

UTILIZACIÓN DE LOS SISTEMAS DE INFORMACION GEOGRAFICA PARA LA ESTIMACIÓN DE ESCORRENTÍA DIRECTA

USE OF GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEMS FOR ESTIMATED DIRECT RUNOFF

¹Domingo M., Portuguese M.

Resumen

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) y la hidrología son dos campos de trabajo que comparten muchos intereses. Por esa razón, cada vez más investigadores se ayudan de los SIG para la construcción de modelos hidrológicos, especialmente cuando es necesaria la representación espacial de redes de drenaje. El presente artículo examina algunos aspectos de los numerosos vínculos existentes entre los SIG y la modelización hidrológica. Estimar escorrentía a partir de información de precipitación es complejo por los diversos factores que lo controlan, como son las pendientes, el tipo de suelo y la cobertura vegetal, y más aún, cuando estos factores son tan dinámicos en el tiempo, como la cobertura, sobre todo en cuencas sometidas a una fuerte presión humana, ya que pueden alterar la producción de escorrentía. Por ello, es necesaria utilizar herramienta que facilite el cambio de caracterización de la cuenca cuando surjan dichos cambios y así determinar con más precisión la oferta hídrica. El objetivo del presente trabajo es utilizar Herramientas SIG para estimar la escorrentía directa en la cuenca del Río Guarínó, con información de los mapas temático de cobertura vegetal y uso, Suelo y Modelo Digital de Elevaciones, se genera Mapa de Numero de Curva, a todo ello se agrega data de precipitación máxima en 24 horas, como resultado se tiene los caudales máximos instantáneos para diferentes puntos de interés de la cuenca en estudio. Los resultados generados como producto de la estimación de la escorrentía directa, resultan de interés para diversas aplicaciones: estudios de impacto ambiental, ordenación territorial, manejo de cuencas y recursos naturales y predicción de riesgos.

Palabras clave: Sistemas de Información Geográfica (SIG), Modelamiento Hidrológico, modelos hidrológicos, Modelación hidrológica y SIG, *Máximas avenidas*.

Abstract

The Geographic Information Systems (GIS) and hydrology are two fields of work that share many interests. For that reason, more and more researchers help of GIS for construction of hydrological models, especially when the spatial representation of drainage is necessary. This article examines some aspects of the many links between GIS and hydrological modeling. Estimate runoff from precipitation information is complicated by the various factors that control it, such as slopes, soil type and vegetation cover, and even when these factors are as dynamic in time, such as coverage, especially in basins under severe human pressure, as they can alter the production of runoff. Therefore, it is necessary to use tool that facilitates the characterization change of the basin when the changes arise and determine more accurately the water supply. The aim of this work is to use GIS Tools for estimating direct runoff in the Rio Guarino, with information on thematic maps of land cover and use, soil and digital elevation model, map number curve is generated, all it adds data of maximum rainfall in 24 hours as a result one has the maximum instantaneous flows for different sites in the basin under study. The results generated as a result of the estimation of direct runoff, are of interest for various applications: environmental impact studies, land management, watershed management, natural resources and risk prediction.

Key words: Geographic Information Systems (GIS), hydrological modeling, hydrological modeling, hydrological modeling and GIS, *Maxims avenues*.

1.Introduccion.

El aprovechamiento progresivo del recurso hídrico superficial a escala temporal y espacial se ha determinado históricamente por el incremento de las demandas ligadas al abastecimiento de agua para uso humano y a las actividades industriales, de riego, agropecuarias e hidroeléctricas.

En la actualidad, cuando se habla de modelación del

recurso agua, generalmente, se hace referencia a las características de modelos computacionales donde prima el nivel de experiencia conocimiento de las capacidades del software utilizado, a la cantidad y a la calidad de la información requerida, que se encuentra disponible y que ratifique la confiabilidad de los recursos obtenidos dentro de este campo.

Un tipo específico de aplicación, extensamente utilizada

en modelación de sistemas hídricos, está representado por los programas destinados al tránsito hidrológico de eventos externos los cuales permiten conocer la distribución espacial y temporal del agua producida por una tormenta dentro de la cuenca, algún ejemplo de uso de los resultados de estos estudios, son la planificación de desarrollo sostenible de zonas especiales como páramos, así como la concepción de diseño de estructuras en ríos, tales como los gaviones, los desagües de protección, etc.

Colombia, así como el resto del mundo está influenciada por el efecto del cambio climático. Fenómenos como el del Niño o de la Niña hacen que los caudales de los ríos aumenten o disminuyan atípicamente, por consiguiente, el análisis de la sensibilidad de estas alteraciones crea la necesidad de evaluar los caudales de crecidas para poder predecir eventos catastróficos como inundaciones en la cuenca media o baja del Río Guarinó.

Sin embargo, para lograr una optimización en los resultados, el presente trabajo utiliza herramientas que en el pasado fueron manejadas de manera separada. La implementación del ArcGis, con sus extensiones ArcHydro y HECGeoHMS, para completar el análisis hidrológico con el uso del HEC HMS genera resultados que se aproxima más a la realidad.

2. Materiales y métodos

Materiales

Información cartográfica y raster.

La información cartográfica está compuesta por mapas temáticos elaboradas por el IGAC (Instituto Geográfico Agustín Codazzi), también se cuenta con MDE (Modelo Digital de Elevación) que abarca el área de estudio y fotografías aéreas de la zona, todo estos materiales mencionados fueron proporcionados por el CIAF (Centro de Investigación y Desarrollo en Información geográfica).

Tabla 1. Información Cartográfica y raster.

Información	Estructura	Fuente
Mapa de Red Hídrica de la cuenca	Vector	IGAC, 2007
Mapa de Cobertura Vegetal	Vector	IGAC, 2007
Mapa de Suelo	Vector	IGAC, 2007
Modelo Digital de Elevación	Raster	IGAC, 2007
Mapa de Ubicación de Estaciones Meteorológicas	Vector	IDEAM, 2007

Fuente: Elaboración Propia

Información hidrológica: La información hidrológica fue suministrada por el IDEAM (Instituto de Hidrológica, Meteorología y estudios ambientales) en convenio con el IGAC – CIAF: Precipitaciones máximas en 24 horas.

Equipos y software: Computadora I5 2.66 Ghz DD 500 GB y 2 GB de Memoria y monitor de 17, GPS, Softwares:

Arc GIS 10, HEC – HMS 4,0, HidroEsta, extensiones: 3D Analyst, Spatial Analyst, ArcHydro Tools, HEC – GeoHMS

AREA DE ESTUDIO

El área de estudio es la cuenca hidrográfica del río Guarinó con una extensión de 837.43Km², Comprende sistemas geográficos de montaña y valles aluviales desde la zona de nacimiento del río a 3.100 msnm. en la vereda el Páramo del municipio de Marulanda y termina en la desembocadura del río Magdalena a 200 msnm. entre Honda y La Dorada.

