Capitulo IV

Diagnostico del Recurso Hídrico

A. DIAGNOSTICO CUANTITATIVO DEL RECURSO HÍDRICO

Aníbal José Pérez García
Ingeniero Civil, candidato a Master en Hidrosistemas – PUJ.
Profesor - Investigador Fac. Ingeniería Ambiental, U. Antonio Nariño.

Juan Pablo Macias Acevedo
Ingeniero Civil, candidato a Master en Hidrosistemas – PUJ.
Profesor PUJ

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN 1
2. METODOLOGÍA 1
3. REVISIÓN DE TRABAJOS ANTECEDENTES 1
4. ANÁLISIS HIDROLÓGICO DE LA CUENCA DEL LAGO DE TOTA 3
4.1 CARACTERIZACIÓN DE LA CUENCA 3
4.1.1 Caracterización Morfométrica 3
4.1.2 Caracterización Climatológica e Hidrológica 3
4.1.3 Isoyetas 3
4.1.4 Isomáximas 4
5. PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN 4
5.1 ZONA A 7
5.1.1 Análisis de Series de Tiempo 7
5.2 ZONA B 12
5.2.1 Análisis de Series de Tiempo 12
5.3 ZONA E 17
5.3.1 Información de Estaciones 17
5.3.2 Análisis de Series de Tiempo 18
5.4 ZONA S C Y D 21
5.4.1 Precipitación 25
6 ANÁLISIS DE NIVELES DEL LAGO 27
7 ÍNDICE DE ESCASEZ DE AGUA 31
7.1 Cálculo de la Oferta 31
7.2 Cálculo de la Demanda 32
7.2.1 Demanda de Agua para uso Doméstico 32
7.2.2 Demanda de Agua para uso Agrícola 34
7.2.3 Demanda de Agua para uso pecuario 37
8 ANÁLISIS DE ENTRADAS Y SALIDAS DEL LAGO 39
9 CONCLUSIONES 41
10 BIBLIOGRAFÍA 43
11. ANEXOS 44

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Áreas de las subcuencas por zonas 6
Tabla 2. Área por zona 7
Tabla 3. Estaciones Hidrometereológicas Subcuenca Total 7
Tabla 4. Estaciones Hidrometereológicas Cuenca Olarte 12
Tabla 5. Estaciones Hidrometereológicas Cuenca Hatolaguna 17
Tabla 6. Caudales Medios Mensuales para Diferentes Cuencas 27
Tabla 7. Cálculo de Oferta (m^3) 32
Tabla 8. Viviendas por Zona 33
Tabla 9. Cálculo de Demandas para uso doméstico 34
Tabla 10. Áreas para cada tipo de cobertura por zonas (has^2) 36
Tabla 11. Cálculo de Demandas para uso Agrícola (Mm^3) 36
Tabla 12. Cálculo de demandas de uso pecuario 37
Tabla 13. Cálculo de demandas totales por zonas (Mm^3) 37
Tabla 14. Cálculo Índice de Escasez(%) 38
Tabla 15. Criterios de estandarización de la OMM 38
Tabla 16. Índice de Escasez 38
Tabla 17. Diferencias entre oferta y Demanda (m3) 40
Tabla 18. Balance Hídrico del Lago (Mm3) 40

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Subdivisión de Microcuencas de la Cuenca del Lago de Tota 5
Figura 2. Serie de Precipitaciones Cuenca Tobal 8
Figura 3. Histograma de Precipitaciones Medias Mensuales Cuenca Tobal (Colorados) 8
Figura 4. Serie de Caudales Medios (Criadero) 9
Figura 5. Histograma de Caudales Cuenca Tobal (Criadero) 9
Figura 6. Función de Autocorrelación de Caudales Cuenca Tobal (Criadero) 9
Figura 7. Períodograma Caudales Cuenca Tobal 10
Figura 8. Serie de Precipitaciones Cuenca Los Pozos (Criadero CAR) 11
Figura 9. Histograma de Precipitaciones Cuenca Los Pozos (Criadero CAR) 11
Figura 10. Serie de Precipitaciones Cuenca Olarte (Estación Potrerito) 12
Figura 11. Histograma de Precipitación Cuenca Olarte 13
Figura 12. Función de Autocorrelación de Precipitaciones 13
Figura 13. Períodograma de Precipitación Cuenca Olarte 13
Figura 14. Serie de Caudales Medios Mensuales Cuenca Olarte (Canal de Desviación) 14
Figura 15. Histograma de Frecuencias 14
Figura 16. Función de Autocorrelación de Caudales 15
Figura 17. Períodograma de Caudales Cuenca Olarte 15
Figura 18. Análisis Regresional Q Vs. P Cuenca Olarte 16
Figura 19. Análisis Decadal Q vs. P Cuenca Olarte 17
Figura 20. Serie de Precipitaciones Cuenca Hatolaguna (Las Cintas) 18
Figura 21. Histograma de Precipitaciones Cuenca Hatolaguna 18
Figura 22. Función de autocorrelación Precipitaciones Cuenca Hatolaguna 19
Figura 23. Períodograma Precipitaciones Cuenca Hatolaguna 19
Figura 24. Serie de Caudales Cuenca Hatolaguna (Hatolaguna) 20
Figura 26. Función de Autocorrelación Cuenca Hatolaguna (Hatolaguna) 20
Figura 27. Períodograma de Caudales Cuenca Hatolaguna (Hatolaguna) 21
Figura 28. Serie de Precipitaciones Cuenca Salitre (Villitas) 22
Figura 29. Histograma de Precipitaciones Cuenca Salitre (Villitas) 22
Figura 30. Función de Autocorrelación de Precipitaciones Cuenca Salitre (Villitas) 22
Figura 31. Períodograma de Precipitaciones Cuenca Salitre (Villitas) 23
Figura 32. Serie de Precipitaciones Cuenca Túnel (El Túnel) 23
Figura 33. Histograma de Precipitaciones Cuenca Túnel (El Túnel) 24

Figura 34. Función de Autocorrelación de Precipitaciones Cuenca Túnel (El Túnel) 24

Figura 35. Períodograma de Precipitaciones Cuenca Túnel (El Túnel) 24

Figura 36. Precipitaciones Medias Mensuales Multianuales (Monomodales) 25

Figura 37. Precipitaciones Medias Mensuales Multianuales (Bimodales) 26

Figura 38. Caudales Medios Mensuales Multianuales 26

Figura 39. Serie de Niveles del Lago Estaciones Túnel y Santa Inés (Tomado de Reglamentación de las Aguas Derivadas del lago de Tota a través del Túnel de Cuitita (Pedraza, 2005)) 28

Figura 40. Histograma de Niveles del lago 29

Figura 41. Función de Autocorrelación de Niveles del Lago 29

Figura 42. Curva de Duración de Niveles del lago (Tomado de Reglamentación de las Aguas Derivadas del lago de Tota a través del Túnel de Cuitita (Pedraza, 2005)) 30

Figura 43. Viviendas en las diferentes zonas de Manejo 33

Figura 44. Coberturas vegetales de cada subcuenca 35

1. INTRODUCCIÓN

La cuenca del Lago de Tota presenta un sinnúmero de problemáticas relacionadas con el manejo sostenible del recurso hídrico. Dentro de las problemáticas se encuentra el uso indiscriminado de agua para riegos, sin tener en cuenta el consumo humano en algunas microcuencas. Por otra parte, la existencia de una agricultura extensiva, básicamente de cebolla, muy poco tecnificada conlleva a la utilización desmedida del agua. Otro problema de mucha afectación es el conflicto por la definición de la ronda hídrica del lago, la que deriva en épocas de invierno severas en inundaciones de los cultivos ubicados cerca al espejo de agua del lago.

2. METODOLOGÍA

La metodología utilizada para el análisis hidrológico se resume en los siguientes pasos:

- Se revisaron los estudios antecedentes relacionados con el comportamiento hidrológico de la cuenca de lago de Tota, tomando de cada uno de ellos información pertinente para nuestro análisis.
- Se desarrolló la caracterización hidroclimatológica de la cuenca a través del análisis de las diferentes variables hidrológicas, para este fin la cuenca se ha subdivido en subcuencas y estas a su vez en zonas de manejo conjunto, teniendo en cuenta similitudes en el comportamiento hidrológico y la ubicación geográfica de las estaciones, sin embargo la selección aquí hecha no constituye una limitación, ya que podemos unir o subdividir las cuencas escogidas dependiendo la calidad y cantidad de información de una región que se tenga.
- Se calculó la oferta a partir del uso de la metodología del Número de Curva del Soil Conservation Service.
- Se calcularon los valores de demanda para cada sector a partir de la metodología dada por la OMM.
- Se calculó el índice de escasez a partir de los valores de oferta y demanda obtenidos anteriormente.
- Por ultimo, se llevó a cabo el balance hídrico del lago a partir de información secundaria y primaria.

3. REVISIÓN DE TRABAJOS ANTECEDENTES

Debido a la importancia de la cuenca del lago de Tota, esta ha sido sujeta a diversos estudios, que independientemente de la efectividad que hayan logrado, vale la pena revisar, entre estos estudios tenemos:

a. Estudio de manejo y conservación del lago Tota y su cuenca. (Hidroestudios, 1978)

En 1978 la firma consultora hidroestudios realizó una evaluación integrada de la cuenca del lago de Tota que permitió caracterizarla hidroclimatológicamente, además de desarrollar un balance hídrico de la zona, con datos de oferta y demanda proyectados. Por otra parte, este estudio llevo a cabo un análisis geológico y geomorfológico de la región que define la estratigrafía del suelo.

b. Estudio Limnológico del Lago de Tota. (Mora y Reyes, 1991)

En este estudio, se establece la existencia de dos cubetas en el lago (Lago Grande y Lago Chico). Además, se definen el comportamiento del viento en los alrededores del lago. Por otra parte, en este estudio se hace referencia a las condiciones de mezcla entre las capas de agua y a la formación de termoclinas[1] efímeras que favorecen dichas mezclas.

En esta investigación, se presenta una cuantificación de los consumos de pesticida y abonos (gallinaza) de la población agrícola ubicada en las laderas y en las planicies. Además, se analiza la existencia de vertimientos de aguas servidas de manera directa en lagos y quebradas.

c. Investigación Hidrogeológica de la Cuenca del Lago Tota (Vergara, Buitrago y Rodríguez).
Indican que el balance hídrico del lago arroja una pérdida del orden de 0.5 m^3/s, los cuales deben presentarse por infiltración ya que el lago no sobrepasa la presa gran parte del año. Además, señalan la existencia de flujos subsuperficiales importantes en la cuenca, que drenan hacia el lago en forma de manantiales que tienen como origen el agua precipitada en las zonas de recarga durante estaciones anteriores.

d. Implementación de SIG en la cuenca del Lago de Tota. (Laserna, 1996)
El ingeniero Laserna en su estudio relata históricamente el manejo de las aguas en la cuenca del lago de Tota, desde la construcción del túnel de Cuítiva (1928) pasando por la construcción del túnel que lleva las aguas a paz del río (1952), hasta el año de 1998. Cabe resaltar dentro de este relato los descensos dramáticos de niveles del lago, que se presentaron en 1988 y 1998, a pesar de las regulaciones hechas por las entidades encargadas del control hechas a partir de 1988.

En esta investigación, se hace un análisis de oferta y demanda (balance hídrico). El ingeniero determina estimativos de consumo de agua de los acueductos, acerías paz del río y de los hidroagrícolas. Además, presenta datos de calidad de agua del lago de Tota, en términos de pH, sólidos suspendidos, dureza total, sólidos disueltos y contenido de óxidos, hierro y cloro.

A partir de su investigación, el ingeniero Laserna concluye que la disponibilidad de agua es suficiente y que si se desvía la totalidad de las aguas del río Olarte, sería posible cubrir demandas proyectadas.

e. Desarrollo del modelo hidrogeológico conceptual del lago de Tota (Veloza y Rodríguez, 2001).
En este estudio, el ingeniero Veloza y el doctor Rodríguez, definen las estructuras geológicas que subyacen la cuenca, hace una explicación completa de la formación de la cuenca y del lago, y expone las variaciones geológicas de la cuenca durante períodos históricos subsiguientes. Además, ilustra de manera clara todos los aspectos relevantes que influyen en la circulación del agua. Con respecto a la hidrogeología, en esta investigación se clasifican las formaciones existentes según su permeabilidad, identificando la existencia de muy buenos acuíferos en los municipios de Iza, Aquitania y en los alrededores de Cuítiva, así como también en el sector de los Arrayanes, Olarte y el Desaguadero.

[1] Barreras térmicas, que principalmente se dan en cuerpos de agua lénticos.

f. Balance hidrológico del lago Tota y estudio preliminar del comportamiento hidráulico en lagos. (Cañón y Rodríguez, 2001).

En este estudio se revisaron los estudios previos existentes y se analizó la información hidroclimatológica disponible, además se llevó a cabo una campaña de recolección mensual de muestras de aguas para análisis isotópicos. Basados en esta información se desarrollaron dos metodologías para el modelo del balance hídrico: una mediante el cálculo convencional del ciclo hidrológico a nivel mensual, y otra por medio de la teoría de balance isotópico. Por otra parte, se utilizó la existencia de dos batimetrías hechas en dos épocas diferentes (1978 y 1998) para la evaluación del aporte de sedimentos al lago.

g. Reglamentación de las aguas derivadas del lago de Tota a través del túnel de Cuítiva (Pedraza, 2005)

En este trabajo se pueden observar aspectos relacionados con los antecedentes en el manejo del Lago de Tota, el estudio hidrológico que permite establecer la oferta hídrica histórica teniendo en cuenta estudios hidrogeológicos, morfométricos, climatológicos e hidrográficos y se establecen algunas recomendaciones. En la segunda parte se incluyen los levantamientos de las acequias y se determinan áreas por tipo de uso del agua y tenencia predial, la base georeferenciada de predios y el método de elaboración de la cartografía. En la tercera parte evalúan la demanda hídrica en términos de calidad y cantidad para cada uso de acuerdo al inventario de los usuarios. Como aspecto importante, se incluye el inventario, organización y análisis de las concesiones de agua otorgadas por el INDERENA, la CAR y CORPOBOYACA evaluando esta información frente a la oferta y demanda hídrica encontrada en la actualidad.

4. ANÁLISIS HIDROLÓGICO DE LA CUENCA DEL LAGO DE TOTA

4.1 CARACTERIZACIÓN DE LA CUENCA

4.1.1 CARACTERIZACIÓN MORFOMÉTRICA

Se desarrolló un modelo en tres dimensiones (3D) a partir del procesamiento de un Modelo de Elevación Digital (DEM) con el fin de visualizar de mejor manera las características fisiográficas de la cuenca del lago de Tota. El modelo construido se puede ver en el anexo 1.

