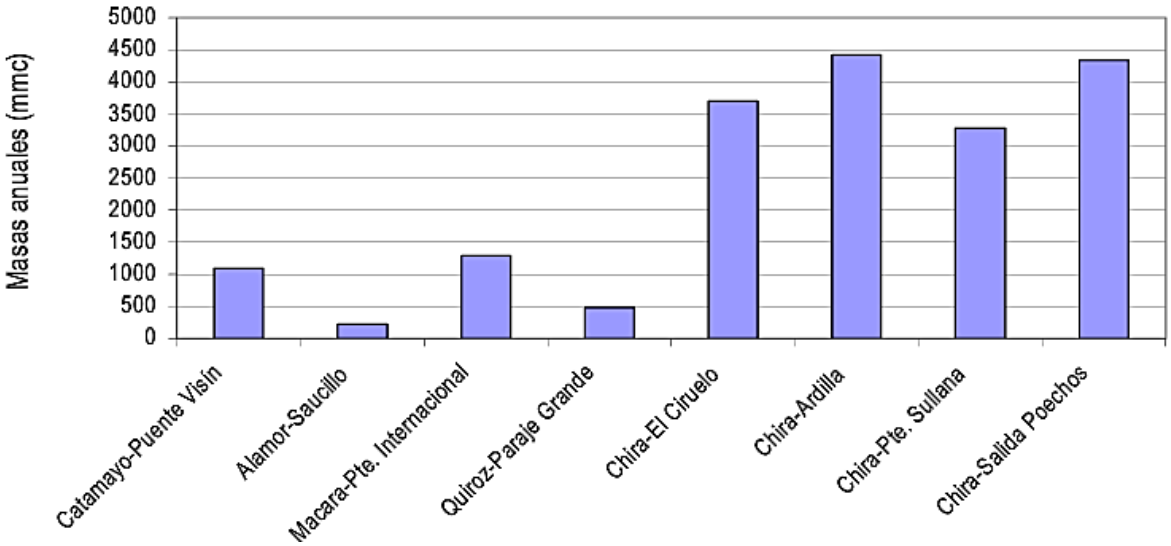


Ilustración 22 Masas anuales de algunos ríos tributarios de la cuenca Catamayo Chira
Fuente: (Vílchez, Núñez, & Valenzuela, 2006)

Capítulo 2
Programa Hec-Hms

Para la presente tesis se ha utilizado el software Hec-Hms en la versión 3.1.0, el cual es de libre disposición (Villón, 2008).

2.1 Descripción

Hec-Hms (*Hydrologic Engineering Center´s Hydrologic Modeling System*) es un programa de simulación hidrológica, desarrollado por el Centro de Ingeniería Hidrológica (*HEC-Hydrologic Engineering Center*) del Cuerpo de Ingenieros de los Estados Unidos (*US Army Corps*). Es una herramienta creada para estimar los hidrogramas de salida en una cuenca o varias subcuencas (caudales máximos y tiempos al pico) a partir de condiciones extremas de lluvia (Villón, 2008).

Para realizar estos cálculos se parte de los datos de un hietograma de precipitación y a través de una serie de modelos se calcula el exceso de precipitación o precipitación neta, restando las pérdidas por infiltración y detención, sobre la base de una función de velocidad de infiltración del agua en los suelos. Los excesos de precipitación resultantes son luego seguidos mediante hidrogramas unitarios o técnicas de la onda cinemática a la salida de la subcuenca generando un hidrograma.

La aplicación permite al usuario introducir la información necesaria para una simulación, manejar los componentes de análisis hidrológicos, a través de módulos integrados y obtener respuestas gráficas o tabuladas de fácil comprensión.

El Hec-Hms está compuesto de una interfaz gráfica con el usuario (GUI) componentes de análisis hidrológicos integrados, capacidades de almacenamiento y manejo de datos y facilidades de reportes gráficos y tabulares. El GUI provee un medio para especificar los componentes de la cuenca y el ingreso de sus datos, así como la visualización de resultados.

Este programa permite realizar modelos agregados así como también modelos distribuidos. En los modelos agregados las pérdidas y las precipitaciones son promediadas espacialmente a lo largo de las subcuencas, mientras que en un modelo distribuido se requiere la lluvia en una malla o conjunto de celdas que componen la subcuencas. En ese caso, las pérdidas y

excesos son calculadas por separado para cada celda de la subcuenca. Dependerá de la información disponible para realizar uno u otro modelo. En general, los elementos hidrológicos son dispuestos en una red dendrítica y los cálculos se realizan en una secuencia de aguas arriba a aguas abajo (Villón, 2008).

2.1.1 El sistema Hec-Hms

Después que se carga la aplicación, se tiene la ventana principal o de definición de proyecto del Hec-Hms (Ilustración 23), en esta ventana se puede crear o manejar un proyecto. Esta provee un acceso a los componentes, herramientas de análisis y otros conjuntos de datos tal como registros de precipitación y caudal.

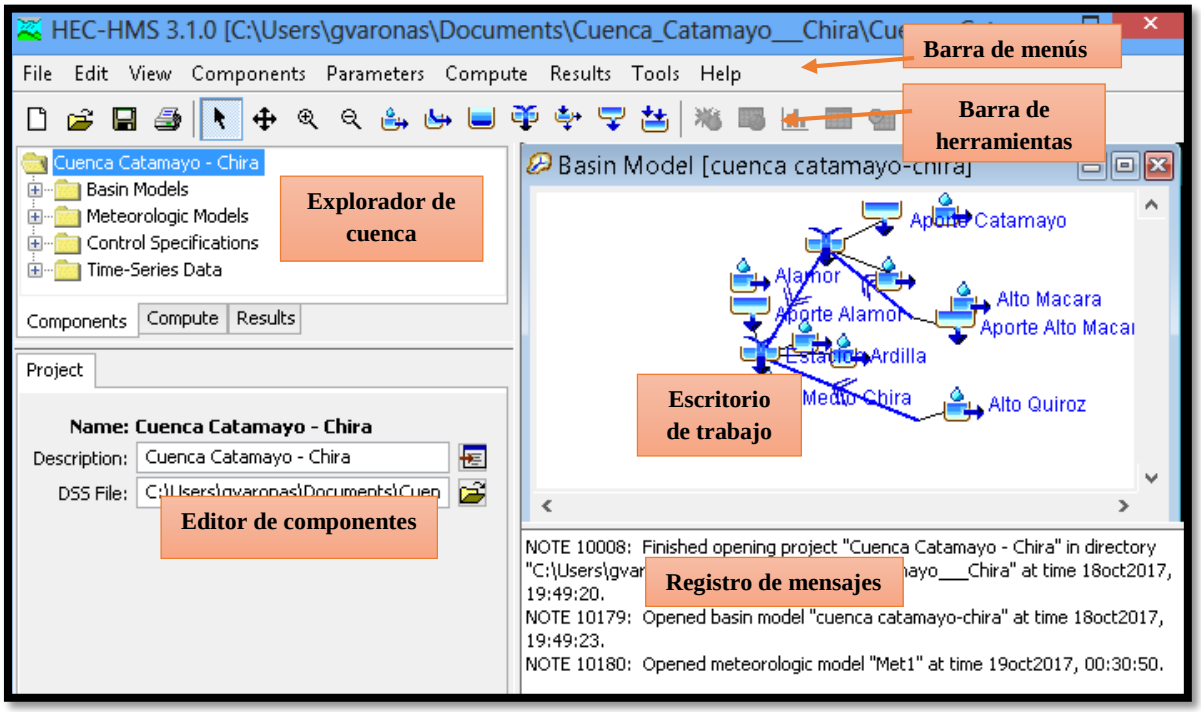


Ilustración 23 Ventana de definición del proyecto
Fuente: Hec-Hms

Esta ventana muestra la barra de menús y la barra de herramientas además está dividida en cuatro paneles:

- **Explorador de la cuenca**

En esta ventana se van mostrando los elementos que se van creando, por ejemplo: modelos de la cuenca (*basin model*), modelos meteorológicos (*metereologic models*), especificaciones de control (*control especifications*), datos pluviométricos o de caudales (*time series data*), etc.
El explorador de la cuenca fue desarrollado para proveer un fácil acceso a todos los componentes y simulaciones en un proyecto.

El explorador de cuenca se divide en 3 partes: componentes (*components*), cálculos (*compute*) y resultados (*results*), a la que se accede seleccionando la pestaña inferior correspondiente.

- **Editor de componentes**

Cuando se selecciona uno de los elementos del Explorador de la cuenca, debajo (en el Editor de componentes) aparecen los parámetros correspondientes a ese elemento. En este editor se ingresan todos los datos requeridos por los componentes.

- **Escritorio de trabajo**

Es el panel de trabajo donde se colocan los modelos hidrológicos como subcuencas, cauces, unión de cauces, sumideros, embalses, etc. También es este panel, se muestran los resultados en forma gráfica y tabular.

- **Registro de mensajes**

Es el panel donde mediante de notas, advertencias o errores, la aplicación permite dar seguimiento a las distintas acciones realizadas. Estos mensajes ayudan al usuario, a identificar el proceso realizado, mientras se ingresan las variables del proyecto en la aplicación. Cuando se realizan las corridas y se producen errores, los mensajes aparecen en color rojo, indicando al usuario las correcciones de debe realizar.

2.1.2 Componentes de un proyecto en Hec-Hms

El proyecto sirve para agrupar las diferentes partes, que en su conjunto forman el modelo completo de la cuenca. Los componentes básicos son los siguientes:

- **Modelo de la cuenca**

El modelo de la cuenca (*Basin Models*) representa la cuenca física, el usuario crea la cuenca e informa al programa acerca de las diferentes subcuencas que contiene y sus características, lo normal es que haya varias subcuencas dentro de una cuenca, ya que se trata de un modelo semidistribuido; luego la desarrolla agregando y conectando elementos hidrológicos, los elementos hidrológicos usan modelos matemáticos para describir los procesos físicos que se producen en ellos y por ende en la cuenca.

Definir el modelo de la cuenca

Para definir el modelo de la cuenca, en primer lugar, se crea la cuenca que se va a modelar mediante los siguientes pasos:

- En el menú *Components* se elige la opción *Basin Model Manager*
- En la ventana *Basin Model Manager*, seleccionar *New*
- Se abre la ventana *Create A New Basin Model*.
- En esta ventana se escribe el nombre de la cuenca que vamos a modelar.
- Luego de colocar el nombre de la cuenca, seleccionar *Create*.
- Se regresa a la ventana *Basin Model Manager*, donde se puede ver la cuenca que hemos creado.
- Cerramos esa ventana.

Después de este procedimiento, en el Explorador de la cuenca, se muestra el modelo de la cuenca creado (*Basin model*).

Si se selecciona en el nombre de la cuenca creada, se muestran sus componentes, tanto en el panel del editor de componentes, como en el escritorio de trabajo.

Crear elementos hidrológicos

Para crear los elementos hidrológicos, los cuales representan cada parte de la cuenca se selecciona en la barra de herramientas el icono del elemento que deseamos crear, luego ubicamos en que parte del escritorio de trabajo lo vamos a crear y hacemos clic, inmediatamente aparece una ventana en la que se debe colocar el nombre del elemento que se está creando, después de esto automáticamente aparecerá en el Explorador de la cuenca. En la Tabla 8 se describen algunos elementos hidrológicos, los cuales se utilizaran para el modelamiento de la presente tesis.

Tabla 8 Elementos hidrológicos para la modelación de la presente tesis.

Elementos Hidrológicos	Descripción
Subcuenca (Subbasin)	Se usa para representar la cuenca física, se colocan tantas como se tengan definidas en la cuenca. Este tipo de elemento se caracteriza porque no recibe flujo entrante y produce un solo flujo saliente producto de las precipitaciones.
Tramo (Reach)	Se usa para transportar el agua generada en algún punto de la cuenca, hasta otro punto de la cuenca, definidos ambos en el modelo de la cuenca. La respuesta de este transporte es un retardo y una atenuación del hidrograma de entrada. Este elemento se caracteriza porque recibe uno o varios flujos entrantes y produce un solo flujo saliente. Los flujos entrantes provienen de otros elementos de la cuenca, como por ejemplo de otras subcuencas. Es importante notar que las subcuencas de cabecera o más altas no llevan *reach*, es decir, el primer *reach* va desde la salida de la subcuenca más alta, hasta la salida de la subcuenca ubicada aguas abajo Este tipo de elementos se suele utilizar para representar tramos de ríos o arroyos en los que se produce tránsito de un determinado hidrograma. Modela el tránsito del caudal que ingresa a la cuenca a lo largo de todo su cauce.
Unión (Junction)	Se usa para modelar la confluencia de los cauces de dos subcuencas en un punto. Se supone que este punto es el inicio de la subcuenca a donde ambas vierten o confluyen. Este elemento se caracteriza porque recibe dos o más flujos entrantes y produce un solo flujo saliente.
Fuente (Source)	Se usa para introducir agua dentro del modelo de la cuenca, por ejemplo para representar el trasvase a la cuenca modelada, proveniente de otra cuenca.

Fuente: (Villón, 2008)

Conexión de los elementos hidrológicos
El lugar del escritorio donde se crearon los elementos es irrelevante, lo importante son las conexiones entre los elementos. Se conectan desde aguas arriba hacia aguas abajo. Para conectar unos elementos con otros de debe hacer clic derecho en el elemento que deseamos conectar, en el menú emergente que aparece seleccionar *Connect Downstream* (conectar aguas abajo), el cursor adquiere la forma de cruz, luego se debe hacer clic sobre el elemento con el que vamos a conectar y con este proceso se hace la conexión automática.

Datos en los elementos del modelo de la cuenca
Después de haber creado los elementos hidrológicos y haber hecho la conexión de los mismos se procede a ingresar la información de cada uno de ellos.
Como son distintos elementos hidrológicos, se necesita diferentes datos para cada uno. Para la presente tesis se ha creído conveniente describir el ingreso de datos solo de los elementos hidrológicos que se utilizaran en la modelación por ello, empezaremos con las subcuencas, continuaremos con los tramos, y finalizaremos con las fuentes.

Subcuencas

- Se selecciona en el panel del explorador de la cuenca el nombre de la subcuenca en la que se va a ingresar datos, al seleccionar en el panel Editor de componentes se muestran unos campos para completar información.
- En el campo de área se coloca el área correspondiente a la subcuenca.
- En el campo de *Loss Method*, se selecciona el método que se utilizará para separar la lluvia neta o efectiva.
- En el campo de *Transform Method* se selecciona el método para transformar la precipitación neta a escorrentía directa.
- Finalmente en *Baseflow Method* se selecciona el caudal base de la subcuenca seleccionada.
- Después de ingresar estos datos sin salir del Editor de componentes, se selecciona la pestaña *Loss*, donde se ingresa los datos requeridos por el método para separar la lluvia neta o escorrentía.
- Sin salir del editor de componentes, seleccionar la pestaña *Transform*, donde se coloca los datos requeridos por el método para transformar la lluvia neta o escorrentía.
- Finalmente se selecciona en la pestaña *BaseFlow* (flujo base) y se coloca un flujo base para la subcuenca creada.

Los métodos para separar la lluvia neta o efectiva, para transformar la precipitación neta a escorrentía directa y para asignar un caudal base se describen más adelante.

Tramos

- En el panel Explorador de la cuenca seleccionar el tramo al que vamos a ingresar datos, en la pestaña *Reach* del panel del Editor de componentes, en *Routing Method* (método de tránsito) elegir el método a utilizar.
- Finalmente en la pestaña *Routing* del panel del Editor de componentes, ingresar los datos requeridos por el método.

Los métodos para simular el tránsito de avenidas se describen más adelante.

Fuentes

- En el panel Explorador de la cuenca seleccionar la fuente a la que vamos a ingresar datos en la pestaña *Source* del panel del Editor de componentes, en área, colocar el área que representa la fuente en el modelo.
- Luego en *Method* se asigna el método que se utilizará.

Los métodos para las fuentes se describen más adelante.

Ingreso de datos de precipitación
Para ingresar los datos de precipitación en primer lugar se crean los pluviógrafos, en los cuales se coloca la información de las tormentas a analizar, para luego relacionarlos con las subcuencas correspondientes.

Para crear los pluviógrafos se selecciona en la barra de herramientas *Components* seleccionando *Time Series Data Manager*, luego aparece una ventana donde se coloca el nombre para cada pluviógrafo que se desea crear, después de este proceso en el Explorador de la cuenca aparecen los pluviógrafos

Después de haber creado los elementos que representa los pluviógrafos se coloca la información para cada uno.

Datos generales
Se selecciona el pluviógrafo en el panel del explorador de la cuenca, con esto en el panel Editor de componentes se muestra la pestaña *Time Interval*, en la cual se debe colocar el intervalo de tiempo en que se ingresará la información de precipitación.

Datos de precipitación
Para cada pluviógrafo creado le corresponde datos de precipitación, para introducir los datos de precipitación en primer lugar se coloca la información de fecha y hora del comienzo y fin de cada evento en el panel del Editor de componentes.
Luego se ingresa los datos de precipitación en los pluviógrafos creados, para ingresar estos datos se selecciona la pestaña *Table* y en la ventana que se muestra se ingresan los datos de precipitación en mm.

- **Modelo meteorológico**

En este componente se asocian los registros de los pluviógrafos con la subcuenca que le corresponda, también se introducen los datos de los pluviómetros. Se puede utilizar precipitaciones reales, precipitaciones teóricas o tormentas de diseño. Si se utilizan varios pluviómetros por subcuenca habrá que indicar sus coordenadas para que Hec-Hms pueda calcular el promedio para cada subcuenca.
Para crear los modelos meteorológicos se selecciona en la barra de herramientas *Components*, se seleccionando *Meterologic Model Manager* y ahí se crea cada modelo.

- **Especificaciones de control**

En este componente se indica cuando debe empezar y terminar los cálculos, así como el incremento de tiempo (time interval) con el que se deben realizar los cálculos. Es decir, en este componente se indican los tiempos de simulación y optimización.

Para crear las especificaciones de control se selecciona en la barra de herramientas *Components* y luego *Control Specifications Manager*, aparecerá una ventana donde se ingresa el nombre para cada especificación de control que se desea crear.

2.1.3 Fases de trabajo del Hec-Hms

Las fases de cálculo que realiza el Hec- Hms son las siguientes:

- **Separación de la lluvia neta o efectiva**

Esta fase calcula que parte de la precipitación caída va a generar escorrentía directa, la cual es el resultado de descontar de la precipitación el agua interceptada por la vegetación, infiltrada en el suelo, almacenada en la superficie del mismo, evaporada desde diferentes superficies o transpirada a través de las plantas. Para esto Hec-Hms usa los modelos:

- *None*: Se utiliza cuando se da como dato la precipitación neta.
- *Deficit and Constant*: Modelo de déficit constante.
- *Exponential*: Modelo exponencial.
- *Green and Ampt*: Modelo de Green & Ampt.
- *Gridded Deficit Constant*: Déficit constante asociado a celdas.
- *Gridded SCS Curve Number*: Número de curva asociado a celdas.
- *Gridded Soil Moisture Accounting*: Modelo SMA asociado a celdas.
- *Initial and Constant*: Pérdidas iniciales y constantes.
- *SCS Curve Number*: Método Número de curva del SCS.
- *Smith Parlange*: Modelo de Smith Parlange.
- *Soil Moisture Accounting*: Modelo SMA.

Modelo del número de curva del SCS (SCS Curve Number)
Este modelo desarrollado por el Servicio de Conservación de Suelos (SCS) de los Estados Unidos, usa el número de curva (CN), para estimar la precipitación neta o precipitación en exceso (Pe), a partir de datos de precipitación (P) y otros parámetros de la cuenca de drenaje.

CN es el número de curva, el cual es un parámetro empírico estimado de la combinación del tipo de suelo, cobertura vegetal y la condición antecedente del suelo. Para estimar el número de curva considerando el antecedente de 5 días de lluvia, el cual es simplemente la suma de la lluvia de los 5 días anteriores al día considerado se presenta la Tabla 9.

Tabla 9 Condición de humedad antecedente

Condición de humedad antecedente	Precipitación acumulada de los 5 días previos al evento en consideración (cm)	
	Estación seca	Estación de crecimiento
I (seca)	menor de 1,3	menor de 3,5
II (media)	1,3 a 2,5	3,5 a 5
III (húmeda)	más de 2,5	más de 5

CN en su condición seca se obtiene mediante la fórmula:

$$CN_{(I)} = \frac{4{,}2 \times CN_{(II)}}{10 - 0{,}058CN_{(II)}}$$

Donde $CN_{(I)}$ es el número de curva en su condición seca y $CN_{(II)}$ es el número de curva en su condición media, este último se obtiene de la Tabla 1 del Anexo G y para clasificar hidrológicamente a los suelos se utilizó la Tabla 2 del mismo anexo.

Las abstracciones iniciales (Ia) se calculan con la fórmula:

$$Ia = \frac{5080}{CN} - 50{,}8$$

Donde CN es el número de curva que se calculado anteriormente, es decir el CN en su condición seca e Ia son las abstracciones iniciales en mm.

- **Transformar precipitación neta a escorrentía directa**

La parte más importante del modelo de simulación del Hec-Hms, lo constituyen los modelos para calcular la escorrentía directa producida por la precipitación neta. Para esto Hec-Hms usa los modelos siguientes:

- *Clark Unit Hydrograph*: Hidrograma unitario sintético de Clark.
- *Kinematic Wave*: Onda cinemática.
- *ModClark*: Hidrograma unitario sintético modificado de Clark.
- *SCS Unit Hydrograph*: Hidrograma unitario sintético del SCS.
- *Snyder Unit Hydrograph*: Hidrograma unitario sintético de Snyder.
- *User-Specified S-Graph*: Curva S definida por el usuario.
- *User-Specified Unit Hydrograph*: Hidrograma unitario definida por el usuario.

Para calcular el tiempo de retraso (tr) primero se calcula el tiempo de concentración (tc) con la fórmula:

$$tc = 3{,}98\left(\frac{L}{S^{0{,}5}}\right)^{0.77}$$

Donde L es la longitud del cauce principal de la cuenca en km, S es la pendiente promedio de dicho recorrido en m/m y tc es el tiempo de concentración en minutos.

Luego se calcula el tiempo de retraso (tr) con la fórmula:

$$tr = 0{,}6 * tc$$

Donde tc es el tiempo de concentración en horas y tr es el tiempo de retorno o Lag Time (como se menciona en el programa Hec Hms) en horas.

- **Agregar a la escorrentía directa la escorrentía base**

En esta fase se calcula si existía un caudal base previa a la tormenta analizada y al mismo tiempo se calcula la evolución de dicho caudal a lo largo del tiempo, para esto Hec-Hms usa los métodos:

- *Bounded Recession*: Curva de recesión con frontera.
- *Constant Monthly*: Caudal constante.
- *Linear Reservoir*: Depósitos lineales sucesivos.
- *Nonlinear Boussinesq*: Depósitos no lineales de Boussinesq.
- *Recession*: Curva de recesión.

- **Tránsito de caudales**

El discurrir del caudal a lo largo de un cauce o a través de un embalse da lugar a un nuevo hidrograma. Hec-Hms permite, por medio de varios modelos, representar la transformación que experimenta el hidrograma entre los puntos inicial y final de un tramo de un cauce, los modelos que usa son:

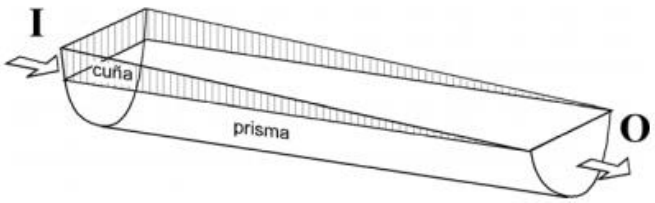
- *Kinematic Wave*: Modelo de onda cinemática.
- *Lag*: Modelo Lag.
- *Modified Puls*: Modelo de Puls modificado.
- *Muskingun*: Modelo de Muskingum.
- *Muskingun-Cunge*: Modelo de Muskingum-Cunge.
- *Straddle Stagger*: Modelo de Straddle Stagger.

La aplicación permite considerar varias subcuencas dentro de una cuenca, Hec-Hms realiza los cálculos de las tres primeras fases y calcula la cuarta fase para cada tránsito a lo largo de un cauce; la evolución del hidrograma generado en una subcuenca, circula por la subcuenca siguiente y así sucesivamente hasta llegar a la desembocadura de la cuenca. Al final, suma todos los caudales generados y transitados a lo largo del recorrido y proporciona los resultados del hidrograma en la salida de la cuenca, ya sea en forma gráfica como en forma tabular.

Método de Muskingum

Entre los métodos hidrológicos, posiblemente el más utilizado por su sencillez es el de Muskingum. Este método fue presentado por McCarthy (1938) y maneja relaciones caudal almacenamiento variables.

Además modela el almacenamiento de un cauce, mediante la combinación de dos tipos de almacenamiento, tal como se muestra en el siguiente gráfico:



Un almacenamiento prismático, formado por un volumen de sección transversal constante a lo largo del cauce prismático y un almacenamiento en cuña, formado por la diferencia entre los caudales de entrada y salida, o bien, por la pendiente de la lámina de agua en el tramo considerado.
Durante el avance de la avenida, el caudal de entrada es mayor que el de salida y se forma lo que se denomina cuña positiva y durante la recesión, el caudal de entrada es menor al caudal de salida, formándose una cuña negativa.
El volumen de almacenamiento prismático es proporcional al caudal de salida, ya que se supone que el caudal de salida es proporcional al área se la sección del cauce:

$$Sprisma = Sp = K\ O \qquad (1)$$

El volumen de almacenamiento por cuña, es proporcional a la diferencia entre las entradas y las salidas:

$$Scuña = Sc = K\ X\ (I-O) \qquad (2)$$

Sumando las ecuaciones (1) y (2), se obtiene:

$$S = KO + KX(I-O) \qquad (3)$$
$$S = K[O+X(I-O)]$$
$$S = K[O+XI-XO]$$
$$S = K[XI+(1-X)O] \qquad (4)$$

Donde:

S= Almacenamiento en el tramo considerado de un cauce
I= Caudal de entrada en ese tramo
O= Caudal de salida en ese tramo
K= Parámetro que representa el tiempo de tránsito de la onda de avenida a través del tramo
X= Parámetro que depende del almacenamiento en cuña, de manera que un valor X=0 está asociado a un almacenamiento tipo embalse, mientras que un valor X=0,5, corresponde a una cuña totalmente desarrollada, valores práctico de X pueden tomarse entre: 0,2-0,35.

La ecuación (4), representa el modelo lineal de almacenamiento para la propagación de avenidas en cauces, por el método de Muskingum. Aplicando el volumen de almacenamiento en dos instantes, 1 y 2, al comienzo y al final de un intervalo de tiempo Δt, éstos pueden determinarse como:

$$S1 = K[XI1 + (1-X)O1] \qquad (5)$$
$$S2 = K[XI2 + (1-X)O2] \qquad (6)$$

La variación en el almacenamiento a través del tramo, sería la diferencia de ambos almacenamientos:

$$S2-S1 = K\{[XI2 + (1-X)O2] - [XI1 + (1-X)O1]\}$$
$$S2-S1 = K[X(I2 - I1) + (1-X)(O2 - O1)] \qquad (7)$$

De otro lado, utilizando la ecuación de continuidad, la variación en el almacenamiento es igual a:

$$S2 - S1 = \frac{I2+I1}{2}\Delta t - \frac{O1+O2}{2}\Delta t \qquad (8)$$

Igualando las ecuaciones (7) y (8), se tiene:

$$S2-S1 = K[X(I2 - I1) + (1-X)(O2 - O1)] = \frac{I1+I2}{2}\Delta t - \frac{O1+O2}{2}\Delta t \qquad (9)$$

Efectuando operaciones, se obtiene:

$$KX(I2 - I1) + K(1 - X)O2 - K(1-X)O1 = \frac{I1+I2}{2}\Delta t - \frac{O1}{2}\Delta t - \frac{O2}{2}\Delta t$$

Haciendo operaciones y despejando O2, se tiene:

$$O2 = \frac{KX+\frac{\Delta t}{2}}{K(1-X)+\frac{\Delta t}{2}} I1 + \frac{-KX+\frac{\Delta t}{2}}{K(1-X)+\frac{\Delta t}{2}} I2 + \frac{K(1-X)-\frac{\Delta t}{2}}{K(1-X)+\frac{\Delta t}{2}} O1 \qquad (10)$$

Haciendo:

$$C1 = \frac{KX+\frac{\Delta t}{2}}{K(1-X)+\frac{\Delta t}{2}} \qquad (11)$$

$$C2 = \frac{-KX+\frac{\Delta t}{2}}{K(1-X)+\frac{\Delta t}{2}} \qquad (12)$$

$$C3 = \frac{K(1-X)-\frac{\Delta t}{2}}{K(1-X)+\frac{\Delta t}{2}} \qquad (13)$$

Se obtiene:

$$O2 = C1I1 + C2I2 + C3O1 \qquad (14)$$

Si sumamos (11), (12) y (13), se obtiene:

$$C1 + C2 + C3 = \frac{K(1-X)+\frac{\Delta t}{2}}{K(1-X)+\frac{\Delta t}{2}} = 1 \qquad (15)$$

De la ecuación (15), se observa que la suma de los coeficientes C1, C2 y C3 debe ser igual a 1.

Si K=Δt y X=0,5, el hidrograma de salida es idéntico al de entrada pero desplazado a la derecha un tiempo igual a K.
Si se conocen las dos constantes, K y X se puede calcular los caudales de salida a partir de los caudales de entrada.
Inversamente, si se dispone de los caudales de entrada y salida para el mismo hidrograma, se puede calcular las constantes K y X para ese tramo de cauce.

2.2. Aplicaciones

Con el modelo Hec-Hms, se puede simular la respuesta que tendrá la cuenca de un río en su escurrimiento superficial, como producto de una precipitación, mediante la representación de la cuenca como un sistema interconectado de componentes hidrológicos e hidráulicos. Cada componente, modela un aspecto del proceso de escurrimiento por precipitaciones, dentro de una parte de la cuenca, comúnmente referida como una subcuenca. Un componente puede representar una identidad de escurrimiento superficial, un canal de flujo o un embalse. La representación de un componente, requiere de un conjunto de parámetros que especifiquen las características particulares del componente y las relaciones matemáticas que describen el proceso físico. El resultado del proceso de modelaje, es el cálculo de los hidrogramas del flujo en sitios elegidos de la cuenca del río.

Los modelos de eventos revisten mucha importancia por su utilización en el diseño de obras de infraestructura que requieren del conocimiento de los picos y volumen de las crecidas, tales como puentes, alcantarillas, represas y obras de control de torrentes e inundaciones.

La interfaz gráfica del programa proporciona al usuario:

- Un componente de análisis hidrológico integrado.
- Herramientas de manejo y almacenamiento de datos.
- Facilidad de reportes y gráficos.

Los resultados e hidrogramas producidos por el Hec-Hms se almacenan en una base de datos y pueden usarse directamente o relacionarse con información topográfica en Hec-Ras para luego estos resultados verlos en Hec-GeoRas (extensión para ArcView GIS con su extensión 3D) para estudios de:

- Disponibilidad de agua.
- Drenaje urbano.
- Predicción del flujo.
- Reducción de los daños de las avenidas.
- Operación de sistemas.
- Dimensionar obras de control de inundaciones, como muros de encauzamiento y embalses.
- Establecer dimensiones preliminares de alcantarillas viales, luz en los puentes y sistemas de drenaje pluvial.
- Estudiar el impacto ambiental de las crecientes, causado por la transformación del uso de los suelos en cuencas rurales y urbanas.

Además, los resultados de las simulaciones que se obtienen con el Hec-Hms, se pueden visualizar en forma gráfica, tabulada y más expedida para el usuario (Villón, 2008).

Capítulo 3
Modelamiento hidrológico de la cuenca Catamayo-Chira usando Hec-Hms

Para el estudio de la presente tesis la cuenca se divide en dos zonas, aguas arriba del reservorio Poechos y aguas abajo del mismo. El modelamiento hidrológico con el programa Hec-Hms se realiza para la primera zona mencionada tal como se muestra en la Ilustración 24, esto debido a que lo que se pretende con esta tesis es hacer un modelamiento hidrológico que permita evaluar los caudales aportados en la entrada del reservorio Poechos ante las crecidas por la presencia de lluvias en la parte alta de la cuenca.

Para ello se ha tomado de referencia las cuatro estaciones hidrométricas descritas en el capítulo 1, que nos darán la información de las tormentas presentadas en diferentes zonas de la cuenca y que además por su ubicación en la cuenca han permitido que el área de modelamiento se pueda subdividir en más subcuencas. Es así como la estación Puente Internacional divide a la subcuenca Macará en Alto Macará (aguas arriba de la estación) y Bajo Macará (aguas abajo de la estación) y la estación Paraje Grande divide a la subcuenca Quiroz en Alto Quiroz (aguas arriba de la estación) y Bajo Quiroz (aguas debajo de la estación).

El área total de modelamiento es de 11 919 km^2, lo cual representa un 69,3% de la cuenca Catamayo Chira y las ocho áreas de subdivisión o subcuencas que se muestran en la Ilustración 25 son: Catamayo, Alto Macará, Bajo Macará, Alto Quiroz, Bajo Quiroz, Alamor, Medio Alto Chira y Medio Chira, todas ellas drenan al afluente principal de la cuenca, el río Chira.