Se ubica en los departamentos de Caldas, en los municipios de: La Dorada, Victoria, Marquetalia, Manzanares y Marulanda y Tolima, en los municipios de: Herveo, Fresno, Mariquita y Honda, aproximadamente el 75% de la cuenca se localiza en el departamento de Caldas y un 25% hace parte de la jurisdicción departamental del Tolima.

PROCEDIMIENTO

Se procedió de acuerdo al Modelo Conceptual y Cartográfico, esto contempla los factores que intervienen en la predicción de la escorrentía.

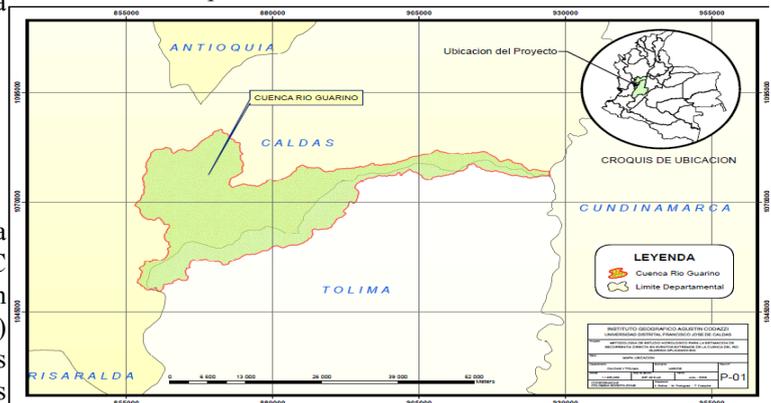


Figura 1. Mapa de ubicación de la Cuenca del río Siguas.

Modelo Conceptual

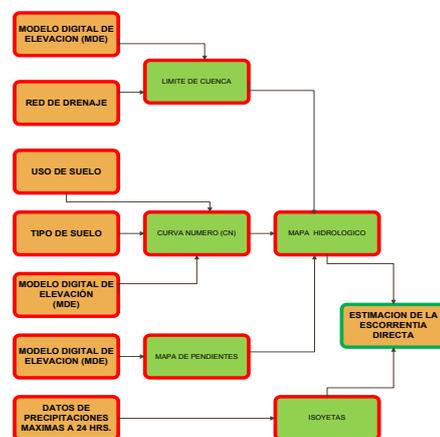


Figura 2. Modelo conceptual para estimar la escorrentía directa.

Fuente: Elaboración Propia

Modelo cartográfico

Modelo de secuencia de procedimientos relacionados con las operaciones que incluyen superposiciones, manipulación de datos y conversiones de formato.

Este modelo está dividido por las extensiones de ArcHydro Tools, Hec-GeoHMS y por el programa HMS, Ver fig. 3.

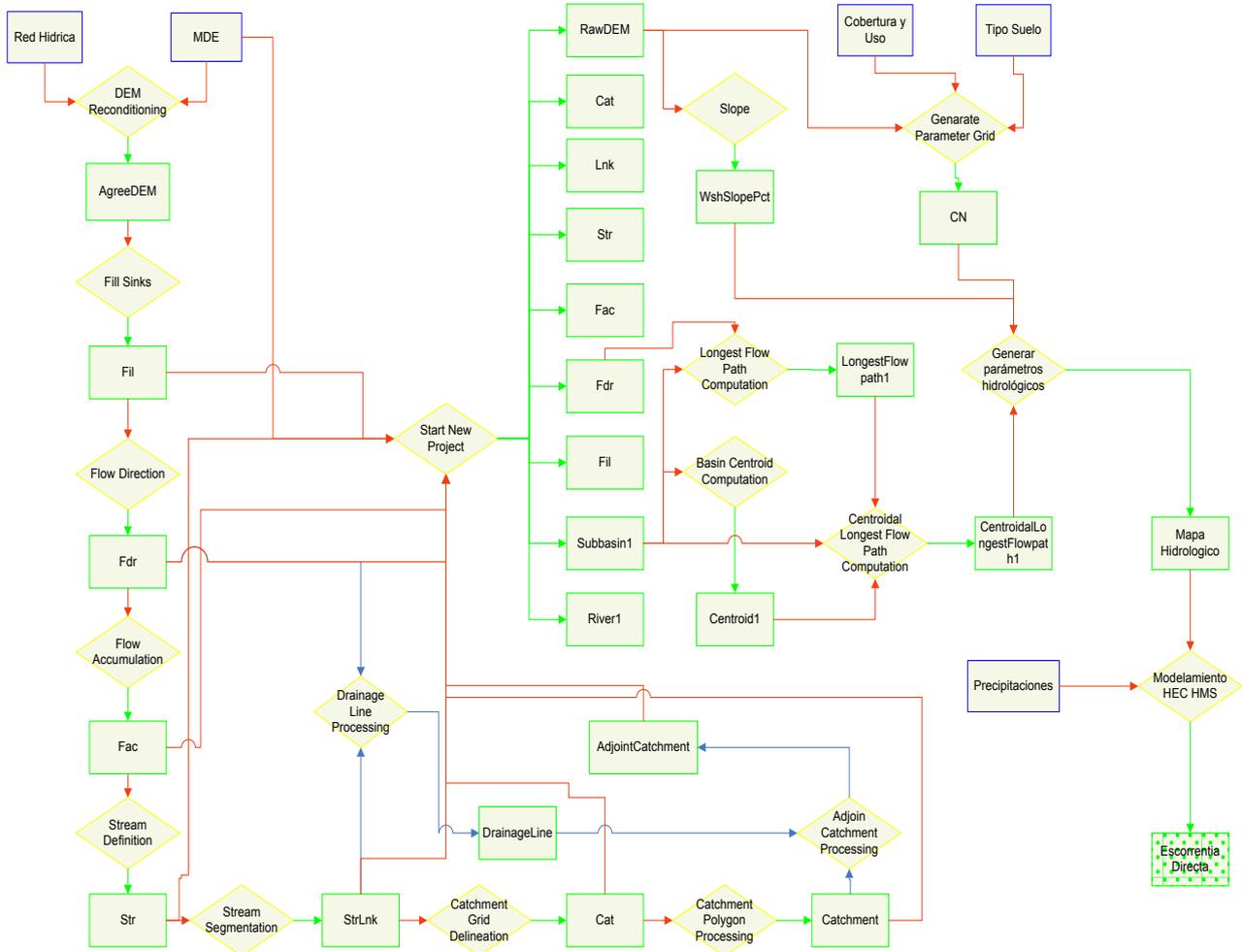


Figura 3. Modelo cartográfico para estimar la escoorrentía directa.