4.1.2 CARACTERIZACIÓN CLIMATOLÓGICA E HIDROLÓGICA

Esta caracterización se hace a partir de datos tales como temperatura, brillo solar, humedad relativa, precipitación, evaporación y caudales, obtenidos de estaciones hidroclimatológicas existentes en la cuenca. A partir de estos datos se construyeron herramientas que permiten visualizar mejor la distribución espacial y temporal de estos fenómenos, las cuales se muestran a continuación:

4.1.3 ISOYETAS[2]

A partir de la información de las estaciones existentes en la zona se construyeron las isoyetas con el fin de mostrar la variación de la precipitación media en la cuenca. Este procedimiento se hizo mediante el uso de un proceso de interpolación disponible en Arcview 3.2. Ver Anexo 2.

[2] son las líneas que unen los puntos de igual precipitación. Para la aplicación de este método, se dibuja la cuenca a escala y se ubican las estaciones de precipitación con sus valores respectivos

4.1.4 ISOMÁXIMAS[3]

De igual manera se construyeron isomáximas a partir de la información de precipitaciones máximas en 24 horas y usando la misma herramienta enunciada anteriormente. Ver Anexo 2.

La construcción de isotermas se hizo imposible debido a la escasez de información de temperatura en la zona, derivada de que no se cuenta con el número de estaciones de tipo CO y CP (según la clasificación del IDEAM) necesario para esto.

5. PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

Dentro del análisis del recurso hídrico de una cuenca es de suma importancia desarrollar una caracterización estadística de las variables hidroclimatológicas con el fin de comprender profundamente su variación espacio temporal, ya que esta es determinante a la hora de definir las unidades hidrológicas de estudio, las cuales son la base para el cálculo de la oferta y la demanda que constituyen la relación que determina el diagnóstico cuantitativo de las fuentes de agua superficiales. Por esta razón, a partir de la información secundaria y algunas mediciones directas extraídas de Reglamentación de las aguas derivadas del lago de Tota a través del túnel de Cuítiva (Pedraza, 2005), se hizo un análisis estadístico de las relaciones entre las diferentes variables hidroclimatológicas

Para llevar a cabo este análisis se uso la siguiente disposición de microcuencas, construida a partir del procesamiento del Modelo de Elevación Digital:

A partir de la información secundaria y algunas mediciones directas, se hizo un análisis estadístico de las relaciones entre las diferentes variables hidroclimatológicas con el ánimo de desarrollar el modelo conceptual de la dinámica hídrica de la cuenca y construir el correspondiente balance hídrico. Para llevar a cabo este análisis se uso la siguiente disposición de microcuencas (Figura 1).

[3] Son líneas de igual precipitación máxima diarias (24 horas) que representan el comportamiento de los aguaceros máximos anuales para diferentes períodos de retorno.

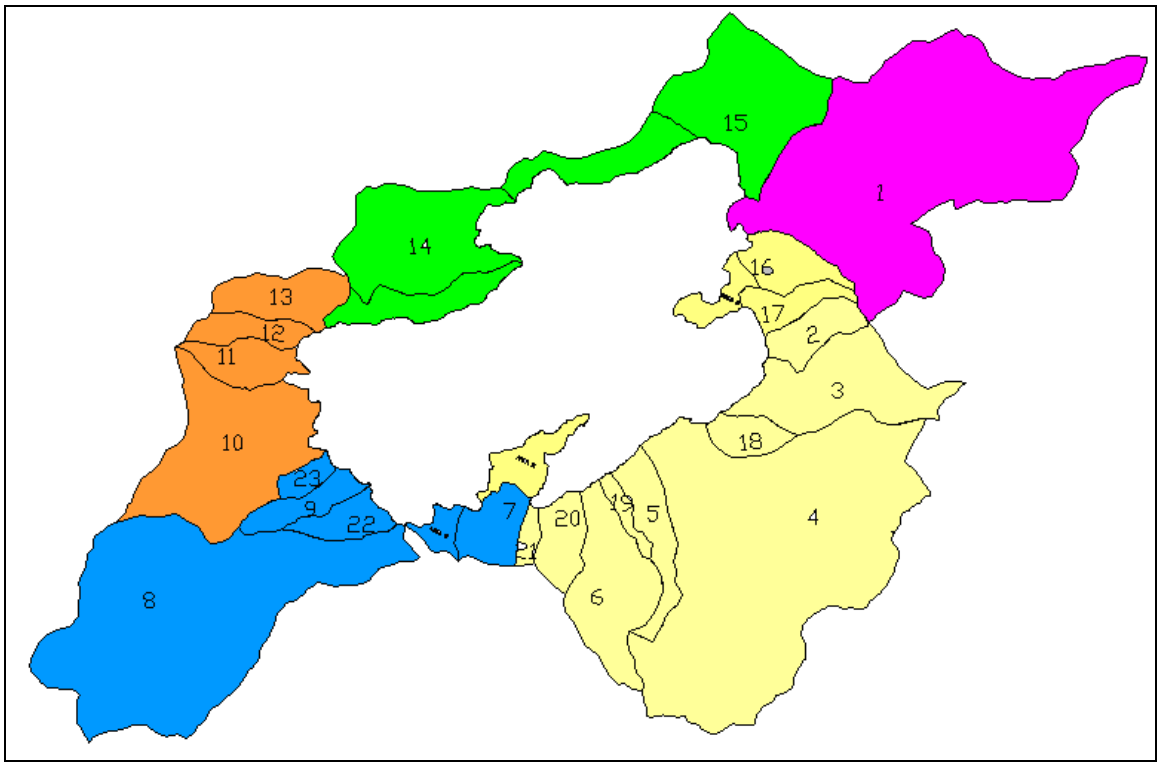


Figura 1. Subdivisión de Microcuencas de la Cuenca del Lago de Tota

Donde:

Id	Corriente Cuenca	Id	Nombre Cuenca
1	R. Hatolaguna	13	Q. Casasia
2	Q. Los Corrales	14	Q. Guaquira
3	Q. Los Pozos	15	Q. Salitre
4	R. Tobal	16	Q. Mojan
5	Q. La Mugre	17	Q. Savia
6	Q. Aguasblancas	18	Cañada Sarna
7	Q. Ajies	19	Q. Intermedia
8	R. Olarte	20	Cañada Lemus
9	Q. Hatoviejo	21	Q. El Manzano
10	Q. Guayachal	22	Q. San Antonio
11	Q. Arrayanes	23	Q. Zapatero
12	Q. Donsiquira	Sin Nada	Areas Adicionales

Para desarrollar el diagnóstico hidrológico estas microcuencas se agruparon en cinco áreas de manejo especial que se representan de acuerdo al color, esta división se hizo basada en el Estudio de Manejo y Conservación y del Lago de Tota y su Cuenca (Hidroestudios, 1978). En la tabla 1 se muestran todas las subcuencas, su área en km^2 y la respectiva zona en la que se encuentra agrupada:

Tabla 1. Áreas de las subcuencas por zonas

Nombre	Área(km2)	Zona
Q. Los Corrales	2.08	A
Q. Los Pozos	7.20	A
R. Tobal	32.65	A
Cda. Sarna	1.55	A
Q. La Mugre	2.88	A
Q. Intermedia	0.70	A
Q. Aguas Blancas	6.09	A
Cda. Lemus	2.14	A
El Manzano	0.59	A
Q. Mojan	2.30	A
Q. Savia	1.64	A
Islas	1.26	A
Islas	0.38	A
Islas	1.87	A
Islas	0.84	A
Q. Ajies	2.33	B
Q. Zapatero	0.81	B
Q. Hatoviejo	1.79	B
Q. San Antonio	1.67	B
R. Olarte	25.24	B
Q. Salitre	8.82	C
Al Lado de Salitre	3.08	C
Q. Guaquira	7.97	C
Tunel	2.74	D
Q. Casasia	3.20	D
Q. Donsiquira	1.71	D
Q. Arrayanes	2.48	D
Q. Guayachal	11.02	D
R. Hatolaguna	30.76	E
Espejo de Agua	55.96	LAGO
Total	**223.75**	

A continuación se muestra una tabla resumen por áreas de las zonas de manejo conjunto (Tabla 2):

Tabla 2. Área por zona

Zonas	Area Total (m2)
A	63.26
B	31.34
C	29.12
D	11.90
E	34.42
Lago	60.00

5.1 ZONA A

Esta zona contiene la única cabecera municipal ubicada en la cuenca del lago de tota y la mayoría de los cultivos de cebolla, por lo tanto es un área con altas demandas de agua. La subcuenca no posee estaciones climatológicas (CO, CP y ME) con información suficiente para llevar a cabo dicha caracterización. Por otra parte, la región se encuentra muy bien instrumentada en lo que se refiere a datos de caudales pero los datos de precipitación son escasos ya que solo se cuenta con 8 años de datos en cada estación y son datos discontinuos. La información usada para llevar a cabo el diagnóstico de la zona A se obtuvo de las siguientes estaciones del Instituto de Estudios Ambientales y Metereológicos (IDEAM) (Tabla 3):

Tabla 3. Estaciones Hidrometereológicas Subcuenca Total

Cod. Estación	Nombre	Tipo
3509705	Criadero	LM
3509009	Colorados	PM

5.1.1 ANÁLISIS DE SERIES DE TIEMPO

A. Datos de Precipitación

La serie de precipitación es muy escasa, por lo tanto resulta ineficaz desarrollar la caracterización de esta variable, el gráfico de la serie de datos se muestra a continuación (Figuras 2 y 3):

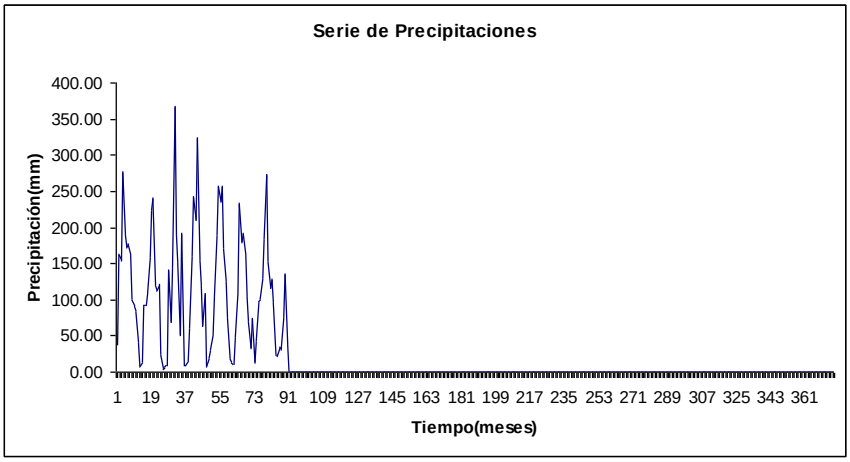


Figura 2. Serie de Precipitaciones Cuenca Tobal

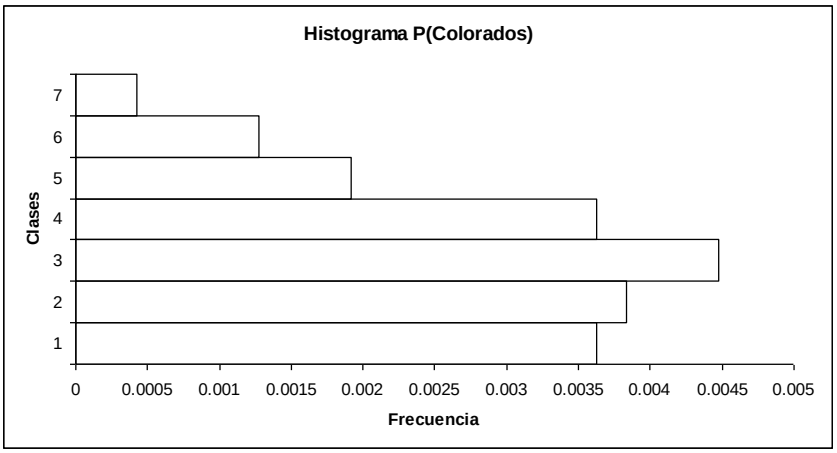


Figura 3. Histograma de Precipitaciones Medias Mensuales Cuenca Tobal (Colorados)

Es importante tener en cuenta que la información usada para la construcción de este histograma solo incluye 90 datos correspondiente a el período de tiempo entre Enero de 1990 y Mayo de 1997, lo cual no es un período suficientemente representativo. Por esta razón, resulta imposible establecer conclusiones acerca del análisis de series de tiempo. Esto demuestra el carácter urgente la reactivación de la estación Colorados.

