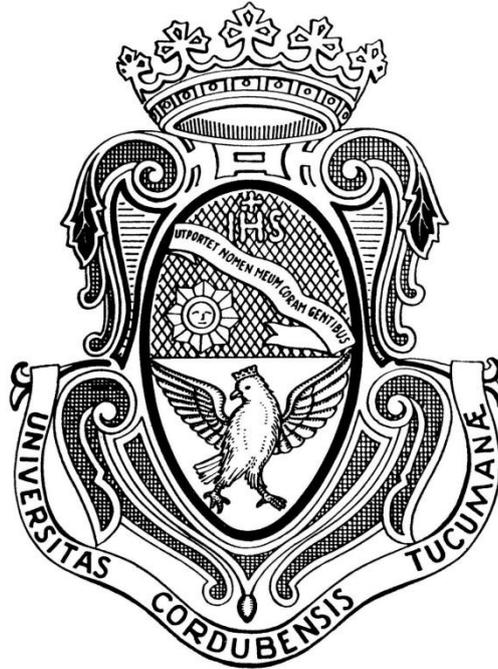


UNIVERSIDAD NACIONAL DE CÓRDOBA
FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS, FÍSICAS Y NATURALES
INFORME FINAL PRÁCTICA SUPERVISADA



BASES PARA MEJORAR LA PERFORMANCE DE UN MODELO HIDROLÓGICO
CONCENTRADO FRENTE A DISTINTOS PATRONES DE DISTRIBUCIÓN AREAL DE
PRECIPITACIONES

Aplicación a la cuenca del río San Antonio

Nicolás Bustos

2014

Tutor Docente: Ing. Facundo José Alonso

Tutor Externo: Ing. Nicolás Guillen

Agradecimientos:

A mi familia por su apoyo y constante animo a seguir adelante.

A mis amigos por recordarme que estudiar es solo una parte de la vida.

A mis amigos y grupo de estudio que en malos momentos me ayudaron a ver las cosas con más claridad.

Mis dos tías, que me ayudaron durante toda mi carrera y sobretodo este último semestre.

A mi director de Práctica Profesional, Mg. Ing. Facundo José Alonso, por su dedicación, atención y constante guía a lo largo de este camino.

Al Ing. Carlos Marcelo García, director del Centro de Estudios y Tecnología del Agua (C.E.T.A), gracias por brindarme la oportunidad de realizar mi PS.

Agradezco a los centros de vinculación: CETA e ISEA por ofrecerme y poner a mi disposición un lugar de trabajo.

Finalmente quiero agradecer a todos aquellos que aportaron su conocimiento y tiempo en enseñarme e instruirme:

Ing. María Jose Martin, por darme las bases para continuar con la investigación de la cuenca del San Antonio

Ing. Javier Alvarez e Ing. Alejo Testa, por enseñarme a utilizar herramientas de sistemas de información geográfica.

Ing. Nicolás Guillen, por su atención y ayuda en distintos aspectos.

Ing. Laura Colladón, Ing. Carlos Catalini, Ing. Erica Jorquera por sus aportes de información.

Bases para mejorar la performance de un modelo hidrológico concentrado frente a distintos patrones de distribución areal de precipitaciones

Aplicación a la cuenca del río San Antonio (Córdoba, Argentina)

Resumen

Una de las etapas críticas en la aplicación de modelos hidrológicos es el proceso de calibración, es decir, la elección del juego de valores para los parámetros que mejor representen las condiciones de la cuenca.

El modelo hidrológico es calibrado con la serie histórica de datos disponibles, por lo cual, el juego de valores de parámetros se encuentra conceptualmente atado a las diversas características hidrológicas, temporales y espaciales de esos datos. En particular, también se encuentra ligado al patrón de distribución areal histórico promedio de las precipitaciones en esa cuenca.

En el presente trabajo se emplea un modelo matemático de pronóstico hidrológico denominado Génie Rural Prevision (GRP), conceptual y concentrado, por lo que no tiene en cuenta la distribución areal de las precipitaciones, sino que por el contrario, considera un solo valor de lluvia por cada intervalo de tiempo considerado que es calculado como el promedio areal de la lluvia en toda la cuenca.

Se plantea la hipótesis de que los parámetros obtenidos mediante la calibración automática empleando la serie histórica de datos deberían representar adecuadamente aquellos eventos con un patrón de distribución areal semejante al histórico de la cuenca. En consecuencia, cuando la precipitación presenta un patrón de distribución areal marcadamente distinto al histórico, el modelo debería ser incapaz de representar adecuadamente dicha situación.

La metodología es aplicada sobre la cuenca del río San Antonio. Se establecieron las bases para realizar una evaluación global de la performance del modelo con los datos disponibles, obteniendo prematuramente como conclusión que no es posible observar notoriamente el contraste hipotéticamente planteado, pero que sin embargo las pruebas realizadas fueron escasas e insipientes, recomendando en consecuencia continuar con la tarea en futuras investigaciones.

Bases for improving the performance of a hydrological concentrated model against different patterns of rainfall areal distribution

Applied to the San Antonio river basin (Córdoba, Argentina)

Abstract

One of the critical stages in the use and application of hydrological models is the calibration process, that is to say, choosing the set of values for the parameters that best represent the conditions of the basin.

The hydrological model is calibrated with the historical data series available, then the set of parameters values is conceptually tied to the average pattern of areal rainfall distribution throughout the basin.

In this paper, a mathematical model of concentrated hydrologic forecasting called Génie Rural (GRP) is used. Because it is a concentrated model it does not take into consideration the areal distribution of the rainfall, but on the contrary, it considers a single value of rain for each time interval in study, this value is calculated as the areal average of rainfall throughout the basin.

The hypothesis that is proposed is that if we use the historical data series for the automatic calibration then the value of the parameters should properly adjust those events with an areal rainfall distribution similar to the historical average areal distribution. However when precipitation has a pattern of areal distribution significantly different to the historical average, then, the model is unable to represent correctly the situation.

The methodology is applied to the San Antonio river basin. The bases for an overall assessment of the performance of the model with the available data is established, obtaining an early conclusion that is not possible to observe the contrast described in the hypothesis. Nevertheless the tests were limited, therefore it is recommended to continue with the task in future research.

Índice

1	Introducción	11
2	Problemática	14
3	Metodología	16
4	Objetivos	18
4.1	Objetivos Generales	18
4.2	Objetivos Particulares	18
5	Conceptos Hidrológicos	19
5.1	Sistema	19
5.2	Modelo	21
5.3	Sistema Hidrológico	23
5.4	Cuenca Hidrográfica	24
5.5	Tiempo de Concentración	24
5.6	Precipitación.....	25
5.7	Precipitación Media	25
5.8	Perdidas.....	26
5.9	Escurrimiento	26
5.10	Transformación Lluvia-Caudal.....	27
6	Conceptos de Previsión en Tiempo Real.....	28
7	Conceptos Básicos de Sistemas de Información Geográfica	30
7.1	Funcionamiento de un SIG	30
7.2	Representación de Datos	31
7.3	Raster	31
7.4	Vectores	32
7.5	Proyecciones y Sistemas de Coordenadas	34
7.6	Herramientas y Cajas de Herramientas	35
7.6.1	Cuadro de Diálogo de la Herramienta.....	37
7.7	Modelos Digitales de Elevación	37
7.8	Modelos Digitales de Elevación sin depresiones	39
7.9	Características de la Escurrimiento	40
7.10	Herramientas de Hidrología	41
7.10.1	Comprender los sistemas de drenaje.....	41
7.10.2	Fill:	42
7.10.3	FlowAccumulation:.....	42
7.10.4	FlowDirection:	43
7.10.5	FlowLength:	43
7.10.6	Snap Pour Point:	43
7.10.7	Watershed:	43
8	Descripción del Sistema en Estudio	44
9	Diagnostico de la serie histórica de datos	46
10	Distribución de Precipitaciones por estaciones.....	50
11	Modelo Digital de Elevación: Cuenca del San Antonio	52

11.1	Recopilación de Datos	53
11.2	Proyección DEM	54
11.3	Fill DEM.....	56
11.4	FlowDirection	57
11.5	FlowAccumulation	58
11.6	Pour Point.....	58
11.7	Watershed	61
11.8	Polygon.....	62
11.9	Clip.....	63
12	Parámetros de la Cuenca del Río San Antonio.....	64
12.1	Área de la cuenca	64
12.2	Longitud Cauce Principal	65
12.3	Perfil del cauce principal	67
12.4	Pendiente Media	69
12.5	Diferencia de Altura	69
13	Determinación del Tiempo de Concentración	70
13.1	Formulaciones Empíricas.....	71
13.2	Antecedentes de Formulaciones Empíricas	72
13.3	Tiempos Pico entre estaciones.....	72
13.4	Antecedentes Informales	75
13.5	Conclusiones.....	75
14	Determinación de la “posición temporal” del núcleo de la precipitación.....	76
14.1	Curvas Isócronas.....	76
14.2	Curvas isócronas de igual área	84
14.3	Parámetro t	85
14.3.1	Estaciones de la Cuenca del Río San Antonio.....	87
14.3.2	Polígonos de Thiessen	89
14.3.3	Intersección Thiessen – Isócronas.....	90
14.3.4	Promedio histórico del parámetro t	92
14.3.5	Promedio en distintos periodos de tiempo del parámetro t	92
14.3.6	Modelo de Distribución del parámetro t	94
14.4	Parámetro t * ponderado	95
15	Identificación de series confiables.....	97
16	Distribución de Precipitaciones por Cuartiles.....	99
17	Calibración del modelo GRP.....	102
18	Conclusiones	109
19	Referencias Bibliográficas	112
20	Anexos.....	114
20.1	Tabla Diagnóstico	114

Índice de Figuras

Figura 1: Tipo de Modelos (Fontana-Ganancias, 2004)	20
Figura 2: Ciclo Hidrológico (CONICYT 2007)	23
Figura 3: Hidrograma Unitario (Chow 1993)	27
Figura 4: Estructura SIG (ELU, 2014)	31
Figura 5: Raster vs Vectores (Pardo, 2014)	33
Figura 6: Raster vs Vectores (Ortiz, 2014)	33
Figura 7: Raster vs Vectores (ELU, 2014).....	34
Figura 8: Herramientas (ERSI, 2014).....	36
Figura 9: Herramientas (ERSI, 2014).....	36
Figura 10: Cuadro de Dialogo de la Herramienta (ERSI, 2014).....	37
Figura 11: Modelo Digital de Elevación (ERSI, 2014).....	38
Figura 12: Organigrama del modelado hidrológico (ERSI, 2014)	40
Figura 13: Cuenca (ERSI, 2014).....	42
Figura 14: FlowAccumulation (ESRI, 2014).....	42
Figura 15: FlowDirection(ERSI, 2014)	43
Figura 16: Cuenca del río San Antonio (Colladon, 2006).....	44
Figura 17: Condición de Datos de Precipitación.....	48
Figura 18: Condición de Datos de Caudal.....	49
Figura 19: Datos (USGS, 2014).....	53
Figura 20: Datos (USGS, 2014).....	54
Figura 21: Proyección del Raster	54
Figura 22: DEM Proyectado	55
Figura 23: Fill DEM.....	56
Figura 24: FlowDirection	57
Figura 25: FlowDirection	57
Figura 26: FlowAccumulation	58
Figura 27: Shapefile	59
Figura 28: Colocar PC.....	59
Figura 29: Ubicar Pour Point	60
Figura 30: RasterPour Point.....	60
Figura 31: Watershed	61
Figura 32: Resultado Watershed	61
Figura 33: Raster to Polygon	62
Figura 34: Cuenca San Antonio.....	62
Figura 35: Clip	63
Figura 36: Resultado Clip.....	63
Figura 37: Tabla de Atributos Area.....	64
Figura 38: Área CSA	64
Figura 39: HydroID.....	65
Figura 40: LongestFlowPath	65
Figura 41: LongestFlowPath (2)	66

Figura 42: Cauce Principal	66
Figura 43: Longitud Cauce Principal	66
Figura 44: InterpolateShape	67
Figura 45: InterpolateChannel.....	67
Figura 46: Selección Cauce	68
Figura 47: Perfil del Cauce Principal	68
Figura 48: Exportto Excel.....	69
Figura 49: Tiempos de Concentración (Colladon, 2006)	72
Figura 50: DrainageGrid.....	77
Figura 51: DrainageLayer.....	78
Figura 52: WeightGrid	78
Figura 53: WeightLayer	79
Figura 54: FlowLengthTool	79
Figura 55: FlowLength	80
Figura 56: Subdivisión Hora 1	80
Figura 57: Hour 1	81
Figura 58: Subdivisión Hora 2	81
Figura 59: Hour 2	82
Figura 60: Tiempos de viaje	82
Figura 61: Exportar a AutoCAD.....	83
Figura 62: Tiempos de viaje AutoCAD	83
Figura 63: Isócronas AutoCAD	83
Figura 64: Isócronas de igual área	85
Figura 65: Estaciones en ArcGIS	87
Figura 66: Estaciones CSA.....	¡Error! Marcador no definido.
Figura 67: Shapefile de Estaciones	88
Figura 68: Estaciones CSA.....	88
Figura 69: CreateThiessenPolygons.....	89
Figura 70: Polígonos de Thiessen	90
Figura 71: Intersección Isócronas-Thiessen	91
Figura 72: Histograma Parámetro t.....	94
Figura 73: Dispersión de t.....	96
Figura 74: Primer patrón de distribución areal histórica por cuartiles	100
Figura 75: Segundo patrón de distribución areal histórica por cuartiles	101
Figura 76: Evolución de la Población - Serie 4.....	103
Figura 77: Evolución de la Población - Serie 12.....	104
Figura 79: Hidrograma Serie 4, Tramo 0-100	105
Figura 78: Hidrograma Serie 4.....	105
Figura 80:Hidrograma Serie 4, Tramo 770-840	106
Figura 81: Hidrograma Serie 12.....	107
Figura 82: Hidrograma Serie 12, Tramo 350-450	107

Índice de Tablas

Tabla 1: Condición de Datos de Precipitación	48
Tabla 2: Condición de Datos de Caudal	49
Tabla 3: Distribución de Lluvias en 1 hora.....	50
Tabla 4: Distribución de Lluvias en 2 horas	51
Tabla 5: Distribución de Lluvias en 3 horas	51
Tabla 6: Distribución de Lluvias en 4 horas	51
Tabla 7: Distribución de Lluvias en 5 horas	51
Tabla 8: Distribución de Lluvias en 6 horas	52
Tabla 9: Promedio de Tiempo entre Picos	73
Tabla 10: Parámetros Cuenca Alta	73
Tabla 11: Resumen de Parámetros Cuenca Alta	73
Tabla 12: Resumen de Tiempos de Concentración	75
Tabla 13: Coordenadas De Estaciones	86
Tabla 14: Tabla de Frecuencias Parámetro t.....	94
Tabla 15: Series Confiables.....	98
Tabla 16: Cálculo de distribución de precipitaciones.....	99
Tabla 17: Segundo cálculo de la distribución de la precipitación	100

1 Introducción

A pesar de que el agua constituye el recurso más elemental y necesario para la vida, todavía existen muchas incertidumbres en relación a los procesos que gobiernan su movimiento dentro de la hidrosfera. El sistema hidrológico global es sumamente complejo, debido a los múltiples ambientes en que el agua interacciona, pasando por los más diversos estados.

El hombre ha enfrentado este complejo problema del movimiento del agua en el planeta a través de modelos simplificados de la realidad. Los modelos matemáticos son una de las principales herramientas con que cuenta el hidrólogo para interpretar y simular el comportamiento de una cuenca hidrográfica.

Como indica Alonso (2008), la simulación hidrológica tiene aplicación en las tres principales funciones de la hidrología: la predicción, el proyecto y la planificación. En cuanto a la predicción, una de las principales aplicaciones se da en el campo del pronóstico de crecidas a tiempo real. En proyecto, los modelos se utilizan para estimar caudales de diseño de obras hidráulicas. Mientras que en planificación, se utilizan para realizar una estimación de la disponibilidad del recurso hídrico a mediano y largo plazo, análisis de la variabilidad hidrológica o estudios sobre los cambios del uso de suelo, por ejemplo.

El pronóstico hidrológico puede ser definido como: aquella parte de la ciencia y de la ingeniería que trata del análisis y asimilación de información hidrometeorológica, así como también del ingreso de esta información en modelos hidrológicos y/o procesos de predicción, a fin de formular las previsiones relativas a los estados futuros de varios de los componentes del ciclo hidrológico, especialmente de los flujos escurridos a través de los cursos de agua (Georgakakos y Hudlow, 1984). Esta definición destaca la inclusión de los conceptos de modelos y sistemas en el intento de dar soluciones a un trabajo de ingeniería.

La estructura del modelo matemático comprende un conjunto de valores constantes, denominados parámetros, que controlan los diversos procesos del modelo. Los valores de estos parámetros, varían dependiendo de la cuenca hidrográfica de aplicación, y de la serie histórica empleada para calibrar.

Una de las etapas más críticas en la aplicación de modelos hidrológicos está asociada al proceso de calibración, es decir, la elección del juego de valores para los parámetros que mejor representen las condiciones locales de la cuenca hidrográfica.

Tradicionalmente, la calibración de un modelo matemático se ha venido realizando en forma manual. Pero en las últimas décadas se han desarrollado, a nivel mundial, nuevos métodos de calibración automática de modelos hidrológicos, heredados del campo de la optimización. En esencia, la calibración automática consiste en minimizar una expresión matemática, denominada función objetivo, que cuantifica el error de simulación. Es decir, los métodos de calibración automática, son algoritmos desarrollados para encontrar el valor óptimo de la función objetivo.

En el presente trabajo se realiza la calibración automática multiobjetivo del modelo hidrológico Génie Rural Prevision (GRP), desarrollado en Francia por Berthet (2012) como parte de la familia de modelos Génie Rural (Perrin, 2000). Debido a que se trata de un modelo concentrado, no tiene en cuenta la distribución areal de las precipitaciones, sino que por el contrario, considera un solo valor de lluvia por Δt , calculado como el promedio areal de la lluvia en toda la cuenca en ese intervalo de tiempo.

Ahora bien, dado que el modelo hidrológico es calibrado normalmente con la serie histórica de datos disponibles, el juego de valores de parámetros se encuentra conceptualmente atado a las características hidrológicas, espaciales, y temporales de la serie histórica empleada para calibrar. En particular, al patrón de distribución areal histórico promedio de las precipitaciones en esa cuenca.

Por esta razón, se plantea como hipótesis que los parámetros obtenidos mediante calibración automática empleando la serie histórica de datos, en un modelo conceptual, deberían ajustar adecuadamente aquellos eventos con patrón de distribución areal semejante al histórico de la cuenca. En consecuencia, la hipótesis planteada alcanza a suponer que cuando la precipitación que se presenta manifiesta un patrón de distribución areal marcadamente distinto del histórico, el modelo de pronóstico debería presentar incapacidad de representar dicha situación debido a que los parámetros fueron calibrados en otras condiciones. La metodología es aplicada

sobre la cuenca del río San Antonio, avanzando sobre el procesamiento de la información disponible a los fines de contar con las bases requeridas para llevar adelante los trabajos de evaluación del modelo.

2 Problemática

Durante los periodos estivales, en la cuenca del río San Antonio de la provincia de Córdoba, se generan precipitaciones de gran importancia que desencadenan crecidas de magnitud considerable. Dichas crecidas han puesto sucesivamente en riesgo a la población local de la cuenca, asentada en los márgenes del río, como a la población circunstancial que se encuentra en sus márgenes, dada la gran afluencia de turismo de esa época. Este problema no es exclusivo del río San Antonio, sino que se repite en diversas cuencas hidrográficas del país y del mundo.

La ingeniería cuenta con una herramienta fundamental para evitar o al menos mitigar el impacto del daño generado por estos eventos, como son los modelos matemáticos de pronóstico hidrológico, capaces de predecir con algún tiempo de anticipación, la magnitud del caudal pico esperado, así como el tiempo aproximado en el cual el mismo se manifestará.

En consecuencia, la peligrosidad que representan estas crecidas es la causa por la cual es vital contar con un ágil y eficiente sistema de alerta de las mismas para la población.

Ahora bien, una buena parte de los sistemas de pronóstico hidrológico, son operados por modelos de pronóstico hidrológico de tipo concentrados, por lo cual estiman el caudal generado a partir de un valor promedio de precipitaciones.

Sin embargo, las precipitaciones tienen un patrón de distribución areal que varía normalmente de evento en evento, si bien en general existe una tendencia a repetirse históricamente.

Como se ha mencionado previamente, el propósito de este trabajo es analizar cuál es el impacto que tiene el cambio del patrón de distribución areal de las precipitaciones de evento en evento, en relación a la performance del modelo hidrológico para estimar (pronosticar) el valor de una crecida.

Debido a que la problemática es compleja de analizar, ha sido necesario, en este trabajo, abordar un sinnúmero de tareas previas al análisis concreto de la hipótesis planteada, logrando desarrollar acabadamente y ordenar en su totalidad, la información disponible para llevar adelante la práctica referida.

Adicionalmente, se ha logrado aplicar el procedimiento a pocos casos muestrales, no representativos del universo, a los fines de obtener algunos resultados preliminares, y al menos dejar planteado el método de trabajo para futuras investigaciones en esta dirección.

3 Metodología

En principio se estudia la serie histórica de datos, se evalúa el estado en el que se encuentra la serie tanto de precipitaciones como de caudales, ya que se requiere identificar series confiables a la hora de realizar la calibración automática y la futura modelación.

Para identificar el estado de la serie histórica de datos de precipitaciones se divide la misma en cuatro categorías que son cualitativas, según la calidad de los datos. Es decir, según qué número de estaciones se encuentran registrando las precipitaciones dado un determinado Δt . Así se tienen las categorías de “Ninguna” estación, de “1 a 3 estaciones”, “4 a 6 estaciones”, y finalmente de “7 a 10 estaciones”.

En cuanto a la serie histórica de caudales se divide la misma en tres categorías, según si se encuentran registros de los datos o fueron rellenados. Luego se tienen las categorías de “relleno en época de lluvia”, “relleno”, y “con datos”.

Como interesa saber si existe algún patrón de distribución en la cuenca se toman los meses más lluviosos del año y teniendo en cuenta distintas escalas temporales que abarcan de 1 a 6 horas se calcula el porcentaje de lluvia caída para una estación determinada respecto al total de la lluvia registrada en todas las estaciones por cada Δt . Luego se calcula el promedio de los porcentajes de cada estación en los meses lluviosos elegidos de manera de tener un porcentaje “anual” (que considera solo dos meses) por estación.

Con los sistemas de información geográfica, se determina el modelo digital de elevación de la cuenca del río San Antonio, se identifica la ubicación de las estaciones, se calculan los parámetros de la cuenca, como el área, el tiempo de concentración, etc. También permite calcular las isócronas de la cuenca, es decir, puntos tales que una gota hipotética que cayese sobre cualquiera de esos puntos tardaría igual tiempo en llegar al punto de concentración.

Estas isócronas se utilizan luego para establecer las isócronas de igual área, es decir, los valores de isócronas que dividen a la cuenca en cuatro partes de igual área (cuartiles).

Sobre estos cuartiles se calcula cual es la precipitación promedio los valores P1, P2, P3, P4. Es decir, P1 es el valor promedio de precipitación que ocurre sobre el primer cuartil de la cuenca (es el cuartil que se encuentra cerca del punto de concentración) y se calcula mediante un promedio ponderado de la precipitación caída en una estación ponderada por la relación que existe entre el área de influencia de dicha estación con respecto al área del cuartil.

Adicionalmente, sirve de herramienta para establecer los polígonos de Thiessen de todas las combinaciones de estaciones involucradas en el análisis, que luego se utilizan en la determinación de la posición temporal del núcleo de las precipitaciones.

Se desarrolla el concepto de “posición temporal” del núcleo de la precipitación, que se emplea para medir la distancia (en términos temporales) a la cual se encuentra el núcleo de la precipitación del punto de concentración. Aquí también se calculan “promedios de la posición temporal” según distintas escalas de tiempo, es decir, 1 mes, 3 meses, 6 meses, 12 meses y también de la “longitud temporal” que posea una serie en particular. Se entiende que el volumen de precipitaciones tiene influencia en la posición temporal del núcleo de la precipitación por lo que se define un parámetro promedio ponderado que tiene en cuenta este volumen y es el que se utiliza para definir verdaderamente cual es la posición temporal del núcleo de las precipitaciones.

Luego se identifican las series confiables que pueden ser utilizadas para la modelación y la verificación de la hipótesis planteada anteriormente. El primer conjunto de series (1 a 14) provienen del trabajo de Martin (2013), con algunas modificaciones que se detallan en la respectiva sección “0 Identificación de series confiables”. El segundo conjunto de series fue elegido por tener valores del parámetro promedio ponderado marcadamente lejanos al valor promedio ponderado histórico de toda la serie de precipitaciones. Se vuelve a estudiar la distribución areal de precipitaciones pero esta vez se divide a la cuenca del río San Antonio en cuatro áreas iguales que se definieron como cuartiles. Aquí se calcula cual es el porcentaje de precipitación que ocurre históricamente en cada cuartil.

Finalmente se realizan dos calibraciones con el modelo de pronóstico hidrológico concentrado GRP.

4 Objetivos

4.1 Objetivos Generales

El objetivo de este trabajo es establecer las bases para realizar una evaluación de la performance del modelo hidrológico de pronóstico GRP frente a distintos patrones de distribución areal de las precipitaciones.

4.2 Objetivos Particulares

- Recopilación y revisión de antecedentes hidrológicos de la cuenca del río San Antonio con el fin de obtener una serie de datos verificados.
- Diagnostico del estado en que se encuentran de los datos de precipitación y caudal.
- Estudio de la distribución areal de las precipitaciones por estaciones en la cuenca.
- Composición del modelo digital de elevación de la cuenca del río San Antonio.
- Cálculo de los parámetros de la cuenca.
- Determinación del tiempo de concentración.
- Análisis del comportamiento temporal de la lluvia en la cuenca.
- Estudio de la distribución areal de las precipitaciones por cuartiles.
- Calibración del modelo de pronóstico hidrológico GRP

5 Conceptos Hidrológicos

5.1 Sistema

Se entiende por sistema a toda estructura, esquema o procedimiento real o abstracto que, en un tiempo de referencia dado interrelaciona una entrada, causa o estímulo de energía, materia o información con una salida, efecto, o respuesta de energía, materia o información (Bertoni, 2002).

Matemáticamente se puede representar un sistema como:

$$y(t) = \mu(t)\psi x(t) \quad \text{Donde: } y(t) \text{ es la función de salida}$$

$\mu(t)$ es la función que representa el proceso

$x(t)$ es la función de entrada

ψ vincula la función de entrada con la del proceso

Los distintos tipos de problemas derivados del análisis de sistemas se asocian principalmente a la incógnita planteada.

Según este criterio, los problemas pueden clasificarse en (Bertoni, 2002):

- de predicción, en los cuales la incógnita es la salida $y(t)$
- de identificación, cuya incógnita es la función que representa el proceso $\mu(t)$.
- de detección, que tienen por incógnita la entrada $x(t)$.
- de síntesis, donde la incógnita es el sistema mismo.

El problema de síntesis es poco común y el más difícil de imaginar. En este tipo de problemas, se presenta el desafío de diseñar el sistema mismo, con el objetivo de que para una cierta entrada se obtenga una determinada salida, conociendo la función de los procesos que ocurren en el sistema. Por ejemplo, el proyectista de un sistema de drenaje urbano, que debe modelar una cuenca, con sus materiales, pendientes, etc., se enfrenta a un auténtico problema de síntesis.

Los sistemas pueden clasificarse como Lineales, cuando la salida de un proceso es lineal a la entrada, o No Lineales, cuando no lo sea. Los lineales cumplen con las propiedades de proporcionalidad y superposición.

Pueden ser Concentrados o Distribuidos, de acuerdo a que las variables que intervienen en el proceso que ocurre en el sistema, no varíen en el espacio, o sí lo hagan, respectivamente.

También pueden clasificarse entre Continuos y Discretos. Siendo los primeros aquellos sistemas cuyos procesos incluyen variables de variación continua, y los segundos, cuyos procesos incluyen variables de variación discreta.

Finalmente, se habla de los sistemas Causales y No causales. Siendo los causales aquellos sistemas en los cuales el efecto ocurre en un tiempo posterior o en el mismo tiempo que la causa que le dio origen. No causales son aquellos en los cuales lo hacen en un tiempo anterior.

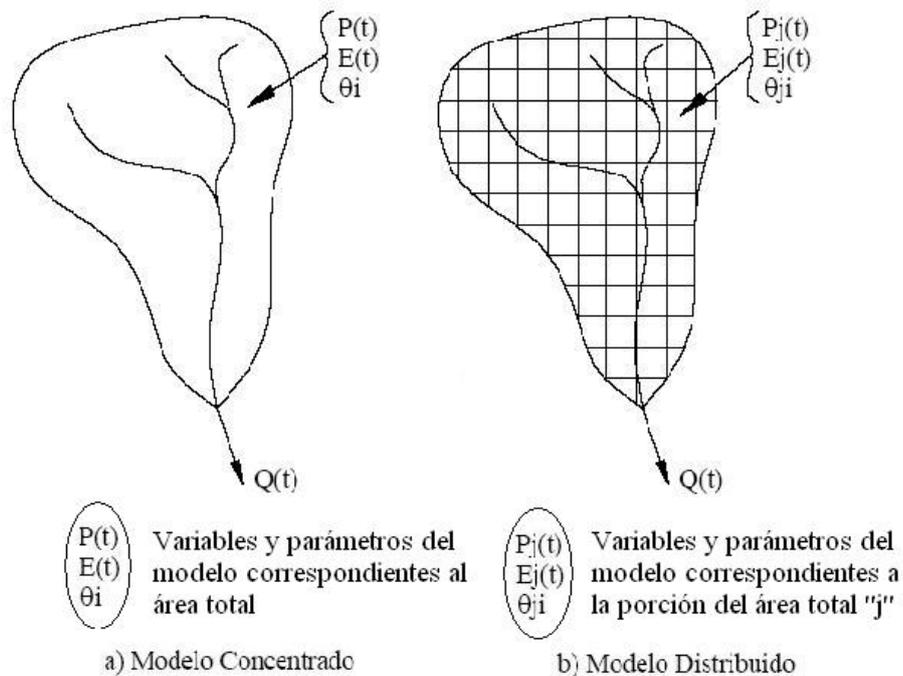


Figura 1: Tipo de Modelos (Fontana-Ganancias, 2004)

5.2 Modelo

Un sistema es un conjunto de elementos que interactúan entre sí. Un modelo es una representación simplificada de un sistema real. Esta representación puede hacerse en forma física (modelo físico), o bien, a través de una expresión matemática (modelo matemático) de mayor o menor complejidad.

Independientemente del origen o estructura del modelo, se entiende que el mismo funciona correctamente si dado un conjunto de variables de entrada, genera la misma salida que el sistema al cual representa. El proceso por el cual un modelo imita al sistema se denomina simulación. Se dice que el modelo simula un proceso que ocurre en el sistema. Un modelo captura características selectas de un sistema, proceso o realidad, y luego las combina en una representación abstracta del original.

El conjunto de cantidades fijas que caracteriza al sistema recibe el nombre de parámetros del sistema. Los parámetros de un sistema, normalmente no pueden medirse, razón por la cual deben estimarse. Por el contrario, las variables del sistema en general son cantidades que pueden ser medidas, al menos en forma aproximada, y además, como su nombre lo indica, varían durante el proceso. Existen tres tipos de variables: las variables de entrada, las de salida y las de estado. Estas últimas, definen el estado del sistema (Bertoni, 2002).

A los fines de ejemplificar los conceptos anteriores, bastaría considerar la cuenca hidrográfica como el sistema en el cual ocurre el proceso de transformación lluvia a caudal. Este proceso, a su vez, involucra principalmente los procesos de retención, infiltración, evaporación, escurrimiento superficial y flujo en canales. El modo de ocurrencia de cada uno de estos procesos estará gobernado por ciertos parámetros de la cuenca, como son el coeficiente de rugosidad, la permeabilidad del suelo, la pendiente de la cuenca, etc.

En consecuencia, el hidrograma generado a la salida de la cuenca (salida del sistema), depende de las variables de entrada a la cuenca (entrada al sistema), que es la *precipitación*, y de los parámetros que caracterizan al sistema. Por esta razón, todo modelo debería involucrar en su estructura, al menos los parámetros más significativos numéricamente que caracterizan el sistema que representa. La lluvia puede ser

medida y también el caudal escurrido, aunque sea en forma aproximada. Sin embargo, los parámetros no pueden medirse en forma directa. Normalmente se procede a estimar estos parámetros en función de ciertas características observables. El gran desafío en la modelación matemática de un sistema se basa en la estimación de los parámetros que lo caracterizan.

Estos parámetros estimados y las variables de entrada medidas, se agregan al modelo y se simula el proceso que ocurre en el sistema, obteniendo, como resultado, las variables de salida. Las variables simuladas de salida deberían coincidir con las medidas, al menos dentro del rango de aplicación del modelo. En general, no se logra tal coincidencia, por lo cual es necesario modificar sensiblemente los valores de los parámetros hasta lograr un resultado aceptablemente cercano al buscado. Esta técnica de ajustar los parámetros del modelo recibe el nombre de calibración del modelo matemático (Bertoni, 2002). El éxito de un modelo hidrológico conceptual de transformación lluvia-caudal depende en gran medida de la bondad de su calibración.

El error cuantitativo de la simulación puede medirse con una función que dependa de la diferencia numérica entre el hidrograma simulado y el observado. A esta función se la denomina función objetivo (FO). De la mano de los objetivos, aparecen las restricciones, que consisten básicamente en las limitaciones asociadas a la aplicación misma del modelo, normalmente representado por un intervalo de validez de las diversas variables y parámetros que intervienen en el problema. Sin embargo, existen ciertas variables que no están sujetas a restricciones.

En síntesis, las FO son expresiones matemáticas que cuantifican el error de simulación de un modelo, como la diferencia entre los valores medidos y los simulados por el modelo. El proceso de calibración de un modelo consiste en estimar los valores de los parámetros que optimizan el valor de la función objetivo, dentro del límite definido por las restricciones. Debido al papel protagónico que desempeña la función objetivo en el proceso de calibración automática de modelos matemáticos, más adelante se presenta una sección dedicada a las funciones objetivo.

5.3 Sistema Hidrológico

De acuerdo con la clasificación mencionada anteriormente, se puede decir que el Ciclo Hidrológico constituye un sistema de tipo no lineal, distribuido, continuo y casual. Como se verá posteriormente, las limitaciones inherentes al hombre obligan a representar el alto grado de complejidad que propone la naturaleza mediante un modelo lineal, concentrado y discreto.

Como todo ciclo, no tiene principio ni fin, y su descripción puede comenzar en cualquier punto, se elige arbitrariamente un punto de comienzo para su explicación.

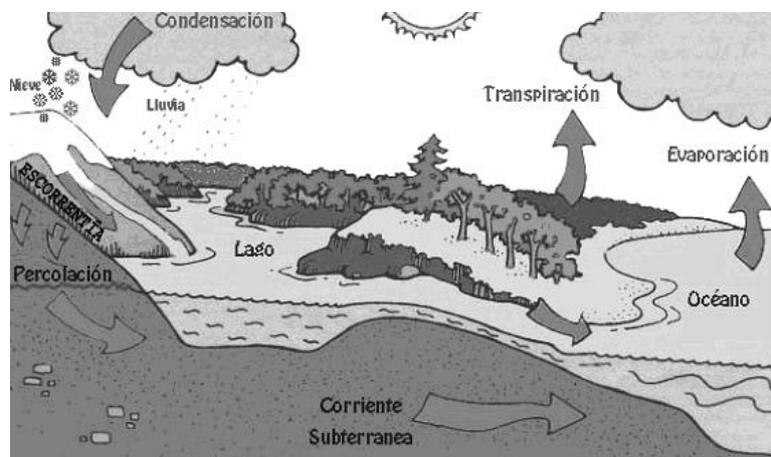


Figura 2: Ciclo Hidrológico (CONICYT 2007)

El agua que se encuentra sobre la superficie terrestre o muy cerca de ella se evapora bajo el efecto de la radiación solar y el viento. El vapor de agua, que así se forma, se eleva y se transporta por la atmósfera en forma de nubes hasta que se condensa y cae hacia la tierra en forma de precipitación.

Durante su trayecto hacia la superficie de la tierra, el agua precipitada puede volver a evaporarse o ser interceptada por las plantas o las construcciones, luego fluye por la superficie hasta las corrientes o se infiltra. El agua interceptada, más una parte de la infiltrada y de la que corre por la superficie se evapora nuevamente.

De la precipitación que llega a las corrientes, una parte se infiltra y otra llega hasta los océanos y otros grandes cuerpos de agua, como embalses y lagos. Del agua infiltrada, una fracción es absorbida por las plantas y posteriormente es transpirada, casi en su totalidad, hacia la atmósfera, y otra fluye bajo la superficie de la tierra hacia las corrientes, el mar u otros cuerpos de agua, o bien hacia zonas profundas del suelo

(percolación) para ser almacenada como agua subterránea y después aflorar en manantiales, ríos o el mar. Una parte de esta agua es nuevamente evaporada, y así comienza nuevamente el ciclo hidrológico.

5.4 Cuenca Hidrográfica

Una cuenca es un sistema hidrológico que se define como una estructura o volumen en el espacio, rodeado por una frontera, que acepta agua y otras entradas, opera en ellas internamente y las produce como salidas (Chow, 1993).

En otras palabras es un área de la superficie del terreno que colecta el agua precipitada y la conduce mediante una red de drenaje hasta una o más salidas bien identificadas. Entonces, una cuenca hidrográfica está delimitada por las líneas que une las altas cumbres divisorias de aguas.

El comportamiento de la cuenca depende de las características de la misma, como su vegetación, la topografía, entre otros.

5.5 Tiempo de Concentración

El tiempo de concentración es el tiempo que la última partícula de agua que cae tarda en llegar del punto más alejado dentro de la cuenca al punto de concentración (punto de desagüe).

Este tiempo se puede estimar de la siguiente manera:

- A partir de valores observados en mediciones lluvia-caudal.
- A partir de formulas empíricas
- Utilizando un enfoque físico basado en la ocurrencia del flujo cinemático.

En general en la utilización de las formulas empíricas se debe tener cuidado ya que su formulación proviene de distintos orígenes y desarrolladas bajo ciertas condiciones particulares.

En este trabajo se utilizaron las formulaciones empíricas, la mayoría de ellas relaciona la longitud del cauce principal, el área de la cuenca, la pendiente media de la cuenca, la pendiente media del cauce principal, el coeficiente n de Manning, entre otros.

5.6 Precipitación

Se define como precipitación al agua atmosférica que al condensarse termina en la superficie terrestre independientemente de su estado físico.

Interesan las siguientes características:

Duración: tiempo en que transcurre la precipitación, expresada generalmente en minutos.

Intensidad: precipitación por unidad de tiempo, expresado generalmente en milímetros por hora.

Período de retorno: el tiempo más probable que va a transcurrir entre dos eventos de similar envergadura.

5.7 Precipitación Media

La determinación del volumen de agua precipitado sobre un área dada es de constante aplicación en hidrología y dicho volumen puede determinarse para una tormenta o para una sucesión de tormentas caídas en un período de duración fija, como puede ser un mes, un trimestre (coincidente con una estación climática) o un año.

La precipitación media sobre la cuenca consiste en transformar los registros de precipitaciones pluviométricas en una precipitación media considerando que la misma cae uniformemente sobre toda la cuenca.

Existen tres formas para determinar la precipitación media de la cuenca:

Método de la media Aritmética: Consiste en realizar la suma del valor registrado en cada una de las estaciones pluviométricas y/o pluviográficas ubicadas dentro del área en estudio y dividirla por el número total de estaciones

Método de los Polígonos de Thiessen: consiste en establecer un área (polígono) de influencia alrededor de cada estación pluviométrica y/o pluviográfica. La precipitación media es un promedio ponderado de cada lluvia registrada en la estación considerada respecto al área de influencia de dicha estación.

Método de las curvas isohietas: las isohietas son curvas que unen puntos de igual precipitación. La precipitación media de la cuenca se obtiene multiplicando la superficie encerrada entre ambas isohietas por la precipitación media entre ambas isohietas, luego la sumatoria de n términos dividido el área total de la cuenca da como resultado la precipitación media.

5.8 Perdidas

Las pérdidas en el ciclo hidrológico se consideran como la diferencia entre la lluvia total caída (registrada) y la lamina correspondiente a la escorrentía directa. Las pérdidas pueden ser por intercepción, evaporación, evapotranspiración.

Intercepción: retenida por la vegetación y por las cavidades en el suelo.

Infiltración: ingreso de agua al suelo desde la superficie, relacionado directamente con las características del suelo como su humedad.

Evapotranspiración: combina el proceso de la evaporación directa del suelo y la transpiración de las plantas.

5.9 Escorrentía

Cuando la tasa de precipitación excede a la tasa de infiltración el exceso de agua comienza a acumularse temporalmente en pequeñas depresiones de la superficie del suelo y a su vez comienza a escurrir convirtiéndose en escorrentía superficial.

La escorrentía superficial está formada en un primer momento por el flujo en forma de lámina sobre la superficie del suelo (“overlandflow”). Si la cuenca receptora tiene pendiente este flujo fluye por gravedad hacia cursos de agua o canales de drenaje en principio pequeños, los cuales se van agrupando en cauces de orden superior formando luego los tributarios principales de los grandes ríos.

El flujo subsuperficial es aquella porción de la precipitación que se infiltra y se mueve por la parte superior del perfil del suelo hacia los cursos o canales del sistema de drenaje de la cuenca. El flujo subterráneo es aquella parte del flujo que se forma principalmente por percolación profunda en la misma cuenca.

5.10 Transformación Lluvia-Caudal

Existen varios métodos para realizar la transformación precipitación-caudal, aquí solo citaremos uno:

Hidrograma Unitario: se define al mismo como la respuesta de una cuenca a la precipitación efectiva de lámina unitaria (1cm) uniformemente distribuida en toda la cuenca que cae en una duración especificada de tiempo, T (tiempo unitario). La teoría básica del hidrograma unitario se desarrolla en el supuesto que la cuenca es un sistema lineal invariable en el tiempo, al menos en lo relacionado al exceso de lluvia y al escurrimiento directo.

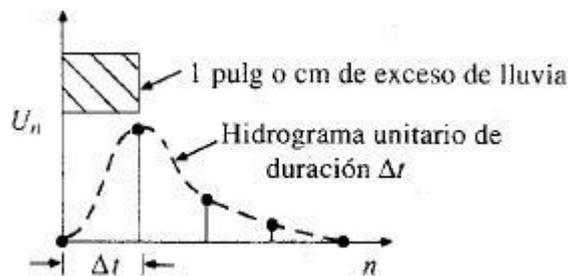


Figura 3: Hidrograma Unitario (Chow 1993)

Luego las hipótesis del hidrograma unitario se pueden mencionar a continuación:

- La precipitación esta uniformemente distribuida en el tiempo, es decir que la intensidad es constante en ese tiempo
- La precipitación esta uniformemente distribuida en el área de la cuenca

6 Conceptos de Previsión en Tiempo Real

La previsión de caudales en una cuenca hidrográfica puede ser realizada a largo plazo o a corto plazo (Tucci, 1980). La estimación a largo plazo, solamente puede ser realizada estadísticamente a través de modelos probabilísticos. La previsión a corto plazo o a tiempo real, puede ser realizada a lo largo de la ocurrencia de los eventos, con base en los conocimientos de alguna de las variables o de su previsión. Son ejemplos de esto último la precipitación o el nivel en la parte superior de un río.

Esta previsión puede ser continua o eventual. Cuando la previsión es realizada a lo largo del tiempo, independientemente de las condiciones hidrológicas, la misma es continua. La previsión eventual es denominada como la previsión realizada en épocas definidas del régimen hidrológico, crecida o estiaje, en que las condiciones son críticas para el usuario del agua.

La previsión de crecidas en tiempo real puede ser clasificada, a su vez, de acuerdo con la antecedencia deseada y con las características de la cuenca que drena para el lugar de interés. Normalmente se desea la mayor antecedencia posible del pronóstico en la ocurrencia de una crecida. Sin embargo, desde el punto de vista práctico en algunos casos con algunas horas de antecedencia ya es posible actuar sobre sus efectos, minimizando los daños.

Una cuenca con tiempo de concentración pequeño tiene como opción solamente la previsión con base en la precipitación ocurrida. Una cuenca de mayor tamaño puede utilizar la observación del nivel aguas arriba para efectuar esta previsión, pues la antecedencia puede ser suficiente para las medidas mencionadas. La mayor ventaja de utilizar observaciones realizadas aguas arriba es la minimización del error de previsión en relación al pronóstico basado en la lluvia. En tanto esta situación solamente puede ser utilizada cuando el tiempo de desplazamiento de la onda de crecida es compatible con la antecedencia deseada de la previsión y la contribución lateral de la cuenca es relativamente despreciable en relación al volumen del hidrograma en el punto de aguas arriba.