Fuente: Elaboración Propia

Determinación de parámetros.

a. Métodos de abstracción de precipitación

Las abstracciones hidrológicas son los procesos físicos que actúan para reducir la precipitación total a precipitación efectiva. La precipitación efectiva constituye el escurrimiento de superficie, para el cálculo de tasas de pérdidas se utilizó el método de Soil Conservation Service.

b. Transformación Precipitación - Escorrenría

Para la transformación de la lluvia en escurrimiento se utilizó el método de hidrograma SCS, para lo requiere el SCSLag, (también llamado tiempo de retardo) calculándose de la siguiente manera²:

$$SCS\ Lag(hr) = 0.6 * T_c(hr)$$

$$T_c(hr) = 0.3 \left(\frac{L}{S^{0.25}} \right)^{0.77}$$

Dónde:

L = Longitud del cauce (km)

S = Pendiente media (m/m)

Tc = Tiempo de concentración (hr).

c. Transito hidrológico en cauce

El programa HEC-HMS permite escoger entre los siguientes modelos a la hora de tratar de representar la transformación que experimenta el hidrograma entre los puntos inicial y final de un tramo de cauce, para ello se utilizó el Modelo de Onda Cinemática.

En el HEC HMS se requiere los siguientes datos:

n = Coeficiente de rugosidad de manning

w = Ancho de cauce

xH:1V = valor para distancia horizontal

²CHOW V.T., Op. Cit

d. Análisis de frecuencia para una variable hidrológica (precipitación)

El análisis de frecuencia es una herramienta utilizada para, predecir el comportamiento futuro de los caudales en un sitio de interés, a partir de la información histórica de caudales. Es un método basado en procedimientos estadísticos que permite calcular la magnitud del caudal asociado a un período de retorno. Su confiabilidad depende de la longitud y calidad de la serie histórica, además de la incertidumbre propia de la distribución de probabilidades seleccionada. Cuando se pretende realizar extrapolaciones, período de retorno mayor que la longitud de la serie disponible, el error relativo asociado a la distribución de probabilidades utilizada es más importante, mientras que en interpolaciones la incertidumbre está asociada principalmente a la calidad de los datos a modelar; en ambos casos la incertidumbre es alta dependiendo de la cantidad de datos disponibles (Ashkar, et al. 1994).

El análisis de frecuencia consiste en determinar los parámetros de las distribuciones de probabilidad y determinar con el factor de frecuencia la magnitud del evento para un período de retorno dado.

e. Prueba de bondad de ajuste para las diferentes estaciones.

La prueba compara la distribución de frecuencia observada (Fo) de una variable, con la distribución de frecuencia de la misma variable medida en un grupo de referencia.

El procedimiento de la prueba implica el cálculo de una distribución esperada (Fe) en el grupo estudiado, usando como punto de partida a la distribución de la variable en el grupo de referencia.

El propósito de la prueba es averiguar si existen diferencias estadísticamente significativa entre la distribución observada (Fo) y la distribución esperada (Fe).

f. Mapas de Isoyetas.

Son isolíneas que une los puntos, en un plano cartográfico, que presentan la misma precipitación en la unidad de tiempo considerada. Así, para una misma área, se puede diseñar un gran número de mapas de isoyetas; ejemplos, isoyetas de precipitación media de largo periodo del mes de enero, febrero, etc., o las isoyetas de precipitaciones anuales.

3.Resultados y discusión

a. Procesamiento con herramienta SIG

Con Herramienta SIG, la cuenca quedo dividida en subcuencas, se determinaron los parámetros: centroide de cada subcuencas, **área**, pendiente, abstracción inicial (Ia), Número de Curva y tiempo de retardo (TLag), ver Tabla 2.

Así mismo, para tramo de rio donde se realizaría tránsito de cauce, se determinaron la longitud, pendiente, coeficiente de rugosidad de manning, tipo de sección, ancho y talud.

b. Análisis de frecuencia de las precipitaciones

Para el análisis de frecuencia se utilizaron las siguientes funciones de distribución: Distribución Normal, Distribución LogNormal 2P, Distribución Log Pearson III, Distribución de valor extremo (Gumbel)

En las tablas 4, 5, 6, 7 y 8, se muestra los resultados, para cada estación

Tabla 2. Parámetros para Subcuenca.

SubCuenca	Centroide		Área (Km ²)	S (m/m)	Ia (mm)	CN (SCS)	TLag (min)
	X	Y					
Parte Alta	867378.00	1073195.46	327.95	0.5574	51.3	49.757	189.59
Perrillo	867204.01	1058503.29	161.12	0.5174	41.0	55.362	169.49
Santo Domingo	880167.10	1069979.67	89.15	0.4747	53.6	48.648	103.73
Parte Media	884204.93	1063931.89	48.33	0.5468	49.5	50.655	80.150
San Juan	887473.93	1073632.54	61.20	0.4675	61.5	45.247	77.859
Barreto	891295.81	1068903.31	31.53	0.3526	47.4	51.748	83.721
Parte Baja	902228.87	1077564.14	67.74	0.3822	75.8	40.116	129.43

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 3. Parámetros para tramos de cauce.

Nombre	Longitud (m)	S (m/m)	Manning	Sección	Ancho (m)	xH:1V
Guarino2	23605.0	0.024	0.06	Trapezoidal	200	0.5
Guarino3	1417.3	0.026	0.06	Trapezoidal	150	0.5
Guarino4	1757.8	0.025	0.06	Trapezoidal	150	0.3
Guarino5	4611.6	0.015	0.07	Trapezoidal	150	0.3
Guarino6	17383.0	0.025	0.07	Trapezoidal	100	0.3

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 4. Análisis de Frecuencia - Estación Marulanda.

T	P	PP (mm)	PP (mm)	PP (mm)	PP (mm)
Años		Normal	Log-Normal	Log-Pearson III	Gumbel
25	0.040	78.65	80.60	85.46	83.28
50	0.020	83.44	87.82	96.63	91.94
100	0.010	87.75	94.87	108.47	100.54
500	0.002	96.46	110.92	138.79	120.40
1000	0.001	99.81	117.78	153.12	128.94

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 5. Análisis de Frecuencia - Estación La Victoria.

T	P	PP (mm)	PP (mm)	PP (mm)	PP (mm)
años		Normal	Log-Normal	Log-Pearson III	Gumbel
25	0.040	189.76	192.92	196.98	198.03
50	0.020	198.32	204.50	211.40	213.51
100	0.010	206.01	215.50	225.67	228.88
500	0.002	221.59	239.61	258.84	264.39
1000	0.001	227.57	249.57	273.31	279.66

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 6. Análisis de Frecuencia - Estación Albania.

T	P	PP (mm)	PP (mm)	PP (mm)	PP (mm)
años		Normal	Log-Normal	Log-Pearson III	Gumbel
25	0.040	241.68	229.61	271.09	256.82
50	0.020	257.36	248.51	335.17	285.20
100	0.010	271.46	266.83	406.61	313.36
500	0.002	300.01	308.15	558.61	378.45
1000	0.001	310.97	325.67	592.37	406.43

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 7. Análisis de Frecuencia - Estación Cañaveral.