B. Datos de Caudales

Para el análisis de caudales se utilizaron los datos provenientes de la estación Criadero, después de desarrollar la prueba de datos dudosos (Figuras 4 a 7):

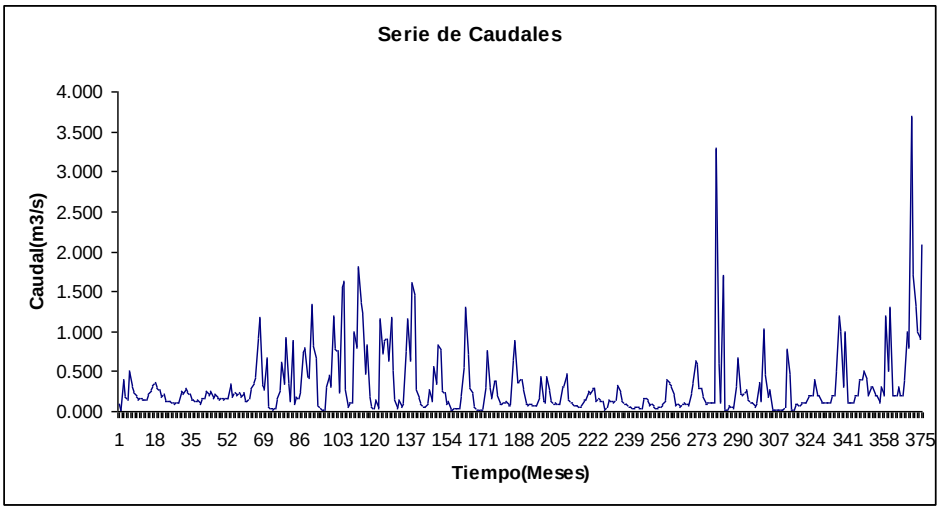


Figura 4. Serie de Caudales Medios (Criadero)

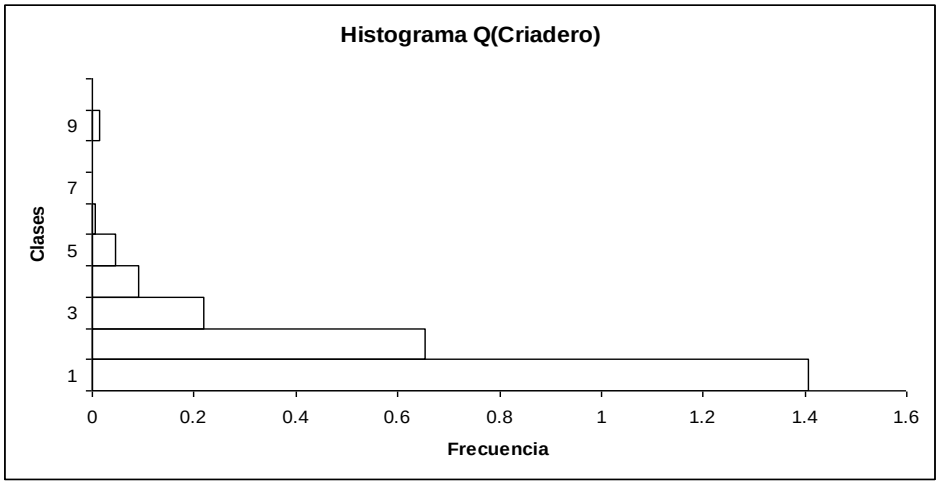


Figura 5. Histograma de Caudales Cuenca Tobal (Criadero)

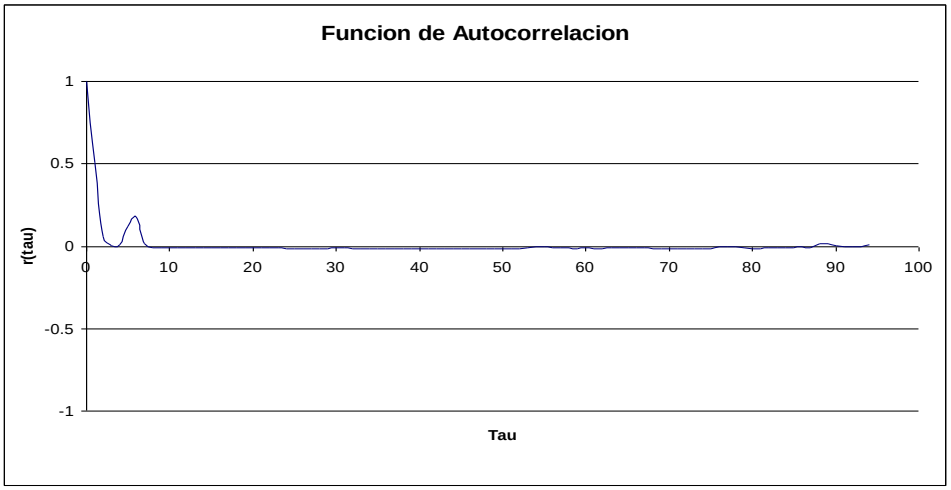


Figura 6. Función de Autocorrelación de Caudales Cuenca Tobal (Criadero)

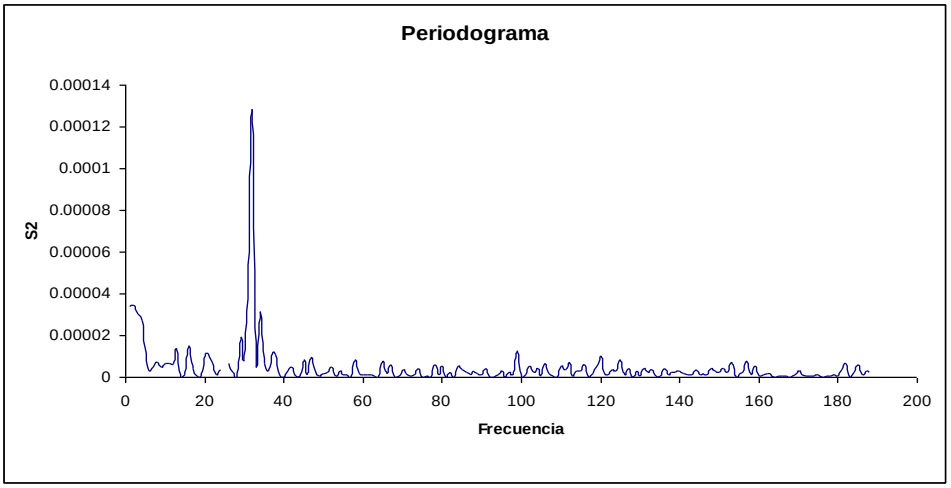


Figura 7. Períodograma Caudales Cuenca Tobal

Por otra parte, el comportamiento de los caudales ha variado a través de los años, según las mediciones en los primeros seis años(1971-1977) se puede identificar una época de sequía muy marcada sin picos significativos, en los 13 años siguientes (1978-1991) se nota una dinámica mas o menos variada con picos y sequías intercaladas. En los seis años siguientes se puede identificar nuevamente una época de sequía, seguida de una época de sequías y picos intercalados, pero mas espaciadamente y con picos de hasta 10 veces el valor promedio de la serie el cual es de 0.35 m3/s.

La función de autocorrelación de los caudales medios mensuales de la cuenca Tobal denota un decrecimiento inmediato y presenta valores muy bajos de correlación con los τ mayores a 1, por esta razón se puede decir que los valores medios de los caudales en esta cuenca no tienen memoria histórica lo cual es bastante notorio ya que indica que el caudal base es insignificante a la hora de analizar la oferta de agua de la cuenca, por esta razón es mucho mas importante analizar el caudal en función de la precipitación a través de métodos que relacionan lluvia y escorrentía. Por otra parte en el períodograma se puede ver que el número de armónico predominante es 32, por lo tanto teniendo en cuenta el número de datos totales, 375, se obtiene un período igual a 12 meses.

Por otra parte, existe en esta zona otra estación de precipitaciones ubicada en la microcuenca Quebrada Los Pozos pero solo cuenta con 70 registros, lo cual no permite llevar a cabo un análisis adecuado de las variables relacionadas con la lluvia (Figuras 8 y 9).

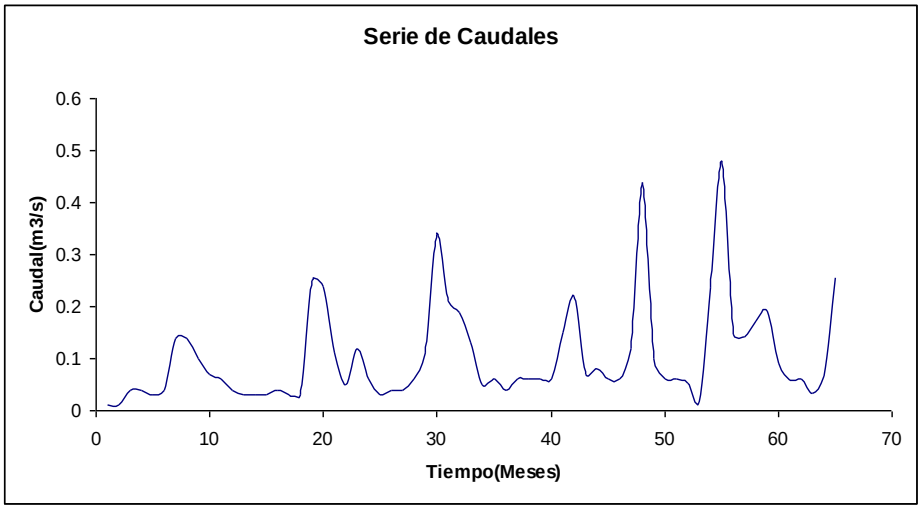


Figura 8. Serie de Precipitaciones Cuenca Los Pozos (Criadero CAR)

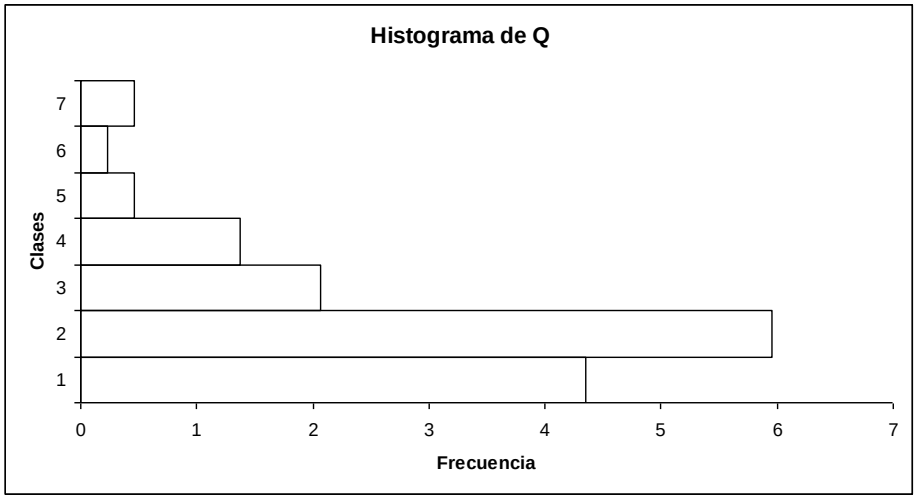


Figura 9. Histograma de Precipitaciones Cuenca Los Pozos (Criadero CAR)

La información disponible proveniente de la estación limnimétrica CRIADERO CAR (3509727) es insuficiente para hacer un análisis de series de tiempo confiable, sin embargo se pueden observar diferentes rangos tal como una distribución probabilística con tendencia exponencial. Además, se pueden ver picos de caudal que tienen un espaciamiento de 10 años con valores entre 2 y 5 veces mayores al valor medio (Pm=0.11 mm).

5.2 ZONA B

La subcuenca del Río Olarte es la más representativa de esta zona ya que comprende casi el 80% del área total de la zona C. Esta subcuenca pertenece artificialmente a la cuenca del lago de Tota ya que se construyó hace mas de 30 años, un canal de desviación para cumplir con los requerimientos de niveles necesarios para el abastecimiento de los acueductos de Sogamoso y para la industria Acerías Paz del Río. En un comienzo el sistema funcionaba automáticamente mediante el uso de compuertas, sin embargo en la actualidad este sistema se encuentra deteriorado y las compuertas son operadas manualmente.

La subcuenca no posee estaciones climatológicas (CO, CP y ME) con información suficiente para llevar a cabo dicha caracterización, pero cuenta con un buen registro de precipitación y caudales lo que facilita el desarrollo del diagnóstico hidrológico de esta subcuenca. La información usada para llevar a cabo el diagnóstico de la zona se obtuvo de las siguientes estaciones del Instituto de Estudios Ambientales y Metereológicos (IDEAM) (Tabla 4):

Tabla 4. Estaciones Hidrometereológicas Cuenca Olarte

Cod. Estación	Nombre	Tipo
3509702	Canal de Desviación	LM
3509001	Potrerito	PG
3509504	El Olarte	CP
3509701	Desaguadero	LM

La información completa de estas estaciones se muestra en el Anexo 3.

5.2.1 ANÁLISIS DE SERIES DE TIEMPO

Para llevar a cabo el análisis de series de tiempo se utilizan herramientas de caracterización de información tales como el histograma de frecuencias, la función de autocorrelación y el períodograma, las cuales se construyen a partir de las series de tiempo. Para este caso en particular, se analizaron los datos de precipitación y caudales medios mensuales (Figuras 10 a 13).

A. Datos de Precipitación

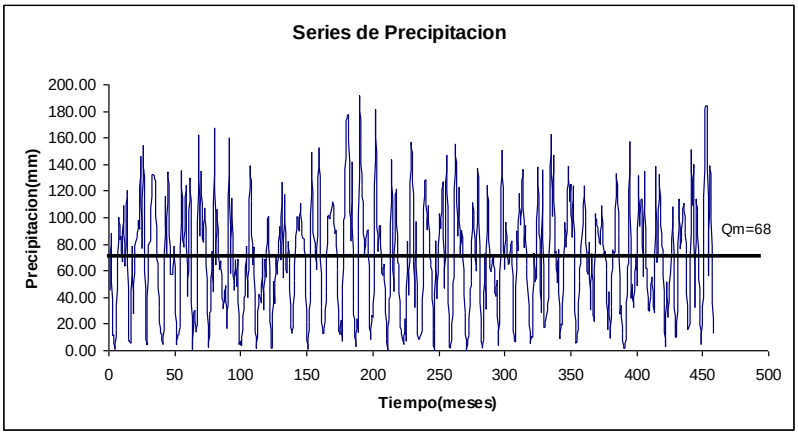


Figura 10. Serie de Precipitaciones Cuenca Olarte (Estación Potrerito)

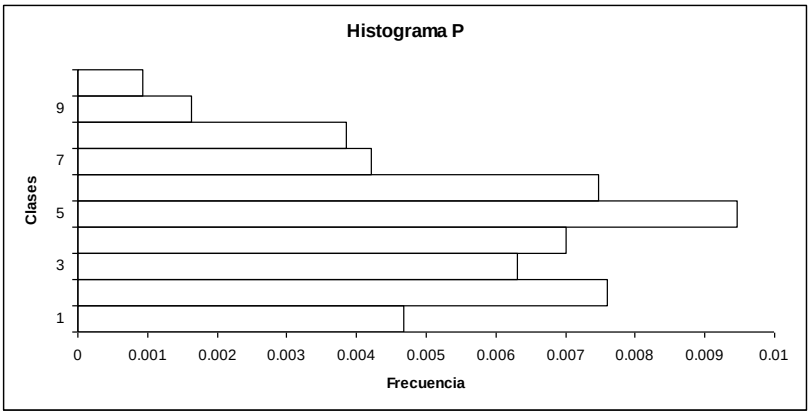


Figura 11. Histograma de Precipitación Cuenca Olarte

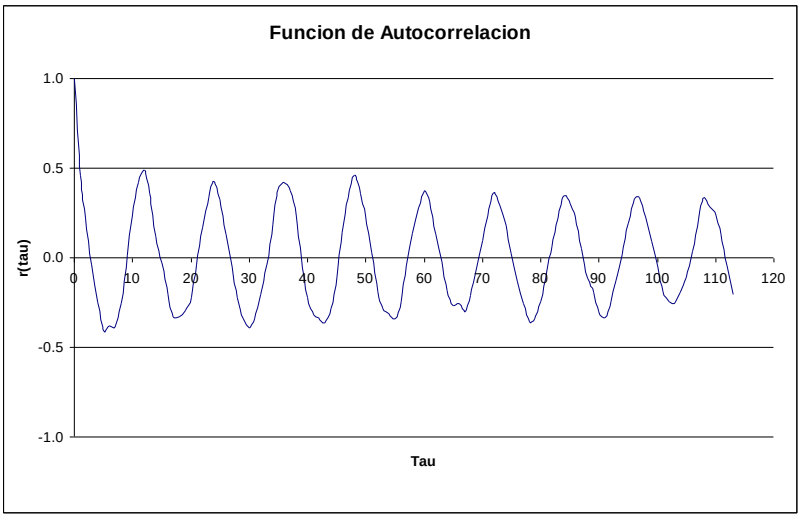


Figura 12. Función de Autocorrelación de Precipitaciones

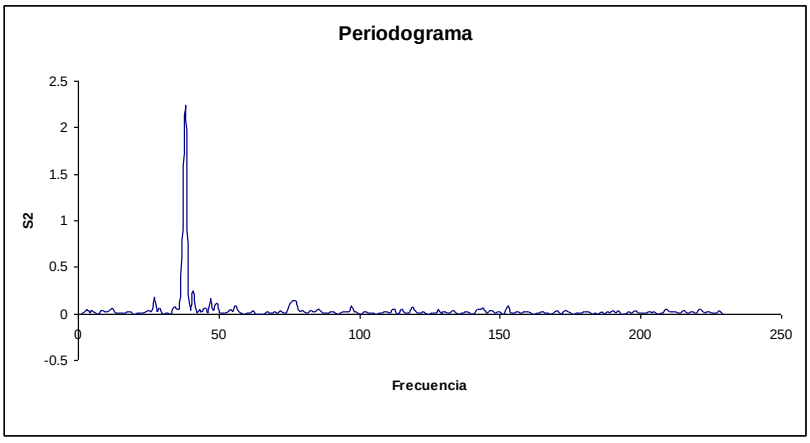


Figura 13. Períodograma de Precipitación Cuenca Olarte

En el grafico de serie de precipitaciones se puede observar, a través de la ubicación central de la media (Pmedia= 63 mm), un equilibrio másico entre los meses de sequía y de lluvias. Los

máximos de precipitación que mas se repiten se encuentran alrededor de 140 mm, mientras que se pueden observar con un periodo de retorno mayor precipitaciones de 180 mm. Esto se puede revisar en el Anexo 3 (Resultados del Análisis de Series de Tiempo).