La clasificación de los procedimientos y modelos de pronóstico de crecidas que pueden ser utilizados es la siguiente:

Previsión de caudal con base en niveles o caudal del río aguas arriba y de sus afluentes: esta situación es posible, cuando existe antecendencia y la contribución lateral es pequeña.

Estimación de la precipitación con base en red telemétrica y transformación en caudal en modelos hidrológicos: esta alternativa es inferior a la estimación de la precipitación con base en radar y red telemétrica de pluviógrafos integradas a un modelo lluvia-caudal, pero en la mayoría de las cuencas no existe radar y la red telemétrica bien distribuida puede permitir buenos resultados. La dificultad normalmente reside en la estimación de la precipitación futura que debe ser inferida dentro del modelo hidrológico. Las alternativas son el uso de la previsión meteorológica y/o modelos estadísticos para previsión de precipitación

Estimación de la precipitación con base en radar y red telemétrica de pluviógrafos integradas a un modelo lluvia-caudal: esta alternativa es una de las más promisorias dentro del ámbito de pequeñas y medianas cuencas hidrográficas, debido a la pequeña antecendencia de los eventos lluviosos. Se debe considerar que un radar no dispensa a la red telemétrica terrestre.

Previsión meteorológica de la precipitación, integrada a un modelo precipitación caudal, para estimar el caudal o el nivel: en esta situación se obtiene la mayor antecendencia posible a partir del inicio de los eventos, pero los errores potenciales son mayores, ya que en este caso se suman a los errores de la previsión de la precipitación los propios del proceso de transformación lluvia-caudal.

Previsión de caudal con base en niveles o caudales aguas arriba y con alguna de las alternativas anteriores para la cuenca de contribución latera: esta alternativa contempla el desfasaje del desplazamiento de aguas arriba y la rapidez de la contribución lateral más próxima a la sección principal de la cuenca.

7 Conceptos Básicos de Sistemas de Información Geográfica

Un sistema de información geográfica es una Integración organizada de hardware, software y datos geográficos diseñada para capturar, almacenar, manipular, analizar y desplegar en todas sus formas la información geográficamente referenciada con el fin de resolver problemas complejos de planificación y gestión geográfica.

También puede definirse como un modelo de una parte de la realidad referido a un sistema de coordenadas terrestre y construido para satisfacer unas necesidades concretas de información.

En el sentido más estricto, es cualquier sistema de información capaz de integrar, almacenar, editar, analizar, compartir y mostrar la información geográficamente referenciada. En un sentido más genérico, los SIG son herramientas que permiten a los usuarios crear consultas interactivas, analizar la información espacial, editar datos, mapas y presentar los resultados de todas estas operaciones.

7.1 Funcionamiento de un SIG

El SIG funciona como una base de datos con información geográfica (datos alfanuméricos) que se encuentra asociada por un identificador común a los objetos gráficos de un mapa digital. De esta forma, señalando un objeto se conocen sus atributos e, inversamente, preguntando por un registro de la base de datos se puede saber su localización en la cartografía.

La razón fundamental para utilizar un SIG es la gestión de información espacial. El sistema permite separar la información en diferentes capas temáticas y las almacena independientemente, permitiendo trabajar con ellas de manera rápida y sencilla, facilitando al profesional la posibilidad de relacionar la información existente a través de la topología de los objetos, con el fin de generar otra nueva que no podríamos obtener de otra forma.

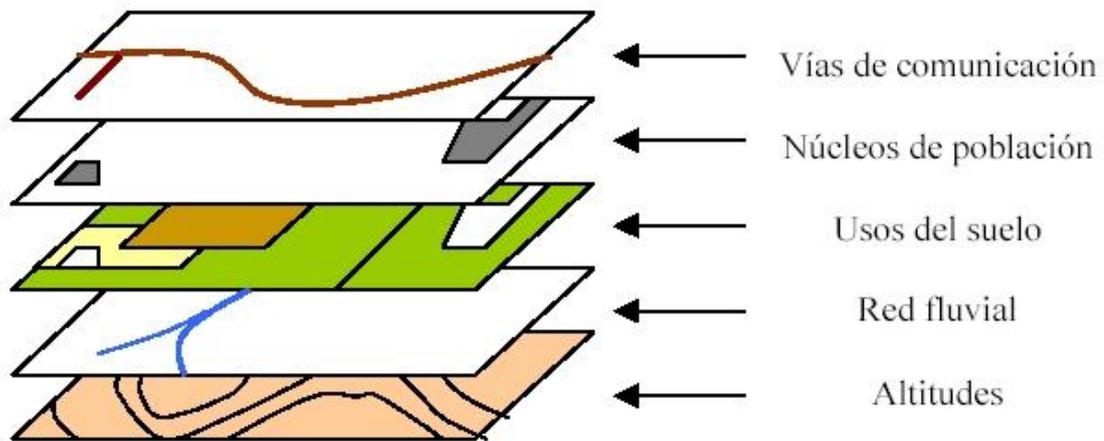


Figura 4: Estructura SIG (ELU, 2014)

7.2 Representación de Datos

Los datos SIG representan los objetos del mundo real (carreteras, el uso del suelo, altitudes). Los objetos del mundo real se pueden dividir en dos abstracciones: objetos discretos (una casa) y continuos (cantidad de lluvia caída, una elevación). Existen dos formas de almacenar los datos en un SIG: raster y vectorial.

7.3 Raster

Un tipo de datos raster es, en esencia, cualquier tipo de imagen digital representada en mallas. El modelo de SIG raster o de retícula se centra en las propiedades del espacio más que en la precisión de la localización. Divide el espacio en celdas regulares donde cada una de ellas representa un único valor. Se trata de un modelo de datos muy adecuado para la representación de variables continuas en el espacio. (como la cantidad de lluvia caída, o la elevación de un punto).

Las fotografías aéreas son una forma de datos raster utilizada comúnmente con un sólo propósito: mostrar una imagen detallada de un mapa base sobre la que se realizarán labores de digitalización. Otros conjuntos de datos raster podrán contener información referente a las elevaciones del terreno (un Modelo Digital del Terreno), o de la reflexión de la luz de una particular longitud de onda (por ejemplo las obtenidas por el satélite LandSat), entre otros.

Los datos raster se compone de filas y columnas de celdas, cada celda almacena un valor único. Los datos raster pueden ser imágenes (imágenes raster), con un valor de color en cada celda (o píxel). Otros valores registrados para cada celda puede ser un valor discreto, como el uso del suelo, valores continuos, como temperaturas, o un valor nulo si no se dispone de datos. Si bien una trama de celdas almacena un valor único, estas pueden ampliarse mediante el uso de las bandas del raster para representar los colores RGB (rojo, verde, azul), o una tabla extendida de atributos con una fila para cada valor único de células. La resolución del conjunto de datos raster es el ancho de la celda en unidades sobre el terreno.

En un modelo raster cuanto mayor sean las dimensiones de las celdas, menor es la precisión o detalle (resolución) de la representación del espacio geográfico.

7.4 Vectores

En un SIG, las características geográficas se expresan con frecuencia como vectores, manteniendo las características geométricas de las figuras.

En los datos vectoriales, el interés de las representaciones se centra en la precisión de localización de los elementos geográficos sobre el espacio y donde los fenómenos a representar son discretos, es decir, de límites definidos. Cada una de estas geometrías está vinculada a una fila en una base de datos que describe sus atributos. Por ejemplo, una base de datos que describe los lagos puede contener datos sobre la batimetría de estos, la calidad del agua o el nivel de contaminación. Esta información puede ser utilizada para crear un mapa que describa un atributo particular contenido en la base de datos. Los lagos pueden tener un rango de colores en función del nivel de contaminación.

Los datos vectoriales se pueden utilizar para representar variaciones continuas de fenómenos. Las líneas de contorno y las redes irregulares de triángulos (TIN) se utilizan para representar la altitud u otros valores en continua evolución. Los TIN son registros de valores en un punto localizado, que están conectados por líneas para formar una malla irregular de triángulos. La cara de los triángulos representa, por ejemplo, la superficie del terreno.

Para modelar digitalmente las entidades del mundo real se utilizan tres elementos geométricos: el punto, la línea y el polígono.

Puntos: Los puntos se utilizan para las entidades geográficas que mejor pueden ser expresadas por un único punto de referencia. En otras palabras: la simple ubicación. (Ejemplo: el punto de concentración o desagüe de la cuenca)

Líneas o polilíneas: Las líneas unidimensionales o polilíneas son usadas para rasgos lineales como ríos, caminos, ferrocarriles, rastros, líneas topográficas o curvas de nivel. (Ejemplo: la delimitación de la cuenca, o la representación del cauce)

Polígonos: Los polígonos bidimensionales se utilizan para representar elementos geográficos que cubren un área particular de la superficie de la tierra.

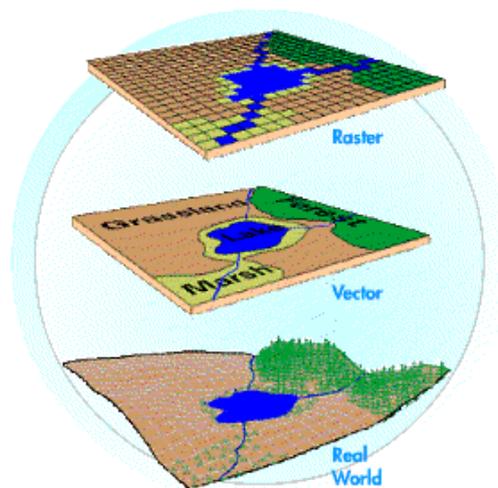


Figura 5: Raster vs Vectores (Pardo, 2014)

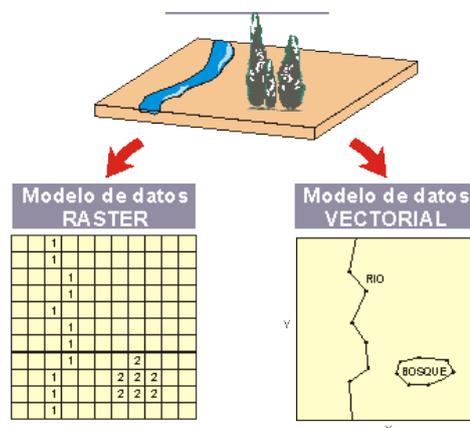


Figura 6: Raster vs Vectores (Ortiz, 2014)

Ventajas

Vectorial	Raster
La estructura de los datos es compacta. Almacena los datos sólo de los elementos digitalizados por lo que requiere menos memoria para su almacenamiento y tratamiento.	La estructura de los datos es muy simple.
Codificación eficiente de la topología y las operaciones espaciales.	Las operaciones de superposición son muy sencillas.
Buena salida gráfica. Los elementos son representados como gráficos vectoriales que no pierden definición si se amplía la escala de visualización.	Formato óptimo para variaciones altas de datos.
Tienen una mayor compatibilidad con entornos de bases de datos relacionales.	Buen almacenamiento de imágenes digitales
Las operaciones de re-escalado, reproyección son más fáciles de ejecutar.	
Los datos son más fáciles de mantener y actualizar.	
En algunos aspectos permite una mayor capacidad de análisis, sobre todo en redes.	

Desventajas

Vectorial	Raster
La estructura de los datos es más compleja.	Mayor requerimiento de memoria de almacenamiento. Todas las celdas contienen datos.
Las operaciones de superposición son más difíciles de implementar y representar.	Las reglas topológicas son más difíciles de generar.
Eficacia reducida cuando la variación de datos es alta.	Las salidas gráficas son menos vistosas y estéticas. Dependiendo de la resolución del archivo raster, los elementos pueden tener sus límites originales más o menos definidos.
Es un formato más laborioso de mantener actualizado.	

Figura 7: Raster vs Vectores (ELU, 2014)

7.5 Proyecciones y Sistemas de Coordenadas

Antes de analizar los datos en el SIG la cartografía debe estar toda ella en una misma proyección y sistemas de coordenadas. Para ello muchas veces es necesario re proyectarlas capas de información antes de integrarlas en el sistema de información geográfica.

La Tierra puede estar representada cartográficamente por varios modelos matemáticos, cada uno de los cuales pueden proporcionar un conjunto diferente de coordenadas (por ejemplo, latitud, longitud, altitud) para cualquier punto dado de su superficie.

La proyección es un componente fundamental a la hora de crear un mapa. Una proyección matemática es la manera de transferir información desde un modelo de la Tierra, el cual representa una superficie curva en tres dimensiones, a otro de dos dimensiones como es el papel o la pantalla de un ordenador. Para ello se utilizan diferentes proyecciones cartográficas según el tipo de mapa que se desea crear, ya que existen determinadas proyecciones que se adaptan mejor a unos usos concretos que a otros. Por ejemplo, una proyección que representa con exactitud la forma de los continentes distorsiona, por el contrario, sus tamaños relativos.

Dado que gran parte de la información en un SIG proviene de cartografía ya existente, un sistema de información geográfica utiliza la potencia de procesamiento de la computadora para transformar la información digital, obtenida de fuentes con

diferentes proyecciones y/o diferentes sistemas de coordenadas, a una proyección y sistema de coordenadas común.

7.6 Herramientas y Cajas de Herramientas

Las herramientas de geoprocésamiento realizan operaciones pequeñas pero esenciales en los datos geográficos, como extraer y superponer datos, cambiar proyecciones de mapas, agregar una columna a una tabla y calcular los valores de atributo, superposiciones poligonales y rutas óptimas, por nombrar algunas. Hay cientos de herramientas a su disposición, y puede crear sus propias herramientas con ModelBuilder, un lenguaje de programación visual, o secuencia de comandos, un lenguaje de programación basado en texto.

Las herramientas se almacenan en cajas de herramientas. ArcGIS incluye cientos de herramientas organizadas en aproximadamente una docena de cajas de herramientas, que proporcionan un conjunto valioso de funcionalidades en una amplia variedad de disciplinas.

Para ejecutar una herramienta, primero debe buscarla. Hay cuatro maneras de buscar una herramienta:

- Se puede encontrar un conjunto de herramientas que se usan con mayor frecuencia en el menú **Geoprocésamiento**, que se encuentra en la barra de herramientas **Estándar**.

Puede personalizar esta lista con **Personalizar > Personalizar modo**.

- Busque una herramienta en la ventana **Buscar** . La búsqueda le permite introducir palabras clave, frases cortas que describen que lo hace la herramienta.
- Busque una herramienta en la ventana de **Catálogo** . La búsqueda requiere que sepa qué caja de herramientas contiene la herramienta.
- Busque una herramienta en la ventana de **ArcToolbox** . La ventana de **ArcToolbox**, al igual que la ventana de **Catálogo**, muestra cajas de herramientas y herramientas como una vista de árbol. Puede agregar las cajas de herramientas personalizadas a la ventana de **ArcToolbox**.

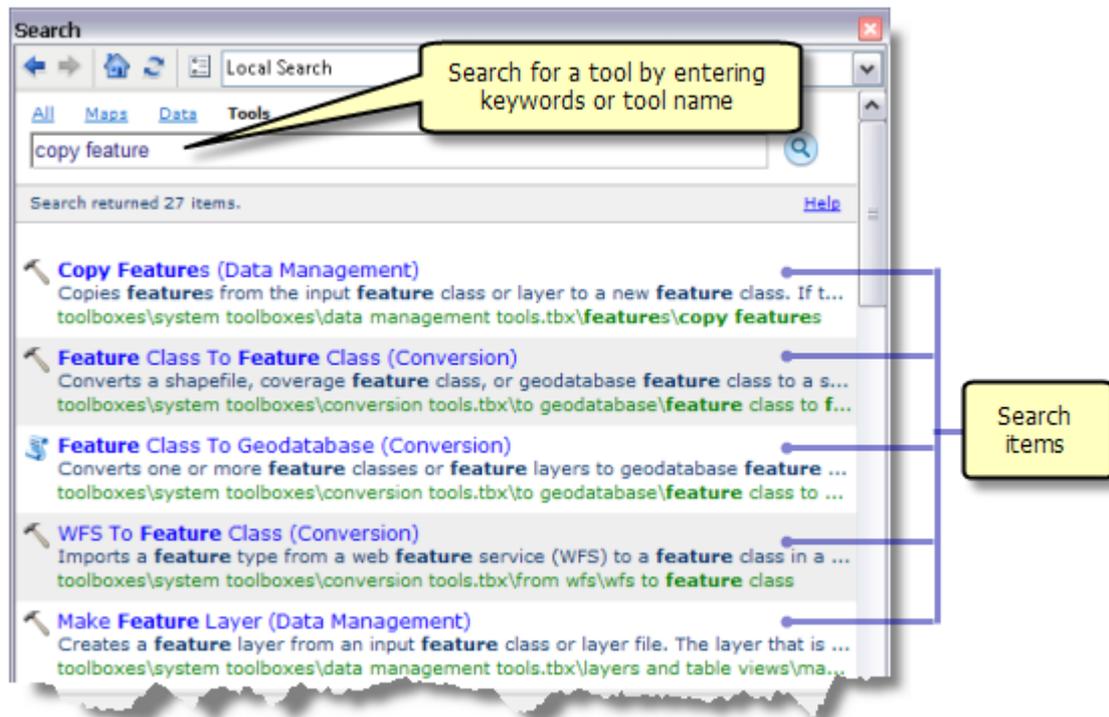


Figura 9: Herramientas (ERSI, 2014)

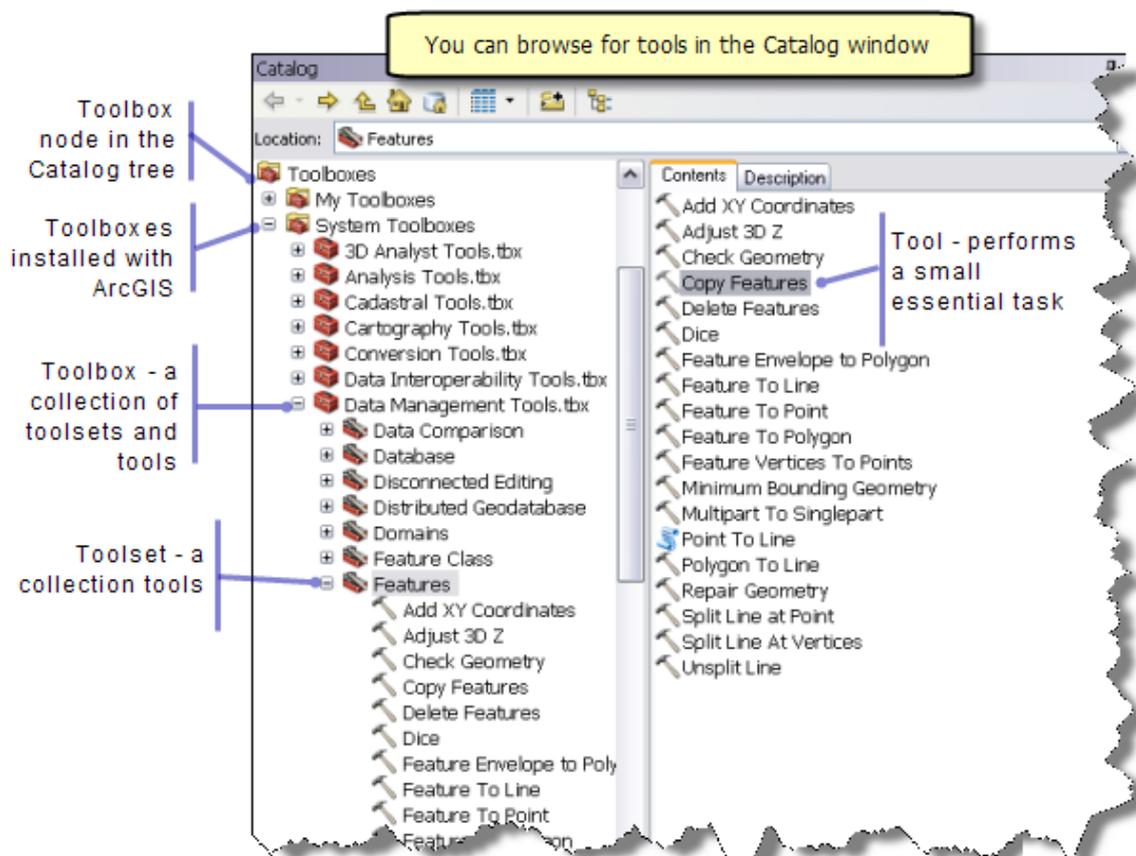


Figura 8: Herramientas (ERSI, 2014)

7.6.1 Cuadro de Diálogo de la Herramienta

Para abrir el cuadro de diálogo de la herramienta desde la ventana *Buscar*, haga clic en el nombre de la herramienta. Para abrir el cuadro de diálogo de la herramienta en la ventana de *Catálogo*, haga doble clic o clic con el botón derecho en la herramienta y, a continuación, haga clic en *Abrir*.

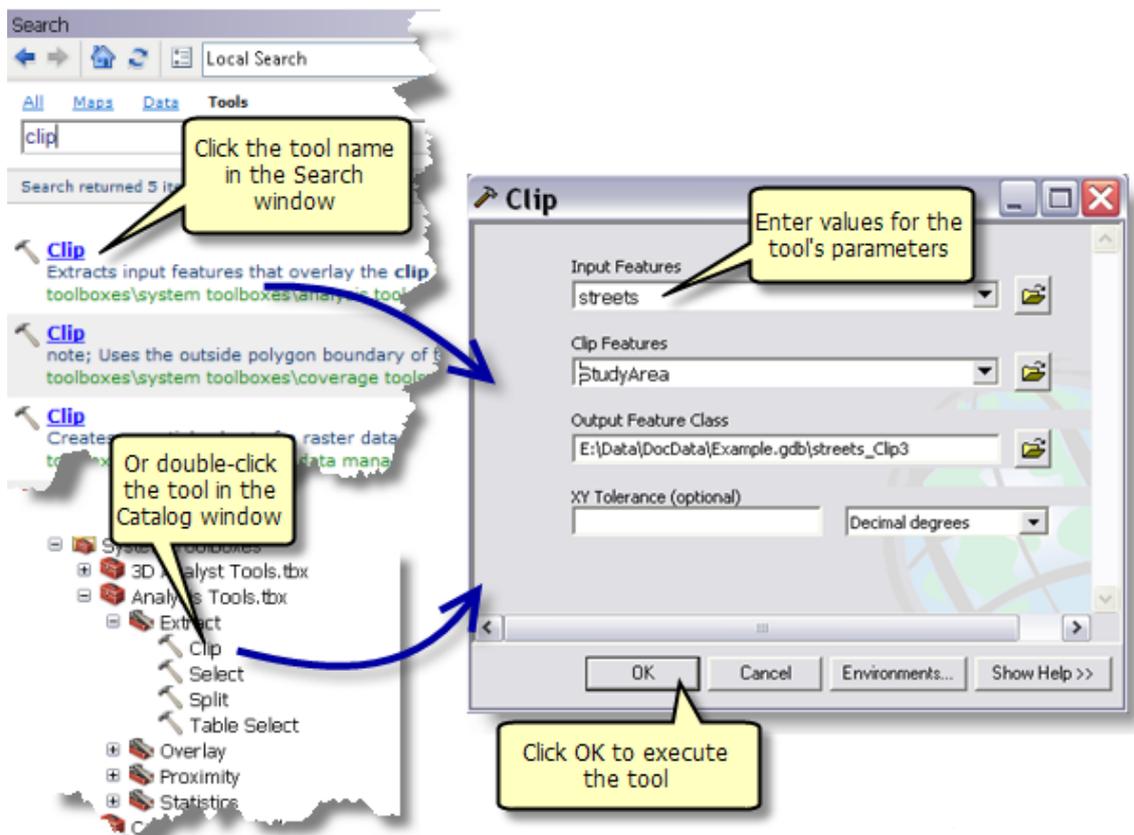


Figura 10: Cuadro de Diálogo de la Herramienta (ERSI, 2014)

Después de introducir los parámetros de la herramienta en el cuadro de diálogo, haga clic en *Aceptar* para ejecutarla.

7.7 Modelos Digitales de Elevación

Los datos digitales más comunes de la forma de la superficie de la tierra son los modelos digitales de elevación (DEM) basados en celdas. Estos datos se utilizan como entrada para cuantificar las características de la superficie del suelo.

Un DEM es una representación de ráster de una superficie continua, que en general hace referencia a la superficie de la tierra. La precisión de estos datos se determina principalmente por la resolución (la distancia entre los puntos de muestra). Otros

factores que afectan la precisión son el tipo de datos (entero o punto flotante) y el muestreo real de la superficie cuando se crea el DEM original.

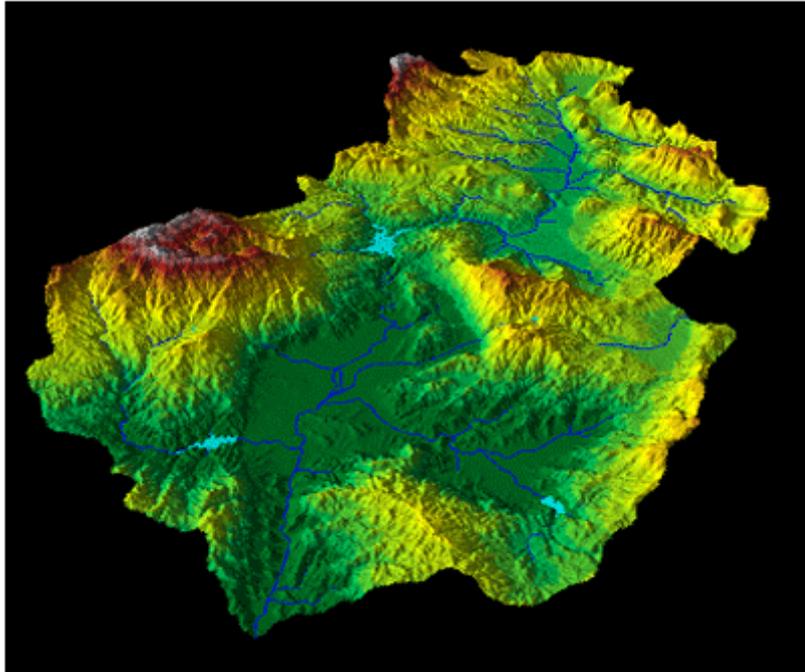


Figura 11: Modelo Digital de Elevación (ERSI, 2014)

En general, los errores de los DEM se clasifican como sumideros o picos. Un sumidero es un área rodeada por valores de mayor elevación que también se conoce como depresión o concavidad. Esta es un área de drenaje interno. Si bien muchos sumideros son imperfecciones de los DEM, algunos pueden ser naturales.

De la misma manera, un pico es un área rodeada por celdas de menor valor. Estas son entidades naturales más comunes y menos perjudiciales para el cálculo de la dirección de flujo.

Los errores como estos, en especial los sumideros, se deben eliminar antes de intentar derivar cualquier información de superficie. Los sumideros, al ser áreas de drenaje interno, evitan que el agua fluya desde pendientes más empinadas.

El número de sumideros en un DEM determinado suele ser superior para los DEM de resolución de baja precisión. Otra de las razones más comunes por la cual se producen los sumideros es el almacenamiento de datos como un número entero. Esto puede ocasionar problemas particularmente en áreas con un bajo relieve vertical. No es inusual descubrir que el 1 por ciento de las celdas en un DEM de resolución de 30

metros son sumideros. Esto puede aumentar hasta un 5 por ciento para un DEM de 3 arcsegundos.

Las herramientas de análisis hidrológico están diseñadas para modelar la convergencia del flujo en una superficie de terreno natural. Se supone que la superficie tiene el relieve vertical suficiente para poder determinar una ruta de flujo. Las herramientas funcionan con la suposición de que para cualquier celda independiente, el agua ingresa desde muchas celdas adyacentes pero sale desde sólo una celda.

7.8 Modelos Digitales de Elevación sin depresiones

Un modelo digital de elevación (DEM) libre de sumideros, un DEM sin depresión, es la entrada deseada al proceso de dirección de flujo. La presencia de sumideros puede ocasionar un ráster de dirección de flujo con error. En algunos casos, puede haber algunos sumideros legítimos en los datos. Es importante comprender la morfología del área lo suficientemente bien para saber qué entidades pueden ser realmente sumideros en la superficie de la tierra y cuáles son solamente errores en los datos.

Las herramientas en el conjunto de herramientas de hidrología de la Extensión ArcGISpatialAnalyst son útiles en la preparación de una superficie de elevación sin depresión.

Identificar sumideros: Los sumideros se pueden ubicar utilizando la herramienta Sumidero (Sinks). Esta herramienta necesita un ráster de dirección que crea la herramienta Dirección de flujo (FlowDirection). El resultado es un ráster que identifica cualquier sumidero existente en los datos.

Rellenar sumideros: La herramienta Rellenar (Fill) utiliza una variedad de herramientas de SpatialAnalyst, incluidas algunas de las herramientas de análisis hidrológico que se analizaron antes, para crear un DEM sin depresión. Esta herramienta requiere una superficie de entrada, un límite de relleno y un ráster de salida. Cuando se llena un sumidero, se rellena a su punto de fluidez, la elevación mínima a lo largo del límite de la cuenca hidrográfica.

7.9 Características de la Escorrentía

Al delinear cuencas hidrográficas o definir redes de arroyos, se cumplen una serie de pasos. Algunos pasos son obligatorios, mientras que otros son opcionales según las características de los datos de entrada. El flujo en una superficie siempre va en la dirección de la pendiente más empinada. Una vez que conoce la dirección de salida del flujo de cada celda, podrá determinar cuál y cuántas celdas fluyen en una celda determinada. Esta información se puede utilizar para definir límites de cuencas hidrográficas y redes de arroyos. El siguiente organigrama muestra el proceso de extracción de información hidrológica, como los límites de cuenca hidrográfica y las redes de arroyos desde un modelo digital de elevación (DEM).

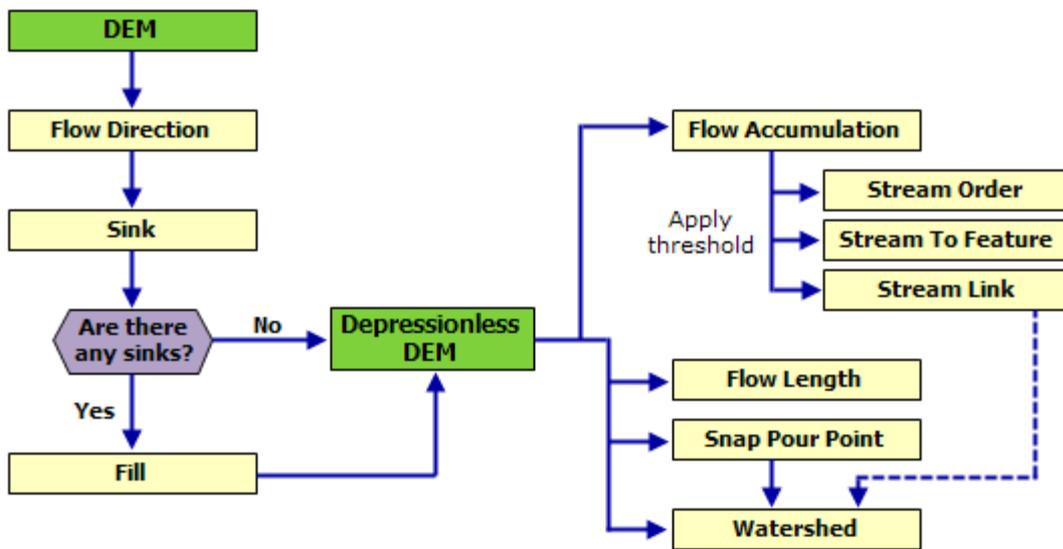


Figura 12: Organigrama del modelado hidrológico (ERSI, 2014)

Independientemente de cuál sea su objetivo, comience con un modelo de elevación. El modelo de elevación se utiliza para determinar las celdas que fluyen hacia otras celdas (la dirección de flujo). Sin embargo, si hay errores en el modelo de elevación, puede haber algunas ubicaciones de celda que son inferiores a las celdas circundantes. Si este es el caso, el agua que fluye dentro de la celda no saldrá, este es el caso de los sumideros.

Si delinea cuencas hidrográficas, debe identificar puntos de fluidez (ubicaciones para las cuales desea conocer la cuenca hidrográfica de contribución). En general, estas ubicaciones son bocas de arroyos u otros puntos hidrológicos de interés, como una estación de calibración. Al utilizar las herramientas de análisis hidrológico, puede

especificar los puntos de fluidez, o puede utilizar la red de arroyos como puntos de fluidez. Esto crea cuencas hidrográficas para cada segmento de arroyo entre los cruces de los arroyos. Para crear la red de arroyos, primero debe calcular la acumulación de flujo para cada ubicación de celda.

Si define redes de arroyos, no sólo necesita conocer la dirección de flujo del agua de celda a celda sino también cuánta agua fluye a través de una celda, o cuántas celdas fluyen hacia otras celdas. Cuando fluye la suficiente agua por una celda, se considera que la ubicación tiene un arroyo que la atraviesa.

7.10 Herramientas de Hidrología

Cuando modela el flujo de agua, es posible que necesite saber de dónde viene el agua y hacia dónde va. Los siguientes temas explican cómo utilizar las funciones del análisis hidrológico para ayudar a modelar el movimiento del agua a través de una superficie, los conceptos y los términos clave de los sistemas de drenaje y los procesos de superficie, cómo se pueden utilizar las herramientas para extraer información hidrológica desde un modelo digital de elevación (DEM) y las aplicaciones de muestra de análisis hidrológico.

7.10.1 Comprender los sistemas de drenaje

El área sobre el cual cae el agua y la red que recorre hasta una salida se conocen como un sistema de drenaje (Watershed). Las herramientas de hidrología se enfocan en el movimiento del agua a través de una superficie. Un punto de concentración (Pour Point) es el punto en el que el agua fluye fuera de un área. Suele ser el punto más bajo a lo largo del límite de la cuenca de drenaje.

El límite entre dos cuencas se denomina como una separación de drenaje o límite de cuenca hidrográfica. (WatershedBoundaries)

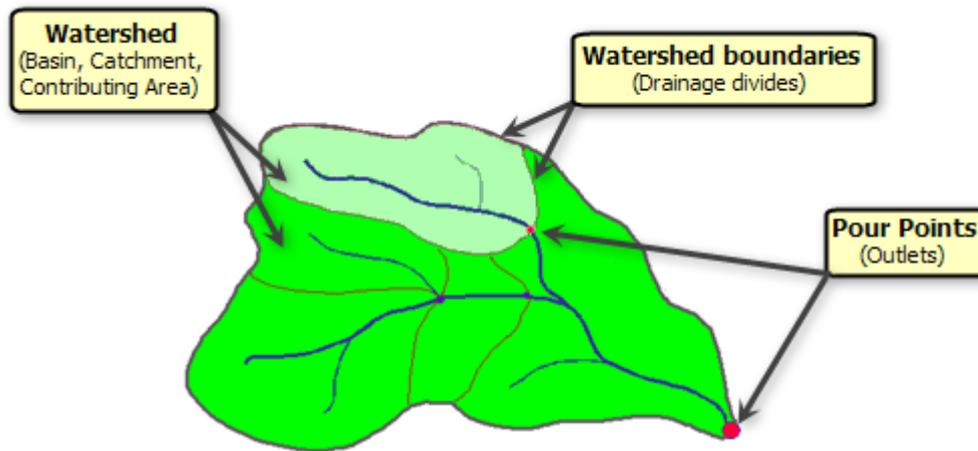


Figura 13: Cuenca (ERSI, 2014)

La red que recorre el agua hacia la salida se puede visualizar como un árbol, siendo la base del árbol, la salida. Las ramas del árbol son canales de los arroyos. La intersección de dos canales de arroyos se denomina nodo o cruce. Las secciones de un canal de arroyos conectan dos cruces sucesivos o un cruce y la salida se conocen como vínculos de arroyo.

7.10.2 Fill:

Rellena sumideros en un ráster de superficie para quitar pequeñas imperfecciones en los datos.

7.10.3 FlowAccumulation:

Crea un ráster de flujo acumulado para cada celda. Opcionalmente, puede aplicar un factor de peso.

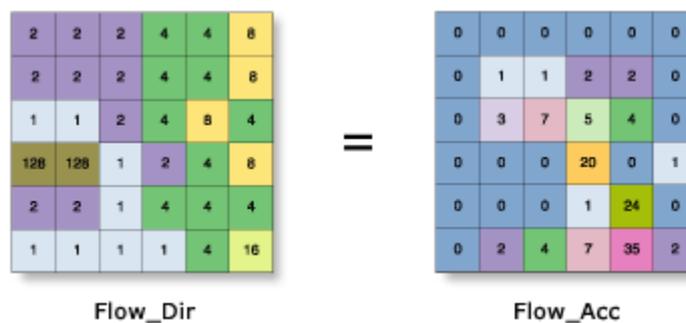


Figura 14: FlowAccumulation (ESRI, 2014)

El resultado de Acumulación de flujo es un ráster de flujo acumulado para cada celda, determinado por la acumulación del peso de todas las celdas que fluyen hacia cada celda de pendiente descendente.

7.10.4 FlowDirection:

Crea un ráster de dirección de flujo desde cada celda hasta su vecina con la pendiente descendente más empinada.

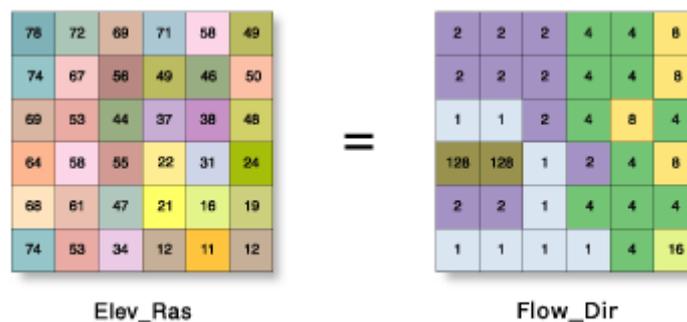


Figura 15: FlowDirection(ERSI, 2014)

7.10.5 FlowLength:

Calcula la distancia aguas arriba o aguas abajo o la distancia ponderada a lo largo de la ruta de flujo para cada celda.

7.10.6 Snap Pour Point:

Alinea los puntos de fluidez a la celda de acumulación de flujo más alta dentro de una distancia específica.

7.10.7 Watershed:

Determina el área de contribución por sobre un conjunto de celdas de un ráster, es decir determina los límites de la cuenca.

8 Descripción del Sistema en Estudio

La cuenca del Río San Antonio, de 495,2 km² (Figura 1), se localiza en las sierras cordobesas, al sur del Valle de Punilla, entre los 64° 29' 21" y 64° 51' 17" de longitud oeste y entre los 31° 26' 51" y 31° 23' 23" de latitud sur. Su altitud decae 1.675 m en menos de 30 km, desde los 2.350 msnm del Cerro Los Gigantes, al NW, hasta 675 msnm en la estación de aforos de salida.

Tres ríos principales conforman su estructura de avenamiento: Malambo, Cajón e Icho Cruz. La confluencia de estos últimos en el río San Antonio, a 1.000 msnm, delimita la Cuenca Alta (CA), de 329 km².

Los ríos son los principales tributarios del lago San Roque, junto con el río Cosquin. Forma parte del sistema del Río Suquía que nace del embalse San Roque y desagua en el Mar de Ansenusa (Laguna de Mar Chiquita) al NE de la provincia.

En la cuenca del San Antonio el C.I.R.S.A. equipa una red telemétrica de 10 estaciones remotas automáticas, con 10 pluviómetros de alta frecuencia (una emisión por mm), así como sendos limnímetros instalados en los cierres de la cuenca del río San Antonio (Estación 600, El Canal) y de la cuenca alta (Estación 700, confluencia El Cajón). Existen más de 40 sensores, que transmiten en tiempo real a una central, en VHF.

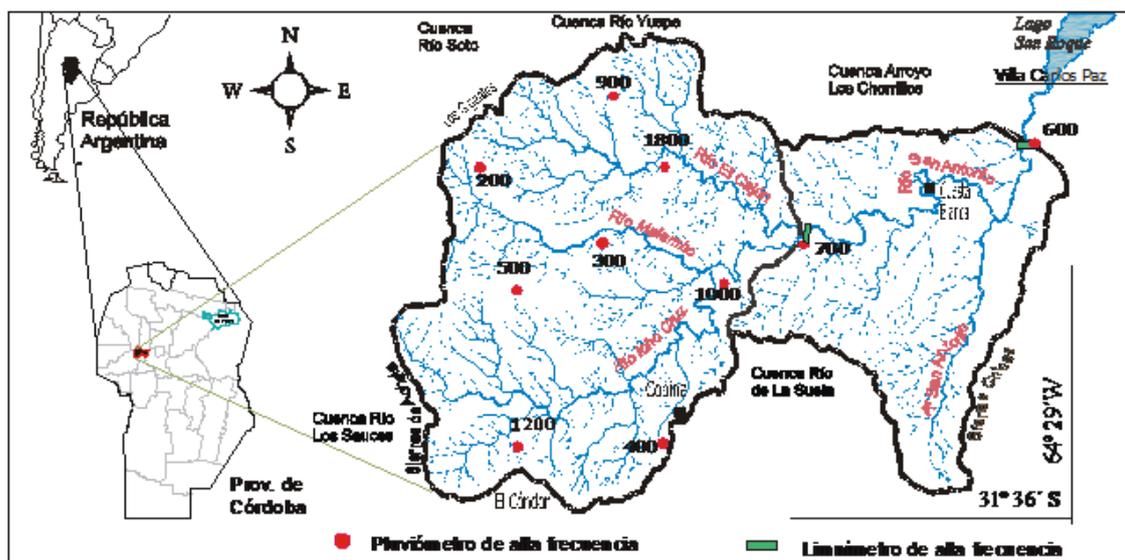


Figura 16: Cuenca del río San Antonio (Colladon, 2006)

Con respecto a la situación actual del pronóstico hidrológico en la cuenca del río San Antonio, el INA-CIRSA lo lleva a cabo mediante una formulación matemática polinómica muy sencilla (Colladón et al., 2007), cuyos coeficientes son ajustados estadísticamente. Mediante este modelo se da respuesta a las necesidades más imperiosas de la institución, manifestando, sin embargo, la necesidad de un método más preciso para tan delicada tarea.

Este modelo está representado por dos ecuaciones: una que estima la altura pico de la crecida y otra el tiempo de llegada, ambas necesitan información de la estación 700 “Confluencia con El Cajón” para poder brindar estos datos en la estación 600 “Barrio El Canal”. Es por ello, junto con otras razones, que la densidad de estaciones es mayor en la denominada “Cuenca Alta”.

Actualmente existe mayor densidad de población en el tramo que hay desde la estación 700 a la 600 y no se cuenta con ninguna herramienta para predecir la crecida a lo largo de este tramo. A esto se agrega la ocurrencia (de baja probabilidad) de precipitaciones con su núcleo temporal centrado en la cuenca baja, que al haber pocas estaciones para la toma de datos dificulta la previsión de la crecida.

9 Diagnóstico de la serie histórica de datos

La red telemétrica que opera en la cuenca del río San Antonio ha registrado desde 1994 mediciones de las precipitaciones mediante 10 pluviómetros distribuidos en la cuenca y gracias a los limnímetros instalados se poseen datos de nivel en la Estación 600.

Dado que el propósito del presente trabajo está orientado a una futura modelación lluvia caudal, es importante corroborar que se dispone de series de datos confiables tanto en precipitación como en caudales, y además que existe una correspondencia razonable entre ambas series. Se manifiestan algunas ausencias de datos en tramos de las series, lo cual conduce a la necesidad de identificar aquellos tramos confiables útiles para el presente trabajo tan largo como sea posible. Gracias a los avances realizados por Martín (2013), se contó con la información ya evaluada y analizada, que sirvió de base para categorizar los distintos tramos de las series disponibles según un análisis cualitativo que se describe a continuación.

En este sentido, se definieron cuatro rangos de calidad de datos de precipitación, y tres de caudal.

Las cuatro categorías de calidad de datos de precipitación, fueron establecidas en función del número de estaciones involucradas en la disponibilidad de datos para cada Δt , según la siguiente escala:

- a. Ninguna: periodos de tiempo en donde no existen datos de ninguna estación, esta situación es desfavorable y no debe ser utilizada en modelaciones.
- b. 1 a 3 estaciones: periodos de tiempo en donde existen datos de precipitaciones en más de 1 estación y hasta 3 estaciones inclusive, se considera que esta situación es desfavorable y no debe ser utilizada en modelaciones.
- c. 4 a 6 estaciones: periodos de tiempo en donde existen datos de precipitaciones en más de 4 estaciones y hasta 6 estaciones inclusive, se considera que esta situación es aceptable y puede ser utilizada en modelaciones.
- d. 7 a 10 estaciones: periodos de tiempo en donde existen datos de precipitaciones en más de 7 estaciones y hasta 10 estaciones inclusive, se considera que esta situación es optima y puede ser utilizada en modelaciones.