T	P	PP (mm)	PP (mm)	PP (mm)	PP (mm)
años		Normal	Log-Normal	Log-Pearson III	Gumbel
25	0.040	208.42	212.01	221.29	219.21
50	0.020	219.59	227.86	244.25	239.43
100	0.010	229.64	243.11	267.91	259.50
500	0.002	249.98	277.19	326.21	305.87
1000	0.001	257.79	291.52	352.89	325.81

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 8. Análisis de Frecuencia - Estación La Esperanza.

T	P	PP (mm)	PP (mm)	PP (mm)	PP (mm)
años		Normal	Log-Normal	Log-Pearson III	Gumbel
25	0.040	65.15	69.06	69.40	69.08
50	0.020	69.22	76.01	76.59	76.44
100	0.010	72.88	82.85	83.72	83.76
500	0.002	80.29	98.64	100.36	100.65
1000	0.001	83.14	105.48	107.65	107.92

Fuente: Elaboración Propia

c. Prueba de bondad de ajuste para las diferentes estaciones.

Se utilizó el método Kolgomorov – Smimov, para determinar el mejor ajuste entre los valores calculados y valores esperados, la variable son las precipitaciones. El Tabla 9 muestra la distribución de frecuencia que mejor se ajusta a cada estación.

En el Tabla 10, muestra las precipitaciones para diferente periodo de retorno según su distribución de frecuencia, después de la prueba de bondad de ajuste

d. Mapas de Isoyetas

Con las precipitación del Tabla 10, se generaron los mapas de Isoyetas para diferente periodos de retorno, ver Figura 4, (isoyeta TR = 25,) de igual manera para los otros TR

e. Distribución horaria de la Precipitación por Subcuenca

A partir de los mapas de Isoyetas se obtuvieron las precipitación para cada una de las 7 Subcuenca, y tomando la recomendación U. S. Dept. of Agriculture, Soil Conservation Service, 1973, 1986³, se elaboraron la distribución horaria de la precipitación para cada Subcuenca, ver Tablas 11, 12, 13, 14, 15, 16 y 17.

³Chow V.T. Op. Cit

Tabla 9. Distribución de frecuencia ajustada por estaciones.

Estaciones	Distribución de Frecuencia ajustada
Marulanda	Gumbel
La Victoria	Log Pearson III
Albania	Gumbel
Cañaverl	Gumbel
La esperanza	Log Normal 2P

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 10. Precipitación para diferente periodo de retorno.

Estaciones	PP (mm)				
	TR = 25	TR = 50	TR = 100	TR = 500	TR = 1000
Marulanda	83.28	91.94	100.54	120.40	128.94
La Victoria	196.98	211.40	225.67	258.84	273.31
Albania	256.82	285.20	313.36	378.45	406.43
Cañaverl	219.21	239.43	259.50	305.87	325.81
La Esperanza	69.06	76.01	82.85	98.64	105.48

Fuente: Elaboración Propia

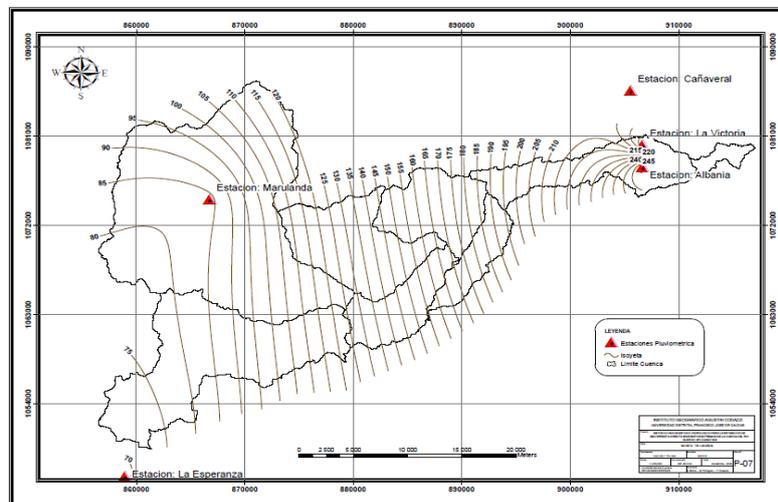


Figura 4. Mapa de Isoyeta TR = 25 años

Tabla 11. Distribución Horaria de la precipitación Subcuenca Parte Alta.

T Hora	T HH:Min	Fracción	TR = 25	TR = 50	TR = 100	TR = 500	TR = 1000
0.0	00:00	0.00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.6	00:36	0.04	3.419	3.776	4.130	5.040	5.441
1.2	01:12	0.10	8.547	9.440	10.326	12.600	13.602
1.5	01:30	0.14	11.966	13.216	14.456	17.639	19.043
1.8	01:48	0.19	16.240	17.936	19.619	23.939	25.844
2.1	02:06	0.31	26.496	29.263	32.011	39.058	42.166
2.3	02:18	0.44	37.608	41.535	45.434	55.438	59.849
2.4	02:24	0.53	45.300	50.031	54.728	66.777	72.090
2.5	02:30	0.60	51.283	56.639	61.956	75.597	81.612
2.6	02:36	0.63	53.847	59.471	65.054	79.377	85.692
2.8	02:48	0.66	56.411	62.303	68.152	83.157	89.773
3.0	03:00	0.70	59.830	66.079	72.282	88.197	95.214
3.3	03:18	0.75	64.104	70.799	77.445	94.496	102.015
3.6	03:36	0.79	67.523	74.575	81.575	99.536	107.456
3.9	03:54	0.83	70.942	78.351	85.706	104.576	112.896
4.2	04:12	0.86	73.506	81.183	88.804	108.356	116.977
4.5	04:30	0.89	76.070	84.014	91.901	112.136	121.058
4.8	04:48	0.91	77.779	85.902	93.967	114.656	123.778
5.4	05:24	0.96	82.053	90.622	99.130	120.955	130.579
6.0	06:00	1.00	85.472	94.398	103.260	125.995	136.020

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 12 - Distribución Horaria de la precipitación Subcuenca Perrillo.

