

## **Análisis hidrológico del río Escalante para la estimación de la disponibilidad de agua para riego, en el asentamiento campesino Santa Lucía, municipio Zea, estado Mérida.**

### **Hydrological Analysis of the Escalante River for Determining Water Availability for Crop Irrigation at Asentamiento Campesino Santa Lucía, Zea Municipality, Mérida State (Venezuela)**

Hernández B. José D.

<sup>1</sup>IIAP-ULA, Mérida 5101-A, [hernandezjose@ula.ve](mailto:hernandezjose@ula.ve), Venezuela  
Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales de la Universidad de Los Andes. Mérida, Venezuela

Fecha de Inicio de la investigación: 02/2009

Fecha de terminación de la investigación: /02/20110

#### **RESUMEN**

El análisis de la oferta de agua es de vital importancia en el planteamiento de las potencialidades de una determinada cuenca. La determinación de los caudales disponibles en los diferentes cursos de agua de los ríos, marca el primer paso para conocer la viabilidad de cualquier proyecto de aprovechamiento hidráulico y en especial los proyectos de riego. Es por ello que en la cuenca del río Escalante se procedió a la estimación de las disponibilidades superficiales del recurso agua, y de esta forma poder estimar la oferta de agua futura, con el objetivo de ser aprovechada para el riego de los cultivos agrícolas presentes en el Asentamiento Campesino Santa Lucía del Municipio Zea del Estado Mérida. El análisis hidrológico se llevó a cabo mediante un conjunto de determinaciones analíticas con base en herramientas matemáticas y estadísticas. La primera variable analizada fue la precipitación, a través de un inventario de las estaciones meteorológicas existentes, tanto dentro como en las cercanías a los límites del área ocupada por la cuenca del río Escalante para un total de 72 estaciones meteorológicas analizadas. Se tomó como período de análisis desde el año 1969 hasta 1998 para evaluar la variable precipitación, lo cual representa un registro histórico de 30 años. Con los valores de precipitación media mensual y anual en cada estación se construyeron 13 mapas de isoyetas para la zona de estudio, la cual contiene la microcuenca que aportará el caudal para el riego del Asentamiento Campesino Santa Lucía. Con la información suministrada por los mapas de

isoyetas se determinó la precipitación media tanto para la cuenca del río Escalante como para la microcuenca aportante. La oferta de agua para riego se determinó en función de los valores de escorrentía en el punto de salida de la cuenca, específicamente en la estación hidrométrica Escalante en La Ferreira, y la precipitación media para dicha cuenca; se extrapola la información de caudales hasta el sitio de toma, empleando el método del Factor de Transposición. El cálculo del caudal disponible en el sitio de toma se realizó utilizando la curva de variación estacional de los caudales medios, construida con los datos históricos de la estación hidrométrica Escalante en La Ferreira, para un 80% de probabilidad de ocurrencia, cuya probabilidad es la empleada para las disponibilidades de agua superficial para riego.

**Palabras clave:** Hidrología, Cuenca, Precipitación, Escorrentía, riego, caudal.

#### **ABSTRACT**

Water availability analysis is vital for determining the potential of a river basin. Volume availability along various watercourses is the first step in knowing the availability for any hydraulic project, particularly for irrigation projects. The Escalante River basin was the object of this study, and an estimation of water availability for future crop irrigation in the areas of *Asentamiento Campesino Santa Lucía* (a peasant settlement), at Zea Municipality, State of Mérida (Venezuela) was made. Hydrological analysis was carried out using mathematical and stochastic tools. Precipitation was the first variable. It was analyzed through an inventory of weather stations located around the Escalante river basin. In total, seventy-two weather stations were analyzed. The analysis period for precipitation variable analysis was from 1969 to 1998, i.e, 30 years. Once annual and monthly precipitation data from each station were taken, thirteen isohyets maps were drawn for the study area which, in turn, includes the micro basin from where water can be used for crop irrigation at the settlement. The information from isohyets maps helped determining average precipitation in both Escalante River and micro basin. Water availability was determined by values of runoff coefficients at the basin exit point, specifically at Escalante hydrometric station in La Ferreira. The result was 80% of occurrence probability, which is used for surface water irrigation.

**Keywords:** hydrology, basin, precipitation, isohyets, runoff coefficient, irrigation, water volume

#### **INTRODUCCIÓN**

El agua representa, para la mayoría de las cuencas de Venezuela, un recurso de vital importancia, debido fundamentalmente al proceso productivo asociado a ella, así como a la importancia en el abastecimiento de las poblaciones asentadas en dichas áreas. El agua como elemento tan importante para la vida ha llevado al hombre a establecerse obligatoriamente en las proximidades de las fuentes naturales de este preciado líquido como los cursos de agua, lagos, etc.

El análisis de la oferta de agua es de vital importancia en el planteamiento de las potencialidades de una determinada cuenca. Según Grassi (1998), la determinación de los caudales disponibles en los diferentes cursos de agua de los ríos, marca el primer paso para conocer la viabilidad de cualquier proyecto de aprovechamiento hidráulico y en especial los proyectos de riego. Es por ello que en la cuenca del río Escalante se procedió a la estimación de las disponibilidades superficiales del recurso agua, y de esta forma poder estimar la oferta de agua futura con base en herramientas matemáticas y estadísticas bajo la premisa de que lo que sucedió en el pasado se presentará en el futuro siempre y cuando las condiciones de la cuenca se conserven.

La cuenca del río Escalante se encuentra ubicada en el sector occidental del país, enclavada en los Andes Venezolanos hacia la vertiente oeste de la cordillera de Tovar hasta llegar a la desembocadura en el Lago de Maracaibo. Está localizada en los estados Táchira (Municipio García de Hevia y Panamericano), Zulia (Municipio Colón) y Mérida (Municipio Alberto Adriani y Tovar); con una elevación máxima de 3.200 msnm y una elevación mínima de 1 msnm en la desembocadura en el lago de Maracaibo.

La variación altitudinal que presenta la cuenca del río Escalante desde los 3.200 msnm, hasta su desembocadura en el Lago de Maracaibo, permite diferenciar tres tipos de paisaje: paisaje de montaña, paisaje de piedemonte y paisaje de planicie aluvial. Los elementos y factores del clima son importantes en los estudios hidrológicos por la influencia que tienen en el incremento o decremento, sobre el aporte de agua en los cauces en el tiempo y en el espacio.

La determinación de los caudales disponibles en los diferentes cursos de agua de los ríos y quebradas, es un requisito indispensable para cualquier proyecto de aprovechamiento hidráulico. Es por ello que para la cuenca del río Escalante se procedió a la estimación de las disponibilidades superficiales del recurso agua, apoyándose en análisis estadísticos de los resultados.

Un requerimiento indispensable para lograr un buen manejo es el conocimiento de las disponibilidades de agua y de los valores extremos, o sea, la predicción de la ocurrencia del agua a corto y largo plazo. Según Grassi (1998), la elaboración del plan de riego exige como condición preliminar las predicciones a largo plazo, mientras que el diseño y la conservación de las obras de control y de distribución del agua requieren predicciones a corto plazo. La predicción de las disponibilidades de agua, ya sea al considerarlas como un recurso aprovechable o como un enemigo, que fuera de control, causaría daños costosos, es tarea imprescindible para el riego. El objetivo de la predicción de las disponibilidades de agua es determinar el origen, la ocurrencia, la calidad y variabilidad en el tiempo y espacio de las aguas para su control y uso.

#### **MATERIALES Y MÉTODOS**

El análisis hidrológico se llevó a cabo mediante un conjunto de determinaciones analíticas, para de esta forma determinar la disponibilidad de agua superficial en el punto de toma del río Escalante, Coordenadas E-194.119,976 y N-941.194,935, y así conocer cuál es la magnitud y oportunidad en que se presentan los caudales en determinado período.

## PRECIPITACIÓN

Se realizó un inventario de las estaciones meteorológicas existentes, tanto dentro como en las cercanías a los límites del área ocupada por la cuenca del río Escalante. Muchas de las estaciones han sido eliminadas y otras tienen un periodo de registro muy corto, por lo cual se realizó una selección en función de la calidad y cantidad de información, así como de su ubicación geográfica. En la Tabla 1., se muestran las estaciones seleccionadas para evaluar la variable precipitación dentro del área de estudio.

De las 72 estaciones seleccionadas, 44 de ellas disponen de información completa desde 1968 hasta el año 1997, y 14 hasta 1983, las restantes estaciones disponen de información confiable pero con datos faltantes. Debido a esta falta de información se tomó como período de análisis desde el año 1969 hasta 1998 para evaluar la variable precipitación, lo cual representa un registro histórico de 30 años.

Tabla 1. Estaciones meteorológicas seleccionadas.