En el caso de los caudales, se estableció una jerarquía de calidad en función de la disponibilidad o no de datos suficientes y continuos en los periodos analizados, según la siguiente escala en tres niveles de calidad:

- a. Relleno en época de lluvia: corresponde al caso periodos rellenados en épocas de lluvia debido a los huecos en los registros. En Martin (2013) se llevó a cabo el proceso de relleno de estos periodos, mediante interpolación, promedio, etc. Como el relleno ocurre en épocas de lluvia no es recomendable utilizar estos datos en modelaciones.
- b. Relleno: existen a lo largo de la serie histórica rellenos en épocas no lluviosas y se considera que estos datos son aceptables para la modelación, dentro de ciertos límites de longitud de series y con ciertas precauciones.
- c. Con datos: esta es la situación óptima en donde existen registros de los datos.

Con la clasificación descrita anteriormente se estudio toda la serie de datos a lo largo de los 15 años (1994 – 2009), dividiendo en periodos de tiempo homogéneos.

Se puede observar en el Anexo la tabla “Diagnostico” los periodos homogéneos.

Los resultados se evidencian a continuación:

Periodo 1994-2009 (5726 días)	Condición de Datos de Precipitación			
	Ninguna	1 a 3 estaciones	4 a 6 estaciones	7 a 10 estaciones
Días	129	31	104	5462
Porcentajes %	2.25	0.54	1.82	95.39

Tabla 1: Condición de Datos de Precipitación

Condición de Datos de Precipitación

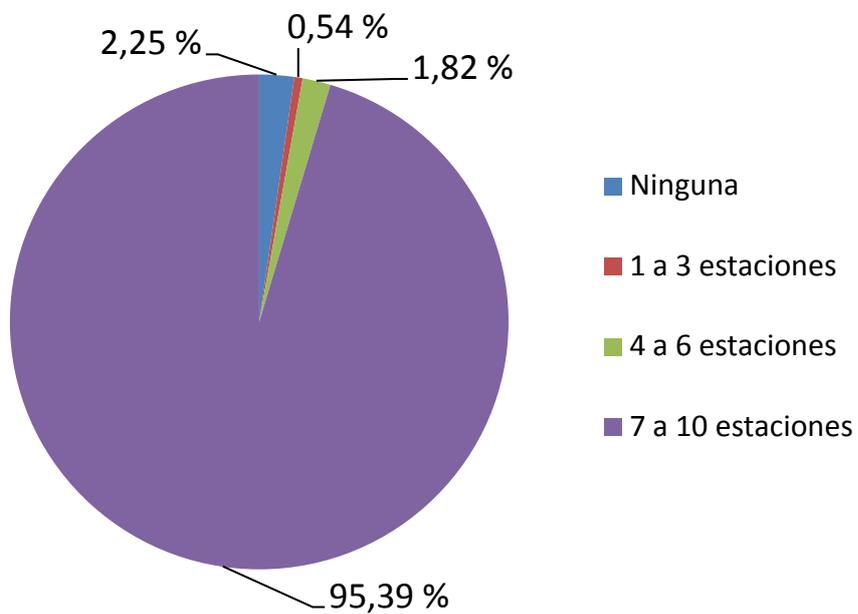


Figura 17: Condición de Datos de Precipitación

Periodo 1994-2009 (5726 días)	Condición de Datos de Caudal		
	relleno en época de lluvia	relleno	con datos
Días	639	1418	3669
Porcentajes %	11.16	24.76	64.08

Tabla 2: Condición de Datos de Caudal

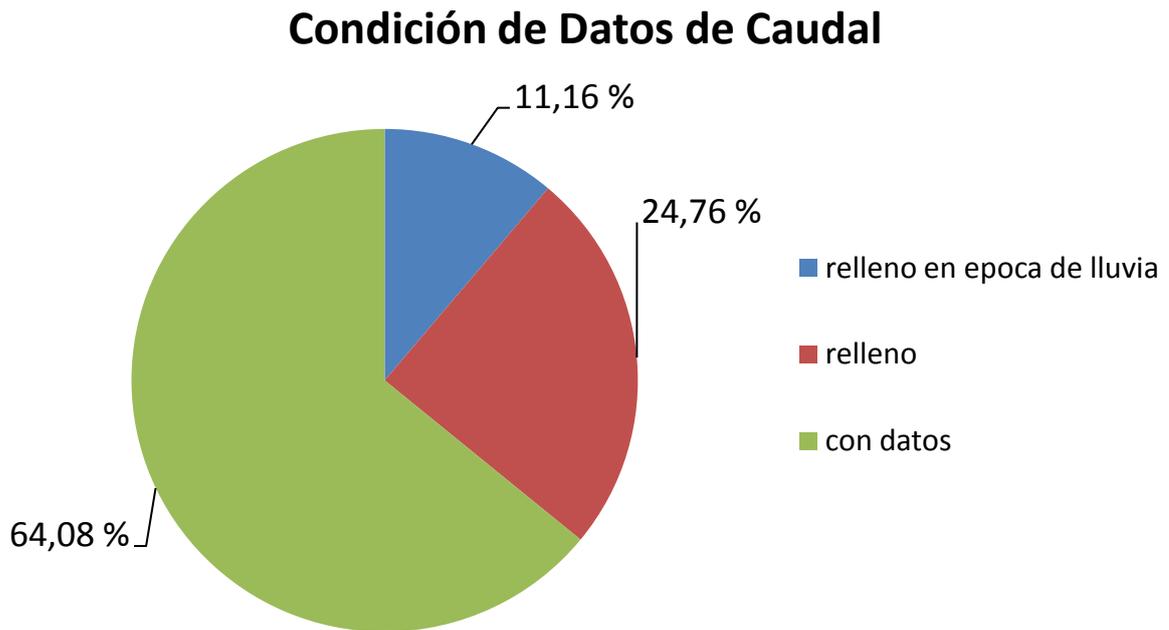


Figura 18: Condición de Datos de Caudal

Se llegó a la conclusión de que la serie histórica de precipitaciones posee una buena representación en todo el periodo con un 95% de datos registrados por 7 a 10 estaciones. La situación cambia cuando se ve el estado de datos de la serie histórica de caudales, ya que se tiene registro de datos de solo el 64% de la serie.

Esto limita a la elección de las series a modelar, se recomienda evitar utilizar periodos en donde el relleno haya sido en épocas de lluvia y utilizar con precaución el resto de los periodos de relleno.

En la sección Identificación de series confiables¹⁵ se vuelve a utilizar este estudio diagnostico para corroborar que los periodos de las series elegidas sean válidas acorde a lo descripto anteriormente.

10 Distribución de Precipitaciones por estaciones

Se desea conocer si existe algún patrón definido de distribución de lluvias para la Cuenca del Río San Antonio, para ello se analizó la distribución en distintas escalas temporales que abarcan desde 1 hora hasta 6 horas.

Como se trataba de realizar un cálculo simple, estimativo y rápido se tomaron los dos meses más lluviosos del año, Enero y Febrero.

El problema que se encontró es que algunas estaciones carecen de datos en determinados periodos de tiempo, por lo tanto no era correcto considerarlas para el estudio, ya que si bien en estos periodos de tiempo no existían registros de datos de lluvia en la estación, esto no implicaba que en la misma no hubiera precipitación. Esto llevo a estudiar la serie de datos con mayor detenimiento en los meses de Enero-Febrero para encontrar 8 años en donde todas las estaciones registraban datos, estos fueron: 1995 – 1996 – 1997 – 1998 – 2000 – 2001 – 2003 – 2004.

De la serie de datos de estos años se calculó el porcentaje de lluvia caída para una estación determinada en un periodo de tiempo respecto al total de la lluvia registrada en todas las estaciones. Esto se hizo como se menciona anteriormente para una escala de tiempo de 1 a 6 horas.

Por último se calculó el promedio de los porcentajes de cada estación en esos 2 meses de datos de manera de tener un porcentaje anual por estación. A continuación se muestran los resultados obtenidos:

$\Delta t = 1$										
Año/Est.	1800	1200	1000	900	700	600	500	400	300	200
1995	5,5%	13,9%	5,7%	8,4%	7,2%	8,5%	15,6%	13,4%	9,4%	12,5%
1996	10,2%	14,9%	7,0%	13,3%	7,5%	11,4%	11,3%	9,6%	5,1%	9,6%
1997	6,5%	12,0%	4,9%	7,9%	7,3%	6,7%	15,5%	7,6%	10,8%	20,7%
1998	3,4%	14,3%	5,8%	12,3%	6,7%	5,8%	11,7%	7,8%	13,4%	18,8%
2000	3,6%	17,9%	11,0%	12,3%	5,4%	8,7%	6,4%	11,6%	10,5%	12,6%
2001	5,1%	12,6%	11,8%	7,2%	3,4%	6,9%	8,8%	12,9%	4,2%	27,1%
2003	7,0%	13,1%	6,9%	12,1%	5,3%	10,8%	13,7%	13,6%	7,4%	10,1%
2004	7,1%	15,0%	6,5%	10,1%	7,7%	9,1%	12,9%	9,1%	10,8%	11,6%

Tabla 3: Distribución de Lluvias en 1 hora

$\Delta t = 2$										
Año/Est.	1800	1200	1000	900	700	600	500	400	300	200
1995	5,3%	14,1%	4,7%	8,3%	6,6%	8,5%	16,6%	14,6%	8,3%	13,1%
1996	9,0%	15,1%	7,2%	12,8%	6,9%	11,2%	11,8%	10,2%	5,3%	10,4%
1997	6,5%	11,6%	4,6%	7,7%	7,9%	6,5%	16,1%	7,0%	11,7%	20,4%
1998	3,4%	14,7%	5,9%	11,9%	7,3%	5,4%	11,1%	8,6%	12,4%	19,3%
2000	4,0%	17,9%	11,0%	13,2%	5,2%	6,9%	5,8%	11,0%	10,0%	15,1%
2001	5,2%	14,4%	9,3%	8,5%	3,6%	5,8%	9,5%	9,9%	4,3%	29,7%
2003	5,8%	12,5%	7,5%	12,8%	6,3%	10,7%	12,7%	13,5%	7,3%	10,9%
2004	6,9%	15,6%	6,5%	9,5%	7,7%	8,4%	13,8%	9,3%	11,0%	11,3%

Tabla 4: Distribución de Lluvias en 2 horas

$\Delta t = 3$										
Año/Est.	1800	1200	1000	900	700	600	500	400	300	200
1995	5,1%	13,2%	4,4%	8,4%	6,5%	8,5%	17,1%	15,8%	8,1%	13,0%
1996	8,4%	15,3%	7,7%	12,4%	6,7%	11,7%	11,8%	10,5%	4,8%	10,7%
1997	6,6%	11,5%	4,2%	7,7%	8,5%	6,4%	16,8%	6,4%	11,5%	20,4%
1998	3,5%	15,0%	5,9%	11,2%	7,9%	5,4%	10,7%	9,2%	11,9%	19,2%
2000	4,1%	15,8%	12,7%	13,8%	5,2%	6,3%	6,1%	8,5%	10,2%	17,5%
2001	5,4%	14,8%	8,2%	9,5%	3,3%	5,4%	10,5%	10,5%	4,2%	28,2%
2003	5,5%	12,4%	7,5%	12,5%	6,8%	10,9%	11,8%	13,7%	7,4%	11,5%
2004	7,1%	15,2%	6,3%	9,5%	7,9%	8,2%	14,7%	8,8%	11,2%	11,4%

Tabla 5: Distribución de Lluvias en 3 horas

$\Delta t = 4$										
Año/Est.	1800	1200	1000	900	700	600	500	400	300	200
1995	5,2%	12,9%	4,2%	7,9%	6,3%	8,7%	18,0%	16,6%	8,0%	12,4%
1996	8,1%	15,6%	8,0%	11,8%	6,6%	12,0%	11,8%	10,7%	4,6%	10,8%
1997	6,4%	11,5%	4,1%	7,4%	8,9%	6,2%	17,2%	6,4%	11,3%	20,6%
1998	3,6%	15,1%	6,1%	10,6%	8,6%	5,2%	10,7%	9,3%	11,4%	19,2%
2000	4,0%	15,1%	14,3%	14,4%	5,4%	6,0%	5,7%	8,2%	10,4%	16,7%
2001	5,5%	15,3%	8,0%	10,3%	3,1%	5,5%	10,8%	10,6%	4,1%	26,7%
2003	5,5%	12,0%	7,9%	12,0%	7,3%	11,1%	11,2%	13,7%	7,6%	11,6%
2004	7,3%	14,3%	6,3%	9,2%	8,0%	8,4%	15,2%	8,7%	11,0%	11,4%

Tabla 6: Distribución de Lluvias en 4 horas

$\Delta t = 5$										
Año/Est.	1800	1200	1000	900	700	600	500	400	300	200
1995	5,2%	12,7%	4,1%	7,7%	6,1%	8,8%	18,7%	16,8%	7,7%	12,3%
1996	7,8%	15,7%	8,1%	11,4%	6,7%	12,1%	12,0%	10,7%	4,3%	11,2%
1997	6,3%	11,4%	4,0%	7,3%	8,9%	6,1%	17,5%	6,4%	11,4%	20,5%
1998	3,9%	15,2%	6,2%	10,2%	8,8%	5,4%	10,7%	9,2%	10,8%	19,7%
2000	4,0%	13,6%	15,9%	14,5%	5,6%	5,9%	5,4%	7,6%	10,4%	17,1%
2001	5,7%	15,5%	7,9%	10,8%	3,1%	5,5%	11,0%	11,0%	3,9%	25,7%
2003	5,5%	11,9%	8,3%	11,7%	7,7%	11,3%	10,6%	13,7%	7,7%	11,5%
2004	7,4%	14,9%	6,4%	9,0%	8,3%	8,4%	15,5%	8,4%	10,6%	11,2%

Tabla 7: Distribución de Lluvias en 5 horas

$\Delta t = 6$										
Año/Est.	1800	1200	1000	900	700	600	500	400	300	200
1995	5,2%	12,6%	4,0%	7,6%	5,9%	8,9%	19,4%	16,6%	7,5%	12,2%
1996	7,6%	15,7%	8,3%	11,2%	6,8%	12,2%	11,8%	10,6%	4,2%	11,5%
1997	6,2%	11,5%	3,9%	7,3%	8,9%	6,1%	17,6%	6,1%	11,6%	20,7%
1998	4,0%	15,4%	6,2%	9,9%	9,0%	5,5%	10,6%	8,7%	10,5%	20,2%
2000	4,1%	12,9%	17,2%	14,2%	5,9%	5,7%	5,3%	7,0%	10,4%	17,4%
2001	5,8%	15,7%	7,8%	11,1%	3,0%	5,4%	11,3%	10,9%	3,8%	25,2%
2003	5,7%	11,9%	8,4%	11,5%	8,0%	11,4%	10,3%	13,7%	7,9%	11,2%
2004	7,5%	14,8%	6,5%	8,9%	8,6%	8,3%	15,6%	8,2%	10,4%	11,2%

Tabla 8: Distribución de Lluvias en 6 horas

Se puede observar que si bien existe cierto rango de porcentajes de distribución entre estaciones se nota como dentro de cada estación existe cierta variabilidad, por ejemplo, en la estación 1800, para una escala de tiempo de 1 hora, en el año 1996 la estación representa el 10,2% de las precipitaciones de esos 2 meses, pero en el año 1998 solo el 3,4%. Lo mismo se observa en las siguientes escalas de tiempo.

Con los datos observados y el estudio de los mismos concluimos que, a los fines de la hipótesis planteada en esta Práctica Supervisada, resulta interesante evaluar cuál es el impacto que la variabilidad de la distribución espacial de precipitaciones tiene en la performance del modelo para predecir caudales en la Cuenca del Rio San Antonio.

11 Modelo Digital de Elevación: Cuenca del San Antonio

A continuación se detallaran los pasos para obtener el DEM de la Cuenca del San Antonio. Se requerirá de algún programa de SIG.

11.1 Recopilación de Datos

Existen varias fuentes para obtener imágenes satelitales y modelos de elevación, en este caso se utilizaron los datos que provee United States Geological Survey (USGS, 2014).

Se entra en la página web del USGS y hay que tener un usuario registrado para poder descargar los archivos. Luego de ello se delimita el área en donde se encuentra la CSA (aproximadamente):

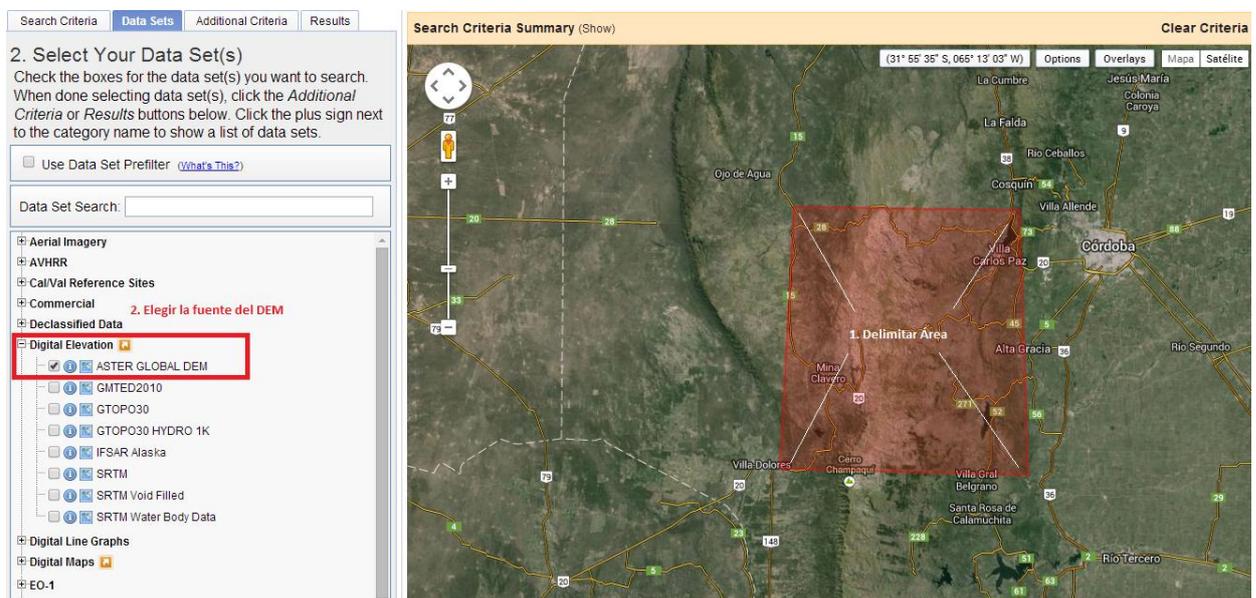


Figura 19: Datos (USGS, 2014)

Revisar las opciones disponibles para descargar el modelo digital de elevación.

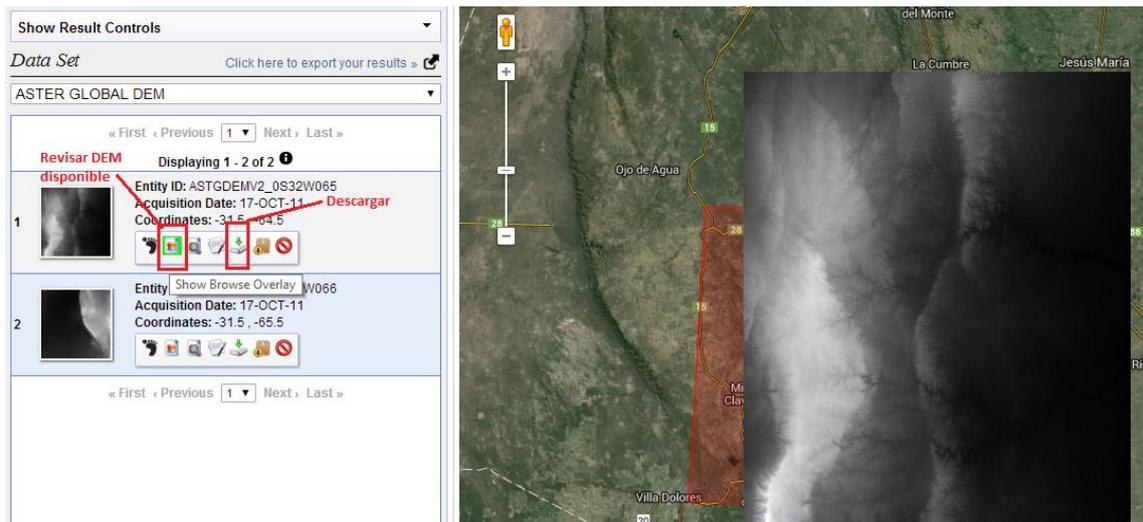


Figura 20: Datos (USGS, 2014)

11.2 Proyección DEM

Se debe proyectar el DEM para trabajar en las coordenadas convenientes. Abrir el DEM en el programa SIG y mediante las herramientas situadas en ArcToolBox, utilizar “Data Management Tools”, luego “Projections and Transformations”, “Raster”, y proyectamos el raster con “Project Raster”

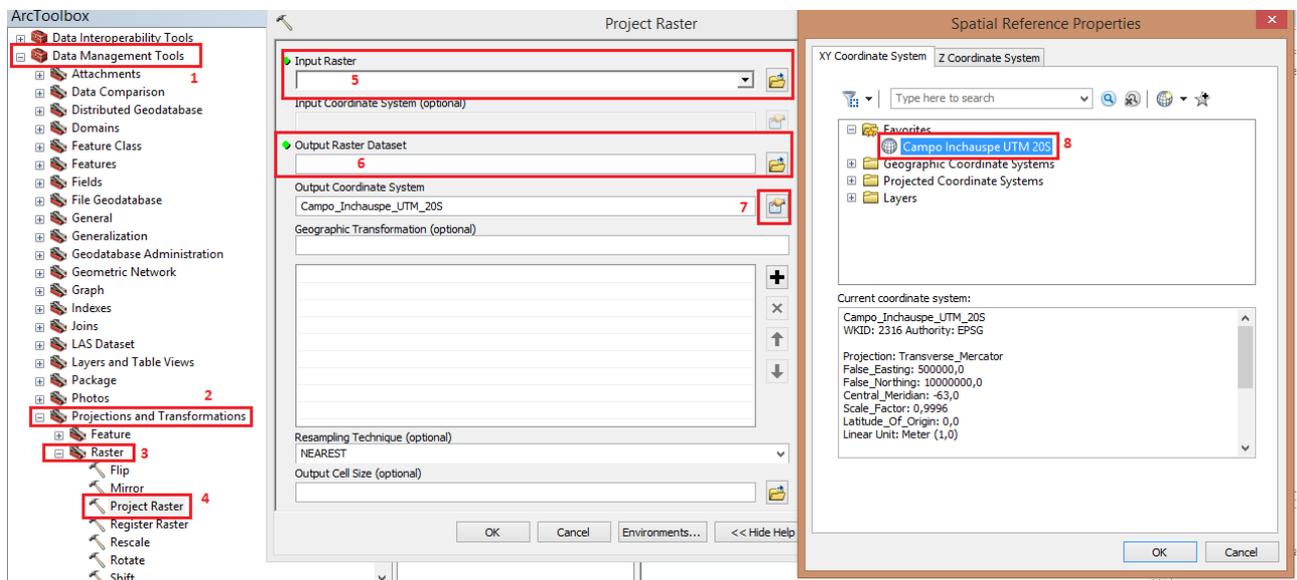


Figura 21: Proyección del Raster

En “Input Raster” colocar el DEM descargado, luego en “Output Raster” se elige el lugar donde se guardará y el nombre que se utilizará (Recomendación: colocar todo en una misma carpeta, y el nombre del DEM proyectado como “proyección”).

Finalmente en “OutputCoordinateSystem” elegir “Campo Inchauspe UTM 20S”.

Luego de realizar la proyección obtenemos el siguiente archivo:

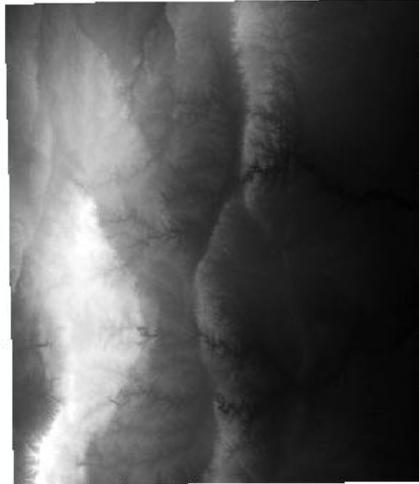


Figura 22: DEM Proyectado

Nota: es muy importante utilizar bien los nombres (no necesariamente tienen que ser los mismos que se utilizaron acá, pero es recomendable que tengan sentido) y se debe guardar todo en una misma carpeta.

11.3 Fill DEM

Como se vio anteriormente, con esta herramienta corregimos las imperfecciones que puedan llegar a tener el DEM.

Luego en la caja de herramientas elegir “SpatialAnalyst Tools”, y a partir de ahora vamos a trabajar con la caja de herramientas de hidrología o “Hydrology”.

Aquí vemos la herramienta “Fill”

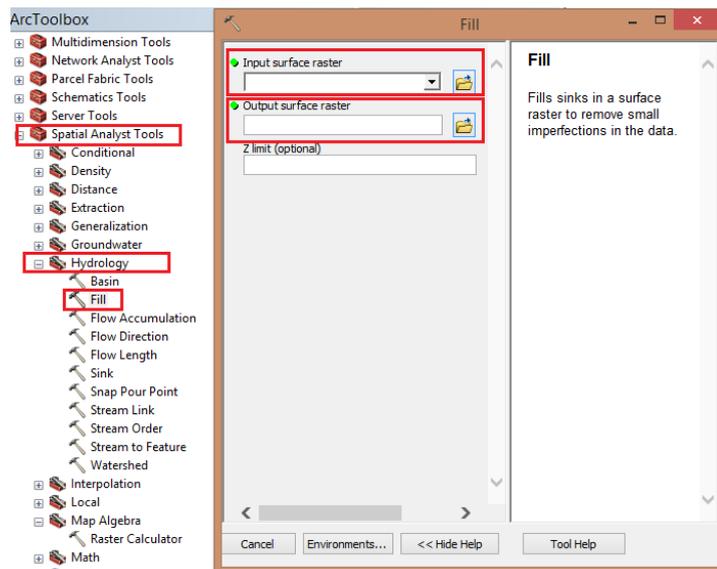


Figura 23: Fill DEM

En el cuadro de dialogo “Input Raster” elegimos el DEM proyectado en la sección anterior, en este caso se llamó “proyección”.

Luego en “Output Raster” elegimos el nombre del nuevo raster, en este caso “filled”.

Finalmente se obtiene del DEM corregido que tiene el mismo aspecto que el DEM proyectado, ya que solo cambian las propiedades de los pixeles.

11.4 FlowDirection

Ahora pasaremos a ver la dirección del flujo, para ello en el cuadro de herramientas de “Hydrology” usamos la herramienta “FlowDirection”:

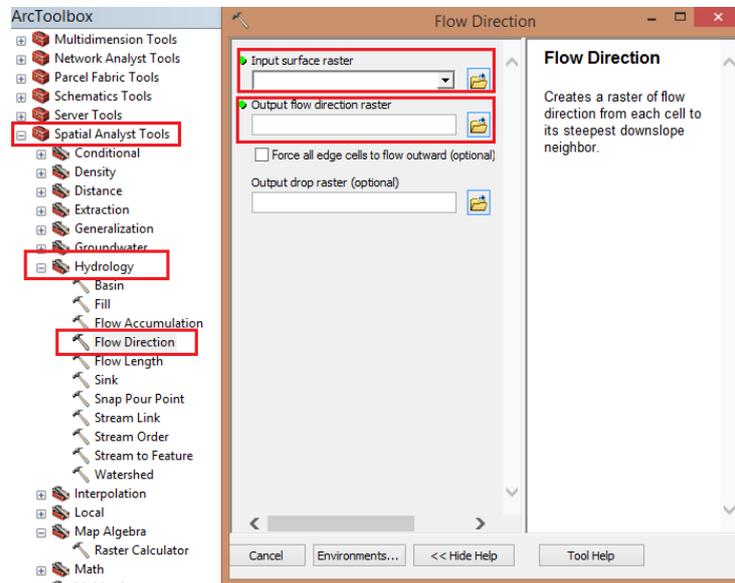


Figura 24: FlowDirection

En “Input Raster” elegimos el DEM ya corregido por los sinks, en este caso sería el raster “filled”. Para “Output Raster” elegimos el nombre del nuevo raster a crear, por ejemplo, “flowdir”. Finalmente se obtiene lo siguiente:

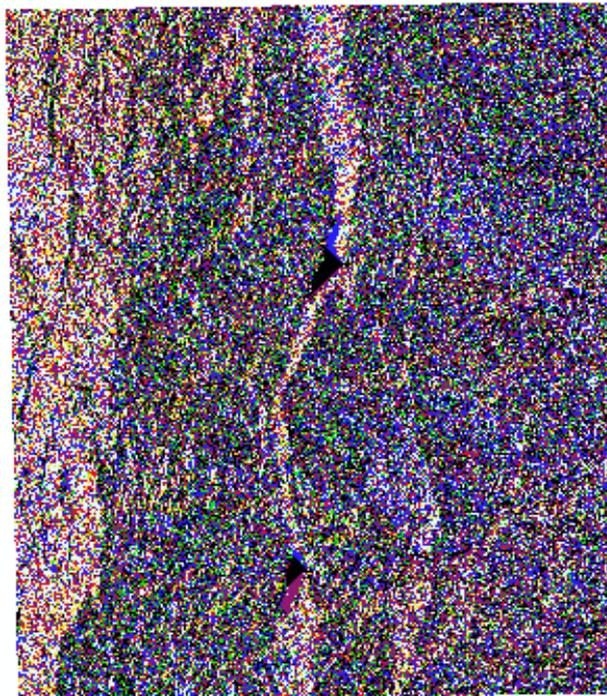


Figura 25: FlowDirection

11.5 FlowAccumulation

Para ver como se acumula el flujo, en la caja de herramientas “Hydrology” usamos la herramienta “FlowAccumulation”.

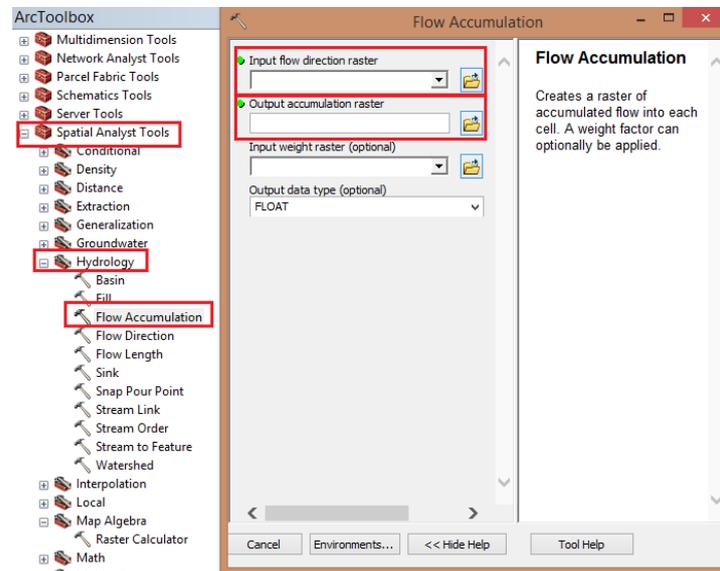


Figura 26: FlowAccumulation

En “Input flowdirectionraster” elegimos “flowdir” y en “Output accumulationraster” elegimos el nombre del raster que se creara, en este caso “flowaccum”. Se obtiene finalmente un raster muy oscuro que representa la acumulación del flujo.

11.6 Pour Point

El Pour Point sirve para calcular el punto de concentración de la cuenca, para luego delimitar la misma con la herramienta “Watershed”.

A la derecha del programa se encuentra la pestaña de “Catalog”, abriéndola se puede visualizar la carpeta de trabajo y los archivos creados.

Debemos crear un nuevo shapefile que tenga la propiedad de ser un punto, para ello se hace clic derecho sobre la carpeta de trabajo, “New”, “Shapefile”.

En nombre colocar “PC” y en “FeatureType” elegir Point. También se tildan las casillas de Z values y M values.

Por último le asignamos un sistema de coordenadas al punto, en este caso “Campo Inchauspe UTM 20S”

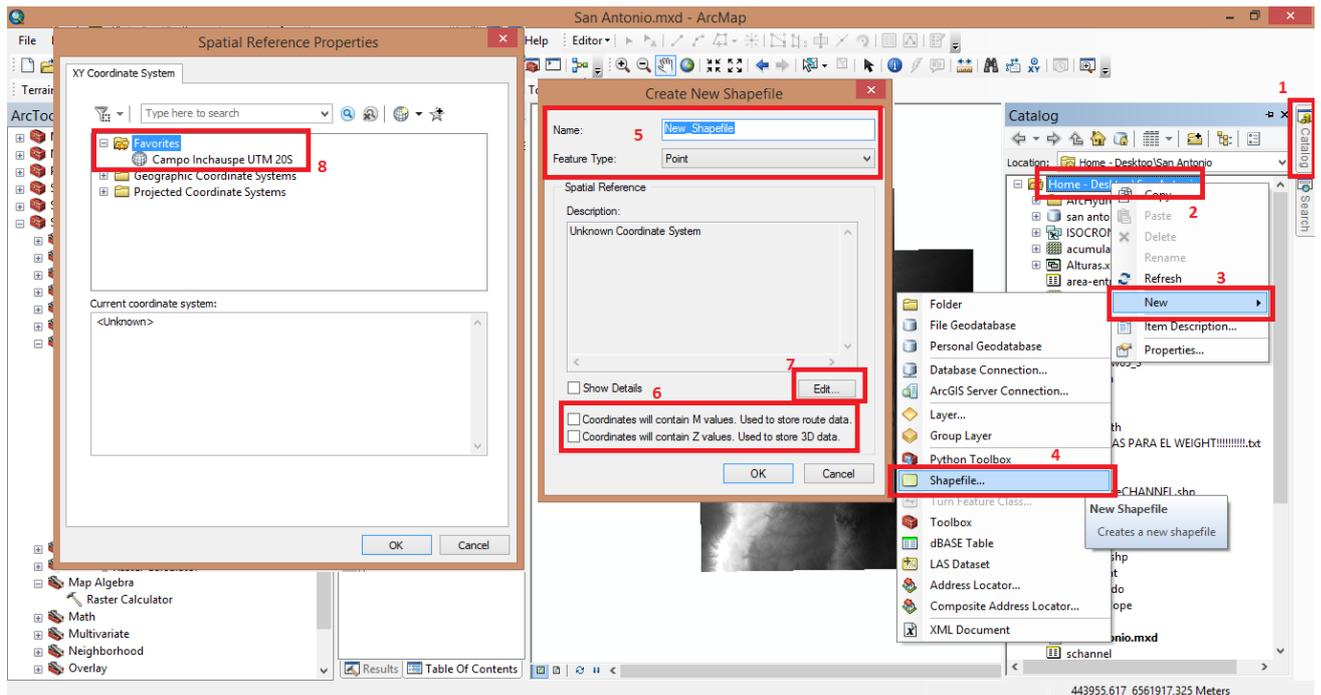


Figura 27: Shapefile

Ahora se debe ubicar el “Shapefile PC” en el DEM, para ello activar la layer de “flowdir” y “flowaccum” y observar donde se acumula y dirige el flujo. Este paso no lo realiza el programa automáticamente; el operador del programa debe conocer previamente la cuenca y la ubicación aproximada del punto de concentración, para luego obligar al programa a colocarlo allí.

Para materializar el punto de concentración, se debe realizar un zoom en la zona hasta que se puedan individualizar a simple vista pixel por pixel.

En la barra de herramientas ubicar “Editor” y “StartEditing”, luego en la ventana que se abre tendremos las opciones de los shapefile que se pueden editar, elegir “PC”.

A la derecha se abrirá una pestaña de “CreateFeatures”, elegir el shapefile “PC” y ubicarlo en el pixel que se desea, considerando que éste va a ser el punto de concentración, es decir el punto donde está el aforo de la cuenca que en este caso es la estación 600 en la CSA. Por lo tanto se deben tener las estaciones cargadas en el programa, esto se explicara en las secciones siguientes.

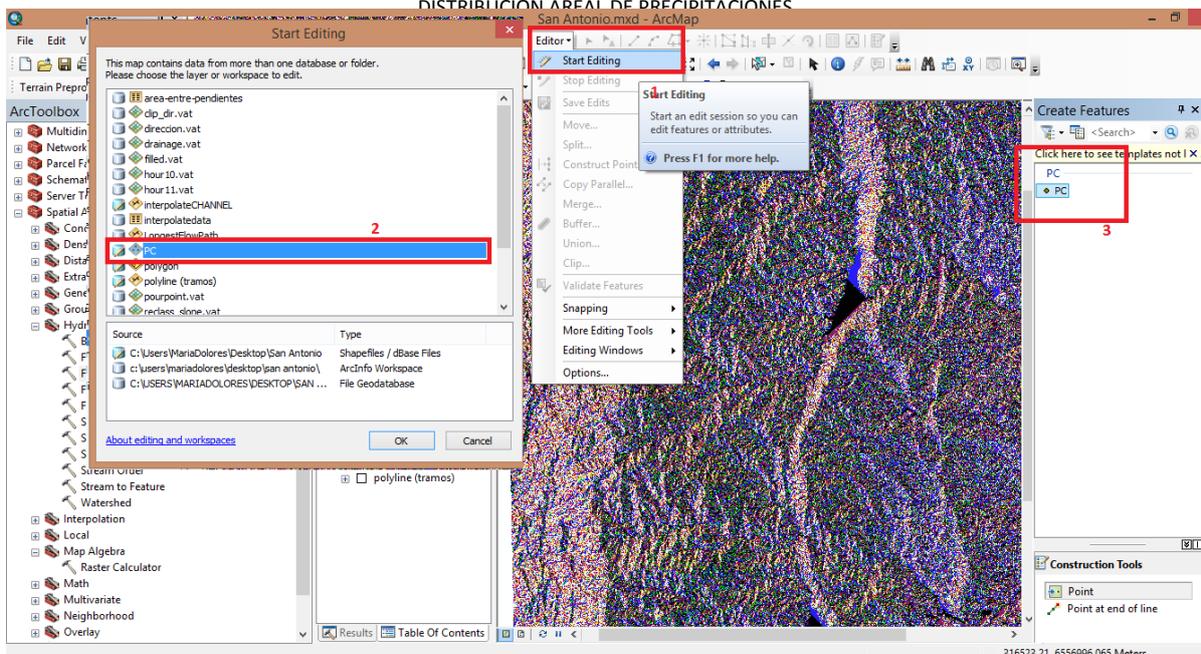


Figura 29: Ubicar Pour Point

Una vez ubicado el “PC” en “Editor → Stop Editing”. Luego lo que resta hacer es asignarle a este shapefile “PC” la propiedad de ser un “Pour Point”. Para ello en la caja de herramientas de “Hydrology” elegir la herramienta “Snap Pour Point”.

En “Input raster or feature pourpoint data” elegir el shapefile “PC”, en “Input accumulation raster” elegir el raster de acumulación de flujo “flowaccum” y finalmente en “Output Raster” elegir el nombre del raster de pourpoint, en este caso “pourpoint”.

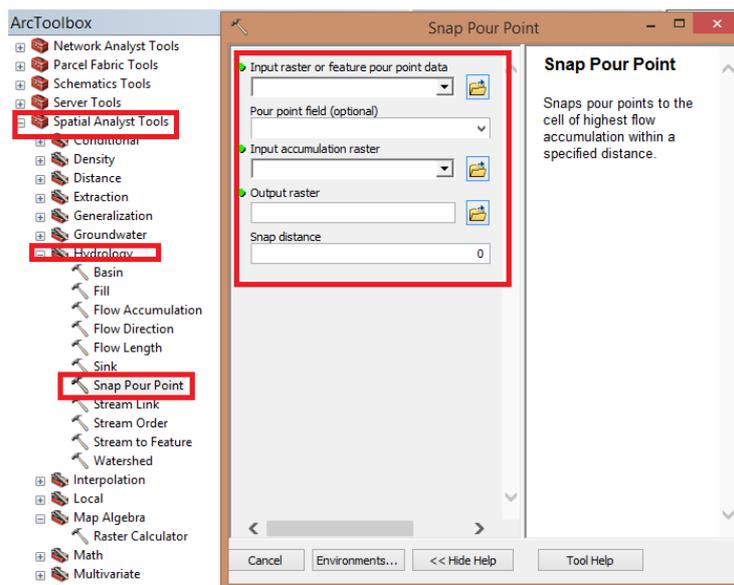


Figura 30: RasterPour Point

11.7 Watershed

Con esta herramienta se determinan los límites de la cuenca del San Antonio, una vez más en la caja de herramientas “Hydrology” elegir la herramienta “Watershed”:

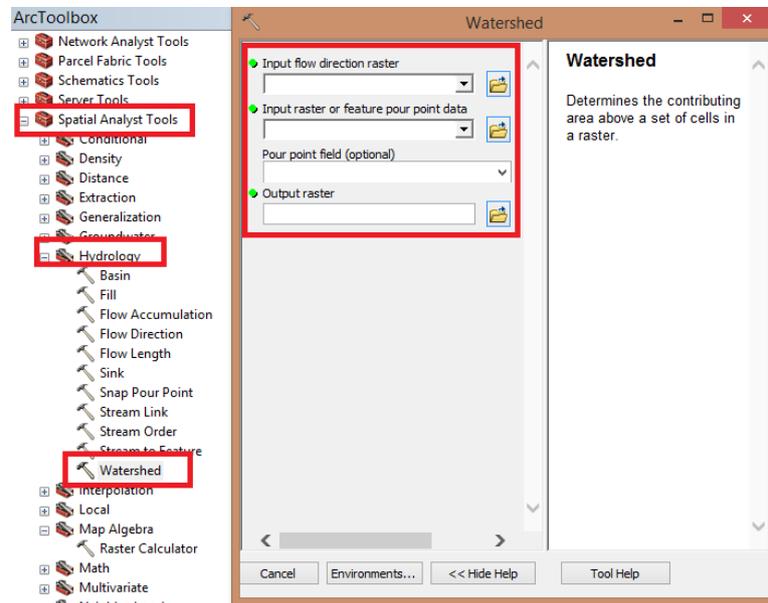


Figura 31: Watershed

En “Input FlowDirectionRaster” se coloca el raster “flowdir” creado anteriormente, luego en “Input raster or feature pourpoint data” elegimos el raster del punto de concentración llamado “pourpoint”.

Como raster de salida, en “Output Raster” llamamos “watershed”

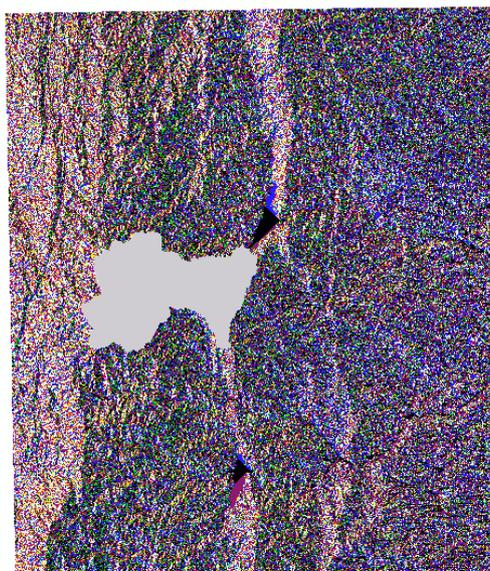


Figura 32: Resultado Watershed

11.8 Polygon

Ahora para poder “cortar” todos los archivos creados anteriormente y obtener solo los mismos resultados dentro del límite de la CSA lo que se necesita hacer es crear un polígono.

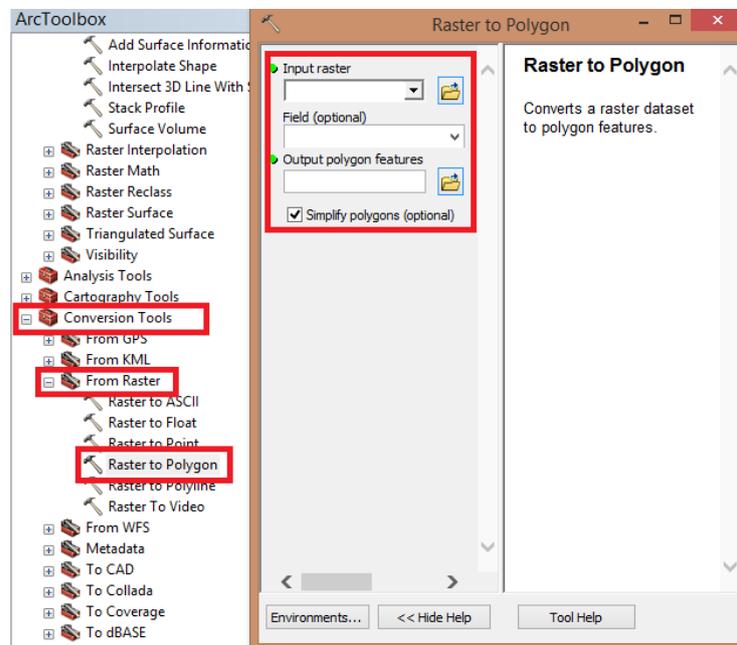


Figura 33: RastertoPolygon

En la caja de herramientas “Conversion Tools” elegir “FromRaster” y luego “RastertoPolygon”.