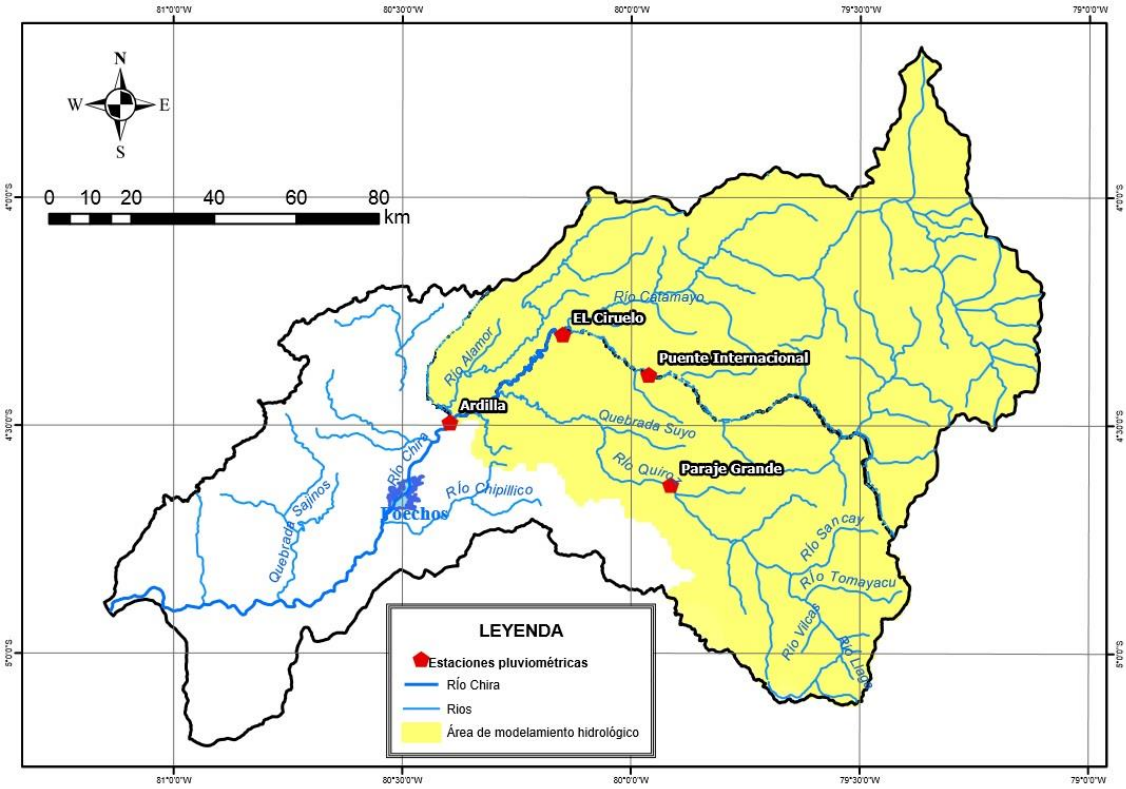


Ilustración 24 Área de modelamiento hidrológico, aguas arriba del reservorio Poechos.
Elaboración propia

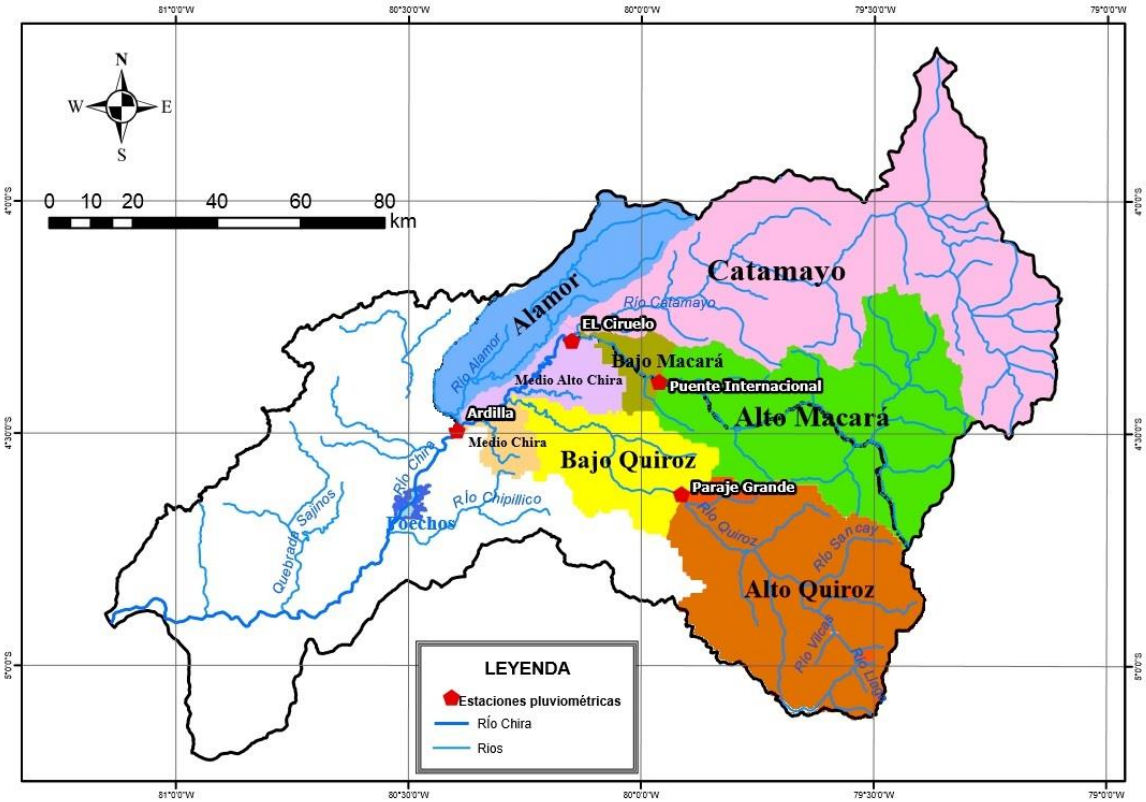


Ilustración 25 Subcuencas modeladas.
Elaboración propia

3.1 Modelo de la cuenca Catamayo-Chira

En este ítem se describe el procedimiento que se realizó en el componente modelo de la cuenca, para realizar la modelación.

3.1.1 Definir el modelo de la cuenca

Siguiendo los pasos descritos en el capítulo anterior, en primer lugar, creamos la cuenca denominada "Cuenca Catamayo – Chira":

En el Explorador de la cuenca, se muestra el modelo de la cuenca creada (*Basin model*), se debe seleccionar en el modelo creado y aparecerá la cuenca Catamayo Chira (Ilustración 26).

Si se selecciona en el nombre de la cuenca Catamayo Chira, se muestran sus componentes, tanto en el panel del editor de componentes, como en el escritorio de trabajo.

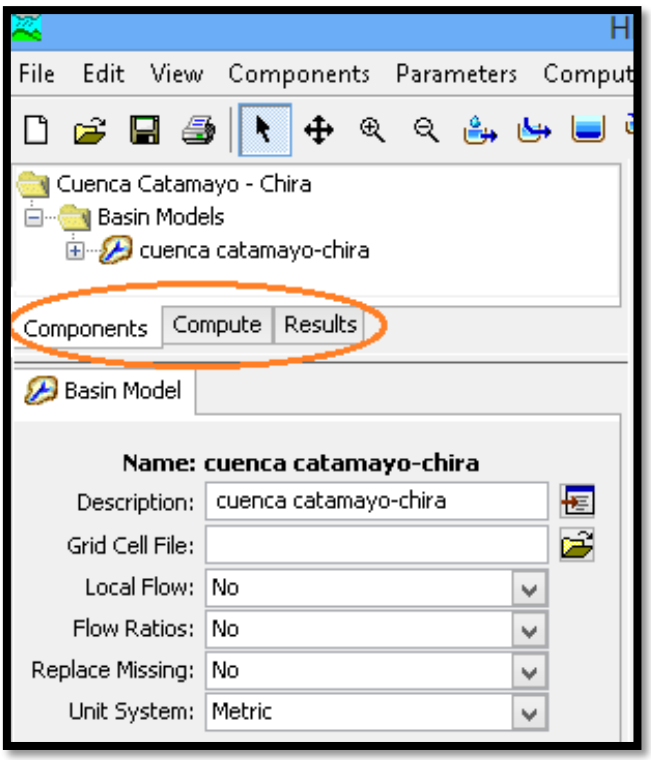


Ilustración 26 Cuenca Catamayo – Chira creada en el programa Hec-Hms

3.1.2 Crear elementos hidrológicos

Continuando con el modelamiento se crearon los elementos hidrológicos descritos en el capítulo anterior, los cuales representan cada parte de la cuenca. Los elementos hidrológicos creados se muestran en la Tabla 10.

3.1.3 Conexión de los elementos hidrológicos

Después de crear los elementos hidrológicos y conectarlos unos con otros el modelo de la cuenca se vio como aparece en la Ilustración 27, los puntos rojos representan la presencia de una estación hidrométrica.

Tabla 10 Elementos hidrológicos creados para la simulación

Elementos Hidrológicos	Descripción
Subcuenca (Subbasin)	Se crearon ocho subcuencas representativas del área de modelamiento: Catamayo, Alto Macará, Bajo Macará, Alto Quiroz, Bajo Quiroz, Alamor, Medio Alto Chira y Medio Chira, cada una representa una subcuenca dentro de la cuenca principal y presenta características particulares.
Tramo (Reach)	Se crearon tres tramos: • El primer tramo denominado "Puente Internacional", une la estación Puente Internacional con la estación Ciruelo, este tramo transporta el hidrograma generado por las precipitaciones en Alto Macará hasta la salida de la subcuenca Macará • El segundo tramo denominado "Tramo 2", une estación Ciruelo con la estación Ardilla, este tramo transporta el hidrograma generado en Bajo Macará más el caudal transportado por el primer tramo (Alto Macará), a ello se une el aporte de la subcuenca Catamayo, todos estos caudales se transportan hacia la estación Ardilla que para este caso es el punto de descarga del área de modelamiento. • El tercer tramo denominado "Paraje Grande", une la estación Paraje Grande con la estación Ardilla, este último tramo transporta el hidrograma generado por las precipitaciones en Alto Quiroz hasta la salida de la subcuenca Quiroz. Estos tramos mediante el método de Muskingum simulan un tránsito de avenidas de los caudales generados aguas arriba producto de las tormentas.
Unión (Junction)	Se crearon dos uniones, la primera que se ubica en la estación Ciruelo (recibe caudales de subcuenca Macará y Catamayo) y la segunda que se ubica en la estación Ardilla (punto de descarga del área de modelamiento).
Fuente (Source)	Se ha considerado usar este elemento hidrológico para representar los aportes de las subcuencas Catamayo y Alamor, ubicadas ambas en terreno ecuatoriano.

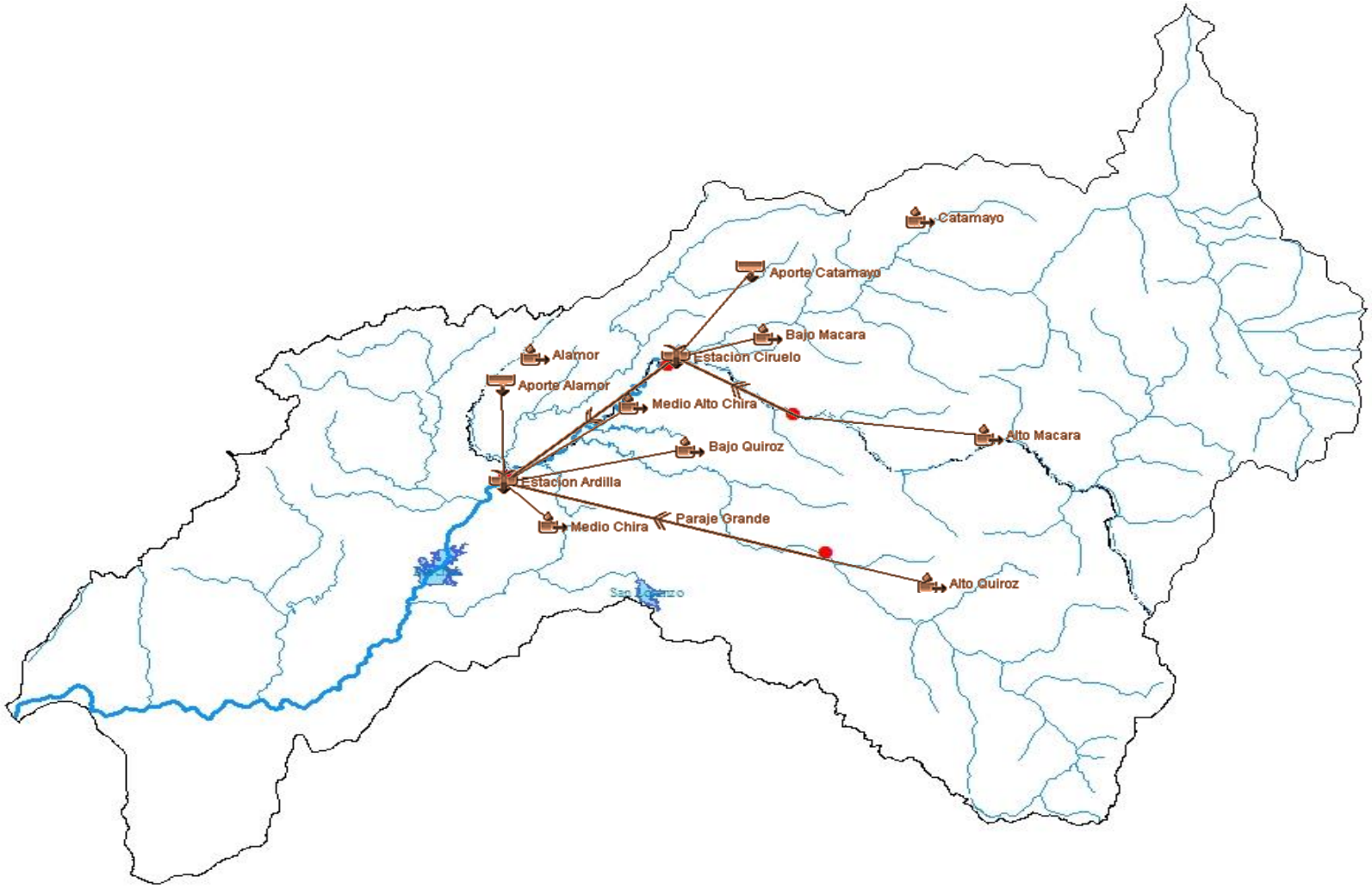


Ilustración 27 Esquema de la modelación planteada en el programa Hec-Hms
Elaboración propia

3.1.4 Datos en los elementos del modelo de la cuenca

Después de haber creado los elementos hidrológicos y haber hecho la conexión de los mismos se procedió a ingresar la información de cada uno de ellos.

Para ello se elaboraron la Tabla 11 y la Tabla 12 que resumen de las características particulares de cada uno de los elementos creados. Los tiempos de concentración, tc, y de retardo, tr, se calcularon a partir de las características de longitud y pendiente medidas en ArcGIS, según se indicó en el acápite 2.1.3. Los valores del número de curva, CN, y pérdidas iniciales, Ia, se determinaron a partir de la metodología explicada en el mismo acápite y las tablas del anexo G. Y los valores de la impermeabilidad se estimaron por tanteo según las condiciones del suelo y por el valor de CN calculado anteriormente, luego mediante la calibración del modelo se ajustaron los valores de esta variable.

Tabla 11 Características de los ríos principales del área de modelamiento

Ríos	L (km)	S (m/m)	tc (minutos)
Alto Macará	85,2	2,41	86,9
Bajo Macará	23,2	0,72	50,7
Catamayo	179,6	1,5	185,3
Alto Quiroz	93,4	2,92	86,7
Bajo Quiroz	69,9	0,59	128,4
Medio Alto Chira	26,8	0,54	63,5
Medio Chira	22,6	0,62	52,9
Alamor	112,4	2,25	110,5

Tabla 12 Características de cada subcuenca requeridas por el programa Hec-Hms para realizar la modelación

Cuenca	Subcuenca	Área (km^2)	tc (horas)	tr (horas)	CN	Ia (mm)	Impermeabilidad (%)
Macará	Alto Macará	2535	1,45	0,87	54	42,5	0
	Bajo Macará	298	0,85	0,51	26	147,8	2
Catamayo	Catamayo	4184	3,09	1,85	40	77,3	20
Quiroz	Alto Quiroz	2290	1,44	0,87	54	42,5	3
	Bajo Quiroz	819	2,14	1,28	26	147,8	15
Sistema Chira	Medio Alto Chira	414	1,06	0,64	26	147,8	5
	Medio Chira	188	0,88	0,53	26	147,8	5
Alamor	Alamor	1190	1,84	1,11	45	62,3	35

Ingreso de datos de las subcuencas

Como ya se mencionó anteriormente se crearon ocho subcuencas, el procedimiento es el mismo para cada una, para su mejor compresión en este ítem se va a describir el procedimiento para la subcuenca Bajo Macará siguiendo los pasos descritos en el capítulo anterior.

- Se selecciona en el panel del explorador de la cuenca el nombre de la subcuenca en la que vamos a ingresar datos, en este caso sobre la subcuenca Bajo Macará, al seleccionar en el panel Editor de componentes se muestra la Ilustración 28.

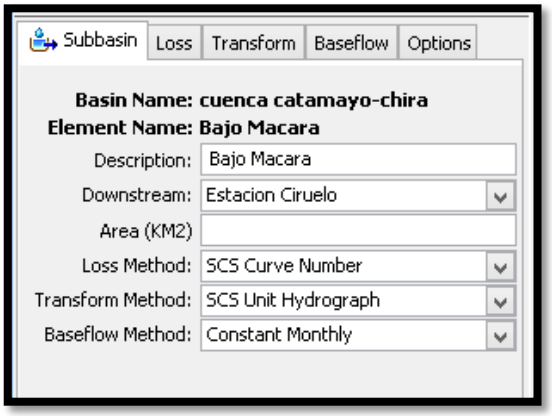


Ilustración 28 Editor de componentes de la subcuenca Bajo Macará

- Se puede ver que en el campo de *Downstream* aparece Estación Ciruelo, ello debido que como ya se ha realizado la conexión de elementos, esta estación se encuentra conectada aguas abajo a la subcuenca.
- En el campo de área colocamos el área correspondiente que aparece en la Tabla 11.
- En el campo de *Loss Method*, se selecciona el método de *SCS Curve Number*. Para todas las subcuencas se utilizará este método para separar la precipitación neta.
- En el campo de *Transform Method* se selecciona *SCS Unit Hydrograph*. Para todas las subcuencas se utilizará este método para transformar la precipitación neta a escorrentía directa.
- Finalmente en *Baseflow Method* se selecciona *Constant Monthly*, ya que se asume un caudal base constante.
- Después de ingresar estos datos sin salir del Editor de componentes, se selecciona la pestaña *Loss* (Ilustración 29). En la ventana que se muestra se escribe lo siguiente (Tabla 12):

Abstracciones iniciales (Initial Abstraction). 147,83 mm
Número de Curva (Curve Number): 26
Impermeabilidad (Impervious): 2%

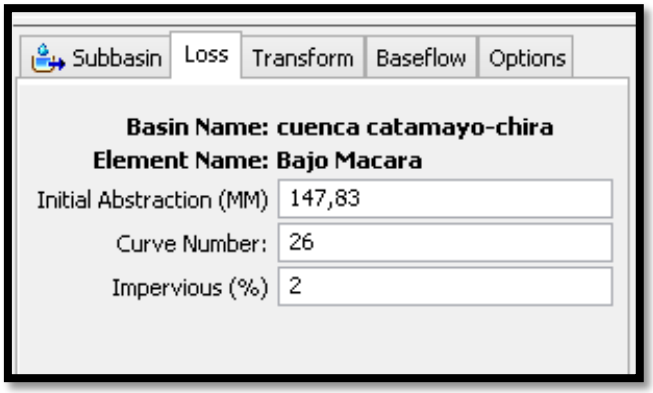


Ilustración 29 Pestaña *Loss* del Editor de componentes de la subcuenca Bajo Macará.

- Sin salir del editor de componentes, seleccionar la pestaña *Transform*, y como se ha elegido el método de SCS para transformar la precipitación neta en escorrentía, se solicita el *Lag Time* (tiempo de retraso) en minutos, se ingresa en el campo indicado 30,42 min equivalente a 0,51 hr.
  Para calcular el tiempo de retraso (tr) se utiliza la formula mencionada en el capítulo anterior.
- Finalmente se selecciona en la pestaña *BaseFlow* (flujo base) y se coloca un flujo base de 5 m^3/s para todos los meses. El flujo base será el mismo para todas las subcuencas creadas.

  Con este paso finalizamos el ingreso de datos de la subcuenca Bajo Macará.

- **Ingreso de datos en los tramos**

Se crearon tres tramos, en este caso vamos describir el procedimiento para ingresar datos al tramo denominado Paraje Grande que une a la estación Paraje Grande con la estación Ardilla y para los demás tramos el procedimiento será el mismo, sólo cambiaran los datos de las variables, las cuales se pueden ver en la Tabla 13.

Tabla 13 Características de cada tramo requerido por el programa Hec-Hms para realizar la modelación

Tramo	L (km)	k (horas)	x
Puente Internacional - Ciruelo	23,2	2,8	0,25
Paraje Grande - Ardilla	69,9	8,6	0,25
Ciruelo – Ardilla	48,2	5,9	0,25

Los datos que aparecen en la tabla 13 se han calculado con las fórmulas de Muskingum descritas en el capítulo anterior.

– En el panel Explorador de la cuenca seleccionar el tramo al que vamos a ingresar datos que este caso sería el tramo Paraje Grande, en la pestaña *Reach* del panel del Editor de componentes (Ilustración 30), en *Routing Method* (método de tránsito) elegir el método de Muskingum, este método se utilizará para todos los tramos.

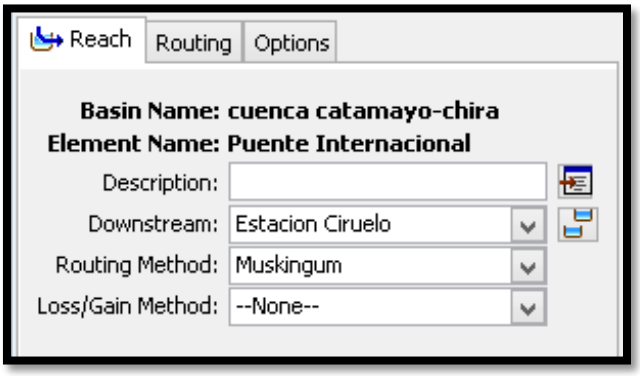


Ilustración 30 Panel de Editor de componentes del tramo Paraje Grande

– Finalmente en la pestaña *Routing* del panel del Editor de componentes, ingresar los valores de K y X (Tabla 13).

- **Ingreso de datos en las fuentes**

Se han creado dos fuentes que representan los aportes de la subcuenca Catamayo y la subcuenca Alamor. Para ambas se coloca el área de la subcuenca que están representando y para *Method* se asigna *Constant Flow*, ya que se asumirá el caudal constante. El caudal varía y depende del evento que se esté corriendo, por ello solo se asignaran estos datos inicialmente y el caudal será un dato que se colocará en cuanto se vaya corriendo cada uno de los eventos. Al completar los datos para la fuente que representa el aporte de la subcuenca Alamor se muestra la Ilustración 31.

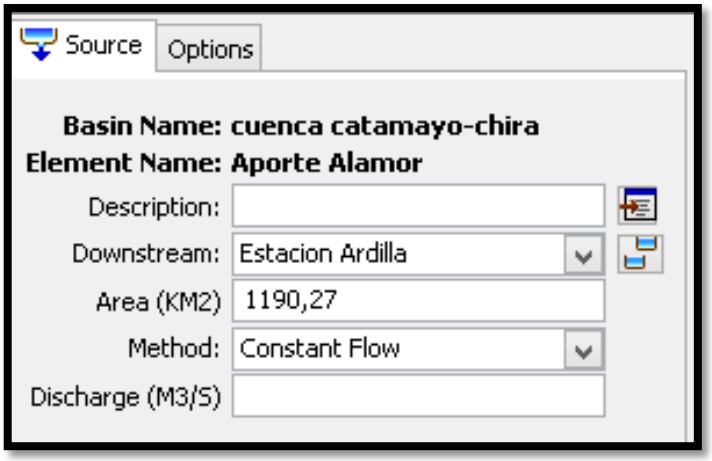


Ilustración 31 Panel de Editor de Componentes de la fuente Aporte Alamor.

- **Ingreso de datos de precipitación**

Para ingresar los datos de precipitación en primer lugar se crearon los pluviógrafos que representan cada tormenta a analizar.

Crear los pluviógrafos

Para ello siguiendo los pasos descritos en el capítulo anterior se crearon 31 pluviógrafos (Ilustración 32) los cuales representan cada evento en cada estación.

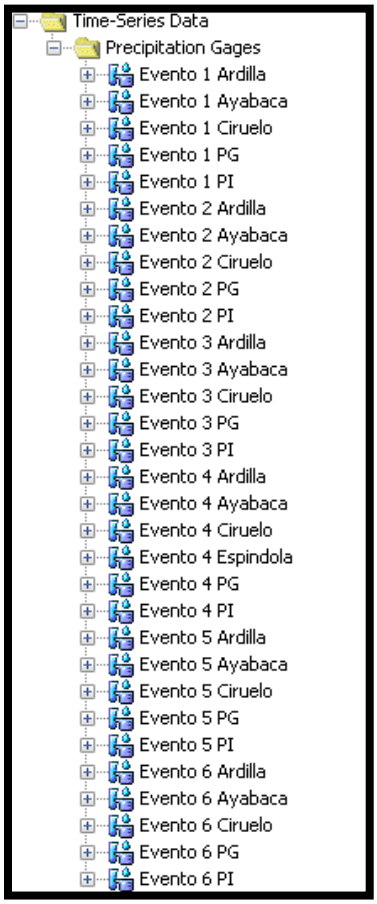


Ilustración 32 Pluviógrafos creados para la modelación

Al principio solo se crearon 24 pluviógrafos que corresponden a los seis eventos en las cuatro estaciones, pero luego para algunos eventos se tomó información pluviográfica de las estaciones Espíndola y Ayabaca para representar la lluvia presente en la subcuenca Alto Quiroz, debido a que los registros en el pluviógrafo de Paraje Grande carecían de información representativa para ese evento. De esta forma se pudo apreciar un caudal alto en la zona sin presencia de precipitaciones con lo cual asumimos que la lluvia provenía de la parte mucho más alta de la cuenca que en este caso se podía representar mejor con la información pluviográfica de las estaciones de Espíndola y Ayabaca. Es por esa razón que el número de pluviógrafos creados para la modelación creció de 24 a 31.

Otra manera que el programa Hec-Hms permite crear pluviógrafos es creando un solo pluviógrafo por lugar y luego asignarle varios eventos de tormenta, de esta forma crearíamos solo 4 pluviógrafos de nombres de las estaciones en las cuales se encuentran y luego 6 eventos de tormenta para cada uno. En la presente tesis se prefirió crear un pluviógrafo para cada evento tal como se describe en el párrafo anterior, para una mejor visualización de los

mismos, ya que las tormentas en este caso son material de estudio y se precisa ver con más detalle cada una de ellas.

Introducir datos para los pluviógrafos

Después de haber creado los elementos que representa los pluviógrafos se colocó información para cada uno.

- Datos generales

El intervalo de tiempo en que se ingresó la información de precipitación; para este caso fue de 10 minutos en todos los pluviógrafos. En la Ilustración 33 se muestra la información del pluviógrafo "Evento 1 Ardilla".

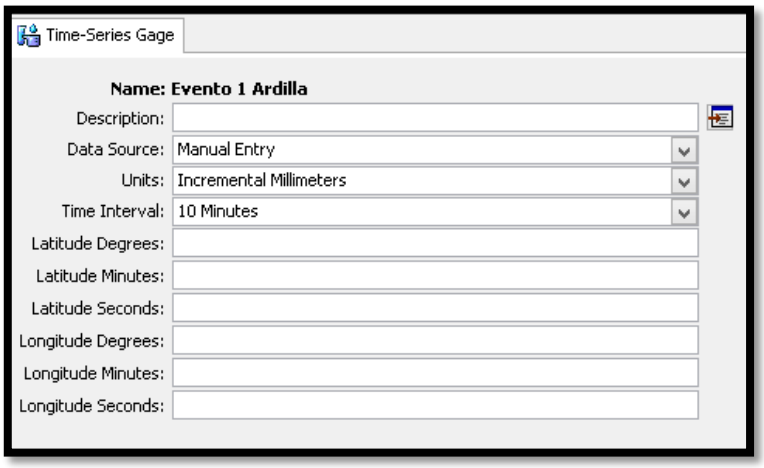


Ilustración 33 Datos del Pluviógrafo Evento 1 Ardilla

- Datos de precipitación

Para cada pluviógrafo creado le corresponde datos de precipitación, para introducir los datos de precipitación en primer lugar se colocó la información de fecha y hora del comienzo y fin de cada evento en el panel del Editor de componentes, tal como se muestra en la Ilustración 34.

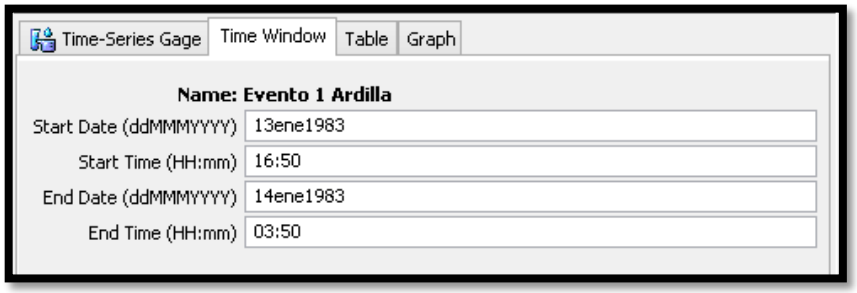


Ilustración 34 Datos de precipitación del pluviógrafo Evento 1 Ardilla.

En la presente tesis se han recopilado seis eventos de tormentas, registrados en las cuatro estaciones hidrométricas de estudio descritas en el primer capítulo, estos eventos se utilizarán para hacer la modelación y calibrar el modelo. Todos los eventos corresponden al año 1983, considerado como un año representativo por la presencia del Fenómeno El Niño

y por ende por la gran presencia de lluvias de mayor intensidad. Otro factor importante que se ha tenido en cuenta para escoger estos eventos representativos es que la lluvia acumulada es mayor a las abstracciones iniciales del suelo de cada subcuenca, con lo cual no toda la lluvia quedará absorbida por el suelo sino que parte de ella se convertirá en escorrentía y generará las crecidas en los ríos aguas abajo.

La tabla 14 muestra las fechas de los eventos modelados:

Tabla 14 Listado de eventos

Evento	Fecha
1	13/01/1983
2	24/03/1983
3	21/03/1983
4	02/03/1983
5	03/03/1983
6	02/04/1983

Luego de colocar la información de fecha y hora del comienzo y fin de cada evento, se procedió a ingresar los datos de precipitación en los pluviógrafos creados anteriormente.

El detalle de los datos de precipitación de cada evento para cada estación en la cual se registró, se muestra en la Tabla 15 a la Tabla 20.