ESTACIÓN	TIPO	SERIAL	ESTADO	LATITUD	LONGITUD	ALTITUD (m.s.n.m)	ORGANISMO	INF.DISPONIBLE
Pueblo Hondo	PR	3074	Táchira	081600	715500	2100	Min. Amb.	1952-1998
Zea-La Florida	PR	3142	Mérida	082322	714642	900	Min. Amb.	1968-1997
La Fría-Aeropuerto	PR	3061	Táchira	081426	721555	95	Min. Amb.	1951-1998
Umaquena	PR	8065	Táchira	081633	720348	505	Min. Amb.	1964-1995
Caño Negro	PR	8052	Táchira	082958	715050	151	Min. Amb.	1953-1995
Puente Escalante	PR	8054	Táchira	083000	714600	160	Min. Amb.	1960-1995
La Palmita	PR	8053	Mérida	083303	713602	600	Min. Amb.	1953-1997
El Vigía	PR	3035	Mérida	083627	713747	130	Min. Amb.	1953-1997
Caracoli	PR	3025	Zulia	084538	714412	40	Min. Amb.	1953-2001
El Molino	PR	3023	Mérida	081215	7133	1877	Min. Amb.	1966-2003
Santa Bárbara	CI	2099	Zulia	085835	715357	5	Min. Amb.	1967-2006
La Solita	PR	3000	Zulia	091128	714551	2	Min. Amb.	1967-1984
La Ferreira	PR	3013	Zulia	085038	715854	7	Minis.Amb	1953-2001
El Calvario	PR	3007	Zulia	085234	714138	21	Minis.Amb	1953-2001
Los Guayabones	PR	8072	Mérida	084521	713552	70	Minis.Amb	1973-2001
San Antonio	PR	2010	Zulia	090411	711445	30	Minis.Amb	1974-2001
Mesa Julia	PR	8075	Mérida	085547	711356	950	Minis.Amb	1973-1995
Capazones	PR	8073	Mérida	084915	712641	115	Minis.Amb	1973-1995
La Azulita	PR	3135	Mérida	084330	712631	1000	Minis.Amb	1969-1995
Mucujepe	PR	3199	Mérida	083853	713408		Minis.Amb	1980-1997
San Pedro-Chiguara	PR	8056	Mérida	083025	713430	1078	Minis.Amb	1970-1998
Mesa Bolívar	PR	3052	Mérida	082842	713505	1000	Minis.Amb	1949-1997
El Mesón	PR	3108	Mérida	082445	713540	1264	Minis.Amb	1968-1998
Páramo El Molino	PR	3070	Mérida	081831	713424	2750	Minis.Amb	1962-1983
Guaraque-La Quinta	PR	3030	Mérida	080855	714238	1710	Minis.Amb	1966-1998
Pregonero	PR	3097	Táchira	080122	714553	1260	Minis.Amb	1952-1998
Hacienda Valle Negro	PR	8067	Táchira	080300	715000	2500	Minis.Amb	1973-1998
Páramo El Batallón	PR	8066	Táchira	080830	715340	3165	Minis.Amb	1968-1998
La Honda	PR	4091	Táchira	075455	714427	1160	Minis.Amb	1975-1998
La Horniga	PR	4092	Táchira	074924	714850	1005	Minis.Amb	1974-1998
El Junco	PR	4028	Táchira	074915	721002	1280	Minis.Amb	1950-1984
Zorca	PR	4026	Táchira	074800	721600	850	Minis.Amb	1954-1998
San Antonio-Táchira	PR	4025	Táchira	074900	722700	415	Minis.Amb	1950-1977
San Cristóbal	C3	4038	Táchira	074800	721347	800	Minis.Amb	1952-1984
Coedero	PC	4016	Táchira	075129	721048	1000	Minis.Amb	1952-1984
Palmin	PC	4027	Táchira	075030	721336	1100	Minis.Amb	1952-1992
El Recreo	PR	4024	Táchira	074718	722230	1035	Minis.Amb	1952-1998
La Mulera	PR	4061	Táchira	074850	722214	1120	Minis.Amb	1964-1984

Tabla 1. Continuación

ESTACIÓN	TIPO	SERIAL	ESTADO	LATITUD	LONGITUD	ALTITUD(m.s.n.m)	ORGANISMO	INF.DISPONIBLE
Capacho	PR	4020	Táchira	074942	721812	1264	Miris.Amb	1956-1984
San Antonio-Táchira	PR	4021	Táchira	074930	722630	431	Miris.Amb	1952-1984
San Antonio del Táchira-B.A.	AI	4022	Táchira	075100	722700	377	SM	1950-1992
Uzoña	PC	4012	Táchira	075500	722700	350	Miris.Amb	1950-1998
Borota	PR	4071	Táchira	075407	721410	1380	Miris.Amb	1968-1984
Lebatem	PC	4014	Táchira	075600	721444	920	Miris.Amb	1948-1992
Michelema	PC	4003	Táchira	075738	721437	1200	Miris.Amb	1949-1984
Queziguá	PC	4017	Táchira	075517	720954	1620	Miris.Amb	1952-1984
Los Laureles	PR	4018	Táchira	075508	720727	1520	Miris.Amb	1952-1998
Páramo El Zumbador	C2	4072	Táchira	075904	720545	2570	Miris.Amb	1976-2005
Los Pañiles	PR	4003	Táchira	075627	715727	1760	Miris.Amb	1974-1998
San José Belívar	PC	4005	Táchira	075455	715800	1420	Miris.Amb	1952-1984
Páramo El Zumbador	PR	4004	Táchira	075832	720505	2500	Miris.Amb	1952-1978
El Cobo	PC	3094	Táchira	000213	720340	2100	Miris.Amb	1954-1992
Sebonzo	PR	3085	Táchira	000857	720430	840	Miris.Amb	1950-1984
Colón	C1	8092	Táchira	000200	721590	760	SM	1971-1992
Estación Táchira	PR	3081	Táchira	000715	721597	340	Miris.Amb	1951-1998
Colón-Escuela Federal	PR	3091	Táchira	000145	721591	880	Miris.Amb	1949-1998
San Pedro del Río	PR	4002	Táchira	075933	721610	760	Miris.Amb	1952-1998
Mesa de Sebonzo	PR	3082	Táchira	001000	720947	483	Miris.Amb	1952-1998
Sabana Grande	PR	3073	Táchira	001200	715643	2090	Miris.Amb	1952-1998
Las Tapias	PR	3132	Mérida	001341	715941	1920	Miris.Amb	1968-1998
Páramo El Quemado	PR	3005	Mérida	001445	714401	2212	Miris.Amb	1966-1998
Tosar	C2	3141	Mérida	002030	714440	952	Miris.Amb	1968-1984
Aldea Pajitas	PR	8074	Táchira	002640	715638	90	Miris.Amb	1973-1995
El Olimpo	PR	8071	Zulia	003216	720933	24	Miris.Amb	1973-2001
El Guayabo	PR	3034	Zulia	003738	722016	28	Miris.Amb	1967-1983
Tostas	PR	8057	Mérida	002536	712022	2400	Miris.Amb	1970-1991
La Cuchilla	PR	3040	Mérida	003000	712110	2280	Miris.Amb	1963-1998
Jají	PR	3109	Mérida	003444	712095	1827	Miris.Amb	1970-1998
Mesa de Ejido	PR	3042	Mérida	003300	711706	1520	Miris.Amb	1948-1998
Corcha	PR	2095	Zulia	000107	714593	5	Miris.Amb	1953-1984
San Juan de Lagarillas	PR	3170	Mérida	003040	712114	1050	Miris.Amb	1970-1997
Encorrados	PR	2092	Zulia	000332	721411	8	Miris.Amb	1953-2002

En las planillas originales de los registros históricos de las estaciones existen datos faltantes, así como estaciones que presentan un registro más corto que el seleccionado, por tal motivo según Beltrán (2007), fue necesario completar los registros, haciendo uso del método de correlación lineal aplicando el siguiente procedimiento:

- \* Para cada mes del año se construyó una matriz de correlación de la estación en estudio con cada una de las estaciones con registro completo y con una estación ficticia, la cual se obtuvo con los promedios para cada año y para el mes en consideración. La Tabla 2, muestra la respectiva matriz.