Luego en “Input Raster” colocamos el raster creado en la sección anterior, “watershed” y en “Output PolygonFeatures” nombramos el nuevo archivo como “polygon”. El resultado es un polígono con la forma de la cuenca del San Antonio:

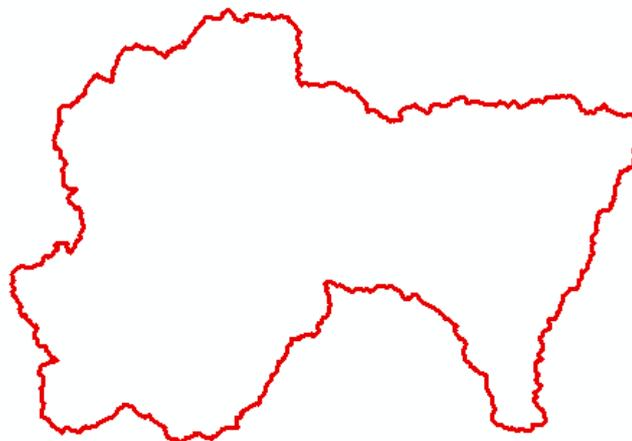


Figura 34: Cuenca San Antonio

11.9 Clip

Esta herramienta permite “cortar” todos los archivos creados anteriormente para obtenerlos dentro de los “límites” de la cuenca:

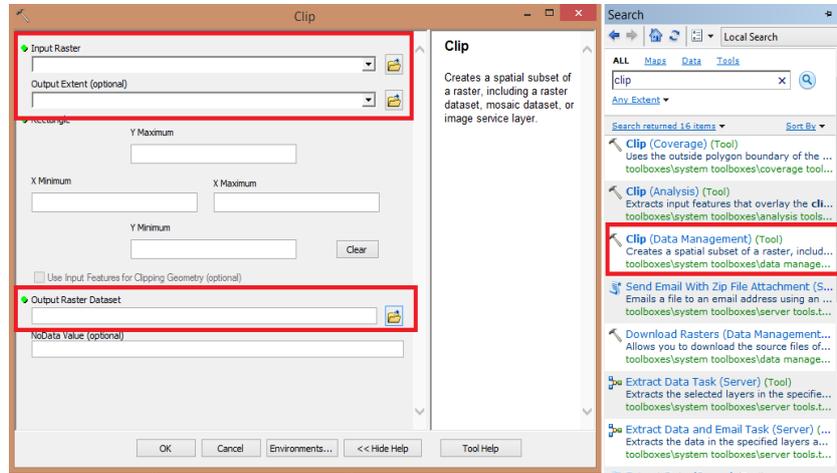


Figura 35: Clip

En la derecha de la pantalla y pegado a la pestaña “Catalog” hay una pestaña que se llama “Search”, se hace clic y se busca la herramienta “Clip”. El procedimiento para utilizar la herramienta siempre es el mismo, nos permite cortar rasters dentro de un límite, en este caso por ejemplo para obtener el DEM de la Cuenca del San Antonio se coloca en “Input Raster” el DEM proyectado y corregido, llamado “filled”. En “Output Extent” elegir “polygon” y finalmente en “Output Raster” se nombra “SA-dem”.

Se repite el procedimiento para los rasters “flowdir” y “flowaccum” se obtiene “clip_dir” y “clip_accum”. Como resultado se tiene:

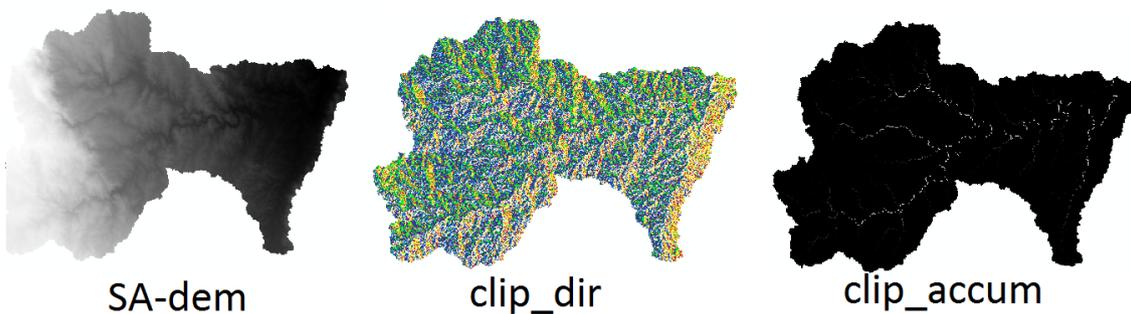


Figura 36: Resultado Clip

12 Parámetros de la Cuenca del Río San Antonio

12.1 Área de la cuenca

Mediante el polígono “polygon” vamos a calcular el área de la Cuenca del Río San Antonio:

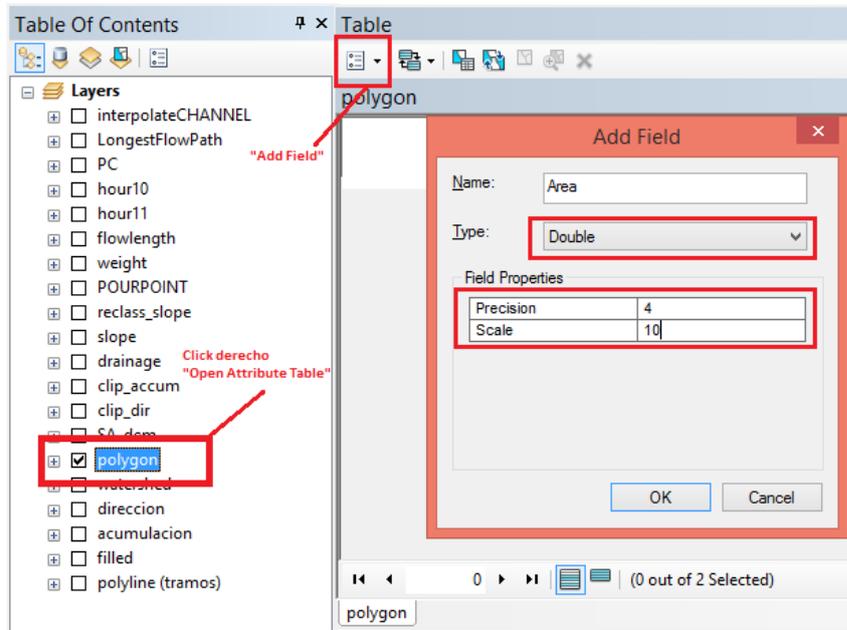


Figura 37: Tabla de Atributos Area

Para determinar el área se utiliza el raster “polygon”, en la tabla de contenidos, clic derecho sobre el layer “polygon” y abrir la tabla de atributos, luego hacer clic en el primer icono de la barra de herramientas de la tabla y ejecutar “Add Field”. En Type elegir Double y colocar la precisión que se desea.

Se obtendrá una nueva columna con el nombre elegido. Clic derecho sobre el “nombre” de la columna y ejecutar “Calculate Geometry” y se calcula el área.

Se determinó que el área de la CSA es de 495,2 km².

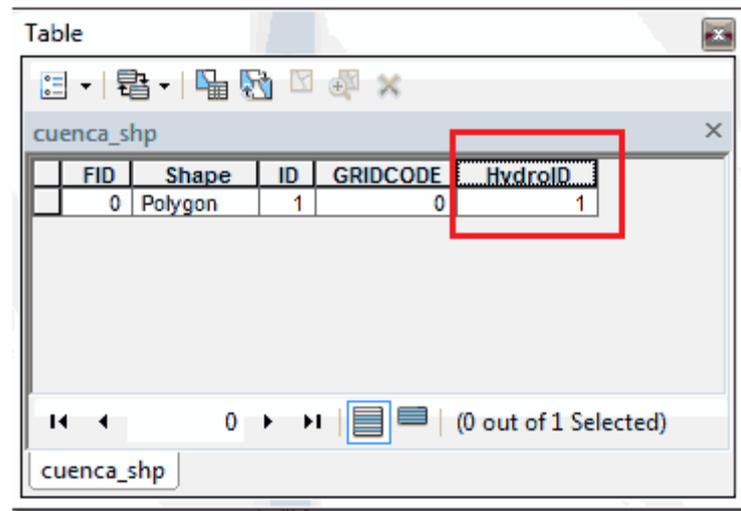
polygon						
	FID	Shape *	ID	GRIDCODE	area	HydroID
▶	0	Polygon	1	0	0	0
	1	Polygon	2	0	495,2	0

Figura 38: Área CSA

12.2 Longitud Cauce Principal

Para calcular la longitud del cauce principal se necesita la herramienta de extensión llamada Archydro, es un complemento del programa ArcGIS

Abrir la tabla de atributos del layer “polygon” y crear una nueva columna que tenga el nombre de HydroID.



FID	Shape	ID	GRIDCODE	HydroID
0	Polygon	1	0	1

Figura 39: HydroID

En el menú de Archydro elegir WatershedProcessing y luego LongestFlowPath, esto determinará cuál es el canal de flujo más largo que existe en la CSA.

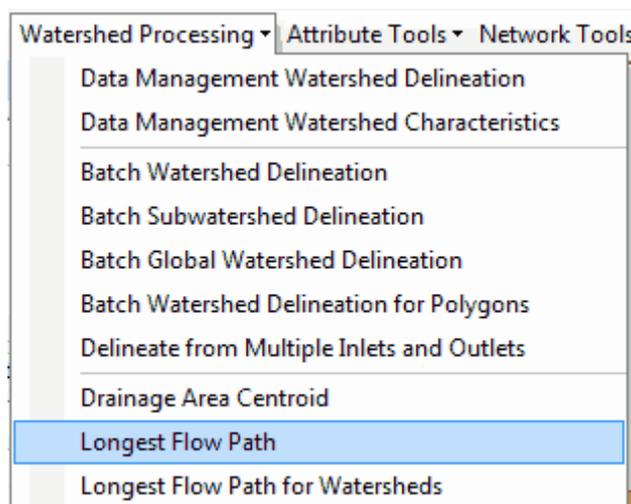


Figura 40: LongestFlowPath

En el nuevo cuadro de dialogo “DrainageArea” es el área de drenaje, en nuestro caso se extiende hasta los límites de la CSA, por lo tanto elegir “polygon”.

Se coloca el raster de dirección de flujo de la CSA que en este caso es un raster clip porque lo cortamos previamente llamado "clip_dir"

Por último colocar el nombre del nuevo raster, por defecto es "LongestFlowPath".

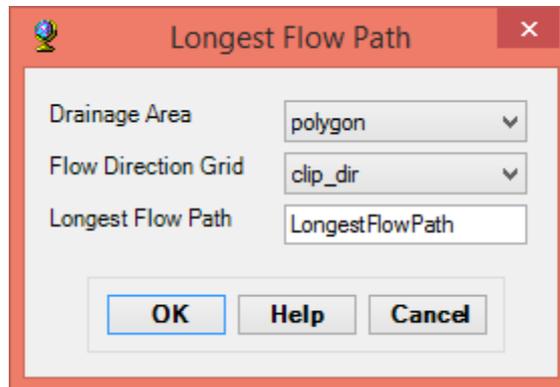


Figura 41: LongestFlowPath (2)

El resultado es una nueva layer, abriendo la tabla de atributos se encuentra la longitud del flujo.

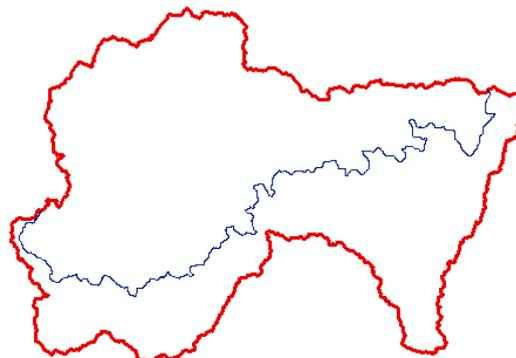


Figura 42: Cauce Principal

En el caso de la CSA el canal de flujo más largo es el Rio San Antonio con el Rio Icho Cruz.

LongestFlowPath			
	Shape *	OID *	Shape Length
▶	Polyline	5	69470,844792

Figura 43: Longitud Cauce Principal

La longitud del cauce principal para la CSA es de 69470,84 m

12.3 Perfil del cauce principal

Al cauce principal delimitado anteriormente “LongestFlowPath”, se le agrega la distribución en altura sobre la superficie para conocer el perfil del cauce principal y su pendiente media. Para ello en caja de herramientas “3D Analyst” elegir “FunctionalSurface” y por ultimo “InterpolateShape”.

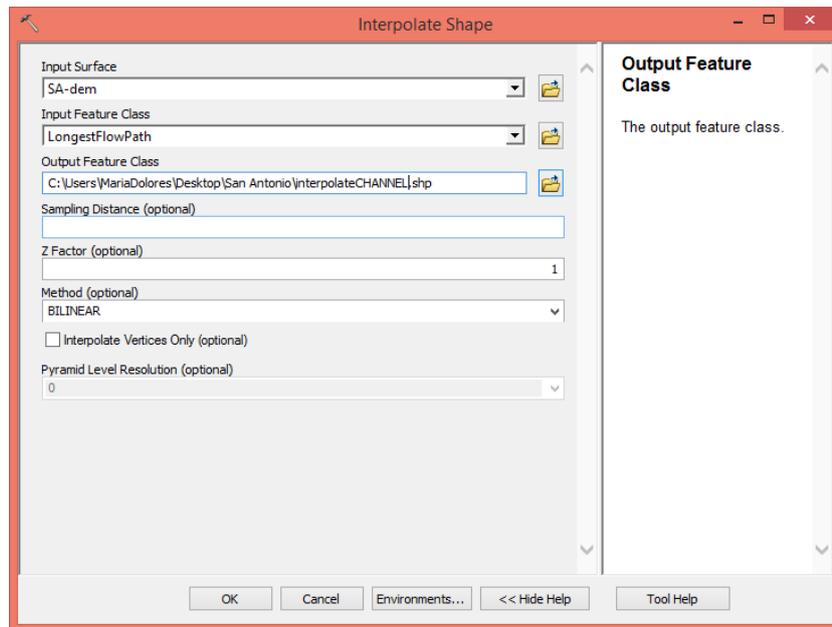


Figura 44: InterpolateShape

En “Input Surface” vamos a colocar el raster “SA-dem” y en “Input FeatureClass” el raster “LongestFlowPath”.

El raster de salida, en “Output FeatureClass” nombrar el nuevo raster como “interpolatechannel”.

Como resultado se obtiene un nuevo archivo del cauce principal que tiene la información de las alturas.

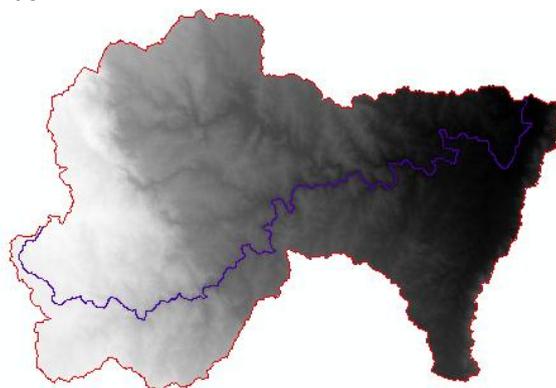


Figura 45: InterpolateChannel

Para visualizar el perfil del cauce principal se debe seleccionar el cauce con el cursor marcado en la imagen siguiente:

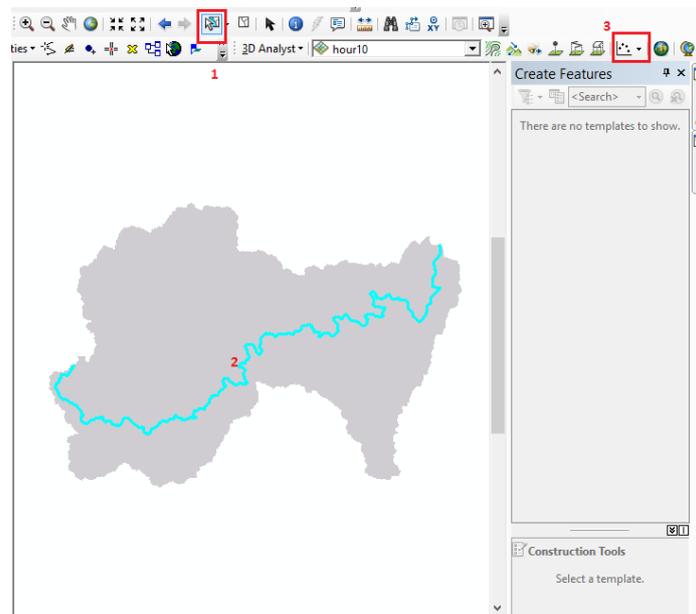


Figura 46: Selección Cauce

Luego en la barra de herramientas de “3D Analyst” elegir ProfileGraph y se obtiene como resultado el perfil siguiente:

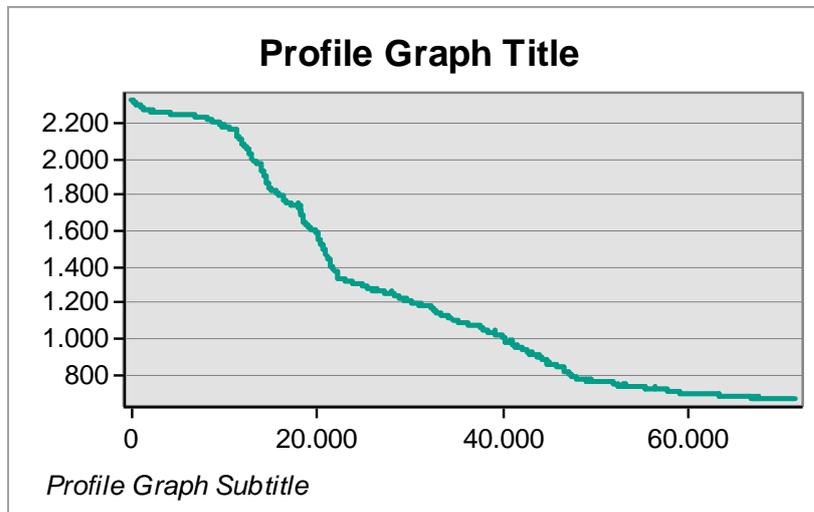


Figura 47: Perfil del Cauce Principal

Se puede observar como el cauce posee una fuerte pendiente hasta los 24.000m (a 2.000m de la Est. 1000 aproximadamente) y luego se vuelve más moderada.

12.4 Pendiente Media

Para el cálculo de la pendiente media se discretiza el cauce principal en tramos, y se evalúa la diferencia de altura en cada tramo, de esta manera es posible obtener la pendiente que existe en cada tramo. Finalmente se promedian las mismas resultando la pendiente media del cauce.

Sobre el grafico del perfil del cauce obtenido en el punto anterior se extraerán los datos de las alturas asociadas a las progresivas.

Para ello clic derecho sobre el grafico del perfil del cauce y ejecutar “Export”:

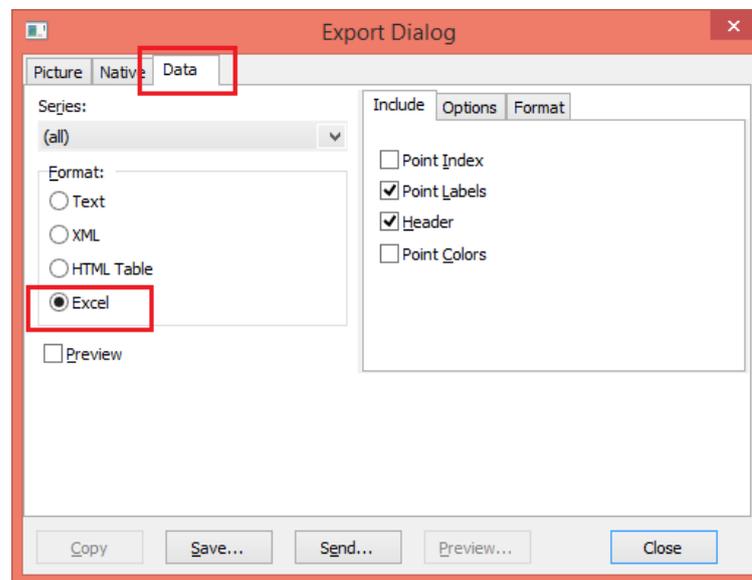


Figura 48: Exportto Excel

Se obtiene un archivo de Excel con los datos de las progresivas y sus alturas. Calcular la diferencia de longitud entre dos progresivas y su diferencia de altura para obtener la pendiente. Finalmente promediar las pendientes.

La pendiente media para la CSA que se obtuvo es de 0,02445349 m/m

12.5 Diferencia de Altura

Mediante el archivo de Excel obtenido en el punto anterior se puede calcular la diferencia de altura sobre el cauce principal, la misma para la CSA es de 1665m. Esto es el punto más alto sobre el cauce respecto al punto más bajo.

13 Determinación del Tiempo de Concentración

El tiempo de concentración es el tiempo que una partícula de agua tarda en llegar del punto más alejado dentro de la cuenca al punto de concentración (punto de desagüe). Como se vio anteriormente, el tiempo de concentración se puede estimar a partir de valores observados de mediciones lluvia-caudal, se puede calcular mediante formulas empíricas, o utilizando un enfoque físico basado en la ocurrencia de flujo cinemático. (Bertoni, 2000).

Existe un gran número de formulas empíricas descriptas en la literatura; las mismas por lo general provienen de los países desarrollados y han sido deducidas para condiciones de caudales máximos.

La mayoría relaciona el tiempo de concentración con las características de la lluvia y con diversos parámetros de la cuenca como superficie, longitud del curso, pendiente del terreno, etc. La aplicación de este tipo de formulas es simple y por ello son muy utilizadas, pero su naturaleza empírica los valores se encuentran limitados.

A diferencia de los países más desarrollados, se desconocen los márgenes de errores que introducen las formulas empíricas sobre las condiciones locales, y por lo tanto no existen referencias objetivas acerca de la metodología más recomendable para calcular el tiempo de concentración.

Para los cálculos se necesitan las propiedades de la cuenca así también como las del cauce principal Rio San Antonio + Rio Icho Cruz, que se determinaron anteriormente.

El cálculo del tiempo de concentración en la CSA se basa en la publicación “Análisis relativo de la estimación del tiempo de concentración” (Bertoni, 2000) en donde se recopilan las formulas más utilizadas para el cálculo del tc.

13.1 Formulaciones Empíricas

De la recopilación de fórmulas en el trabajo de Bertoni, 2000 se hicieron algunas consideraciones para la elección de las mismas, por ejemplo, si bien Kirpich posee restricciones para cuencas pequeñas, su uso generalizado permite su aplicación y sus resultados no son tan incorrectos. A su vez se puede observar que la variabilidad de tiempos de concentración es muy grande, lo que deja lugar a incertidumbres.

En cuanto a Hattaway su aplicación no se llevo a cabo en este caso porque no se contaba con el “n de Manning” y la formulación era aplicable a cuencas pequeñas, sin embargo Colladón (2006) lo utiliza en el cálculo.

El método de velocidad del SCS tampoco fue utilizado debido a que requiere de parámetros que no eran conocidos.

Bransby-Williams

$$T_c = \frac{58 \cdot L}{(A^{0.1} S_c^{0.2})} = \frac{58 \cdot 69,47 \text{ km}}{(495,2 \text{ km}^2)^{0.1} (24,453 \frac{\text{m}}{\text{km}})^{0.2}} = 1143,09 \text{ min} \cong 19 \text{ h s} \quad (1)$$

Siendo L= long cauce principal km

A= área de la cuenca km²

Sc= pendiente cauce principal m/km

Tc [min]

Kirpich

$$T_c = 0,02 L^{0,77} S_c^{-0,385} = 0,02 * 69470,84^{0,77} * 0,024453^{-0,385} = 446,38 \text{ min} \cong 7,4 \text{ hs} \quad (2)$$

Siendo L= long cauce principal m

Sc= pendiente cauce principal m/m

Tc [min]

Método Racional Generalizado

$$T_c = \frac{60 \cdot k \cdot L}{H^{0.3}} = \frac{60 \cdot 1 \cdot 69,47 \text{ km}}{(1665 \text{ m})^{0.3}} = 450,32 \text{ min} \cong 7,5 \text{ hs} \quad (3)$$

Siendo L= long cauce principal km

H= diferencia de nivel de la cuenca m

K= rugosidad = 1

Tc [min]

Pilgrim

$$T_c = 0.76 A^{0.38} = T_c = 0.76 (495,2)^{0.38} = 8hs \quad (4)$$

Siendo A = área de la cuenca km²

13.2 Antecedentes de Formulaciones Empíricas

Según Colladón(2006), los tiempos de concentración calculados son los siguientes:

TABLA 4. TIEMPOS DE CONCENTRACION - CUENCA RIO SAN ANTONIO													
Río San Antonio	H		DH		L cauce			PMU			PMECTE	AREA	
	Max	Mín	m	pies	Km	millas	pies	m/Km	m/m	%		Km2	millas
desde Malambo	2450	675	1775	5823.8	50.7	31.49	166248	35.03	0.035	3.50	0.014	501.51	193.05
desde Icho Cruz	2275	675	1600	5249.6	63.0	39.14	206637	25.40	0.025	2.54	0.015	501.51	193.05
desde El Cajón	2325	675	1650	5413.7	50.6	31.46	166084	32.60	0.033	3.26	0.014	501.51	193.05

Río San Antonio	Tc ⁽¹⁾	Tc ⁽²⁾	Tc ⁽³⁾	Tc ⁽⁴⁾
	horas			
desde Malambo	13.027	8.445	4.9537	4.73158
desde Icho Cruz	17.266	10.497	6.6279	5.64632
desde El Cajón	13.203	8.4367	5.0891	4.8098

Tc(1)Bransby-Williams
Tc(2): Mét.Velocidad del SCS
Tc(3) Fórm. De Kirpich
Tc(4)Fórm. De Hathaway

Figura 49: Tiempos de Concentración (Colladon, 2006)

Se puede observar como los tiempos desde el Rio Icho Cruz son mayores, predominando este cauce sobre los otros.

Esto se corresponde con el cálculo realizado en ArcGIS, en donde se determino que el cauce principal era el Rio San Antonio + Rio Icho Cruz.

13.3 Tiempos Pico entre estaciones

Según mediciones de los valores pico y la hora en la que sucedieron los mismos, en distintas estaciones, se pudo calcular el tiempo pico entre estaciones.

Se cuenta con los picos y tiempos de las estaciones 700 y 600, llamada la “Cuenca Baja”, ya que actualmente se utilizan los valores del caudal observado en la estación 700 para el modelo en operación actual (2014) CCPL (Conducción por Cauce con Precipitación Lateral; Colladon, 2007).

Se calculo el tiempo del pico entre las dos estaciones, considerando a este tiempo como representativo de traslado, asumiendo que la última gota de precipitación que esta lo más alejada del punto de concentración ya se encuentra efectivamente en el cauce al cruzar por la Est. 700.

Promedio Tiempos CUENCA BAJA (700-600)	Desvío
05:34	02:15

Tabla 9: Promedio de Tiempo entre Picos

Por lo tanto se calcula a continuación el tiempo de concentración de la cuenca alta con las fórmulas empíricas.

En cuanto al área de la cuenca alta la misma se obtuvo de Colladón(2002), mientras que para la longitud del cauce principal y su pendiente se uso un promedio ponderado de subtramos que se obtuvieron de Aliaga (2009).

Luego tenemos que el Área de la Cuenca Alta es de 329 km² y las longitudes y pendientes:

Cauce	Longitud (m)	Pendiente Media (m/m)
Icho Cruz Alto - Est 1014	17150	0,0369
Est 1014 - Est 706	7550	0,0207
L	24700	
(% de Long.) Icho Cruz – Est. 1014	0,69	
(% de Long.) Est 1014 - Est 706	0,31	
Pendiente Media ponderada m/m	0,0319	

Tabla 10: Parámetros Cuenca Alta

CUENCA ALTA										
Area km ²	H		Delta H		L			Pendiente media		
329	Max	min	m	feet	m	feet	millas	m/km	m/m	feet/millas
desde Icho Cruz	2275	1000	1275,00	4183,02	24700	81036	15,35	31,948	0,0319	168,64

Tabla 11: Resumen de Parámetros Cuenca Alta

Bransby-Williams

$$T_c = \frac{58 \cdot L}{(A^{0.1} S_c^{0.2})} = \frac{58 \cdot 24,7 \text{ km}}{(329 \text{ km}^2)^{0.1} (31,948 \frac{\text{m}}{\text{km}})^{0.2}} = 401,34 \text{ min} \cong 6,7 \text{ h s} \quad (5)$$

Siendo L= long cauce principal km

A= área de la cuenca km²

Sc= pendiente cauce principal m/km

Tc [min]

Kirpich

$$T_c = 0,02 L^{0,77} S_c^{-0,385} = 0,02 * 71607,58^{0,77} * 0,02374^{-0,385} = 181,74 \text{ min} \cong 3 \text{ hs} \quad (6)$$

Siendo L= long cauce principal m

Sc= pendiente cauce principal m/m

Tc [min]

Método Racional Generalizado

$$T_c = \frac{60 \cdot k \cdot L}{H^{0.3}} = \frac{60 \cdot 1 \cdot 24,7 \text{ km}}{(1275 \text{ m})^{0.3}} = 173,46 \text{ min} \cong 3 \text{ hs} \quad (7)$$

Siendo L= long cauce principal km

H= diferencia de nivel de la cuenca m

K= rugosidad = 1

Tc [min]

Pilgrim

$$T_c = 0.76 A^{0.38} = 0.76 (329)^{0.38} = 6,88 \text{ hs} \quad (8)$$

Siendo A = área de la cuenca km²

Se tiene entonces los tiempos de concentración de la cuenca alta y los tiempos picos entre estaciones de la cuenca baja. Considerando las aproximaciones descriptas anteriormente podemos decir que:

Según Bransby Williams: 6,7 hs(CA) + 5,5 hs (CB) = 12 hs

Según Kirpich: 3 hs (CA) + 5,5 hs (CB) = 8,5 hs

Según Método Racional Generalizado: 3hs (CA) + 5,5 hs (CB) = 8,5 hs

Según Pilgrim: 6,88 hs (CA) + 5,5 hs (CB) = 12,4 hs

13.4 Antecedentes Informales

Según encuestas locales e información que se fue recopilando a lo largo de los años, los habitantes de la zona describen tiempos de crecida de entre 9 y 12 horas.

13.5 Conclusiones

Tiempo de Concentración	Bransby Williams	Kirpich	Método Racional Generalizado	Pilgrim
Formulaciones Empíricas	19,7hs	7,7hs	7,7hs	8hs

Tiempo de Concentración	Bransby Williams	Kirpich	Velocidad SCS	Hathaway
Antecedentes de Formulaciones Empíricas (Colladon, 2006)	17,266hs	6,6279hs	10,497hs	5,64hs

Tiempo de Concentración	Bransby Williams	Kirpich	Método Racional Generalizado	Pilgrim
Tiempo pico entre estaciones 5,5hs	6,7hs + 5,5hs = 12,2hs	3hs + 5,5hs = 8,5hs	3hs + 5,5hs = 8,5hs	6,88hs + 5,5hs = 12,4hs

Tiempo de Concentración	
Antecedentes Informales	9hs a 12hs

Tabla 12: Resumen de Tiempos de Concentración

Como se mencionó anteriormente, se puede observar como los resultados de los tiempos de concentración son muy variables, esto introduce ciertas incertidumbres en cuanto a cual es el valor exacto realmente del tiempo de concentración.

Sin embargo también se nota como los valores se encuentran dentro de un cierto rango de 9hs a 12hs con excepción de los resultados de Bransby Williams que tienen resultados mucho mayores respecto al resto.

Se consideró en esta práctica supervisada que el tiempo de concentración de la cuenca del rio san Antonio se puede asumir en 10 horas y que este es un valor representativo y valido para el trabajo que queremos realizar.

14 Determinación de la “posición temporal” del núcleo de la precipitación

En este capítulo se desarrolla el concepto de “posición temporal” del núcleo de la precipitación, que se emplea para medir la distancia (en términos temporales) a la cual se encuentra el núcleo de la precipitación del punto de concentración. En otras palabras, es una manera de establecer, el tiempo promedio areal que tarda la precipitación en concentrarse en el punto de concentración.

De todas las gotas que caen en la cuenca durante la precipitación, cada una tiene su propia posición, y en consecuencia tiene su propio tiempo de recorrido hasta llegar al punto de concentración. El promedio de tiempo de recorrido de todas las gotas de la cuenca, debe ser cuantificado para establecer la posición temporal del núcleo de la precipitación.

Para obtener el tiempo del baricentro de la precipitación, al punto de concentración, se desarrollaron una serie de pasos:

- 1- Determinación de las isócronas
- 2- Isócronas de igual área
- 3- Estimación del parámetro \hat{t}
- 4- Parámetro \hat{t}^* ponderado

14.1 Curvas Isócronas

Podríamos definir como curvas isócronas a la sucesión de puntos tales que una gota hipotética que cayese sobre cualquiera de esos puntos tardaría igual tiempo en llegar al punto de concentración. Estas curvas dan una idea cuantitativa de la forma de concentración de la cuenca, manifestando en qué momento cada porción de cuenca comienza a aportar al hidrograma de salida en el punto de concentración.

Se utilizó ArcGIS para formar las curvas isócronas, a continuación se explica el procedimiento:

Primero se crea la layer de “drainage” donde se muestran los canales de drenaje, para ello en la caja de herramientas “SpatialAnalyst Tools” elegir “Map Algebra, RasterCalculator”:

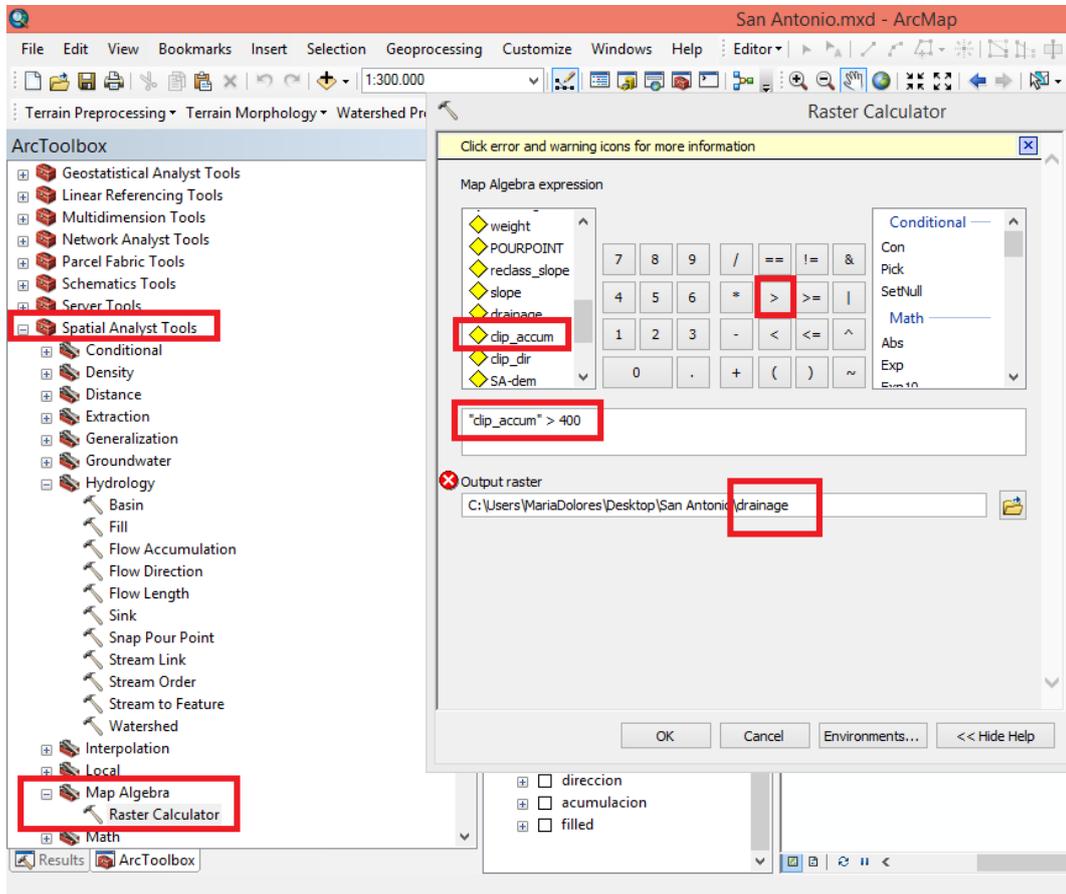


Figura 50: DrainageGrid

Esta nueva layer de drenaje contiene solo las celdas que tienen 400 o más celdas contribuyendo al flujo, el resultado es el siguiente:

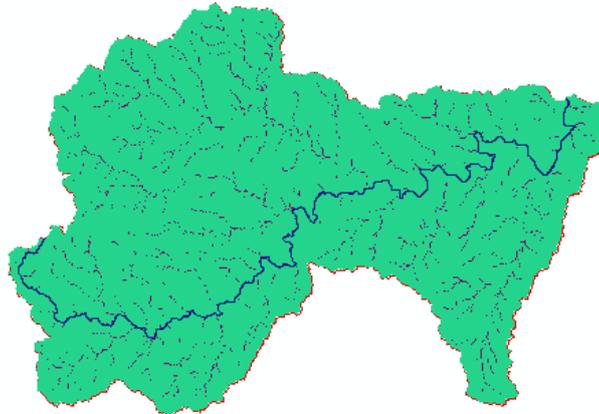


Figura 51: DrainageLayer

Ahora se debe crear una nueva layer de pesos, llamada “weight” donde se otorga un valor al flujo por tierra y otro valor al flujo por canal, esto es debido a que el flujo se mueve más fácilmente en canales que en tierra.

En la caja de herramientas “SpatialAnalyst Tools” elegir “Map Algebra, RasterCalculator”:

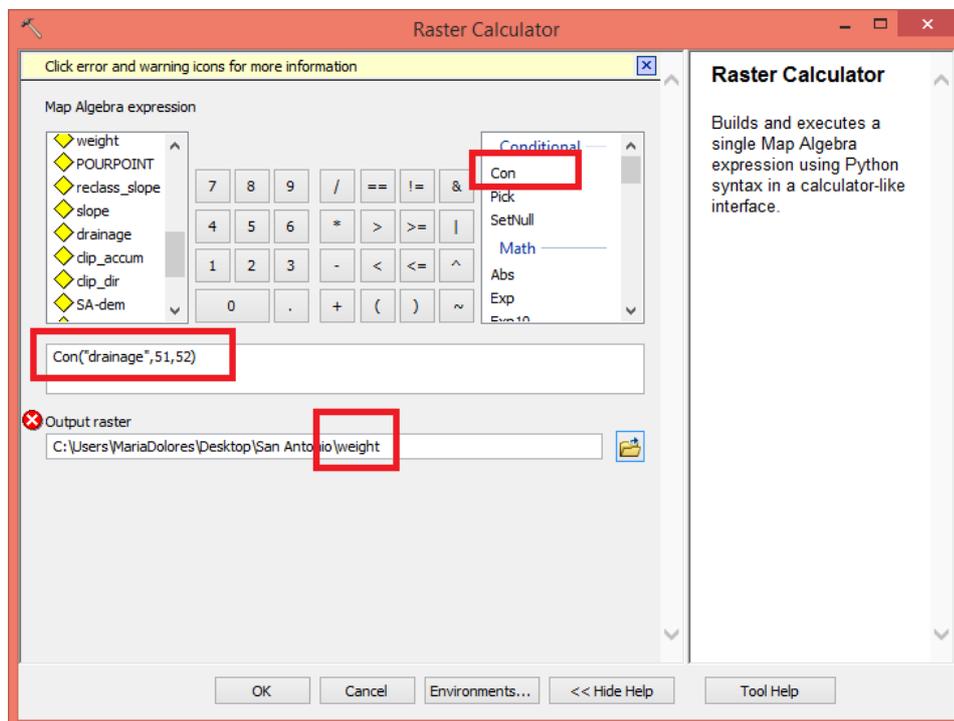


Figura 52: WeightGrid

El significado físico de estos “pesos” representa el tiempo en segundos que el flujo de agua tarda por unidad de medida, en este caso metros, en recorrer una celda (pixel) tanto en flujo en canal como en flujo sobre tierra.

Es decir la inversa de la velocidad, luego un peso de 10 representa 0,1 metros por segundo.

Estos valores son sumamente empíricos y la función condicional usada admite valores mayores que 1. Los valores encontrados en esta PS fueron de 51 para flujo en canal y 52 para flujo en tierra, escalados 100 veces.

El resultado es una layer similar a la “drainage” pero ahora cada celda (pixel) tiene la ponderación del peso:

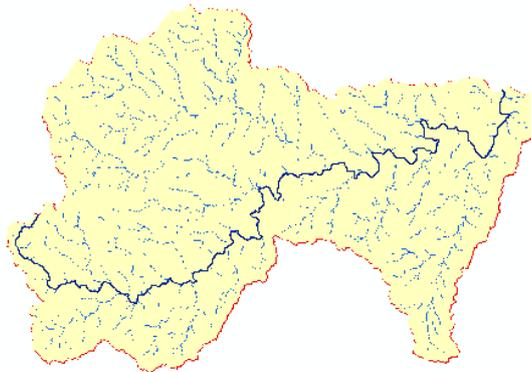


Figura 53: WeightLayer

Ahora se crea la layer de longitud de flujo, “flowlength”, para ello se utiliza la caja de herramientas de “Hydrology” y la herramienta “FlowLength”:

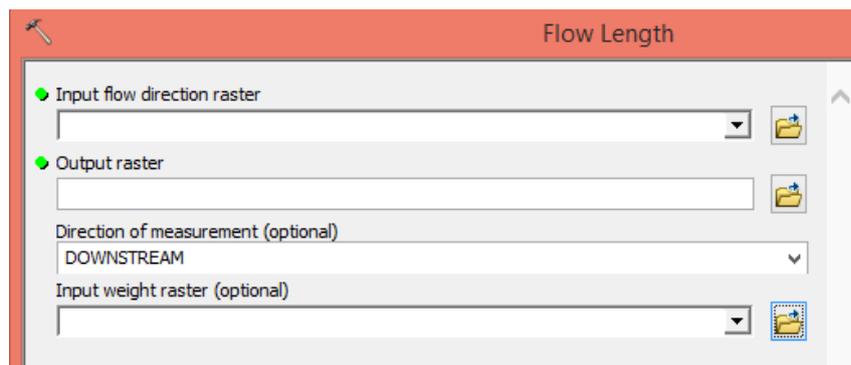


Figura 54: FlowLengthTool

En “Input FlowDirectionRaster” elegir “clip_dir” que es el raster de la dirección del flujo específico de la CSA.

En “Output Raster” colocar “flowlength” como nombre al nuevo layer, y finalmente donde dice “Input WeightRaster” elegir la layer de pesos “weight” creada anteriormente.

El resultado será una nueva layer (raster) que tiene la siguiente forma:

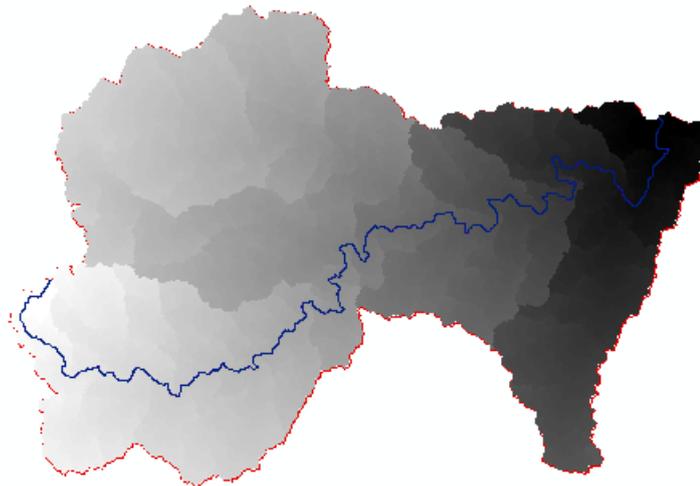


Figura 55: FlowLength

Los colores más claros indican mayores tiempos de viaje hasta el punto de concentración de la CSA.

Ahora se puede subdividir el resultado en distintos tiempos, en este caso en intervalos de 1 hora.