Tabla 15 Primer evento: 13 y 14 de Enero de 1983

Tiempo	Lluvia (mm)	Duración	Duración (min)	Lluvia acumulada (mm)
Estación: Ardilla				
16:50				
17:00	3,2	00:10	10	3,2
18:00	2,4	01:00	60	5,6
18:10	6,0	00:10	10	11,6
19:00	2,5	00:50	50	14,1
19:20	0,2	00:20	20	14,3
20:00	2,3	00:40	40	16,6
21:00	8,5	01:00	60	25,1
22:00	2,5	01:00	60	27,6
22:40	3,0	00:40	40	30,6
23:40	3,0	01:00	60	33,6
00:00	0,4	00:20	20	34,0
01:00	3,5	01:00	60	37,5
01:20	2,5	00:20	20	40,0
03:00	1,5	01:40	100	41,5
03:40	0,2	00:40	40	41,7
Estación: Ciruelo				
14:00				

Tiempo	Lluvia (mm)	Duración	Duración (min)	Lluvia acumulada (mm)
15:00	18,8	01:00	60	18,8
16:30	23,2	01:30	90	42
18:00	25,6	01:30	90	67,6
22:40	62,9	04:40	280	130,5
23:00	6	00:20	20	136,5
01:00	17	02:00	120	153,5
02:00	2	01:00	60	155,5
06:00	2,2	04:00	240	157,7
Estación: Paraje Grande				
20:55				
21:30	1,5	00:35	35	1,5
22:00	3,3	00:30	30	4,8
22:45	0,5	00:45	45	5,3
00:00	6,7	01:15	75	12
00:20	6,2	00:20	20	18,2
00:50	1,5	00:30	30	19,7
01:25	1,5	00:35	35	21,2
02:00	0,5	00:35	35	21,7
02:50	0,4	00:50	50	22,1
06:00	0,3	03:10	190	22,4
Estación: Puente Internacional				
14:50				
14:55	1,3	00:05	5	1,3
15:25	6	00:30	30	7,3
16:30	2,4	01:05	65	9,7
17:15	0,2	00:45	45	9,9
17:50	4,5	00:35	35	14,4
18:40	1,3	00:50	50	15,7
19:40	0,3	01:00	60	16
21:00	25,1	01:20	80	41,1
21:50	4,2	00:50	50	45,3
22:05	0,2	00:15	15	45,5
22:40	2	00:35	35	47,5
23:15	2,2	00:35	35	49,7
01:15	5,5	02:00	120	55,2
03:00	3	01:45	105	58,2

Tabla 16 Segundo evento: 24 y 25 de Marzo de 1983

Tiempo	Lluvia (mm)	Duración	Duración (min)	Lluvia acumulada (mm)
Estación: Ardilla				
17:20				
18:00	15,60	00:40	40	15,60
19:00	0,10	01:00	60	15,70

Tiempo	Lluvia (mm)	Duración	Duración (min)	Lluvia acumulada (mm)
19:55	2,70	00:55	55	18,40
21:00	33,30	01:05	65	51,70
21:40	0,70	00:40	40	52,40
01:00	44,30	03:20	200	96,70
02:00	0,70	01:00	60	97,40
02:40	1,00	00:40	40	98,40
04:00	0,30	01:20	80	98,70
04:10	0,80	00:10	10	99,50
04:30	0,50	00:20	20	100,00
06:00	17,30	01:30	90	117,30
06:20	2,00	00:20	20	119,30
08:20	8,70	02:00	120	128,00
09:00	0,20	00:40	40	128,20

Estación: Ciruelo

19:00				
19:20	1,20	00:20	20	1,20
20:30	5,30	01:10	70	6,50
21:00	1,50	00:30	30	8,00
22:30	9,60	01:30	90	17,60
23:00	6,20	00:30	30	23,80
00:00	7,50	01:00	60	31,30
01:00	3,50	01:00	60	34,80
02:00	2,10	01:00	60	36,90
04:00	0,30	02:00	120	37,20
05:00	5,10	01:00	60	42,30
06:00	2,40	01:00	60	44,70
09:00	0,90	03:00	180	45,60
10:00	12,90	01:00	60	58,50
12:00	0,80	02:00	120	59,30

Estación: Paraje Grande

21:50				
22:15	16,00	00:25	25	16,00
00:00	0,90	01:45	105	16,90
00:50	3,90	00:50	50	20,80
02:00	2,60	01:10	70	23,40
02:25	0,30	00:25	25	23,70
02:45	0,80	00:20	20	24,50
04:10	25,60	01:25	85	50,10
04:40	1,10	00:30	30	51,20
05:10	0,20	00:30	30	51,40

Tiempo	Lluvia (mm)	Duración	Duración (min)	Lluvia acumulada (mm)
06:00	13,50	00:50	50	64,90
07:50	1,50	01:50	110	66,40
Estación: Puente Internacional				
NO SE REGISTRO LLUVIA				
Estación: Ayabaca (25 de Marzo)				
00:00				
00:30	1,50	00:30	30	1,50
01:00	5,50	00:30	30	7,00
01:30	1,40	00:30	30	8,40
02:10	0,40	00:40	40	8,80
Estación: Espíndola				
NO SE REGISTRO LLUVIA				

Tabla 17 Tercer evento: 21 y 22 de Marzo de 1983

Tiempo	Lluvia (mm)	Duración	Duración (min)	Lluvia acumulada (mm)
Estación: Ardilla				
20:00				
20:20	0,3	00:20	20	0,3
22:00	56,4	01:40	100	56,7
22:20	1,7	00:20	20	58,4
00:00	3,8	01:40	100	62,2
00:10	0,5	00:10	10	62,7
01:00	0,1	00:50	50	62,8
01:30	1,3	00:30	30	64,1
Estación: Ciruelo				
13:30				
14:30	17,6	01:00	60	17,6
16:20	5,2	01:50	110	22,8
Estación: Paraje Grande				
19:30				
19:50	12	00:20	20	12
21:00	0,6	01:10	70	12,6
21:25	1,2	00:25	25	13,8
22:30	0,2	01:05	65	14
01:30	0,1	03:00	180	14,1
01:35	1,5	00:05	5	15,6
Estación: Puente Internacional				
21:45				
21:50	4,2	00:05	5	4,2
22:00	0,9	00:10	10	5,1

Tiempo	Lluvia (mm)	Duración	Duración (min)	Lluvia acumulada (mm)
22:20	0,5	00:20	20	5,6
22:50	5,5	00:30	30	11,1
23:20	23,9	00:30	30	35
23:40	4	00:20	20	39
00:00	1,7	00:20	20	40,7
01:20	2,7	01:20	80	43,4

Tabla 18 Cuarto evento: 02 y 03 de Marzo de 1983

Tiempo	Lluvia (mm)	Duración	Duración (min)	Lluvia acumulada (mm)
Estación: Ardilla				
19:00				
21:00	82,6	02:00	120	82,6
21:10	1,5	00:10	10	84,1
22:20	20	01:10	70	104,1
23:00	0,5	00:40	40	104,6
23:50	3	00:50	50	107,6
00:00	0,2	00:10	10	107,8
01:40	0,1	01:40	100	107,9
02:00	0,3	00:20	20	108,2
Estación: Ciruelo				
20:00				
22:00	1,4	02:00	120	1,4
23:00	2,8	01:00	60	4,2
00:00	16,7	01:00	60	20,9
02:00	10,4	02:00	120	31,3
03:00	4,3	01:00	60	35,6
06:00	1,4	03:00	180	37
Estación: Paraje Grande				
17:20				
17:45	0,6	00:25	25	0,6
19:50	0,2	02:05	125	0,8
20:00	3,4	00:10	10	4,2
20:10	0,1	00:10	10	4,3
21:15	21,3	01:05	65	25,6
22:50	16,2	01:35	95	41,8
23:25	1,9	00:35	35	43,7
Estación: Puente Internacional				
17:40				
18:30	12,6	00:50	50	12,6
18:45	1,5	00:15	15	14,1
19:25	1	00:40	40	15,1
20:40	10,3	01:15	75	25,4
22:50	10,5	02:10	130	35,9

Tiempo	Lluvia (mm)	Duración	Duración (min)	Lluvia acumulada (mm)
00:20	1,5	01:30	90	37,4
01:00	0,8	00:40	40	38,2
Estación: Ayabaca				
18:00				
18:10	3	00:10	10	3
19:30	0,5	01:20	80	3,5
20:20	4	00:50	50	7,5
20:50	14,5	00:30	30	22
22:00	4,5	01:10	70	26,5
00:00	1	02:00	120	27,5
Estación: Espíndola				
14:40				
16:00	33	01:20	80	33
17:00	5,7	01:00	60	38,7
17:50	3,2	00:50	50	41,9
18:20	0,3	00:30	30	42,2
20:00	2	01:40	100	44,2
21:10	2,5	01:10	70	46,7
22:00	1,9	00:50	50	48,6

Tabla 19 Quinto evento: 03 y 04 de marzo de 1983

Tiempo	Lluvia (mm)	Duración	Duración (min)	Lluvia acumulada (mm)
Estación: Ardilla				
21:50				
22:00	1,9	00:10	10	1,9
22:05	0,1	00:05	5	2
00:00	2,7	01:55	115	4,7
00:40	1,1	00:40	40	5,8
01:40	4,6	01:00	60	10,4
01:50	0,2	00:10	10	10,6
02:00	4	00:10	10	14,6
03:00	7	01:00	60	21,6
04:00	6,5	01:00	60	28,1
Estación: Ciruelo				
19:20				
21:00	11,5	01:40	100	11,5
22:00	3,5	01:00	60	15
23:00	1,4	01:00	60	16,4
02:00	1,3	03:00	180	17,7

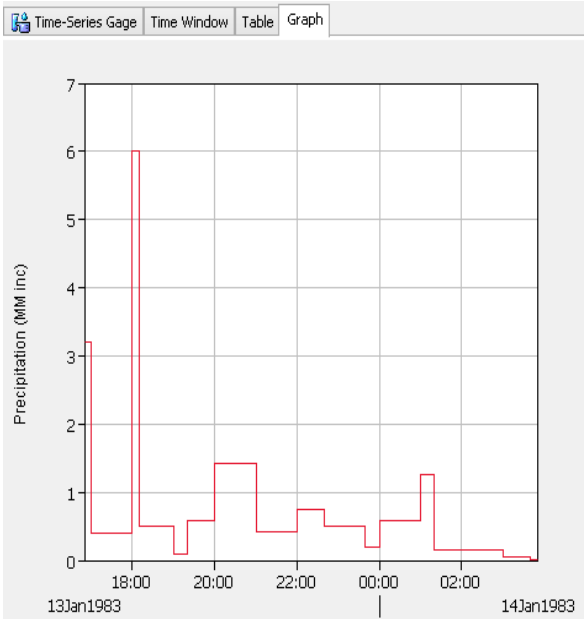
Tiempo	Lluvia (mm)	Duración	Duración (min)	Lluvia acumulada (mm)
Estación: Paraje Grande (4 marzo)				
13:50				
14:20	14,1	00:30	30	14,1
14:35	0,6	00:15	15	14,7
Estación: Puente Internacional				
18:00				
18:05	6,5	00:05	5	6,5
18:30	9,8	00:25	25	16,3
18:45	1,7	00:15	15	18
19:00	1	00:15	15	19

Tabla 20 Sexto evento: 02 y 03 de Abril de 1983

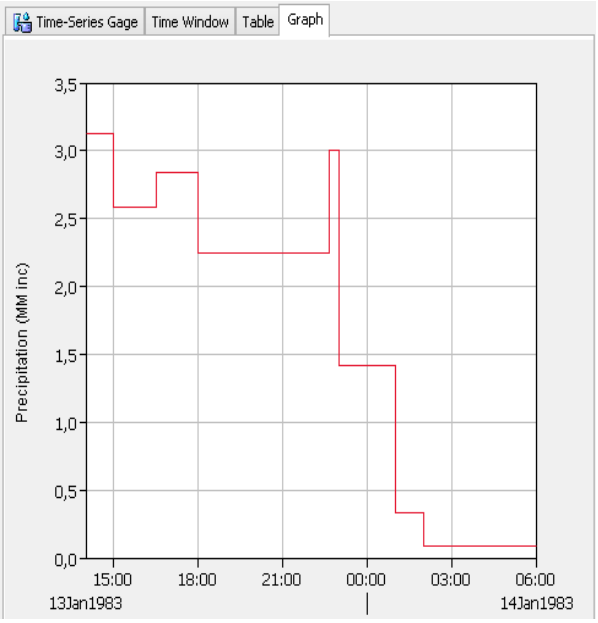
Tiempo	Lluvia (mm)	Duración	Duración (min)	Lluvia acumulada (mm)
Estación: Ardilla				
19:00				
19:40	11,5	00:40	40	11,5
23:55	0,1	04:15	255	11,6
00:00	1,1	00:05	5	12,7
00:10	0,5	00:10	10	13,2
00:50	2	00:40	40	15,2
02:00	3	01:10	70	18,2
03:30	3	01:30	90	21,2
04:00	1,5	00:30	30	22,7
06:00	0,4	02:00	120	23,1
Estación: Ciruelo				
21:30				
22:00	7,5	00:30	30	7,5
00:00	9,3	02:00	120	16,8
01:00	2,6	01:00	60	19,4
03:00	8,5	02:00	120	27,9
04:00	3,1	01:00	60	31
07:00	2	03:00	180	33
Estación: Paraje Grande				
17:00				
17:25	3	00:25	25	3
20:00	0,1	02:35	155	3,1
20:25	9,2	00:25	25	12,3
21:00	0,3	00:35	35	12,6
22:45	0,1	01:45	105	12,7

Tiempo	Lluvia (mm)	Duración	Duración (min)	Lluvia acumulada (mm)
23:25	0,3	00:40	40	13
23:30	0,4	00:05	5	13,4
00:45	0,1	01:15	75	13,5
01:20	0,5	00:35	35	14
02:00	0,2	00:40	40	14,2
02:20	0,5	00:20	20	14,7
03:35	0,5	01:15	75	15,2
Estación: Puente Internacional				
21:50				
22:30	5,7	00:40	40	5,7
23:30	1,5	01:00	60	7,2
01:40	8,4	02:10	130	15,6
03:30	2,5	01:50	110	18,1

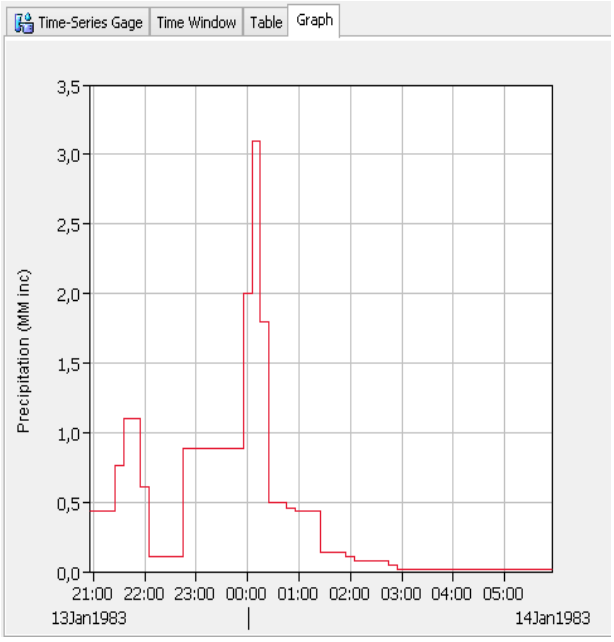
Para ingresar los valores de las tormentas al programa Hec-Hms se han dividido las lluvias en intervalos de 10 minutos, los datos realmente ingresados se pueden ver desde el Anexo A al Anexo F. Después de ingresar los datos de precipitación a cada pluviógrafo el programa realiza un gráfico de cada lluvia ingresada (hietograma). Para visualizar el hietograma, se hace clic en la pestaña *Graph*. Los gráficos obtenidos en este modelamiento son los que se muestran de la Ilustración 35 a la Ilustración 40.



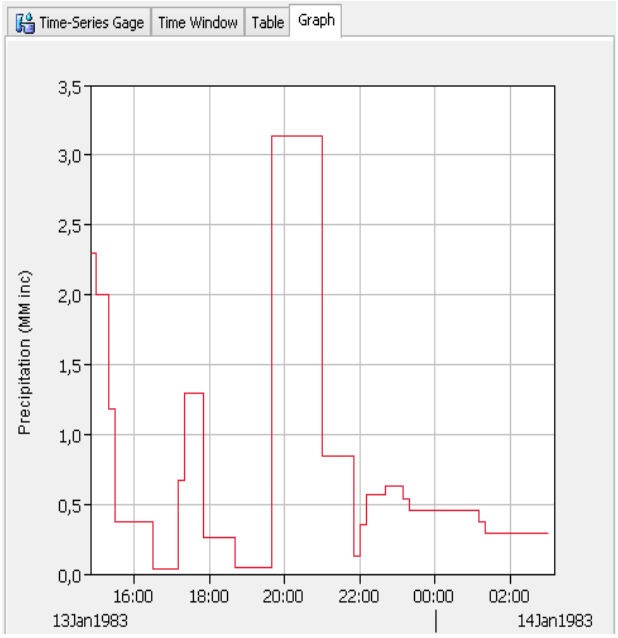
Estación Ardilla



Estación Ciruelo

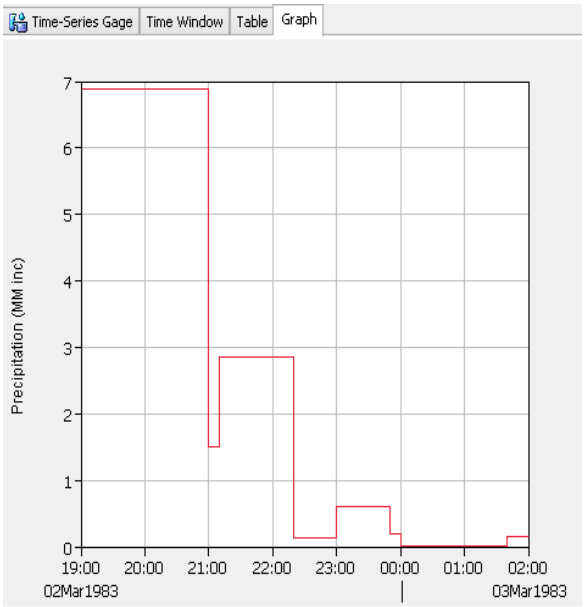


Estación Paraje Grande

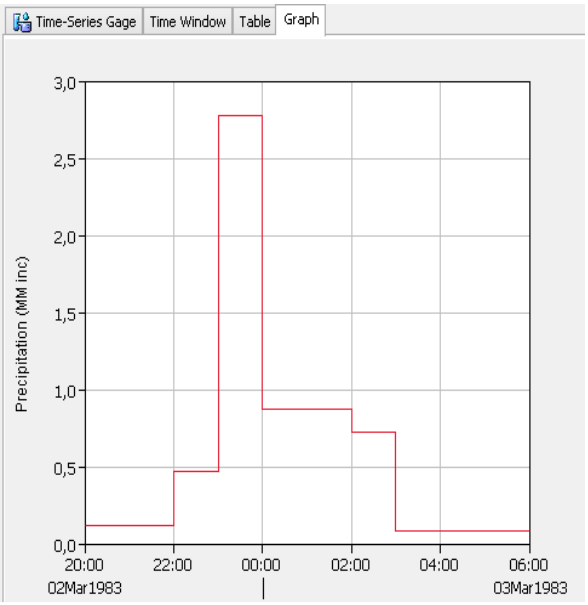


Estación Puente Internacional

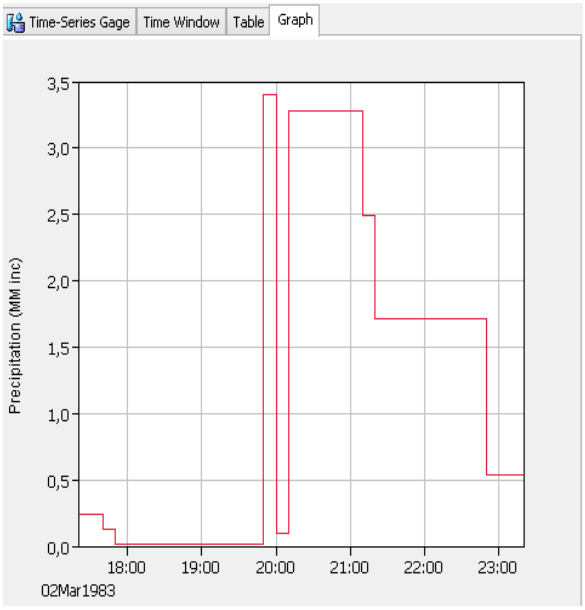
Ilustración 35 Hietogramas ingresados al programa Hec – Hms para cada una de las estaciones hidrométricas en el primer evento de estudio
Elaboración propia



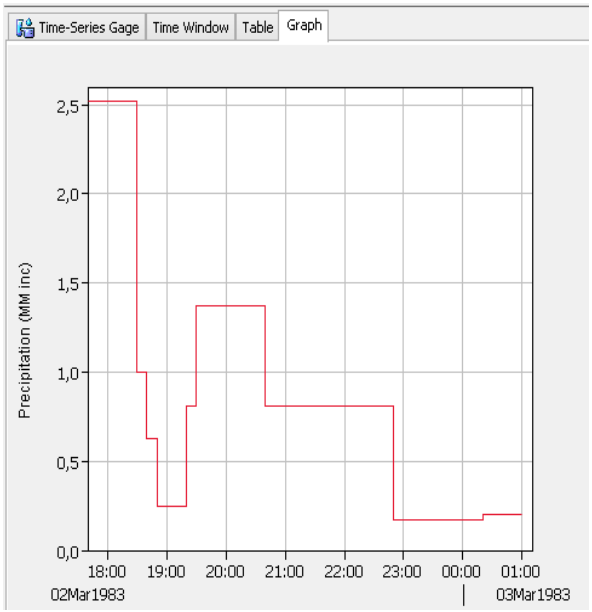
Estación Ardilla



Estación Ciruelo

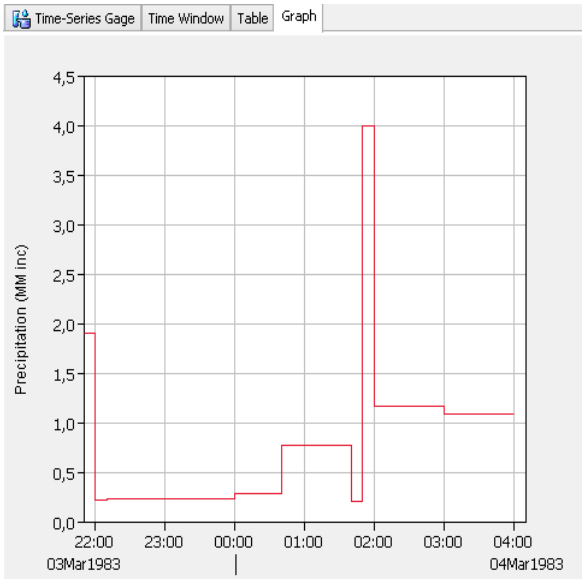


Estación Paraje Grande

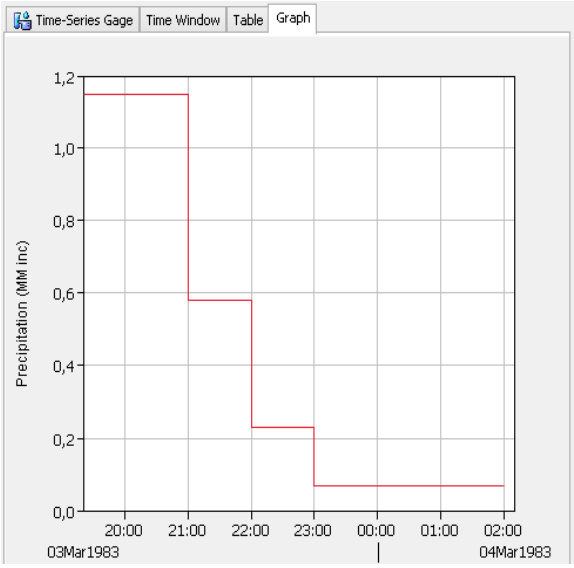


Estación Puente Internacional

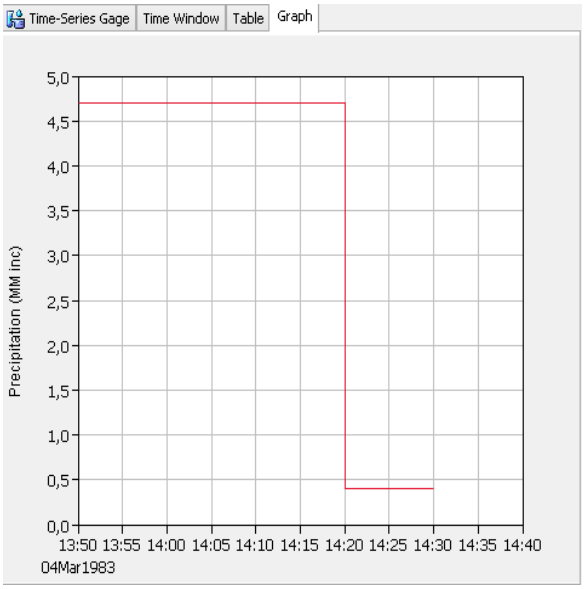
Ilustración 36 Hietogramas ingresados al programa Hec – Hms para cada una de las estaciones hidrométricas en el segundo evento de estudio
Elaboración propia



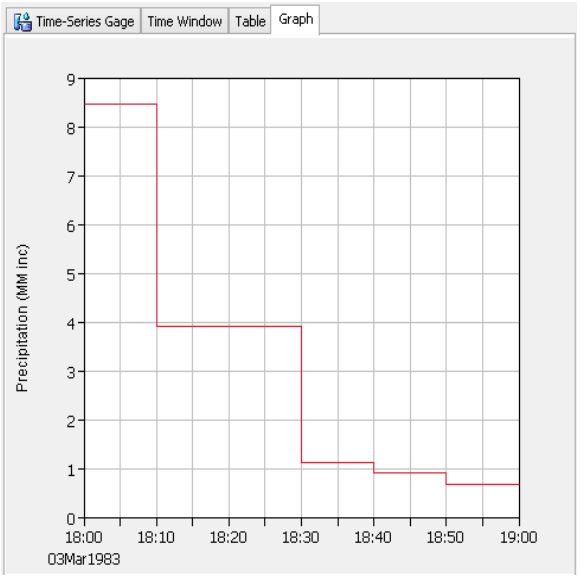
Estación Ardilla



Estación Ciruelo

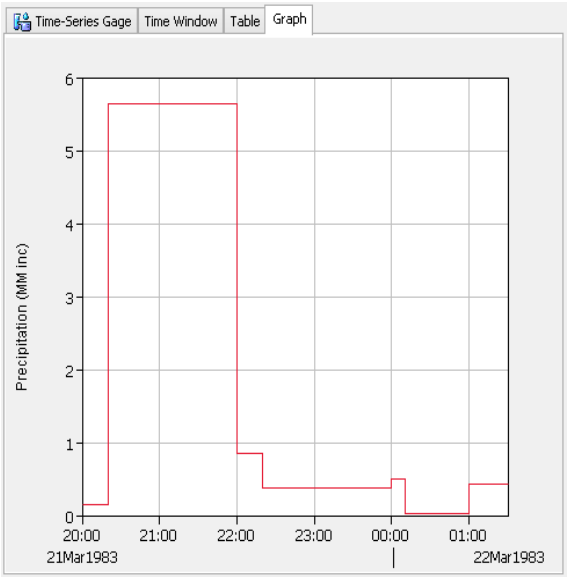


Estación Paraje Grande

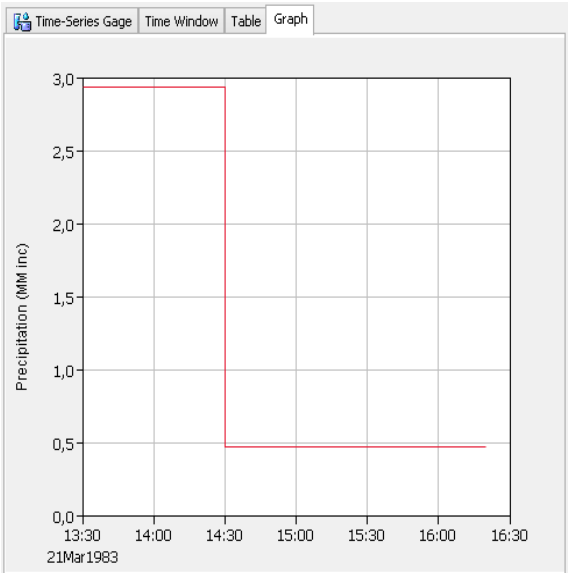


Estación Puente Internacional

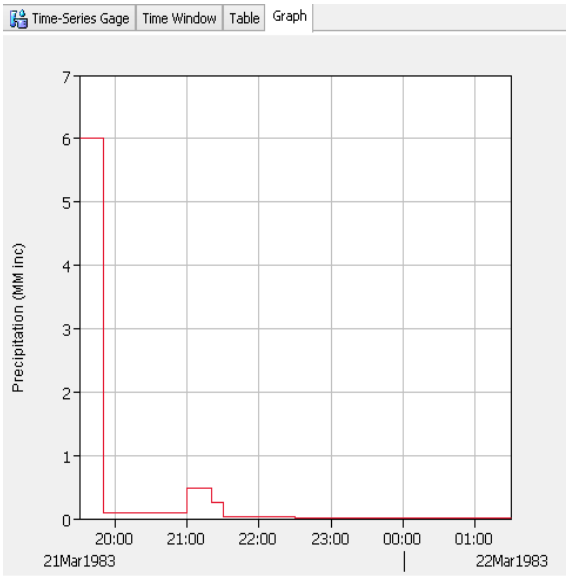
Ilustración 37 Hietogramas ingresados al programa Hec – Hms para cada una de las estaciones hidrométricas en el tercer evento de estudio
Elaboración propia



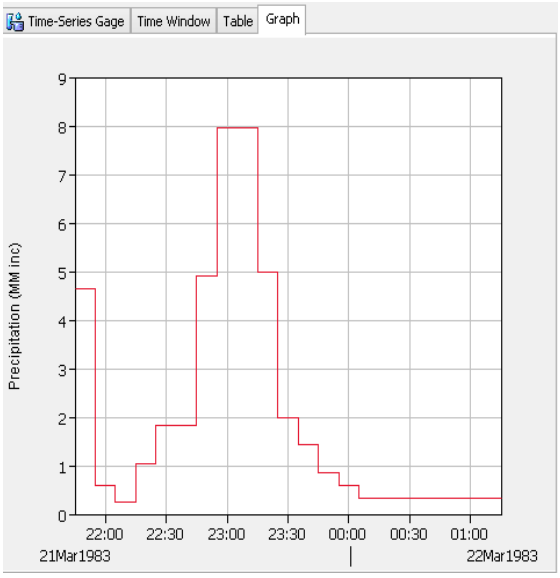
Estación Ardilla



Estación Ciruelo

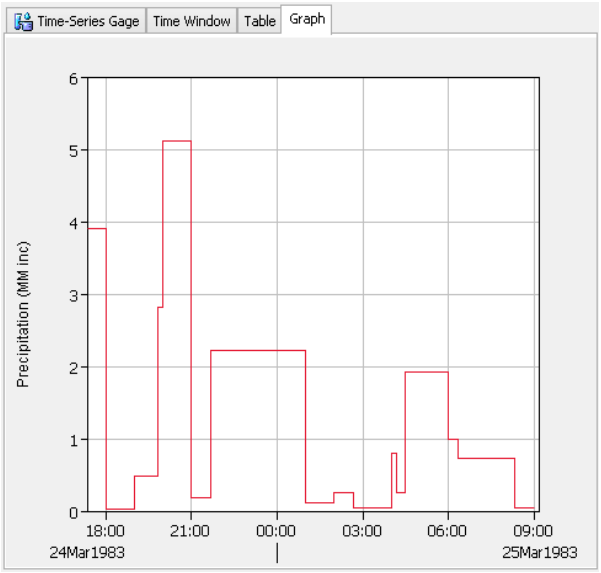


Estación Paraje Grande

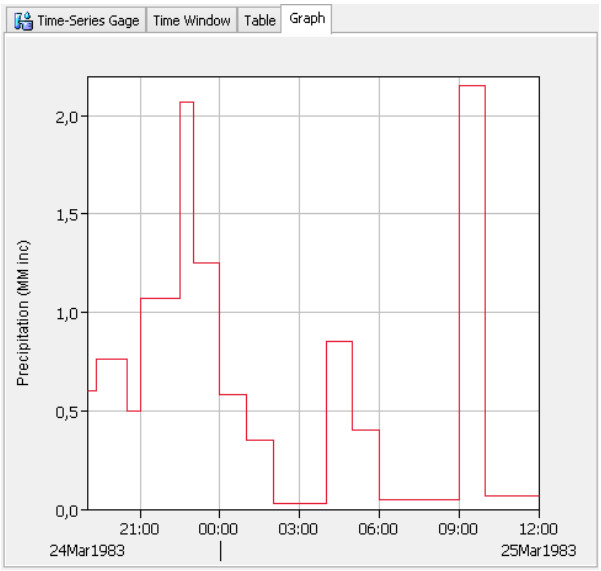


Estación Puente Internacional

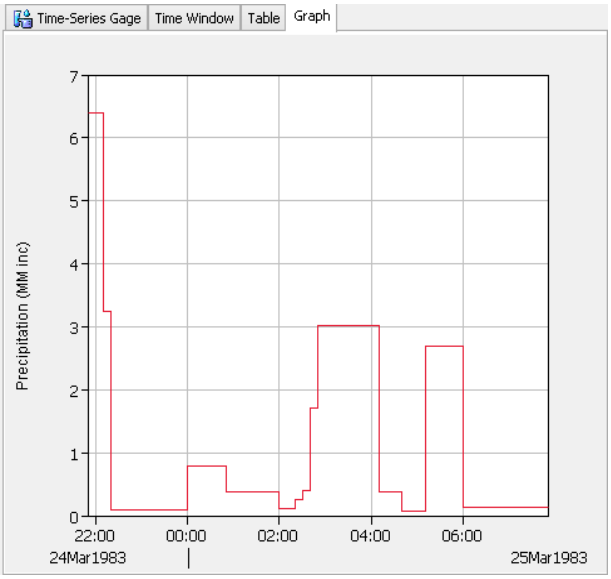
Ilustración 38 Hietogramas ingresados al programa Hec – Hms para cada una de las estaciones hidrométricas en el cuarto evento de estudio
Elaboración propia