Tabla 2. Matriz de correlación (Mes de Enero)

Estaciones	Estaciones											
	3074	3142	3061	8065	8052	8054	8053	3035	3025	3023	2099	3000
3061	0,649	0,797		0,723	0,652	0,718	0,445	0,468				
3025	0,478	0,536	0,374	0,653	0,385	0,522	0,569	0,594				
3023	0,640	0,675	0,350	0,619	0,388	0,552	0,626	0,630	0,337			
3013	0,559	0,655	0,471	0,497	0,383	0,522	0,474	0,495	0,647	0,524	0,705	0,611
3007	0,504	0,693	0,427	0,675	0,342	0,482	0,710	0,721	0,532	0,414	0,715	0,825
3030	0,708	0,656	0,424	0,550	0,454	0,540	0,556	0,610	0,546	0,580	0,397	0,695
8066	0,810	0,800	0,535	0,722	0,419	0,510	0,539	0,533	0,395	0,669	0,287	0,598
4024	0,509	0,757	0,449	0,662	0,405	0,513	0,627	0,673	0,400	0,486	0,415	0,534
4012	0,537	0,555	0,458	0,523	0,352	0,739	0,665	0,539	0,551	0,444	0,073	0,451
4018	0,774	0,799	0,612	0,751	0,354	0,491	0,605	0,599	0,479	0,644	0,584	0,646
3081	0,650	0,794	0,825	0,721	0,605	0,669	0,468	0,475	0,361	0,393	0,393	0,661
4002	0,577	0,807	0,592	0,691	0,489	0,559	0,583	0,640	0,313	0,507	0,213	0,443
3082	0,701	0,768	0,849	0,732	0,612	0,686	0,495	0,512	0,340	0,446	0,243	0,652
3073	0,898	0,732	0,563	0,786	0,423	0,575	0,556	0,521	0,341	0,669	0,517	0,764
3132	0,435	0,315	0,042	0,556	0,289	0,376	0,320	0,527	0,458	0,458	0,418	0,576
3040	0,285	0,279	0,151	0,476	0,095	0,383	0,657	0,679	0,640	0,384	0,203	0,679
3042	0,577	0,460	0,468	0,592	0,261	0,599	0,400	0,398	0,237	0,581	0,235	0,406
2092	0,542	0,554	0,495	0,596	0,226	0,279	0,468	0,422	0,554	0,211	0,663	0,803
EST.PROM	0,776	0,853	0,740	0,830	0,608	0,751	0,756	0,763	0,675	0,671	0,558	0,789
Max.Coef	0,898	0,853		0,830	0,652	0,751	0,756	0,763	0,675	0,671	0,715	0,825

\*. Se seleccionó como estación patrón, aquella con el mayor coeficiente de correlación lineal y se determinaron los parámetros "a" y "b" de la ecuación de regresión utilizando el programa Microsoft Office Excel 2003, según Rodríguez (2005). Una vez encontrados estos parámetros se procedió al cálculo de los datos faltantes para las estaciones seleccionadas.

\*. Seguidamente luego de determinar los parámetros de la ecuación de regresión se realizó una prueba de significación del coeficiente de correlación, para lo cual se usó el estadístico (tc) el cual esta representado por la ecuación:

$$t_c = \frac{r\sqrt{Nr-2}}{\sqrt{1-(r)^2}} \quad (1)$$

Donde:

$t_c$  El estadístico  
 $Nr$  El número de años del registro  
 $r$  El coeficiente de correlación

Proponiendo la siguiente hipótesis nula  $H_0$ :  $r$  no es diferente a cero. De esta manera se determinó el valor de  $(t)$  en la Distribución "t" de Student con "v" grados de libertad, para un nivel de significación del 5%. Es decir:

Para  $(t_{\alpha/2}, Nr)$ , si  $t_c$  esta comprendido entre  $-(t_{\alpha/2}, Nr)$  y  $(t_{\alpha/2}, Nr)$  se acepta  $H_0$ , de lo contrario se rechaza.

- Cómo existe un grado de correlación mínimo aceptable para extender un registro, fue necesario determinar si se ganaba o no información al completarlo. Se usó la fórmula de Langbein para determinar el período de registro efectivo, a continuación se presenta dicha ecuación:

$$N = \frac{Nr + Ne}{1 + \frac{Ne}{Nr - 2} (1 - \Gamma^2)} \quad (2)$$

Donde:

**N** La longitud efectiva de registro  
**Nr** El número de años del registro corto  
**Ne** El número de años a extender  
**Ā** El coeficiente de correlación

Si la longitud efectiva de registro (N) es mayor que el número de años del registro corto (Nr) se gana información al completar los registros.

### CONSTRUCCIÓN DE CURVAS ISOYETAS

Según Guevara y Cartaya (1991), se llama isoyeta a la curva que representa el lugar geométrico de los puntos que tienen la misma precipitación en un período de tiempo considerado. En este método se requiere el discernimiento del analista, pues debe interpretar toda la información disponible no sólo en cuanto a la morfología de la cuenca sino del comportamiento, trayectorias y tipos de tormentas.

Para hacer el trazado isoyético se ubicaron en un plano, con curvas de nivel, las estaciones pluviométricas con sus respectivos valores de precipitación, recurriendo también a las estaciones vecinas a la cuenca en estudio. El plano de localización geográfica de las estaciones meteorológicas seleccionadas lo muestra

la figura 1. Con los valores de precipitación media se construyeron 13 mapas de isoyetas para la zona en estudio, la cual es la cuenca del río Escalante que a su vez contiene la microcuenca que aportará el caudal necesario para el desarrollo agrícola del Asentamiento Campesino Santa Lucía. Estos mapas se elaboraron con el programa Surfer versión 8.0, según la Golden Software (2006).

#### **CÁLCULO DE LA PRECIPITACIÓN MEDIA CUENCA DEL RÍO ESCALANTE**

La determinación de la precipitación media por isoyetas (Duque 1985), consistió en que, una vez dibujado el mapa de isoyetas se calcularon las áreas dentro de la cuenca entre cada curva del mapa, estas áreas se multiplicaron por el valor de la precipitación entre las curvas y luego se dividió el resultado total entre el área total de la cuenca.

#### **CÁLCULO DE LA PRECIPITACIÓN MEDIA MICROCUENCA APORTANTE**

El procedimiento fue el mismo aplicado para la cuenca del río Escalante, solo que, la microcuenca aportante del caudal para suplir las demandas de riego, se encuentra enmarcada dentro de ella. De esta manera se mantuvieron los mismos mapas isoyéticos trabajándose sobre el área correspondiente a la microcuenca aportante.

#### **ESCORRENTÍA**

Para el análisis de la escorrentía se utilizó la información aportada por la estación hidrométrica Escalante en La Ferreira, ubicada en el punto de salida de la cuenca. En la Tabla 3, se presenta dicha estación con sus coordenadas y período de registro.

Tabla 3. Estación hidrométrica Escalante en La Ferreira.

ESTACIÓN	TIPO	SERIAL	ESTADO	LATITUD	LONGITUD	ALTITUD (m.s.n.m)	ORGANISMO	INF.DISPONIBLE
Escalante en La Ferreira	11	0145	Zulia	085028	715844	7	Minis.Amb	1954-1986

Con los registros históricos de caudales en la estación hidrométrica Escalante en Ferreira se realizó un análisis de frecuencia para una probabilidad establecida, ya que los valores mensuales de estos factores tienen una variabilidad en los años de registro y los valores promedios no reflejan las condiciones reales.

La finalidad del análisis de frecuencia fue relacionar la magnitud de los caudales a través del uso de una distribución de probabilidades, basándose en los datos de caudales registrados en la estación hidrométrica.

El cálculo del gasto mensual se realizó ajustando los datos mensuales a una distribución estadística, calculándose el caudal confiable para una probabilidad del 80% de ocurrencia, utilizando el modelo AJUSTEV3 desarrollado por Duque (2002), el cual realiza un análisis de frecuencia teórica con base en diversas distribuciones que consideran aspectos de índole estadístico.

El modelo fue desarrollado para el ajuste de una serie de datos a una distribución estadística, bajo lenguaje FORTRAN y consta de una serie de subrutinas que permiten realizar:

- Análisis de frecuencia de datos agrupados
- Ajuste de una serie de datos a una a las siguientes distribuciones estadísticas:

- Distribución Normal
- Distribución Log Normal
- Distribución Gumbel
- Distribución Log Gumbel
- Distribución Pearson3
- Distribución Log Pearson3

Para el ajuste de las distribuciones se realizó un procedimiento analítico que se basa en determinar los parámetros estadísticos de la serie de datos, entre ellos; la media, la desviación estándar, el coeficiente de asimetría y el coeficiente de kurtosis.

El ajuste analítico para la distribución Extrema tipo I, tiene una distribución acumulada dada por:

$$P(Y \leq y) = F_Y(y) = e^{-\alpha(y-\beta)} \quad (3)$$

$$\alpha = \frac{1,281}{S_y} \quad (4)$$

$$\beta = \bar{y} - 0,4506 S_y \quad (5)$$

Donde:

- a y b: Los parámetros de la distribución  
 y : La media de los valores  
 S<sub>y</sub> : La desviación estándar de la serie de datos

Calculada la media y la desviación estandar, se determinaron los valores de los parámetros de la distribución. El período analizado para la estación hidrométrica Escalante en Ferreira, fue desde 1955 hasta 1986 para los caudales máximo y mínimo instantáneos; y para el caudal medio, fue desde 1954 a 1986.

De esta manera, se construyó la curva de duración de caudales a través del análisis de frecuencia de datos agrupados, y la curva de variación estacional, a través del ajuste a la distribución Log Pearson3, por presentar los valores del error cuadrático más pequeños.