Hora	T HH:Min	Fracción	TR = 25	TR = 50	TR = 100	TR = 500	TR = 1000
0.0	00:00	0.00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.6	00:36	0.04	3.406	3.770	4.129	4.965	5.341
1.2	01:12	0.10	8.515	9.424	10.323	12.414	13.352
1.5	01:30	0.14	11.921	13.194	14.453	17.379	18.692
1.8	01:48	0.19	16.179	17.906	19.615	23.586	25.368
2.1	02:06	0.31	26.397	29.215	32.003	38.482	41.390
2.3	02:18	0.44	37.466	41.466	45.423	54.619	58.748
2.4	02:24	0.53	45.130	49.947	54.714	65.792	70.764
2.5	02:30	0.60	51.090	56.544	61.941	74.481	80.110
2.6	02:36	0.63	53.645	59.372	65.038	78.205	84.116
2.8	02:48	0.66	56.199	62.199	68.135	81.929	88.121
3.0	03:00	0.70	59.605	65.968	72.264	86.895	93.462
3.3	03:18	0.75	63.863	70.680	77.426	93.101	100.138
3.6	03:36	0.79	67.269	74.450	81.555	98.067	105.479
3.9	03:54	0.83	70.675	78.220	85.685	103.032	110.819
4.2	04:12	0.86	73.229	81.047	88.782	106.756	114.825
4.5	04:30	0.89	75.784	83.874	91.879	110.480	118.830
4.8	04:48	0.91	77.487	85.759	93.944	112.963	121.501
5.4	05:24	0.96	81.744	90.471	99.105	119.170	128.177
6.0	06:00	1.00	85.150	94.241	103.235	124.135	133.517

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 13 - Distribución Horaria de la precipitación Subcuenca Santo Domingo.

Hora	T HH:Min	Fracción	TR = 25	TR = 50	TR = 100	TR = 500	TR = 1000
0.0	00:00	0.00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.6	00:36	0.04	5.301	5.865	6.424	7.512	8.003
1.2	01:12	0.10	13.252	14.661	16.059	18.781	20.007
1.5	01:30	0.14	18.553	20.526	22.483	26.293	28.010
1.8	01:48	0.19	25.179	27.856	30.512	35.684	38.013
2.1	02:06	0.31	41.082	45.450	49.783	58.221	62.021
2.3	02:18	0.44	58.310	64.510	70.660	82.636	88.030
2.4	02:24	0.53	70.237	77.705	85.114	99.539	106.036
2.5	02:30	0.60	79.514	87.968	96.355	112.686	120.041
2.6	02:36	0.63	83.489	92.366	101.173	118.320	126.043
2.8	02:48	0.66	87.465	96.764	105.991	123.954	132.045
3.0	03:00	0.70	92.766	102.629	112.414	131.467	140.048
3.3	03:18	0.75	99.392	109.959	120.444	140.857	150.051
3.6	03:36	0.79	104.693	115.824	126.868	148.370	158.054
3.9	03:54	0.83	109.994	121.688	133.291	155.882	166.057
4.2	04:12	0.86	113.970	126.087	138.109	161.516	172.059
4.5	04:30	0.89	117.945	130.485	142.927	167.151	178.061
4.8	04:48	0.91	120.596	133.417	146.139	170.907	182.062
5.4	05:24	0.96	127.222	140.748	154.168	180.297	192.066
6.0	06:00	1.00	132.523	146.613	160.592	187.810	200.068

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 14 - Distribución Horaria de la precipitación Subcuenca Media.

Hora	T HH:Min	Fracción	TR =25	TR = 50	TR = 100	TR = 500	TR = 1000
0.0	00:00	0.00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.6	00:36	0.04	5.790	6.420	7.046	8.147	8.649
1.2	01:12	0.10	14.474	16.051	17.614	20.367	21.622
1.5	01:30	0.14	20.264	22.471	24.660	28.514	30.271
1.8	01:48	0.19	27.501	30.496	33.467	38.697	41.083
2.1	02:06	0.31	44.869	49.757	54.604	63.138	67.030
2.3	02:18	0.44	63.686	70.623	77.503	89.615	95.139
2.4	02:24	0.53	76.712	85.069	93.356	107.945	114.599
2.5	02:30	0.60	86.844	96.304	105.686	122.202	129.735
2.6	02:36	0.63	91.186	101.119	110.970	128.312	136.221
2.8	02:48	0.66	95.529	105.934	116.254	134.422	142.708
3.0	03:00	0.70	101.318	112.355	123.300	142.569	151.357
3.3	03:18	0.75	108.555	120.380	132.107	152.753	162.168
3.6	03:36	0.79	114.345	126.800	139.153	160.900	170.817
3.9	03:54	0.83	120.134	133.221	146.199	169.046	179.466
4.2	04:12	0.86	124.477	138.036	151.483	175.157	185.953
4.5	04:30	0.89	128.819	142.851	156.767	181.267	192.440
4.8	04:48	0.91	131.714	146.061	160.290	185.340	196.764
5.4	05:24	0.96	138.951	154.086	169.097	195.524	207.576
6.0	06:00	1.00	144.740	160.507	176.143	203.670	216.225

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 15 - Distribución Horaria de la precipitación Subcuenca San Juan.

Hora	T HH:Min	Fracción	TR = 25	TR = 50	TR = 100	TR = 500	TR = 1000
0.0	00:00	0.00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.6	00:36	0.04	6.671	7.371	8.066	9.331	9.902
1.2	01:12	0.10	16.678	18.428	20.166	23.328	24.754
1.5	01:30	0.14	23.349	25.800	28.232	32.659	34.656
1.8	01:48	0.19	31.688	35.014	38.315	44.324	47.033
2.1	02:06	0.31	51.701	57.128	62.513	72.317	76.738
2.3	02:18	0.44	73.382	81.085	88.728	102.644	108.918
2.4	02:24	0.53	88.393	97.671	106.877	123.639	131.197
2.5	02:30	0.60	100.067	110.570	120.993	139.969	148.525
2.6	02:36	0.63	105.070	116.099	127.043	146.968	155.951
2.8	02:48	0.66	110.074	121.627	133.092	153.966	163.377
3.0	03:00	0.70	116.745	128.999	141.159	163.297	173.279
3.3	03:18	0.75	125.084	138.213	151.241	174.961	185.656
3.6	03:36	0.79	131.755	145.584	159.308	184.293	195.558
3.9	03:54	0.83	138.426	152.956	167.374	193.624	205.459
4.2	04:12	0.86	143.429	158.484	173.424	200.622	212.886
4.5	04:30	0.89	148.433	164.013	179.473	207.621	220.312
4.8	04:48	0.91	151.768	167.698	183.506	212.287	225.263
5.4	05:24	0.96	160.107	176.913	193.589	223.951	237.640
6.0	06:00	1.00	166.778	184.284	201.655	233.282	247.541

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 16 - Distribución Horaria de la precipitación Subcuenca Barreto.