Los resultados obtenidos en la función de autocorrelación demuestran un valor correlación que desciende automáticamente y que se hace cercano a cero muy rápidamente, lo que indica una memoria histórica del proceso muy corta, casi igual a cero (Esto se puede observar en las tablas de resultados de los análisis(Anexo 3)). Esta conclusión nos indica que hay poca relación entre la precipitación de un mes con la del mes inmediatamente anterior y mucho menos con los meses anteriores a este.

En el períodograma se puede observar que hay una potencia notoriamente mayor en el numero de armónico 38, revisar anexo 3. El numero total de datos, 458, es dividido por este valor y el cociente representa el valor del período predominante, que representa el intervalo de tiempo entre ciclos climatológicos que para este caso nos da igual a 12 meses, lo que indica que el año hidrológico es aproximadamente igual al año calendario.

B. Datos de Caudales

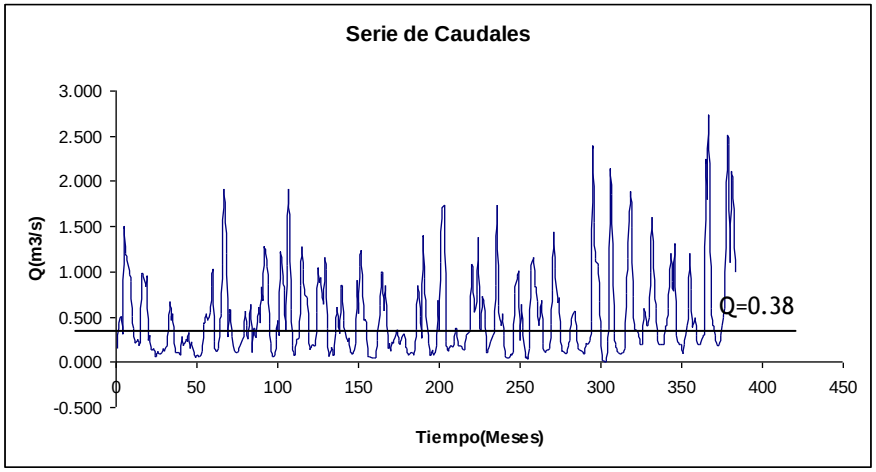


Figura 14. Serie de Caudales Medios Mensuales Cuenca Olarte (Canal de Desviación)

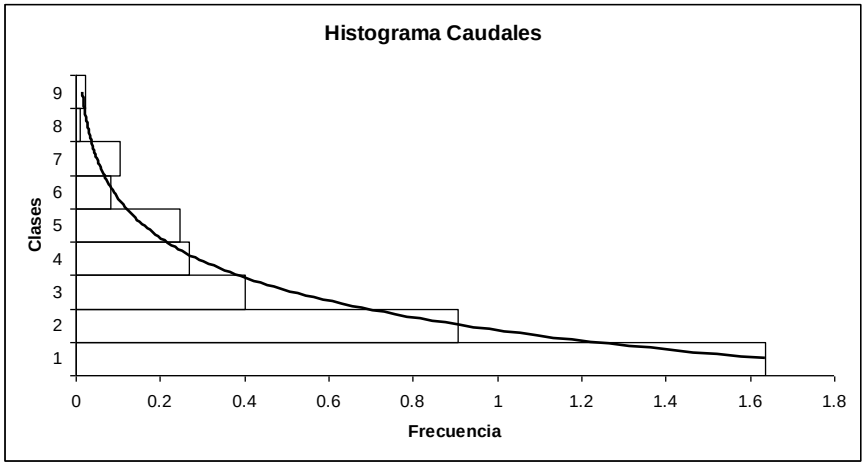


Figura 15. Histograma de Frecuencias

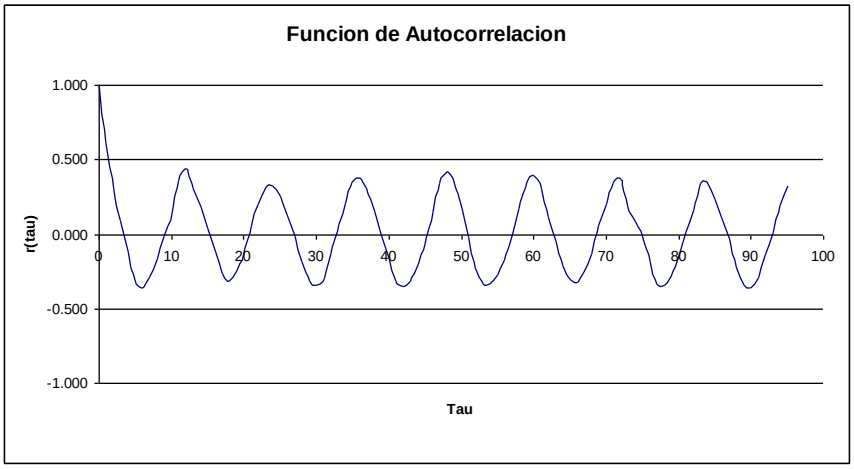


Figura 16. Función de Autocorrelación de Caudales

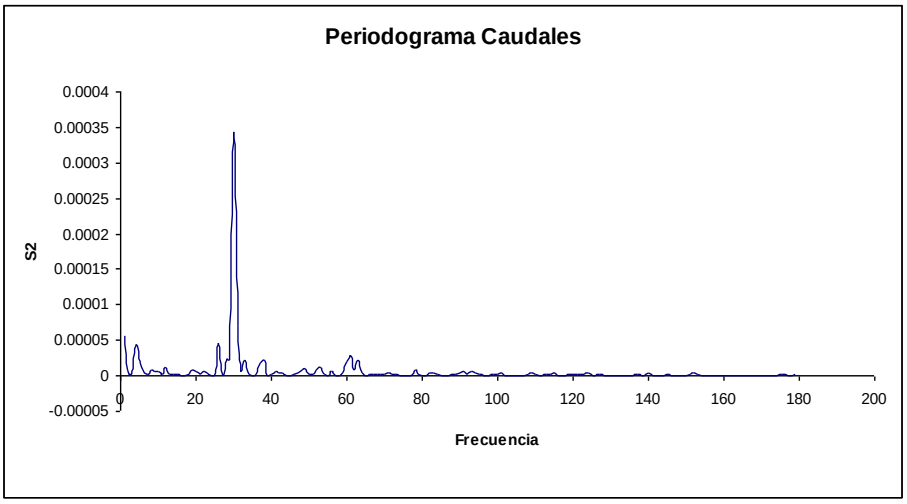


Figura 17. Períodograma de Caudales Cuenca Olarte

En la serie de caudales (Figuras 14 a 17), se observan grandes picos pero también periodos prolongados de sequías los cuales hacen que el valor medio del caudal sea bajo. Por otra parte se observa cierta correlación entre los valores de un mes y el inmediatamente anterior, ya que para un τ= 1 el valor de la función de autocorrelación tiene valores cercanos a 0.7. Esta situación se repite en el τ= 12, lo que indica una fuerte relación con los periodos de lluvia y la importancia de estos en el caudal del Olarte. Esto indica que tiene mas importancia la lluvia que el caudal base a la hora de desarrollar un modelo lluvia-escorrentía como el del SCS.

Por otra parte, el numero total de datos es 388, mientras en el períodograma se observa una potencia notoriamente mayor en armónico 29, esta división nos da como resultado 12 meses, que es el valor de duración de un año hidrológico para la variable caudal medio mensual.

C. Análisis de la Relación Caudal Versus Precipitación (Q Vs. P)

Se llevaron a cabo metodologías basadas en regresiones lineales para encontrar relaciones entre el caudal y la precipitación, de semejante a manera a los procedimientos anteriormente desarrollados, se usaron caudales medios mensuales multianuales y caudales medios mensuales, los resultados obtenidos son los siguientes (Figura 18):

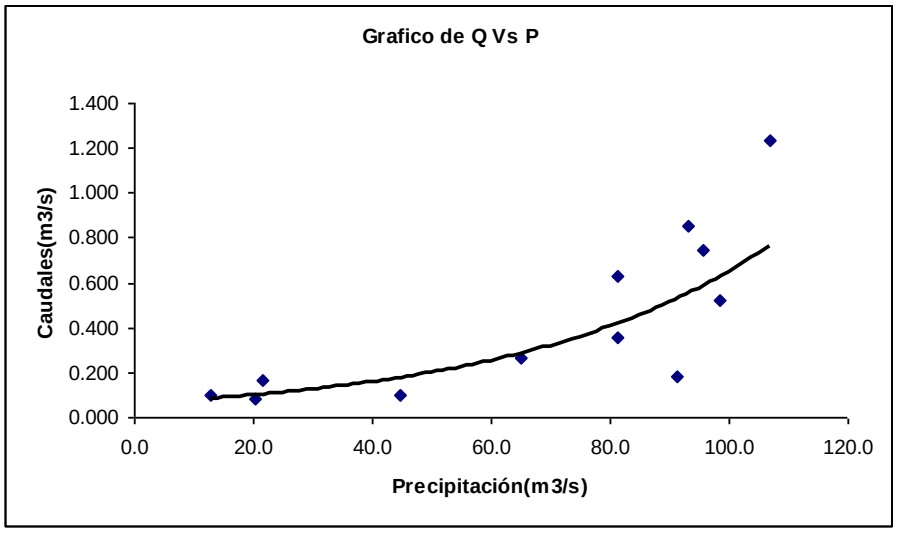


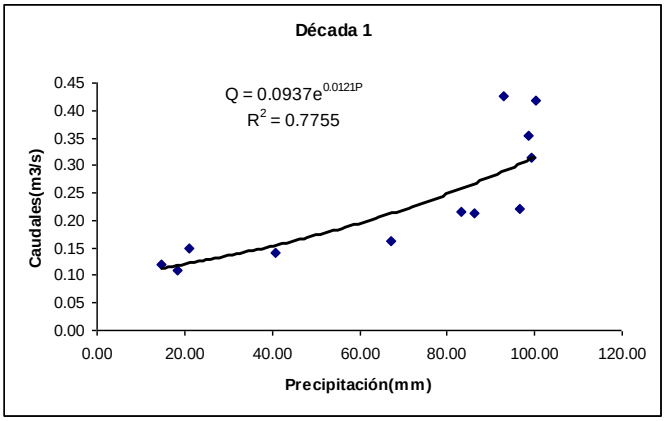
Figura 18. Análisis Regresional Q Vs. P Cuenca Olarte

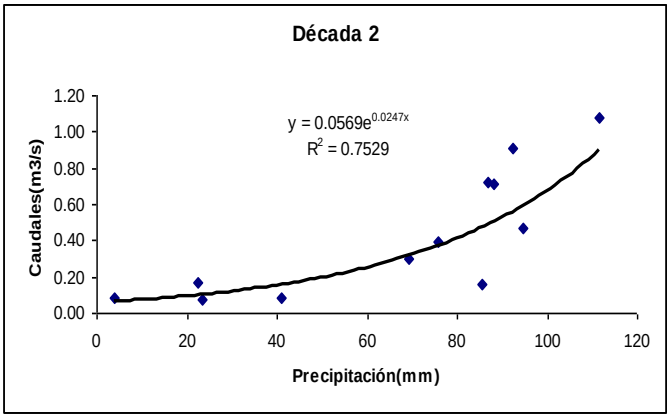
El ajuste encontrado fue el siguiente:

$$Q = C1 + C2e^{p} \quad \text{donde} \quad C1= 0.062 \text{ y } C2= 0.0235$$

El coeficiente de correlación obtenido fue 0.7389

Por otra parte, se hizo un análisis decadal de los caudales con el fin de identificar cambios climatológicos en la cuenca, para este fin se dividieron los datos en 3 grupos, y los resultados obtenidos fueron los siguientes (Figura 19):





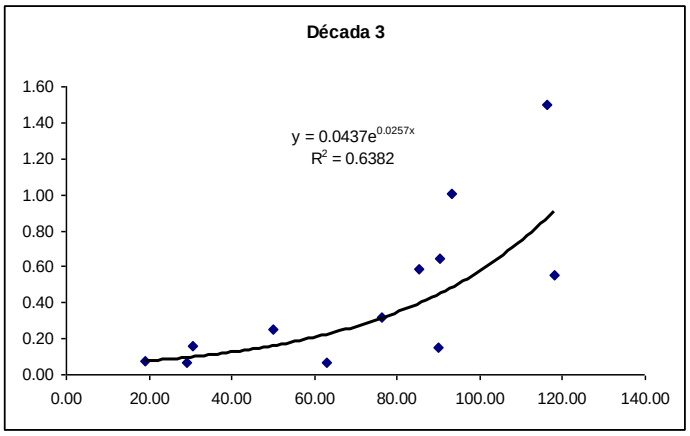


Figura 19. Análisis Decadal Q vs. P Cuenca Olarte

Fue difícil encontrar una relación confiable entre el caudal (Q) y la precipitación (P) a través del análisis regresional de los datos, esto se puede observar en los valores de los coeficientes de correlación obtenidos en el análisis completo y en el decadal. Por otra parte, resulta muy notorio el aumento de los valores medios de los caudales de la primera a la segunda década a pesar de la disminución de las precipitaciones medias en los mismos períodos de tiempo. Entre las décadas 2 y 3 se dio un crecimiento más gradual y coherente ya que aumentaron las precipitaciones y en la misma medida los caudales.