#### DISPONIBILIDAD DE AGUA SUPERFICIAL

La metodología empleada para la determinación de la oferta de agua para riego, consistió en que teniendo los valores de esorrentía en el punto de salida de la cuenca, específicamente en la estación hidrométrica Escalante en La Ferreira, y la precipitación media para dicha cuenca, se extrapoló la información de caudales hasta el sitio de toma, empleando el método del Factor de Transposición ( $fc$ ), el cual queda determinado por la siguiente ecuación:

$$fc = \left( \frac{Ae Pptme}{Ap Pptmp} \right) \quad (6)$$

Donde:

$fc$  El factor de transposición

$Ae$  El área de la cuenca en estudio

$Ap$  El área de la cuenca patrón

$Pptmp$  La precipitación media de la cuenca en estudio

$Pptmp$  La precipitación media de la cuenca patrón

La cuenca patrón esta referida a la cuenca del río Escalante y la cuenca en estudio a la microcuenca aportante del caudal para riego. Este factor de transposición se calculó para cada mes del año, de esta manera el caudal disponible en el sitio de toma queda determinado por el producto entre el valor del factor de transposición y el valor del caudal en la cuenca patrón para cada uno de los meses del año, según los valores obtenidos de la curva de variación estacional para los caudales medios, y para un 80% de probabilidad de ocurrencia. El caudal disponible es el siguiente:

$$Qe = (fc Qp) \quad (7)$$

Donde:

$Q_e$  El caudal en el sitio de toma para el mes determinado

$f_c$  El factor de transposición para el mes determinado

$Q_p$  El caudal de la cuenca patrón para el mes determinado

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Tabla 4, se presentan los valores de precipitación media para cada mes y cada estación, para el período 1969-1998.

Tabla 4. Promedios mensuales y anuales de precipitación en (mm), estaciones seleccionadas período histórico 1969-1998.

Estación		Mes												ANUAL
Serial	Nombre	E	F	M	A	M	JUN	JUL	A	S	O	N	D	
3074	Pueblo Hondo	27,9	34,7	58,5	108,7	98,4	46,4	45,5	50,5	81,1	118,4	95,7	42,8	808,6
3142	Zoo-La Florida	72,7	64,2	67,0	132,2	125,5	74,9	92,9	91,7	95,7	168,6	163,2	82,8	1231,3
3061	La Fila- Aeropuerto	146,2	154,0	193,5	302,1	242,0	111,5	141,7	180,9	248,5	278,0	297,0	198,6	2494,0
8065	Umapem	139,07	171,7	176,6	284,7	165,1	99,2	89,2	105,0	132,3	251,5	249,7	206,8	2070,9
8052	Cabo Negro	120,1	135,5	175,8	214,2	206,6	142,5	125,5	137,3	138,1	212,5	231,9	152,6	1988,7
8054	Paucic Escabano	113,7	113,3	147,0	193,6	177,2	128,3	135,6	141,4	133,3	204,2	211,3	141,0	1836,0
8053	La Palmira	75,2	80,9	90,4	125,6	111,2	59,6	52,9	72,5	100,7	163,4	172,9	115,3	1220,4
3035	El Vigió	128,1	126,2	147,2	230,6	172,8	97,2	104,6	100,6	128,0	215,9	218,3	186,6	1856,1
3025	Caracoli	104,8	81,6	117,7	219,9	166,6	132,1	127,0	108,7	111,1	161,2	214,3	197,1	1742,0
3023	El Melino	16,5	19,7	39,1	84,4	92,7	97,0	96,2	108,1	105,9	108,9	98,1	36,8	905,3
2099	Santa Bárbara	45,5	53,4	83,1	156,1	135,6	107,5	86,7	102,5	96,1	160,3	142,5	112,1	1281,4
3000	La Solita	102,7	94,5	99,6	157,3	175,3	141,7	162,5	170,0	174,4	228,5	202,8	181,8	1851,1
3013	La Femeira	47,9	64,1	79,4	131,0	156,9	107,0	114,5	111,7	93,6	171,7	174,6	92,6	1345,2
3007	El Calvario	98,4	93,5	126,5	184,3	185,7	115,1	114,1	91,6	117,3	155,5	190,4	153,4	1625,8
8072	Los Guarabones	145,4	123,2	214,5	262,9	177,3	107,3	119,0	121,9	109,1	195,9	196,8	160,8	1954,1
2010	San Antonio	69,6	95,2	158,9	163,5	138,7	91,1	76,2	69,2	96,8	119,8	114,8	98,8	1286,5
8075	Mesa Julio	99,6	116,3	156,0	238,5	234,8	168,6	156,1	146,0	143,6	177,0	199,4	149,6	1985,6
8073	Capasones	95,3	111,7	181,8	197,5	166,5	179,1	118,5	135,1	129,6	178,5	180,7	117,7	1792,3
3135	La Azuñita	60,0	70,4	92,3	138,6	162,6	126,8	119,9	141,2	140,9	161,7	136,6	102,6	1453,6
3199	Mucujepe	114,5	146,4	174,0	212,9	173,0	95,8	95,1	95,0	156,1	218,5	215,9	192,6	1889,7
8056	San Pedro- Chiguari	48,1	49,7	55,8	79,6	78,0	34,8	35,2	61,7	61,2	137,4	110,1	61,4	813,0
3052	Mesa Bolívar	59,5	53,2	69,8	100,7	97,6	57,5	44,5	67,5	85,6	142,1	115,9	74,2	959,2

Agricultura Andina / Volúmen 18 Enero - Extraordinario 2010

Hernández B., José D.