Hora	T H:Min	Fracción	TR = 25	TR = 50	TR = 100	TR = 500	TR = 1000
0.0	00:00	0.00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.6	00:36	0.04	7.188	7.964	8.735	10.010	10.592
1.2	01:12	0.10	17.969	19.910	21.837	25.024	26.479
1.5	01:30	0.14	25.156	27.874	30.571	35.034	37.071
1.8	01:48	0.19	34.141	37.830	41.489	47.546	50.310
2.1	02:06	0.31	55.703	61.722	67.693	77.574	82.085
2.3	02:18	0.44	79.063	87.605	96.081	110.106	116.508
2.4	02:24	0.53	95.235	105.525	115.734	132.627	140.339
2.5	02:30	0.60	107.813	119.462	131.019	150.144	158.874
2.6	02:36	0.63	113.204	125.435	137.570	157.651	166.818
2.8	02:48	0.66	118.594	131.408	144.121	165.159	174.761
3.0	03:00	0.70	125.782	139.372	152.856	175.168	185.353
3.3	03:18	0.75	134.766	149.327	163.774	187.680	198.593
3.6	03:36	0.79	141.954	157.292	172.509	197.690	209.184
3.9	03:54	0.83	149.141	165.256	181.243	207.699	219.776
4.2	04:12	0.86	154.532	171.229	187.794	215.207	227.719
4.5	04:30	0.89	159.923	177.202	194.345	222.714	235.663
4.8	04:48	0.91	163.516	181.184	198.712	227.719	240.959
5.4	05:24	0.96	172.501	191.139	209.631	240.231	254.198
6.0	06:00	1.00	179.688	199.103	218.365	250.240	264.790

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 17 - Distribución Horaria de la precipitación Subcuenca Parte Baja.

Hora	T HH:Min	Fracción	TR = 25	TR = 50	TR = 100	TR = 500	TR = 1000
0.0	00:00	0.00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.6	00:36	0.04	9.088	10.017	10.939	12.602	13.337
1.2	01:12	0.10	22.721	25.043	27.348	31.504	33.344
1.5	01:30	0.14	31.809	35.061	38.287	44.105	46.681
1.8	01:48	0.19	43.170	47.583	51.960	59.857	63.353
2.1	02:06	0.31	70.435	77.635	84.777	97.662	103.365
2.3	02:18	0.44	99.972	110.191	120.329	138.617	146.712
2.4	02:24	0.53	120.421	132.730	144.942	166.970	176.721
2.5	02:30	0.60	136.326	150.261	164.085	189.023	200.062
2.6	02:36	0.63	143.142	157.774	172.289	198.474	210.065
2.8	02:48	0.66	149.958	165.287	180.494	207.925	220.068
3.0	03:00	0.70	159.046	175.304	191.433	220.527	233.405
3.3	03:18	0.75	170.407	187.826	205.106	236.278	250.077
3.6	03:36	0.79	179.495	197.843	216.045	248.880	263.415
3.9	03:54	0.83	188.584	207.861	226.984	261.481	276.752
4.2	04:12	0.86	195.400	215.374	235.189	270.933	286.755
4.5	04:30	0.89	202.216	222.887	243.393	280.384	296.758
4.8	04:48	0.91	206.760	227.895	248.862	286.684	303.427
5.4	05:24	0.96	218.121	240.417	262.536	302.436	320.099
6.0	06:00	1.00	227.209	250.435	273.475	315.038	333.436

Fuente: Elaboración Propia

f. Generación de Descarga

Los caudales máximos obtenidos para los diferentes periodos de retornos se muestran en las Tablas 18, 19, 20, 21 y 22, se observan precipitaciones totales para cada Subcuenca, y las pérdidas totales calculada por el programa varían según los parámetros utilizados en el modelo de la cuenca, el exceso de precipitación es la lluvia efectiva (es la diferencia entre la precipitación total y las pérdida total), que es transformado en descarga total por cada Subcuenca. El caudal máximo es proporcional

al tamaño de cada Subcuenca, de modo que los caudales específicos estimados muestran que para una determinada condición de la cuenca, 1km² genera cierta cantidad de caudal, de manera que las Subcuenca que tienen caudal específico menor son las que tienen mayor pérdida al generar el escurrimiento.

La escorrentía varía en función del tiempo, en estas tablas, lo que se muestra es el caudal pico (caudal máximo), para diferente periodo de retorno.

Tabla 18 - Resultados generados por el HEC HMS por Subcuenca TR = 25 años.

Subcuenca	Precip. total (mm)	Pérdida total (mm)	Exceso total (mm)	Descarga total (mm)	Área (km ²)	Caudal Máximo (m ³ /s)	Caudal Especif. (m ³ /s km ² /)
Parte Alta	85.47	81.45	4.02	4.02	327.95	66.3	0.20
Perrillo	85.15	77.32	7.83	7.83	161.12	65.3	0.41
Santo Domingo	132.52	114.57	17.95	17.95	89.15	97.4	1.09
Parte Media	144.74	118.27	26.47	26.47	48.33	82.1	1.70
San Juan	166.78	139.92	26.86	26.86	61.20	105.9	1.73
Barreto	179.69	132.28	47.41	47.41	31.53	96.4	3.06
Parte Baja	227.21	184.00	43.21	43.21	67.74	165.7	2.45

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 19. Resultados generados por el HEC HMS por Subcuenca TR = 50 años.

Subcuenca	Precip. total (mm)	Pérdida total (mm)	Exceso total (mm)	Descarga total (mm)	Área (km ²)	Caudal Máximo (m ³ /s)	Caudal Especif. (m ³ /s km ² /)
Parte Alta	94.40	88.20	6.20	6.20	327.95	99.1	0.30
Perrillo	94.24	83.26	10.99	10.99	161.12	90.7	0.56
Santo Domingo	146.61	122.65	23.96	23.96	89.15	127.6	1.43
Parte Media	160.51	126.13	34.38	34.38	48.33	106.9	2.21
San Juan	184.28	149.23	35.05	35.05	61.20	138.3	2.26
Barreto	199.10	139.87	59.23	59.23	31.53	120.6	3.82
Parte Baja	250.44	195.37	55.07	55.07	67.74	211.1	3.12

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 20 - Resultados generados por el HEC HMS por Subcuenca TR = 100 años.

Subcuenca	Precip. Total (mm)	Pérdida total (mm)	Exceso Total (mm)	Descarga total (mm)	Área (km ²)	Caudal Máximo (m ³ /s)	Caudal Especif. (m ³ /s km ² /)
Parte Alta	103.26	94.51	8.75	8.75	327.95	136.3	0.42
Perrillo	103.24	88.73	14.51	14.51	161.12	118.9	0.74
Santo Domingo	160.59	130.07	30.52	30.52	89.15	161.3	1.81
Parte Media	176.14	133.27	42.87	42.87	48.33	133.5	2.76
San Juan	201.66	157.76	43.90	43.90	61.20	173.3	2.83
Barreto	218.36	146.69	71.67	71.67	31.53	145.9	4.63
Parte Baja	273.48	205.74	67.74	67.74	67.74	259.4	3.83

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 21 - Resultados generados por el HEC HMS por Subcuenca TR = 500 años.