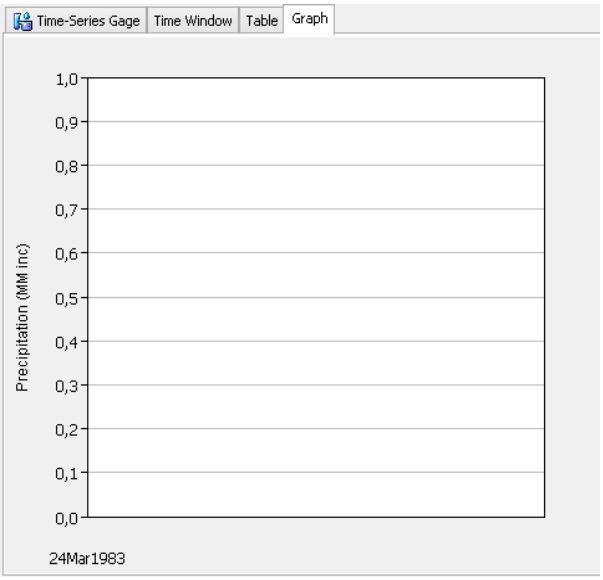
Estación Ardilla



Estación Ciruelo

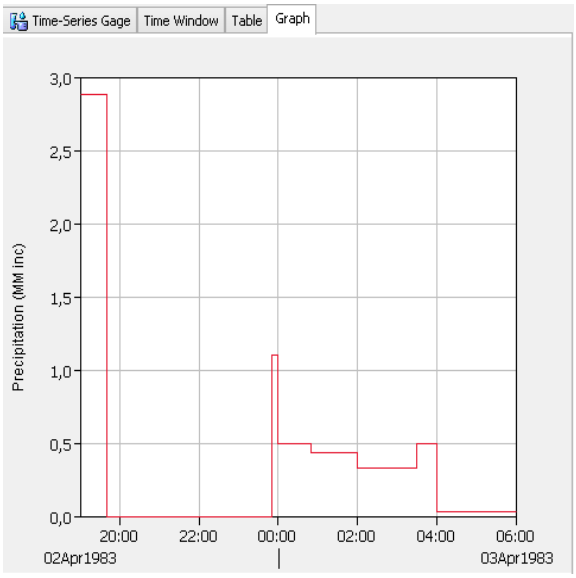


Estación Paraje Grande

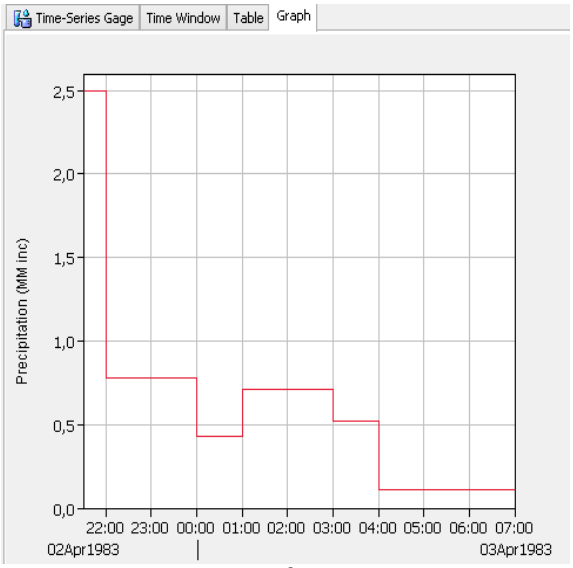


Estación Puente Internacional

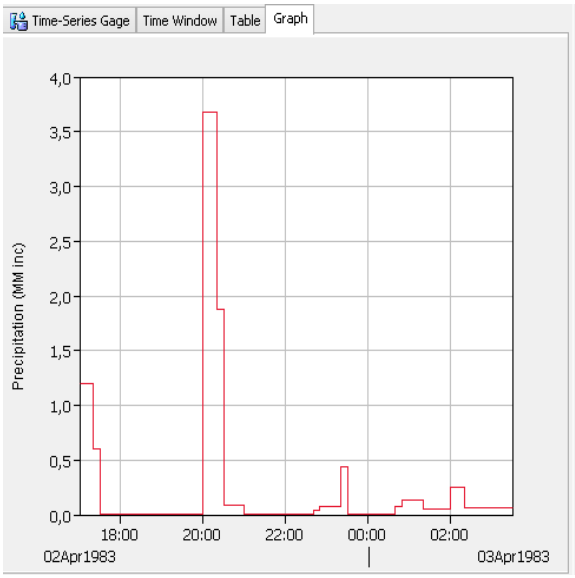
Ilustración 39 Hietogramas ingresados al programa Hec – Hms para cada una de las estaciones hidrométricas en el quinto evento de estudio
Elaboración propia



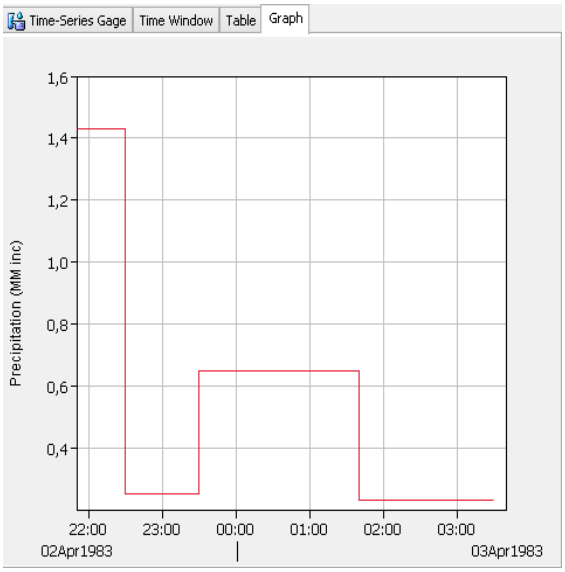
Estación Ardilla



Estación Ciruelo



Estación Paraje Grande



Estación Puente Internacional

Ilustración 40 Hietogramas ingresados al programa Hec – Hms para cada una de las estaciones hidrométricas en el sexto evento de estudio
Elaboración propia

3.2 Modelo meteorológico

El modelo meteorológico sirve para asociar el registro del pluviograma a la cuenca. En este caso se crearon seis modelos meteorológicos que representan cada evento de lluvia. Después de crear los seis modelos en panel de Explorador aparece como se muestra en la Ilustración 41.

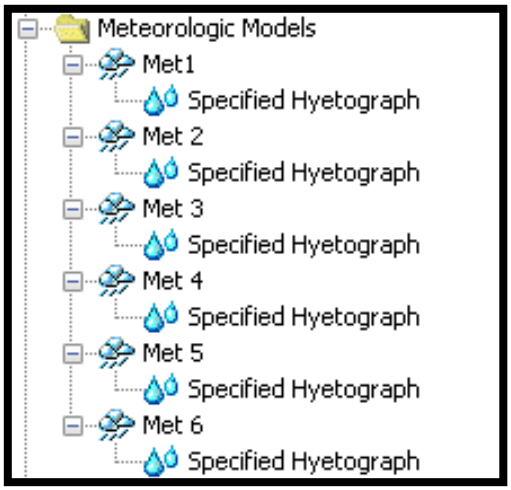


Ilustración 41 Modelos meteorológicos creados para la modelación

En la Ilustración 42 se muestran los campos que solicita el programa para crear el modelo meteorológico 1. En el campo *Precipitation* se seleccionó *Specified Hyetograph* para ingresar los datos de precipitación. Para esta modelación no se han considerado datos de evapotranspiración ni de nieve, por ello en estos campos aparece la palabra *None*. El sistema de unidades con el que se trabajó es el métrico.

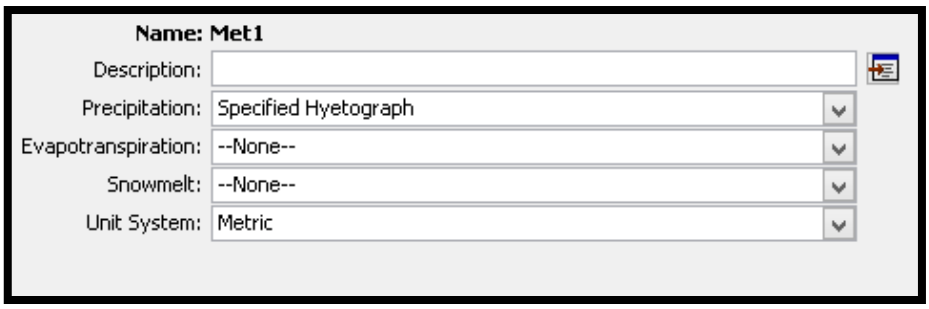


Ilustración 42 Modelo meteorológico 1 creado para la modelación

En la Ilustración 43 y 44 se muestran los pluviógrafos asignados para cada subcuenca en cada evento de estudio:

- Para la subcuenca de Alamor se asignó el pluviógrafo de Ardilla.
- Para la subcuenca de Alto Macará, el pluviógrafo de Puente Internacional (PI).
- Para Alto Quiroz, el pluviógrafo de Paraje Grande (PG).
- Para Bajo Macará, el pluviógrafo de Puente Internacional (PI).
- Para Bajo Quiroz, el pluviógrafo de Paraje Grande (PG).
- Para Catamayo el pluviógrafo de Ciruelo
- Para Alto y Medio Chira, se asignó el pluviógrafo de Ardilla.

El criterio para asignar cada pluviograma a una subcuenca fue la cercanía de esta a la estación pluviográfica, asumiendo que lo que se registre en la estación es producto de la lluvia en la zona más cercana.
Esta asignación cambia en los modelos meteorológicos 2 y 4 en los cuales se asigna otra estación pluviográfica diferente para la subcuenca de Alto Quiroz. Ello se debe a que, como se explicó anteriormente, la lluvia registrada en las estaciones Espíndola y Ayabaca ubicadas en zonas más altas de la cuenca fueron más representativas que la registrada en la estación Paraje Grande, para dichos eventos.

Se debe tener en cuenta que se le llama **evento** a la lluvia de un día registrado en las cuatro estaciones de estudio. En este caso son seis eventos porque son seis fechas diferentes en los que se han registrado lluvias como precipitaciones representativas y que son las que se utilizaron para la modelación.

Subbasins

Name: Met1

Subbasin Name	Gage
Alamor	Evento 1 Ardilla
Alto Macara	Evento 1 PI
Alto Quiroz	Evento 1 PG
Bajo Macara	Evento 1 PI
Bajo Quiroz	Evento 1 PG
Catamayo	Evento 1 Ciruelo
Medio Alto Chira	Evento 1 Ardilla
Medio Chira	Evento 1 Ardilla

Subbasins

Name: Met 2

Subbasin Name	Gage
Alamor	Evento 2 Ardilla
Alto Macara	Evento 2 PI
Alto Quiroz	Evento 2 Ayabaca
Bajo Macara	Evento 2 PI
Bajo Quiroz	Evento 2 PG
Catamayo	Evento 2 Ciruelo
Medio Alto Chira	Evento 2 Ardilla
Medio Chira	Evento 2 Ardilla

Subbasins

Name: Met 3

Subbasin Name	Gage
Alamor	Evento 3 Ardilla
Alto Macara	Evento 3 PI
Alto Quiroz	Evento 3 PG
Bajo Macara	Evento 3 PI
Bajo Quiroz	Evento 3 PG
Catamayo	Evento 3 Ciruelo
Medio Alto Chira	Evento 3 Ardilla
Medio Chira	Evento 3 Ardilla

Ilustración 43 Datos de precipitación para los modelos meteorológicos 1-3

Subbasins

Name: Met 4

Subbasin Name	Gage
Alamor	Evento 4 Ardilla
Alto Macara	Evento 4 PI
Alto Quiroz	Evento 4 Espindola
Bajo Macara	Evento 4 PI
Bajo Quiroz	Evento 4 PG
Catamayo	Evento 4 Ciruelo
Medio Alto Chira	Evento 4 Ardilla
Medio Chira	Evento 4 Ardilla

Subbasins

Name: Met 5

Subbasin Name	Gage
Alamor	Evento 5 Ardilla
Alto Macara	Evento 5 PI
Alto Quiroz	Evento 5 PG
Bajo Macara	Evento 5 PI
Bajo Quiroz	Evento 5 PG
Catamayo	Evento 5 Ciruelo
Medio Alto Chira	Evento 5 Ardilla
Medio Chira	Evento 5 Ardilla

Subbasins

Name: Met 6

Subbasin Name	Gage
Alamor	Evento 6 Ardilla
Alto Macara	Evento 6 PI
Alto Quiroz	Evento 6 PG
Bajo Macara	Evento 6 PI
Bajo Quiroz	Evento 6 PG
Catamayo	Evento 6 Ciruelo
Medio Alto Chira	Evento 6 Ardilla
Medio Chira	Evento 6 Ardilla

Ilustración 44 Datos de precipitación para los modelos meteorológicos 3-6

3.3 Especificaciones de control

Las especificaciones de control sirven para indicar el periodo de tiempo (inicio y fin) en el que Hec-Hms realiza los cálculos y el incremento de tiempo con el que lo hace, ya sea 5, 10, 15 minutos, etc. La Ilustración 45 muestra las especificaciones de control creadas para cada evento, la hora de inicio que es la hora en que comenzó la lluvia en cada evento y la hora final que es de cuatro a cinco horas después de haber finalizado la lluvia. El tiempo de intervalo que se asignó para las iteraciones fue de diez minutos.

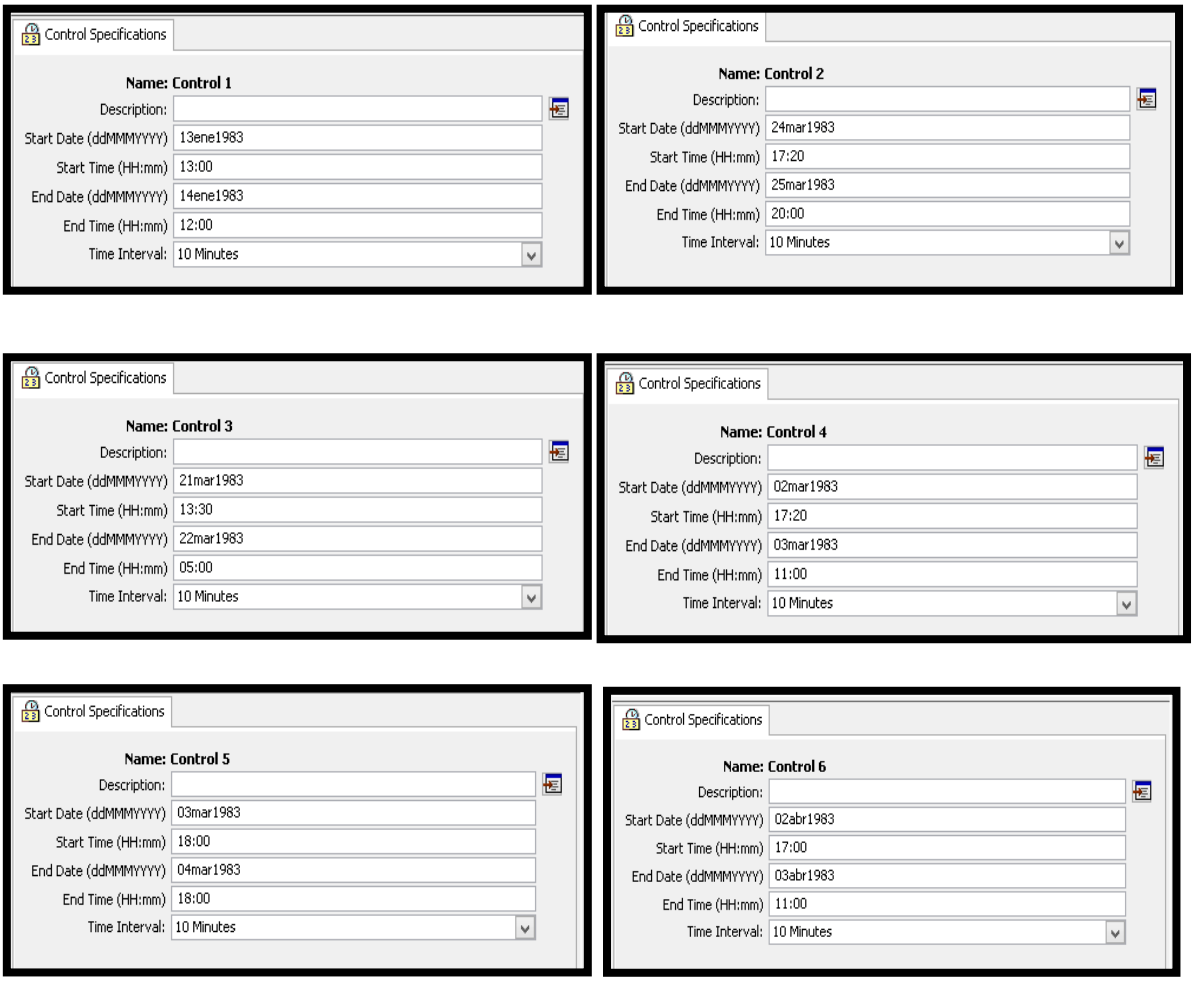


Ilustración 45 Especificaciones de control creadas para la modelación

3.4 Crear la simulación

Para crear la simulación de la corrida, se seleccionó en la barra de herramientas *Compute* y luego *Create Simulation Run*, inmediatamente se despliegan cuatro ventanas, una tras otra, donde se seleccionan la combinación de los componentes a simular, para nuestra primera corrida en la primera ventana aceptamos Run1 y luego *Next*, en la segunda ventana aceptamos cuenca Catamayo-Chira y *Next*, en la tercera ventana aceptamos Met 1 y *Next*, en la cuarta ventana aceptamos Control 1 y seleccionamos *Finish*. Con esto se crea la simulación de nombre Run1.

Para seleccionar la simulación Run 1 creada, seleccionamos en la barra de herramientas *Compute/Select Run* y luego Run 1.

Con esto se activa el icono de la barra de herramientas, el mismo que permite realizar la simulación.

Para ejecutar la simulación, se hizo clic sobre el icono , y aparece la ventana de la Ilustración 46.

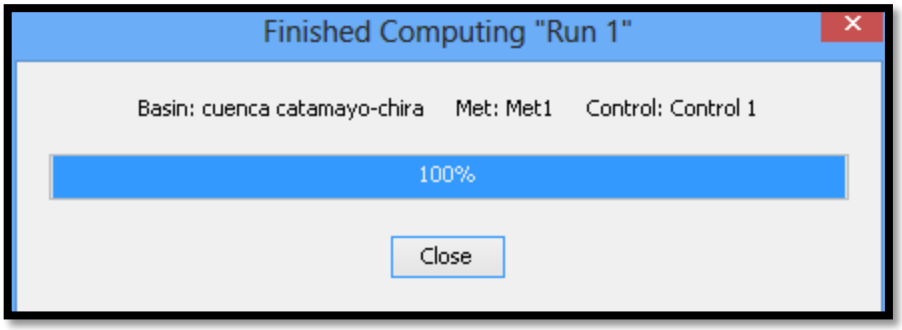


Ilustración 46 Ventana para ejecutar la simulación Run 1.

Con lo cual se realizaron los cálculos de la simulación y se obtuvo los resultados parciales y finales de la modelación.

Para observar los resultados, en el panel del Explorador de la cuenca se seleccionó el elemento hidrológico del que se quería ver sus resultados y se activaron los iconos que están en la barra de herramientas.

Al seleccionar este icono se obtuvo el resumen global de los resultados de la corrida en el elemento seleccionado.

Al seleccionar este icono se obtuvo el hidrograma resultando, al seleccionar este icono se mostró una tabla resumen de la corrida y por último al seleccionar este icono se mostró la tabla serie de tiempo de la corrida.

Los caudales obtenidos en cada una de las estaciones se comprobaron con los caudales diarios máximos registrados en las mismas estaciones.

Se realizaron seis pruebas en las cuales se logró calibrar el modelo y con esto se ajustaron las variables de impermeabilidad y el número de curva (CN).

Ello permitió que los caudales obtenidos se acerquen más a los caudales registrados, no se puede lograr que sea perfecto ni exacto pero sí que se puedan establecer relaciones entre las estaciones y obtener márgenes de error como se mostrarán más adelante.

3.5 Resultados de la modelación

La modelación tal como estaba planteada arrojó unos resultados preliminares que dieron lugar a modificaciones que permitieron mejorar el modelo de la cuenca para obtener finalmente los resultados definitivos.

3.5.1 Resultados preliminares y modificaciones

Como resultado de la modelación que representa a la cuenca Catamayo-Chira hasta la entrada del reservorio Poechos con el programa Hec-Hms, se tuvo lo siguiente:

- Los caudales obtenidos en la estación Puente Internacional eran muy distintos a los reales, presentando errores hasta del 98%, lo cual no era aceptable y alteraba los valores del resto de estaciones aguas abajo. Por este motivo, se creó un nuevo elemento hidrológico, que representa a una fuente o embalse, al que le denominamos Aporte Alto Macará, en el cual se podía asignar un caudal conocido y partiendo de

este caudal, ubicado aguas arriba, se calcularon los caudales presentes en los estaciones aguas abajo, Ciruelo y Ardilla.

De este modo la modelación de la cuenca quedó de la forma que se ve en la Ilustración 47.

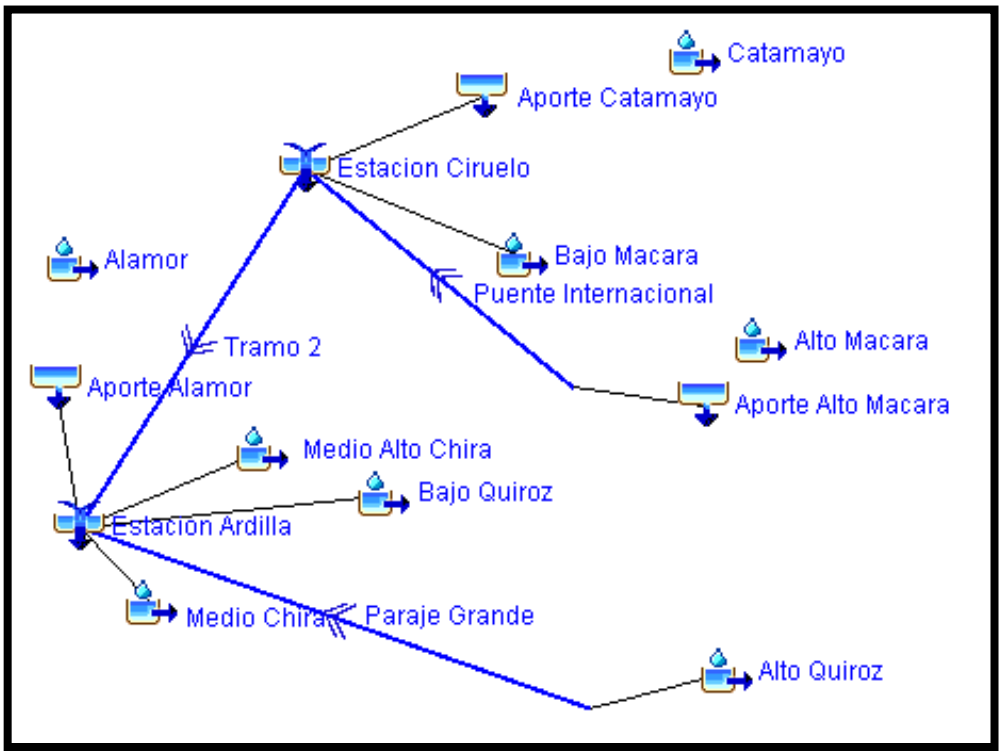


Ilustración 47 Modelación final de la cuenca Catamayo - Chira hasta la entrada al reservorio Poechos

El caudal ingresado en el elemento hidrológico Aporte Alto Macará es transitado por el tramo que une a la estación Puente Internacional con la estación Ciruelo.

- Los errores en la estimación de caudales se obtienen de comparar los máximos caudales arrojados por el programa en cada estación, con los caudales máximos diarios reales registrados en cada una de las estaciones de estudio. El caudal que se registre en la estación Puente Internacional será el caudal de Aporte Macara, el cual es un dato de partida. El caudal para Ciruelo será el que se muestre en el elemento hidrológico *Unión*, que en el modelo tiene el nombre de "Estación Ciruelo". Para la estación Paraje Grande será el que se registre de la subcuenca Alto Quiroz. Por último, para la estación Ardilla, será el que se muestre en el elemento hidrológico *Unión*, que en el modelo tiene el nombre de la misma estación.

- Aporte de la subcuenca Catamayo a la estación Ciruelo

La subcuenca Catamayo tiene un área total de 4 184 km^2, debido a su considerable área, no se puede asumir que se presente el mismo tipo de precipitación en toda la zona. La información registrada en la estación Ciruelo solo nos brinda información pluviométrica de la zona en la cual se ubica, pero en el programa Hec-Hms se debe asignar una precipitación a nivel de cada subcuenca, tal como se mostró al crear los modelos meteorológicos. Al asignar la lluvia registrada en Ciruelo a toda la

subcuenca Catamayo, se genera un caudal de escorrentía muy grande, lo cual es erróneo.
Es por ello que se agregó un elemento hidrológico al modelo denominado Aporte Catamayo, y como se tiene el dato del caudal real diario registrado en la estación Ciruelo, se puede conocer mediante una resta cuál es el valor del aporte de la subcuenca Catamayo a dicha estación.
Es importante aclarar que el caudal registrado en la estación Ciruelo no solo es el que proviene de la subcuenca Catamayo, sino que ahí también llega el caudal generado en las subcuencas Alto y Bajo Macará producto de las precipitaciones.

- Aporte de la subcuenca Alamor a la estación Ardilla

  De igual manera ocurre para la subcuenca Alamor que al ocupar un área de 1 190 km^2, resultaría erróneo asumir que llueve con la misma intensidad uniformemente en toda la subcuenca. A esta subcuenca se le ha asignado la lluvia registrada en la estación Ardilla, el elemento hidrológico creado se le ha denominado Aporte Alamor y como se tiene el dato del caudal real diario registrado en la estación Ardilla se puede conocer mediante una resta cuál es el valor del aporte de la subcuenca Alamor a dicha estación.

  La estación Ardilla, que en este caso es el punto final de nuestra zona de estudio, recibe aporte de las subcuencas Alto y Bajo Quiroz, el tránsito de avenida del caudal registrado en la estación Ciruelo, el aporte de quebradas que se activan producto de las precipitaciones en el Medio Alto Chira y Medio Chira, y por último el caudal proveniente de la subcuenca Alamor.

3.5.2 Resultados finales

A continuación se muestran los resultados obtenidos en cada estación pluviométrica para cada evento:

- **Evento 1**

Puente Internacional: 13 de Enero de 1983 se ingresa un caudal de partida de 98 m^3/s en el elemento hidrológico aporte Macará. El hidrograma que se muestra en la Ilustración 48 es una línea constante ya que el elemento hidrológico representa una fuente o embalse similar a aporte Catamayo y aporte Alamor.

Como ya se ha mencionado anteriormente, el caudal en la estación Puente Internacional es el caudal registrado en aporte Alto Macará.

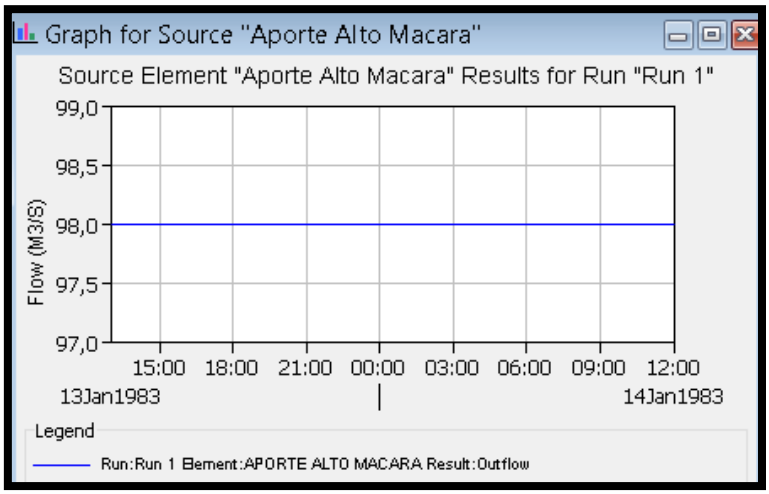


Ilustración 48 Hidrograma del aporte Alto Macará en Hec-Hms para el evento 1.

Ciruelo: 13 de Enero de 1983 se registra un caudal máximo de 282 m^3/s, con un caudal en aporte Catamayo de 149,8 m^3/s. Como se puede ver en la Ilustración 49 a la estación Ciruelo llegan aportes de Bajo Macará, el tramo que une a Puente Internacional con Ciruelo y aporte Catamayo.

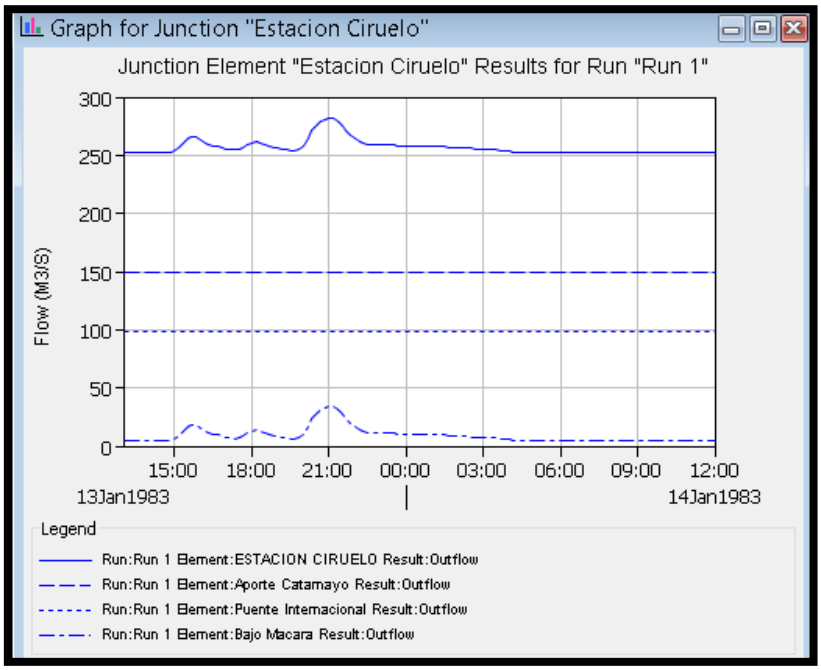


Ilustración 49 Hidrograma de la estación Ciruelo en Hec-Hms para el evento 1.

Paraje Grande: 14 de Enero de 1983 se registra un caudal máximo de 157,3 m^3/s. En la Ilustración 50 se puede ver el hidrograma generado en Alto Quiroz producto de la tormenta. Como ya se mencionó anteriormente el caudal en la estación Paraje Grande es el caudal registrado en aporte Alto Quiroz.

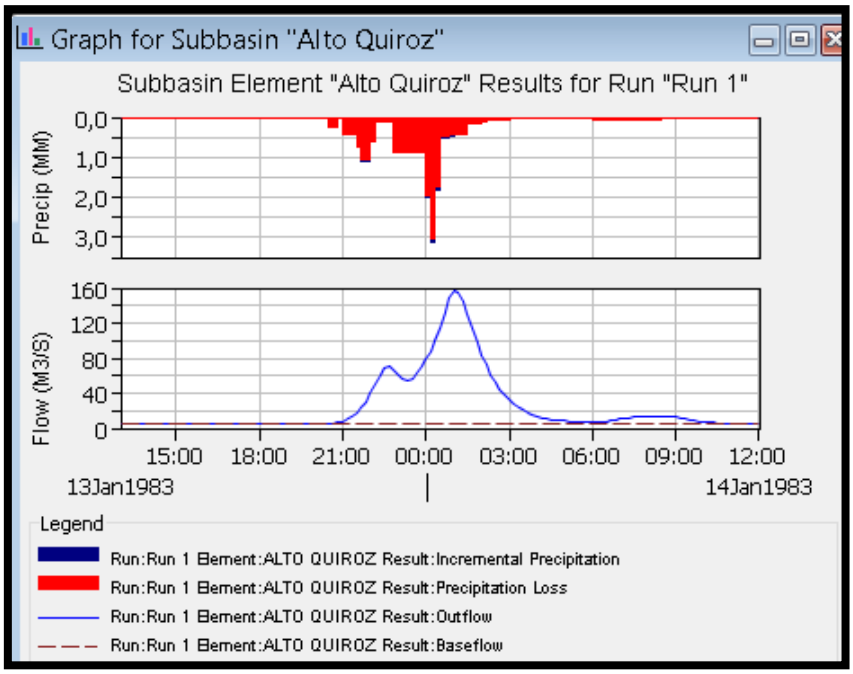


Ilustración 50 Hidrograma de Alto Quiroz en Hec-Hms para el evento 1.

Ardilla: 14 de Enero de 1983 se registra un caudal de 1186,5 m^3/s con un caudal en aporte Alamor de 638,9 m^3/s. Como se puede ver en la Ilustración 51 a la estación Ardilla llegan aportes de Medio Alto Chira, Medio Chira, Bajo Quiroz, Aporte Alamor, el tramo que une a Paraje Grande con Ardilla y el tramo que une a Ciruelo con Ardilla.