Utilizar la herramienta de “RasterCalculator” dentro de “SpatialAnalyst Tools, Map Algebra”, para la primera hora la fórmula utilizada es:

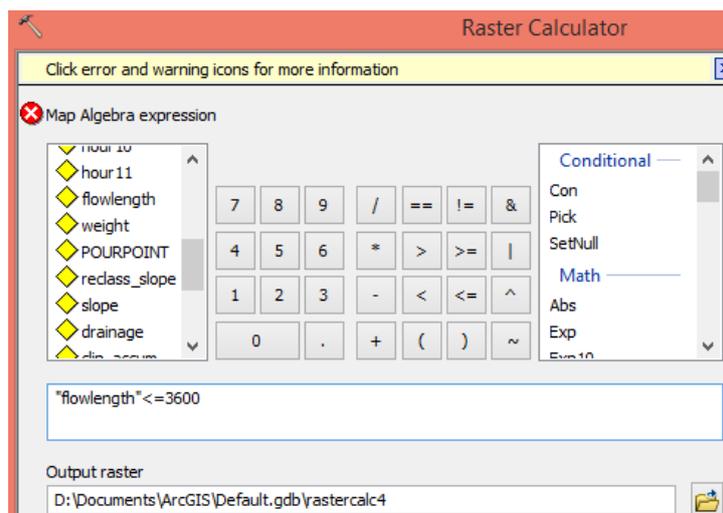


Figura 56: Subdivisión Hora 1

Como “Output Raster” colocar “hour1”, esto creara un nuevo layer que tiene la siguiente forma:

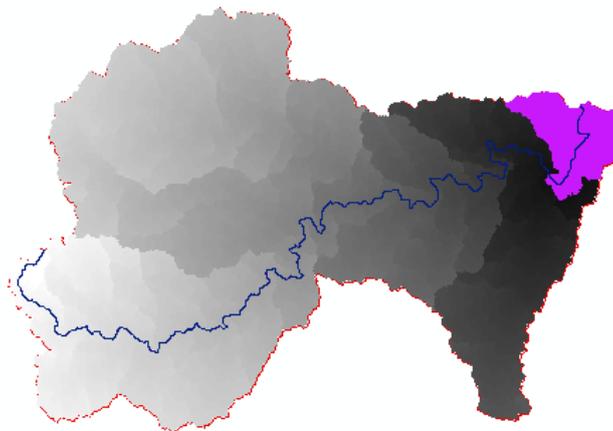


Figura 57: Hour 1

Esta nueva layer cuenta de dos sub-layers, una con valor 0 a la que se le cambia el color por “transparente” y una con valor 1, esta es la layer que interesa.

La layer con valor 1 es la pintada en la figura anterior, y representa todos los puntos que llegan al punto de concentración dentro de la primera hora, es decir 3600 segundos. Se puede deducir entonces que los puntos más extremos de esta layer representarían la isócrona de 1 hora, es decir que son todos los puntos que llegan al punto de concentración en la primer hora.

Si se escalaron los “pesos” en la layer “weight”(en este caso se escalo 100 veces) el tiempo también se deberá escalar cuando se “subdivida” en distintas horas.

Para la segunda hora utilizar la herramienta de “RasterCalculator” dentro de “SpatialAnalyst Tools, Map Algebra”:

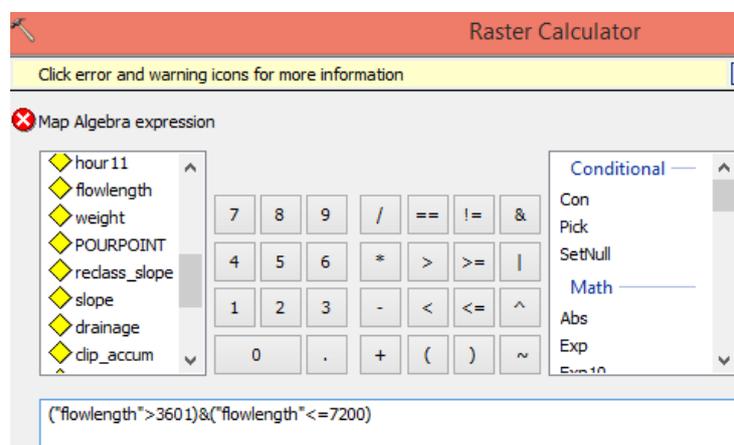


Figura 58: Subdivisión Hora 2

Esto creara un nuevo layer que contiene las celdas (pixeles) que llegan al punto de concentración en un tiempo mayor a una hora y menor a dos horas.

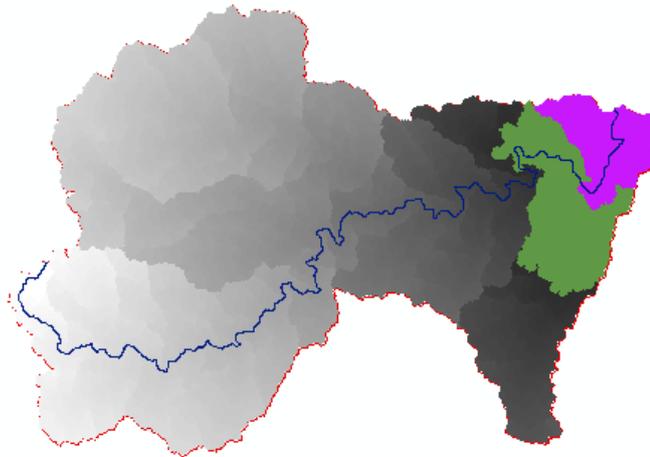


Figura 59: Hour 2

Las últimas celdas extremas pintadas en color verde serán los que forman la isócrona de 2 horas, es decir que son todos los tiempos que tardan exactamente 2 horas en llegar al punto de concentración.

Se aplican las mismas consideraciones hechas en la hora 1, sobre la sub-layer de valor 0 y los segundos escalados.

Se repite este proceso en todas las horas, hasta que toda la cuenca este representada por un valor, y se obtiene lo siguiente:

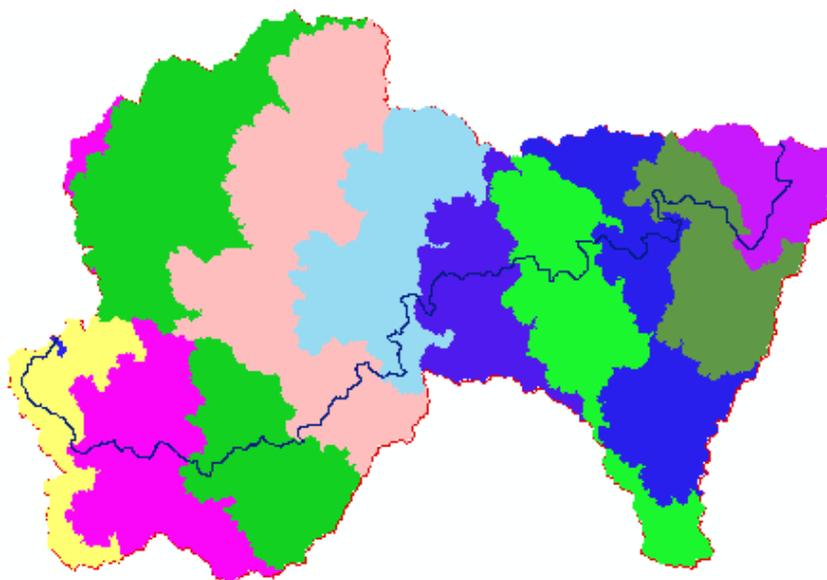


Figura 60: Tiempos de viaje

Se convirtieron los raster a polígonos utilizando la caja de herramientas “Conversion Tools” y luego “FromRastertoPolygon”, así se obtuvieron 11 layers de polígonos que se exportan a AutoCAD:

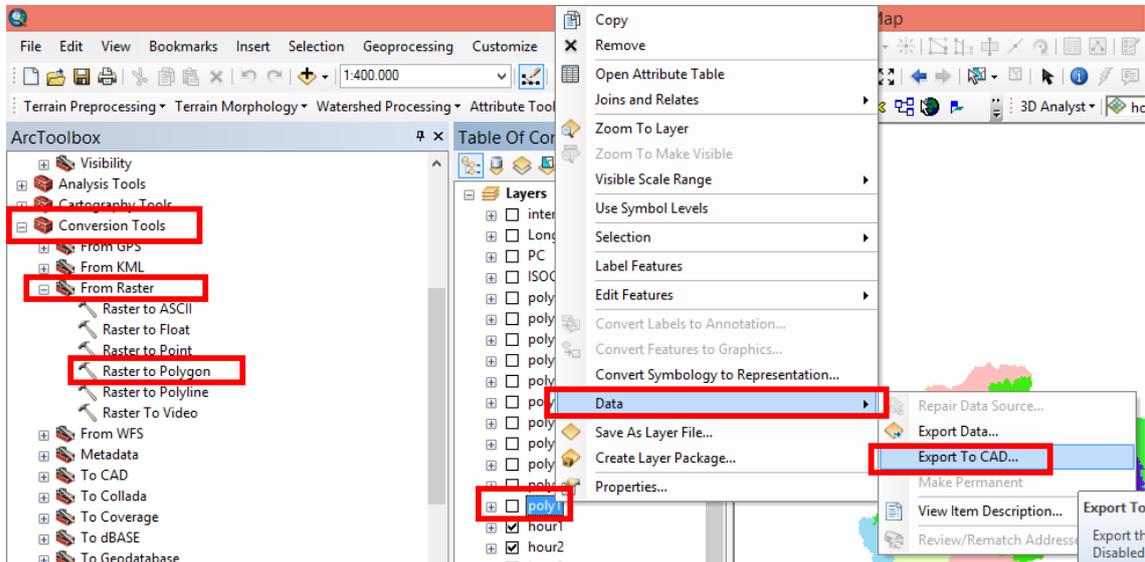


Figura 61: Exportar a AutoCAD

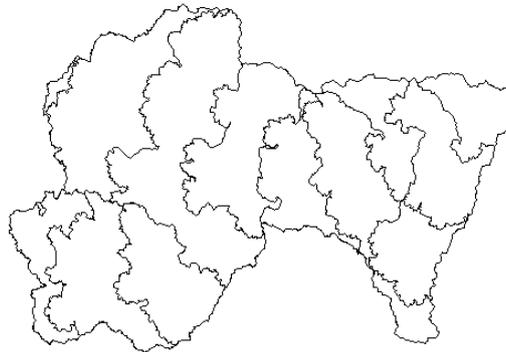


Figura 62: Tiempos de viaje AutoCAD

Luego se suavizan las isócronas corrigiendo los posibles errores que tiene el arcGIS, como cuando dos isócronas se unen en un punto. El resultado es el siguiente:

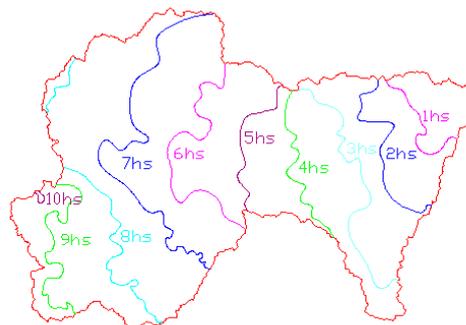


Figura 63: Isócronas AutoCAD

14.2 Curvas isócronas de igual área

Definimos como “curvas isócrona de igual área” a aquellas isócronas que dividen la cuenca en áreas iguales. En nuestro caso, vamos a subdividir deliberadamente la cuenca en cuatro áreas iguales llamadas a partir de ahora como cuartiles. Dicha subdivisión responde a un criterio estrictamente arbitrario pero que considera que menor porción de subáreas una discretización pobre que no permite tomar sensibilidad del análisis de distribución areal, y mayor discretización conduciría a una metodología poco práctica y sencilla con lo cual haría perder aplicabilidad a la metodología aquí propuesta.

A partir de la subdivisión de la cuenca en cuatro áreas iguales, se busca establecer un criterio objetivo de cuantificación de la tendencia areal de la precipitación, de modo tal que cuando llueve más en el cuarto superior, se puede decir que hay una tendencia del baricentro de la precipitación en localizarse en la cuenca alta. Idéntico razonamiento se puede plantear respecto de la cuenca baja. Análogamente, si en los cuatro cuartos llueve de modo semejante, se puede suponer que estamos frente a una lluvia con patrón de distribución areal homogéneo.

En la sección siguiente (determinación del \hat{t}) se explicará con mayor precisión el sentido práctico que tiene esta subdivisión de la cuenca en cuatro partes de iguales áreas. En efecto, se presentará una metodología a partir de la cual, cada una de las iguales áreas, es tomada como una carga puntual en el centro temporal de dicha área (promedio entre las isócronas que la encierran), con magnitud igual a la precipitación promedio allí caída para el Δt de análisis. Mediante el momento que genera cada carga puntual (precipitación promedio en cada cuarto de área en cada Δt), respecto al punto de concentración (es decir, tomando como brazo de palanca la posición temporal de dicha carga), es posible calcular la posición temporal de la resultante (considerada como la suma de las precipitaciones de los cuatro cuartos).

Se busca las isócronas que dividen la cuenca en 4 áreas iguales como se explico anteriormente, mediante AutoCAD y respetando la forma de las isócronas ya obtenidas en la sección anterior se puede obtener las curvas que separan la cuenca en áreas iguales.

Luego para obtener el valor que posee cada una de las 3 isócronas de igual área simplemente se midió en varios puntos (distribuidos a lo largo de las isócronas de la sección anterior) la distancia entre dos isócronas consecutivas y luego se midió la diferencia de alguna de ellas respecto de la isócrona de igual área, mediante un sencillo calculo se obtuvo el valor que debería tener la isócrona de igual área en dicho punto y luego se promediaron los distintos valores obtenidos en los puntos a lo largo de la isócrona.

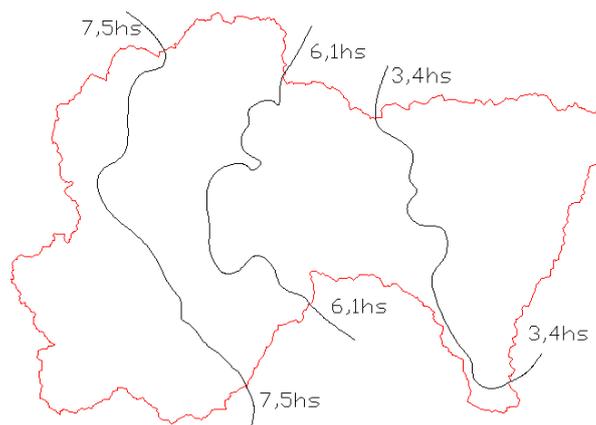


Figura 64: Isócronas de igual área

Estas son las 3 isócronas que se utilizaran en el siguiente capítulo para la determinación del \hat{t} .

14.3 Parámetro \hat{t}

En la Cuenca del Río San Antonio el núcleo de las precipitaciones ocurre en general cerca de la Est. 700, sin embargo existen casos en que la precipitación se concentra en los extremos.

El parámetro \hat{t} permite establecer donde se encuentra temporalmente el núcleo de la precipitación, y se utilizará para comprobar cómo afecta a un modelo concentrado la variación de la posición temporal del núcleo.

De la serie de datos registrados de la CSA existen, como se nombraron anteriormente, periodos en donde no hay datos, esto altera el esquema de los Polígonos de Thiessen para obtener una precipitación promedio en toda la cuenca por lo que los polígonos cambian varias veces en toda la serie de datos.

De la Práctica Supervisada de Martin, 2013; se encontraron 63 combinaciones posibles de estaciones las cuales se ordenaron y revisaron para este trabajo.

Para obtener el parámetro \hat{t} vamos a combinar las isócronas que encierran igual área, obtenidas en la sección anterior, con los 63 tipos de combinaciones que determinan distintos Polígonos de Thiessen de tal manera de obtener dentro de cada área dividida por las isócronas una precipitación media P , por lo que quedaran 4 precipitaciones medias P_1, P_2, P_3, P_4 .

Luego tomando momento de las precipitaciones respecto al punto de concentración siendo el brazo de palanca el tiempo medio entre dos isócronas de igual área se calcula el parámetro.

En lo que sigue se explicara cómo obtener los Polígonos de Thiessen en ArcGIS; para ello contamos con las coordenadas de las estaciones provistas por el Ing. Carlos Catalini:

Estación	Coordenadas		Altitud	Nombre
	Latitud	Longitud		
200	-31,44889	-64,80887	2284	Puesto Pereyra
300	-31,48333	-64,74165	1531	La Casita
400	-31,57500	-64,71165	1705	Copina
500	-31,50806	-64,81999	2324	El Galpón
600	-31,44667	-64,51444	668	Barrio El Canal
700	-31,48972	-64,63888	1029	Confluencia El Cajón
900	-31,41528	-64,73527	1630	Puesto Garay
1000	-31,49833	-64,67915	1127	Confluencia Malambo
1200	-31,60111	-64,79110	2213	Las Ensenadas
1800	-31,44278	-64,69193	1211	Cañada Honda

Tabla 13: Coordenadas De Estaciones

14.3.1 Estaciones de la Cuenca del Río San Antonio

Incorporamos las estaciones a nuestro modelo digital de elevación, para ello se colocan las coordenadas en un archivo de Excel, indicando en la columna correspondiente cual es la Longitud y cual es Latitud.

Luego se abre File, Add Data, Add XY Data para agregar las coordenadas del archivo de Excel.

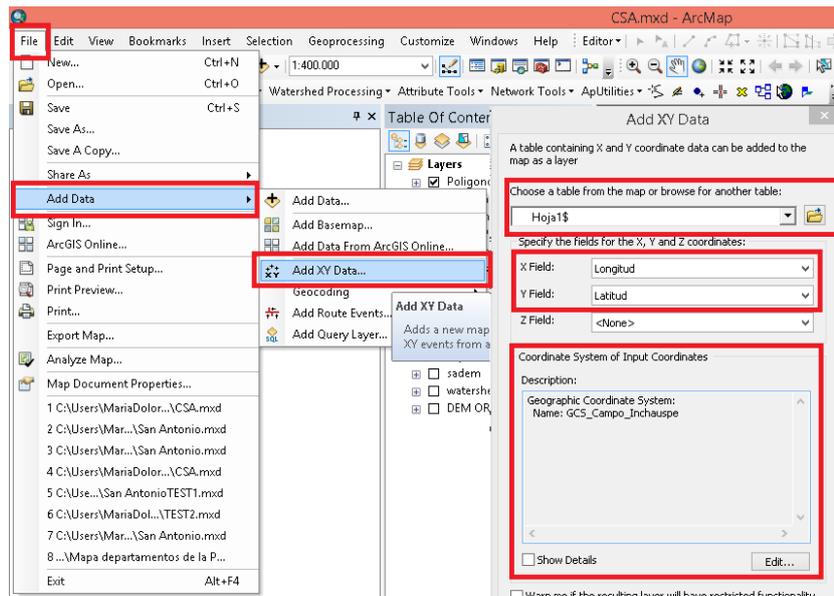


Figura 65: Estaciones en ArcGIS

En la nueva ventana se elije el archivo de Excel y si nombramos bien las columnas el programa reconoce cual es la columna de Longitud y cuál es la de Latitud. Por último es muy importante elegir correctamente el sistema de coordenadas, en este caso GCS_Campo_Inchauspe.

Obtendremos una serie de “Eventos” en ArcGIS que tienen la siguiente forma:

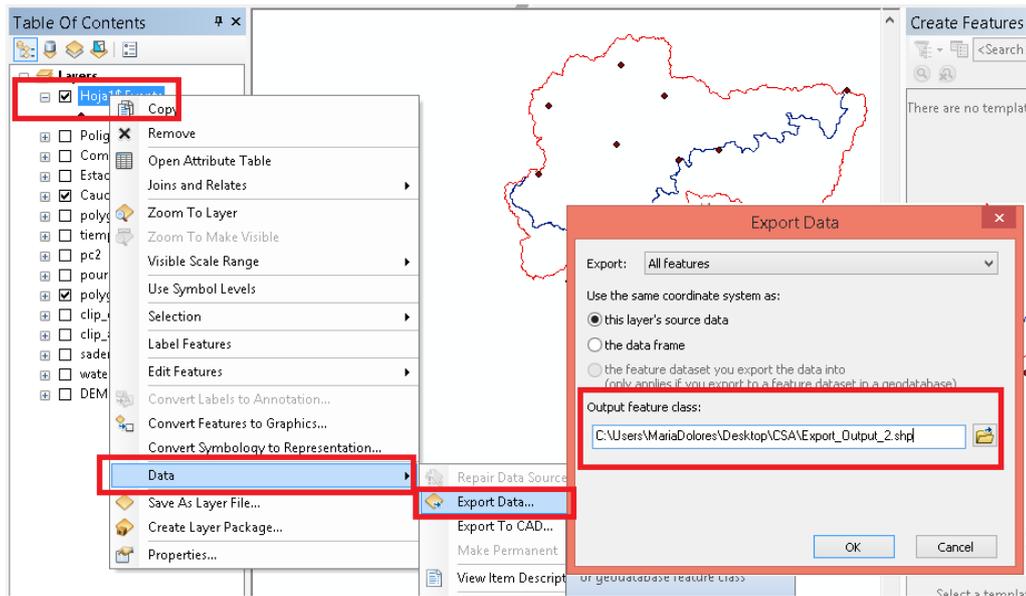


Figura 66: Shapefile de Estaciones

Estos “Eventos” los debemos convertir en formato de “shapefile” para poder trabajar con ellos en los Polígonos de Thiessen. Luego sobre el nuevo layer de eventos accediendo al menú de opciones exportamos “data” y como Output feature class elegimos un nombre fácilmente identificable, en este caso como todas las estaciones se encuentran presentes se llamo “Estaciones”, el resultado es el siguiente:

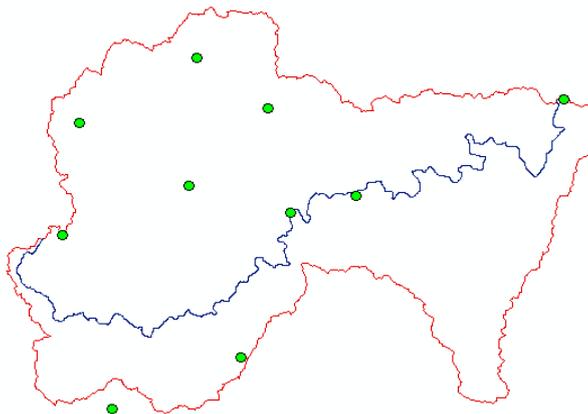


Figura 67: Estaciones CSA

Se observa la estación 1200 (Noroeste) afuera de los límites de la cuenca, esto no es un error, sino que efectivamente esta estación se encuentra en esa posición, información corroborada con el Ing. Carlos Catalini.

Lo que sucede en realidad es que esa parte de la cuenca es muy densa en vegetación, luego el ArcGIS cuando delimita la cuenca con la herramienta “Watershed” no reconoce bien lo que sucede en esa zona.

Una vez cargadas todas las estaciones se procede a realizar los Polígonos de Thiessen

14.3.2 Polígonos de Thiessen

Para obtener los polígonos se utiliza la caja de herramientas “Analysis Tools”, dentro de la misma se encuentran en “Proximity>CreateThiessenPolygons”.

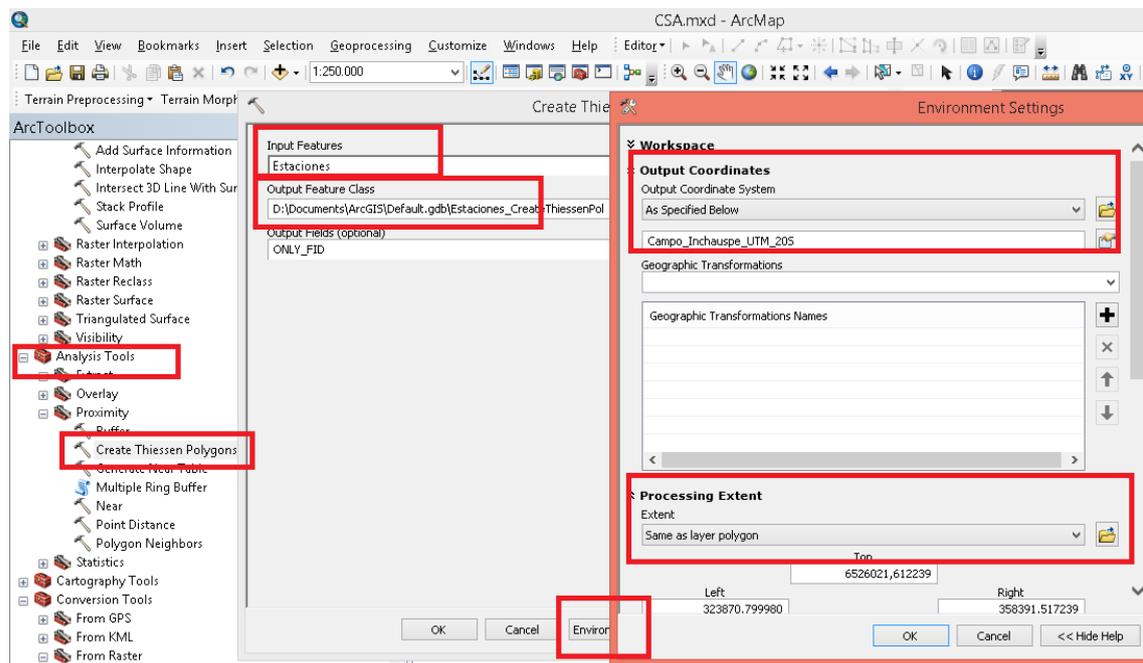


Figura 68: CreateThiessenPolygons

En Input Features se coloca el shapefile de “Estaciones” creado anteriormente, y en Output FeatureClass el nombre del shapefile que tendrán los polígonos.

Esta es la parte más importante de la herramienta, establecer correctamente el “Environment” en donde se definen las coordenadas del raster de salida y su extensión.

Luego como sistema de coordenada de salida se elige el mismo con el que se está trabajando, es decir Campo Inchauspe UTM 20S, esta opción no aparecerá hasta que se elija en “Output Coordinate System: As Specified Below”.

En “Processing Extent” se elige “Same as layer polygon”, en donde el layer “polygon” es el que se creó anteriormente, en donde se delimita la cuenca.

El resultado obtenido se observa en la imagen a continuación:

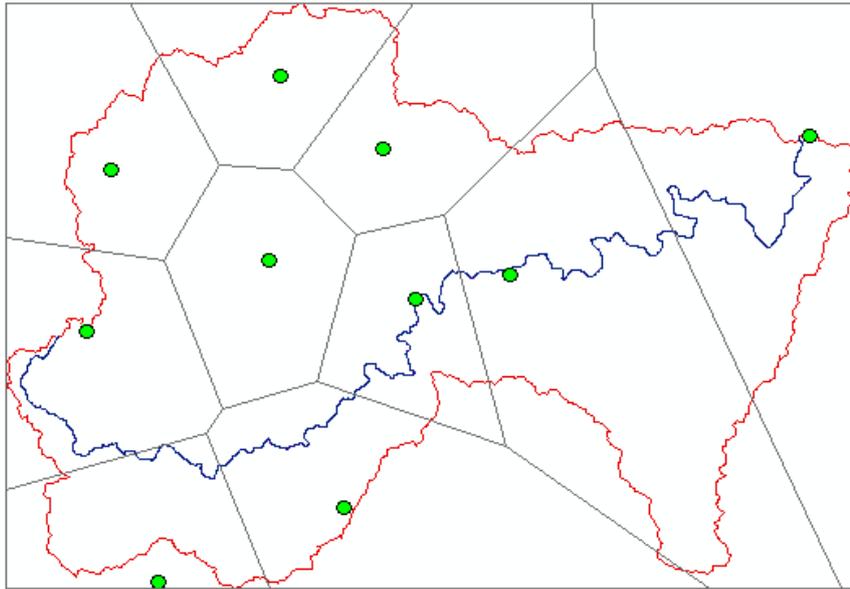


Figura 69: Polígonos de Thiessen

Este nuevo layer que contiene los polígonos de Thiessen se puede exportar en AutoCAD para trabajar en conjunto con las isócronas.

Como tenemos 63 combinaciones posibles de estaciones existen entonces 63 tipos de Polígonos de Thiessen que se pueden formar.

Para resolver esto se utilizó un archivo de Excel con 63 Hojas enumeradas C1 a C63, en las mismas existen 3 columnas: el nombre de las estaciones que participan en la combinación, su longitud, su latitud.

Luego se incorporaron 63 “Events” en ArcGIS que fueron transformados a 63 shapefiles llamados C1 a C63.

A continuación se crearon los 63 tipos Polígonos de Thiessen y se nombraron T1 a T63 para luego exportarlos a AutoCAD.

14.3.3 Intersección Thiessen – Isócronas

Para obtener el parámetro \hat{t} se combinan las isócronas que encierran igual área con los 63 tipos de casos que determinan distintos Polígonos de Thiessen de tal manera de obtener dentro de cada área dividida por las isócronas una precipitación media P , por lo que quedarán 4 precipitaciones medias P_1, P_2, P_3, P_4 .

Esta precipitación es en realidad un promedio ponderado de las precipitaciones que registran las estaciones que están encerradas en esa área de isócronas respecto al área que abarca su propio Polígono de Thiessen.

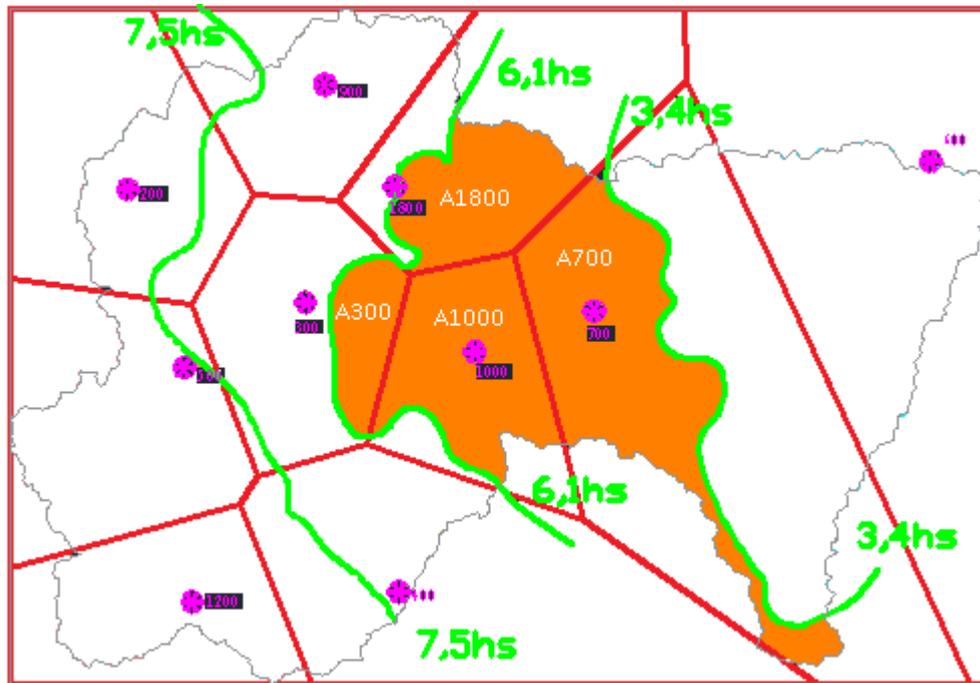


Figura 70: Intersección Isócronas-Thiessen

Utilizando como referencia la imagen de arriba podemos ejemplificar el valor de P2 (actuando en el área encerrada entre isócronas 6,1hs y 3,4hs) como un promedio ponderado:

$$P2 = P_{1800} \frac{A_{1800}}{A} + P_{1000} \frac{A_{1000}}{A} + P_{300} \frac{A_{300}}{A} + P_{700} \frac{A_{700}}{A}$$

Siendo P2 = precipitación media encerrada en la isócrona 3,4hs a 6,1hs.

P1800, P1000, P700, P300 = precipitación registrada en la estación 1800 para un intervalo de tiempo determinado (en este caso 1 hora).

A1800, A1000, A700, A300 = área que abarca el Polígono de Thiessen de la estación pero encerrado en el área entre dos isócronas.

A = área total encerrada entre dos isócronas.

Como existen 63 combinaciones, se obtuvo la relación de áreas para las 63 combinaciones y P1, P2, P3, P4 para cada intervalo de tiempo (en este caso 1 hora) de toda la serie histórica de datos registrada.

Cada una de las iguales áreas, es tomada como una carga puntual en el centro temporal de dicha área (promedio entre las isócronas que la encierran), con magnitud igual a la precipitación promedio allí caída para el Δt de análisis. Mediante el momento que genera cada carga puntual (precipitación promedio en cada cuarto de área en cada Δt), respecto al punto de concentración (es decir, tomando como brazo de palanca la posición temporal de dicha carga), es posible calcular la posición temporal de la resultante (considerada como la suma de las precipitaciones de los cuatro cuartos).

Asumiendo que dentro de cada área encerrada por dos isócronas cae una precipitación promedio que llega al punto de concentración en un tiempo igual al promedio de los tiempos de las dos isócronas que la encierran se calcula el parámetro \hat{t} como:

$$\hat{t} = P1 \frac{3,4hs}{2} + P2 \frac{3,4hs + 6,1hs}{2} + P3 \frac{6,1hs + 7,5hs}{2} + P4 \frac{7,5hs + 10hs}{2}$$

Para cada intervalo de tiempo, en este caso 1 hora.

Así se obtuvieron los parámetros \hat{t} que representan el núcleo temporal de la precipitación por cada intervalo de tiempo.

A continuación se definen valores promedios del parámetro \hat{t} según una escala de tiempo dada, luego se tiene:

14.3.4 Promedio histórico del parámetro \hat{t}

Es de utilidad conocer qué valor promedio temporal posee el núcleo de las precipitaciones en toda la cuenca. Es decir, dada una serie histórica de datos, el núcleo temporal de precipitaciones tendrá un determinado valor que definiremos como $\overline{\hat{t}_H}$. Éste resulta de promediar todos los parámetros \hat{t} correspondientes a cada Δt

Por lo tanto $\overline{\hat{t}_H}$ representa la posición temporal del núcleo de precipitaciones que en promedio ocurrió en la serie histórica de datos y su valor es $\overline{\hat{t}_H} = 6,36hs$.

14.3.5 Promedio en distintos periodos de tiempo del parámetro \hat{t}

A su vez también se realizó un estudio con distintas longitudes temporales de series, es decir, se estudió el valor promedio del parámetro \hat{t} en periodos de un mes, tres meses, seis meses y doce meses.

Luego se define el promedio de los parámetros \hat{t} (correspondientes a cada Δt) que ocurrieron en un periodo de tiempo de un mes y se simboliza como $\overline{\hat{t}_1}$.

A su vez el promedio de los parámetros \hat{t} que ocurrieron en un periodo de tiempo de 3, 6 y 12 meses se simbolizan $\overline{\hat{t}_3}$, $\overline{\hat{t}_6}$, $\overline{\hat{t}_{12}}$ respectivamente. Estos valores fueron calculados en toda la serie histórica de datos utilizando una media móvil.

Un valor de $\overline{\hat{t}_1}$ representa el tiempo promedio donde se encuentra el núcleo de las precipitaciones que ocurren en una serie de longitud de 1 mes.

Interesa de estos promedios resaltar valores lejanos al promedio histórico $\overline{\hat{t}_H}$ para poder utilizarlos en la futura modelación que permitirá luego contrastar la hipótesis que se quiere probar. Es decir vimos que los parámetros obtenidos mediante calibración automática empleando la serie histórica de datos, deberían ajustar adecuadamente aquellos eventos con patrón de distribución areal semejante al histórico de la cuenca. En consecuencia, la hipótesis planteada alcanza a suponer que cuando la precipitación que se presenta manifiesta un patrón de distribución areal marcadamente distinto del histórico, el modelo de pronóstico debería presentar incapacidad de representar dicha situación debido a que los parámetros fueron calibrados en otras condiciones.

14.3.6 Modelo de Distribución del parámetro \hat{t}

Se estudio si el parámetro responde al modelo estadístico de distribución normal, para ello se confecciono la tabla de frecuencias y un histograma con la ayuda del programa InfoStat que se muestran a continuación:

Parámetro t			
Límite Inferior	Limite Superior	Frecuencia Absoluta	Frecuencia Relativa
0	1	0	0
1	2	463	0,04
2	3	154	0,01
3	4	900	0,07
4	5	1598	0,12
5	6	1996	0,15
6	7	2448	0,19
7	8	2293	0,18
8	9	3239	0,25
9	10	0	0

Tabla 14: Tabla de Frecuencias Parámetro t

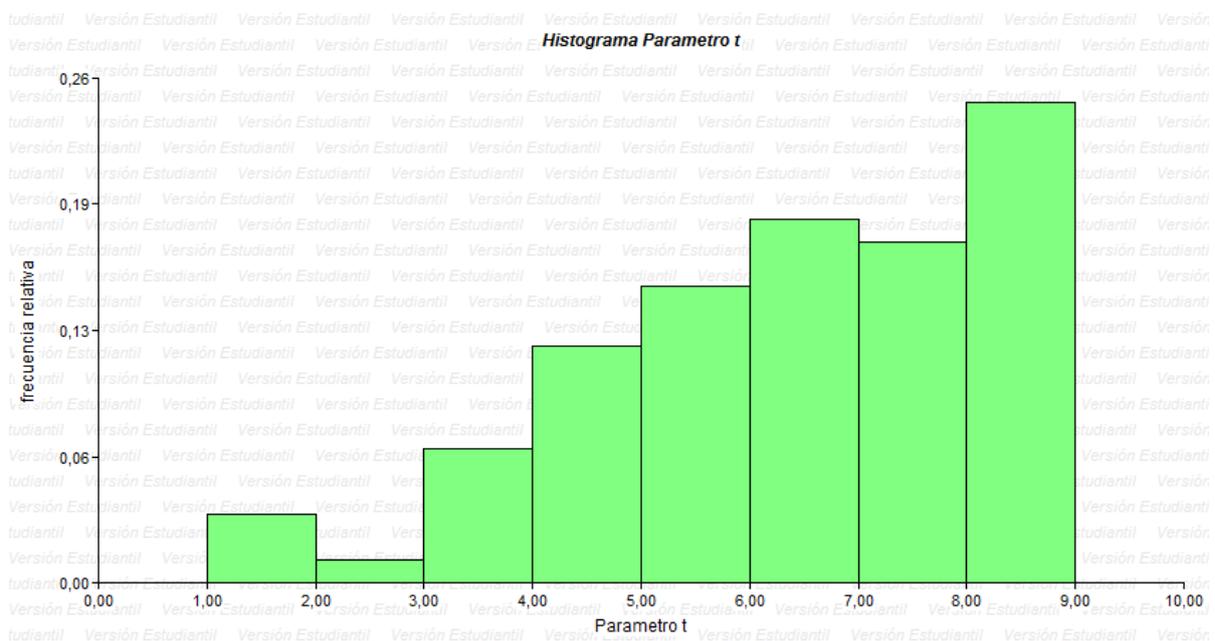


Figura 71: Histograma Parámetro t

Se puede observar que el parámetro \hat{t} a simple vista no posee distribución normal.

14.4 Parámetro \widehat{t}^* ponderado

En las secciones anteriores se determinó el parámetro \widehat{t} que representa la posición temporal del núcleo de la precipitación para cada intervalo de tiempo Δt . Ahora bien, como nos interesa conocer la posición promedio del núcleo de la precipitación para una serie dada de datos, se definió también el parámetro \widehat{t}^* , que representa el promedio de los parámetros \widehat{t} para la serie en cuestión.

Sin embargo, la verdadera posición del núcleo de la precipitación, debería involucrar también el volumen de agua que se distribuye en la cuenca arealmente por cada Δt llovido. Para ello, se define el parámetro “tiempo sombrero promedio ponderado”, \widehat{t}^* , el cual emplea como valor de ponderación (de cada Δt) el volumen de lluvia que cae en dicho Δt .

Es decir, se calcula el parámetro ponderado como la suma (en toda la serie en estudio) de la precipitación caída en cada Δt multiplicada por el parámetro \widehat{t} (de ese Δt) y dividida por la precipitación total caída en la serie. Es decir:

$$\widehat{t}^* = \frac{\sum_{m=1}^N \widehat{t}_m P_m}{\sum_{m=1}^N P_m}$$

Siendo:

N = número de Δt de la serie

\widehat{t}_m = parámetro para un Δt

$$P_m = \frac{\sum_{i=1}^4 P_i}{4} = \text{promedio de precipitaciones para un } \Delta t$$

Esto se realizó en todas las series confiables descritas a continuación y los resultados se pueden graficar en un diagrama de dispersión que se muestra en la imagen siguiente:

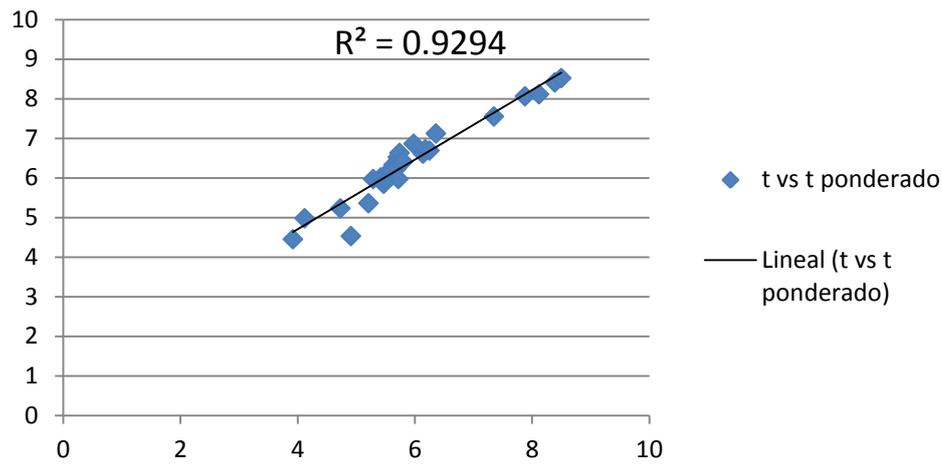


Figura 72: Dispersión de t

Se observa que el coeficiente de correlación de determinación es próximo a 1, por lo que las variables son dependientes, luego se concluye que el parámetro es independiente del volumen de precipitaciones caído.

A su vez también se calculo el parámetro \widehat{t}_H^* , es decir el ponderado histórico de toda la serie de datos, el mismo tiene un valor de 5,71 hs, recordando que el promedio histórico es de $\widehat{t}_H = 6,36$ hs se considera poca la variación.

15 Identificación de series confiables

Para poder evaluar la performance del modelo hidrológico GRP es necesario contar con series representativas, en donde las precipitaciones registradas se correspondan con un caudal observado.

Como se vio en la sección de diagnostico de los datos, existen ciertos periodos de tiempo en donde no existen datos o fueron rellenados y por lo tanto estas situaciones no son confiables. Se dividió la elección en dos tipos de series:

El primer tipo está basado en la serie histórica de datos, en donde se utilizaron de base las series elegidas en el trabajo de Martin (2013) pero modificando las mismas. En la serie n°11 se removió el primer mes (del 03/02/2006 al 01/03/2006) porque en este trabajo no se contaba con la combinación de estaciones de dicho mes y por lo tanto no se pudo obtener P1, P2, P3, P4 descriptas anteriormente por lo que la precipitación promedio P no se pudo calcular.

También se decidió descartar la serie n° 13 del trabajo de Martin ya que por más de que se encuentran bien representadas las precipitaciones (entre 7 y 10 estaciones en toda la serie) los caudales poseen más del 80% de datos rellenados y no se considero aceptable para la modelación.

El segundo tipo de series elegidas se realizo en base al parámetro \hat{t} y sus promedios a un mes, tres meses, seis meses y doce meses. Es decir se trabajo con una media móvil en estas 4 categorías buscando en toda la serie aquellos valores de $\overline{\hat{t}}_1, \overline{\hat{t}}_3, \overline{\hat{t}}_6, \overline{\hat{t}}_{12}$ que cumplieran con ciertos requisitos.

Partiendo del periodo más corto de 1 mes, a medida que el mismo se vuelve más grande, abarcando mayores Δt , el valor del parámetro \hat{t} promedio en ese periodo de tiempo "X", $\overline{\hat{t}}_x$, se acerca al valor $\overline{\hat{t}}_H$ que es el promedio histórico de toda la serie.

Con este concepto entonces se busco en toda la serie valores de $\overline{\hat{t}}_1$ que fueran significativamente distintos del $\overline{\hat{t}}_H$ historico de toda la serie, es decir valores menores a 5hs y mayores a 8hs. Luego para $\overline{\hat{t}}_3$ se buscaron valores menores a 5,5 hs y mayores a 7,5hs.

Para 6 y 12 meses los valores de \widehat{t}_6 , \widehat{t}_{12} se acercaban mucho al promedio \widehat{t}_H histórico por lo que se eligieron valores menores que 6 y mayores que 7 en el caso de \widehat{t}_6 , y valores menores que 6,1hs y mayores que 6,5 hs para \widehat{t}_{12} .

Como se describió en la sección anterior, se calculo el parámetro \widehat{t}^* ponderado por el volumen de precipitaciones para observar si este último afecta considerablemente al parámetro \widehat{t} , y se concluyo que los parámetros son independientes del volumen de precipitaciones.