Subcuenca	Precip. total (mm)	Pérdida total (mm)	Exceso total (mm)	Descarga Total (mm)	Área (km ²)	Caudal Máximo (m ³ /s)	Caudal Especif. (m ³ /s km ² /)
Parte Alta	126.00	109.15	16.85	16.85	327.95	263.1	0.80
Perrillo	124.14	100.13	24.01	24.01	161.12	194.1	1.20
Santo Domingo	187.81	143.04	44.77	44.77	89.15	243.1	2.73
Parte Media	203.67	144.49	59.18	59.18	48.33	184.4	3.82
San Juan	233.38	171.69	61.59	61.59	61.20	242.9	3.97
Barreto	250.24	156.66	93.58	93.58	31.53	192.3	6.10
Parte Baja	315.04	222.49	92.55	92.55	67.74	353.6	5.22

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 22 - Resultados generados por el HEC HMS por Subcuenca TR = 1000 años.

Subcuenca	Precip. total (mm)	Pérdida total (mm)	Exceso total (mm)	Descarga total (mm)	Área (km ²)	Caudal Máximo (m ³ /s)	Caudal Especif. (m ³ /s km ² /)
Parte Alta	136.02	114.98	21.04	21.04	327.95	328.6	1.00
Perrillo	133.52	104.73	28.79	28.79	161.12	231.6	1.44
Santo Domingo	200.07	148.32	51.75	51.75	89.15	283.6	3.18
Parte Media	216.22	149.11	67.11	67.11	48.33	211.5	4.38
San Juan	247.54	177.39	70.15	70.15	61.20	280.7	4.59
Barreto	264.79	160.75	104.04	104.04	31.53	216.0	6.85
Parte Baja	333.44	229.20	104.24	104.24	67.74	397.5	5.87

Fuente: Elaboración Propia

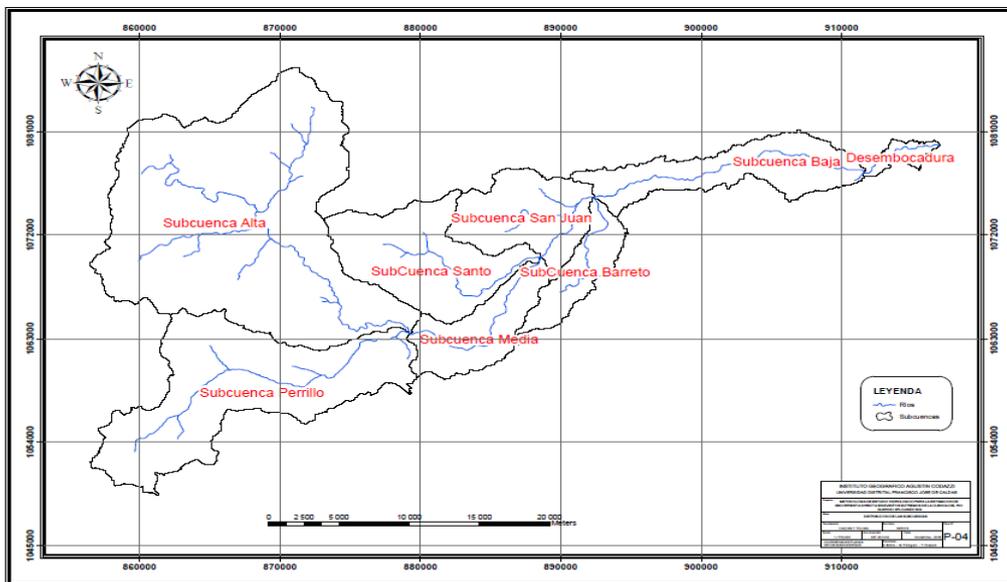


Figura 5. Cuenca Rio Guarino – División en Subcuencas

Tabla 23 - Descargas Máximas – Cuenca Guarinó.

Subcuenca	Descarga máxima directa (m ³ /s)				
	TR=25	TR =50	TR=100	TR=500	TR=1000
Parte Alta	66.3	99.1	136.3	263.1	328.6
Perrillo	65.3	90.7	118.9	194.1	231.6
Santo Domingo	97.4	127.6	161.3	243.1	283.6
Parte Media	82.1	106.9	133.5	184.4	211.5
San Juan	105.9	138.3	173.3	242.9	280.7
Barreto	96.4	120.6	145.9	192.3	216.0
Parte Baja	165.7	211.1	259.4	353.6	397.5
Total	445.3	578.4	783.3	1128.8	1328.3

Fuente: Elaboración Propia

El Tabla 23, muestra descarga directa para cada periodo de retorno por subcuenca. (Ver figura 5, división en Subcuencas)

Las figuras 6, 7, 8, 9 y 10 se observa los hidrogramas de salida de la Cuenca del río Guarínó, para diferentes periodos de retornos.

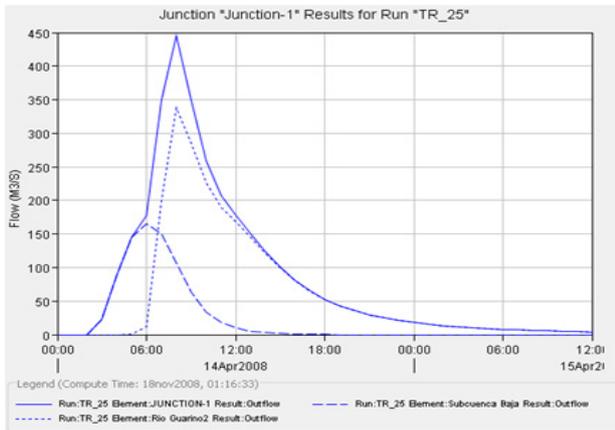


Figura 6. Hidrograma de salida TR = 25 años.

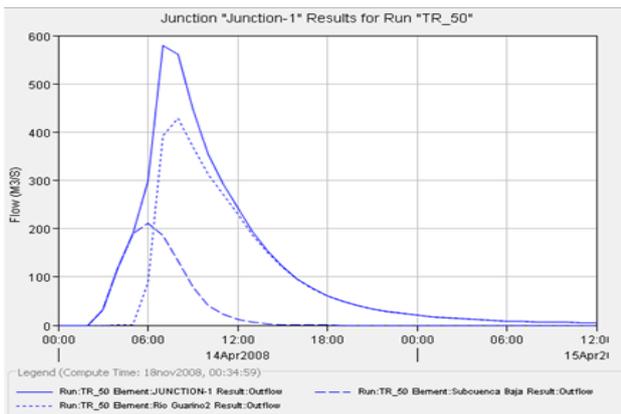


Figura 7. Hidrograma de salida TR = 50 años.