De acuerdo a los resultados obtenidos sería conveniente construir un modelo más complejo basado en relaciones lluvia-escorrentía, tal como el desarrollado por el Servicio de Conservación de Suelos (SCS) de los Estados Unidos, el cual nos permitiría involucrar variables relacionadas con la cobertura vegetal, el tipo de suelo y la humedad antecedente en la relación precipitación-caudales.

5.3 ZONA E

Esta conformada por la cuenca del Río Hatolaguna la cual presenta una problemática especial en lo que se refiere a escasez de agua en períodos secos. Esto se ve reflejado en la media de la serie de caudales la cual tiene un valor bajo a pesar de los picos de caudales observados. La precipitación media anual es de 1139 mm.

5.3.1 INFORMACIÓN DE ESTACIONES

La información usada para llevar a cabo el diagnóstico de la subcuenca Hatolaguna se obtuvo de las siguientes estaciones del Instituto de Estudios Ambientales y Metereológicos (IDEAM) (Tabla 5):

Tabla 5. Estaciones Hidrometereológicas Cuenca Hatolaguna

Cod. Estación	Nombre	Tipo
3519001	Las Cintas	PG
3509703	Hatolaguna	LM

5.3.2 ANÁLISIS DE SERIES DE TIEMPO

Existen en la subcuenca dos estaciones (PG y LM) con una cantidad de información lo suficientemente extensa para llevar a cabo la caracterización de las series de tiempo. Para este caso en particular, se analizaron los datos de precipitación y caudales medios mensuales.

DATOS DE PRECIPITACIÓN

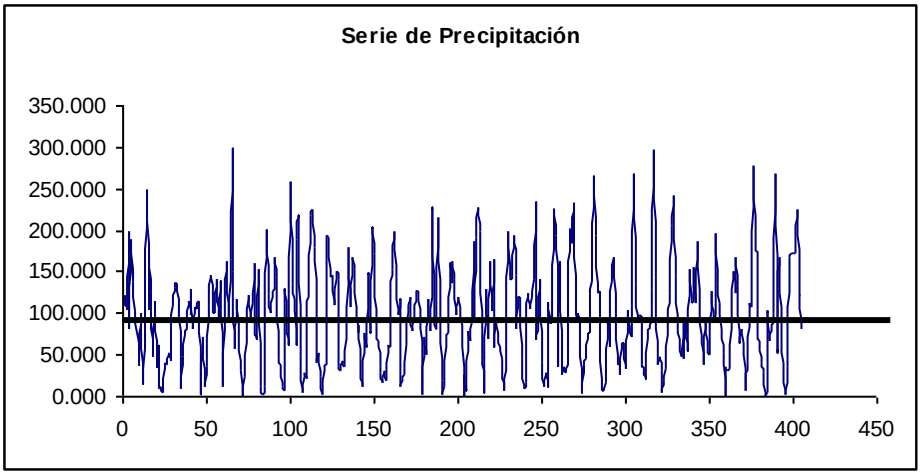


Figura 20. Serie de Precipitaciones Cuenca Hatolaguna (Las Cintas)

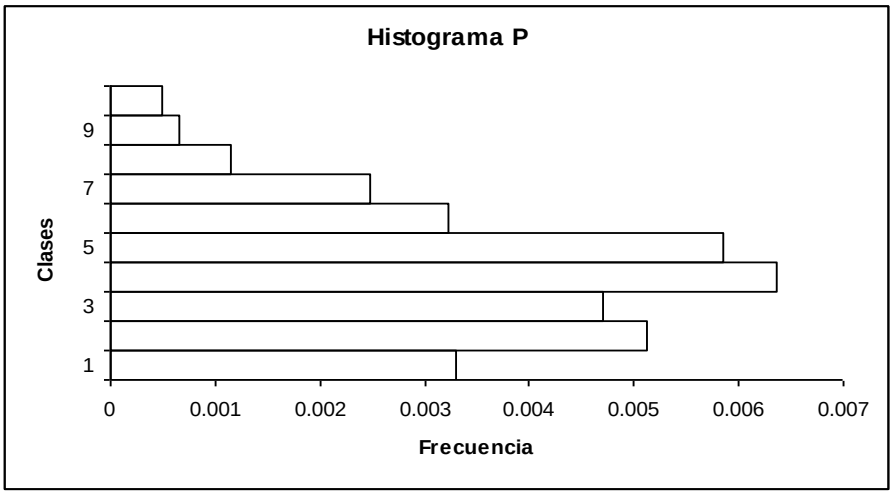


Figura 21. Histograma de Precipitaciones Cuenca Hatolaguna

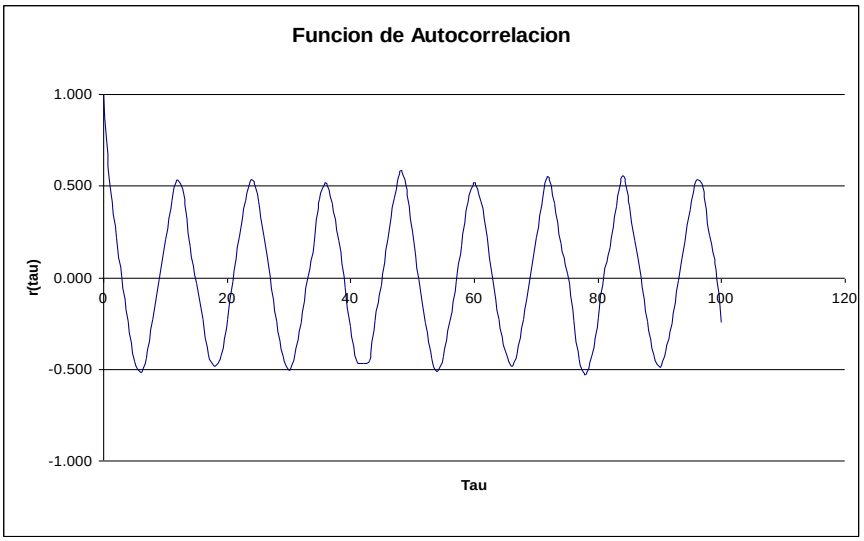


Figura 22. Función de autocorrelación Precipitaciones Cuenca Hatolaguna

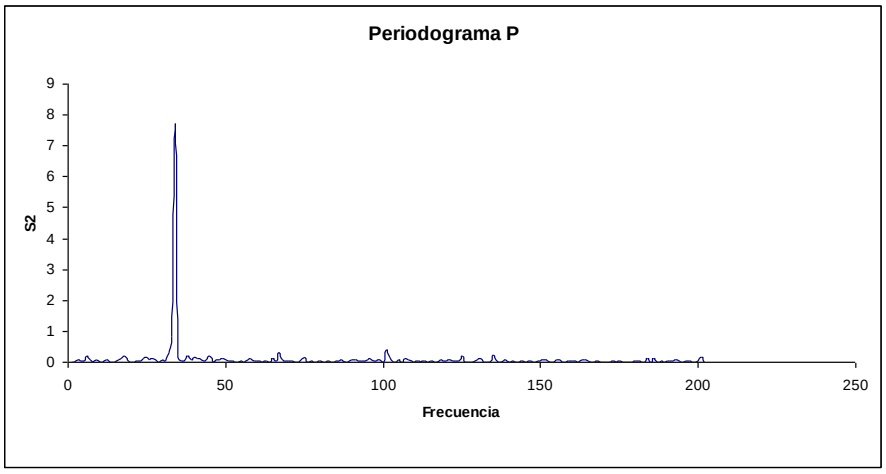


Figura 23. Períodograma Precipitaciones Cuenca Hatolaguna

Los datos de precipitación (Figuras 20 a 23), presentan un comportamiento regular con épocas de lluvia y de sequía intercalados con un valor medio de 96 mm. La función de autocorrelación desciende rápidamente lo que indica poca correlación de la precipitación de un mes con el mes anterior aunque la correlación no es del todo baja, es menor al 60%.

El períodograma nos muestra un valor muy alto de potencia para el armónico 34, que denota que el período de ocurrencia es de 12 meses ya que el número total de datos es 408, este valor es similar al de las demás subcuencas de la laguna de Tota antes mencionada.

DATOS DE CAUDALES

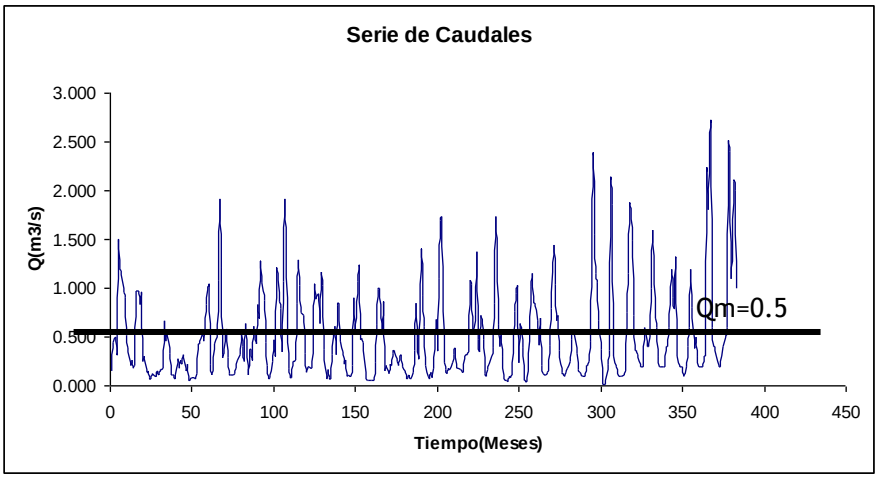


Figura 24. Serie de Caudales Cuenca Hatolaguna (Hatolaguna)

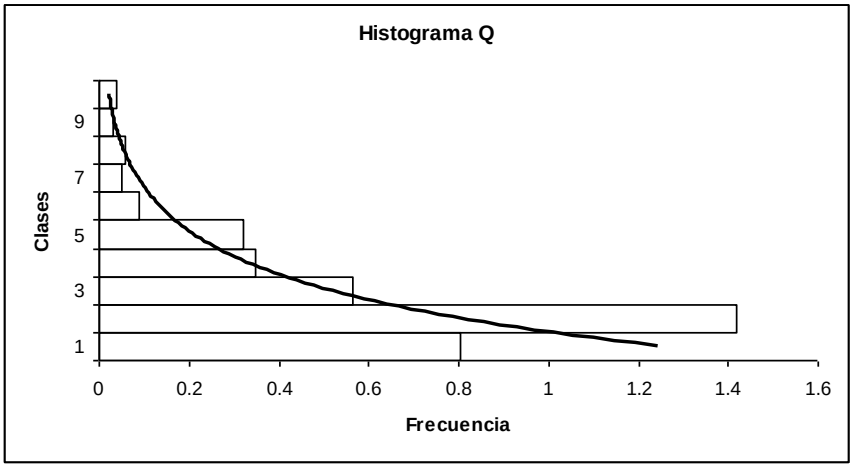


Figura 25. Histograma de Caudales Medios Cuenca Hatolaguna (Hatolaguna)

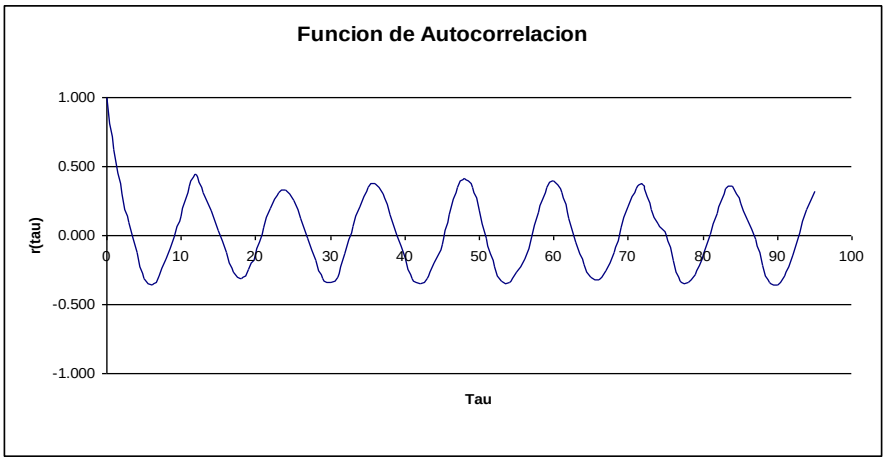


Figura 26. Función de Autocorrelación Cuenca Hatolaguna (Hatolaguna)

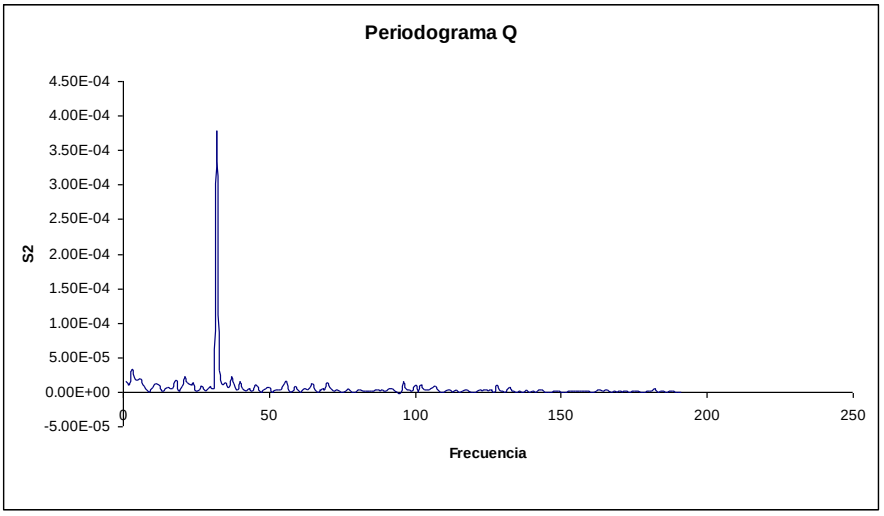


Figura 27. Períodograma de Caudales Cuenca Hatolaguna (Hatolaguna)

Los caudales (Figuras 24 a 27), presentan una distribución con muchos picos pero tambien con muchos períodos prolongados de sequía los cuales hacen que el promedio de la serie se encuentre muy por debajo de los caudales máximos. Por otra parte la distribución estadística de los datos de caudales es de tipo exponencial con un coeficiente de correlación mayor al 90%.