A continuación se presentan las series confiables identificadas:

N° Serie	Fecha		Longitud de la serie (días)	Cant. de horas con precipitación	% de datos con precipitación	Criterio	\widehat{t}^*	\widehat{t}	desviación \widehat{t}^* vs \widehat{t}_H
	Inicio	Fin							
21	22/07/2009 11:00	22/08/2009 08:00	30	5	1%	Por t1	3.92	4.45	31%
17	21/07/2002 21:00	21/08/2002 17:00	30	3	0%	Por t1	4.12	4.98	28%
22	20/06/1996 03:00	18/09/1996 02:00	88	56	3%	Por t3	4.73	5.23	17%
20	07/06/2008 20:00	08/07/2008 17:00	31	6	1%	Por t1	4.91	4.53	14%
24	30/08/2005 11:00	28/11/2005 22:00	88	12	1%	Por t3	5.21	5.36	9%
26	09/03/2000 00:00	05/09/2000 21:00	176	351	8%	Por t6	5.29	5.97	7%
30	09/01/1996 10:00	08/01/1997 07:00	359	867	10%	Por t12	5.42	6.01	5%
12	04/12/2006 20:00	07/01/2007 10:00	33	92	11%	Serie Larga	5.45	5.89	5%
27	03/06/2002 07:00	01/12/2002 04:00	178	231	5%	Por t6	5.47	5.85	4%
29	06/12/1995 22:00	05/12/1996 19:00	359	799	9%	Por t12	5.50	6.04	4%
25	29/05/1996 08:00	26/11/1996 17:00	177	303	7%	Por t6	5.51	5.94	4%
7	01/03/2003 12:00	18/03/2004 02:00	377	940	10%	Serie Larga	5.58	6.20	2%
10	20/12/2005 20:00	30/01/2006 20:00	40	110	11%	Serie Larga	5.58	6.02	2%
4	09/11/1997 08:00	20/03/1998 15:00	131	651	21%	Serie Larga	5.60	6.19	2%
3	07/03/1995 12:00	29/09/1997 04:00	922	1859	8%	Serie Larga	5.64	6.33	1%
6	15/02/2002 12:00	01/02/2003 17:00	346	934	11%	Serie Larga	5.68	6.27	1%
5	12/11/1999 20:00	27/03/2000 18:00	135	542	17%	Serie Larga	5.69	6.24	0%
8	30/03/2004 16:00	10/10/2004 20:00	190	318	7%	Serie Larga	5.71	6.52	0%
9	10/11/2004 19:00	13/11/2005 19:00	363	659	7%	Serie Larga	5.71	6.43	0%
1	08/01/1994 14:00	29/01/1994 13:00	21	55	11%	Serie Larga	5.72	5.97	0%
31	04/07/2005 17:00	04/07/2006 14:00	360	489	6%	Por t12	5.74	6.63	0%
2	16/02/1994 08:00	28/02/1995 22:00	372	812	9%	Serie Larga	5.75	6.38	1%
13	05/12/2007 10:00	27/09/2008 19:00	292	581	8%	Serie Larga	5.80	6.41	2%
11	01/03/2006 01:00	31/10/2006 22:00	240	281	5%	Serie Larga	5.98	6.86	5%
32	19/02/2008 01:00	17/02/2009 22:00	358	793	9%	Por t12	6.14	6.61	7%
33	15/07/2008 18:00	15/07/2009 15:00	360	733	8%	Por t12	6.18	6.72	8%
14	05/11/2008 13:00	10/04/2009 15:00	155	469	13%	Serie Larga	6.25	6.69	9%
28	04/04/2006 14:00	02/10/2006 11:00	178	109	3%	Por t6	6.36	7.12	11%
23	06/07/2003 12:00	03/10/2003 23:00	87	31	1%	Por t3	7.35	7.55	29%
15	29/06/1996 10:00	30/07/1996 07:00	31	6	1%	Por t1	7.88	8.06	38%
18	06/07/2003 02:00	05/08/2003 23:00	29	21	3%	Por t1	8.12	8.11	42%
16	01/05/1997 05:00	01/06/1997 02:00	30	13	2%	Por t1	8.39	8.41	47%
19	19/08/2006 18:00	19/09/2006 15:00	30	3	0%	Por t1	8.50	8.52	49%

Tabla 15: Series Confiables

16 Distribución de Precipitaciones por Cuartiles

En la sección “Distribución de Precipitaciones por estaciones” solo se evaluaron los meses más lluviosos del año (Enero y Febrero), tomando 8 años en donde coincidían las estaciones que se encontraban registrando datos.

En esta sección interesa conocer como es la distribución de toda la serie histórica de datos en los cuartiles en los que se subdividió la cuenca anteriormente.

A los fines de evaluar porcentualmente cómo se distribuye la precipitación arealmente en la cuenca, resulta ilustrativo presentar dichos porcentajes como la relación entre la suma de todas las láminas llovidas en cada cuartil, en la serie histórica disponible, y la suma del total de los cuatro cuartiles.

Por lo tanto se sumaron todas las láminas promedio caídas en el cuartil inferior (más cercano al punto de concentración), denominado Q1, y se verificó que representa el 22% de la suma de las láminas llovidas en los cuatro cuartiles en la serie histórica disponible. Se ilustra el cálculo mediante la siguiente tabla:

Δt	P1	P2	P3	P4
1	0.00	0.10	1.50	0.00
,	,	,	,	,
,	,	,	,	,
,	,	,	,	,
,	,	,	,	,
140125	1.30	0.80	0.00	0.00
	$\Sigma = P_1^h$	$\Sigma = P_2^h$	$\Sigma = P_3^h$	$\Sigma = P_4^h$

Tabla 16: Cálculo de distribución de precipitaciones

Siendo:

$$P = P_1^h + P_2^h + P_3^h + P_4^h$$

$$Q1 = \frac{\sum_{i=1}^N P1}{P} = \frac{P_1^h}{P}$$

N = numero de datos de la serie histórica de precipitaciones, es decir, 140125.

P1 = precipitación promedio del primer cuartil por cada Δt .

P = precipitación promedio total histórica.

Idéntico procedimiento para los demás cuartiles Q2, Q3, Q4. Los resultados se muestran en la Figura 73:

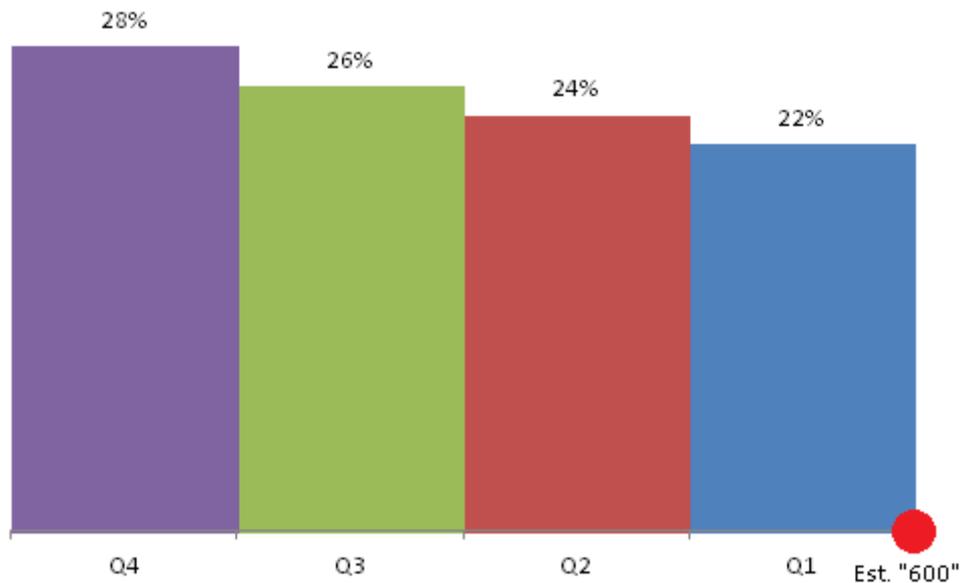


Figura 73: Primer patrón de distribución areal histórica por cuartiles

También se realizó de otra manera el mismo análisis, es decir, se calculó el porcentaje de cada cuartil en cada Δt como la relación de la precipitación promedio " P_i " en cada cuartil respecto a la precipitación promedio total " P " en cada Δt de análisis. Así se obtuvo el porcentaje de lluvias precipitado en cada cuartil por cada Δt , esto se realizó en toda la serie histórica. Luego se calculó el promedio de dichos porcentajes, en la tabla siguiente se ilustra el cálculo:

Δt	P1	P2	P3	P4	P	%P1	%P2	%P3	%P4
1	0,00	0,10	1,50	0,00	$\Sigma = P1+P2+P3+P4$	$= P1/P$	$= P2/P$	$= P3/P$	$= P4/P$
,	,	,	,	,	,	,	,	,	,
,	,	,	,	,	,	,	,	,	,
,	,	,	,	,	,	,	,	,	,
140125	1,30	0,80	0,00	0,00	,	,	,	,	,

Q1=Promedio %P1 Q2=Promedio %P2 Q3=Promedio %P3 Q4=Promedio %P4

Tabla 17: Segundo cálculo de la distribución de la precipitación

Los resultados se muestran a continuación en la Figura 74.

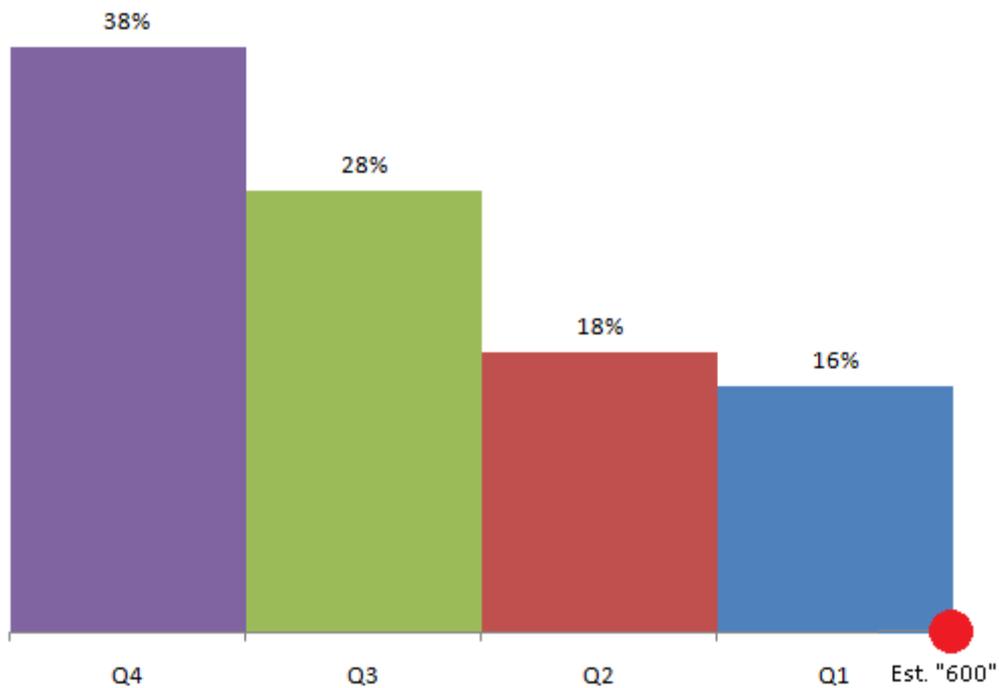


Figura 74: Segundo patrón de distribución areal histórica por cuartiles

Este segundo análisis parecería conceptualmente más ilustrativo pues es el promedio de los porcentajes precipitados en cada cuartil por cada Δt . Es decir que tiene en cuenta la tendencia que tienen las precipitaciones en la distribución por cuartiles, mientras que el primer análisis solo considera un volumen de precipitaciones bruto y a partir de allí calcula el porcentaje de cada cuartil.

Siguiendo este segundo análisis se observa que más del 60% de las precipitaciones en el periodo de 1995 – 2009 ocurren en la cuenca alta.

17 Calibración del modelo GRP

De las 31 series confiables que encontramos en la sección “0 Identificación de series confiables” se buscaron en principio series con valores del parámetro promedio ponderado \bar{t}^* distintos al histórico.

Se eligió entonces la serie número 19 para calibrar pero los resultados obtenidos no fueron satisfactorios, el caudal simulado no ajustaba al observado.

Luego se intentó calibrar con las series 16, 18, 15, 23, 28, todas con un tiempo promedio ponderado mayor que el histórico, pero tras de varios días de corrida discontinuada, no logró estabilizarse el algoritmo de calibración, por lo que no se arribó a la Región de Pareto, y en consecuencia no se pudo obtener el juego óptimo de los parámetros.

A esta altura se decidió empezar a calibrar con series que tengan un promedio ponderado menor que el histórico, pero en las series 21 y 17 nos encontramos con el mismo problema anterior.

Luego se buscaron series que tuvieran la mayor cantidad de sus datos con registros de lluvia, es decir, que el porcentaje de lluvia de la serie sea alto (Ver Tabla 15: Series Confiables). Se eligieron las series n°4 y n°12. La serie n°4 tiene un parámetro ponderado promedio de $\bar{t}^*=5,60$ hs y con un 21% de la serie con eventos de precipitaciones. A su vez la serie n°12 posee un parámetro ponderado promedio de $\bar{t}^*=5,45$ hs con un 11% de la serie con precipitaciones. La calibración de ambas fue satisfactoria.

La evolución de la población de la serie n°4 hasta la Región de Pareto se muestra a continuación:

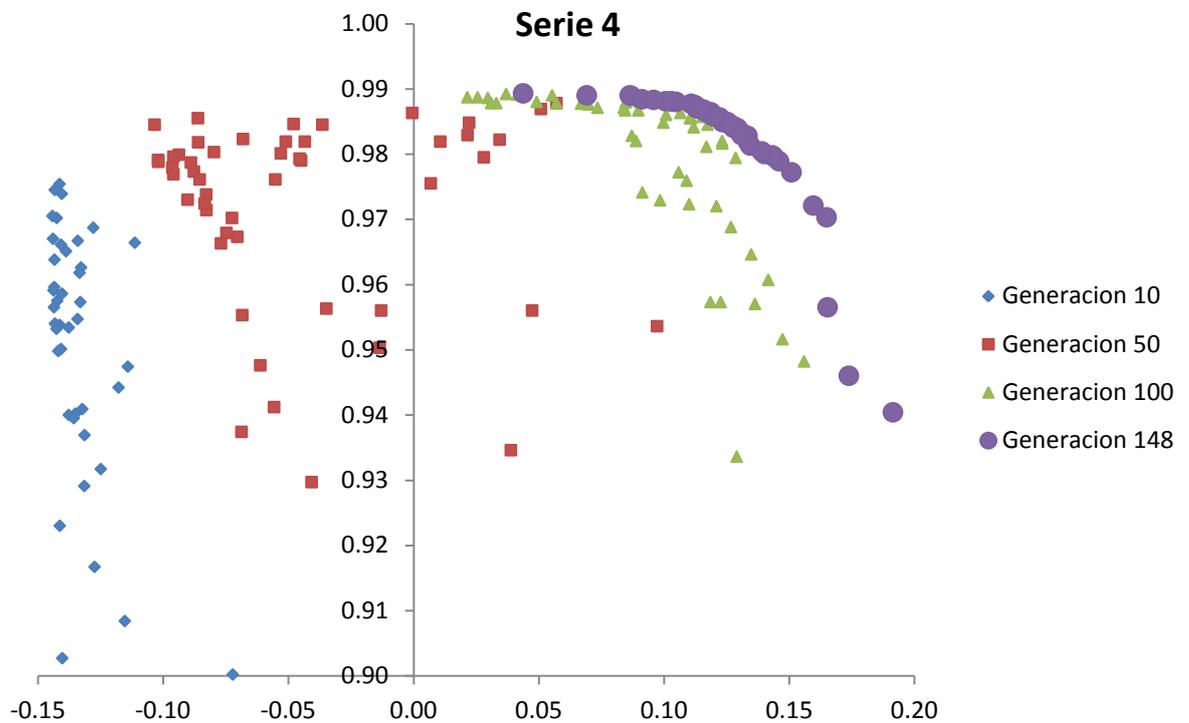


Figura 75: Evolución de la Población - Serie 4

La región de Pareto se encuentra en la generación número 148.

También se muestra la evolución de la población de la serie n°12 hasta la región de Pareto:

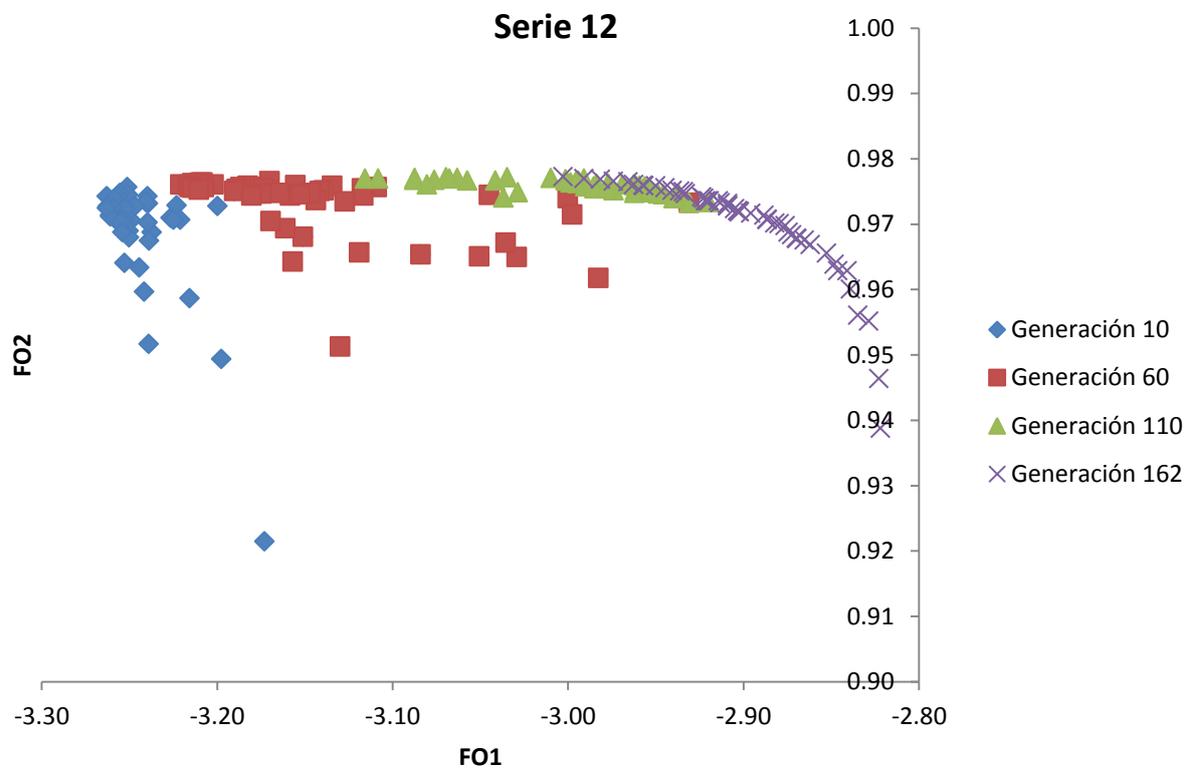


Figura 76: Evolución de la Población - Serie 12

La región de Pareto se encuentra en la generación numero 162

Los resultados obtenidos de las calibraciones se consideran muy satisfactorios, con un caudal simulado que se ajusta casi de manera perfecta al caudal observado ambos casos, n°12 y n°4. En la Figura 77 se observa el Hidrograma para la Serie 4:

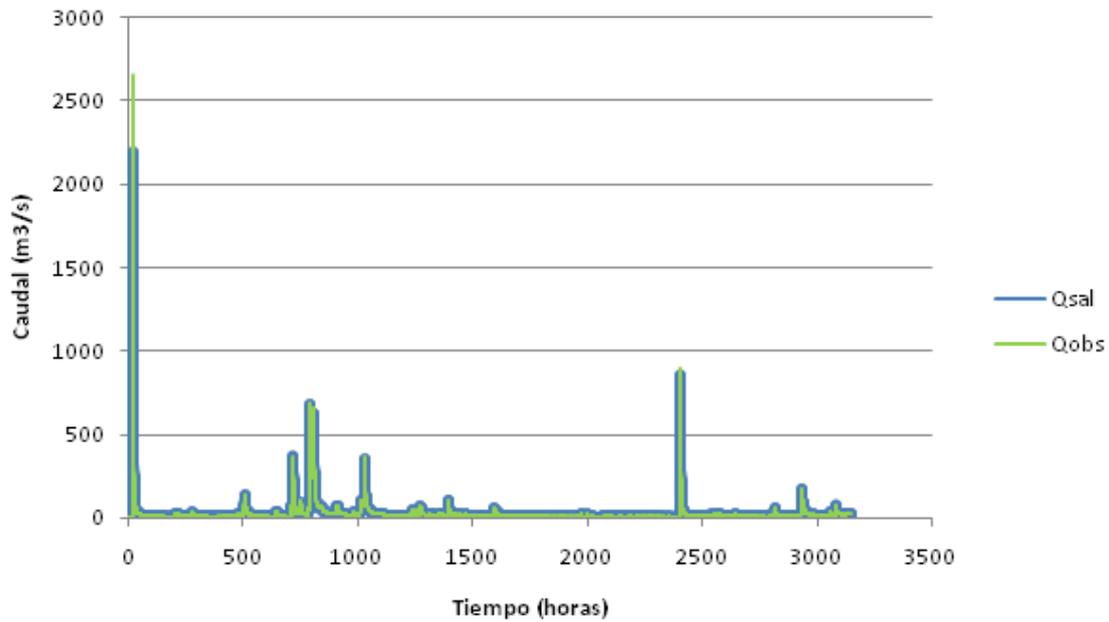


Figura 77: Hidrograma Serie 4

Como se observa en la Figura 77 los caudales son casi idénticos, sin embargo se observan algunas particularidades como diferencias entre picos de caudales como se muestra en la Figura 78 y Figura 79.

Se calculó el tiempo promedio ponderado para los eventos en que los caudales difieren en los picos.

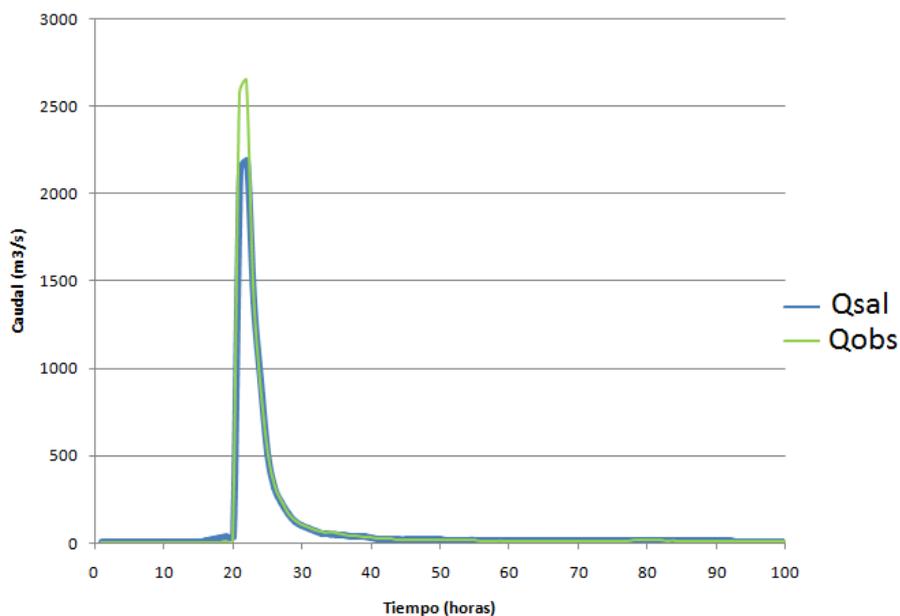


Figura 78: Hidrograma Serie 4, Tramo 0-100

Se encontró que para el evento del tramo 0-100 el parámetro promedio ponderado es igual a $\bar{t}^* = 5,77 \text{ hs}$ mientras que el parámetro promedio ponderado de toda la serie n°4 es de $\bar{t}^* = 5,60 \text{ hs}$. Esto se contradice con la hipótesis propuesta en un principio, ya que, si un evento posee el núcleo de las precipitaciones más lejos (en términos temporales) del punto de concentración, el hidrograma debería ser más achatado. En este caso se ve como el Qobs es mayor al Qsal, sin embargo el valor temporal del núcleo de las precipitaciones del evento es mayor que el de la serie n°4, por lo que, según la hipótesis, el Qobs debería ser menor al Qsal.

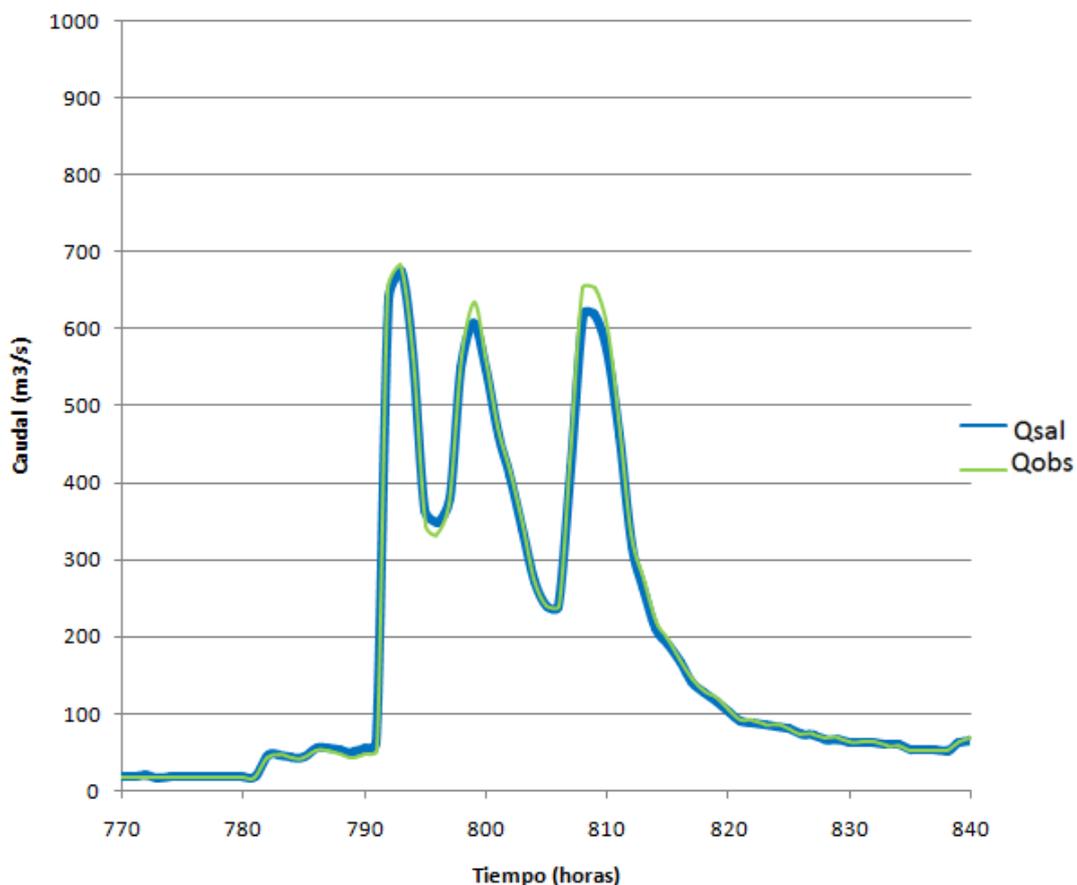


Figura 79: Hidrograma Serie 4, Tramo 770-840

Para el evento del tramo 770 – 840 el valor del parámetro promedio ponderado del evento es de $\bar{t}^* = 5,42 \text{ hs}$ es decir, menor que el de la serie n°4. Esto concuerda con la hipótesis planteada, ya que, al tener el núcleo de las precipitaciones más cerca (en términos temporales) del punto de concentración, el pico del evento debería ser mayor al simulado.

En la Figura 80 se observa el Hidrograma de la serie 12:

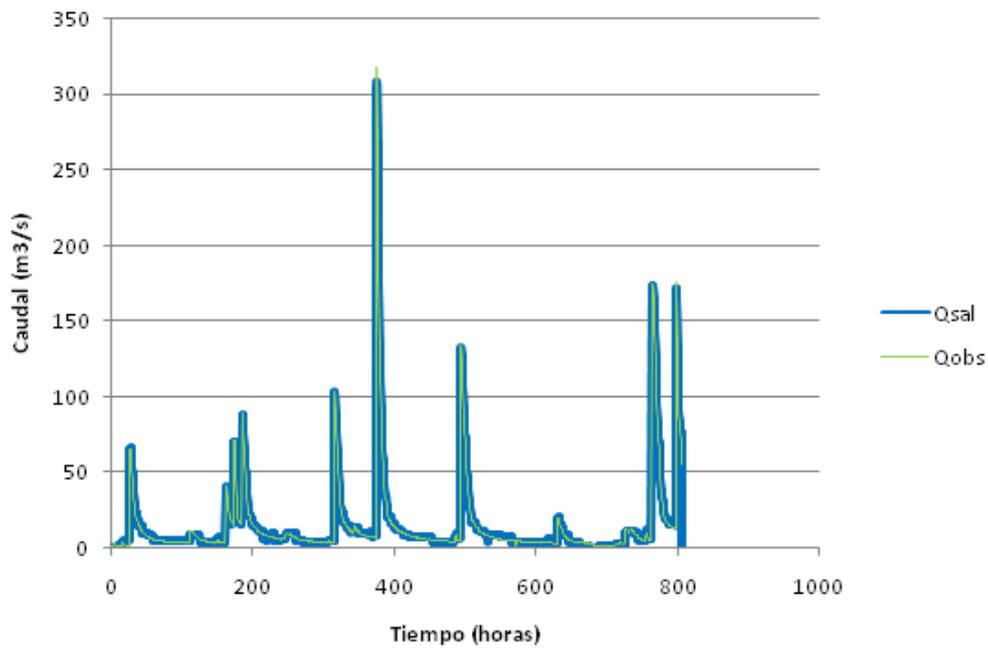


Figura 80: Hidrograma Serie 12

Se ve claramente la correspondencia entre el caudal simulado y el observado para ambas series. Sin embargo existe una diferencia entre picos en un evento que se muestra en la Figura 81:

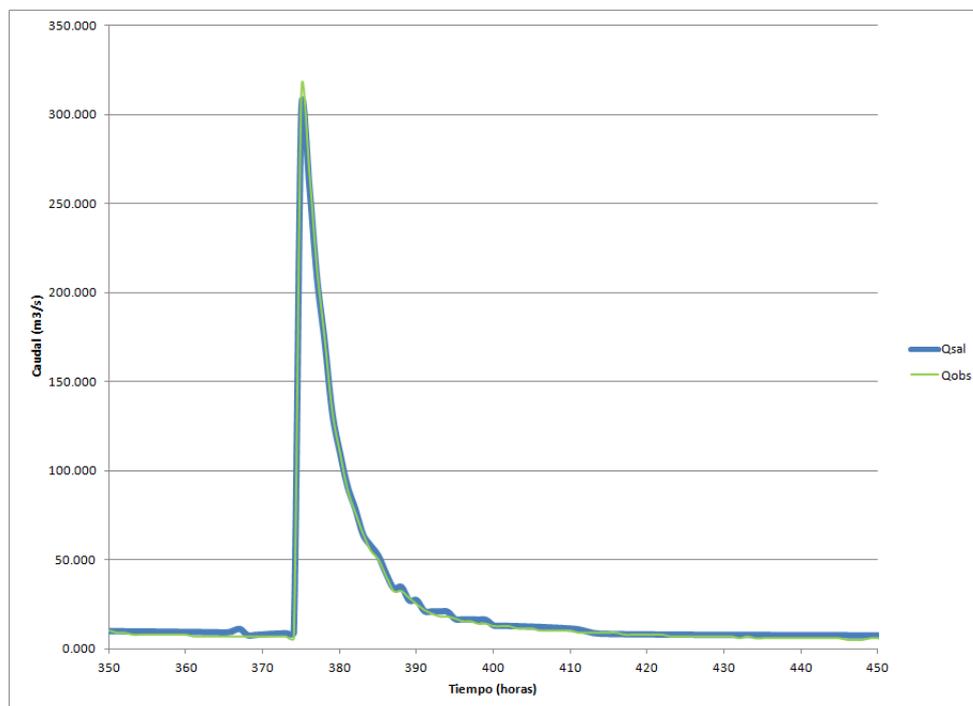


Figura 81: Hidrograma Serie 12, Tramo 350-450

Se encontró que para el evento del tramo 350 - 450 el parámetro promedio ponderado es igual a $\bar{t}^* = 6,51 \text{ hs}$ mientras que el parámetro promedio ponderado de toda la serie n°4 es de $\bar{t}^* = 5,45 \text{ hs}$. Esto se contradice con la hipótesis propuesta en un principio, ya que, si un evento posee el núcleo de las precipitaciones más lejos (en términos temporales) del punto de concentración, el hidrograma debería ser más achatado. En este caso se ve como el Q_{obs} es mayor al Q_{sal} , sin embargo el valor temporal del núcleo de las precipitaciones del evento es mayor que el de la serie n°12, por lo que, según la hipótesis, el Q_{obs} debería ser menor al Q_{sal} .

Con las pocas pruebas que se hicieron no se considera que sean contundentes para extraer una conclusión definida, es decir, se vio en esta sección como la hipótesis se cumplía en un caso pero en otros no. De todas formas existe una leve evidencia que cuando se produce un patrón de distribución espacial de precipitaciones notoriamente distinto al histórico, es decir, cuando el tiempo promedio ponderado difiere marcadamente del histórico de la serie empleada para calibrar, impacta en el hidrograma estas diferencias.

18 Conclusiones

En este trabajo se establecieron las bases necesarias para una futura modelación lluvia caudal sobre la cuenca del río San Antonio. Dicha modelación requiere poseer una serie de datos confiables de precipitaciones y caudales ya que los resultados otorgados por el modelo van a depender ampliamente de la calidad de datos con la que se calibra el mismo. Para ello se estudió el estado en que se encontraban las series.

Se consiguió una serie histórica de datos de precipitación con paso de tiempo horario de 15 años de longitud, dentro del cual un 95,4% de los datos cuentan con la participación de entre 7 a 10 estaciones, ofreciendo una elevada calidad y confiabilidad de los datos registrados. En cuanto a la serie histórica de caudales, sólo el 64% de este periodo cuenta con datos de nivel registrados, que fue posible convertir en caudal.

En una primera instancia se analizó si existe una tendencia marcada y definida de distribución areal de precipitaciones en la cuenca en estudio, observando cierta tendencia a mantener constante dicho patrón, sin embargo se observó una cierta dispersión respecto de la media que justificó el análisis puntual de la influencia de dichas particularidades en la performance del modelo para representarlas.

Mediante sistemas de información geográfica (SIG) se determinaron los parámetros geomorfológicos principales de la cuenca del río San Antonio. Se determinó que el área de la cuenca es de 495,2 km², el cauce principal de la cuenca (Icho Cruz + San Antonio) tiene una longitud de 69,47 km y una pendiente media de 0,0244 m/m. Si bien los resultados difieren de algunas bibliografías consultadas, esto se debe principalmente a la forma de trabajo y a la calidad de los datos descargados ya que existen diferentes fuentes de distintos satélites, sin embargo las diferencias son mínimas y se considera que los resultados son válidos.

Respecto del tiempo de concentración de la cuenca del río San Antonio, se lo calculó utilizando diferentes puntos de vista. En una primera aproximación se utilizaron las formulaciones empíricas, pero en los resultados se observó que la variabilidad de tiempos de concentración es muy grande, lo que deja lugar a incertidumbres. Un ejemplo de esto es Bransby Williams que otorga tiempos de concentración considerablemente mayores que el resto de las fórmulas.

Para tener un segundo punto de vista se utilizó el trabajo de Colladón (2006), en la sección 13.2 se puede ver como los resultados de las formulas empíricas otorgan mayores tiempos de concentración a la combinación río Icho Cruz con río San Antonio, lo que nos indica que el cauce principal sería esta combinación. A su vez, esta

conclusión concuerda con lo desarrollado en la sección 12.2 en donde se obtuvo que el cauce principal está formado por los ríos Icho Cruz con San Antonio.

Gracias a la información aportada por trabajos previos, e incorporando un análisis hidrológico/hidráulico a la concepción del movimiento de la gota de agua dentro de la cuenca, se obtuvieron valores superiores a las 9 horas. También se tuvo en cuenta la opinión de los habitantes de la zona, que estiman tiempos de 9 a 12 horas.

Luego de una combinación de los distintos enfoques de análisis, se asumió un tiempo de concentración de 10 horas para la cuenca del río San Antonio.

Ahora bien, según la hipótesis planteada en la introducción, el modelo calibrado con la serie histórica, que posee un patrón promedio definido de distribución areal de precipitaciones, debería ser incapaz de representar series que posean un patrón de distribución marcadamente diferente. Para ello fue necesario conocer el patrón de distribución areal, luego se definió la posición temporal del núcleo de la precipitación mediante un parámetro \hat{t} como la distancia (en términos temporales) a la cual se encuentra el núcleo de la precipitación del punto de concentración, es decir es el tiempo promedio areal que tarda la precipitación en concentrarse en el punto de concentración. Se calculó el promedio de los parámetros \hat{t} para toda la serie histórica de datos, que nos indica cual es la posición temporal en promedio del núcleo de las precipitaciones, es decir, $\widehat{\bar{t}}_H = 6,36$ hs.

Posteriormente, considerando que la verdadera posición del núcleo de la precipitación, debería involucrar también el volumen de agua que se distribuye en la cuenca arealmente, se definió el parámetro ponderado $\widehat{\bar{t}}^*$, el cual emplea como valor de ponderación el volumen de lluvia, y se calculó dicho parámetro ponderado para la serie histórica de datos, es decir, $\widehat{\bar{t}}_H^* = 5,71$ hs.

Luego se realizó una búsqueda de las series que tuvieran valores $\widehat{\bar{t}}^*$ lejanos al promedio histórico ponderado $\widehat{\bar{t}}_H^*$, descartando aquellas series que fueran incompatibles y se encontraron 16 series compatibles, sumando además a la lista aquellas series encontradas en el trabajo de Martin (2013), llegando a 31 series en total.

Se estudió la relación entre los parámetros $\widehat{\bar{t}}$ y $\widehat{\bar{t}}^*$ esto permitió demostrar que efectivamente el volumen influye en la posición del núcleo, por lo tanto, se concluyó en este que el parámetro que determina cual es la verdadera posición temporal promedio del núcleo de las precipitaciones debe ser ponderado por el volumen de

lluvia caído, es decir, el parámetro \widehat{t}^* para cualquier escala temporal de análisis. Sin embargo, quedó de manifiesto que no existe una diferencia muy marcada, con lo cual, como una primera aproximación, en esta cuenca, puede asumirse el tiempo promedio (sin ponderar por la lámina de lluvia).

En cuanto a la distribución de las precipitaciones, como se explicó anteriormente, se calculó la misma respecto a las estaciones, pero también se calculó en relación a los cuartiles que se definieron. Esto permitió verificar que más del 60% de las precipitaciones históricas de la cuenca del río San Antonio, que abarcan 15 años (desde 1995 hasta 2009), se concentran en la cuenca alta.

A su vez se vió que el valor del núcleo temporal de las precipitaciones que en promedio histórico ocurrió en la cuenca, $\widehat{t}_H^* = 5,71$ hs, concuerda con el sesgo que tiene la distribución de las precipitaciones hacia la cuenca alta, como valor de referencia la Estación 700 “Confluencia El Cajón” (que divide a la cuenca en alta y baja) se ubicaría en un entorno de isócronas de 4 a 5 horas.

Finalmente, se realizaron las calibraciones de las series n°4 y n°12. Los resultados obtenidos indican una buena calidad de ajuste. Si bien no fueron verificadas estas calibraciones en otros rangos de series, a simple vista se observa que los caudales simulados son muy similares a los caudales observados en la estación 600 “El Canal”. Se observó también como la hipótesis planteada se cumplía en uno de los eventos calibrados pero se contradecía en los otros, esto llevó a no poder definir una conclusión específica en cuanto a si la hipótesis es válida o no, ya que además no se realizaron suficientes pruebas como para corroborarla.

En síntesis, a raíz de la hipótesis planteada originalmente, fue necesario ir desarrollando una sucesión de trabajos previos intermedios, de gran valor para el análisis general de la cuenca del río San Antonio. Dichos trabajos, sirven de base para desarrollar una labor más precisa en dirección a demostrar la hipótesis planteada.

En consecuencia, se considera que el presente informe ofrece una plataforma de trabajo sobre la cual continuar avanzando, con el objetivo de poner a prueba el modelo GRP sobre la cuenca del río San Antonio, evaluar su calidad de ajuste para realizar pronósticos confiables, y estudiar la influencia que un cambio puntual del patrón areal de precipitaciones, respecto del histórico, puede ejercer sobre la performance del modelo concentrado para predecir la magnitud del caudal pico, así como el tiempo en manifestarse.

19 Referencias Bibliográficas

Alonso, F.J. (2008). *Calibración automática de un modelo hidrológico basado en algoritmos genéticos, aplicación a dos cuencas típicas argentinas*. Tesis de Maestría. FCEFN. Universidad Nacional de Córdoba.

Aliaga, A. (2009). *Análisis de incertidumbre en resultados generados con modelos de transformación lluvia-caudal para una cuenca de montaña (río San Antonio, Córdoba)*. Práctica Supervisada. Universidad Católica de Córdoba.

Bertoni, J.C., Chevallier, P. (2002). *Análisis de Incertidumbres en la Modelación Matemática: un ejemplo empleando un Modelo Hidrológico Simplificado*. First South-American Congress on Computational Mechanics.MECOM 2002.

Bertoni, J.C., Chevallier, P., Bouvier, C., Desbordes, M. (2000). *Análisis relativo a la estimación del tiempo de concentración: aplicación a tres cuencas semi urbanizadas de la región central de Argentina*.XIX Congreso Latinoamericano de Hidráulica.

Colladón, L., Caamaño Nelli, G., Pazos, R. (2006). *Evaluación de un modelo estadístico para pronóstico a tiempo real en una cuenca serrana*.Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas. Centro de la Región Semiárida del Instituto Nacional del Agua.

Colladón, L., Caamaño Nelli, G., Pazos, R., Dasso, C. (2007). *Modelos estadísticos para pronosticar crecidas a tiempo real en las sierras cordobesas*.Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas. Centro de la RegiónSemiárida del Instituto Nacional del Agua.

Colladón, L., Caamaño Nelli, G. (2002). *Caudales de proyecto de la cuenca del río San Antonio*. Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas. Centro de la RegiónSemiárida del Instituto Nacional del Agua.

Chow, V.T., Maidment, D.R., Mays, L.W. (1994). *Hidrología Aplicada*. McGraw Hill.

Catalini, C., Garcia, C., Ortega, F., Ottaviani, M., Aliaga, I., Garcia, C. (2010). *Análisis de sensibilidad sobre parámetros de un modelo hidrológico conceptual para pronóstico de crecida en una cuenca de montaña (Rio San Antonio, Prov. De Córdoba)*. XXXIV Congreso Latinoamericano de Hidráulica, Punta del Este, Uruguay.

Fontana, J.M., Ganancias, F.M.; (2004). *Pronóstico de crecidas en tiempo real del Río San Antonio*. Córdoba, Argentina.

Martin, M.J. (2013). *Calibración y modelación hidrológica preliminar con énfasis en el ordenamiento y control de datos (Aplicación a cuencas de los ríos San Antonio en Córdoba y Gualaguaychú en Entre Ríos)*. Práctica Supervisada. Universidad Nacional de Córdoba.

Tucci, C.E.M., Clarke, R.T. (1980). *Adaptative forecasting with a conceptual rainfall-runoff model, Hydrological forecasting*. Proc. Of the Oxford Symposium, IAHS-AISH, Publ. Nº 129.

Páginas Web

ELU, (2014). *Estructura en capas de un SIG*. Enciclopedia Libre Universal.

Web: www.encyclopedia.us.es

Pardo, D. (2014). *Sistemas de Información Geográfica*.

Web: www.oocities.org/es/luisfuentes72/gps/infografia/sig10.htm

Ortiz, G. (2014). *Sistemas de Información Geográfica*.

Web: <http://www.gabrielortiz.com>

ERSI, (2014). ArcGIS.