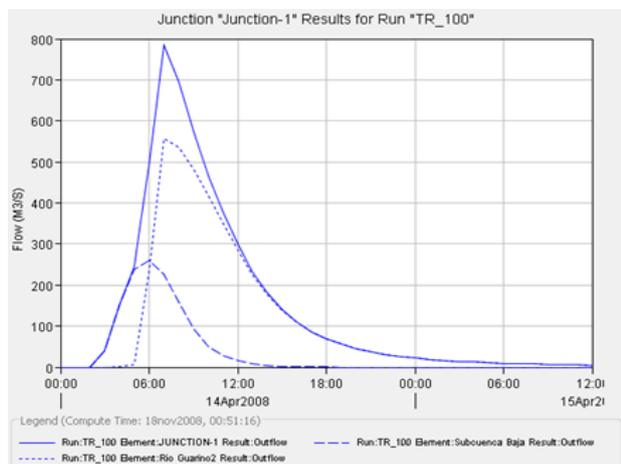


Figura 8. Hidrograma de salida TR = 100 años.

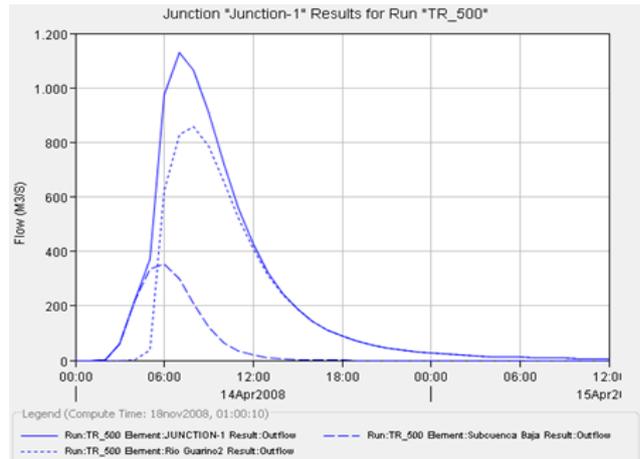


Figura 9. Hidrograma de salida TR = 500 años.

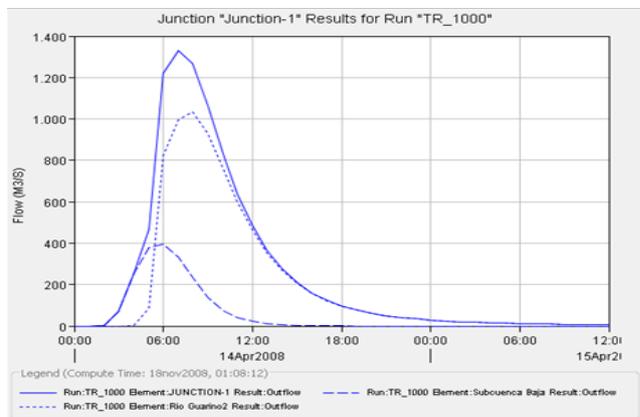


Figura 14. Hidrograma de salida TR = 1000 años.

4. Conclusiones

Ante métodos racionales o modelos empíricos, la metodología planteada es una buena alternativa de estimar la escorrentía, esto debido a la especialización de las variables que intervienen en el ciclo hidrológico.

La aplicación del programa de modelamiento hidrológico HEC HMS, se están utilizando con resultados aceptables, esta metodología incorpora los sistemas de información geográfica que nos permite obtener las características hidrológicas de cada Subcuenca o microcuencas, que conforman el área en estudio.

Con información de los mapas de cobertura y uso, tipo de suelo y DEM, fue posible generar un mapa de Curva Numero de la cuenca, que nos permitió cuantificar tanto las perdida y el exceso de precipitación.

Con información de las precipitaciones máximas en 24 horas de las 5 estaciones, aplicando las distribuciones de frecuencia de las precipitaciones se generaron las Isoyetas para periodos de retornos de 25, 50, 100, 500 y 1000 años, este mapa nos permitió cuantificar las precipitaciones máximas totales que fueron utilizados en el modelo.

La escorrentía directa estimada en el punto de control de la cuenca del río Guarínó, para los periodos de retorno de

25, 50, 100, 500 y 1000 años, es de 445.3, 578.4, 783.3, 1128.8 y 1328.3 m³/s respectivamente.

Conocer la escorrentía directa en evento extremo es de suma importancia, como datos de diseños en aliviaderos, sistema de drenaje en carreteras, aeropuertos, ciudades, entre otros.

5. Recomendaciones

Las cuencas hidrográficas son sistemas abiertos de procesos y respuestas, en cuyo comportamiento participan factores físicos y humanos, son altamente dinámicas, por lo cual es importante actualizar los mapas de cobertura y uso de suelos, variable altamente vulnerable.

Un aspecto que se debe tomar en cuenta es que no existe estaciones automatizadas en la zona donde los parámetros hidrológicos sean medidos y registrados por lo tanto se corre el riesgo de precisar los resultados.

Es recomendable contar con mayor número de estaciones, que estén ubicadas estratégicamente, ya que es una variable de suma importancia en el modelo

Se recomienda contar con registros de caudales máximos anuales en el punto de control y Flujo base, para poder realizar una calibración en el modelo, con los datos medidos y estimados, descontando el caudal base.

6. Literatura citada

Camarasa, A.; Blasco, A. y Lopez, M. 2001. Análisis mediante SIG de los parámetros de producción de escorrentía, centro de investigaciones sobre desertificación, departamento de geografía. Universidad de Valencia – España.

Castillo, E. G.; Corredor, J. L. y Castillo, S. P. 2007. Evaluación de la oferta hídrica superficial usando herramientas SIG, Revista Análisis Geográficos N° 37, IGAC, Bogotá.

Chavarri, E. 2008. Métodos de Análisis En Recurso de Agua, Notas de clase, Universidad Agraria La Molina, Maestría en Recursos Hídricos - Lima.

Chow, T. y Maidment, D. R. 1994. Hidrología Aplicada, Editorial Mc GRAW HILL - Primera Edición, Bogotá Colombia.

Martinez, J. C. 1996. Modelo lluvia – Escorrentía basado en el método del Soil Conservation Service para cuencas Colombianas, Memoria de Investigación N° 302 Universidad de los Andes Bogotá Octubre.

Montserrat, F. y Rodriguez, J. y Estrela, T. 1995. Generación Automática del Número e Curva con Sistemas de Información Geográfica, Revista Ingeniería del Agua. Vol 2 Número 4, Valencia, Diciembre.

IGAC, 2007, Mapa de Red Hídrica de la Cuenca del Río Guarínó Mapa 1:100000 Bogotá.

IGAC, 2007, Mapa de Cobertura y Uso de la Tierra, Mapa de Tipo de Suelos y Modelo Digital de Elevación de la Cuenca del Río Guarínó Mapa 1:100,000 Bogotá.

ideam, 2007, Mapa de Ubicación de Estaciones Meteorológicas de la Cuenca del Río Guarínó Mapa 1:100,000 Bogotá.