3108	El Mesón	49,4	69,4	88,3	175,2	172,7	86,1	86,2	99,1	130,6	168,6	160,1	83,2	1368,7
3070	Piramo El Molino	37,6	58,3	77,2	168,2	137,1	65,4	66,3	99,7	125,9	172,8	159,0	97,2	1264,7
3030	Guarapo-La Quina	13,5	14,1	29,1	100,0	122,7	121,5	117,8	113,1	122,3	111,1	81,5	32,5	979,1
3097	Pugonero	11,1	15,4	34,5	119,9	173,4	194,3	220,4	195,4	202,0	132,0	86,0	28,6	1413,2
8067	Hacienda Valle Negro	18,3	26,2	56,0	137,5	168,3	190,9	215,7	190,6	155,8	145,3	82,7	38,6	1426,0
8066	Piramo El Batallón	26,7	35,5	61,4	111,4	113,8	99,2	118,4	106,5	97,9	122,4	94,1	49,7	1037,0
4091	La Honda	24,6	29,2	67,3	172,4	281,2	342,6	375,8	349,5	310,6	254,7	164,9	73,5	2446,3
4092	La Herriga	35,9	38,5	82,6	234,7	381,5	415,9	440,6	413,4	371,2	343,8	273,7	112,2	3144,1
4028	El Junco	28,7	37,8	56,5	121,9	145,8	160,9	182,5	138,9	145,4	141,9	116,9	84,5	1361,7
4026	Zerca	22,7	25,3	39,8	94,0	115,4	134,7	139,6	125,2	132,1	136,4	100,5	67,4	1133,3
4025	San Antonio-Táchira	35,6	22,6	42,0	82,6	53,0	45,7	21,6	22,0	66,8	119,6	99,0	53,9	664,5
4038	San Cristóbal	30,4	26,0	40,6	100,2	133,5	153,9	155,2	128,5	153,4	136,8	123,5	56,2	1258,0
4016	Codero	33,7	34,1	52,8	122,9	107,4	117,3	146,8	120,0	136,2	158,6	120,6	57,8	1208,3
4027	Palmita	20,1	24,6	25,0	96,3	96,6	101,4	104,5	105,4	117,0	113,5	78,5	41,7	924,6
4024	El Recreo	39,8	44,7	58,0	118,0	92,4	98,8	105,7	85,1	84,4	141,8	115,5	63,5	1047,7
4061	La Malem	41,4	45,9	45,8	116,4	104,1	131,8	134,1	96,1	95,1	128,6	110,7	60,1	1110,2
4020	Capacho	20,6	26,4	42,3	92,0	100,9	116,0	118,9	93,0	99,2	113,4	111,3	39,5	973,4
4021	San Antonio-Táchira	33,7	40,0	49,9	93,8	69,9	35,0	29,5	25,5	59,3	121,0	104,4	69,9	731,9
4022	San Antonio del Táchira-B.A.	32,5	33,2	56,5	95,0	62,4	29,5	26,4	30,1	64,5	115,5	96,0	58,7	700,3
4012	Ureña	35,8	38,7	67,1	96,8	59,0	34,6	25,5	32,0	59,3	115,9	97,8	65,8	730,1
4071	Bocora	25,5	23,8	35,8	96,2	74,7	60,5	58,5	60,1	90,2	132,0	104,0	58,5	819,9
4014	Lebucma	24,2	25,3	34,5	85,1	54,9	46,3	37,5	46,2	73,4	10,18	90,1	50,0	669,3
4003	Michelena	26,6	32,5	42,2	115,7	68,5	45,1	38,6	62,4	85,0	128,4	118,6	57,1	820,6
4017	Quenipato	12,6	24,3	36,8	136,7	146,0	155,1	164,9	180,2	158,6	149,8	117,3	45,3	1307,6
4018	Los Laureles	29,1	34,3	55,2	121,8	112,7	131,8	165,2	123,3	119,0	146,3	116,5	65,7	1221,0
4072	Piramo El Zumbador	27,9	34,7	46,6	107,2	88,0	89,2	108,9	99,8	104,1	134,6	116,4	55,2	1012,6
4093	Los Pañales	15,6	22,6	45,6	136,7	163,2	188,0	193,1	173,9	166,6	154,6	107,3	48,4	1415,5
4005	San José Bolívar	21,3	27,9	40,1	125,9	149,7	166,0	196,0	162,8	146,1	120,5	90,5	43,1	1289,9
4004	Piramo El Zumbador	20,0	31,4	43,9	111,3	82,6	81,6	93,6	93,3	98,5	116,7	107,9	65,4	946,4
3094	El Cobre	18,1	27,7	38,8	112,1	96,6	49,1	58,7	59,4	90,6	125,0	105,7	57,8	841,7
3085	Seboruco	23,4	67,9	45,8	121,9	105,8	43,2	45,0	59,0	71,7	137,2	109,0	52,8	882,9
8092	Collón	68,9	123,5	105,0	161,7	139,9	76,1	98,6	94,2	155,6	196,2	170,5	147,6	1526,8
3081	Estación Táchira	145,6	155,7	198,6	240,1	231,5	211,2	228,9	240,4	243,6	326,1	279,7	191,7	2693,0
3091	Collón-Escuela Federal	83,3	82,7	100,1	152,8	117,0	64,2	73,2	78,6	121,6	205,7	190,9	135,7	1405,9
4002	San Pedro del Río	41,8	53,0	51,8	99,1	65,5	44,7	43,0	45,7	83,3	150,1	126,7	77,9	882,8
3082	Mesa de Seboruco	152,3	152,2	169,2	298,6	231,0	130,0	113,8	136,6	225,6	285,1	271,1	172,2	2337,7
3073	Sabana Grande	37,9	35,3	59,9	110,7	89,2	45,4	41,1	47,3	78,0	119,4	97,0	53,9	815,0
3132	Los Tapias	26,6	30,6	54,3	90,9	83,6	63,2	71,2	70,0	84,4	95,2	81,0	37,0	787,9
3065	Piramo El Quemado	38,6	49,8	65,1	141,1	166,5	168,3	190,5	171,5	170,2	177,2	149,6	78,0	1566,3
3141	Tovar	33,9	33,4	55,4	97,6	126,1	80,1	91,3	103,8	117,5	146,5	120,7	55,3	1061,6
8074	Aldca Pagitas	118,8	140,4	223,9	297,6	163,5	122,9	110,7	150,0	134,3	237,0	244,6	178,9	2122,6
8071	El Olimpo	109,8	81,2	101,4	215,0	215,3	113,4	118,3	104,3	145,9	216,6	231,8	160,4	1813,4
3034	El Guayabo	72,0	52,7	105,5	250,2	276,4	106,3	129,1	139,0	147,3	199,1	224,0	144,1	1844,8
8057	Tontes	7,3	9,2	21,6	54,3	86,5	46,7	34,2	55,5	76,3	80,8	35,6	18,8	526,9
3040	La Cochilla	26,2	35,2	53,1	129,6	180,3	135,1	145,7	188,8	203,3	175,4	125,0	58,3	1456,1
3149	Jaji	53,8	44,4	58,1	110,0	137,5	90,6	72,4	83,8	132,1	172,7	199,7	104,5	1261,6
3042	Mesa de Ejido	30,6	24,6	40,8	90,4	104,7	63,2	58,8	65,5	98,0	118,9	96,6	46,7	838,8
2095	Crocha	73,5	71,1	93,1	154,8	135,8	93,6	79,1	99,4	106,2	151,1	125,5	117,0	1300,3
3170	San Juan de Loguánillas	11,4	12,1	23,0	63,4	66,7	36,1	30,7	44,5	72,3	77,8	46,0	20,4	504,3
2092	Encotrados	30,6	18,5	44,2	144,0	169,3	154,0	13,6	147,4	140,7	168,6	172,8	85,7	1405,2



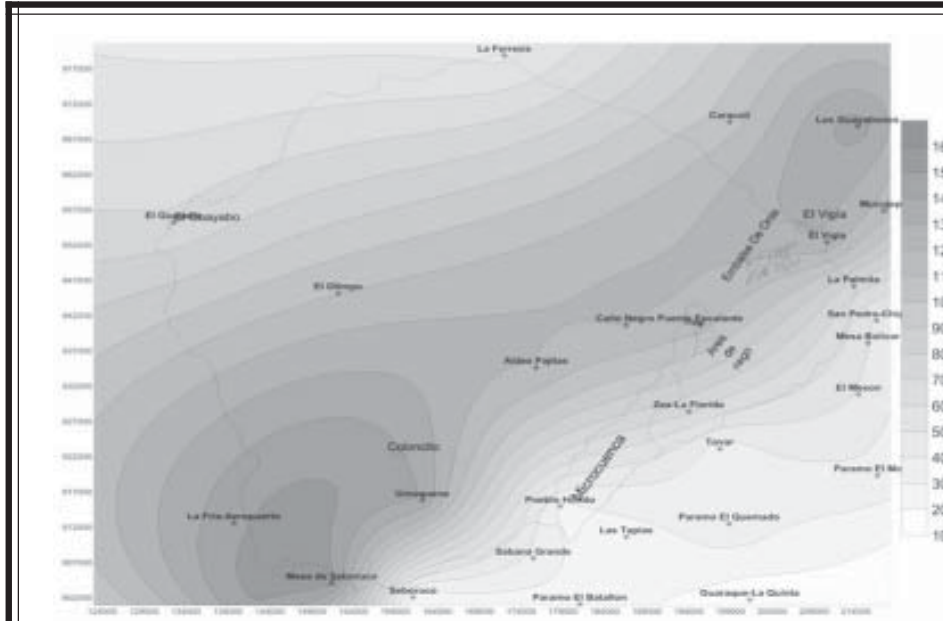


Figura 2. Mapa isoyético para el mes de Enero.

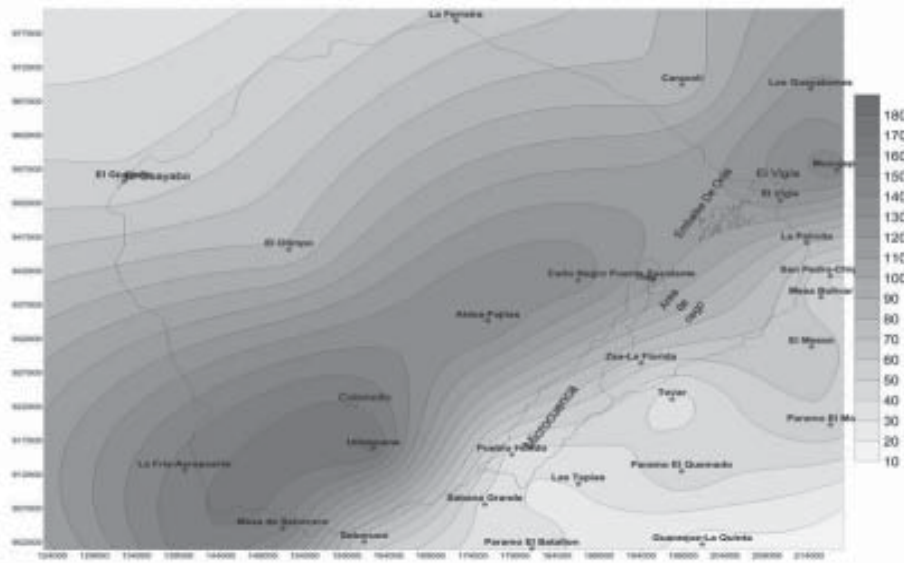


Figura 3. Mapa isoyético para el mes de Febrero.