Web: www.esri.com/software/arcgis

USGS, (2014). United States Geological Survey

Web: www.usgs.gov

20 Anexos

20.1 Tabla Diagnóstico

Desde	Hasta	Condición de P	Condición de Q
01/01/1994 02:00	01/01/1994 05:00	1 a 3 estaciones	con datos
01/01/1994 06:00	01/01/1994 11:00	4 a 6 estaciones	con datos
01/01/1994 12:00	14/01/1994 14:00	7 a 10 estaciones	con datos
14/01/1994 15:00	14/01/1994 18:00	7 a 10 estaciones	relleno en época de lluvia
14/01/1994 19:00	17/01/1994 03:00	7 a 10 estaciones	con datos
17/01/1994 04:00	17/01/1994 06:00	7 a 10 estaciones	relleno en época de lluvia
17/01/1994 07:00	26/01/1994 11:00	7 a 10 estaciones	con datos
26/01/1994 12:00	20/02/1994 00:00	7 a 10 estaciones	relleno en época de lluvia
20/02/1994 01:00	27/02/1994 05:00	7 a 10 estaciones	con datos
27/02/1994 06:00	27/02/1994 07:00	7 a 10 estaciones	relleno en época de lluvia
27/02/1994 08:00	13/03/1994 12:00	7 a 10 estaciones	con datos
13/03/1994 13:00	13/03/1994 14:00	7 a 10 estaciones	relleno en época de lluvia
13/03/1994 15:00	15/03/1994 23:00	7 a 10 estaciones	con datos
16/03/1994 00:00	16/03/1994 01:00	7 a 10 estaciones	relleno en época de lluvia
16/03/1994 02:00	18/03/1994 19:00	7 a 10 estaciones	con datos
18/03/1994 20:00	19/03/1994 09:00	7 a 10 estaciones	relleno
19/03/1994 10:00	30/04/1994 22:00	7 a 10 estaciones	con datos
30/04/1994 23:00	31/05/1994 23:00	7 a 10 estaciones	relleno
01/06/1994 00:00	02/06/1994 09:00	7 a 10 estaciones	con datos
02/06/1994 10:00	02/06/1994 11:00	7 a 10 estaciones	relleno
02/06/1994 12:00	08/06/1994 11:00	7 a 10 estaciones	con datos
08/06/1994 12:00	08/06/1994 13:00	7 a 10 estaciones	relleno
08/06/1994 14:00	19/06/1994 14:00	7 a 10 estaciones	con datos
19/06/1994 15:00	19/06/1994 16:00	7 a 10 estaciones	relleno
19/06/1994 17:00	27/06/1994 13:00	7 a 10 estaciones	con datos
27/06/1994 14:00	27/06/1994 15:00	7 a 10 estaciones	relleno
27/06/1994 16:00	28/06/1994 14:00	7 a 10 estaciones	con datos
28/06/1994 15:00	28/06/1994 17:00	7 a 10 estaciones	relleno
28/06/1994 18:00	30/06/1994 17:00	7 a 10 estaciones	con datos
30/06/1994 18:00	30/06/1994 19:00	7 a 10 estaciones	relleno
30/06/1994 20:00	01/07/1994 02:00	7 a 10 estaciones	con datos
01/07/1994 03:00	01/07/1994 13:00	7 a 10 estaciones	relleno
01/07/1994 14:00	01/07/1994 20:00	7 a 10 estaciones	con datos
01/07/1994 21:00	01/07/1994 22:00	7 a 10 estaciones	relleno
01/07/1994 23:00	02/07/1994 02:00	7 a 10 estaciones	con datos
02/07/1994 03:00	02/07/1994 04:00	7 a 10 estaciones	relleno
02/07/1994 05:00	02/07/1994 08:00	7 a 10 estaciones	con datos
02/07/1994 09:00	02/07/1994 10:00	7 a 10 estaciones	relleno
02/07/1994 11:00	02/07/1994 13:00	7 a 10 estaciones	con datos
02/07/1994 14:00	02/07/1994 15:00	7 a 10 estaciones	relleno
02/07/1994 16:00	03/07/1994 06:00	7 a 10 estaciones	con datos
03/07/1994 07:00	03/07/1994 08:00	7 a 10 estaciones	relleno
03/07/1994 09:00	03/07/1994 19:00	7 a 10 estaciones	con datos
03/07/1994 20:00	03/07/1994 21:00	7 a 10 estaciones	relleno
03/07/1994 22:00	05/07/1994 04:00	7 a 10 estaciones	con datos
05/07/1994 05:00	05/07/1994 06:00	7 a 10 estaciones	relleno
05/07/1994 07:00	05/07/1994 12:00	7 a 10 estaciones	con datos
05/07/1994 13:00	05/07/1994 16:00	7 a 10 estaciones	relleno
05/07/1994 17:00	06/07/1994 12:00	7 a 10 estaciones	con datos
06/07/1994 13:00	06/07/1994 14:00	7 a 10 estaciones	relleno
06/07/1994 15:00	06/07/1994 17:00	7 a 10 estaciones	con datos
06/07/1994 18:00	06/07/1994 19:00	7 a 10 estaciones	relleno
06/07/1994 20:00	07/07/1994 10:00	7 a 10 estaciones	con datos
07/07/1994 11:00	08/07/1994 01:00	7 a 10 estaciones	relleno
08/07/1994 02:00	08/07/1994 03:00	7 a 10 estaciones	con datos
08/07/1994 04:00	08/07/1994 08:00	7 a 10 estaciones	relleno
08/07/1994 09:00	08/07/1994 10:00	7 a 10 estaciones	con datos
08/07/1994 11:00	08/07/1994 12:00	7 a 10 estaciones	relleno
08/07/1994 13:00	08/07/1994 14:00	7 a 10 estaciones	con datos
08/07/1994 15:00	09/07/1994 00:00	7 a 10 estaciones	relleno
09/07/1994 01:00	10/07/1994 16:00	7 a 10 estaciones	con datos
10/07/1994 17:00	10/07/1994 18:00	7 a 10 estaciones	relleno
10/07/1994 19:00	10/07/1994 20:00	7 a 10 estaciones	con datos
10/07/1994 21:00	10/07/1994 22:00	7 a 10 estaciones	relleno

10/07/1994 23:00	11/07/1994 18:00	7 a 10 estaciones	con datos
11/07/1994 19:00	11/07/1994 20:00	7 a 10 estaciones	relleno
11/07/1994 21:00	12/07/1994 03:00	7 a 10 estaciones	con datos
12/07/1994 04:00	12/07/1994 08:00	7 a 10 estaciones	relleno
12/07/1994 09:00	12/07/1994 11:00	7 a 10 estaciones	con datos
12/07/1994 12:00	12/07/1994 13:00	7 a 10 estaciones	relleno
12/07/1994 14:00	12/07/1994 15:00	7 a 10 estaciones	con datos
12/07/1994 16:00	12/07/1994 16:00	7 a 10 estaciones	relleno
12/07/1994 18:00	12/07/1994 19:00	7 a 10 estaciones	con datos
12/07/1994 20:00	12/07/1994 21:00	7 a 10 estaciones	relleno
12/07/1994 22:00	13/07/1994 07:00	7 a 10 estaciones	con datos
13/07/1994 08:00	13/07/1994 09:00	7 a 10 estaciones	relleno
13/07/1994 10:00	13/07/1994 11:00	7 a 10 estaciones	con datos
13/07/1994 12:00	13/07/1994 13:00	7 a 10 estaciones	relleno
13/07/1994 14:00	14/07/1994 06:00	7 a 10 estaciones	con datos
14/07/1994 07:00	14/07/1994 08:00	7 a 10 estaciones	relleno
14/07/1994 09:00	18/07/1994 12:00	7 a 10 estaciones	con datos
18/07/1994 13:00	18/07/1994 14:00	7 a 10 estaciones	relleno
18/07/1994 15:00	19/07/1994 15:00	7 a 10 estaciones	con datos
19/07/1994 16:00	19/07/1994 17:00	7 a 10 estaciones	relleno
19/07/1994 18:00	20/07/1994 06:00	7 a 10 estaciones	con datos
20/07/1994 07:00	20/07/1994 08:00	7 a 10 estaciones	relleno
20/07/1994 09:00	23/07/1994 02:00	7 a 10 estaciones	con datos
23/07/1994 03:00	23/07/1994 04:00	7 a 10 estaciones	relleno
23/07/1994 05:00	23/07/1994 08:00	7 a 10 estaciones	con datos
23/07/1994 09:00	23/07/1994 10:00	7 a 10 estaciones	relleno
23/07/1994 11:00	13/09/1994 10:00	7 a 10 estaciones	con datos
13/09/1994 11:00	13/09/1994 13:00	7 a 10 estaciones	relleno
13/09/1994 14:00	18/09/1994 11:00	7 a 10 estaciones	con datos
18/09/1994 12:00	18/09/1994 14:00	7 a 10 estaciones	relleno
18/09/1994 15:00	22/09/1994 11:00	7 a 10 estaciones	con datos
22/09/1994 12:00	22/09/1994 13:00	7 a 10 estaciones	relleno
22/09/1994 14:00	02/11/1994 10:00	7 a 10 estaciones	con datos
02/11/1994 11:00	02/11/1994 12:00	7 a 10 estaciones	relleno en época de lluvia
02/11/1994 13:00	02/11/1994 15:00	7 a 10 estaciones	con datos
02/11/1994 16:00	02/11/1994 17:00	7 a 10 estaciones	relleno en época de lluvia
02/11/1994 18:00	13/12/1994 08:00	7 a 10 estaciones	con datos
13/12/1994 09:00	13/12/1994 11:00	7 a 10 estaciones	relleno en época de lluvia
13/12/1994 12:00	02/02/1995 18:00	7 a 10 estaciones	con datos
02/02/1995 19:00	02/02/1995 20:00	7 a 10 estaciones	relleno en época de lluvia
02/02/1995 21:00	15/02/1995 03:00	7 a 10 estaciones	con datos
15/02/1995 04:00	15/02/1995 06:00	7 a 10 estaciones	relleno en época de lluvia
15/02/1995 07:00	28/02/1995 14:00	7 a 10 estaciones	con datos
28/02/1995 15:00	28/02/1995 16:00	4 a 6 estaciones	con datos
28/02/1995 17:00	28/02/1995 22:00	1 a 3 estaciones	con datos
28/02/1995 23:00	06/03/1995 18:00	Ninguna	relleno en época de lluvia
06/03/1995 19:00	07/03/1995 09:00	1 a 3 estaciones	relleno en época de lluvia
07/03/1995 10:00	07/03/1995 12:00	4 a 6 estaciones	relleno en época de lluvia
07/03/1995 13:00	10/03/1995 12:00	7 a 10 estaciones	con datos
10/03/1995 13:00	10/03/1995 15:00	7 a 10 estaciones	relleno en época de lluvia
10/03/1995 16:00	14/03/1995 12:00	7 a 10 estaciones	con datos
14/03/1995 13:00	14/03/1995 14:00	7 a 10 estaciones	relleno en época de lluvia
14/03/1995 15:00	22/03/1995 20:00	7 a 10 estaciones	con datos
22/03/1995 21:00	22/03/1995 22:00	7 a 10 estaciones	relleno en época de lluvia
22/03/1995 23:00	27/03/1995 11:00	7 a 10 estaciones	con datos
27/03/1995 12:00	27/03/1995 14:00	7 a 10 estaciones	relleno en época de lluvia
27/03/1995 15:00	11/04/1995 11:00	7 a 10 estaciones	con datos
11/04/1995 12:00	22/04/1995 01:00	7 a 10 estaciones	relleno
22/04/1995 02:00	05/09/1995 13:00	7 a 10 estaciones	con datos
05/09/1995 14:00	05/09/1995 19:00	7 a 10 estaciones	relleno
05/09/1995 20:00	16/09/1995 13:00	7 a 10 estaciones	con datos
16/09/1995 14:00	16/09/1995 18:00	7 a 10 estaciones	relleno
16/09/1995 19:00	17/09/1995 11:00	7 a 10 estaciones	con datos
17/09/1995 12:00	17/09/1995 13:00	7 a 10 estaciones	relleno
17/09/1995 14:00	20/09/1995 07:00	7 a 10 estaciones	con datos
20/09/1995 08:00	20/09/1995 09:00	7 a 10 estaciones	relleno
20/09/1995 10:00	07/10/1995 03:00	7 a 10 estaciones	con datos
07/10/1995 04:00	07/10/1995 05:00	7 a 10 estaciones	relleno
07/10/1995 06:00	07/10/1995 12:00	7 a 10 estaciones	con datos
07/10/1995 13:00	07/10/1995 16:00	7 a 10 estaciones	relleno

07/10/1995 17:00	09/10/1995 10:00	7 a 10 estaciones	con datos
09/10/1995 11:00	09/10/1995 12:00	7 a 10 estaciones	relleno
09/10/1995 13:00	10/10/1995 08:00	7 a 10 estaciones	con datos
10/10/1995 09:00	10/10/1995 10:00	7 a 10 estaciones	relleno
10/10/1995 11:00	13/10/1995 06:00	7 a 10 estaciones	con datos
13/10/1995 07:00	13/10/1995 22:00	7 a 10 estaciones	relleno
13/10/1995 23:00	14/10/1995 05:00	7 a 10 estaciones	con datos
14/10/1995 06:00	16/10/1995 00:00	7 a 10 estaciones	relleno
16/10/1995 01:00	16/10/1995 07:00	7 a 10 estaciones	con datos
16/10/1995 08:00	16/10/1995 13:00	7 a 10 estaciones	relleno
16/10/1995 14:00	16/10/1995 15:00	7 a 10 estaciones	con datos
16/10/1995 16:00	16/10/1995 17:00	7 a 10 estaciones	relleno
16/10/1995 18:00	16/10/1995 19:00	7 a 10 estaciones	con datos
16/10/1995 20:00	17/10/1995 00:00	7 a 10 estaciones	relleno
17/10/1995 01:00	17/10/1995 03:00	7 a 10 estaciones	con datos
17/10/1995 04:00	17/10/1995 05:00	7 a 10 estaciones	relleno
17/10/1995 06:00	20/10/1995 17:00	7 a 10 estaciones	con datos
20/10/1995 18:00	20/10/1995 21:00	7 a 10 estaciones	relleno
20/10/1995 22:00	21/10/1995 08:00	7 a 10 estaciones	con datos
21/10/1995 09:00	21/10/1995 13:00	7 a 10 estaciones	relleno
21/10/1995 14:00	22/10/1995 09:00	7 a 10 estaciones	con datos
22/10/1995 10:00	22/10/1995 13:00	7 a 10 estaciones	relleno
22/10/1995 14:00	24/10/1995 10:00	7 a 10 estaciones	con datos
24/10/1995 11:00	24/10/1995 19:00	7 a 10 estaciones	relleno
24/10/1995 20:00	30/10/1995 07:00	7 a 10 estaciones	con datos
30/10/1995 08:00	30/10/1995 13:00	7 a 10 estaciones	relleno
30/10/1995 14:00	31/10/1995 07:00	7 a 10 estaciones	con datos
31/10/1995 08:00	31/10/1995 14:00	7 a 10 estaciones	relleno
31/10/1995 15:00	01/11/1995 07:00	7 a 10 estaciones	con datos
01/11/1995 08:00	01/11/1995 09:00	7 a 10 estaciones	relleno en época de lluvia
01/11/1995 10:00	01/11/1995 12:00	7 a 10 estaciones	con datos
01/11/1995 13:00	01/11/1995 17:00	7 a 10 estaciones	relleno en época de lluvia
01/11/1995 18:00	01/11/1995 21:00	7 a 10 estaciones	con datos
01/11/1995 22:00	02/11/1995 01:00	7 a 10 estaciones	relleno en época de lluvia
02/11/1995 02:00	02/11/1995 15:00	7 a 10 estaciones	con datos
02/11/1995 16:00	02/11/1995 18:00	7 a 10 estaciones	relleno en época de lluvia
02/11/1995 19:00	14/11/1995 13:00	7 a 10 estaciones	con datos
14/11/1995 14:00	14/11/1995 15:00	7 a 10 estaciones	relleno en época de lluvia
14/11/1995 16:00	26/12/1995 21:00	7 a 10 estaciones	con datos
26/12/1995 22:00	01/01/1996 00:00	4 a 6 estaciones	relleno en época de lluvia
01/01/1996 01:00	24/01/1996 15:00	7 a 10 estaciones	con datos
24/01/1996 16:00	24/01/1996 18:00	7 a 10 estaciones	relleno en época de lluvia
24/01/1996 19:00	12/03/1996 05:00	7 a 10 estaciones	con datos
12/03/1996 06:00	12/03/1996 07:00	7 a 10 estaciones	relleno en época de lluvia
12/03/1996 08:00	21/03/1996 16:00	7 a 10 estaciones	con datos
21/03/1996 17:00	21/03/1996 18:00	7 a 10 estaciones	relleno en época de lluvia
21/03/1996 19:00	04/07/1996 08:00	7 a 10 estaciones	con datos
04/07/1996 09:00	04/07/1996 10:00	7 a 10 estaciones	relleno
04/07/1996 11:00	04/07/1996 12:00	7 a 10 estaciones	con datos
04/07/1996 13:00	04/07/1996 16:00	7 a 10 estaciones	relleno
04/07/1996 17:00	06/07/1996 08:00	7 a 10 estaciones	con datos
06/07/1996 09:00	06/07/1996 10:00	7 a 10 estaciones	relleno
06/07/1996 11:00	22/08/1996 09:00	7 a 10 estaciones	con datos
22/08/1996 10:00	22/08/1996 11:00	7 a 10 estaciones	relleno
22/08/1996 12:00	19/03/1997 10:00	7 a 10 estaciones	con datos
19/03/1997 11:00	19/03/1997 12:00	7 a 10 estaciones	relleno en época de lluvia
19/03/1997 13:00	22/05/1997 13:00	7 a 10 estaciones	con datos
22/05/1997 14:00	22/05/1997 15:00	7 a 10 estaciones	relleno
22/05/1997 16:00	23/05/1997 09:00	7 a 10 estaciones	con datos
23/05/1997 10:00	23/05/1997 16:00	7 a 10 estaciones	relleno
23/05/1997 17:00	10/06/1997 11:00	7 a 10 estaciones	con datos
10/06/1997 12:00	27/10/1997 15:00	7 a 10 estaciones	relleno
27/10/1997 16:00	05/02/1998 14:00	7 a 10 estaciones	con datos
05/02/1998 15:00	05/02/1998 18:00	7 a 10 estaciones	relleno en época de lluvia
05/02/1998 19:00	19/03/1998 15:00	7 a 10 estaciones	con datos
19/03/1998 16:00	31/03/1998 23:00	7 a 10 estaciones	relleno en época de lluvia
01/04/1998 00:00	31/10/1998 23:00	7 a 10 estaciones	relleno
01/11/1998 00:00	15/03/1999 19:00	7 a 10 estaciones	relleno en época de lluvia
15/03/1999 20:00	20/03/1999 08:00	4 a 6 estaciones	relleno en época de lluvia
20/03/1999 09:00	24/03/1999 22:00	7 a 10 estaciones	relleno en época de lluvia
24/03/1999 23:00	26/03/1999 23:00	4 a 6 estaciones	relleno en época de lluvia

27/03/1999 00:00	31/03/1999 13:00	7 a 10 estaciones	relleno en época de lluvia
31/03/1999 14:00	31/03/1999 23:00	4 a 6 estaciones	relleno en época de lluvia
01/04/1999 00:00	11/04/1999 04:00	4 a 6 estaciones	relleno
11/04/1999 05:00	23/04/1999 22:00	7 a 10 estaciones	relleno
23/04/1999 23:00	01/05/1999 10:00	4 a 6 estaciones	relleno
01/05/1999 11:00	30/06/1999 07:00	7 a 10 estaciones	relleno
30/06/1999 08:00	01/08/1999 01:00	4 a 6 estaciones	relleno
01/08/1999 02:00	31/10/1999 23:00	7 a 10 estaciones	relleno
01/11/1999 00:00	15/11/1999 14:00	7 a 10 estaciones	relleno en época de lluvia
15/11/1999 15:00	26/11/1999 15:00	7 a 10 estaciones	con datos
26/11/1999 16:00	26/11/1999 20:00	7 a 10 estaciones	relleno en época de lluvia
26/11/1999 21:00	02/12/1999 07:00	7 a 10 estaciones	con datos
02/12/1999 08:00	02/12/1999 09:00	7 a 10 estaciones	relleno en época de lluvia
02/12/1999 10:00	03/12/1999 16:00	7 a 10 estaciones	con datos
03/12/1999 17:00	03/12/1999 22:00	7 a 10 estaciones	relleno en época de lluvia
03/12/1999 23:00	04/12/1999 09:00	7 a 10 estaciones	con datos
04/12/1999 10:00	04/12/1999 19:00	7 a 10 estaciones	relleno en época de lluvia
04/12/1999 20:00	07/12/1999 08:00	7 a 10 estaciones	con datos
07/12/1999 09:00	07/12/1999 10:00	7 a 10 estaciones	relleno en época de lluvia
07/12/1999 11:00	12/12/1999 08:00	7 a 10 estaciones	con datos
12/12/1999 09:00	12/12/1999 17:00	7 a 10 estaciones	relleno en época de lluvia
12/12/1999 18:00	13/12/1999 08:00	7 a 10 estaciones	con datos
13/12/1999 09:00	13/12/1999 12:00	7 a 10 estaciones	relleno en época de lluvia
13/12/1999 13:00	14/12/1999 08:00	7 a 10 estaciones	con datos
14/12/1999 09:00	14/12/1999 19:00	7 a 10 estaciones	relleno en época de lluvia
14/12/1999 20:00	15/12/1999 08:00	7 a 10 estaciones	con datos
15/12/1999 09:00	15/12/1999 18:00	7 a 10 estaciones	relleno en época de lluvia
15/12/1999 19:00	16/12/1999 09:00	7 a 10 estaciones	con datos
16/12/1999 10:00	16/12/1999 16:00	7 a 10 estaciones	relleno en época de lluvia
16/12/1999 17:00	17/12/1999 07:00	7 a 10 estaciones	con datos
17/12/1999 08:00	17/12/1999 13:00	7 a 10 estaciones	relleno en época de lluvia
17/12/1999 14:00	17/12/1999 17:00	7 a 10 estaciones	con datos
17/12/1999 18:00	17/12/1999 23:00	7 a 10 estaciones	relleno en época de lluvia
18/12/1999 00:00	19/12/1999 08:00	7 a 10 estaciones	con datos
19/12/1999 09:00	19/12/1999 13:00	7 a 10 estaciones	relleno en época de lluvia
19/12/1999 14:00	22/12/1999 01:00	7 a 10 estaciones	con datos
22/12/1999 02:00	22/12/1999 04:00	7 a 10 estaciones	relleno en época de lluvia
22/12/1999 05:00	22/12/1999 11:00	7 a 10 estaciones	con datos
22/12/1999 12:00	22/12/1999 20:00	7 a 10 estaciones	relleno en época de lluvia
22/12/1999 21:00	23/12/1999 05:00	7 a 10 estaciones	con datos
23/12/1999 06:00	24/12/1999 00:00	7 a 10 estaciones	relleno en época de lluvia
24/12/1999 01:00	24/12/1999 09:00	7 a 10 estaciones	con datos
24/12/1999 10:00	24/12/1999 14:00	7 a 10 estaciones	relleno en época de lluvia
24/12/1999 15:00	24/12/1999 18:00	7 a 10 estaciones	con datos
24/12/1999 19:00	24/12/1999 20:00	7 a 10 estaciones	relleno en época de lluvia
24/12/1999 21:00	25/12/1999 10:00	7 a 10 estaciones	con datos
25/12/1999 11:00	25/12/1999 12:00	7 a 10 estaciones	relleno en época de lluvia
25/12/1999 13:00	26/12/1999 07:00	7 a 10 estaciones	con datos
26/12/1999 08:00	26/12/1999 22:00	7 a 10 estaciones	relleno en época de lluvia
26/12/1999 23:00	30/12/1999 05:00	7 a 10 estaciones	con datos
30/12/1999 06:00	30/12/1999 18:00	7 a 10 estaciones	relleno en época de lluvia
30/12/1999 19:00	31/12/1999 15:00	7 a 10 estaciones	con datos
31/12/1999 16:00	01/01/2000 21:00	7 a 10 estaciones	relleno en época de lluvia
01/01/2000 22:00	02/01/2000 06:00	7 a 10 estaciones	con datos
02/01/2000 07:00	02/01/2000 23:00	7 a 10 estaciones	relleno en época de lluvia
03/01/2000 00:00	03/01/2000 05:00	7 a 10 estaciones	con datos
03/01/2000 06:00	03/01/2000 17:00	7 a 10 estaciones	relleno en época de lluvia
03/01/2000 18:00	04/01/2000 07:00	7 a 10 estaciones	con datos
04/01/2000 08:00	04/01/2000 13:00	7 a 10 estaciones	relleno en época de lluvia
04/01/2000 14:00	05/01/2000 07:00	7 a 10 estaciones	con datos
05/01/2000 08:00	05/01/2000 10:00	7 a 10 estaciones	relleno en época de lluvia
05/01/2000 11:00	05/01/2000 18:00	7 a 10 estaciones	con datos
05/01/2000 19:00	05/01/2000 22:00	7 a 10 estaciones	relleno en época de lluvia
05/01/2000 23:00	06/01/2000 06:00	7 a 10 estaciones	con datos
06/01/2000 07:00	06/01/2000 20:00	7 a 10 estaciones	relleno en época de lluvia
06/01/2000 21:00	07/01/2000 04:00	7 a 10 estaciones	con datos
07/01/2000 05:00	07/01/2000 07:00	7 a 10 estaciones	relleno en época de lluvia
07/01/2000 08:00	07/01/2000 12:00	7 a 10 estaciones	con datos
07/01/2000 13:00	07/01/2000 20:00	7 a 10 estaciones	relleno en época de lluvia
07/01/2000 21:00	08/01/2000 14:00	7 a 10 estaciones	con datos

08/01/2000 15:00	08/01/2000 20:00	7 a 10 estaciones	relleno en época de lluvia
08/01/2000 21:00	09/01/2000 07:00	7 a 10 estaciones	con datos
09/01/2000 08:00	09/01/2000 13:00	7 a 10 estaciones	relleno en época de lluvia
09/01/2000 14:00	10/01/2000 11:00	7 a 10 estaciones	con datos
10/01/2000 12:00	10/01/2000 19:00	7 a 10 estaciones	relleno en época de lluvia
10/01/2000 20:00	12/01/2000 10:00	7 a 10 estaciones	con datos
12/01/2000 11:00	12/01/2000 12:00	7 a 10 estaciones	relleno en época de lluvia
12/01/2000 13:00	15/01/2000 10:00	7 a 10 estaciones	con datos
15/01/2000 11:00	15/01/2000 12:00	7 a 10 estaciones	relleno en época de lluvia
15/01/2000 13:00	16/01/2000 22:00	7 a 10 estaciones	con datos
16/01/2000 23:00	17/01/2000 00:00	7 a 10 estaciones	relleno en época de lluvia
17/01/2000 01:00	17/01/2000 08:00	7 a 10 estaciones	con datos
17/01/2000 09:00	17/01/2000 22:00	7 a 10 estaciones	relleno en época de lluvia
17/01/2000 23:00	18/01/2000 07:00	7 a 10 estaciones	con datos
18/01/2000 08:00	18/01/2000 17:00	7 a 10 estaciones	relleno en época de lluvia
18/01/2000 18:00	19/01/2000 08:00	7 a 10 estaciones	con datos
19/01/2000 09:00	19/01/2000 15:00	7 a 10 estaciones	relleno en época de lluvia
19/01/2000 16:00	20/01/2000 08:00	7 a 10 estaciones	con datos
20/01/2000 09:00	20/01/2000 16:00	7 a 10 estaciones	relleno en época de lluvia
20/01/2000 17:00	21/01/2000 08:00	7 a 10 estaciones	con datos
21/01/2000 09:00	21/01/2000 10:00	7 a 10 estaciones	relleno en época de lluvia
21/01/2000 11:00	22/01/2000 04:00	7 a 10 estaciones	con datos
22/01/2000 05:00	22/01/2000 21:00	7 a 10 estaciones	relleno en época de lluvia
22/01/2000 22:00	23/01/2000 03:00	7 a 10 estaciones	con datos
23/01/2000 04:00	23/01/2000 14:00	7 a 10 estaciones	relleno en época de lluvia
23/01/2000 15:00	24/01/2000 15:00	7 a 10 estaciones	con datos
24/01/2000 16:00	24/01/2000 17:00	7 a 10 estaciones	relleno en época de lluvia
24/01/2000 18:00	25/01/2000 08:00	7 a 10 estaciones	con datos
25/01/2000 09:00	25/01/2000 17:00	7 a 10 estaciones	relleno en época de lluvia
25/01/2000 18:00	26/01/2000 08:00	7 a 10 estaciones	con datos
26/01/2000 09:00	26/01/2000 23:00	7 a 10 estaciones	relleno en época de lluvia
27/01/2000 00:00	27/01/2000 08:00	7 a 10 estaciones	con datos
27/01/2000 09:00	27/01/2000 17:00	7 a 10 estaciones	relleno en época de lluvia
27/01/2000 18:00	28/01/2000 09:00	7 a 10 estaciones	con datos
28/01/2000 10:00	28/01/2000 13:00	7 a 10 estaciones	relleno en época de lluvia
28/01/2000 14:00	29/01/2000 08:00	7 a 10 estaciones	con datos
29/01/2000 09:00	29/01/2000 11:00	7 a 10 estaciones	relleno en época de lluvia
29/01/2000 12:00	30/01/2000 07:00	7 a 10 estaciones	con datos
30/01/2000 08:00	30/01/2000 13:00	7 a 10 estaciones	relleno en época de lluvia
30/01/2000 14:00	01/02/2000 09:00	7 a 10 estaciones	con datos
01/02/2000 10:00	01/02/2000 12:00	7 a 10 estaciones	relleno en época de lluvia
01/02/2000 13:00	03/02/2000 09:00	7 a 10 estaciones	con datos
03/02/2000 10:00	03/02/2000 15:00	7 a 10 estaciones	relleno en época de lluvia
03/02/2000 16:00	04/02/2000 09:00	7 a 10 estaciones	con datos
04/02/2000 10:00	04/02/2000 13:00	7 a 10 estaciones	relleno en época de lluvia
04/02/2000 14:00	07/02/2000 09:00	7 a 10 estaciones	con datos
07/02/2000 10:00	07/02/2000 14:00	7 a 10 estaciones	relleno en época de lluvia
07/02/2000 15:00	08/02/2000 11:00	7 a 10 estaciones	con datos
08/02/2000 12:00	08/02/2000 18:00	7 a 10 estaciones	relleno en época de lluvia
08/02/2000 19:00	09/02/2000 14:00	7 a 10 estaciones	con datos
09/02/2000 15:00	09/02/2000 16:00	7 a 10 estaciones	relleno en época de lluvia
09/02/2000 17:00	10/02/2000 10:00	7 a 10 estaciones	con datos
10/02/2000 11:00	10/02/2000 17:00	7 a 10 estaciones	relleno en época de lluvia
10/02/2000 18:00	12/02/2000 21:00	7 a 10 estaciones	con datos
12/02/2000 22:00	12/02/2000 23:00	7 a 10 estaciones	relleno en época de lluvia
13/02/2000 00:00	13/02/2000 03:00	7 a 10 estaciones	con datos
13/02/2000 04:00	13/02/2000 22:00	7 a 10 estaciones	relleno en época de lluvia
13/02/2000 23:00	14/02/2000 02:00	7 a 10 estaciones	con datos
14/02/2000 03:00	14/02/2000 04:00	7 a 10 estaciones	relleno en época de lluvia
14/02/2000 05:00	14/02/2000 11:00	7 a 10 estaciones	con datos
14/02/2000 12:00	15/02/2000 19:00	7 a 10 estaciones	relleno en época de lluvia
15/02/2000 20:00	16/02/2000 07:00	7 a 10 estaciones	con datos
16/02/2000 08:00	16/02/2000 13:00	7 a 10 estaciones	relleno en época de lluvia
16/02/2000 14:00	17/02/2000 08:00	7 a 10 estaciones	con datos
17/02/2000 09:00	17/02/2000 10:00	7 a 10 estaciones	relleno en época de lluvia
17/02/2000 11:00	19/02/2000 16:00	7 a 10 estaciones	con datos
19/02/2000 17:00	20/02/2000 11:00	7 a 10 estaciones	relleno en época de lluvia
20/02/2000 12:00	27/03/2000 18:00	7 a 10 estaciones	con datos
27/03/2000 19:00	31/03/2000 23:00	7 a 10 estaciones	relleno en época de lluvia
01/04/2000 00:00	06/07/2000 17:00	7 a 10 estaciones	relleno
06/07/2000 18:00	06/07/2000 22:00	4 a 6 estaciones	relleno

06/07/2000 23:00	31/10/2000 23:00	7 a 10 estaciones	relleno
01/11/2000 00:00	31/03/2001 23:00	7 a 10 estaciones	relleno en época de lluvia
01/04/2001 00:00	31/10/2001 23:00	7 a 10 estaciones	relleno
01/11/2001 00:00	03/01/2002 16:00	7 a 10 estaciones	relleno en época de lluvia
03/01/2002 17:00	05/01/2002 18:00	4 a 6 estaciones	relleno en época de lluvia
05/01/2002 19:00	12/01/2002 20:00	7 a 10 estaciones	relleno en época de lluvia
12/01/2002 21:00	18/01/2002 21:00	4 a 6 estaciones	relleno en época de lluvia
18/01/2002 22:00	08/02/2002 13:00	7 a 10 estaciones	relleno en época de lluvia
08/02/2002 14:00	15/03/2002 09:00	7 a 10 estaciones	con datos
15/03/2002 10:00	15/03/2002 11:00	7 a 10 estaciones	relleno en época de lluvia
15/03/2002 12:00	18/03/2002 08:00	7 a 10 estaciones	con datos
18/03/2002 09:00	18/03/2002 10:00	7 a 10 estaciones	relleno en época de lluvia
18/03/2002 11:00	29/03/2002 04:00	7 a 10 estaciones	con datos
29/03/2002 05:00	29/03/2002 06:00	7 a 10 estaciones	relleno en época de lluvia
29/03/2002 07:00	09/04/2002 14:00	7 a 10 estaciones	con datos
09/04/2002 15:00	09/04/2002 16:00	7 a 10 estaciones	relleno
09/04/2002 17:00	10/04/2002 11:00	7 a 10 estaciones	con datos
10/04/2002 12:00	10/04/2002 16:00	7 a 10 estaciones	relleno
10/04/2002 17:00	17/04/2002 13:00	7 a 10 estaciones	con datos
17/04/2002 14:00	17/04/2002 16:00	7 a 10 estaciones	relleno
17/04/2002 17:00	22/04/2002 08:00	7 a 10 estaciones	con datos
22/04/2002 09:00	22/04/2002 14:00	7 a 10 estaciones	relleno
22/04/2002 15:00	27/04/2002 20:00	7 a 10 estaciones	con datos
27/04/2002 21:00	27/04/2002 22:00	7 a 10 estaciones	relleno
27/04/2002 23:00	22/05/2002 05:00	7 a 10 estaciones	con datos
22/05/2002 06:00	22/05/2002 23:00	7 a 10 estaciones	relleno
23/05/2002 00:00	30/06/2002 23:00	7 a 10 estaciones	con datos
01/07/2002 00:00	10/07/2002 08:00	4 a 6 estaciones	con datos
10/07/2002 09:00	10/07/2002 10:00	4 a 6 estaciones	relleno
10/07/2002 11:00	10/07/2002 13:00	4 a 6 estaciones	con datos
10/07/2002 14:00	10/07/2002 15:00	4 a 6 estaciones	relleno
10/07/2002 16:00	11/07/2002 10:00	4 a 6 estaciones	con datos
11/07/2002 11:00	11/07/2002 12:00	4 a 6 estaciones	relleno
11/07/2002 13:00	01/08/2002 10:00	4 a 6 estaciones	con datos
01/08/2002 11:00	03/09/2002 14:00	7 a 10 estaciones	con datos
03/09/2002 15:00	03/09/2002 17:00	7 a 10 estaciones	relleno
03/09/2002 18:00	13/10/2002 22:00	7 a 10 estaciones	con datos
13/10/2002 23:00	14/10/2002 00:00	7 a 10 estaciones	relleno
14/10/2002 01:00	24/11/2002 11:00	7 a 10 estaciones	con datos
24/11/2002 12:00	24/11/2002 16:00	7 a 10 estaciones	relleno en época de lluvia
24/11/2002 17:00	02/12/2002 09:00	7 a 10 estaciones	con datos
02/12/2002 10:00	02/12/2002 15:00	7 a 10 estaciones	relleno en época de lluvia
02/12/2002 16:00	03/12/2002 08:00	7 a 10 estaciones	con datos
03/12/2002 09:00	03/12/2002 15:00	7 a 10 estaciones	relleno en época de lluvia
03/12/2002 16:00	06/12/2002 12:00	7 a 10 estaciones	con datos
06/12/2002 13:00	06/12/2002 16:00	7 a 10 estaciones	relleno en época de lluvia
06/12/2002 17:00	29/12/2002 17:00	7 a 10 estaciones	con datos
29/12/2002 18:00	30/12/2002 11:00	7 a 10 estaciones	relleno en época de lluvia
30/12/2002 12:00	06/02/2003 15:00	7 a 10 estaciones	con datos
06/02/2003 16:00	06/02/2003 17:00	7 a 10 estaciones	relleno en época de lluvia
06/02/2003 18:00	20/02/2003 16:00	7 a 10 estaciones	con datos
20/02/2003 17:00	20/02/2003 20:00	7 a 10 estaciones	relleno en época de lluvia
20/02/2003 21:00	21/02/2003 07:00	7 a 10 estaciones	con datos
21/02/2003 08:00	21/02/2003 09:00	7 a 10 estaciones	relleno en época de lluvia
21/02/2003 10:00	20/06/2003 15:00	7 a 10 estaciones	con datos
20/06/2003 16:00	20/06/2003 18:00	7 a 10 estaciones	relleno
20/06/2003 19:00	05/08/2003 01:00	7 a 10 estaciones	con datos
05/08/2003 02:00	05/08/2003 07:00	7 a 10 estaciones	relleno
05/08/2003 08:00	07/08/2003 11:00	7 a 10 estaciones	con datos
07/08/2003 12:00	07/08/2003 13:00	7 a 10 estaciones	relleno
07/08/2003 14:00	19/08/2003 22:00	7 a 10 estaciones	con datos
19/08/2003 23:00	20/08/2003 04:00	7 a 10 estaciones	relleno
20/08/2003 05:00	04/09/2003 13:00	7 a 10 estaciones	con datos
04/09/2003 14:00	04/09/2003 15:00	7 a 10 estaciones	relleno
04/09/2003 16:00	06/11/2003 11:00	7 a 10 estaciones	con datos
06/11/2003 12:00	06/11/2003 17:00	7 a 10 estaciones	relleno en época de lluvia
06/11/2003 18:00	07/11/2003 06:00	7 a 10 estaciones	con datos
07/11/2003 07:00	07/11/2003 18:00	7 a 10 estaciones	relleno en época de lluvia
07/11/2003 19:00	08/11/2003 18:00	7 a 10 estaciones	con datos
08/11/2003 19:00	08/11/2003 20:00	7 a 10 estaciones	relleno en época de lluvia

08/11/2003 21:00	10/11/2003 20:00	7 a 10 estaciones	con datos
10/11/2003 21:00	11/11/2003 08:00	7 a 10 estaciones	relleno en época de lluvia
11/11/2003 09:00	12/11/2003 11:00	7 a 10 estaciones	con datos
12/11/2003 12:00	14/11/2003 01:00	7 a 10 estaciones	relleno en época de lluvia
14/11/2003 02:00	14/11/2003 05:00	7 a 10 estaciones	con datos
14/11/2003 06:00	16/11/2003 11:00	7 a 10 estaciones	relleno en época de lluvia
16/11/2003 12:00	16/11/2003 22:00	7 a 10 estaciones	con datos
16/11/2003 23:00	17/11/2003 06:00	7 a 10 estaciones	relleno en época de lluvia
17/11/2003 07:00	19/11/2003 04:00	7 a 10 estaciones	con datos
19/11/2003 05:00	19/11/2003 07:00	7 a 10 estaciones	relleno en época de lluvia
19/11/2003 08:00	26/12/2003 06:00	7 a 10 estaciones	con datos
26/12/2003 07:00	26/12/2003 14:00	7 a 10 estaciones	relleno en época de lluvia
26/12/2003 15:00	12/01/2004 10:00	7 a 10 estaciones	con datos
12/01/2004 11:00	12/01/2004 12:00	7 a 10 estaciones	relleno en época de lluvia
12/01/2004 13:00	16/01/2004 09:00	7 a 10 estaciones	con datos
16/01/2004 10:00	16/01/2004 12:00	7 a 10 estaciones	relleno en época de lluvia
16/01/2004 13:00	28/01/2004 19:00	7 a 10 estaciones	con datos
28/01/2004 20:00	29/01/2004 00:00	7 a 10 estaciones	relleno en época de lluvia
29/01/2004 01:00	09/02/2004 21:00	7 a 10 estaciones	con datos
09/02/2004 22:00	09/02/2004 23:00	7 a 10 estaciones	relleno en época de lluvia
10/02/2004 00:00	13/02/2004 09:00	7 a 10 estaciones	con datos
13/02/2004 10:00	13/02/2004 12:00	7 a 10 estaciones	relleno en época de lluvia
13/02/2004 13:00	23/02/2004 07:00	7 a 10 estaciones	con datos
23/02/2004 08:00	23/02/2004 09:00	7 a 10 estaciones	relleno en época de lluvia
23/02/2004 10:00	29/02/2004 00:00	7 a 10 estaciones	con datos
29/02/2004 01:00	29/02/2004 02:00	7 a 10 estaciones	relleno en época de lluvia
29/02/2004 03:00	11/03/2004 21:00	7 a 10 estaciones	con datos
11/03/2004 22:00	12/03/2004 02:00	7 a 10 estaciones	relleno en época de lluvia
12/03/2004 03:00	15/03/2004 18:00	7 a 10 estaciones	con datos
15/03/2004 19:00	16/03/2004 04:00	7 a 10 estaciones	relleno en época de lluvia
16/03/2004 05:00	20/04/2004 09:00	7 a 10 estaciones	con datos
20/04/2004 10:00	20/04/2004 14:00	7 a 10 estaciones	relleno
20/04/2004 15:00	21/04/2004 08:00	7 a 10 estaciones	con datos
21/04/2004 09:00	21/04/2004 10:00	7 a 10 estaciones	relleno
21/04/2004 11:00	04/06/2004 10:00	7 a 10 estaciones	con datos
04/06/2004 11:00	04/06/2004 17:00	7 a 10 estaciones	relleno
04/06/2004 18:00	02/11/2004 10:00	7 a 10 estaciones	con datos
02/11/2004 11:00	02/11/2004 14:00	7 a 10 estaciones	relleno en época de lluvia
02/11/2004 15:00	05/11/2004 07:00	7 a 10 estaciones	con datos
05/11/2004 08:00	05/11/2004 13:00	7 a 10 estaciones	relleno en época de lluvia
05/11/2004 14:00	15/12/2004 09:00	7 a 10 estaciones	con datos
15/12/2004 10:00	15/12/2004 11:00	7 a 10 estaciones	relleno en época de lluvia
15/12/2004 12:00	12/01/2005 08:00	7 a 10 estaciones	con datos
12/01/2005 09:00	12/01/2005 10:00	7 a 10 estaciones	relleno en época de lluvia
12/01/2005 11:00	11/02/2005 09:00	7 a 10 estaciones	con datos
11/02/2005 10:00	11/02/2005 11:00	7 a 10 estaciones	relleno en época de lluvia
11/02/2005 12:00	07/03/2005 12:00	7 a 10 estaciones	con datos
07/03/2005 13:00	07/03/2005 14:00	7 a 10 estaciones	relleno en época de lluvia
07/03/2005 15:00	31/08/2005 15:00	7 a 10 estaciones	con datos
31/08/2005 16:00	31/08/2005 20:00	4 a 6 estaciones	con datos
31/08/2005 21:00	31/08/2005 23:00	1 a 3 estaciones	con datos
01/09/2005 00:00	30/11/2005 23:00	Ninguna	con datos
01/12/2005 00:00	01/12/2005 03:00	1 a 3 estaciones	con datos
01/12/2005 04:00	16/12/2005 16:00	7 a 10 estaciones	con datos
16/12/2005 17:00	17/12/2005 06:00	7 a 10 estaciones	relleno en época de lluvia
17/12/2005 07:00	10/01/2006 19:00	7 a 10 estaciones	con datos
10/01/2006 20:00	12/01/2006 07:00	4 a 6 estaciones	con datos
12/01/2006 08:00	29/01/2006 01:00	7 a 10 estaciones	con datos
29/01/2006 02:00	29/01/2006 03:00	7 a 10 estaciones	relleno en época de lluvia
29/01/2006 04:00	31/01/2006 14:00	7 a 10 estaciones	con datos
31/01/2006 15:00	31/01/2006 18:00	4 a 6 estaciones	con datos
31/01/2006 19:00	31/01/2006 20:00	4 a 6 estaciones	relleno en época de lluvia
31/01/2006 21:00	31/01/2006 23:00	4 a 6 estaciones	con datos
01/02/2006 00:00	08/02/2006 00:00	7 a 10 estaciones	con datos
08/02/2006 01:00	08/02/2006 02:00	7 a 10 estaciones	relleno en época de lluvia
08/02/2006 03:00	01/03/2006 21:00	7 a 10 estaciones	con datos
01/03/2006 22:00	02/03/2006 00:00	7 a 10 estaciones	relleno en época de lluvia
02/03/2006 01:00	21/04/2006 21:00	7 a 10 estaciones	con datos
21/04/2006 22:00	22/04/2006 03:00	7 a 10 estaciones	relleno
22/04/2006 04:00	06/07/2006 07:00	7 a 10 estaciones	con datos
06/07/2006 08:00	06/07/2006 09:00	7 a 10 estaciones	relleno