Los resultados de la función de correlación indican que los datos de caudales mensuales guardan un poco de correlación con el dato correspondiente al mes inmediatamente anterior .Por otro lado, el número de armónico predominante es 32 lo que equivale a una frecuencia de 0.032 o un período de 12 meses

5.4 ZONA S C Y D

En esta zona, a pesar de no existir cursos de agua se encuentra ubicada la derivación del lago que surte los acueductos de municipios que no pertenecen a la cuenca y también a la industria Acerías Paz del Río, por esta razón resulta importante analizar las variables climatológicas que caracterizan esta zona. Aunque esta zona no posee estaciones limnimétricas ni limnigráficas, cuenta con dos estaciones con registros importantes de precipitación: VILLITAS (ME 3509508) y El Túnel (PM 3509503) con información suficiente para desarrollar un análisis de series de tiempo de la precipitación. En este caso, solo se podría definir la oferta hídrica a partir del uso de metodologías que usan la relación lluvia-escorrentía (Figuras 28 a 31).

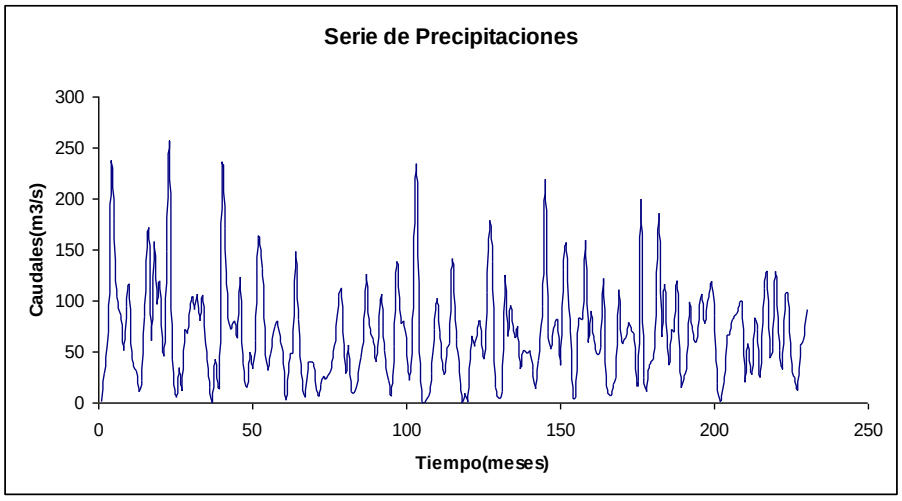


Figura 28. Serie de Precipitaciones Cuenca Salitre (Villitas)

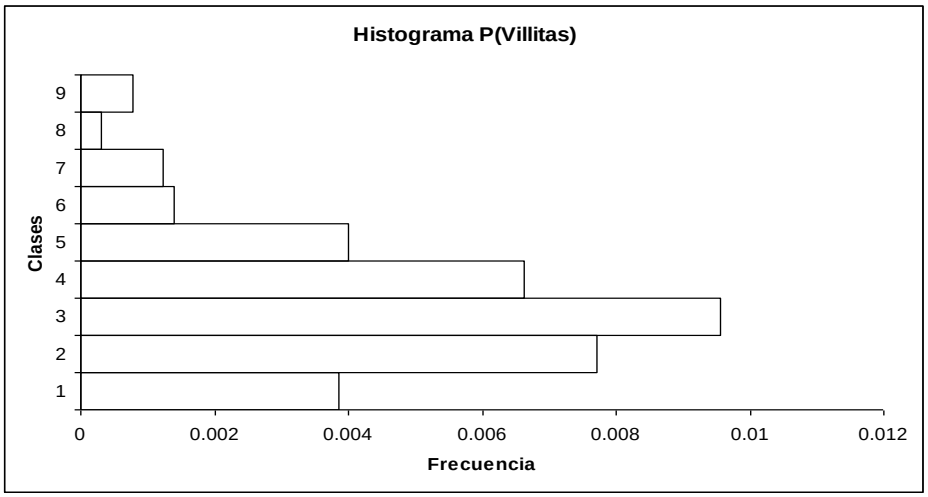


Figura 29. Histograma de Precipitaciones Cuenca Salitre (Villitas)

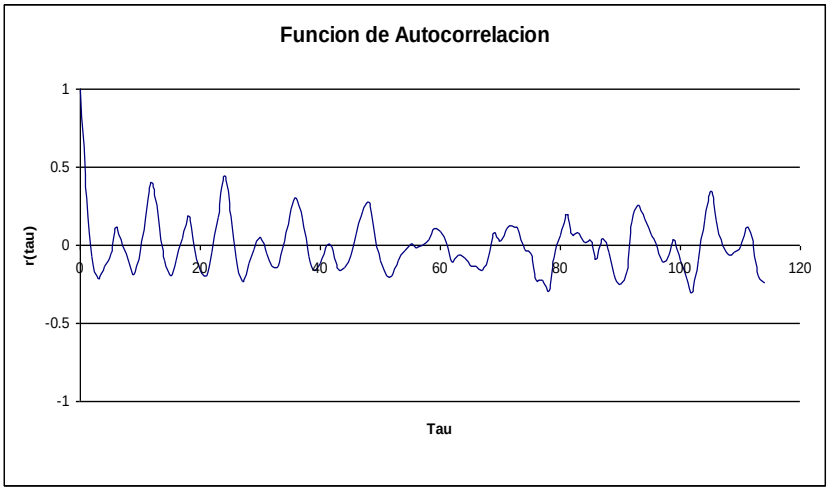


Figura 30. Función de Autocorrelación de Precipitaciones Cuenca Salitre (Villitas)

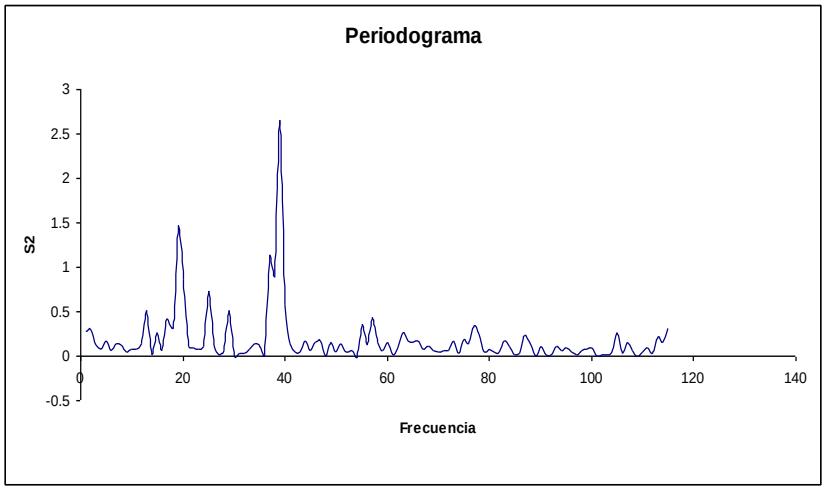


Figura 31. Períodograma de Precipitaciones Cuenca Salitre (Villitas)

Los datos de precipitación presentan un comportamiento regular con épocas de lluvia y de sequía intercaladas con un valor medio de 68 mm. La función de autocorrelación desciende rápidamente lo que indica poca correlación de la precipitación de un mes con respecto a los anteriores, esto se denota en valores de correlación cercanos a cero, inclusive para τ=1 (mes anterior).

Por otra parte, en el períodograma se observan dos picos sobresalientes: uno para un número de armónico de 19, que representa un período entre ciclos de 12 meses y otro pico para un armónico de 39, el cual representa un período de 6 meses. Sin embargo, el pico predominante es el del período de 6 meses, lo cual indica que la serie tiene un comportamiento bimodal (Figuras 32 a 35).

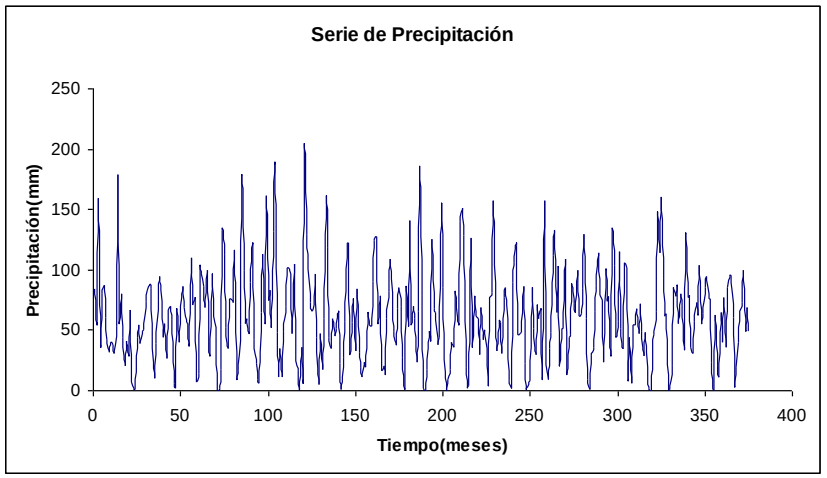


Figura 32. Serie de Precipitaciones Cuenca Túnel (El Túnel)

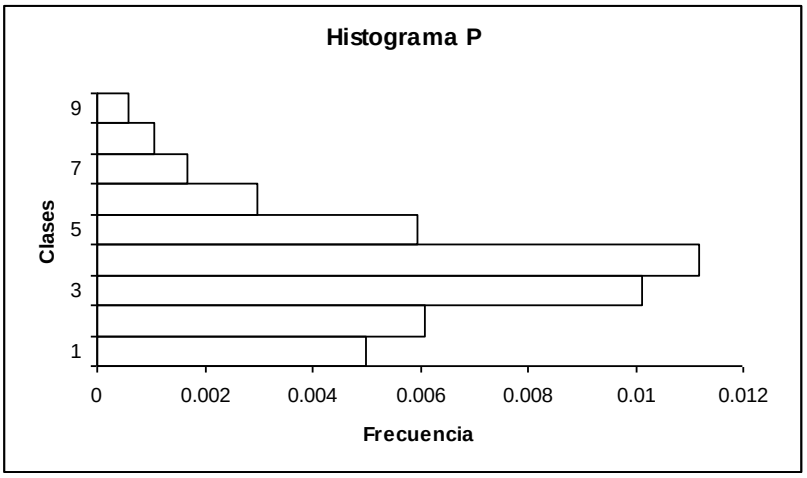


Figura 33. Histograma de Precipitaciones Cuenca Túnel (El Túnel)

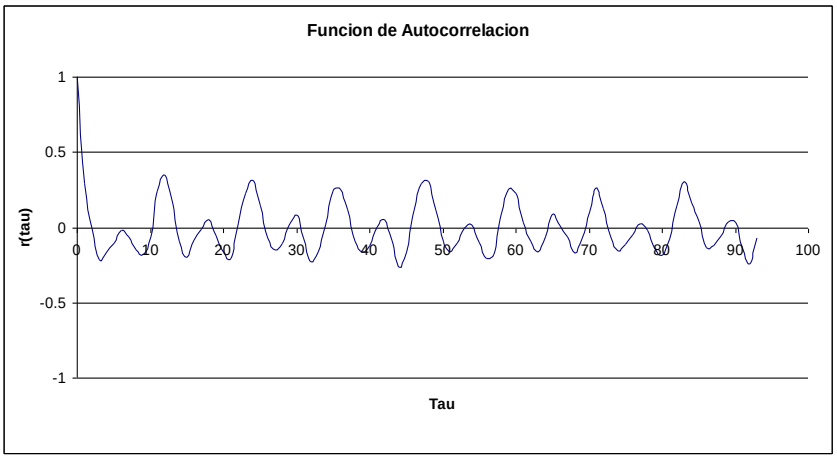


Figura 34. Función de Autocorrelación de Precipitaciones Cuenca Túnel (El Túnel)

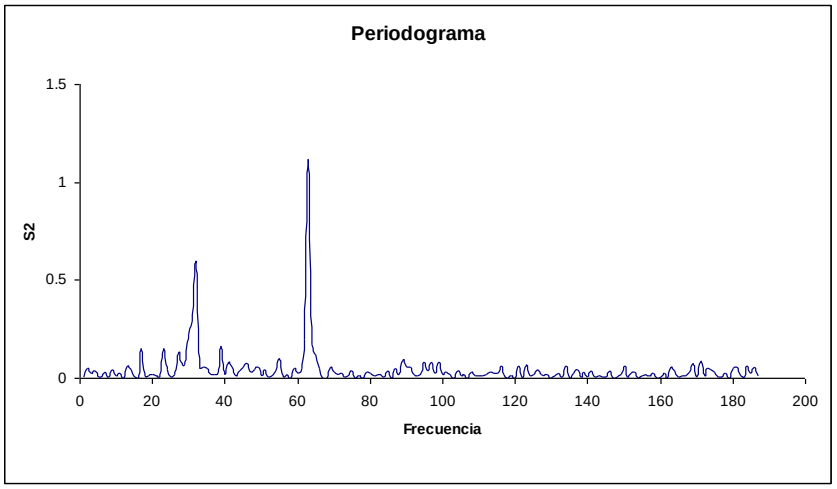


Figura 35. Períodograma de Precipitaciones Cuenca Túnel (El Túnel)

Los datos de precipitación presentan un comportamiento regular con épocas de lluvia y de sequía intercaladas con un valor medio de 61 mm. La función de autocorrelación desciende

rápidamente lo que indica poca correlación de la precipitación de un mes con respecto a los anteriores, esto se denota en valores de correlación cercanos a cero, inclusive para τ=1 (mes anterior).

Por otra parte, en el períodograma se observan dos picos sobresalientes: uno para un número de armónico de 32, que representa un período entre ciclos de 12 meses y otro pico para un armónico de 63, el cual representa un período de 6 meses. Sin embargo, el pico predominante es el del período de 6 meses, lo cual indica que la serie tiene un comportamiento bimodal.

5.5 ANÁLISIS COMPARATIVO DE VARIABLES HIDROCLIMATOLÓGICAS

Este análisis se desarrolla con el fin de establecer la variabilidad hidroclimatológica de de una subcuenca a otra dentro de la cuenca del lago de Tota y de estas con las cuencas adyacentes. Se evaluaron las variables de precipitación y caudal, ya que son las de mayor influencia en el cálculo del balance hídrico de una región. Otra variable importante como es la evaporación no se puedo analizar ya que no se cuenta con el número de estaciones adecuadas para realizar una evaluación confiable.