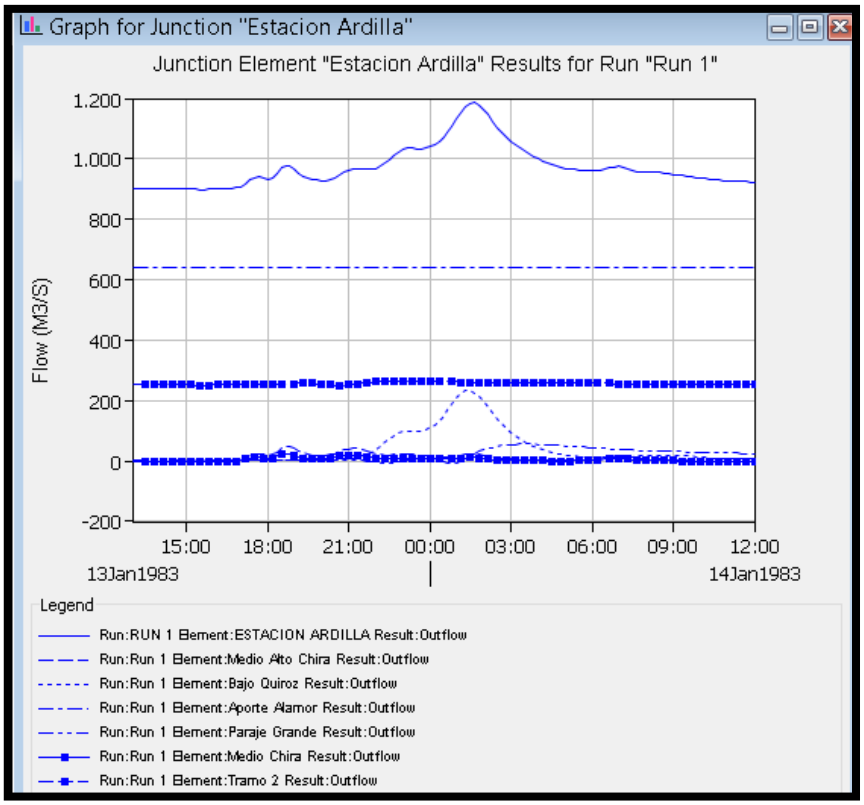


Ilustración 51 Hidrograma de la estación Ardilla en Hec-Hms para el evento 1.

- **Evento 2**

Puente Internacional: 24 de Marzo de 1983 se ingresa un caudal de partida de 206 m^3/s en el elemento hidrológico aporte Macará (Ilustración 52).

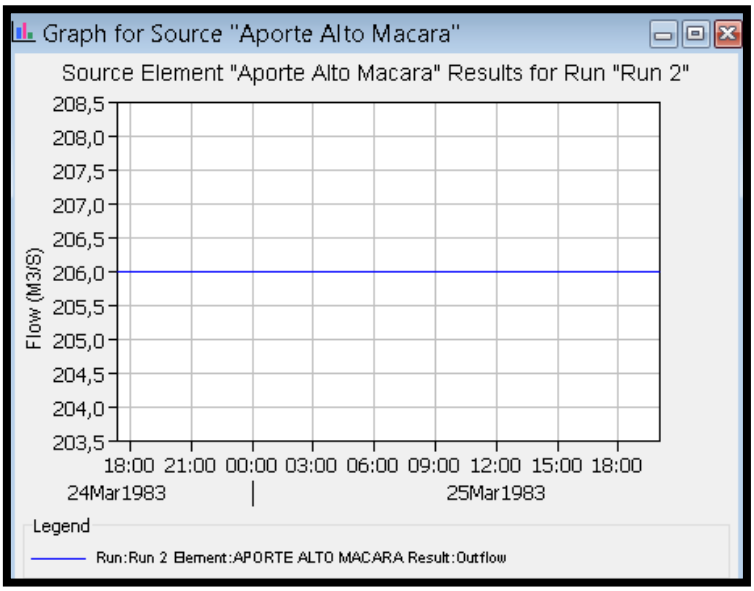


Ilustración 52 Hidrograma del aporte Alto Macará en Hec-Hms para el evento 2.

Ciruelo: 24 de Marzo de 1983 se registra un caudal máximo de 329 m^3/s, con un caudal en aporte Catamayo de 118 m^3/s. Como se puede ver en la Ilustración 53 a la estación Ciruelo llegan aportes de Bajo Macará (no se registra caudal porque las abstracciones iniciales son mayores a la tormenta registrada), el tramo que une a Puente Internacional con Ciruelo y aporte Catamayo.

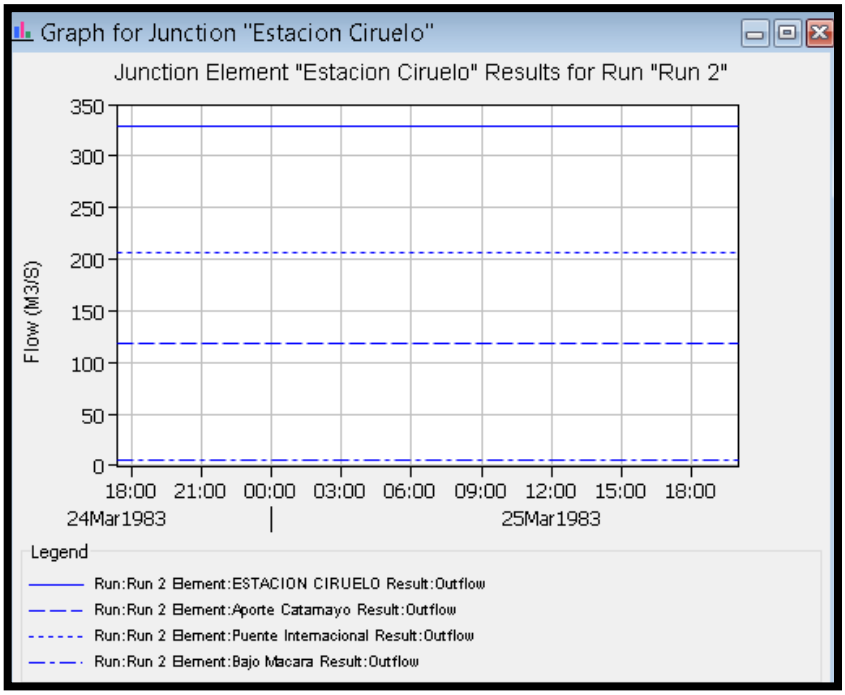


Ilustración 53 Hidrograma de la estación Ciruelo en Hec-Hms para el evento 2.

Paraje Grande: 25 de Marzo de 1983 se registra un caudal máximo de 109 m^3/s. En la Ilustración 54 se puede ver el hidrograma generado en Alto Quiroz producto de la tormenta.

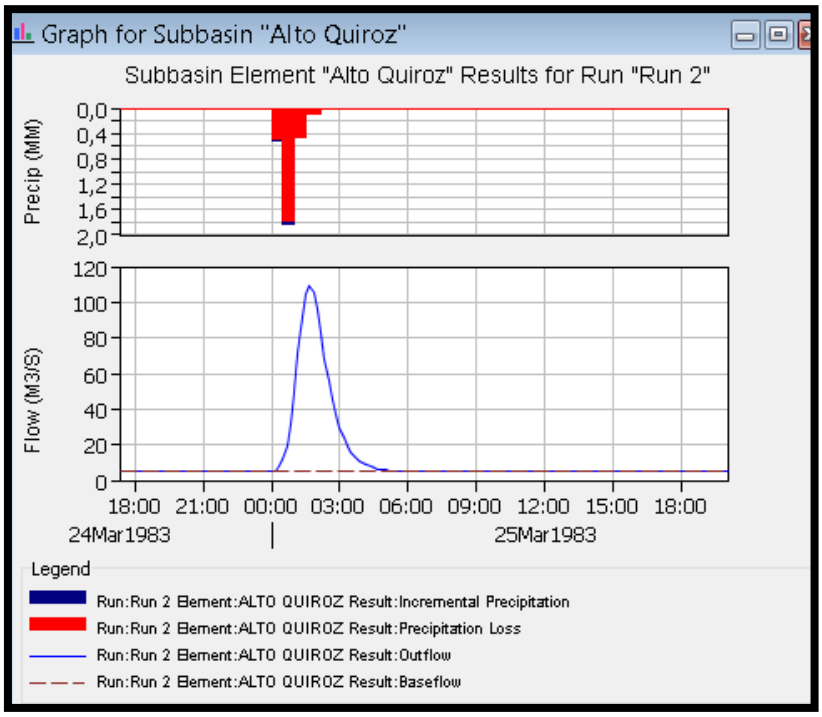


Ilustración 54 Hidrograma de Alto Quiroz en Hec-Hms para el evento 2.

Ardilla: 25 de Marzo de 1983 se registra un caudal de 2058,9 m^3/s con un caudal en aporte Alamor de 1240,6 m^3/s. Como se puede ver en la Ilustración 55 a la estación Ardilla llegan aportes de Medio Alto Chira, Medio Chira, Bajo Quiroz, Aporte Alamor, el tramo que une a Paraje Grande con Ardilla y el tramo que une a Ciruelo con Ardilla.

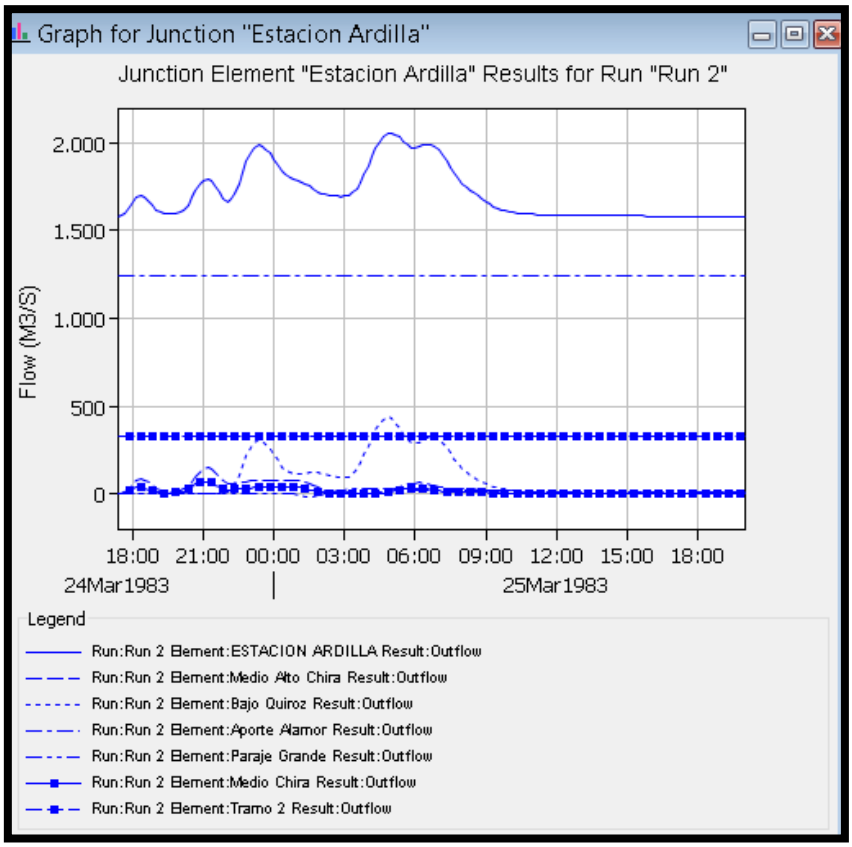


Ilustración 55 Hidrograma de la estación Ardilla en Hec-Hms para el evento 2.

- **Evento 3**

Puente Internacional: 21 de Marzo de 1983 se ingresa un caudal de partida de 291 m^3/s en el elemento hidrológico aporte Macará (Ilustración 56).

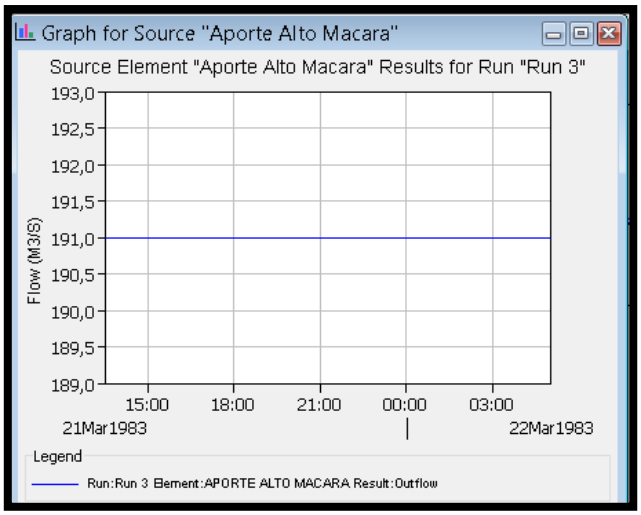


Ilustración 56 Hidrograma del aporte Alto Macará en Hec-Hms para el evento 3.

Ciruelo: 21 de Marzo de 1983 se registra un caudal máximo de 279 m^3/s, con un caudal en aporte Catamayo de 31,9 m^3/s. Como se puede ver en la Ilustración 57 a la estación Ciruelo llegan aportes de Bajo Macará, el tramo que une a Puente Internacional con Ciruelo y aporte Catamayo.

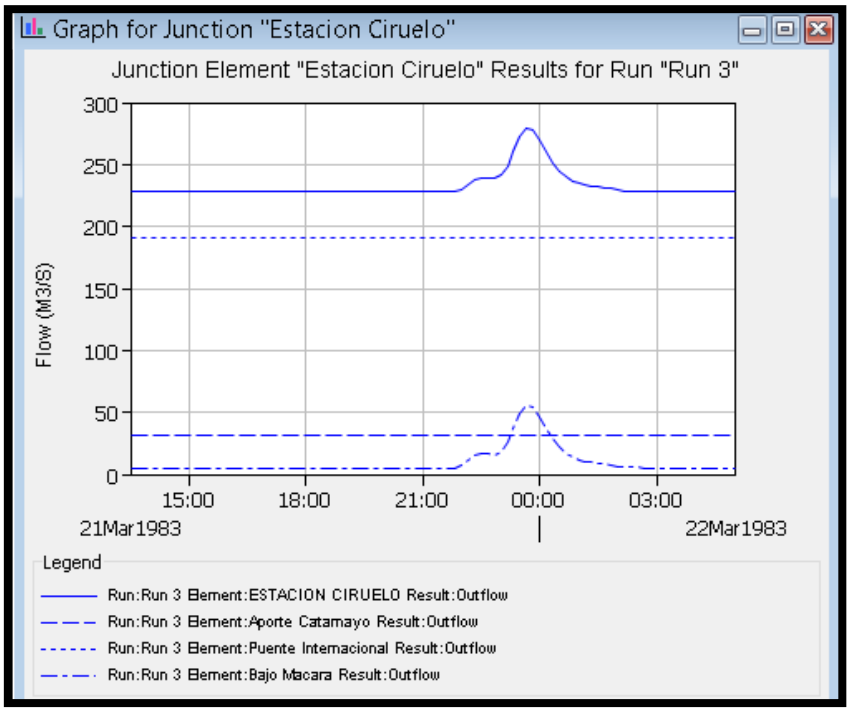


Ilustración 57 Hidrograma de la estación Ciruelo en Hec-Hms para el evento 3.

Paraje Grande: 21 de Marzo de 1983 se registra un caudal máximo de 184,8 m^3/s. En la Ilustración 58 se puede ver el hidrograma generado en Alto Quiroz producto de la tormenta.

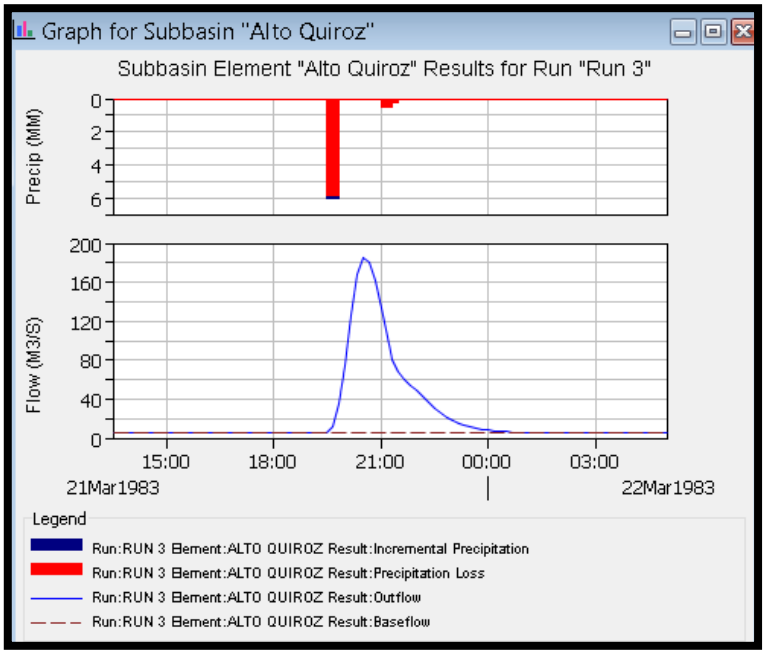


Ilustración 58 Hidrograma de Alto Quiroz en Hec-Hms para el evento 3.

Ardilla: 21 de Marzo de 1983 se registra un caudal de 702,1 m^3/s con un caudal en aporte Alamor de 26,6 m^3/s. Como se puede ver en la Ilustración 59 a la estación Ardilla llegan aportes de Medio Alto Chira, Medio Chira, Bajo Quiroz, Aporte Alamor, el tramo que une a Paraje Grande con Ardilla y el tramo que une a Ciruelo con Ardilla.

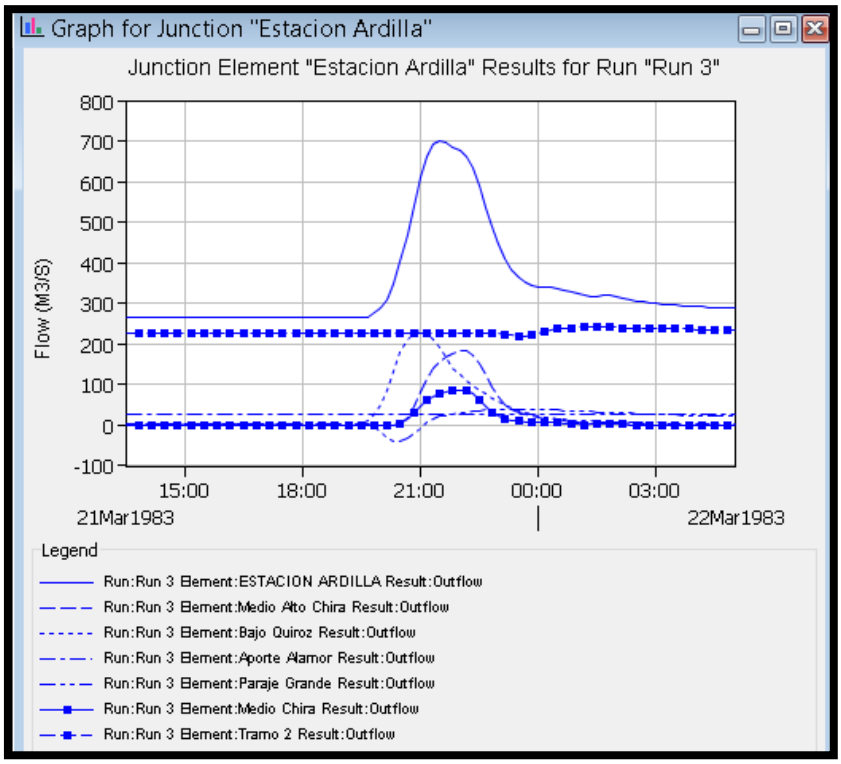


Ilustración 59 Hidrograma de la estación Ardilla en Hec-Hms para el evento 3.

- **Evento 4**

Puente Internacional: 2 de Marzo de 1983 se ingresa un caudal de partida de 148 m^3/s en el elemento hidrológico aporte Macará (Ilustración 60).

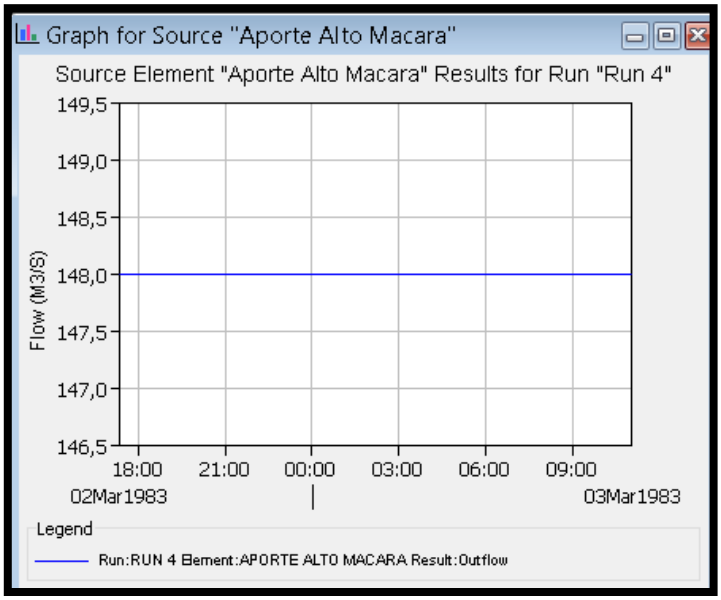


Ilustración 60 Hidrograma del aporte Alto Macará en Hec-Hms para el evento 4.

Ciruelo: 2 de Marzo de 1983 se registra un caudal máximo de 272 m^3/s, con un caudal en aporte Catamayo de 98,7 m^3/s. Como se puede ver en la Ilustración 61 a la estación Ciruelo llegan aportes de Bajo Macará, el tramo que une a Puente Internacional con Ciruelo y aporte Catamayo.

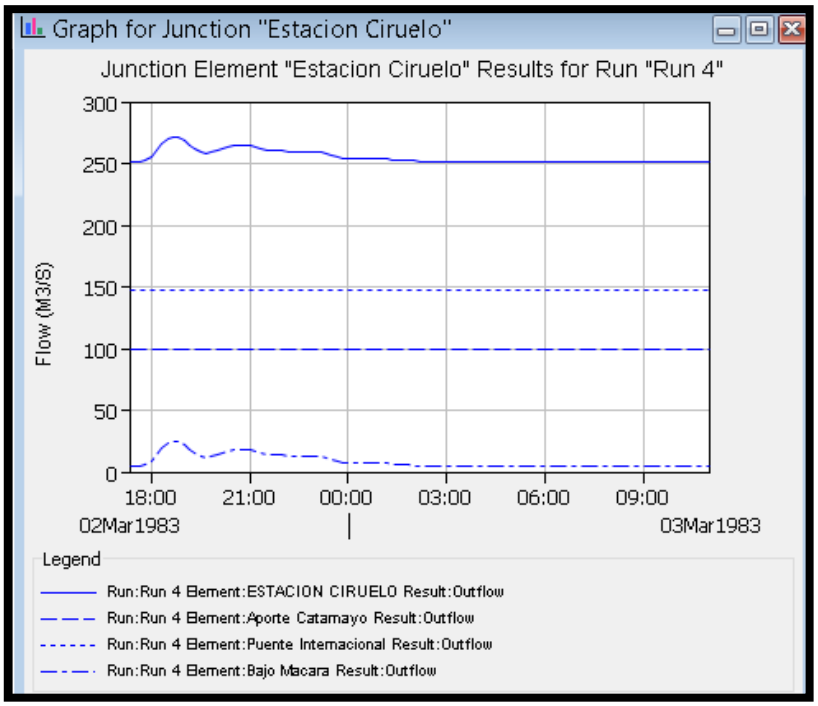


Ilustración 61 Hidrograma de la estación Ciruelo en Hec-Hms para el evento 4.

Paraje Grande: 2 de Marzo de 1983 se registra un caudal máximo de 45,5 m^3/s. En la Ilustración 62 se puede ver el hidrograma generado en Alto Quiroz producto de la tormenta.

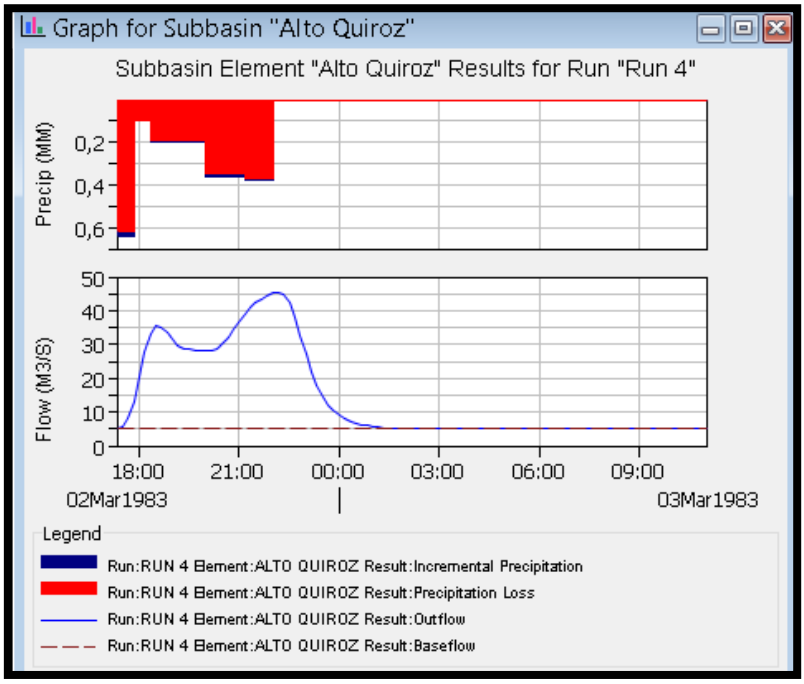


Ilustración 62 Hidrograma de Alto Quiroz en Hec-Hms para el evento 4.

Ardilla: 2 de Marzo de 1983 se registra un caudal de 899,4 m^3/s con un caudal en aporte Alamor de 0 m^3/s, ya sobrepasa el caudal real de 505,3 m^3/s. Como se puede ver en la Ilustración 63 a la estación Ardilla llegan aportes de Medio Alto Chira, Medio Chira, Bajo Quiroz, Aporte Alamor, el tramo que une a Paraje Grande con Ardilla y el tramo que une a Ciruelo con Ardilla.

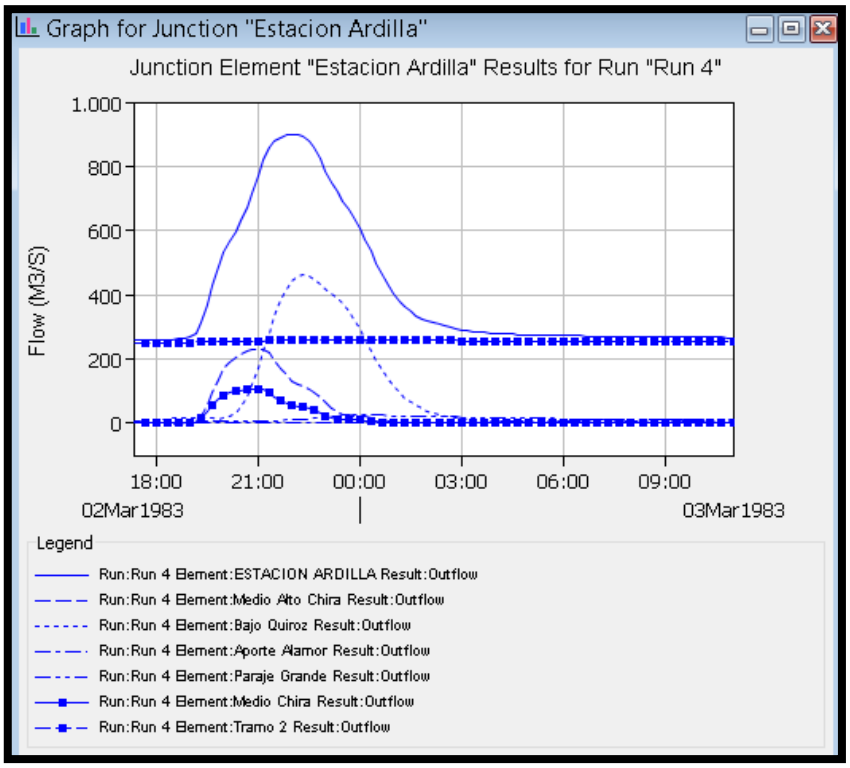


Ilustración 63 Hidrograma de la estación Ardilla en Hec-Hms para el evento 4.

- **Evento 5**

Puente Internacional: 3 de Marzo de 1983 se ingresa un caudal de partida de 303 m^3/s en el elemento hidrológico aporte Macará (Ilustración 64).

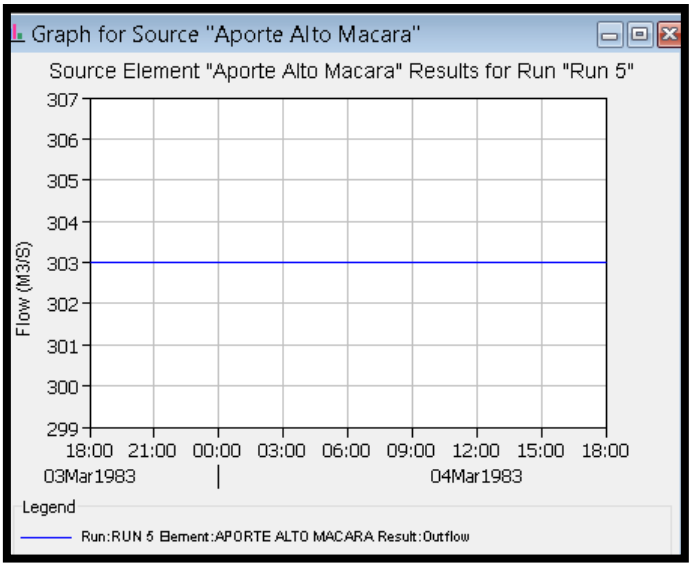


Ilustración 64 Hidrograma del aporte Alto Macará en Hec-Hms para el evento 5.

Ciruelo: 3 de Marzo de 1983 se registra un caudal máximo de 483 m^3/s, con un caudal en aporte Catamayo de 143,7 m^3/s. Como se puede ver en la Ilustración 65 a la estación Ciruelo llegan aportes de Bajo Macará, el tramo que une a Puente Internacional con Ciruelo y aporte Catamayo.

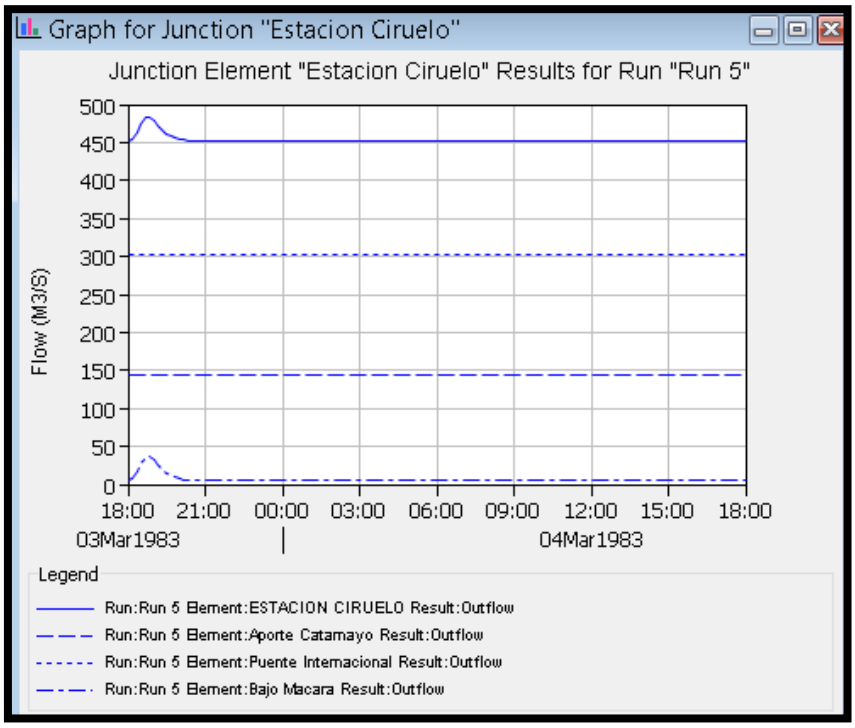


Ilustración 65 Hidrograma de la estación Ciruelo en Hec-Hms para el evento 5.

Paraje Grande: 4 de Marzo de 1983 se registra un caudal máximo de 213,4 m^3/s. En la Ilustración 66 se puede ver el hidrograma generado en Alto Quiroz producto de la tormenta.

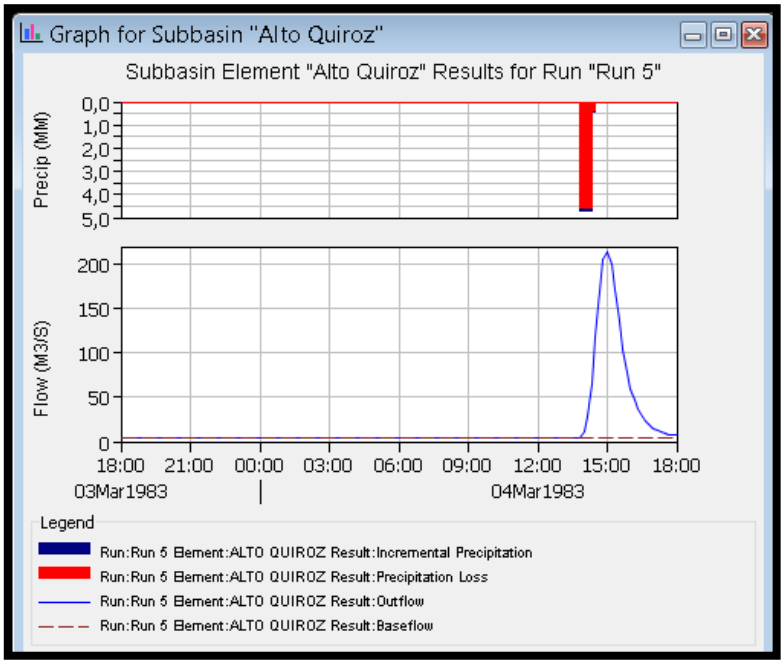


Ilustración 66 Hidrograma de Alto Quiroz en Hec-Hms para el evento 5.