06/07/2006 10:00	06/07/2006 14:00	7 a 10 estaciones	con datos
06/07/2006 15:00	06/07/2006 19:00	7 a 10 estaciones	relleno
06/07/2006 20:00	07/07/2006 03:00	7 a 10 estaciones	con datos
07/07/2006 04:00	07/07/2006 06:00	7 a 10 estaciones	relleno
07/07/2006 07:00	10/07/2006 03:00	7 a 10 estaciones	con datos
10/07/2006 04:00	10/07/2006 08:00	7 a 10 estaciones	relleno
10/07/2006 09:00	10/07/2006 16:00	7 a 10 estaciones	con datos
10/07/2006 17:00	10/07/2006 18:00	7 a 10 estaciones	relleno
10/07/2006 19:00	31/08/2006 22:00	7 a 10 estaciones	con datos
31/08/2006 23:00	06/10/2006 16:00	7 a 10 estaciones	relleno
06/10/2006 17:00	30/10/2006 07:00	7 a 10 estaciones	con datos
30/10/2006 08:00	30/10/2006 09:00	7 a 10 estaciones	relleno
30/10/2006 10:00	31/10/2006 12:00	7 a 10 estaciones	con datos
31/10/2006 13:00	31/10/2006 14:00	4 a 6 estaciones	con datos
31/10/2006 15:00	31/10/2006 21:00	1 a 3 estaciones	con datos
31/10/2006 22:00	06/11/2006 18:00	Ninguna	relleno en época de lluvia
06/11/2006 19:00	10/11/2006 05:00	Ninguna	con datos
10/11/2006 06:00	10/11/2006 08:00	Ninguna	relleno en época de lluvia
10/11/2006 09:00	11/11/2006 01:00	Ninguna	con datos
11/11/2006 02:00	11/11/2006 05:00	Ninguna	relleno en época de lluvia
11/11/2006 06:00	12/11/2006 09:00	Ninguna	con datos
12/11/2006 10:00	12/11/2006 11:00	Ninguna	relleno en época de lluvia
12/11/2006 12:00	23/11/2006 06:00	Ninguna	con datos
23/11/2006 07:00	23/11/2006 08:00	Ninguna	relleno en época de lluvia
23/11/2006 09:00	30/11/2006 23:00	Ninguna	con datos
01/12/2006 00:00	20/12/2006 02:00	1 a 3 estaciones	con datos
20/12/2006 03:00	20/12/2006 05:00	1 a 3 estaciones	relleno en época de lluvia
20/12/2006 06:00	01/01/2007 01:00	1 a 3 estaciones	con datos
01/01/2007 02:00	01/01/2007 08:00	4 a 6 estaciones	con datos
01/01/2007 09:00	07/01/2007 10:00	7 a 10 estaciones	con datos
07/01/2007 11:00	25/01/2007 05:00	7 a 10 estaciones	relleno en época de lluvia
25/01/2007 06:00	26/01/2007 05:00	7 a 10 estaciones	con datos
26/01/2007 06:00	27/01/2007 16:00	7 a 10 estaciones	relleno en época de lluvia
27/01/2007 17:00	05/02/2007 23:00	7 a 10 estaciones	con datos
06/02/2007 00:00	09/02/2007 13:00	7 a 10 estaciones	relleno en época de lluvia
09/02/2007 14:00	12/02/2007 04:00	7 a 10 estaciones	con datos
12/02/2007 05:00	15/02/2007 02:00	7 a 10 estaciones	relleno en época de lluvia
15/02/2007 03:00	18/02/2007 08:00	7 a 10 estaciones	con datos
18/02/2007 09:00	28/02/2007 14:00	7 a 10 estaciones	relleno en época de lluvia
28/02/2007 15:00	01/03/2007 14:00	7 a 10 estaciones	con datos
01/03/2007 15:00	04/03/2007 12:00	7 a 10 estaciones	relleno en época de lluvia
04/03/2007 13:00	05/03/2007 16:00	7 a 10 estaciones	con datos
05/03/2007 17:00	07/03/2007 16:00	7 a 10 estaciones	relleno en época de lluvia
07/03/2007 17:00	09/03/2007 00:00	7 a 10 estaciones	con datos
09/03/2007 01:00	09/03/2007 20:00	7 a 10 estaciones	relleno en época de lluvia
09/03/2007 21:00	10/03/2007 18:00	7 a 10 estaciones	con datos
10/03/2007 19:00	12/03/2007 10:00	7 a 10 estaciones	relleno en época de lluvia
12/03/2007 11:00	12/03/2007 15:00	7 a 10 estaciones	con datos
12/03/2007 16:00	14/03/2007 11:00	7 a 10 estaciones	relleno en época de lluvia
14/03/2007 12:00	15/03/2007 19:00	7 a 10 estaciones	con datos
15/03/2007 20:00	24/03/2007 02:00	7 a 10 estaciones	relleno en época de lluvia
24/03/2007 03:00	24/03/2007 15:00	7 a 10 estaciones	con datos
24/03/2007 16:00	25/03/2007 00:00	7 a 10 estaciones	relleno en época de lluvia
25/03/2007 01:00	26/03/2007 17:00	7 a 10 estaciones	con datos
26/03/2007 18:00	27/03/2007 05:00	7 a 10 estaciones	relleno en época de lluvia
27/03/2007 06:00	13/04/2007 22:00	7 a 10 estaciones	con datos
13/04/2007 23:00	14/04/2007 10:00	7 a 10 estaciones	relleno
14/04/2007 11:00	14/04/2007 15:00	7 a 10 estaciones	con datos
14/04/2007 16:00	17/04/2007 10:00	7 a 10 estaciones	relleno
17/04/2007 11:00	17/04/2007 14:00	7 a 10 estaciones	con datos
17/04/2007 15:00	19/04/2007 09:00	7 a 10 estaciones	relleno
19/04/2007 10:00	19/04/2007 15:00	7 a 10 estaciones	con datos
19/04/2007 16:00	22/04/2007 12:00	7 a 10 estaciones	relleno
22/04/2007 13:00	22/04/2007 17:00	7 a 10 estaciones	con datos
22/04/2007 18:00	27/04/2007 13:00	7 a 10 estaciones	relleno
27/04/2007 14:00	27/04/2007 18:00	7 a 10 estaciones	con datos
27/04/2007 19:00	28/04/2007 11:00	7 a 10 estaciones	relleno
28/04/2007 12:00	28/04/2007 17:00	7 a 10 estaciones	con datos
28/04/2007 18:00	29/04/2007 11:00	7 a 10 estaciones	relleno
29/04/2007 12:00	29/04/2007 17:00	7 a 10 estaciones	con datos

29/04/2007 18:00	30/04/2007 10:00	7 a 10 estaciones	relleno
30/04/2007 11:00	30/04/2007 16:00	7 a 10 estaciones	con datos
30/04/2007 17:00	01/05/2007 10:00	7 a 10 estaciones	relleno
01/05/2007 11:00	01/05/2007 20:00	7 a 10 estaciones	con datos
01/05/2007 21:00	02/05/2007 07:00	7 a 10 estaciones	relleno
02/05/2007 08:00	02/05/2007 18:00	7 a 10 estaciones	con datos
02/05/2007 19:00	02/05/2007 20:00	7 a 10 estaciones	relleno
02/05/2007 21:00	03/05/2007 16:00	7 a 10 estaciones	con datos
03/05/2007 17:00	04/05/2007 01:00	7 a 10 estaciones	relleno
04/05/2007 02:00	04/05/2007 15:00	7 a 10 estaciones	con datos
04/05/2007 16:00	05/05/2007 10:00	7 a 10 estaciones	relleno
05/05/2007 11:00	05/05/2007 17:00	7 a 10 estaciones	con datos
05/05/2007 18:00	06/05/2007 13:00	7 a 10 estaciones	relleno
06/05/2007 14:00	07/05/2007 09:00	7 a 10 estaciones	con datos
07/05/2007 10:00	12/05/2007 13:00	7 a 10 estaciones	relleno
12/05/2007 14:00	12/05/2007 18:00	7 a 10 estaciones	con datos
12/05/2007 19:00	13/05/2007 12:00	7 a 10 estaciones	relleno
13/05/2007 13:00	13/05/2007 17:00	7 a 10 estaciones	con datos
13/05/2007 18:00	14/05/2007 12:00	7 a 10 estaciones	relleno
14/05/2007 13:00	15/05/2007 01:00	7 a 10 estaciones	con datos
15/05/2007 02:00	15/05/2007 13:00	7 a 10 estaciones	relleno
15/05/2007 14:00	15/05/2007 18:00	7 a 10 estaciones	con datos
15/05/2007 19:00	18/05/2007 12:00	7 a 10 estaciones	relleno
18/05/2007 13:00	18/05/2007 18:00	7 a 10 estaciones	con datos
18/05/2007 19:00	20/05/2007 12:00	7 a 10 estaciones	relleno
20/05/2007 13:00	20/05/2007 17:00	7 a 10 estaciones	con datos
20/05/2007 18:00	21/09/2007 18:00	7 a 10 estaciones	relleno
21/09/2007 19:00	22/09/2007 18:00	7 a 10 estaciones	con datos
22/09/2007 19:00	16/10/2007 05:00	7 a 10 estaciones	relleno
16/10/2007 06:00	17/10/2007 03:00	7 a 10 estaciones	con datos
17/10/2007 04:00	31/10/2007 23:00	7 a 10 estaciones	relleno
01/11/2007 00:00	05/11/2007 10:00	7 a 10 estaciones	relleno en época de lluvia
05/11/2007 11:00	05/11/2007 22:00	7 a 10 estaciones	con datos
05/11/2007 23:00	06/11/2007 09:00	7 a 10 estaciones	relleno en época de lluvia
06/11/2007 10:00	06/11/2007 20:00	7 a 10 estaciones	con datos
06/11/2007 21:00	07/11/2007 08:00	7 a 10 estaciones	relleno en época de lluvia
07/11/2007 09:00	08/11/2007 03:00	7 a 10 estaciones	con datos
08/11/2007 04:00	08/11/2007 10:00	7 a 10 estaciones	relleno en época de lluvia
08/11/2007 11:00	08/11/2007 23:00	7 a 10 estaciones	con datos
09/11/2007 00:00	09/11/2007 20:00	7 a 10 estaciones	relleno en época de lluvia
09/11/2007 21:00	14/11/2007 00:00	7 a 10 estaciones	con datos
14/11/2007 01:00	14/11/2007 12:00	7 a 10 estaciones	relleno en época de lluvia
14/11/2007 13:00	14/11/2007 19:00	7 a 10 estaciones	con datos
14/11/2007 20:00	16/11/2007 12:00	7 a 10 estaciones	relleno en época de lluvia
16/11/2007 13:00	16/11/2007 22:00	7 a 10 estaciones	con datos
16/11/2007 23:00	17/11/2007 09:00	7 a 10 estaciones	relleno en época de lluvia
17/11/2007 10:00	18/11/2007 00:00	7 a 10 estaciones	con datos
18/11/2007 01:00	18/11/2007 11:00	7 a 10 estaciones	relleno en época de lluvia
18/11/2007 12:00	18/11/2007 22:00	7 a 10 estaciones	con datos
18/11/2007 23:00	19/11/2007 09:00	7 a 10 estaciones	relleno en época de lluvia
19/11/2007 10:00	23/11/2007 17:00	7 a 10 estaciones	con datos
23/11/2007 18:00	24/11/2007 12:00	7 a 10 estaciones	relleno en época de lluvia
24/11/2007 13:00	24/11/2007 22:00	7 a 10 estaciones	con datos
24/11/2007 23:00	25/11/2007 11:00	7 a 10 estaciones	relleno en época de lluvia
25/11/2007 12:00	26/11/2007 00:00	7 a 10 estaciones	con datos
26/11/2007 01:00	26/11/2007 07:00	7 a 10 estaciones	relleno en época de lluvia
26/11/2007 08:00	27/11/2007 00:00	7 a 10 estaciones	con datos
27/11/2007 01:00	27/11/2007 09:00	7 a 10 estaciones	relleno en época de lluvia
27/11/2007 10:00	27/11/2007 22:00	7 a 10 estaciones	con datos
27/11/2007 23:00	28/11/2007 09:00	7 a 10 estaciones	relleno en época de lluvia
28/11/2007 10:00	28/11/2007 22:00	7 a 10 estaciones	con datos
28/11/2007 23:00	29/11/2007 11:00	7 a 10 estaciones	relleno en época de lluvia
29/11/2007 12:00	30/11/2007 01:00	7 a 10 estaciones	con datos
30/11/2007 02:00	30/11/2007 08:00	7 a 10 estaciones	relleno en época de lluvia
30/11/2007 09:00	01/12/2007 02:00	7 a 10 estaciones	con datos
01/12/2007 03:00	01/12/2007 09:00	7 a 10 estaciones	relleno en época de lluvia
01/12/2007 10:00	01/12/2007 19:00	7 a 10 estaciones	con datos
01/12/2007 20:00	02/12/2007 09:00	7 a 10 estaciones	relleno en época de lluvia
02/12/2007 10:00	04/12/2007 15:00	7 a 10 estaciones	con datos
04/12/2007 16:00	05/12/2007 10:00	7 a 10 estaciones	relleno en época de lluvia
05/12/2007 11:00	06/12/2007 02:00	7 a 10 estaciones	con datos

06/12/2007 03:00	06/12/2007 09:00	7 a 10 estaciones	relleno en época de lluvia
06/12/2007 10:00	06/12/2007 22:00	7 a 10 estaciones	con datos
06/12/2007 23:00	07/12/2007 10:00	7 a 10 estaciones	relleno en época de lluvia
07/12/2007 11:00	11/12/2007 23:00	7 a 10 estaciones	con datos
12/12/2007 00:00	12/12/2007 10:00	7 a 10 estaciones	relleno en época de lluvia
12/12/2007 11:00	13/12/2007 03:00	7 a 10 estaciones	con datos
13/12/2007 04:00	13/12/2007 07:00	7 a 10 estaciones	relleno en época de lluvia
13/12/2007 08:00	14/12/2007 04:00	7 a 10 estaciones	con datos
14/12/2007 05:00	14/12/2007 19:00	7 a 10 estaciones	relleno en época de lluvia
14/12/2007 20:00	17/12/2007 03:00	7 a 10 estaciones	con datos
17/12/2007 04:00	17/12/2007 11:00	7 a 10 estaciones	relleno en época de lluvia
17/12/2007 12:00	17/12/2007 22:00	7 a 10 estaciones	con datos
17/12/2007 23:00	18/12/2007 08:00	7 a 10 estaciones	relleno en época de lluvia
18/12/2007 09:00	19/12/2007 03:00	7 a 10 estaciones	con datos
19/12/2007 04:00	19/12/2007 08:00	7 a 10 estaciones	relleno en época de lluvia
19/12/2007 09:00	20/12/2007 03:00	7 a 10 estaciones	con datos
20/12/2007 04:00	20/12/2007 08:00	7 a 10 estaciones	relleno en época de lluvia
20/12/2007 09:00	20/12/2007 19:00	7 a 10 estaciones	con datos
20/12/2007 20:00	21/12/2007 08:00	7 a 10 estaciones	relleno en época de lluvia
21/12/2007 09:00	21/12/2007 18:00	7 a 10 estaciones	con datos
21/12/2007 19:00	21/12/2007 22:00	7 a 10 estaciones	relleno en época de lluvia
21/12/2007 23:00	22/12/2007 05:00	7 a 10 estaciones	con datos
22/12/2007 06:00	22/12/2007 10:00	7 a 10 estaciones	relleno en época de lluvia
22/12/2007 11:00	23/12/2007 00:00	7 a 10 estaciones	con datos
23/12/2007 01:00	24/12/2007 09:00	7 a 10 estaciones	relleno en época de lluvia
24/12/2007 10:00	24/12/2007 23:00	7 a 10 estaciones	con datos
25/12/2007 00:00	25/12/2007 08:00	7 a 10 estaciones	relleno en época de lluvia
25/12/2007 09:00	26/12/2007 06:00	7 a 10 estaciones	con datos
26/12/2007 07:00	26/12/2007 10:00	7 a 10 estaciones	relleno en época de lluvia
26/12/2007 11:00	26/12/2007 20:00	7 a 10 estaciones	con datos
26/12/2007 21:00	27/12/2007 05:00	7 a 10 estaciones	relleno en época de lluvia
27/12/2007 06:00	31/12/2007 07:00	7 a 10 estaciones	con datos
31/12/2007 08:00	31/12/2007 11:00	4 a 6 estaciones	con datos
31/12/2007 12:00	31/12/2007 14:00	1 a 3 estaciones	con datos
31/12/2007 15:00	04/01/2008 13:00	Ninguna	relleno en época de lluvia
04/01/2008 14:00	04/01/2008 16:00	1 a 3 estaciones	con datos
04/01/2008 17:00	04/01/2008 21:00	4 a 6 estaciones	con datos
04/01/2008 22:00	02/02/2008 12:00	7 a 10 estaciones	con datos
02/02/2008 13:00	02/02/2008 14:00	7 a 10 estaciones	relleno en época de lluvia
02/02/2008 15:00	02/02/2008 18:00	7 a 10 estaciones	con datos
02/02/2008 19:00	02/02/2008 21:00	7 a 10 estaciones	relleno en época de lluvia
02/02/2008 22:00	03/02/2008 10:00	7 a 10 estaciones	con datos
03/02/2008 11:00	03/02/2008 16:00	7 a 10 estaciones	relleno en época de lluvia
03/02/2008 17:00	04/02/2008 06:00	7 a 10 estaciones	con datos
04/02/2008 07:00	04/02/2008 08:00	7 a 10 estaciones	relleno en época de lluvia
04/02/2008 09:00	04/02/2008 16:00	7 a 10 estaciones	con datos
04/02/2008 17:00	04/02/2008 18:00	7 a 10 estaciones	relleno en época de lluvia
04/02/2008 19:00	05/02/2008 08:00	7 a 10 estaciones	con datos
05/02/2008 09:00	05/02/2008 10:00	7 a 10 estaciones	relleno en época de lluvia
05/02/2008 11:00	05/02/2008 15:00	7 a 10 estaciones	con datos
05/02/2008 16:00	05/02/2008 17:00	7 a 10 estaciones	relleno en época de lluvia
05/02/2008 18:00	06/02/2008 06:00	7 a 10 estaciones	con datos
06/02/2008 07:00	06/02/2008 09:00	7 a 10 estaciones	relleno en época de lluvia
06/02/2008 10:00	06/02/2008 13:00	7 a 10 estaciones	con datos
06/02/2008 14:00	06/02/2008 15:00	7 a 10 estaciones	relleno en época de lluvia
06/02/2008 16:00	08/02/2008 07:00	7 a 10 estaciones	con datos
08/02/2008 08:00	08/02/2008 09:00	7 a 10 estaciones	relleno en época de lluvia
08/02/2008 10:00	09/02/2008 10:00	7 a 10 estaciones	con datos
09/02/2008 11:00	09/02/2008 12:00	7 a 10 estaciones	relleno en época de lluvia
09/02/2008 13:00	12/02/2008 06:00	7 a 10 estaciones	con datos
12/02/2008 07:00	13/02/2008 09:00	7 a 10 estaciones	relleno en época de lluvia
13/02/2008 10:00	12/03/2008 03:00	7 a 10 estaciones	con datos
12/03/2008 04:00	13/03/2008 10:00	7 a 10 estaciones	relleno en época de lluvia
13/03/2008 11:00	14/03/2008 01:00	7 a 10 estaciones	con datos
14/03/2008 02:00	14/03/2008 10:00	7 a 10 estaciones	relleno en época de lluvia
14/03/2008 11:00	14/03/2008 18:00	7 a 10 estaciones	con datos
14/03/2008 19:00	15/03/2008 09:00	7 a 10 estaciones	relleno en época de lluvia
15/03/2008 10:00	15/03/2008 18:00	7 a 10 estaciones	con datos
15/03/2008 19:00	16/03/2008 10:00	7 a 10 estaciones	relleno en época de lluvia
16/03/2008 11:00	16/03/2008 18:00	7 a 10 estaciones	con datos

16/03/2008 19:00	18/03/2008 09:00	7 a 10 estaciones	relleno en época de lluvia
18/03/2008 10:00	18/03/2008 16:00	7 a 10 estaciones	con datos
18/03/2008 17:00	20/03/2008 09:00	7 a 10 estaciones	relleno en época de lluvia
20/03/2008 10:00	20/03/2008 14:00	7 a 10 estaciones	con datos
20/03/2008 15:00	21/03/2008 09:00	7 a 10 estaciones	relleno en época de lluvia
21/03/2008 10:00	21/03/2008 16:00	7 a 10 estaciones	con datos
21/03/2008 17:00	23/03/2008 09:00	7 a 10 estaciones	relleno en época de lluvia
23/03/2008 10:00	23/03/2008 16:00	7 a 10 estaciones	con datos
23/03/2008 17:00	24/03/2008 08:00	7 a 10 estaciones	relleno en época de lluvia
24/03/2008 09:00	24/03/2008 17:00	7 a 10 estaciones	con datos
24/03/2008 18:00	25/03/2008 10:00	7 a 10 estaciones	relleno en época de lluvia
25/03/2008 11:00	16/04/2008 12:00	7 a 10 estaciones	con datos
16/04/2008 13:00	16/04/2008 16:00	7 a 10 estaciones	relleno
16/04/2008 17:00	16/04/2008 19:00	7 a 10 estaciones	con datos
16/04/2008 20:00	17/04/2008 11:00	7 a 10 estaciones	relleno
17/04/2008 12:00	01/05/2008 02:00	7 a 10 estaciones	con datos
01/05/2008 03:00	01/05/2008 12:00	7 a 10 estaciones	relleno
01/05/2008 13:00	28/05/2008 19:00	7 a 10 estaciones	con datos
28/05/2008 20:00	29/05/2008 09:00	7 a 10 estaciones	relleno
29/05/2008 10:00	31/05/2008 02:00	7 a 10 estaciones	con datos
31/05/2008 03:00	31/05/2008 05:00	7 a 10 estaciones	relleno
31/05/2008 06:00	31/05/2008 20:00	7 a 10 estaciones	con datos
31/05/2008 21:00	01/06/2008 11:00	7 a 10 estaciones	relleno
01/06/2008 12:00	02/06/2008 01:00	7 a 10 estaciones	con datos
02/06/2008 02:00	02/06/2008 04:00	7 a 10 estaciones	relleno
02/06/2008 05:00	03/06/2008 00:00	7 a 10 estaciones	con datos
03/06/2008 01:00	03/06/2008 09:00	7 a 10 estaciones	relleno
03/06/2008 10:00	04/06/2008 03:00	7 a 10 estaciones	con datos
04/06/2008 04:00	04/06/2008 09:00	7 a 10 estaciones	relleno
04/06/2008 10:00	07/06/2008 00:00	7 a 10 estaciones	con datos
07/06/2008 01:00	07/06/2008 04:00	7 a 10 estaciones	relleno
07/06/2008 05:00	10/06/2008 00:00	7 a 10 estaciones	con datos
10/06/2008 01:00	10/06/2008 10:00	7 a 10 estaciones	relleno
10/06/2008 11:00	11/06/2008 04:00	7 a 10 estaciones	con datos
11/06/2008 05:00	11/06/2008 09:00	7 a 10 estaciones	relleno
11/06/2008 10:00	11/06/2008 23:00	7 a 10 estaciones	con datos
12/06/2008 00:00	12/06/2008 11:00	7 a 10 estaciones	relleno
12/06/2008 12:00	12/06/2008 22:00	7 a 10 estaciones	con datos
12/06/2008 23:00	13/06/2008 11:00	7 a 10 estaciones	relleno
13/06/2008 12:00	13/06/2008 23:00	7 a 10 estaciones	con datos
14/06/2008 00:00	14/06/2008 11:00	7 a 10 estaciones	relleno
14/06/2008 12:00	14/06/2008 22:00	7 a 10 estaciones	con datos
14/06/2008 23:00	15/06/2008 11:00	7 a 10 estaciones	relleno
15/06/2008 12:00	15/06/2008 21:00	7 a 10 estaciones	con datos
15/06/2008 22:00	16/06/2008 11:00	7 a 10 estaciones	relleno
16/06/2008 12:00	16/06/2008 23:00	7 a 10 estaciones	con datos
17/06/2008 00:00	17/06/2008 11:00	7 a 10 estaciones	relleno
17/06/2008 12:00	17/06/2008 23:00	7 a 10 estaciones	con datos
18/06/2008 00:00	18/06/2008 12:00	7 a 10 estaciones	relleno
18/06/2008 13:00	18/06/2008 22:00	7 a 10 estaciones	con datos
18/06/2008 23:00	19/06/2008 10:00	7 a 10 estaciones	relleno
19/06/2008 11:00	20/06/2008 13:00	7 a 10 estaciones	con datos
20/06/2008 14:00	21/06/2008 14:00	7 a 10 estaciones	relleno
21/06/2008 15:00	21/06/2008 20:00	7 a 10 estaciones	con datos
21/06/2008 21:00	22/06/2008 11:00	7 a 10 estaciones	relleno
22/06/2008 12:00	22/06/2008 19:00	7 a 10 estaciones	con datos
22/06/2008 20:00	23/06/2008 09:00	7 a 10 estaciones	relleno
23/06/2008 10:00	23/06/2008 20:00	7 a 10 estaciones	con datos
23/06/2008 21:00	24/06/2008 11:00	7 a 10 estaciones	relleno
24/06/2008 12:00	25/06/2008 00:00	7 a 10 estaciones	con datos
25/06/2008 01:00	25/06/2008 09:00	7 a 10 estaciones	relleno
25/06/2008 10:00	25/06/2008 22:00	7 a 10 estaciones	con datos
25/06/2008 23:00	26/06/2008 11:00	7 a 10 estaciones	relleno
26/06/2008 12:00	26/06/2008 23:00	7 a 10 estaciones	con datos
27/06/2008 00:00	27/06/2008 10:00	7 a 10 estaciones	relleno
27/06/2008 11:00	28/06/2008 01:00	7 a 10 estaciones	con datos
28/06/2008 02:00	28/06/2008 09:00	7 a 10 estaciones	relleno
28/06/2008 10:00	29/06/2008 02:00	7 a 10 estaciones	con datos
29/06/2008 03:00	29/06/2008 11:00	7 a 10 estaciones	relleno
29/06/2008 12:00	30/06/2008 04:00	7 a 10 estaciones	con datos
30/06/2008 05:00	30/06/2008 10:00	7 a 10 estaciones	relleno

30/06/2008 11:00	01/07/2008 02:00	7 a 10 estaciones	con datos
01/07/2008 03:00	01/07/2008 11:00	7 a 10 estaciones	relleno
01/07/2008 12:00	03/07/2008 18:00	7 a 10 estaciones	con datos
03/07/2008 19:00	03/07/2008 23:00	7 a 10 estaciones	relleno
04/07/2008 00:00	08/07/2008 04:00	7 a 10 estaciones	con datos
08/07/2008 05:00	08/07/2008 09:00	7 a 10 estaciones	relleno
08/07/2008 10:00	09/07/2008 04:00	7 a 10 estaciones	con datos
09/07/2008 05:00	09/07/2008 08:00	7 a 10 estaciones	relleno
09/07/2008 09:00	14/07/2008 04:00	7 a 10 estaciones	con datos
14/07/2008 05:00	14/07/2008 11:00	7 a 10 estaciones	relleno
14/07/2008 12:00	19/07/2008 01:00	7 a 10 estaciones	con datos
19/07/2008 02:00	19/07/2008 08:00	7 a 10 estaciones	relleno
19/07/2008 09:00	22/07/2008 02:00	7 a 10 estaciones	con datos
22/07/2008 03:00	22/07/2008 10:00	7 a 10 estaciones	relleno
22/07/2008 11:00	22/07/2008 21:00	7 a 10 estaciones	con datos
22/07/2008 22:00	23/07/2008 13:00	7 a 10 estaciones	relleno
23/07/2008 14:00	23/07/2008 23:00	7 a 10 estaciones	con datos
24/07/2008 00:00	24/07/2008 12:00	7 a 10 estaciones	relleno
24/07/2008 13:00	26/07/2008 05:00	7 a 10 estaciones	con datos
26/07/2008 06:00	26/07/2008 11:00	7 a 10 estaciones	relleno
26/07/2008 12:00	28/07/2008 00:00	7 a 10 estaciones	con datos
28/07/2008 01:00	28/07/2008 11:00	7 a 10 estaciones	relleno
28/07/2008 12:00	30/07/2008 01:00	7 a 10 estaciones	con datos
30/07/2008 02:00	30/07/2008 11:00	7 a 10 estaciones	relleno
30/07/2008 12:00	31/07/2008 01:00	7 a 10 estaciones	con datos
31/07/2008 02:00	31/07/2008 11:00	7 a 10 estaciones	relleno
31/07/2008 12:00	02/08/2008 02:00	7 a 10 estaciones	con datos
02/08/2008 03:00	03/08/2008 10:00	7 a 10 estaciones	relleno
03/08/2008 11:00	04/08/2008 00:00	7 a 10 estaciones	con datos
04/08/2008 01:00	04/08/2008 10:00	7 a 10 estaciones	relleno
04/08/2008 11:00	05/08/2008 01:00	7 a 10 estaciones	con datos
05/08/2008 02:00	05/08/2008 13:00	7 a 10 estaciones	relleno
05/08/2008 14:00	05/08/2008 23:00	7 a 10 estaciones	con datos
06/08/2008 00:00	06/08/2008 10:00	7 a 10 estaciones	relleno
06/08/2008 11:00	07/08/2008 02:00	7 a 10 estaciones	con datos
07/08/2008 03:00	07/08/2008 12:00	7 a 10 estaciones	relleno
07/08/2008 13:00	07/08/2008 21:00	7 a 10 estaciones	con datos
07/08/2008 22:00	08/08/2008 11:00	7 a 10 estaciones	relleno
08/08/2008 12:00	08/08/2008 22:00	7 a 10 estaciones	con datos
08/08/2008 23:00	09/08/2008 11:00	7 a 10 estaciones	relleno
09/08/2008 12:00	11/08/2008 05:00	7 a 10 estaciones	con datos
11/08/2008 06:00	11/08/2008 11:00	7 a 10 estaciones	relleno
11/08/2008 12:00	12/08/2008 00:00	7 a 10 estaciones	con datos
12/08/2008 01:00	12/08/2008 13:00	7 a 10 estaciones	relleno
12/08/2008 14:00	12/08/2008 22:00	7 a 10 estaciones	con datos
12/08/2008 23:00	13/08/2008 12:00	7 a 10 estaciones	relleno
13/08/2008 13:00	13/08/2008 23:00	7 a 10 estaciones	con datos
14/08/2008 00:00	14/08/2008 12:00	7 a 10 estaciones	relleno
14/08/2008 13:00	15/08/2008 00:00	7 a 10 estaciones	con datos
15/08/2008 01:00	15/08/2008 11:00	7 a 10 estaciones	relleno
15/08/2008 12:00	16/08/2008 22:00	7 a 10 estaciones	con datos
16/08/2008 23:00	17/08/2008 12:00	7 a 10 estaciones	relleno
17/08/2008 13:00	17/08/2008 23:00	7 a 10 estaciones	con datos
18/08/2008 00:00	18/08/2008 12:00	7 a 10 estaciones	relleno
18/08/2008 13:00	18/08/2008 21:00	7 a 10 estaciones	con datos
18/08/2008 22:00	19/08/2008 13:00	7 a 10 estaciones	relleno
19/08/2008 14:00	19/08/2008 22:00	7 a 10 estaciones	con datos
19/08/2008 23:00	20/08/2008 13:00	7 a 10 estaciones	relleno
20/08/2008 14:00	21/08/2008 04:00	7 a 10 estaciones	con datos
21/08/2008 05:00	21/08/2008 10:00	7 a 10 estaciones	relleno
21/08/2008 11:00	22/08/2008 03:00	7 a 10 estaciones	con datos
22/08/2008 04:00	22/08/2008 08:00	7 a 10 estaciones	relleno
22/08/2008 09:00	23/08/2008 00:00	7 a 10 estaciones	con datos
23/08/2008 01:00	23/08/2008 09:00	7 a 10 estaciones	relleno
23/08/2008 10:00	23/08/2008 21:00	7 a 10 estaciones	con datos
23/08/2008 22:00	24/08/2008 11:00	7 a 10 estaciones	relleno
24/08/2008 12:00	24/08/2008 22:00	7 a 10 estaciones	con datos
24/08/2008 23:00	25/08/2008 09:00	7 a 10 estaciones	relleno
25/08/2008 10:00	27/08/2008 20:00	7 a 10 estaciones	con datos
27/08/2008 21:00	28/08/2008 11:00	7 a 10 estaciones	relleno

BASES PARA MEJORAR LA PERFORMANCE DE UN MODELO HIDROLÓGICO CONCENTRADO FRENTE A DISTINTOS PATRONES DE DISTRIBUCIÓN AREAL DE PRECIPITACIONES

28/08/2008 12:00	28/08/2008 22:00	7 a 10 estaciones	con datos
28/08/2008 23:00	29/08/2008 10:00	7 a 10 estaciones	relleno
29/08/2008 11:00	29/08/2008 20:00	7 a 10 estaciones	con datos
29/08/2008 21:00	30/08/2008 11:00	7 a 10 estaciones	relleno
30/08/2008 12:00	30/08/2008 21:00	7 a 10 estaciones	con datos
30/08/2008 22:00	31/08/2008 10:00	7 a 10 estaciones	relleno
31/08/2008 11:00	31/08/2008 22:00	7 a 10 estaciones	con datos
31/08/2008 23:00	01/09/2008 10:00	7 a 10 estaciones	relleno
01/09/2008 11:00	02/09/2008 19:00	7 a 10 estaciones	con datos
02/09/2008 20:00	07/09/2008 12:00	7 a 10 estaciones	relleno
07/09/2008 13:00	07/09/2008 22:00	7 a 10 estaciones	con datos
07/09/2008 23:00	08/09/2008 12:00	7 a 10 estaciones	relleno
08/09/2008 13:00	08/09/2008 21:00	7 a 10 estaciones	con datos
08/09/2008 22:00	09/09/2008 11:00	7 a 10 estaciones	relleno
09/09/2008 12:00	09/09/2008 23:00	7 a 10 estaciones	con datos
10/09/2008 00:00	10/09/2008 11:00	7 a 10 estaciones	relleno
10/09/2008 12:00	10/09/2008 23:00	7 a 10 estaciones	con datos
11/09/2008 00:00	11/09/2008 10:00	7 a 10 estaciones	relleno
11/09/2008 11:00	11/09/2008 21:00	7 a 10 estaciones	con datos
11/09/2008 22:00	15/09/2008 11:00	7 a 10 estaciones	relleno
15/09/2008 12:00	15/09/2008 19:00	7 a 10 estaciones	con datos
15/09/2008 20:00	19/09/2008 18:00	7 a 10 estaciones	relleno
19/09/2008 19:00	24/09/2008 00:00	7 a 10 estaciones	con datos
24/09/2008 01:00	24/09/2008 08:00	7 a 10 estaciones	relleno
24/09/2008 09:00	24/09/2008 18:00	7 a 10 estaciones	con datos
24/09/2008 19:00	25/09/2008 09:00	7 a 10 estaciones	relleno
25/09/2008 10:00	25/09/2008 23:00	7 a 10 estaciones	con datos
26/09/2008 00:00	26/09/2008 09:00	7 a 10 estaciones	relleno
26/09/2008 10:00	26/09/2008 21:00	7 a 10 estaciones	con datos
26/09/2008 22:00	27/09/2008 08:00	7 a 10 estaciones	relleno
27/09/2008 09:00	30/09/2008 22:00	7 a 10 estaciones	con datos
30/09/2008 23:00	06/11/2008 15:00	7 a 10 estaciones	relleno en época de lluvia
06/11/2008 16:00	14/01/2009 00:00	7 a 10 estaciones	con datos
14/01/2009 01:00	16/01/2009 15:00	7 a 10 estaciones	relleno en época de lluvia
16/01/2009 16:00	18/02/2009 22:00	7 a 10 estaciones	con datos
18/02/2009 23:00	20/02/2009 19:00	7 a 10 estaciones	relleno en época de lluvia
20/02/2009 20:00	03/04/2009 14:00	7 a 10 estaciones	con datos
03/04/2009 15:00	03/04/2009 20:00	7 a 10 estaciones	relleno
03/04/2009 21:00	04/04/2009 02:00	7 a 10 estaciones	con datos
04/04/2009 03:00	04/04/2009 18:00	7 a 10 estaciones	relleno
04/04/2009 19:00	05/04/2009 11:00	7 a 10 estaciones	con datos
05/04/2009 12:00	05/04/2009 13:00	7 a 10 estaciones	relleno
05/04/2009 14:00	05/04/2009 16:00	7 a 10 estaciones	con datos
05/04/2009 17:00	05/04/2009 18:00	7 a 10 estaciones	relleno
05/04/2009 19:00	11/04/2009 08:00	7 a 10 estaciones	con datos
11/04/2009 09:00	11/04/2009 17:00	7 a 10 estaciones	relleno
11/04/2009 18:00	12/04/2009 10:00	7 a 10 estaciones	con datos
12/04/2009 11:00	12/04/2009 18:00	7 a 10 estaciones	relleno
12/04/2009 19:00	13/04/2009 10:00	7 a 10 estaciones	con datos
13/04/2009 11:00	14/04/2009 05:00	7 a 10 estaciones	relleno
14/04/2009 06:00	17/04/2009 11:00	7 a 10 estaciones	con datos
17/04/2009 12:00	23/04/2009 16:00	7 a 10 estaciones	relleno
23/04/2009 17:00	23/04/2009 22:00	7 a 10 estaciones	con datos
23/04/2009 23:00	24/04/2009 14:00	7 a 10 estaciones	relleno
24/04/2009 15:00	27/04/2009 18:00	4 a 6 estaciones	relleno
27/04/2009 19:00	27/04/2009 23:00	4 a 6 estaciones	con datos
28/04/2009 00:00	28/04/2009 09:00	7 a 10 estaciones	con datos
28/04/2009 10:00	28/04/2009 18:00	7 a 10 estaciones	relleno
28/04/2009 19:00	29/04/2009 10:00	7 a 10 estaciones	con datos
29/04/2009 11:00	30/04/2009 02:00	7 a 10 estaciones	relleno
30/04/2009 03:00	03/05/2009 15:00	7 a 10 estaciones	con datos
03/05/2009 16:00	04/05/2009 06:00	7 a 10 estaciones	relleno
04/05/2009 07:00	04/05/2009 21:00	7 a 10 estaciones	con datos
04/05/2009 22:00	08/05/2009 00:00	7 a 10 estaciones	relleno
08/05/2009 01:00	08/05/2009 08:00	7 a 10 estaciones	con datos
08/05/2009 09:00	16/05/2009 03:00	7 a 10 estaciones	relleno
16/05/2009 04:00	16/05/2009 21:00	7 a 10 estaciones	con datos
16/05/2009 22:00	17/05/2009 03:00	7 a 10 estaciones	relleno
17/05/2009 04:00	17/05/2009 07:00	7 a 10 estaciones	con datos
17/05/2009 08:00	17/05/2009 12:00	7 a 10 estaciones	relleno
17/05/2009 13:00	17/05/2009 18:00	7 a 10 estaciones	con datos

17/05/2009 19:00	18/05/2009 11:00	7 a 10 estaciones	relleno
18/05/2009 12:00	19/05/2009 07:00	7 a 10 estaciones	con datos
19/05/2009 08:00	19/05/2009 13:00	7 a 10 estaciones	relleno
19/05/2009 14:00	19/05/2009 23:00	7 a 10 estaciones	con datos
20/05/2009 00:00	20/05/2009 09:00	7 a 10 estaciones	relleno
20/05/2009 10:00	21/05/2009 06:00	7 a 10 estaciones	con datos
21/05/2009 07:00	21/05/2009 11:00	7 a 10 estaciones	relleno
21/05/2009 12:00	22/05/2009 06:00	7 a 10 estaciones	con datos
22/05/2009 07:00	22/05/2009 09:00	7 a 10 estaciones	relleno
22/05/2009 10:00	23/05/2009 01:00	7 a 10 estaciones	con datos
23/05/2009 02:00	23/05/2009 09:00	7 a 10 estaciones	relleno
23/05/2009 10:00	25/05/2009 23:00	7 a 10 estaciones	con datos
26/05/2009 00:00	27/05/2009 08:00	7 a 10 estaciones	relleno
27/05/2009 09:00	04/06/2009 13:00	7 a 10 estaciones	con datos
04/06/2009 14:00	04/06/2009 17:00	7 a 10 estaciones	relleno
04/06/2009 18:00	05/06/2009 11:00	7 a 10 estaciones	con datos
05/06/2009 12:00	05/06/2009 17:00	7 a 10 estaciones	relleno
05/06/2009 18:00	14/06/2009 13:00	7 a 10 estaciones	con datos
14/06/2009 14:00	15/06/2009 08:00	7 a 10 estaciones	relleno
15/06/2009 09:00	16/06/2009 11:00	7 a 10 estaciones	con datos
16/06/2009 12:00	17/06/2009 10:00	7 a 10 estaciones	relleno
17/06/2009 11:00	18/06/2009 16:00	7 a 10 estaciones	con datos
18/06/2009 17:00	02/07/2009 16:00	7 a 10 estaciones	relleno
02/07/2009 17:00	06/07/2009 09:00	7 a 10 estaciones	con datos
06/07/2009 10:00	08/07/2009 00:00	7 a 10 estaciones	relleno
08/07/2009 01:00	08/07/2009 10:00	7 a 10 estaciones	con datos
08/07/2009 11:00	08/07/2009 17:00	7 a 10 estaciones	relleno
08/07/2009 18:00	04/08/2009 15:00	7 a 10 estaciones	con datos
04/08/2009 16:00	28/08/2009 18:00	7 a 10 estaciones	relleno
28/08/2009 19:00	01/09/2009 11:00	7 a 10 estaciones	con datos
01/09/2009 12:00	07/09/2009 19:00	7 a 10 estaciones	relleno
07/09/2009 20:00	08/09/2009 12:00	7 a 10 estaciones	con datos
08/09/2009 13:00	08/09/2009 19:00	7 a 10 estaciones	relleno
08/09/2009 20:00	09/09/2009 12:00	7 a 10 estaciones	con datos
09/09/2009 13:00	09/09/2009 18:00	7 a 10 estaciones	relleno
09/09/2009 19:00	10/09/2009 13:00	7 a 10 estaciones	con datos
10/09/2009 14:00	10/09/2009 20:00	7 a 10 estaciones	relleno
10/09/2009 21:00	11/09/2009 11:00	7 a 10 estaciones	con datos
11/09/2009 12:00	11/09/2009 19:00	7 a 10 estaciones	relleno
11/09/2009 20:00	13/09/2009 12:00	7 a 10 estaciones	con datos
13/09/2009 13:00	13/09/2009 21:00	7 a 10 estaciones	relleno
13/09/2009 22:00	14/09/2009 09:00	7 a 10 estaciones	con datos
14/09/2009 10:00	27/09/2009 11:00	7 a 10 estaciones	relleno
27/09/2009 12:00	28/09/2009 13:00	7 a 10 estaciones	con datos
28/09/2009 14:00	28/10/2009 10:00	7 a 10 estaciones	relleno
28/10/2009 11:00	14/11/2009 05:00	7 a 10 estaciones	con datos
14/11/2009 06:00	15/11/2009 15:00	7 a 10 estaciones	relleno en época de lluvia
15/11/2009 16:00	17/11/2009 01:00	7 a 10 estaciones	con datos
17/11/2009 02:00	17/11/2009 07:00	7 a 10 estaciones	relleno en época de lluvia
17/11/2009 08:00	18/11/2009 04:00	7 a 10 estaciones	con datos
18/11/2009 05:00	18/11/2009 16:00	7 a 10 estaciones	relleno en época de lluvia
18/11/2009 17:00	20/11/2009 16:00	7 a 10 estaciones	con datos
20/11/2009 17:00	21/11/2009 09:00	7 a 10 estaciones	relleno en época de lluvia
21/11/2009 10:00	22/11/2009 04:00	7 a 10 estaciones	con datos
22/11/2009 05:00	23/11/2009 13:00	7 a 10 estaciones	relleno en época de lluvia
23/11/2009 14:00	28/11/2009 04:00	7 a 10 estaciones	con datos
28/11/2009 05:00	29/11/2009 07:00	7 a 10 estaciones	relleno en época de lluvia
29/11/2009 08:00	30/11/2009 10:00	7 a 10 estaciones	con datos
30/11/2009 11:00	30/11/2009 19:00	7 a 10 estaciones	relleno en época de lluvia
30/11/2009 20:00	01/12/2009 21:00	7 a 10 estaciones	con datos
01/12/2009 22:00	02/12/2009 19:00	7 a 10 estaciones	relleno en época de lluvia
02/12/2009 20:00	05/12/2009 02:00	7 a 10 estaciones	con datos
05/12/2009 03:00	05/12/2009 15:00	7 a 10 estaciones	relleno en época de lluvia
05/12/2009 16:00	08/12/2009 15:00	7 a 10 estaciones	con datos
08/12/2009 16:00	08/12/2009 20:00	7 a 10 estaciones	relleno en época de lluvia
08/12/2009 21:00	11/12/2009 02:00	7 a 10 estaciones	con datos
11/12/2009 03:00	19/12/2009 04:00	7 a 10 estaciones	relleno en época de lluvia
19/12/2009 05:00	24/12/2009 03:00	7 a 10 estaciones	con datos
24/12/2009 04:00	31/12/2009 21:00	7 a 10 estaciones	relleno en época de lluvia