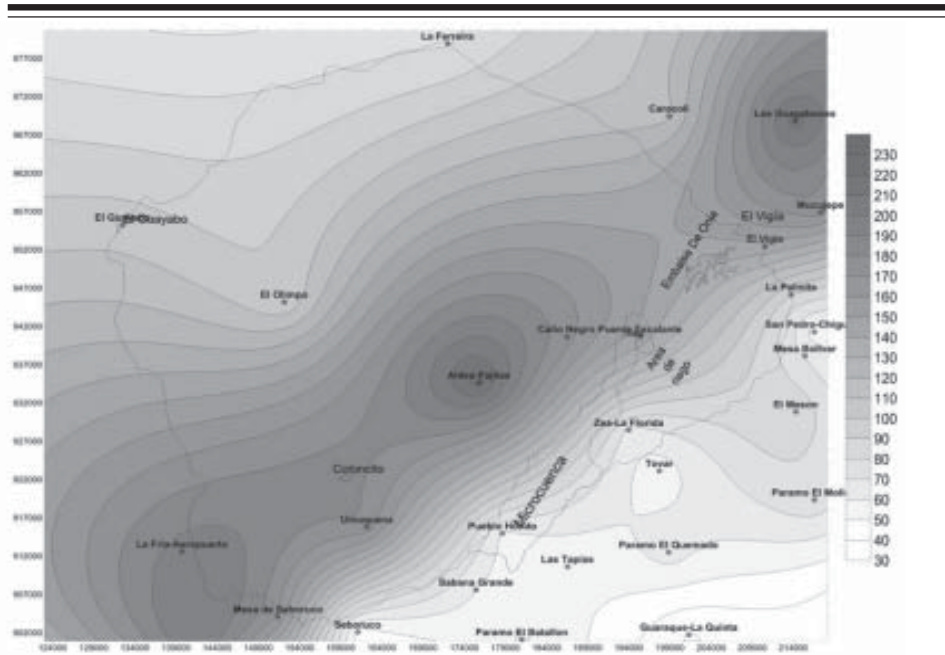


Figura 4. Mapa isoyético para el mes de Marzo.

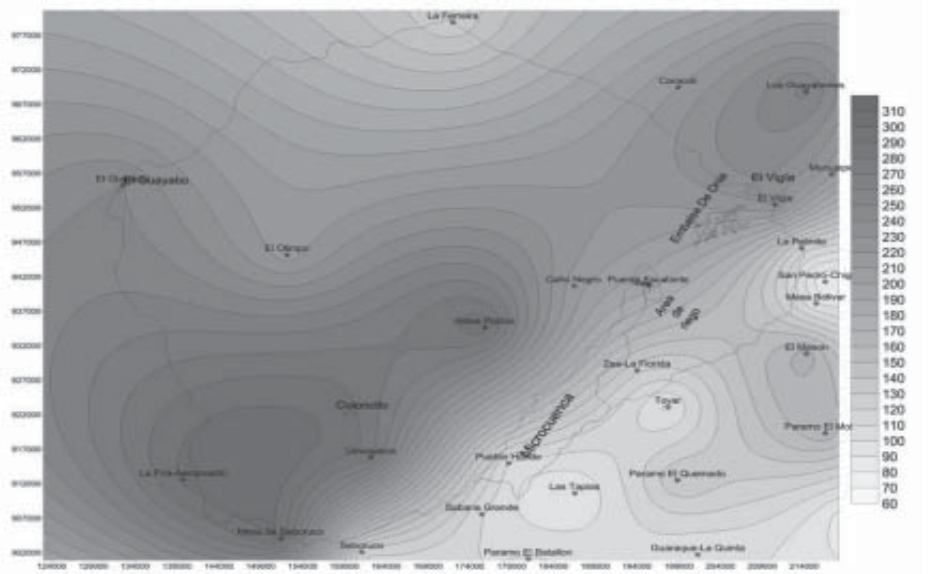


Figura 5. Mapa isoyético para el mes de Abril.

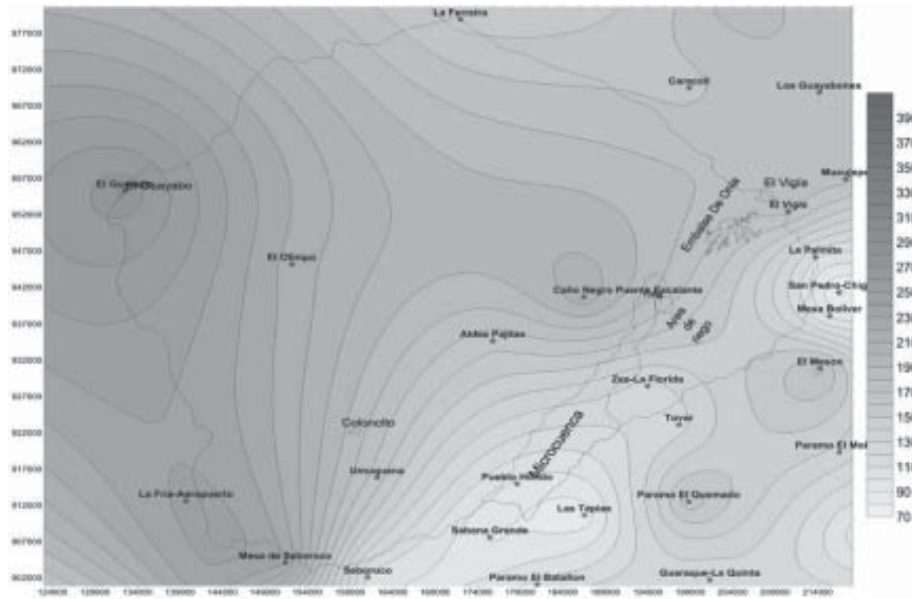


Figura 6. Mapa isoyético para el mes de Mayo.

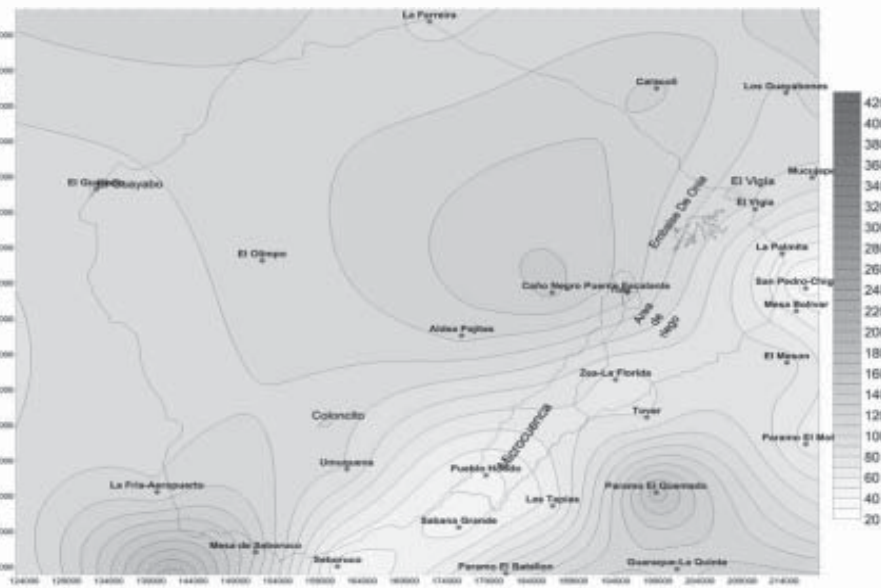


Figura 7. Mapa isoyético para el mes de Junio.



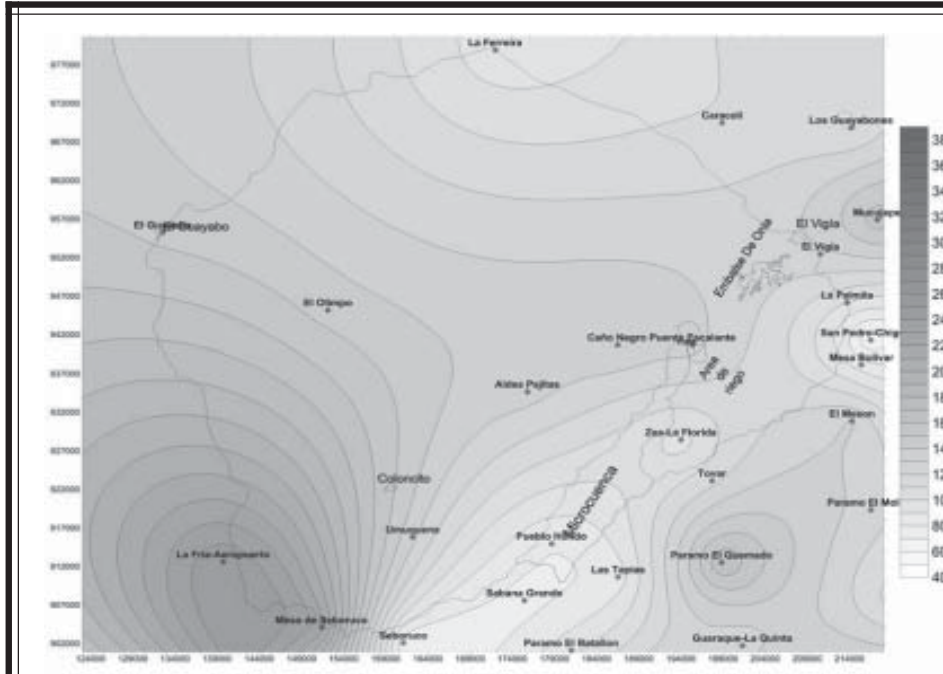


Figura 10. Mapa isoyético para el mes de septiembre.