5.4.1 PRECIPITACIÓN

Los resultados obtenidos se muestran en gráficas comparativas que nos permiten encontrar diferencias en cuanto a tendencias, máximos y mínimos. A continuación se muestran los resultados de precipitaciones por estación, los que se dividieron en dos graficas de acuerdo a la forma de las distribuciones (Figura 36):

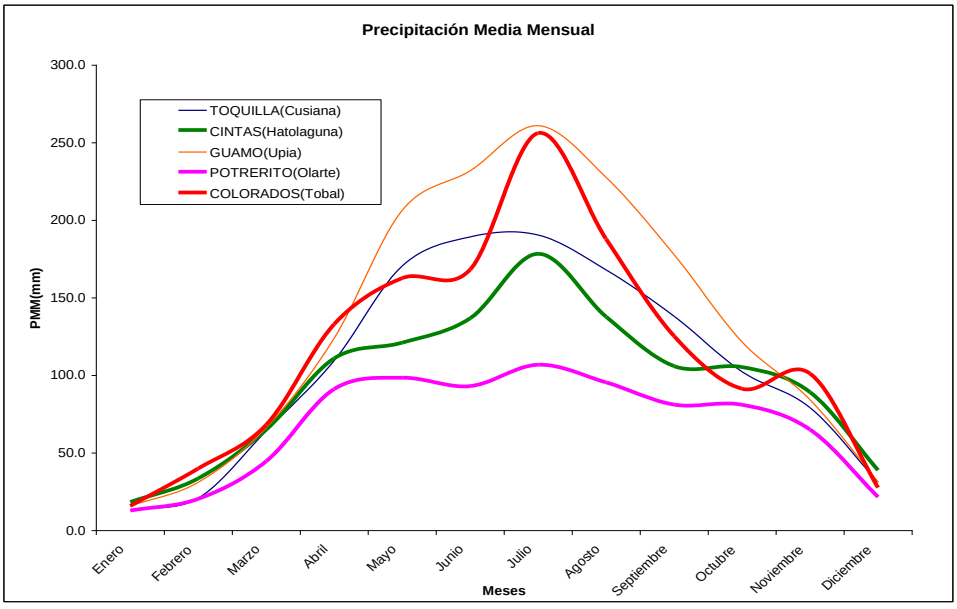


Figura 36. Precipitaciones Medias Mensuales Multianuales (Monomodales)

Estas estaciones presentan un comportamiento, usualmente denominado como monomodal con precipitaciones máximas entre los meses de Julio y Agosto lo que corroboraría los resultados obtenidos a través de los períodogramas calculados anteriormente, los cuales para estas estaciones dieron como resultado un valor del período de 12 meses, que no es otra cosa que un comportamiento monomodal (Figura 37).

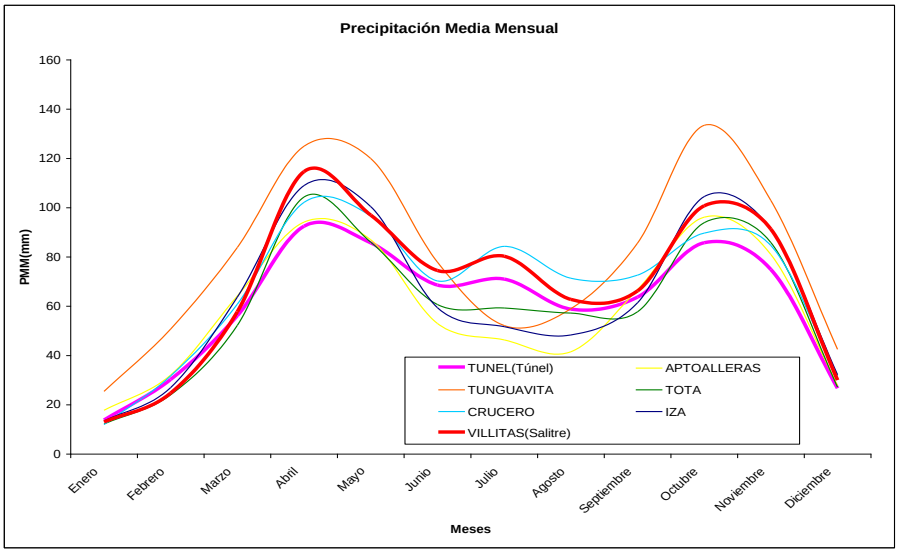


Figura 37. Precipitaciones Medias Mensuales Multianuales (Bimodales)

Se observa un comportamiento "bimodal" de estas estaciones con dos picos notorios en los meses de abril y noviembre lo que fortalece los resultados obtenidos mediante el uso de los períodogramas. Las subcuencas denominadas para este diagnóstico como Túnel y Tobal presentan una gran semejanza en cuanto al comportamiento y los valores máximos.

Por otra parte, se llevo acabo un análisis similar para los caudales con las estaciones que se tenían y los resultados obtenidos fueron (Figura 38):

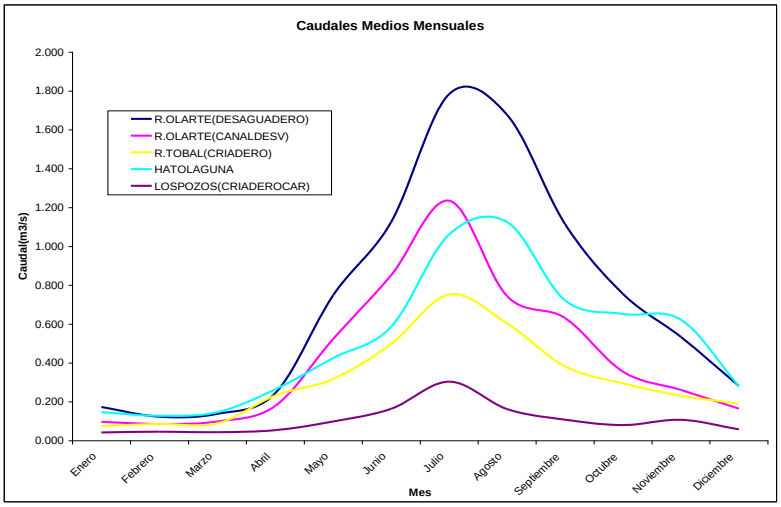


Figura 38. Caudales Medios Mensuales Multianuales

En esta gráfica se observa que en las estaciones Canal de Desviación (Subcuenca Olarte), Criadero CAR (Subcuenca Los Pozos) y Criadero (Subcuenca Tobal) los picos se encuentran entre los meses de Julio y Agosto al igual que los respectivos picos de precipitación, mientras que en la estación Hatolaguna, el pico esta ubicado entre los meses de agosto y septiembre, lo cual muestra un rezago con respecto a las precipitaciones máximas en esta cuenca.

Por otra parte, son notorias las diferencias en los caudales medios de una subcuenca a otra de las que hacen parte de la cuenca del lago de tota, para analizar dichas diferencias se construyó la siguiente tabla (Tabla 6):

Tabla 6. Caudales Medios Mensuales para Diferentes Cuencas

Cuenca	Qmedio(m3/s)
Hatolaguna	0.50
Olarte	0.38
Tobal	0.35
Los Pozos	0.10

En esta tabla se pueden observar diferencias marcadas entre la subcuenca Hatolaguna y las demás cuencas con diferencias de hasta del ochenta por ciento (80%) en el valor de los caudales medios. Sin embargo, la cuenca Tobal a pesar de tener la mayor precipitación media presenta caudales medios incluso menores que a los de la cuenca Olarte, la cual tiene valores de precipitación mucho más bajos.

6 ANÁLISIS DE NIVELES DEL LAGO

Desde 1958 hasta el presente se ha llevado a cabo un registro continuo de niveles en el lago (niveles medios, máximos y mínimos). Para efectos de este análisis se evaluaron los niveles medios mensuales obtenidos a partir del trabajo “Balance hidrológico del lago Tota y estudio preliminar del comportamiento hidráulico en lagos” (Cañón y Rodríguez, 2001), el cual muestra una recopilación de 40 años de niveles, esta serie se completó con los datos de mediciones de niveles dados por Corpoboyacá.

La serie de niveles del lago obtenida fue la siguiente (Figura 39):

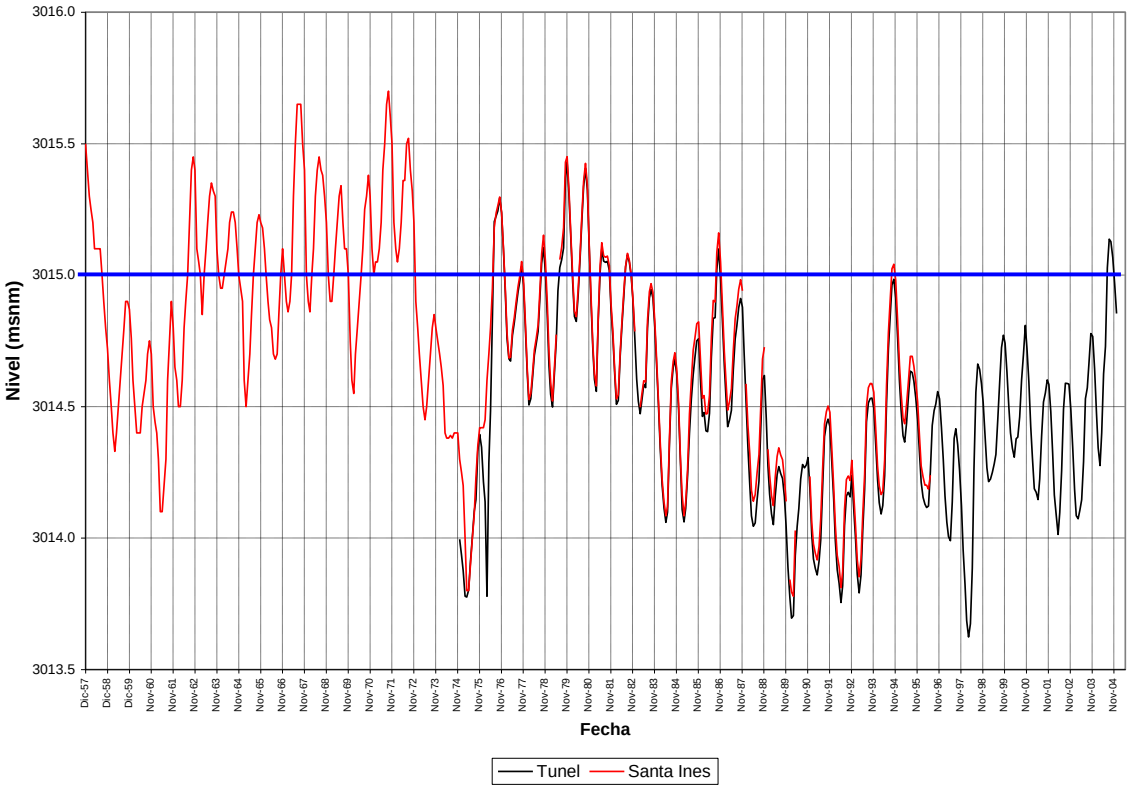


Figura 39. Serie de Niveles del Lago Estaciones Túnel y Santa Inés (Tomado de Reglamentación de las Aguas Derivadas del lago de Tota a través del Túnel de Cuitita (Pedraza, 2005))

Se puede observar en la serie de datos la línea de la cota 3015 (línea azul) y los niveles máximos y mínimos históricos de la serie que equivalen a 3015.70 y 3013.69 respectivamente. Por otra parte, es fácil darse cuenta de la tendencia de los niveles del lago a descender a partir de 1987, pero es imposible determinar hasta cuando va a llegar esa tendencia con la información disponible.

También se construyo el histograma de frecuencias de los niveles del lago (Figura 40):

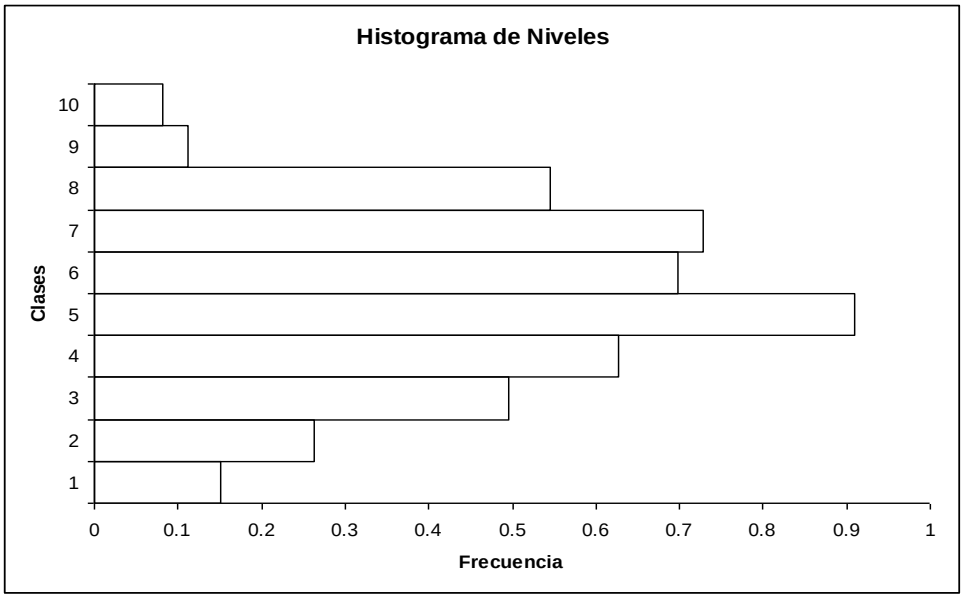


Figura 40. Histograma de Niveles del lago

La distribución probabilística de los niveles del lago se ajusta a una distribución normal con media 3014.72 y desviación estándar 0.44. Esto es muy importante ya que facilitaría la toma de decisiones de niveles de operación del lago para un período de retorno dado.