Ardilla: 4 de Marzo de 1983 se registra un caudal de 882,2 m^3/s con un caudal en aporte Alamor de 163,90 m^3/s. Como se puede ver en la Ilustración 67 a la estación Ardilla llegan aportes de Medio Alto Chira, Medio Chira, Bajo Quiroz, Aporte Alamor, el tramo que une a Paraje Grande con Ardilla y el tramo que une a Ciruelo con Ardilla.

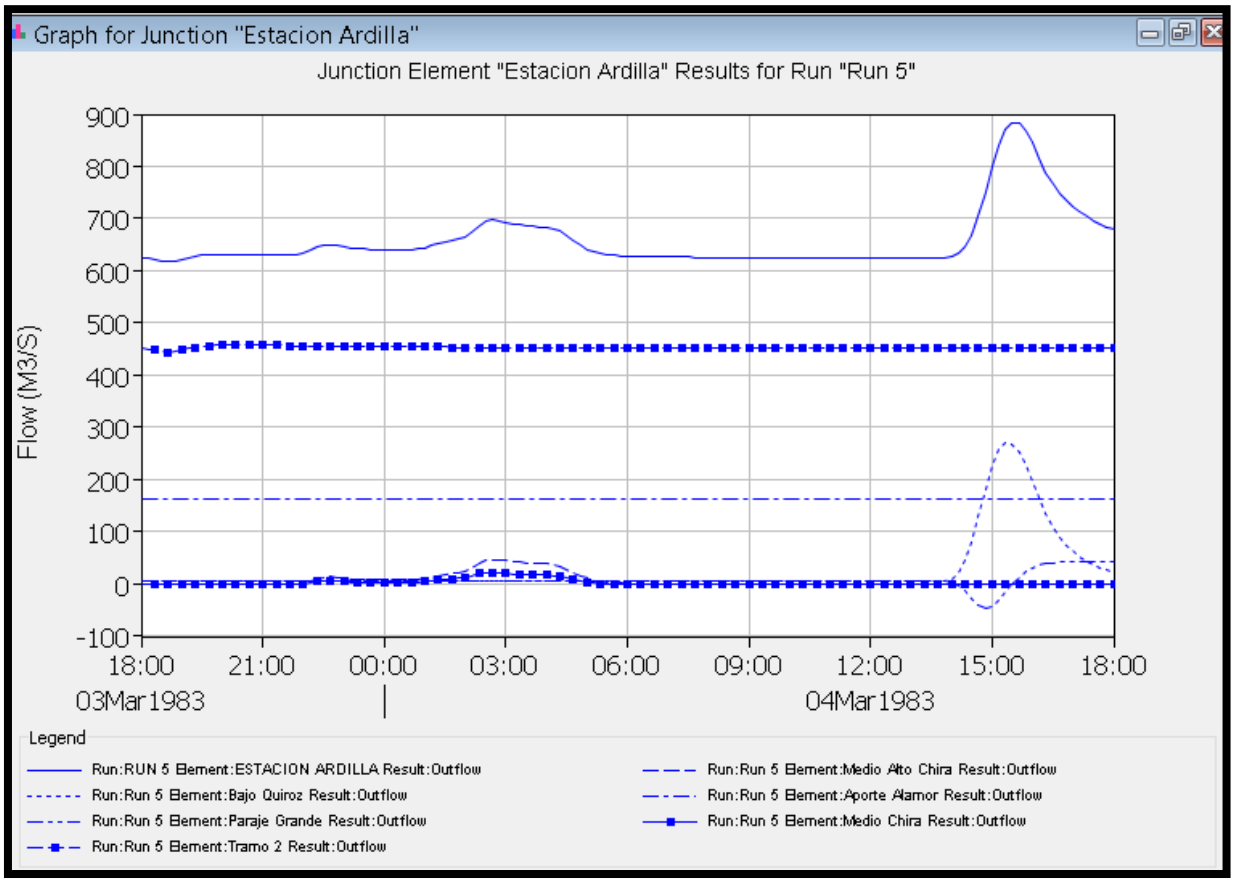


Ilustración 67 Hidrograma de la estación Ardilla en Hec-Hms para el evento 5.

- **Evento 6**

Puente Internacional: 2 de Abril de 1983 se ingresa un caudal de partida de 231 m^3/s en el elemento hidrológico aporte Macará (Ilustración 68).

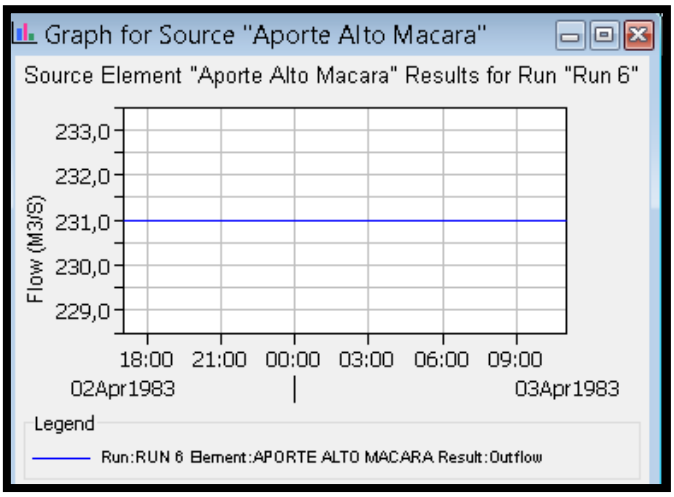


Ilustración 68 Hidrograma del aporte Alto Macará en Hec-Hms para el evento 6.

Ciruelo: 2 de Abril de 1983 se registra un caudal máximo de 470 m^3/s, con un caudal en aporte Catamayo de 224 m^3/s. Como se puede ver en la Ilustración 69 a la estación Ciruelo llegan aportes de Bajo Macará, el tramo que une a Puente Internacional con Ciruelo y aporte Catamayo.

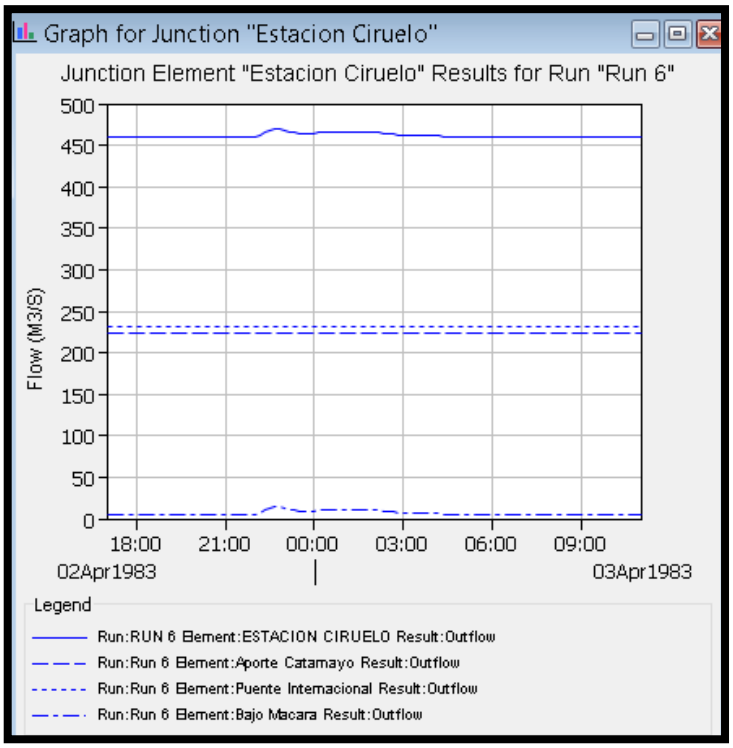


Ilustración 69 Hidrograma de la estación Ciruelo en Hec-Hms para el evento 6.

Paraje Grande: 2 de Abril de 1983 se registra un caudal máximo de 140,9 m^3/s. En la Ilustración 70 se puede ver el hidrograma generado en Alto Quiroz producto de la tormenta.

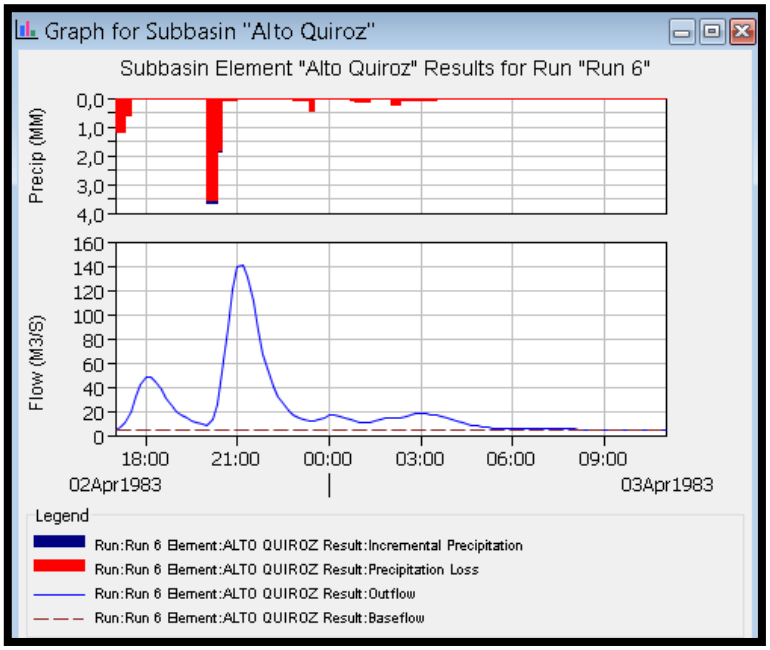


Ilustración 70 Hidrograma de Alto Quiroz en Hec-Hms para el evento 6.

Ardilla: 2 de Abril de 1983 se registra un caudal de 1096,20 m^3/s con un caudal en aporte Alamor de 44,60 m^3/s. Como se puede ver en la Ilustración 71 a la estación Ardilla llegan aportes de Medio Alto Chira, Medio Chira, Bajo Quiroz, Aporte Alamor, el tramo que une a Paraje Grande con Ardilla y el tramo que une a Ciruelo con Ardilla.

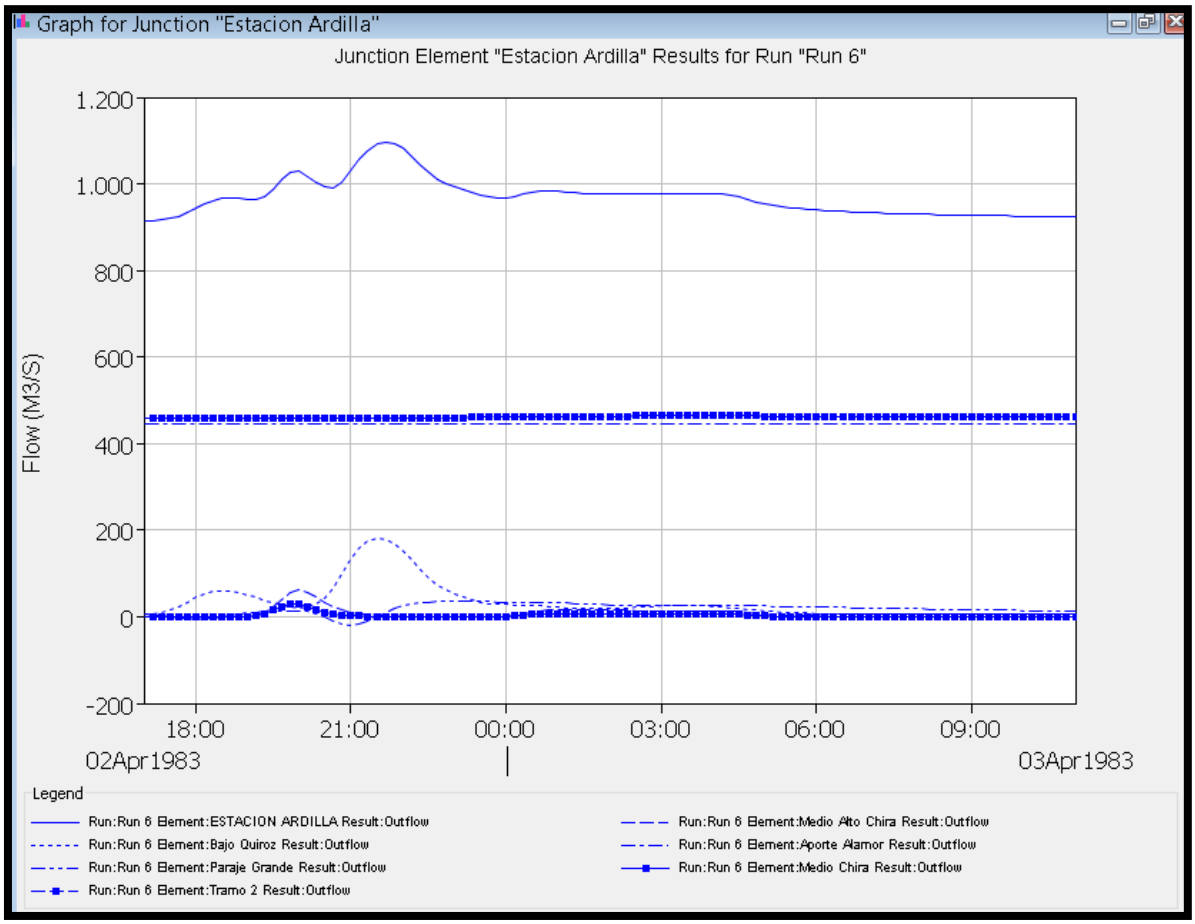


Ilustración 71 Hidrograma de la estación Ardilla en Hec-Hms para el evento 6.

Finalmente en la Tabla 21 se muestra un cuadro resumen con los valores obtenidos por el programa y su comparación con los caudales reales obtenidos de los partes diarios, así mismo se puede ver el porcentaje de error que presentan.

En la comparación de los caudales de la estación Puente Internacional se puede ver que siempre aparece error cero, debido a que este es un caudal de entrada como ya se indicó anteriormente y por lo tanto el caudal real es el ingresado al programa.

Para la estación Paraje Grande en el evento 1 y 4 se muestran errores de 184% y 60% respectivamente, los cuales son muy significativos. Para calcular el error promedio de la estación Paraje Grande no se tomaran en cuenta estos eventos ya que no se consideran como representativos sino como excepciones.

Para la Estación Ardilla y Ciruelo también se puede ver que aparece error cero, ello se debe a que se trata de ajustar los valores de los caudales reales con los aportes Alamor y Catamayo respectivamente.

Tabla 21 Resumen de caudales obtenidos en la modelación (teóricos) vs caudales reales y % de error

Evento	Fecha	Estación	Paraje Grande	Ciruelo	Ciruelo con aporte	Puente Internacional	Ardilla	Ardilla con aporte	Aporte Catamayo	Aporte Alamor
1	13/01/1983	Teórico		132,2	282	98			149,8	
		Real	63,9	282	282	98	813,9			
		%error		53%	0%	0%	100%			
	14/01/1983	Teórico	157,3				547,6	1186,5		638,9
		Real	55,3	493		176	1186,5	1186,5		
		%error	184%				54%	0%		
2	24/03/1983	Teórico		211	329	206			118	
		Real	193	329	329	206	1434,6	1434,6		
		%error		36%	0%	0%				
	25/03/1983	Teórico	109				818,3	2058,9		1240,6
		Real	150	370		260	2058,9	2058,9		
		%error	27%				60%	0%		
3	21/03/1983	Teórico	184,8	247,1	279	191	675,5	702,1	31,9	26,6
		Real	150	279	279	191	702,1	702,1		
		%error	23%	11%	0%	0%	4%	0%		
4	02/03/1983	Teórico	45,5	173,3	272	148	899,4		98,7	
		Real	114	272	272	148	505,3			
		%error	60%	36%	0%	0%	78%			
5	03/03/1983	Teórico		339,3	483	303			143,7	
		Real	190	483	483	303	1160			
		%error		30%	0%	0%				
	04/03/1983	Teórico	213,4				718,3	882,2		163,9
		Real	183	539		242	882,2	882,2		
		%error	17%				19%	0%		
6	02/04/1983	Teórico	140,9	246	470	231	651,6	1096,2	224	444,6
		Real	172	470	470	231	1096,2	1096,2		
		%error	18%	48%	0%	0%	41%	0%		

Tabla 22 Porcentaje representativo de Aporte Catamayo a estación Ciruelo.

Evento	Fecha	Estación	Ciruelo	Porcentaje representativo del caudal Real
				45%
1	13/01/1983	Teórico	132,2	126,9
		Real	282	259,1
		%error	53%	8%
	14/01/1983	Teórico		
		Real	493	
		%error		
2	24/03/1983	Teórico	211	148,1
		Real	329	359,1
		%error	36%	-9%
	25/03/1983	Teórico		
		Real	370	
		%error		
3	21/03/1983	Teórico	247,1	125,6
		Real	279	372,7
		%error	11%	-34%
4	02/03/1983	Teórico	173,3	122,4
		Real	272	295,7
		%error	36%	-9%
5	03/03/1983	Teórico	339,3	217,4
		Real	483	556,7
		%error	30%	-15%
	04/03/1983	Teórico		
		Real	539	
		%error		
6	02/04/1983	Teórico	246	211,5
		Real	470	457,5
		%error	48%	3%
			Promedio de errores	+/-9%

Tabla 23 Porcentaje representativo de Aporte Alamor a estación Ardilla.

Evento	Fecha	Estación	Ardilla	Porcentaje representativo del caudal Real
				40%
1	13/01/1983	Teórico		
		Real	813,9	
		%error	100%	
	14/01/1983	Teórico	547,6	474,6
		Real	1186,5	1022,2
		%error	54%	14%
2	24/03/1983	Teórico		
		Real	1434,6	
		%error		
	25/03/1983	Teórico	818,3	823,6
		Real	2058,9	1641,9
		%error	60%	20%
3	21/03/1983	Teórico	675,5	280,8
		Real	702,1	956,3
		%error	4%	-36%
4	02/03/1983	Teórico	899,4	
		Real	505,3	
		%error	78%	
5	03/03/1983	Teórico		
		Real	1160	
		%error		
	04/03/1983	Teórico	718,3	352,9
		Real	882,2	1071,2
		%error	19%	-21%
6	02/04/1983	Teórico	651,6	438,5
		Real	1096,2	1090,1
		%error	41%	1%
			Promedio de errores	+/-18%

Después de analizar la Tabla 21 se concluye lo siguiente:

- Aporte de la subcuenca Catamayo a la estación Ciruelo

  Después de realizar la modelación, se llegó a la conclusión de que el caudal del aporte de la subcuenca Catamayo producto de las precipitaciones representa el 45% del registrado en la estación Ciruelo, esto con un error promedio de ±9% (Tabla 22). Lo cual significaría también que el 55% restante proviene de las subcuencas Alto y Bajo Macará, de acuerdo a los resultados de la modelación lluvia escorrentía realizada en el presente trabajo (Ilustración 72).

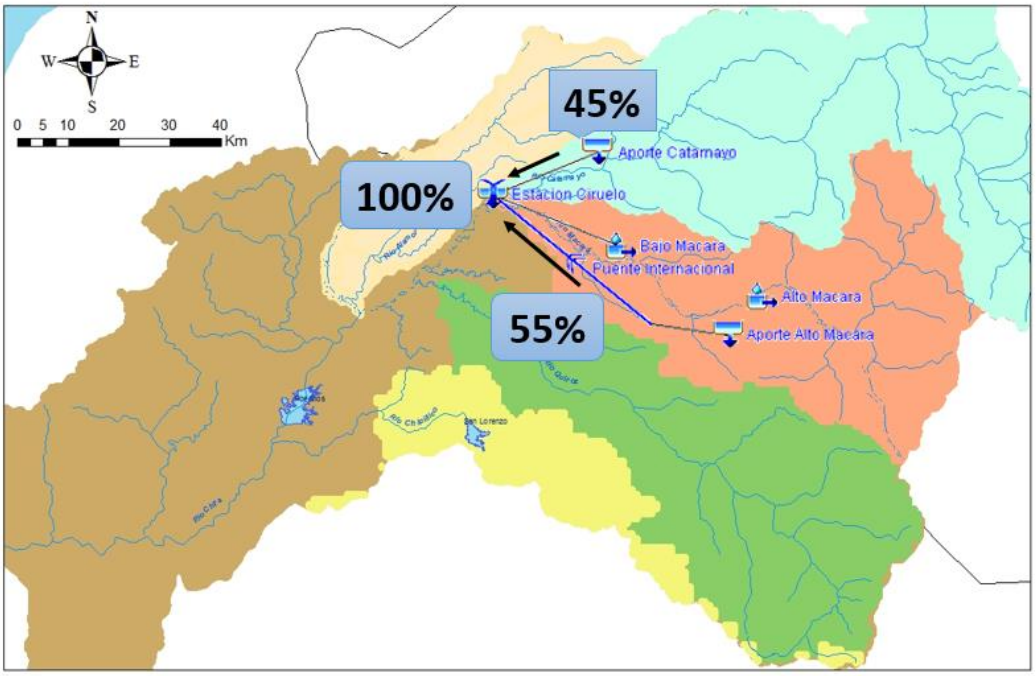


Ilustración 72 Porcentaje de aportes a estación Ciruelo.

- Aporte de la subcuenca Alamor a la estación Ardilla

  Después de realizar modelación, se llegó a la conclusión de que el caudal del aporte de la subcuenca Alamor representa el 40% del caudal registrado en la estación Ardilla con un error promedio de ±18% (Tabla 23). Lo cual significaría también que el 60% restante proviene de las subcuencas Alto y Bajo Quiroz, las quebradas del Medio Alto Chira y Medio Chira, y por último del caudal transitado proveniente de la estación Ciruelo, de acuerdo a los resultados de la modelación lluvia escorrentía realizada en el presente trabajo (Ilustración 73).

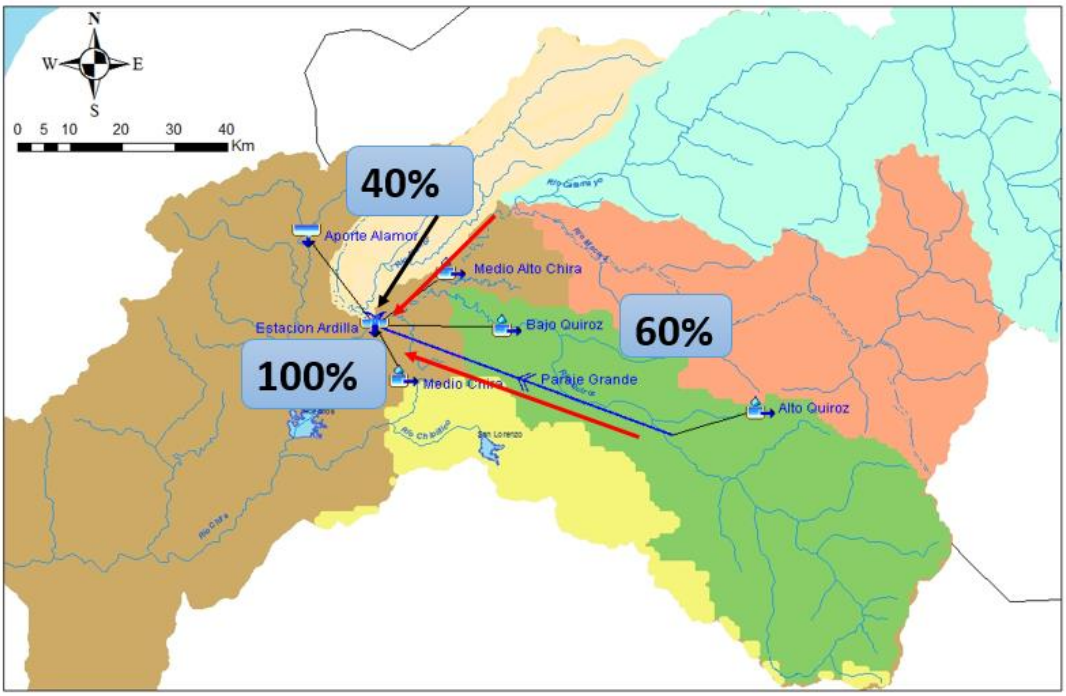


Ilustración 73 Porcentaje de aportes a estación Ardilla.

- Estación Paraje Grande

  Después de realizar modelación, se llegó a la conclusión que los caudales obtenidos en la estación Paraje Grande presentan un error promedio de ±21% al ser comparados con los caudales reales. El porcentaje de error que se puede apreciar en esta estación puede ser producto de la falta de datos o mal registro de los mismos.

- Para esta modelación el punto final o de salida de nuestra cuenca modelada es la estación Ardilla, la cual se encuentra en la entrada del reservorio Pechos, y en la cual se registran caudales producto de la escorrentía generada aguas arriba. Mediante la modelación se logró determinar que el 40% de este caudal es de Aporte Alamor, lo cual quiere decir que la escorrentía proveniente de la parte ecuatoriana, cerca de la estación Ardilla, es de gran influencia a la entrada del reservorio Poechos.

Capítulo 4
Conclusiones y Recomendaciones

En este último capítulo se muestran las conclusiones a las que se llegó después del análisis de los resultados del modelamiento de la cuenca Catamayo-Chira hasta el reservorio Poechos. Del mismo modo se presentan las recomendaciones para estudios futuros.

3.1 Conclusiones

- Según el modelo hidrológico creado se concluye:
  a) Se ha logrado modelar el proceso lluvia escorrentía de la cuenca Catamayo Chira hasta el reservorio Poechos mediante el software Hec-Hms, el cual permite conocer los caudales generados producto de las lluvias producidas en las diferentes subcuencas.
  b) Del caudal registrado en la estación Ciruelo, el aporte de la subcuenca Catamayo, producto de las precipitaciones, representa el 45%, esto con un error promedio de ±9%; mientras que el 55% restante se debe a la precipitación recibida en las subcuencas Alto y Bajo Macará.
  c) Del caudal registrado en la estación Ardilla, el aporte de la subcuenca Alamor, producto de las precipitaciones, representa el 40%, esto con un error promedio de ±18%; mientras que el 60% restante se debe a la precipitación recibida de las subcuencas Alto y Bajo Quiroz, las quebradas del Medio Alto Chira y Medio Chira y del caudal transitado proveniente de la estación Ciruelo.
  d) Los caudales obtenidos en la estación Paraje Grande al ser comparados con los caudales reales presentan un error promedio de ±21%, ello debido a que la información de precipitaciones registrada en la zona es muy escasa, ya que solo se contó con precipitación en la salida de la subcuenca Alto Quiroz, y no en su parte alta, y por ende la poca información que se procesó en el programa arroja caudales muy diferentes a los reales.
  e) Para la modelación realizada se tomó un caudal base en todos los elementos hidrológicos de 5 m^3/s. Esto no siempre es real, ya que si es una temporada lluviosa puede que el caudal presente sea mucho mayor, lo cual podría ser una de las causas para generar errores.

f) Como resultado de la modelación se determinó que el tiempo de recorrido de los caudales en el tramo de Puente Internacional a El Ciruelo es de 2,8 horas, de Paraje Grande a la estación Ardilla es de 8,6 horas y por último de El Ciruelo a la estación Ardilla es de 5,9 horas.

- El programa Hec- Hms evalúa eventos de manera independiente a otros, lo cual influye en la impermeabilidad o permeabilidad que el suelo pueda tener al momento de darse un evento. Por ello, se ha tratado de conseguir mediante esta modelación datos promedio que logren dar resultados que se acerquen a los reales. Esto se logró mediante pruebas de ajuste y calibración de variables en las diferentes subcuencas.
- Los datos de precipitación que se ingresen al modelo serán en intervalos de tiempo constantes. Cuando registramos lluvias lo hacemos a través de un pluviógrafo el cual registra la precipitación en intervalos de intensidad constante, luego se procesa esa información, pero casi nunca se presenta en intervalos de tiempo constantes ya que depende de la intensidad de la lluvia y la manera en que ésta se comporte, por ello antes de ingresar la información de precipitación al programa se debe transformar a intervalos de tiempo constantes como el programa lo requiere.
- Mientras más estaciones de estudio tengamos más representativas serán las tormentas de la zona en la que se esté evaluando, ya que si solo tenemos una estación y la cuenca es muy grande, la lluvia que se registre en el pluviómetro no será representativa de toda la cuenca.
- Cuando la cuenca o subcuenca de estudio es muy grande no se puede asumir la misma precipitación para toda la cuenca ya que no es lógico que se presente la misma tormenta de manera uniforme en toda la zona. Si lo asumiéramos de este modo se generarían caudales de escorrentía muy grandes y erróneos.
- Los errores obtenidos pueden ser producto de la falta de conocimiento preciso de las características del terreno, así como la falta de datos pluviométricos en las estaciones de estudio o su mal registro.
- La modelación creada en el programa Hec-Hms sirve pero solo para eventos independientes y siempre que se cumplan las condiciones establecidas, presentando los márgenes de error señalados anteriormente. Es decir que si ocurriera un evento tras otro, el caudal base en los cauces será mucho mayor a $5m^3/s$, debido a la presencia de lluvias anteriores, por lo que se debe modificar en ese caso el caudal base. O de otro modo, se podría crear un evento más largo que abarque dos o más eventos consecutivos, y de este modo al hacer corrida el programa considerará el caudal de las precipitaciones anteriores.
- Debido a que el tiempo de recorrido de los caudales en los tramos es muy corto, no se podría predecir datos de caudal a la entrada del reservorio Poechos. Por lo tanto el modelo se puede usar con datos de predicciones de tormentas, y en base a ellos se puede realizar la corrida del modelo.

3.2 Recomendaciones

- Para la subcuenca de Alto Quiroz, si no se tuviera información en la estación Paraje Grande se recomienda asumir la información de estaciones cercanas como son Espídola y Ayabaca, ya que pueden ser más representativas.
- Antes de usar el modelo se recomienda en primer lugar transformar la información de precipitaciones arrojada por el pluviograma a intervalos de tiempo constantes dependiendo de las intensidades que se den en toda la tormenta. Por ejemplo: para una tormenta que ocurre entre las 2 pm hasta las 10 pm en la cual se puede ver que desde las 6 p.m. hasta las 8:40 pm llovió 60 mm quiere decir que ese tramo de lluvia se puede representar 16 en tramos constantes de 10 minutos en los cuales lloverá 3.75 mm, del mismo modo se hace para toda la duración de la tormenta, la idea es dividir a toda la tormenta en tramos de 10 minutos y de esta forma es como se ingresa la información al programa.
- Actualmente no se tiene un pluviógrafo en las estaciones de estudio que se han analizado esta tesis, lo ideal sería que se pueda colocar uno en cada estación ya que registra información muy valiosa sobre todo para conocer como se ha comportado la tormenta en dicha zona. Pero si no se pudiera, se recomienda para estudios futuros analizar las precipitaciones registradas en años pasados y establecer relaciones de duración y precipitación que nos permitan conocer el comportamiento de la tormenta en cada zona, de esta forma se lograría poder conocer a partir de datos de precipitaciones diarias el comportamiento de la lluvia y ello serviría como datos de entrada para el modelo diseñado.
- Se recomienda tomar como base este modelo y realizar una modelación similar para la cuenca del río Piura y de este modo poder evaluar los aportes de la parte alta de la cuenca y calcular los caudales que llegarían a las ciudades por donde pasa dicho río. De esta manera se podrá tomar mayores medidas de prevención ante los caudales esperados.

Bibliografía

- ANA. (2012). *Delimitación y codificación de unidades hidrográficas del Perú.* Lima.
- Calle, M. J. (2016). *"Análisis hidrológico del reservorio Poechos y nivel de atención a los valles del Chira y Piura"(Tesis de Ingeniería Civil).* Piura: Universidad de Piura.
- Congreso de la República del Perú, L. N. (6 de marzo de 2015). *http://www.ana.gob.pe/media/316755/leyrh.pdf.* Recuperado el 6 de marzo de 2015, de http://www.ana.gob.pe/media/316755/leyrh.pdf: http://www.ana.gob.pe/media/316755/leyrh.pdf
- CONSORCIO ATA-UNL-UNP. (2005). *Caracterización hídrica y adecuación entre la oferta y la demanda en el ambito de la cuenca binacional Catamayo-Chira.* Piura.
- Correa, H. (19, 20 de Marzo de 2015). Proyectos Regionales como oportunidad para la generación de Desarrollo Económico. *Seminario "Promoviendo el desarrollo económico en el norte del Perú"* .
- Morocho, F. (2004). *Sedimentación del reservorio de Poechos y recuperación de volumen de agua de regulación para Sistema Chira-Piura.* Piura.
- Paulini, A. M. (2005). *Evaluación de la disponibilidad del recurso hídrico en la cuenca alta del Río Quiroz (Tesis de Ingeniería Civil).* Piura: Universidad de Piura.
- PEChP. (19 de Agosto de 2016). *Proyecto Especial Chira Piura*. Obtenido de www.chirapiura.gob.pe
- Reyes, J. (28 de Enero de 2014). “Nos hemos convertido en dependientes del reservorio de Poechos”. (A. G. Boza, Entrevistador)
- Universidad de Piura . (2015). *Desarrollo de una metodología de descolmatación de un reservorio utilizando la misma energía del agua y a un bajo costo. Caso piloto:*

Reservorio Poechos Piura, Hito 1: Informe de avance sobre la recopilación de información. Piura.

- Vílchez, M., Núñez, S., & Valenzuela, G. (2006). *Estudio Geoambiental de la Cuenca del Río Chira-Catamayo. Boletín N° 31 Serie C Geodinámica e Ingeniería Geológica.* Lima: Dirección de Geología Ambiental.

- Villón, M. (2008). *Hec-Hms Ejemplos.* Lima: Ediciones Villón.