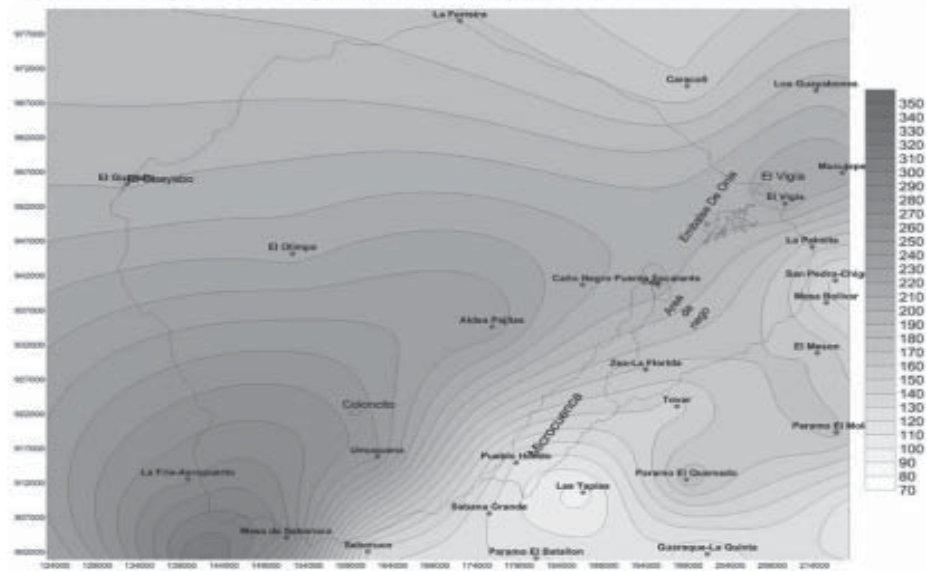


Figura 11. Mapa isoyético para el mes de Octubre.

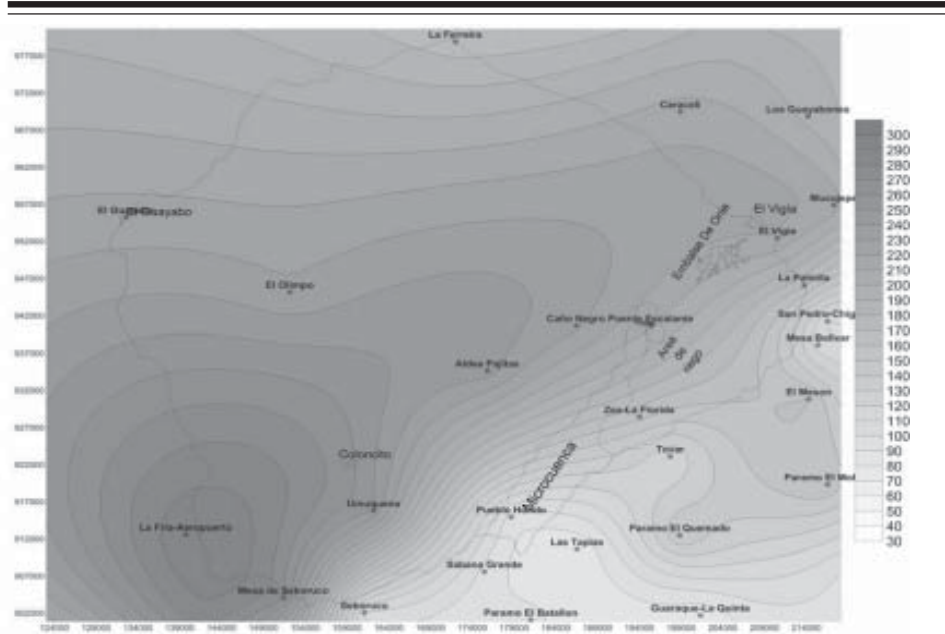


Figura 12. Mapa isoyético para el mes de Noviembre.

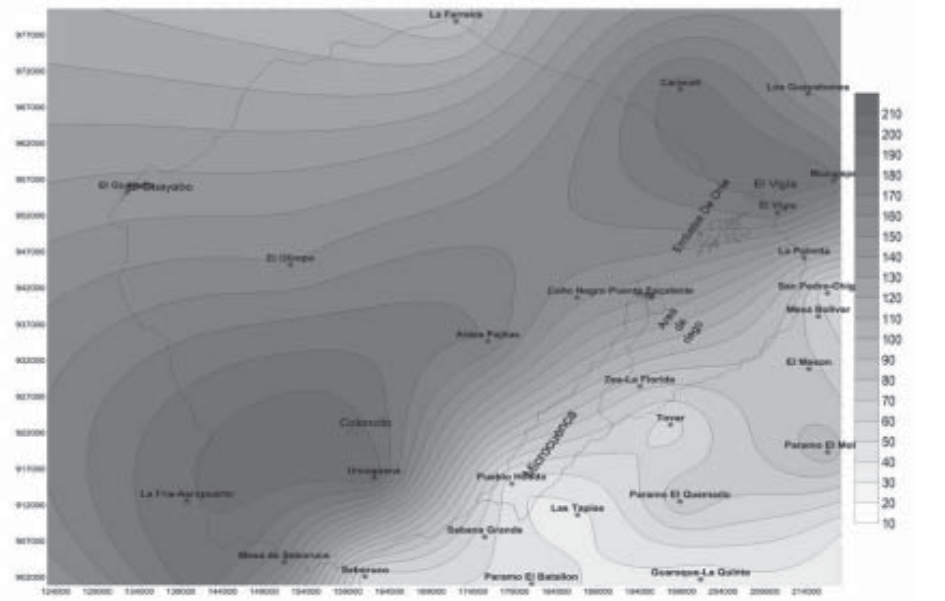


Figura 13. Mapa isoyético para el mes de Diciembre.

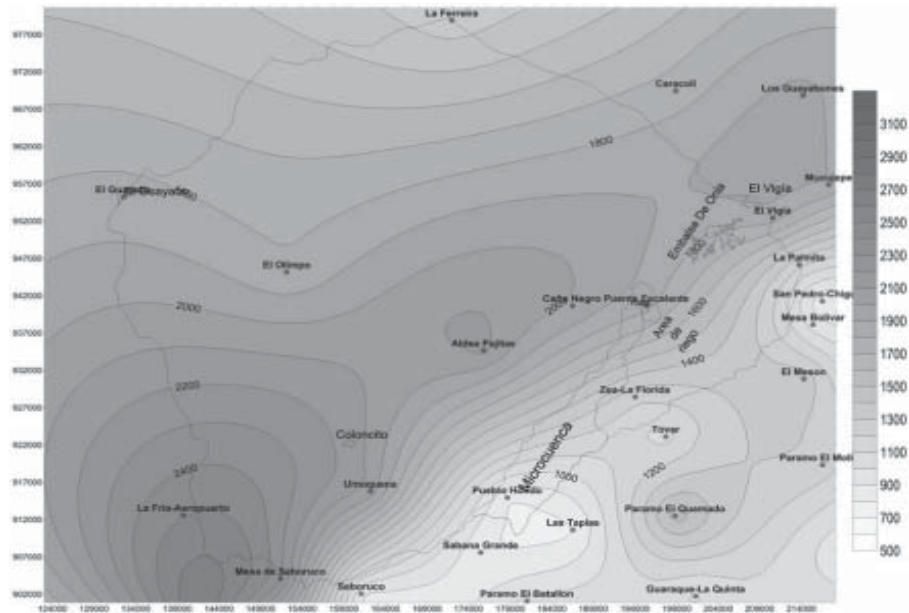


Figura 14. Mapa isoyético Anual.

La Figura 14 muestra la variación espacial de la precipitación media anual, en la cual se puede observar un gran centro de alta precipitación en la Estación Táchira (3081) con 2.693,0 mm anuales y dos centros de alta de menor intensidad en las estaciones Aldea Pajitas (8074) y Los Guayabones (8072) con 2.122,6 y 1934,1 mm respectivamente. Se observan también, cuatro centros de baja precipitación en las estaciones Las Tapias (3132) con 787,9 mm, Tovar (3141) con 1.061,6 mm, San Pedro-Chiguará (8056) con 813,0 mm, y La Ferreira (3013) con 1.345,2 mm.

La Tabla 5, muestra la precipitación media mensual en (mm), cuenca del río Escalante y microcuenca aportante periodo 1969-1998.

	E	F	M	A	M	JUN	JUL	A	S	O	N	D	ANUAL
Cuenca del Río Escalante	102,7	103,7	135,6	222,3	187,5	110,1	112,0	119,7	135,0	209,6	221,1	152,9	1812,1
Microcuenca Aportante	60,4	64,8	90,3	142,8	122,3	75,6	79,9	87,2	99,6	153,6	143,5	79,9	1199,8

La Tabla 6, muestra los valores del factor de transposición para cada uno de los meses del año.

Tabla 6. Factor de transposición ( $f_c$ ).

Mes	Precipitación media (mm)		$f_c$
	Cuenca Patrón	Cuenca Estudio	
Enero	102,7	60,4	0,023
Febrero	103,7	64,8	0,024
Marzo	135,6	90,3	0,026
Abril	222,3	142,8	0,025
Mayo	187,5	122,3	0,025
Junio	110,1	75,6	0,026
Julio	112,0	79,9	0,027
Agosto	119,7	87,2	0,028
Septiembre	135,0	99,6	0,028
Octubre	209,6	153,6	0,028
Noviembre	221,1	143,5	0,025
Diciembre	152,9	79,9	0,020
Área (Km <sup>2</sup> )	4052,63	155,86	

La Tabla 7, muestra los valores correspondientes a los distintos caudales mínimos, máximos y medios según la probabilidad de ocurrencia respectivamente, y la Figura 15, la curva de duración de caudales medios para la estación Escalante en Ferreira.

Tabla 7. Valores de la curva de duración de caudales, estación Escalante en Ferreira, período 1955-1986

Probabilidad (%)	Caudal (m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup> )		
	Mínimo	Medio	Máximo
100,0	0,001	0,001	0,001
99,0	0,388	0,877	1,683
97,5	0,969	2,191	4,207
95,0	1,937	4,381	8,413
92,5	2,904	6,571	12,619
90,0	3,872	8,761	16,825
87,5	4,840	10,951	21,031
85,0	5,808	13,141	25,237
82,5	6,776	15,330	29,444
80,0	7,744	17,520	33,650
77,5	8,711	19,710	37,856
75,0	9,679	21,900	42,062
72,5	10,647	24,090	46,268
70,0	11,615	26,280	50,474
65,0	13,550	30,660	58,886
60,0	15,486	35,040	69,117
50,0	19,357	46,198	96,667
40,0	23,229	63,113	124,217
30,0	31,246	80,029	157,486
20,0	43,192	111,113	191,923
10,0	62,509	157,713	257,386
5,0	78,440	182,375	289,809
4,0	82,841	187,122	296,292
2,0	91,643	196,617	309,256
1,0	96,044	201,364	315,739
0,5	98,244	203,737	318,980

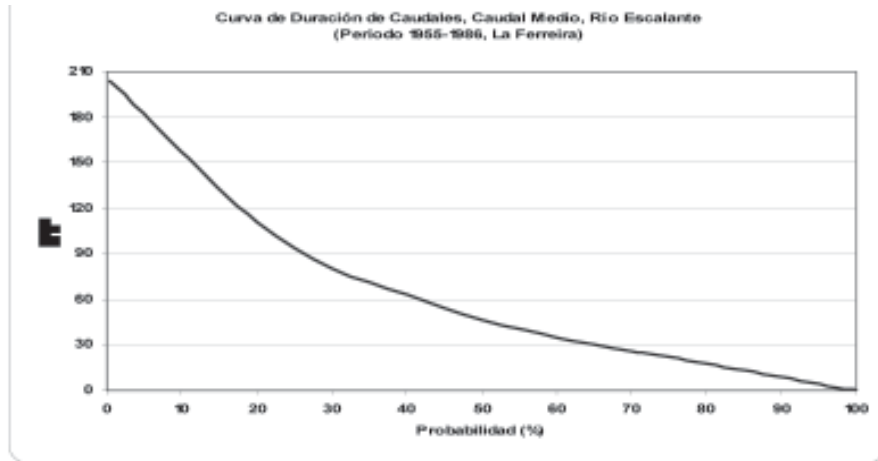


Figura 15. Curva de duración de caudales medios, Ferreira, período 1955-1986

La curva de duración de caudales indica los caudales para una cierta probabilidad, en términos de porcentaje del tiempo, en este sentido, los caudales mayores tienen menor probabilidad de ocurrir durante un año, o sea que se presentan en un porcentaje del tiempo menor que los caudales mínimos. Su importancia radica en que las curvas se pueden utilizar en la planificación y diseño de obras de abastecimiento de agua.

La curva de variación estacional provee una mayor información sobre la distribución de los valores del caudal respecto al tiempo y su probabilidad de ocurrencia. La Figura 16, muestra la curva de variación estacional para los caudales medios en la estación Escalante en La Ferreira, período (1954-1986).

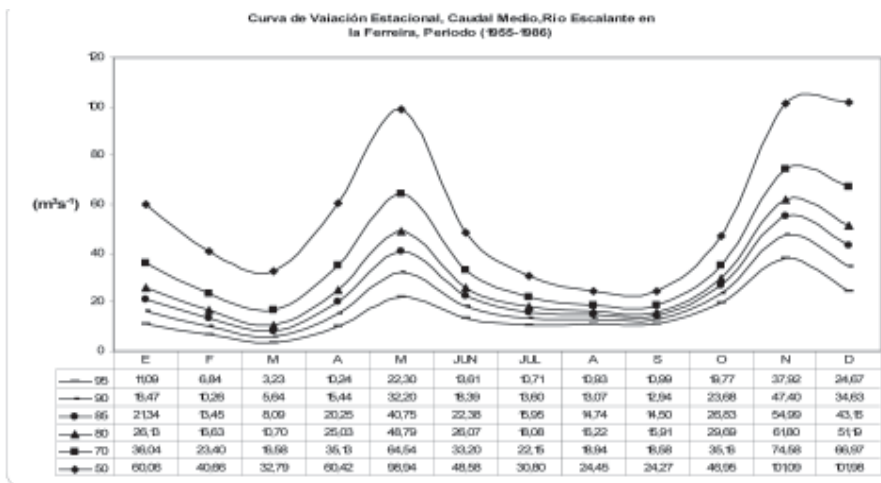


Figura 16. Curva de variación estacional caudal medio, en La Ferreira, período 1955-1986

La Tabla 8, muestra los valores de caudal disponible en el sitio de toma para cada uno de los meses del año y para cada una de las probabilidades de ocurrencia, calculados con la ecuación (7). La Figura 17, muestra la curva de variación estacional de caudales medios y sus probabilidades de ocurrencia para el sitio de toma.

Tabla 8. Caudales disponibles en ( $m^3 s^{-1}$ ), sitio de Toma

Probabilidad (%)	E	F	M	A	M	JUN	JUL	A	S	O	N	D
95	0,251	0,164	0,083	0,253	0,560	0,360	0,294	0,306	0,312	0,557	0,946	0,496
90	0,372	0,247	0,144	0,381	0,808	0,486	0,373	0,366	0,367	0,667	1,183	0,696
85	0,483	0,323	0,207	0,500	1,022	0,591	0,438	0,413	0,411	0,756	1,372	0,867
80	0,591	0,400	0,274	0,618	1,224	0,689	0,496	0,454	0,451	0,837	1,542	1,028
70	0,815	0,563	0,425	0,868	1,619	0,877	0,608	0,530	0,527	0,991	1,861	1,346
50	1,358	0,978	0,840	1,493	2,482	1,284	0,845	0,685	0,689	1,323	2,523	2,049

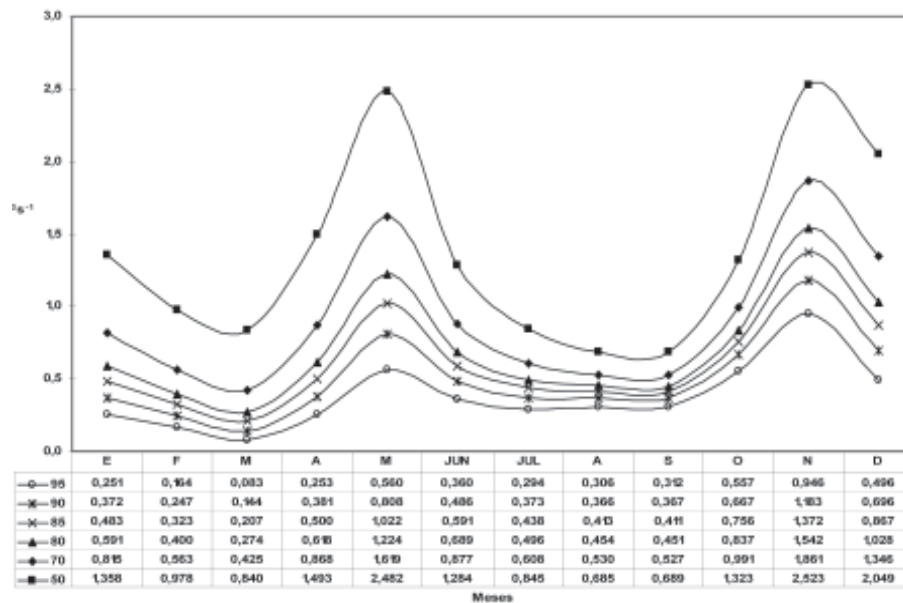


Figura 17. Curva de variación estacional caudal medio, Sitio de toma.

De la curva de variación estacional mostrada en la Figura 17, se puede observar que, para un 80% de probabilidad de ocurrencia, tenemos un caudal mínimo aprovechable para suplir las demandas de riego, de  $0,274 m^3 s^{-1}$ , el cual se presenta en el mes de marzo. El Caudal de oferta para diseño se estableció en un valor de  $250 l s^{-1}$  para satisfacer las demandas de riego del asentamiento.