ANEXOS

Anexo A: Primer evento 13 y 14 de Enero de 1983

Tiempo	Lluvia (mm)	Duración	Duración (min)	Lluvia acumulada (mm)
Estación: Ardilla				
16:50				
17:00	3,20	00:10	00:10	3,20
17:10	0,40	00:10	00:20	3,60
17:20	0,40	00:10	00:30	4,00
17:30	0,40	00:10	00:40	4,40
17:40	0,40	00:10	00:50	4,80
17:50	0,40	00:10	01:00	5,20
18:00	0,40	00:10	01:10	5,60
18:10	6,00	00:10	01:20	11,60
18:20	0,50	00:10	01:30	12,10
18:30	0,50	00:10	01:40	12,60
18:40	0,50	00:10	01:50	13,10
18:50	0,50	00:10	02:00	13,60
19:00	0,50	00:10	02:10	14,10
19:10	0,10	00:10	02:20	14,20
19:20	0,10	00:10	02:30	14,30
19:30	0,58	00:10	02:40	14,88
19:40	0,58	00:10	02:50	15,45
19:50	0,58	00:10	03:00	16,03
20:00	0,58	00:10	03:10	16,60
20:10	1,42	00:10	03:20	18,02
20:20	1,42	00:10	03:30	19,43
20:30	1,42	00:10	03:40	20,85
20:40	1,42	00:10	03:50	22,27
20:50	1,42	00:10	04:00	23,68
21:00	1,42	00:10	04:10	25,10
21:10	0,42	00:10	04:20	25,52
21:20	0,42	00:10	04:30	25,93
21:30	0,42	00:10	04:40	26,35
21:40	0,42	00:10	04:50	26,77
21:50	0,42	00:10	05:00	27,18
22:00	0,42	00:10	05:10	27,60
22:10	0,75	00:10	05:20	28,35
22:20	0,75	00:10	05:30	29,10
22:30	0,75	00:10	05:40	29,85
22:40	0,75	00:10	05:50	30,60

Tiempo	Lluvia (mm)	Duración	Duración (min)	Lluvia acumulada (mm)
22:50	0,50	00:10	06:00	31,10
23:00	0,50	00:10	06:10	31,60
23:10	0,50	00:10	06:20	32,10
23:20	0,50	00:10	06:30	32,60
23:30	0,50	00:10	06:40	33,10
23:40	0,50	00:10	06:50	33,60
23:50	0,20	00:10	07:00	33,80
00:00	0,20	00:10	07:10	34,00
00:10	0,58	00:10	07:20	34,58
00:20	0,58	00:10	07:30	35,17
00:30	0,58	00:10	07:40	35,75
00:40	0,58	00:10	07:50	36,33
00:50	0,58	00:10	08:00	36,92
01:00	0,58	00:10	08:10	37,50
01:10	1,25	00:10	08:20	38,75
01:20	1,25	00:10	08:30	40,00
01:30	0,15	00:10	08:40	40,15
01:40	0,15	00:10	08:50	40,30
01:50	0,15	00:10	09:00	40,45
02:00	0,15	00:10	09:10	40,60
02:10	0,15	00:10	09:20	40,75
02:20	0,15	00:10	09:30	40,90
02:30	0,15	00:10	09:40	41,05
02:40	0,15	00:10	09:50	41,20
02:50	0,15	00:10	10:00	41,35
03:00	0,15	00:10	10:10	41,50
03:10	0,05	00:10	10:20	41,55
03:20	0,05	00:10	10:30	41,60
03:30	0,05	00:10	10:40	41,65
03:40	0,05	00:10	10:50	41,70

Estación: Ciruelo

14:00				
14:10	3,13	00:10	00:10	3,13
14:20	3,13	00:10	00:20	6,27
14:30	3,13	00:10	00:30	9,40
14:40	3,13	00:10	00:40	12,53
14:50	3,13	00:10	00:50	15,67
15:00	3,13	00:10	01:00	18,80
15:10	2,58	00:10	01:10	21,38
15:20	2,58	00:10	01:20	23,96

Tiempo	Lluvia (mm)	Duración	Duración (min)	Lluvia acumulada (mm)
15:30	2,58	00:10	01:30	26,53
15:40	2,58	00:10	01:40	29,11
15:50	2,58	00:10	01:50	31,69
16:00	2,58	00:10	02:00	34,27
16:10	2,58	00:10	02:10	36,84
16:20	2,58	00:10	02:20	39,42
16:30	2,58	00:10	02:30	42,00
16:40	2,84	00:10	02:40	44,84
16:50	2,84	00:10	02:50	47,69
17:00	2,84	00:10	03:00	50,53
17:10	2,84	00:10	03:10	53,38
17:20	2,84	00:10	03:20	56,22
17:30	2,84	00:10	03:30	59,07
17:40	2,84	00:10	03:40	61,91
17:50	2,84	00:10	03:50	64,76
18:00	2,84	00:10	04:00	67,60
18:10	2,25	00:10	04:10	69,85
18:20	2,25	00:10	04:20	72,09
18:30	2,25	00:10	04:30	74,34
18:40	2,25	00:10	04:40	76,59
18:50	2,25	00:10	04:50	78,83
19:00	2,25	00:10	05:00	81,08
19:10	2,25	00:10	05:10	83,32
19:20	2,25	00:10	05:20	85,57
19:30	2,25	00:10	05:30	87,82
19:40	2,25	00:10	05:40	90,06
19:50	2,25	00:10	05:50	92,31
20:00	2,25	00:10	06:00	94,56
20:10	2,25	00:10	06:10	96,80
20:20	2,25	00:10	06:20	99,05
20:30	2,25	00:10	06:30	101,30
20:40	2,25	00:10	06:40	103,54
20:50	2,25	00:10	06:50	105,79
21:00	2,25	00:10	07:00	108,04
21:10	2,25	00:10	07:10	110,28
21:20	2,25	00:10	07:20	112,53
21:30	2,25	00:10	07:30	114,78
21:40	2,25	00:10	07:40	117,02
21:50	2,25	00:10	07:50	119,27
22:00	2,25	00:10	08:00	121,51

Tiempo	Lluvia (mm)	Duración	Duración (min)	Lluvia acumulada (mm)
22:10	2,25	00:10	08:10	123,76
22:20	2,25	00:10	08:20	126,01
22:30	2,25	00:10	08:30	128,25
22:40	2,25	00:10	08:40	130,50
22:50	3,00	00:10	08:50	133,50
23:00	3,00	00:10	09:00	136,50
23:10	1,42	00:10	09:10	137,92
23:20	1,42	00:10	09:20	139,33
23:30	1,42	00:10	09:30	140,75
23:40	1,42	00:10	09:40	142,17
23:50	1,42	00:10	09:50	143,58
00:00	1,42	00:10	10:00	145,00
00:10	1,42	00:10	10:10	146,42
00:20	1,42	00:10	10:20	147,83
00:30	1,42	00:10	10:30	149,25
00:40	1,42	00:10	10:40	150,67
00:50	1,42	00:10	10:50	152,08
01:00	1,42	00:10	11:00	153,50
01:10	0,33	00:10	11:10	153,83
01:20	0,33	00:10	11:20	154,17
01:30	0,33	00:10	11:30	154,50
01:40	0,33	00:10	11:40	154,83
01:50	0,33	00:10	11:50	155,17
02:00	0,33	00:10	12:00	155,50
02:10	0,09	00:10	12:10	155,59
02:20	0,09	00:10	12:20	155,68
02:30	0,09	00:10	12:30	155,78
02:40	0,09	00:10	12:40	155,87
02:50	0,09	00:10	12:50	155,96
03:00	0,09	00:10	13:00	156,05
03:10	0,09	00:10	13:10	156,14
03:20	0,09	00:10	13:20	156,23
03:30	0,09	00:10	13:30	156,33
03:40	0,09	00:10	13:40	156,42
03:50	0,09	00:10	13:50	156,51
04:00	0,09	00:10	14:00	156,60
04:10	0,09	00:10	14:10	156,69
04:20	0,09	00:10	14:20	156,78
04:30	0,09	00:10	14:30	156,88
04:40	0,09	00:10	14:40	156,97

Tiempo	Lluvia (mm)	Duración	Duración (min)	Lluvia acumulada (mm)
04:50	0,09	00:10	14:50	157,06
05:00	0,09	00:10	15:00	157,15
05:10	0,09	00:10	15:10	157,24
05:20	0,09	00:10	15:20	157,33
05:30	0,09	00:10	15:30	157,43
05:40	0,09	00:10	15:40	157,52
05:50	0,09	00:10	15:50	157,61
06:00	0,09	00:10	16:00	157,70

Estación: Paraje Grande

20:55				
21:05	0,43	00:10	00:10	0,43
21:15	0,43	00:10	00:20	0,86
21:25	0,43	00:10	00:30	1,29
21:35	0,76	00:10	00:40	2,05
21:45	1,10	00:10	00:50	3,15
21:55	1,10	00:10	01:00	4,25
22:05	0,61	00:10	01:10	4,86
22:15	0,11	00:10	01:20	4,97
22:25	0,11	00:10	01:30	5,08
22:35	0,11	00:10	01:40	5,19
22:45	0,11	00:10	01:50	5,30
22:55	0,89	00:10	02:00	6,19
23:05	0,89	00:10	02:10	7,09
23:15	0,89	00:10	02:20	7,98
23:25	0,89	00:10	02:30	8,87
23:35	0,89	00:10	02:40	9,77
23:45	0,89	00:10	02:50	10,66
23:55	0,89	00:10	03:00	11,55
00:05	2,00	00:10	03:10	13,55
00:15	3,10	00:10	03:20	16,65
00:25	1,80	00:10	03:30	18,45
00:35	0,50	00:10	03:40	18,95
00:45	0,50	00:10	03:50	19,45
00:55	0,46	00:10	04:00	19,91
01:05	0,43	00:10	04:10	20,34
01:15	0,43	00:10	04:20	20,77
01:25	0,43	00:10	04:30	21,20
01:35	0,14	00:10	04:40	21,34
01:45	0,14	00:10	04:50	21,49
01:55	0,14	00:10	05:00	21,63

Tiempo	Lluvia (mm)	Duración	Duración (min)	Lluvia acumulada (mm)
02:05	0,11	00:10	05:10	21,74
02:15	0,08	00:10	05:20	21,82
02:25	0,08	00:10	05:30	21,90
02:35	0,08	00:10	05:40	21,98
02:45	0,08	00:10	05:50	22,06
02:55	0,05	00:10	06:00	22,11
03:05	0,02	00:10	06:10	22,12
03:15	0,02	00:10	06:20	22,14
03:25	0,02	00:10	06:30	22,16
03:35	0,02	00:10	06:40	22,17
03:45	0,02	00:10	06:50	22,19
03:55	0,02	00:10	07:00	22,20
04:05	0,02	00:10	07:10	22,22
04:15	0,02	00:10	07:20	22,23
04:25	0,02	00:10	07:30	22,25
04:35	0,02	00:10	07:40	22,27
04:45	0,02	00:10	07:50	22,28
04:55	0,02	00:10	08:00	22,30
05:05	0,02	00:10	08:10	22,31
05:15	0,02	00:10	08:20	22,33
05:25	0,02	00:10	08:30	22,34
05:35	0,02	00:10	08:40	22,36
05:45	0,02	00:10	08:50	22,38
05:55	0,02	00:10	09:00	22,39

Estación: Puente Internacional

14:50				
15:00	2,30	00:10	00:10	2,30
15:10	2,00	00:10	00:20	4,30
15:20	2,00	00:10	00:30	6,30
15:30	1,18	00:10	00:40	7,48
15:40	0,37	00:10	00:50	7,85
15:50	0,37	00:10	01:00	8,22
16:00	0,37	00:10	01:10	8,59
16:10	0,37	00:10	01:20	8,96
16:20	0,37	00:10	01:30	9,33
16:30	0,37	00:10	01:40	9,70
16:40	0,04	00:10	01:50	9,74
16:50	0,04	00:10	02:00	9,79
17:00	0,04	00:10	02:10	9,83
17:10	0,04	00:10	02:20	9,88

Tiempo	Lluvia (mm)	Duración	Duración (min)	Lluvia acumulada (mm)
17:20	0,67	00:10	02:30	10,54
17:30	1,29	00:10	02:40	11,83
17:40	1,29	00:10	02:50	13,11
17:50	1,29	00:10	03:00	14,40
18:00	0,26	00:10	03:10	14,66
18:10	0,26	00:10	03:20	14,92
18:20	0,26	00:10	03:30	15,18
18:30	0,26	00:10	03:40	15,44
18:40	0,26	00:10	03:50	15,70
18:50	0,05	00:10	04:00	15,75
19:00	0,05	00:10	04:10	15,80
19:10	0,05	00:10	04:20	15,85
19:20	0,05	00:10	04:30	15,90
19:30	0,05	00:10	04:40	15,95
19:40	0,05	00:10	04:50	16,00
19:50	3,14	00:10	05:00	19,14
20:00	3,14	00:10	05:10	22,28
20:10	3,14	00:10	05:20	25,41
20:20	3,14	00:10	05:30	28,55
20:30	3,14	00:10	05:40	31,69
20:40	3,14	00:10	05:50	34,83
20:50	3,14	00:10	06:00	37,96
21:00	3,14	00:10	06:10	41,10
21:10	0,84	00:10	06:20	41,94
21:20	0,84	00:10	06:30	42,78
21:30	0,84	00:10	06:40	43,62
21:40	0,84	00:10	06:50	44,46
21:50	0,84	00:10	07:00	45,30
22:00	0,13	00:10	07:10	45,43
22:10	0,35	00:10	07:20	45,79
22:20	0,57	00:10	07:30	46,36
22:30	0,57	00:10	07:40	46,93
22:40	0,57	00:10	07:50	47,50
22:50	0,63	00:10	08:00	48,13
23:00	0,63	00:10	08:10	48,76
23:10	0,63	00:10	08:20	49,39
23:20	0,54	00:10	08:30	49,93
23:30	0,46	00:10	08:40	50,39
23:40	0,46	00:10	08:50	50,85
23:50	0,46	00:10	09:00	51,30

Tiempo	Lluvia (mm)	Duración	Duración (min)	Lluvia acumulada (mm)
00:00	0,46	00:10	09:10	51,76
00:10	0,46	00:10	09:20	52,22
00:20	0,46	00:10	09:30	52,68
00:30	0,46	00:10	09:40	53,14
00:40	0,46	00:10	09:50	53,60
00:50	0,46	00:10	10:00	54,05
01:00	0,46	00:10	10:10	54,51
01:10	0,46	00:10	10:20	54,97
01:20	0,37	00:10	10:30	55,34
01:30	0,29	00:10	10:40	55,63
01:40	0,29	00:10	10:50	55,91
01:50	0,29	00:10	11:00	56,20
02:00	0,29	00:10	11:10	56,49
02:10	0,29	00:10	11:20	56,77
02:20	0,29	00:10	11:30	57,06
02:30	0,29	00:10	11:40	57,34
02:40	0,29	00:10	11:50	57,63
02:50	0,29	00:10	12:00	57,91
03:00	0,29	00:10	12:10	58,20

Anexo B: Segundo evento 24 y 25 de Marzo de 1983

Tiempo	Lluvia (mm)	Duración	Duración (min)	Lluvia acumulada (mm)
Estación: Ardilla				
17:20				
17:30	3,90	00:10	00:10	3,90
17:40	3,90	00:10	00:20	7,80
17:50	3,90	00:10	00:30	11,70
18:00	3,90	00:10	00:40	15,60
18:10	0,02	00:10	00:50	15,62
18:20	0,02	00:10	01:00	15,63
18:30	0,02	00:10	01:10	15,65
18:40	0,02	00:10	01:20	15,67
18:50	0,02	00:10	01:30	15,68
19:00	0,02	00:10	01:40	15,70
19:10	0,49	00:10	01:50	16,19
19:20	0,49	00:10	02:00	16,68
19:30	0,49	00:10	02:10	17,17
19:40	0,49	00:10	02:20	17,66
19:50	0,49	00:10	02:30	18,15
20:00	2,81	00:10	02:40	20,96
20:10	5,12	00:10	02:50	26,08
20:20	5,12	00:10	03:00	31,21
20:30	5,12	00:10	03:10	36,33
20:40	5,12	00:10	03:20	41,45
20:50	5,12	00:10	03:30	46,58
21:00	5,12	00:10	03:40	51,70
21:10	0,18	00:10	03:50	51,88
21:20	0,18	00:10	04:00	52,05
21:30	0,18	00:10	04:10	52,23
21:40	0,18	00:10	04:20	52,40
21:50	2,22	00:10	04:30	54,62
22:00	2,22	00:10	04:40	56,83
22:10	2,22	00:10	04:50	59,05
22:20	2,22	00:10	05:00	61,26
22:30	2,22	00:10	05:10	63,48
22:40	2,22	00:10	05:20	65,69
22:50	2,22	00:10	05:30	67,91
23:00	2,22	00:10	05:40	70,12
23:10	2,22	00:10	05:50	72,34
23:20	2,22	00:10	06:00	74,55

Tiempo	Lluvia (mm)	Duración	Duración (min)	Lluvia acumulada (mm)
23:30	2,22	00:10	06:10	76,77
23:40	2,22	00:10	06:20	78,98
23:50	2,22	00:10	06:30	81,20
00:00	2,22	00:10	06:40	83,41
00:10	2,22	00:10	06:50	85,63
00:20	2,22	00:10	07:00	87,84
00:30	2,22	00:10	07:10	90,06
00:40	2,22	00:10	07:20	92,27
00:50	2,22	00:10	07:30	94,49
01:00	2,22	00:10	07:40	96,70
01:10	0,12	00:10	07:50	96,82
01:20	0,12	00:10	08:00	96,93
01:30	0,12	00:10	08:10	97,05
01:40	0,12	00:10	08:20	97,17
01:50	0,12	00:10	08:30	97,28
02:00	0,12	00:10	08:40	97,40
02:10	0,25	00:10	08:50	97,65
02:20	0,25	00:10	09:00	97,90
02:30	0,25	00:10	09:10	98,15
02:40	0,25	00:10	09:20	98,40
02:50	0,04	00:10	09:30	98,44
03:00	0,04	00:10	09:40	98,48
03:10	0,04	00:10	09:50	98,51
03:20	0,04	00:10	10:00	98,55
03:30	0,04	00:10	10:10	98,59
03:40	0,04	00:10	10:20	98,63
03:50	0,04	00:10	10:30	98,66
04:00	0,04	00:10	10:40	98,70
04:10	0,80	00:10	10:50	99,50
04:20	0,25	00:10	11:00	99,75
04:30	0,25	00:10	11:10	100,00
04:40	1,92	00:10	11:20	101,92
04:50	1,92	00:10	11:30	103,84
05:00	1,92	00:10	11:40	105,77
05:10	1,92	00:10	11:50	107,69
05:20	1,92	00:10	12:00	109,61
05:30	1,92	00:10	12:10	111,53
05:40	1,92	00:10	12:20	113,46
05:50	1,92	00:10	12:30	115,38
06:00	1,92	00:10	12:40	117,30

Tiempo	Lluvia (mm)	Duración	Duración (min)	Lluvia acumulada (mm)
06:10	1,00	00:10	12:50	118,30
06:20	1,00	00:10	13:00	119,30
06:30	0,73	00:10	13:10	120,03
06:40	0,73	00:10	13:20	120,75
06:50	0,73	00:10	13:30	121,48
07:00	0,73	00:10	13:40	122,20
07:10	0,73	00:10	13:50	122,93
07:20	0,73	00:10	14:00	123,65
07:30	0,73	00:10	14:10	124,38
07:40	0,73	00:10	14:20	125,10
07:50	0,73	00:10	14:30	125,83
08:00	0,73	00:10	14:40	126,55
08:10	0,73	00:10	14:50	127,28
08:20	0,73	00:10	15:00	128,00
08:30	0,05	00:10	15:10	128,05
08:40	0,05	00:10	15:20	128,10
08:50	0,05	00:10	15:30	128,15
09:00	0,05	00:10	15:40	128,20

Estación: Ciruelo

19:00				
19:10	0,60	00:10	00:10	0,60
19:20	0,60	00:10	00:20	1,20
19:30	0,76	00:10	00:30	1,96
19:40	0,76	00:10	00:40	2,71
19:50	0,76	00:10	00:50	3,47
20:00	0,76	00:10	01:00	4,23
20:10	0,76	00:10	01:10	4,99
20:20	0,76	00:10	01:20	5,74
20:30	0,76	00:10	01:30	6,50
20:40	0,50	00:10	01:40	7,00
20:50	0,50	00:10	01:50	7,50
21:00	0,50	00:10	02:00	8,00
21:10	1,07	00:10	02:10	9,07
21:20	1,07	00:10	02:20	10,13
21:30	1,07	00:10	02:30	11,20
21:40	1,07	00:10	02:40	12,27
21:50	1,07	00:10	02:50	13,33
22:00	1,07	00:10	03:00	14,40
22:10	1,07	00:10	03:10	15,47
22:20	1,07	00:10	03:20	16,53

Tiempo	Lluvia (mm)	Duración	Duración (min)	Lluvia acumulada (mm)
22:30	1,07	00:10	03:30	17,60
22:40	2,07	00:10	03:40	19,67
22:50	2,07	00:10	03:50	21,73
23:00	2,07	00:10	04:00	23,80
23:10	1,25	00:10	04:10	25,05
23:20	1,25	00:10	04:20	26,30
23:30	1,25	00:10	04:30	27,55
23:40	1,25	00:10	04:40	28,80
23:50	1,25	00:10	04:50	30,05
00:00	1,25	00:10	05:00	31,30
00:10	0,58	00:10	05:10	31,88
00:20	0,58	00:10	05:20	32,47
00:30	0,58	00:10	05:30	33,05
00:40	0,58	00:10	05:40	33,63
00:50	0,58	00:10	05:50	34,22
01:00	0,58	00:10	06:00	34,80
01:10	0,35	00:10	06:10	35,15
01:20	0,35	00:10	06:20	35,50
01:30	0,35	00:10	06:30	35,85
01:40	0,35	00:10	06:40	36,20
01:50	0,35	00:10	06:50	36,55
02:00	0,35	00:10	07:00	36,90
02:10	0,03	00:10	07:10	36,93
02:20	0,03	00:10	07:20	36,95
02:30	0,03	00:10	07:30	36,98
02:40	0,03	00:10	07:40	37,00
02:50	0,03	00:10	07:50	37,03
03:00	0,03	00:10	08:00	37,05
03:10	0,03	00:10	08:10	37,08
03:20	0,03	00:10	08:20	37,10
03:30	0,03	00:10	08:30	37,13
03:40	0,03	00:10	08:40	37,15
03:50	0,03	00:10	08:50	37,18
04:00	0,03	00:10	09:00	37,20
04:10	0,85	00:10	09:10	38,05
04:20	0,85	00:10	09:20	38,90
04:30	0,85	00:10	09:30	39,75
04:40	0,85	00:10	09:40	40,60
04:50	0,85	00:10	09:50	41,45
05:00	0,85	00:10	10:00	42,30

Tiempo	Lluvia (mm)	Duración	Duración (min)	Lluvia acumulada (mm)
05:10	0,40	00:10	10:10	42,70
05:20	0,40	00:10	10:20	43,10
05:30	0,40	00:10	10:30	43,50
05:40	0,40	00:10	10:40	43,90
05:50	0,40	00:10	10:50	44,30
06:00	0,40	00:10	11:00	44,70
06:10	0,05	00:10	11:10	44,75
06:20	0,05	00:10	11:20	44,80
06:30	0,05	00:10	11:30	44,85
06:40	0,05	00:10	11:40	44,90
06:50	0,05	00:10	11:50	44,95
07:00	0,05	00:10	12:00	45,00
07:10	0,05	00:10	12:10	45,05
07:20	0,05	00:10	12:20	45,10
07:30	0,05	00:10	12:30	45,15
07:40	0,05	00:10	12:40	45,20
07:50	0,05	00:10	12:50	45,25
08:00	0,05	00:10	13:00	45,30
08:10	0,05	00:10	13:10	45,35
08:20	0,05	00:10	13:20	45,40
08:30	0,05	00:10	13:30	45,45
08:40	0,05	00:10	13:40	45,50
08:50	0,05	00:10	13:50	45,55
09:00	0,05	00:10	14:00	45,60
09:10	2,15	00:10	14:10	47,75
09:20	2,15	00:10	14:20	49,90
09:30	2,15	00:10	14:30	52,05
09:40	2,15	00:10	14:40	54,20
09:50	2,15	00:10	14:50	56,35
10:00	2,15	00:10	15:00	58,50
10:10	0,07	00:10	15:10	58,57
10:20	0,07	00:10	15:20	58,63
10:30	0,07	00:10	15:30	58,70
10:40	0,07	00:10	15:40	58,77
10:50	0,07	00:10	15:50	58,83
11:00	0,07	00:10	16:00	58,90
11:10	0,07	00:10	16:10	58,97
11:20	0,07	00:10	16:20	59,03
11:30	0,07	00:10	16:30	59,10
11:40	0,07	00:10	16:40	59,17

Tiempo	Lluvia (mm)	Duración	Duración (min)	Lluvia acumulada (mm)
11:50	0,07	00:10	16:50	59,23
12:00	0,07	00:10	17:00	59,30

Estación: Paraje Grande

21:50				
22:00	6,40	00:10	00:10	6,40
22:10	6,40	00:10	00:20	12,80
22:20	3,24	00:10	00:30	16,04
22:30	0,09	00:10	00:40	16,13
22:40	0,09	00:10	00:50	16,21
22:50	0,09	00:10	01:00	16,30
23:00	0,09	00:10	01:10	16,39
23:10	0,09	00:10	01:20	16,47
23:20	0,09	00:10	01:30	16,56
23:30	0,09	00:10	01:40	16,64
23:40	0,09	00:10	01:50	16,73
23:50	0,09	00:10	02:00	16,81
00:00	0,09	00:10	02:10	16,90
00:10	0,78	00:10	02:20	17,68
00:20	0,78	00:10	02:30	18,46
00:30	0,78	00:10	02:40	19,24
00:40	0,78	00:10	02:50	20,02
00:50	0,78	00:10	03:00	20,80
01:00	0,37	00:10	03:10	21,17
01:10	0,37	00:10	03:20	21,54
01:20	0,37	00:10	03:30	21,91
01:30	0,37	00:10	03:40	22,29
01:40	0,37	00:10	03:50	22,66
01:50	0,37	00:10	04:00	23,03
02:00	0,37	00:10	04:10	23,40
02:10	0,12	00:10	04:20	23,52
02:20	0,12	00:10	04:30	23,64
02:30	0,26	00:10	04:40	23,90
02:40	0,40	00:10	04:50	24,30
02:50	1,71	00:10	05:00	26,01
03:00	3,01	00:10	05:10	29,02
03:10	3,01	00:10	05:20	32,03
03:20	3,01	00:10	05:30	35,04
03:30	3,01	00:10	05:40	38,05
03:40	3,01	00:10	05:50	41,06
03:50	3,01	00:10	06:00	44,08

Tiempo	Lluvia (mm)	Duración	Duración (min)	Lluvia acumulada (mm)
04:00	3,01	00:10	06:10	47,09
04:10	3,01	00:10	06:20	50,10
04:20	0,37	00:10	06:30	50,47
04:30	0,37	00:10	06:40	50,83
04:40	0,37	00:10	06:50	51,20
04:50	0,07	00:10	07:00	51,27
05:00	0,07	00:10	07:10	51,33
05:10	0,07	00:10	07:20	51,40
05:20	2,70	00:10	07:30	54,10
05:30	2,70	00:10	07:40	56,80
05:40	2,70	00:10	07:50	59,50
05:50	2,70	00:10	08:00	62,20
06:00	2,70	00:10	08:10	64,90
06:10	0,14	00:10	08:20	65,04
06:20	0,14	00:10	08:30	65,17
06:30	0,14	00:10	08:40	65,31
06:40	0,14	00:10	08:50	65,45
06:50	0,14	00:10	09:00	65,58
07:00	0,14	00:10	09:10	65,72
07:10	0,14	00:10	09:20	65,85
07:20	0,14	00:10	09:30	65,99
07:30	0,14	00:10	09:40	66,13
07:40	0,14	00:10	09:50	66,26
07:50	0,14	00:10	10:00	66,40

Estación: Puente Internacional

NO SE REGISTRO LLUVIA

Estación: Ayabaca (25 de Marzo)

00:00				
00:10	0,50	00:10	00:10	0,50
00:20	0,50	00:10	00:20	1,00
00:30	0,50	00:10	00:30	1,50
00:40	1,83	00:10	00:40	3,33
00:50	1,83	00:10	00:50	5,17
01:00	1,83	00:10	01:00	7,00
01:10	0,47	00:10	01:10	7,47
01:20	0,47	00:10	01:20	7,93
01:30	0,47	00:10	01:30	8,40
01:40	0,10	00:10	01:40	8,50
01:50	0,10	00:10	01:50	8,60
02:00	0,10	00:10	02:00	8,70

Tiempo	Lluvia (mm)	Duración	Duración (min)	Lluvia acumulada (mm)
02:10	0,10	00:10	02:10	8,80

Estación: Espíndola

NO SE REGISTRO LLUVIA

Anexo C: Tercer evento 21 y 22 de Marzo de 1983

Tiempo	Lluvia (mm)	Duración	Duración (min)	Lluvia acumulada (mm)
Estación: Ardilla				
20:00				
20:10	0,15	00:10	00:10	0,15
20:20	0,15	00:10	00:20	0,30
20:30	5,64	00:10	00:30	5,94
20:40	5,64	00:10	00:40	11,58
20:50	5,64	00:10	00:50	17,22
21:00	5,64	00:10	01:00	22,86
21:10	5,64	00:10	01:10	28,50
21:20	5,64	00:10	01:20	34,14
21:30	5,64	00:10	01:30	39,78
21:40	5,64	00:10	01:40	45,42
21:50	5,64	00:10	01:50	51,06
22:00	5,64	00:10	02:00	56,70
22:10	0,85	00:10	02:10	57,55
22:20	0,85	00:10	02:20	58,40
22:30	0,38	00:10	02:30	58,78
22:40	0,38	00:10	02:40	59,16
22:50	0,38	00:10	02:50	59,54
23:00	0,38	00:10	03:00	59,92
23:10	0,38	00:10	03:10	60,30
23:20	0,38	00:10	03:20	60,68
23:30	0,38	00:10	03:30	61,06
23:40	0,38	00:10	03:40	61,44
23:50	0,38	00:10	03:50	61,82
00:00	0,38	00:10	04:00	62,20
00:10	0,50	00:10	04:10	62,70
00:20	0,02	00:10	04:20	62,72
00:30	0,02	00:10	04:30	62,74
00:40	0,02	00:10	04:40	62,76
00:50	0,02	00:10	04:50	62,78
01:00	0,02	00:10	05:00	62,80
01:10	0,43	00:10	05:10	63,23
01:20	0,43	00:10	05:20	63,67
01:30	0,43	00:10	05:30	64,10
Estación: Ciruelo				
13:30				
13:40	2,93	00:10	00:10	2,93

Tiempo	Lluvia (mm)	Duración	Duración (min)	Lluvia acumulada (mm)
13:50	2,93	00:10	00:20	5,87
14:00	2,93	00:10	00:30	8,80
14:10	2,93	00:10	00:40	11,73
14:20	2,93	00:10	00:50	14,67
14:30	2,93	00:10	01:00	17,60
14:40	0,47	00:10	01:10	18,07
14:50	0,47	00:10	01:20	18,55
15:00	0,47	00:10	01:30	19,02
15:10	0,47	00:10	01:40	19,49
15:20	0,47	00:10	01:50	19,96
15:30	0,47	00:10	02:00	20,44
15:40	0,47	00:10	02:10	20,91
15:50	0,47	00:10	02:20	21,38
16:00	0,47	00:10	02:30	21,85
16:10	0,47	00:10	02:40	22,33
16:20	0,47	00:10	02:50	22,80

Estación: Paraje Grande

19:30				
19:40	6,00	00:10	00:10	6,00
19:50	6,00	00:10	00:20	12,00
20:00	0,09	00:10	00:30	12,09
20:10	0,09	00:10	00:40	12,17
20:20	0,09	00:10	00:50	12,26
20:30	0,09	00:10	01:00	12,34
20:40	0,09	00:10	01:10	12,43
20:50	0,09	00:10	01:20	12,51
21:00	0,09	00:10	01:30	12,60
21:10	0,48	00:10	01:40	13,08
21:20	0,48	00:10	01:50	13,56
21:30	0,26	00:10	02:00	13,82
21:40	0,03	00:10	02:10	13,85
21:50	0,03	00:10	02:20	13,88
22:00	0,03	00:10	02:30	13,91
22:10	0,03	00:10	02:40	13,94
22:20	0,03	00:10	02:50	13,97
22:30	0,03	00:10	03:00	14,00
22:40	0,01	00:10	03:10	14,01
22:50	0,01	00:10	03:20	14,01
23:00	0,01	00:10	03:30	14,02
23:10	0,01	00:10	03:40	14,02

Tiempo	Lluvia (mm)	Duración	Duración (min)	Lluvia acumulada (mm)
23:20	0,01	00:10	03:50	14,03
23:30	0,01	00:10	04:00	14,03
23:40	0,01	00:10	04:10	14,04
23:50	0,01	00:10	04:20	14,04
00:00	0,01	00:10	04:30	14,05
00:10	0,01	00:10	04:40	14,06
00:20	0,01	00:10	04:50	14,06
00:30	0,01	00:10	05:00	14,07
00:40	0,01	00:10	05:10	14,07
00:50	0,01	00:10	05:20	14,08
01:00	0,01	00:10	05:30	14,08
01:10	0,01	00:10	05:40	14,09
01:20	0,01	00:10	05:50	14,09
01:30	0,01	00:10	06:00	14,10

Estación: Puente Internacional

21:45				
21:55	4,65	00:10	00:10	4,65
22:05	0,58	00:10	00:20	5,23
22:15	0,25	00:10	00:30	5,48
22:25	1,04	00:10	00:40	6,52
22:35	1,83	00:10	00:50	8,35
22:45	1,83	00:10	01:00	10,18
22:55	4,90	00:10	01:10	15,08
23:05	7,97	00:10	01:20	23,05
23:15	7,97	00:10	01:30	31,02
23:25	4,98	00:10	01:40	36,00
23:35	2,00	00:10	01:50	38,00
23:45	1,43	00:10	02:00	39,43
23:55	0,85	00:10	02:10	40,28
00:05	0,59	00:10	02:20	40,87
00:15	0,34	00:10	02:30	41,21
00:25	0,34	00:10	02:40	41,54
00:35	0,34	00:10	02:50	41,88
00:45	0,34	00:10	03:00	42,22
00:55	0,34	00:10	03:10	42,56
01:05	0,34	00:10	03:20	42,89
01:15	0,34	00:10	03:30	43,23

Anexo D: Cuarto evento 02 y 03 de Marzo de 1983

Tiempo	Lluvia (mm)	Duración	Duración (min)	Lluvia acumulada (mm)
Estación: Ardilla				
19:00				
19:10	6,88	00:10	00:10	6,88
19:20	6,88	00:10	00:20	13,77
19:30	6,88	00:10	00:30	20,65
19:40	6,88	00:10	00:40	27,53
19:50	6,88	00:10	00:50	34,42
20:00	6,88	00:10	01:00	41,30
20:10	6,88	00:10	01:10	48,18
20:20	6,88	00:10	01:20	55,07
20:30	6,88	00:10	01:30	61,95
20:40	6,88	00:10	01:40	68,83
20:50	6,88	00:10	01:50	75,72
21:00	6,88	00:10	02:00	82,60
21:10	1,50	00:10	02:10	84,10
21:20	2,86	00:10	02:20	86,96
21:30	2,86	00:10	02:30	89,81
21:40	2,86	00:10	02:40	92,67
21:50	2,86	00:10	02:50	95,53
22:00	2,86	00:10	03:00	98,39
22:10	2,86	00:10	03:10	101,24
22:20	2,86	00:10	03:20	104,10
22:30	0,13	00:10	03:30	104,23
22:40	0,13	00:10	03:40	104,35
22:50	0,13	00:10	03:50	104,48
23:00	0,13	00:10	04:00	104,60
23:10	0,60	00:10	04:10	105,20
23:20	0,60	00:10	04:20	105,80
23:30	0,60	00:10	04:30	106,40
23:40	0,60	00:10	04:40	107,00
23:50	0,60	00:10	04:50	107,60
00:00	0,20	00:10	05:00	107,80
00:10	0,01	00:10	05:10	107,81
00:20	0,01	00:10	05:20	107,82
00:30	0,01	00:10	05:30	107,83
00:40	0,01	00:10	05:40	107,84
00:50	0,01	00:10	05:50	107,85
01:00	0,01	00:10	06:00	107,86

Tiempo	Lluvia (mm)	Duración	Duración (min)	Lluvia acumulada (mm)
01:10	0,01	00:10	06:10	107,87
01:20	0,01	00:10	06:20	107,88
01:30	0,01	00:10	06:30	107,89
01:40	0,01	00:10	06:40	107,90
01:50	0,15	00:10	06:50	108,05
02:00	0,15	00:10	07:00	108,20

Estación: Ciruelo

20:00				
20:10	0,12	00:10	00:10	0,12
20:20	0,12	00:10	00:20	0,23
20:30	0,12	00:10	00:30	0,35
20:40	0,12	00:10	00:40	0,47
20:50	0,12	00:10	00:50	0,58
21:00	0,12	00:10	01:00	0,70
21:10	0,12	00:10	01:10	0,82
21:20	0,12	00:10	01:20	0,93
21:30	0,12	00:10	01:30	1,05
21:40	0,12	00:10	01:40	1,17
21:50	0,12	00:10	01:50	1,28
22:00	0,12	00:10	02:00	1,40
22:10	0,47	00:10	02:10	1,87
22:20	0,47	00:10	02:20	2,33
22:30	0,47	00:10	02:30	2,80
22:40	0,47	00:10	02:40	3,27
22:50	0,47	00:10	02:50	3,73
23:00	0,47	00:10	03:00	4,20
23:10	2,78	00:10	03:10	6,98
23:20	2,78	00:10	03:20	9,77
23:30	2,78	00:10	03:30	12,55
23:40	2,78	00:10	03:40	15,33
23:50	2,78	00:10	03:50	18,12
00:00	2,78	00:10	04:00	20,90
00:10	0,87	00:10	04:10	21,77
00:20	0,87	00:10	04:20	22,63
00:30	0,87	00:10	04:30	23,50
00:40	0,87	00:10	04:40	24,37
00:50	0,87	00:10	04:50	25,23
01:00	0,87	00:10	05:00	26,10
01:10	0,87	00:10	05:10	26,97
01:20	0,87	00:10	05:20	27,83

Tiempo	Lluvia (mm)	Duración	Duración (min)	Lluvia acumulada (mm)
01:30	0,87	00:10	05:30	28,70
01:40	0,87	00:10	05:40	29,57
01:50	0,87	00:10	05:50	30,43
02:00	0,87	00:10	06:00	31,30
02:10	0,72	00:10	06:10	32,02
02:20	0,72	00:10	06:20	32,73
02:30	0,72	00:10	06:30	33,45
02:40	0,72	00:10	06:40	34,17
02:50	0,72	00:10	06:50	34,88
03:00	0,72	00:10	07:00	35,60
03:10	0,08	00:10	07:10	35,68
03:20	0,08	00:10	07:20	35,76
03:30	0,08	00:10	07:30	35,83
03:40	0,08	00:10	07:40	35,91
03:50	0,08	00:10	07:50	35,99
04:00	0,08	00:10	08:00	36,07
04:10	0,08	00:10	08:10	36,14
04:20	0,08	00:10	08:20	36,22
04:30	0,08	00:10	08:30	36,30
04:40	0,08	00:10	08:40	36,38
04:50	0,08	00:10	08:50	36,46
05:00	0,08	00:10	09:00	36,53
05:10	0,08	00:10	09:10	36,61
05:20	0,08	00:10	09:20	36,69
05:30	0,08	00:10	09:30	36,77
05:40	0,08	00:10	09:40	36,84
05:50	0,08	00:10	09:50	36,92
06:00	0,08	00:10	10:00	37,00

Estación: Paraje Grande

17:20				
17:30	0,24	00:10	00:10	0,24
17:40	0,24	00:10	00:20	0,48
17:50	0,13	00:10	00:30	0,61
18:00	0,02	00:10	00:40	0,62
18:10	0,02	00:10	00:50	0,64
18:20	0,02	00:10	01:00	0,66
18:30	0,02	00:10	01:10	0,67
18:40	0,02	00:10	01:20	0,69
18:50	0,02	00:10	01:30	0,70
19:00	0,02	00:10	01:40	0,72

Tiempo	Lluvia (mm)	Duración	Duración (min)	Lluvia acumulada (mm)
19:10	0,02	00:10	01:50	0,74
19:20	0,02	00:10	02:00	0,75
19:30	0,02	00:10	02:10	0,77
19:40	0,02	00:10	02:20	0,78
19:50	0,02	00:10	02:30	0,80
20:00	3,40	00:10	02:40	4,20
20:10	0,10	00:10	02:50	4,30
20:20	3,28	00:10	03:00	7,58
20:30	3,28	00:10	03:10	10,85
20:40	3,28	00:10	03:20	14,13
20:50	3,28	00:10	03:30	17,41
21:00	3,28	00:10	03:40	20,68
21:10	3,28	00:10	03:50	23,96
21:20	2,49	00:10	04:00	26,45
21:30	1,71	00:10	04:10	28,16
21:40	1,71	00:10	04:20	29,86
21:50	1,71	00:10	04:30	31,57
22:00	1,71	00:10	04:40	33,27
22:10	1,71	00:10	04:50	34,98
22:20	1,71	00:10	05:00	36,68
22:30	1,71	00:10	05:10	38,39
22:40	1,71	00:10	05:20	40,09
22:50	1,71	00:10	05:30	41,80
23:00	0,54	00:10	05:40	42,34
23:10	0,54	00:10	05:50	42,89
23:20	0,54	00:10	06:00	43,43

Estación: Puente Internacional

17:40				
17:50	2,52	00:10	00:10	2,52
18:00	2,52	00:10	00:20	5,04
18:10	2,52	00:10	00:30	7,56
18:20	2,52	00:10	00:40	10,08
18:30	2,52	00:10	00:50	12,60
18:40	1,00	00:10	01:00	13,60
18:50	0,63	00:10	01:10	14,23
19:00	0,25	00:10	01:20	14,48
19:10	0,25	00:10	01:30	14,73
19:20	0,25	00:10	01:40	14,98
19:30	0,81	00:10	01:50	15,79
19:40	1,37	00:10	02:00	17,16

Tiempo	Lluvia (mm)	Duración	Duración (min)	Lluvia acumulada (mm)
19:50	1,37	00:10	02:10	18,53
20:00	1,37	00:10	02:20	19,91
20:10	1,37	00:10	02:30	21,28
20:20	1,37	00:10	02:40	22,65
20:30	1,37	00:10	02:50	24,03
20:40	1,37	00:10	03:00	25,40
20:50	0,81	00:10	03:10	26,21
21:00	0,81	00:10	03:20	27,02
21:10	0,81	00:10	03:30	27,82
21:20	0,81	00:10	03:40	28,63
21:30	0,81	00:10	03:50	29,44
21:40	0,81	00:10	04:00	30,25
21:50	0,81	00:10	04:10	31,05
22:00	0,81	00:10	04:20	31,86
22:10	0,81	00:10	04:30	32,67
22:20	0,81	00:10	04:40	33,48
22:30	0,81	00:10	04:50	34,28
22:40	0,81	00:10	05:00	35,09
22:50	0,81	00:10	05:10	35,90
23:00	0,17	00:10	05:20	36,07
23:10	0,17	00:10	05:30	36,23
23:20	0,17	00:10	05:40	36,40
23:30	0,17	00:10	05:50	36,57
23:40	0,17	00:10	06:00	36,73
23:50	0,17	00:10	06:10	36,90
00:00	0,17	00:10	06:20	37,07
00:10	0,17	00:10	06:30	37,23
00:20	0,17	00:10	06:40	37,40
00:30	0,20	00:10	06:50	37,60
00:40	0,20	00:10	07:00	37,80
00:50	0,20	00:10	07:10	38,00
01:00	0,20	00:10	07:20	38,20

Estación: Ayabaca

18:00				
18:10	3,00	00:10	00:10	3,00
18:20	0,06	00:10	00:20	3,06
18:30	0,06	00:10	00:30	3,13
18:40	0,06	00:10	00:40	3,19
18:50	0,06	00:10	00:50	3,25
19:00	0,06	00:10	01:00	3,31

Tiempo	Lluvia (mm)	Duración	Duración (min)	Lluvia acumulada (mm)
19:10	0,06	00:10	01:10	3,38
19:20	0,06	00:10	01:20	3,44
19:30	0,06	00:10	01:30	3,50
19:40	0,80	00:10	01:40	4,30
19:50	0,80	00:10	01:50	5,10
20:00	0,80	00:10	02:00	5,90
20:10	0,80	00:10	02:10	6,70
20:20	0,80	00:10	02:20	7,50
20:30	4,83	00:10	02:30	12,33
20:40	4,83	00:10	02:40	17,17
20:50	4,83	00:10	02:50	22,00
21:00	0,64	00:10	03:00	22,64
21:10	0,64	00:10	03:10	23,29
21:20	0,64	00:10	03:20	23,93
21:30	0,64	00:10	03:30	24,57
21:40	0,64	00:10	03:40	25,21
21:50	0,64	00:10	03:50	25,86
22:00	0,64	00:10	04:00	26,50
22:10	0,08	00:10	04:10	26,58
22:20	0,08	00:10	04:20	26,67
22:30	0,08	00:10	04:30	26,75
22:40	0,08	00:10	04:40	26,83
22:50	0,08	00:10	04:50	26,92
23:00	0,08	00:10	05:00	27,00
23:10	0,08	00:10	05:10	27,08
23:20	0,08	00:10	05:20	27,17
23:30	0,08	00:10	05:30	27,25
23:40	0,08	00:10	05:40	27,33
23:50	0,08	00:10	05:50	27,42
00:00	0,08	00:10	06:00	27,50

Estación: Espíndola

14:40				
14:50	4,13	00:10	00:10	4,13
15:00	4,13	00:10	00:20	8,25
15:10	4,13	00:10	00:30	12,38
15:20	4,13	00:10	00:40	16,50
15:30	4,13	00:10	00:50	20,63
15:40	4,13	00:10	01:00	24,75
15:50	4,13	00:10	01:10	28,88
16:00	4,13	00:10	01:20	33,00

Tiempo	Lluvia (mm)	Duración	Duración (min)	Lluvia acumulada (mm)
16:10	0,95	00:10	01:30	33,95
16:20	0,95	00:10	01:40	34,90
16:30	0,95	00:10	01:50	35,85
16:40	0,95	00:10	02:00	36,80
16:50	0,95	00:10	02:10	37,75
17:00	0,95	00:10	02:20	38,70
17:10	0,64	00:10	02:30	39,34
17:20	0,64	00:10	02:40	39,98
17:30	0,64	00:10	02:50	40,62
17:40	0,64	00:10	03:00	41,26
17:50	0,64	00:10	03:10	41,90
18:00	0,10	00:10	03:20	42,00
18:10	0,10	00:10	03:30	42,10
18:20	0,10	00:10	03:40	42,20
18:30	0,20	00:10	03:50	42,40
18:40	0,20	00:10	04:00	42,60
18:50	0,20	00:10	04:10	42,80
19:00	0,20	00:10	04:20	43,00
19:10	0,20	00:10	04:30	43,20
19:20	0,20	00:10	04:40	43,40
19:30	0,20	00:10	04:50	43,60
19:40	0,20	00:10	05:00	43,80
19:50	0,20	00:10	05:10	44,00
20:00	0,20	00:10	05:20	44,20
20:10	0,36	00:10	05:30	44,56
20:20	0,36	00:10	05:40	44,91
20:30	0,36	00:10	05:50	45,27
20:40	0,36	00:10	06:00	45,63
20:50	0,36	00:10	06:10	45,99
21:00	0,36	00:10	06:20	46,34
21:10	0,36	00:10	06:30	46,70
21:20	0,38	00:10	06:40	47,08
21:30	0,38	00:10	06:50	47,46
21:40	0,38	00:10	07:00	47,84
21:50	0,38	00:10	07:10	48,22
22:00	0,38	00:10	07:20	48,60

Anexo E: Quinto evento 03 y 04 de Marzo de 1983

Tiempo	Lluvia (mm)	Duración	Duración (min)	Lluvia acumulada (mm)
Estación: Ardilla				
21:50				
22:00	1,90	00:10	00:10	1,90
22:10	0,22	00:10	00:20	2,12
22:20	0,23	00:10	00:30	2,35
22:30	0,23	00:10	00:40	2,59
22:40	0,23	00:10	00:50	2,82
22:50	0,23	00:10	01:00	3,06
23:00	0,23	00:10	01:10	3,29
23:10	0,23	00:10	01:20	3,53
23:20	0,23	00:10	01:30	3,76
23:30	0,23	00:10	01:40	4,00
23:40	0,23	00:10	01:50	4,23
23:50	0,23	00:10	02:00	4,47
00:00	0,23	00:10	02:10	4,70
00:10	0,28	00:10	02:20	4,98
00:20	0,28	00:10	02:30	5,25
00:30	0,28	00:10	02:40	5,53
00:40	0,28	00:10	02:50	5,80
00:50	0,77	00:10	03:00	6,57
01:00	0,77	00:10	03:10	7,33
01:10	0,77	00:10	03:20	8,10
01:20	0,77	00:10	03:30	8,87
01:30	0,77	00:10	03:40	9,63
01:40	0,77	00:10	03:50	10,40
01:50	0,20	00:10	04:00	10,60
02:00	4,00	00:10	04:10	14,60
02:10	1,17	00:10	04:20	15,77
02:20	1,17	00:10	04:30	16,93
02:30	1,17	00:10	04:40	18,10
02:40	1,17	00:10	04:50	19,27
02:50	1,17	00:10	05:00	20,43
03:00	1,17	00:10	05:10	21,60
03:10	1,08	00:10	05:20	22,68
03:20	1,08	00:10	05:30	23,77
03:30	1,08	00:10	05:40	24,85
03:40	1,08	00:10	05:50	25,93
03:50	1,08	00:10	06:00	27,02

Tiempo	Lluvia (mm)	Duración	Duración (min)	Lluvia acumulada (mm)
04:00	1,08	00:10	06:10	28,10

Estación: Ciruelo

19:20				
19:30	1,15	00:10	00:10	1,15
19:40	1,15	00:10	00:20	2,30
19:50	1,15	00:10	00:30	3,45
20:00	1,15	00:10	00:40	4,60
20:10	1,15	00:10	00:50	5,75
20:20	1,15	00:10	01:00	6,90
20:30	1,15	00:10	01:10	8,05
20:40	1,15	00:10	01:20	9,20
20:50	1,15	00:10	01:30	10,35
21:00	1,15	00:10	01:40	11,50
21:10	0,58	00:10	01:50	12,08
21:20	0,58	00:10	02:00	12,67
21:30	0,58	00:10	02:10	13,25
21:40	0,58	00:10	02:20	13,83
21:50	0,58	00:10	02:30	14,42
22:00	0,58	00:10	02:40	15,00
22:10	0,23	00:10	02:50	15,23
22:20	0,23	00:10	03:00	15,47
22:30	0,23	00:10	03:10	15,70
22:40	0,23	00:10	03:20	15,93
22:50	0,23	00:10	03:30	16,17
23:00	0,23	00:10	03:40	16,40
23:10	0,07	00:10	03:50	16,47
23:20	0,07	00:10	04:00	16,54
23:30	0,07	00:10	04:10	16,62
23:40	0,07	00:10	04:20	16,69
23:50	0,07	00:10	04:30	16,76
00:00	0,07	00:10	04:40	16,83
00:10	0,07	00:10	04:50	16,91
00:20	0,07	00:10	05:00	16,98
00:30	0,07	00:10	05:10	17,05
00:40	0,07	00:10	05:20	17,12
00:50	0,07	00:10	05:30	17,19
01:00	0,07	00:10	05:40	17,27
01:10	0,07	00:10	05:50	17,34
01:20	0,07	00:10	06:00	17,41
01:30	0,07	00:10	06:10	17,48

Tiempo	Lluvia (mm)	Duración	Duración (min)	Lluvia acumulada (mm)
01:40	0,07	00:10	06:20	17,56
01:50	0,07	00:10	06:30	17,63
02:00	0,07	00:10	06:40	17,70

Estación: Paraje Grande

13:50				
14:00	4,70	00:10	00:10	4,70
14:10	4,70	00:10	00:20	9,40
14:20	4,70	00:10	00:30	14,10
14:30	0,40	00:10	00:40	14,50

Estación: Puente Internacional

18:00				
18:10	8,46	00:10	00:10	8,46
18:20	3,92	00:10	00:20	12,38
18:30	3,92	00:10	00:30	16,30
18:40	1,13	00:10	00:40	17,43
18:50	0,90	00:10	00:50	18,33
19:00	0,67	00:10	01:00	19,00

Anexo F: Sexto evento 02 y 03 de Abril de 1983

Tiempo	Lluvia (mm)	Duración	Duración (min)	Lluvia acumulada (mm)
Estación: Ardilla				
19:00				
19:10	2,88	00:10	00:10	2,88
19:20	2,88	00:10	00:20	5,75
19:30	2,88	00:10	00:30	8,63
19:40	2,88	00:10	00:40	11,50
19:50	0,00	00:10	00:50	11,50
20:00	0,00	00:10	01:00	11,51
20:10	0,00	00:10	01:10	11,51
20:20	0,00	00:10	01:20	11,52
20:30	0,00	00:10	01:30	11,52
20:40	0,00	00:10	01:40	11,52
20:50	0,00	00:10	01:50	11,53
21:00	0,00	00:10	02:00	11,53
21:10	0,00	00:10	02:10	11,54
21:20	0,00	00:10	02:20	11,54
21:30	0,00	00:10	02:30	11,54
21:40	0,00	00:10	02:40	11,55
21:50	0,00	00:10	02:50	11,55
22:00	0,00	00:10	03:00	11,55
22:10	0,00	00:10	03:10	11,56
22:20	0,00	00:10	03:20	11,56
22:30	0,00	00:10	03:30	11,57
22:40	0,00	00:10	03:40	11,57
22:50	0,00	00:10	03:50	11,57
23:00	0,00	00:10	04:00	11,58
23:10	0,00	00:10	04:10	11,58
23:20	0,00	00:10	04:20	11,59
23:30	0,00	00:10	04:30	11,59
23:40	0,00	00:10	04:40	11,59
23:50	0,00	00:10	04:50	11,60
00:00	1,10	00:10	05:00	12,70
00:10	0,50	00:10	05:10	13,20
00:20	0,50	00:10	05:20	13,70
00:30	0,50	00:10	05:30	14,20
00:40	0,50	00:10	05:40	14,70
00:50	0,50	00:10	05:50	15,20
01:00	0,43	00:10	06:00	15,63

Tiempo	Lluvia (mm)	Duración	Duración (min)	Lluvia acumulada (mm)
01:10	0,43	00:10	06:10	16,06
01:20	0,43	00:10	06:20	16,49
01:30	0,43	00:10	06:30	16,91
01:40	0,43	00:10	06:40	17,34
01:50	0,43	00:10	06:50	17,77
02:00	0,43	00:10	07:00	18,20
02:10	0,33	00:10	07:10	18,53
02:20	0,33	00:10	07:20	18,87
02:30	0,33	00:10	07:30	19,20
02:40	0,33	00:10	07:40	19,53
02:50	0,33	00:10	07:50	19,87
03:00	0,33	00:10	08:00	20,20
03:10	0,33	00:10	08:10	20,53
03:20	0,33	00:10	08:20	20,87
03:30	0,33	00:10	08:30	21,20
03:40	0,50	00:10	08:40	21,70
03:50	0,50	00:10	08:50	22,20
04:00	0,50	00:10	09:00	22,70
04:10	0,03	00:10	09:10	22,73
04:20	0,03	00:10	09:20	22,77
04:30	0,03	00:10	09:30	22,80
04:40	0,03	00:10	09:40	22,83
04:50	0,03	00:10	09:50	22,87
05:00	0,03	00:10	10:00	22,90
05:10	0,03	00:10	10:10	22,93
05:20	0,03	00:10	10:20	22,97
05:30	0,03	00:10	10:30	23,00
05:40	0,03	00:10	10:40	23,03
05:50	0,03	00:10	10:50	23,07
06:00	0,03	00:10	11:00	23,10

Estación: Ciruelo

21:30				
21:40	2,50	00:10	00:10	2,50
21:50	2,50	00:10	00:20	5,00
22:00	2,50	00:10	00:30	7,50
22:10	0,78	00:10	00:40	8,28
22:20	0,78	00:10	00:50	9,05
22:30	0,78	00:10	01:00	9,83
22:40	0,78	00:10	01:10	10,60
22:50	0,78	00:10	01:20	11,38

Tiempo	Lluvia (mm)	Duración	Duración (min)	Lluvia acumulada (mm)
23:00	0,78	00:10	01:30	12,15
23:10	0,78	00:10	01:40	12,93
23:20	0,78	00:10	01:50	13,70
23:30	0,78	00:10	02:00	14,48
23:40	0,78	00:10	02:10	15,25
23:50	0,78	00:10	02:20	16,03
00:00	0,78	00:10	02:30	16,80
00:10	0,43	00:10	02:40	17,23
00:20	0,43	00:10	02:50	17,67
00:30	0,43	00:10	03:00	18,10
00:40	0,43	00:10	03:10	18,53
00:50	0,43	00:10	03:20	18,97
01:00	0,43	00:10	03:30	19,40
01:10	0,71	00:10	03:40	20,11
01:20	0,71	00:10	03:50	20,82
01:30	0,71	00:10	04:00	21,53
01:40	0,71	00:10	04:10	22,23
01:50	0,71	00:10	04:20	22,94
02:00	0,71	00:10	04:30	23,65
02:10	0,71	00:10	04:40	24,36
02:20	0,71	00:10	04:50	25,07
02:30	0,71	00:10	05:00	25,78
02:40	0,71	00:10	05:10	26,48
02:50	0,71	00:10	05:20	27,19
03:00	0,71	00:10	05:30	27,90
03:10	0,52	00:10	05:40	28,42
03:20	0,52	00:10	05:50	28,93
03:30	0,52	00:10	06:00	29,45
03:40	0,52	00:10	06:10	29,97
03:50	0,52	00:10	06:20	30,48
04:00	0,52	00:10	06:30	31,00
04:10	0,11	00:10	06:40	31,11
04:20	0,11	00:10	06:50	31,22
04:30	0,11	00:10	07:00	31,33
04:40	0,11	00:10	07:10	31,44
04:50	0,11	00:10	07:20	31,56
05:00	0,11	00:10	07:30	31,67
05:10	0,11	00:10	07:40	31,78
05:20	0,11	00:10	07:50	31,89
05:30	0,11	00:10	08:00	32,00

Tiempo	Lluvia (mm)	Duración	Duración (min)	Lluvia acumulada (mm)
05:40	0,11	00:10	08:10	32,11
05:50	0,11	00:10	08:20	32,22
06:00	0,11	00:10	08:30	32,33
06:10	0,11	00:10	08:40	32,44
06:20	0,11	00:10	08:50	32,56
06:30	0,11	00:10	09:00	32,67
06:40	0,11	00:10	09:10	32,78
06:50	0,11	00:10	09:20	32,89
07:00	0,11	00:10	09:30	33,00

Estación: Paraje Grande

17:00				
17:10	1,20	00:10	00:10	1,20
17:20	1,20	00:10	00:20	2,40
17:30	0,60	00:10	00:30	3,00
17:40	0,01	00:10	00:40	3,01
17:50	0,01	00:10	00:50	3,02
18:00	0,01	00:10	01:00	3,02
18:10	0,01	00:10	01:10	3,03
18:20	0,01	00:10	01:20	3,04
18:30	0,01	00:10	01:30	3,04
18:40	0,01	00:10	01:40	3,05
18:50	0,01	00:10	01:50	3,05
19:00	0,01	00:10	02:00	3,06
19:10	0,01	00:10	02:10	3,07
19:20	0,01	00:10	02:20	3,07
19:30	0,01	00:10	02:30	3,08
19:40	0,01	00:10	02:40	3,09
19:50	0,01	00:10	02:50	3,09
20:00	0,01	00:10	03:00	3,10
20:10	3,68	00:10	03:10	6,78
20:20	3,68	00:10	03:20	10,46
20:30	1,88	00:10	03:30	12,34
20:40	0,09	00:10	03:40	12,43
20:50	0,09	00:10	03:50	12,51
21:00	0,09	00:10	04:00	12,60
21:10	0,01	00:10	04:10	12,61
21:20	0,01	00:10	04:20	12,62
21:30	0,01	00:10	04:30	12,63
21:40	0,01	00:10	04:40	12,64
21:50	0,01	00:10	04:50	12,65

Tiempo	Lluvia (mm)	Duración	Duración (min)	Lluvia acumulada (mm)
22:00	0,01	00:10	05:00	12,66
22:10	0,01	00:10	05:10	12,67
22:20	0,01	00:10	05:20	12,68
22:30	0,01	00:10	05:30	12,69
22:40	0,01	00:10	05:40	12,70
22:50	0,04	00:10	05:50	12,74
23:00	0,08	00:10	06:00	12,81
23:10	0,08	00:10	06:10	12,89
23:20	0,08	00:10	06:20	12,96
23:30	0,44	00:10	06:30	13,40
23:40	0,01	00:10	06:40	13,41
23:50	0,01	00:10	06:50	13,43
00:00	0,01	00:10	07:00	13,44
00:10	0,01	00:10	07:10	13,45
00:20	0,01	00:10	07:20	13,47
00:30	0,01	00:10	07:30	13,48
00:40	0,01	00:10	07:40	13,49
00:50	0,08	00:10	07:50	13,57
01:00	0,14	00:10	08:00	13,71
01:10	0,14	00:10	08:10	13,86
01:20	0,14	00:10	08:20	14,00
01:30	0,05	00:10	08:30	14,05
01:40	0,05	00:10	08:40	14,10
01:50	0,05	00:10	08:50	14,15
02:00	0,05	00:10	09:00	14,20
02:10	0,25	00:10	09:10	14,45
02:20	0,25	00:10	09:20	14,70
02:30	0,07	00:10	09:30	14,77
02:40	0,07	00:10	09:40	14,83
02:50	0,07	00:10	09:50	14,90
03:00	0,07	00:10	10:00	14,97
03:10	0,07	00:10	10:10	15,03
03:20	0,07	00:10	10:20	15,10
03:30	0,07	00:10	10:30	15,17

Estación: Puente Internacional

21:50				
22:00	1,43	00:10	00:10	1,43
22:10	1,43	00:10	00:20	2,85
22:20	1,43	00:10	00:30	4,28
22:30	1,43	00:10	00:40	5,70

Tiempo	Lluvia (mm)	Duración	Duración (min)	Lluvia acumulada (mm)
22:40	0,25	00:10	00:50	5,95
22:50	0,25	00:10	01:00	6,20
23:00	0,25	00:10	01:10	6,45
23:10	0,25	00:10	01:20	6,70
23:20	0,25	00:10	01:30	6,95
23:30	0,25	00:10	01:40	7,20
23:40	0,65	00:10	01:50	7,85
23:50	0,65	00:10	02:00	8,49
00:00	0,65	00:10	02:10	9,14
00:10	0,65	00:10	02:20	9,78
00:20	0,65	00:10	02:30	10,43
00:30	0,65	00:10	02:40	11,08
00:40	0,65	00:10	02:50	11,72
00:50	0,65	00:10	03:00	12,37
01:00	0,65	00:10	03:10	13,02
01:10	0,65	00:10	03:20	13,66
01:20	0,65	00:10	03:30	14,31
01:30	0,65	00:10	03:40	14,95
01:40	0,65	00:10	03:50	15,60
01:50	0,23	00:10	04:00	15,83
02:00	0,23	00:10	04:10	16,05
02:10	0,23	00:10	04:20	16,28
02:20	0,23	00:10	04:30	16,51
02:30	0,23	00:10	04:40	16,74
02:40	0,23	00:10	04:50	16,96
02:50	0,23	00:10	05:00	17,19
03:00	0,23	00:10	05:10	17,42
03:10	0,23	00:10	05:20	17,65
03:20	0,23	00:10	05:30	17,87
03:30	0,23	00:10	05:40	18,10

ANEXO G

Tabla 1 Números de curva de escorrentía para usos selectos de tierra agrícola, suburbana y urbana (condición AMC II, Ia =0.2 S)

DESCRIPCIÓN DEL USO DE LA TIERRA	GRUPO HIDROLÓGICO DEL SUELO			
	A	B	C	D
Tierra cultivada[1]: sin tratamientos de conservación	72	81	88	91
con tratamiento de conservación	62	71	78	81
Pastizales: condiciones pobres	68	79	86	89
condiciones óptimas	39	61	74	80
Vegas de ríos: condiciones óptimas	30	58	71	78
Bosques: troncos delgados, cubierta pobre, sin hierbas,	45	66	77	83
cubierta buena[2]	25	55	70	77
Área abiertas, césped, parques, campos de golf, cementerios, etc.				
óptimas condiciones: cubierta de pasto en el 75% o más	39	61	74	80
condiciones aceptables cubierta de pasto en el 50 al 75%	49	69	79	84
Áreas comerciales de negocios (85% impermeables)	89	92	94	95
Distritos Industriales /72% impermeables)	81	88	91	93
Residencial[3]:				
Tamaño promedio del lote — Porcentaje promedio impermeable[4]				
1/8 acre o menos — 65	77	85	90	92
1/4 acre — 38	61	75	83	87
1/3 acre — 30	57	72	81	86
1/2 acre — 25	54	70	80	85
1 acre — 20	51	68	79	84
Parqueadores pavimentados, techos, accesos, etc.[5]	98	98	98	98
Calles y carreteras:				
Pavimentados con cunetas y alcantarillados[5]	98	98	98	98
Grava	76	85	89	91
Tierra	72	82	87	89

Tabla 2 Clasificación hidrológica de los suelos

Grupo hidrológico de suelo	**Descripción**
Grupo A	Arena profunda, suelos profundos depositados por el viento, limos agregados.
Grupo B	Suelos poco profundos depositados por el viento, marga arenosa.
Grupo C	Margas arcillosas, margas arenosas poco profundas, suelos con bajo contenido orgánico y suelos con altos contenido de arcilla.
Grupo D	Suelos que se expanden significativamente cuando se mojan, arcillas altamente plásticas y ciertos suelos salinos.