La gráfica de la función de autocorrelación que se construyó es la siguiente (Figura 41):

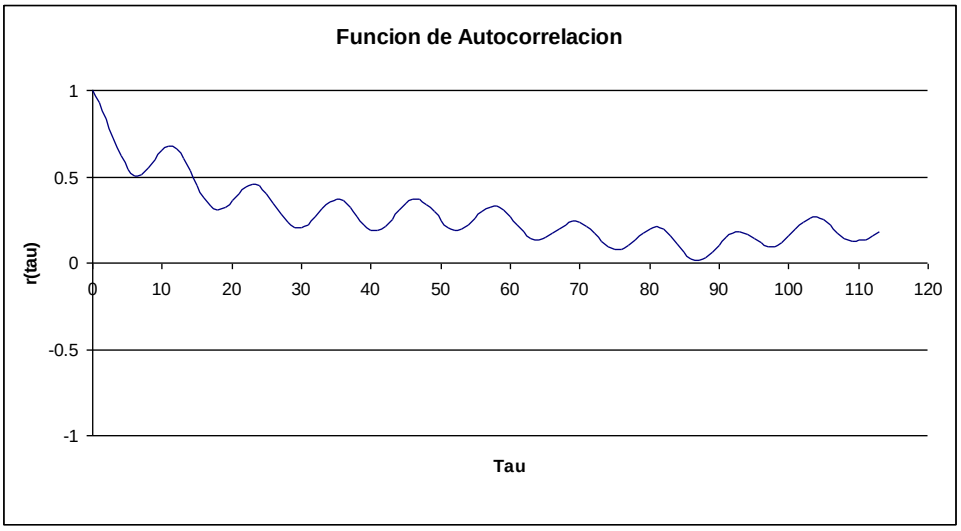


Figura 41. Función de Autocorrelación de Niveles del Lago

Los resultados obtenidos con la función de autocorrelación muestran una gran correlación del nivel de un mes hasta con el de tres (3) meses anteriores lo que indica la importancia del nivel base del lago en la definición de la dinámica hídrica.

En relación con los registros mensuales el valor máximo registrados en la estación Santa Inés para el periodo 1958 a 1996 es 3015.65msnm ocurrido en octubre de 1971, en la estación El Túnel para el periodo 1975 a 2005 es 3015.43msnm ocurrido en diciembre de 1979 valor que coincide con la estación Santa Inés en donde se registro un valor de 3015.45msnm. Para la

serie histórica diaria el valor máximo registrados en la estación Santa Inés para el periodo 1976 a 1996 es 3015.49msnm ocurrido entre el 25 de noviembre y el 2 de diciembre de 1979, en la estación El Túnel para el periodo 1975 a 2005 es 3015.47msnm registrado en los mismos días descritos para la estación Santa Inés.

El valor mínimo registrados en la estación Santa Inés para el periodo 1958 a 1996 es 3013.78msnm ocurrido en abril de 1990, en la estación El Túnel para el periodo 1975 a 2005 es 3013.62msnm ocurrido en abril de 1998. Para la serie histórica diaria el valor mínimo registrados en la estación Santa Inés para el periodo 1976 a 1996 es 3013.74msnm ocurrido el 16 de abril de 1990, en la estación El Túnel para el periodo 1975 a 2005 es 3013.60msnm registrado entre el 22 de abril y el 3 de mayo de 1998.

Basados en los registros máximos y mínimos históricos se puede establecer que el desembalse máximo ocurrido entre los periodos de registro de cada estación a nivel mensual es de 1.87m en la estación Santa Inés y de 1.81m en la estación El Túnel, a nivel diario se registra un valor de 1.75m en la estación Santa Inés y de 1.87m en la estación El Túnel. Se debe aclarar que los valores de desembalse calculados consideran los niveles máximos y mínimos de todo el periodo de registro, los valores de desembalse para periodos anuales concurrentes en los que se presentan picos y valles para un mismo año realmente no sobrepasan en valor de 1.2m de desembalse para el año hidrológico, en el caso más crítico registrado en 1958. De otro lado es interesante considerar para el registro diario la estadística relacionada con el porcentaje de tiempo en que un nivel ha sido igualado o excedido, realizada a través de la curva de frecuencias o curva de duración de niveles que se presenta a continuación (Figura 42):

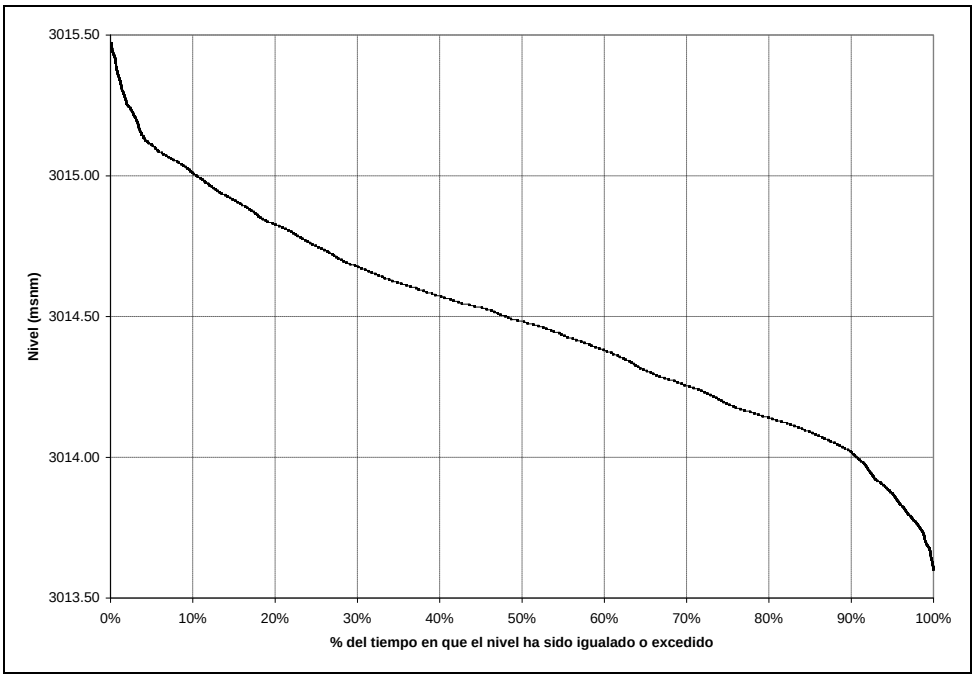


Figura 42. Curva de Duración de Niveles del lago (Tomado de Reglamentación de las Aguas Derivadas del lago de Tota a través del Túnel de Cuitita (Pedraza, 2005))

A partir de estos datos se infiere para el periodo diario registrado en la estación El Túnel entre 1975 y 2005 (30 años o 10950 días) que un 90% del tiempo el nivel a igualado o superado el

nivel 3014msnm, un 50% del tiempo el nivel a igualado o excedido el nivel 3014.5 msnm y que un 10% del tiempo el nivel ha igualado o excedido el nivel 3015 msnm.

7 ÍNDICE DE ESCASEZ DE AGUA

Es un indicador de estado que refleja la magnitud de la oferta de agua disponible en las distintas unidades hidrológicas así como también la relación de esta oferta con la demanda de agua existente en las distintas fuentes abastecedoras. En calidad de este indicador resulta natural utilizar la relación porcentual entre la demanda de agua del conjunto de actividades socioeconómicas y la oferta hídrica disponible en las fuentes abastecedoras. A partir de esta definición el índice de escasez se establece como la siguiente relación:

$$I_e = \frac{D}{O_n} \times 100\%$$

Donde:

I_e : Índice de escasez [%];
D: Demanda de agua [m³];
O_n : Oferta hídrica superficial neta [m³].

El primer paso para la evaluación del índice de escasez consiste en la definición de la oferta hídrica superficial total. Por oferta hídrica superficial total se entiende aquella porción de agua que después de haberse precipitado sobre la cuenca y satisfecho las cuotas de evapotranspiración e infiltración del sistema suelo–cobertura vegetal escurre por los cauces mayores de los ríos y demás corrientes superficiales, alimenta lagos, lagunas y reservorios, confluye con otras corrientes y llega directa o indirectamente al mar.

Para efectos de este trabajo, se decidió calcular la oferta hídrica neta a partir de la metodología corregida del Soil Conservation Service de los Estados Unidos, esto se debe principalmente a que solo se cuenta con registros adecuados de precipitación en toda la cuenca, por lo tanto es casi obligatorio el uso de un método que relacione lluvia-escorrentía.

Para el cálculo de los valores de oferta y demanda se subdividió la cuenca en las zonas de manejo conjunta antes mencionadas con el fin de escoger areas representativas de la cuenca del lago de tota, dicha subdivisión se mostró anteriormente.

7.1 CÁLCULO DE LA OFERTA

La oferta hídrica se calculó usando la metodología del número de curva (CN) del Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos. A partir del uso de los mapas de cobertura y suelos, se determinó el CN ponderado para cada zona de manejo especial y a partir de los valores de precipitación obtenidos del mapa de isoyetas se calcula el valor de la precipitación efectiva que es asumida como la oferta hídrica superficial. Por otra parte, las áreas correspondientes para cada zona se calcularon a través del uso de Arc View 3.2. (Tabla 7).

Tabla 7. Cálculo de Oferta (m^3)

Mes	Zona A	Zona B	Zona C	Zona D	Zona E
Enero	1.552.95	31.58	4.662.01	2.199.26	576.90
Febrero	35.079.49	12.817.34	7.675.12	7.675.12	87.971.85
Marzo	677.424.22	124.779.68	313.069.51	705.295.43	457.402.48
Abril	2.537.415.35	388.284.75	712.080.08	1.921.626.16	1.419.995.12
Mayo	3.747.689.21	453.293.17	1.140.216.89	1.902.590.07	1.552.334.23
Junio	3.541.270.34	392.002.91	970.795.76	1.353.485.89	1.567.618.36
Julio	5.691.662.94	561.499.27	1.410.149.40	1.722.825.49	2.307.115.23
Agosto	3.761.143.18	383.241.08	973.940.79	1.249.639.41	1.534.001.16
Septiembre	2.053.084.49	266.095.34	418.688.54	1.011.880.99	1.062.571.15
Octubre	328.085.69	541.880.13	1.621.057.94	1.234.229.51	5.670.391.10
Noviembre	1.604.689.33	263.570.31	548.651.90	1.381.802.71	945.277.38
Diciembre	38.745.93	19.148.77	15.877.70	129.824.25	84.394.75
Anual	**24.017.843.11**	**3.406.644.32**	**8.136.865.64**	**12.623.074.30**	**16.689.649.72**

7.2 CÁLCULO DE LA DEMANDA

Se debe estimar potencialmente el volumen de agua demandada en millones de metros cúbicos a nivel sectorial en los casos en los que no se tienen, y usar la información medida disponible en los otros. Las estimaciones se basan principalmente en la asociación de dos variables: el volumen de producción sectorial y un factor de consumo de agua por tipo de bien, cabe recalcar que estas estimaciones no contemplan las pérdidas de los sistemas de conducción, almacenamiento, tratamiento y distribución del agua en el suministro de agua potable. La demanda total es definida como:

$$DT = DUD + DUI + DUS + DUA + DUP$$

Donde:

DT = Demanda Total de agua
DUD = Demanda de Agua para Uso Doméstico
DUI = Demanda de Agua para uso Industrial.
DUS = Demanda de Agua para el Sector Servicios.
DUS = Demanda de Agua para uso agrícola.
DUP = Demanda de Agua para uso pecuario

Para el caso de las zonas de manejo conjunto de la cuenca del lago de Tota, los valores de demandas del sector servicios e industrial no son significativos por lo tanto no serán tenidos en cuenta.

7.2.1 DEMANDA DE AGUA PARA USO DOMÉSTICO

Para el cálculo de este ítem se hizo un conteo de las viviendas ubicadas en cada zona de manejo conjunto, a partir del siguiente SIG el que muestra la ubicación de mas de mil casas que se encuentran asentadas en el área de la cuenca, en este grafico se pueden identificar puntos verdes que representan viviendas ubicadas en cada una de las zonas de manejo común. Para

el cálculo de la demanda se contaron las viviendas que pertenecen a cada zona y se multiplicaron por valores tipificados o por valores provenientes de encuestas realizadas por estudios anteriores (Figura 43).

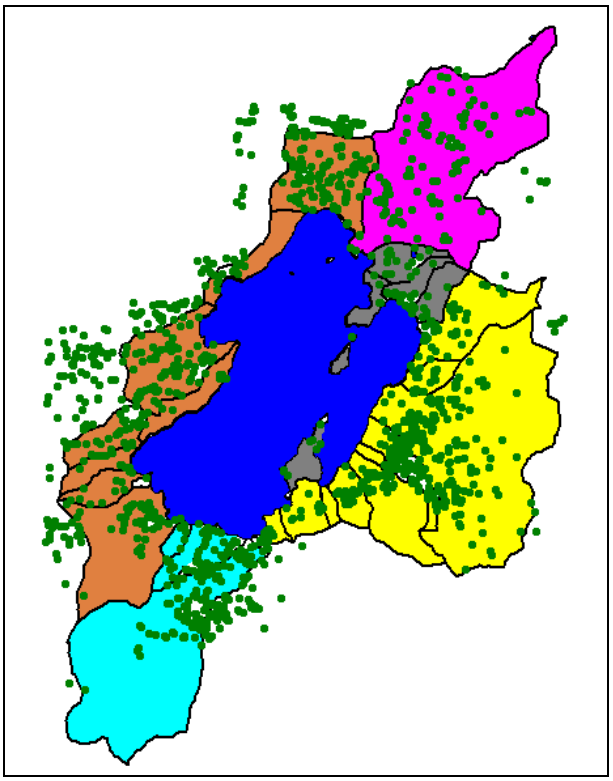


Figura 43. Viviendas en las diferentes zonas de Manejo

Los valores obtenidos para cada subcuenca son los siguientes (Tabla 8):

Tabla 8. Viviendas por Zona

Zonas	Area Total (m2)	No. de Viviendas
A	56.56	393
	6.70	49
B	31.34	152
C	29.12	190
D	11.90	124
E	34.42	104
Lago	60.00	1

A partir de estos valores de vivienda y usando un valor promedio del número de habitantes por vivienda (Tomado de las encuestas realizadas por el estudio Reglamentación de las Aguas Derivadas del lago de Tota a través del Túnel de Cuitita (Pedraza, 2005). Para el valor de consumo se utilizó un valor típico de regiones con climas fríos y rurales(tomado de El Agua (Perez Carmona, 1987)) (Tabla 9).

Tabla 9. Cálculo de Demandas para uso doméstico

Zona	No. de Viviendas	No. De Hab/Vivienda*	Consumo (l/hab/dia)	Consumo Mensual (m3)
A	56.56	4	170	8488.8
	6.70	4	170	1058.4
B	31.34	4	170	3283.2
C	29.12	4	170	4104
D	11.90	4	170	2678.4
LAGO	1	4	170	2246.4

*****Calculado de las encuestas realizadas en la zona por Pedraza, 2005

7.2.2 DEMANDA DE AGUA PARA USO AGRÍCOLA

Es conocido que la principal fuente de agua para la agricultura es la precipitación, pero en algunos casos esta cantidad de agua no es suficiente para satisfacer el uso consuntivo (ETP*Kc) de un cultivo particular. Estos volúmenes adicionales necesarios para el desarrollo de dicho cultivo, deben ser suministrados por sistemas de riego y corresponden al valor de la demanda por uso agrícola. Entonces, la formulación utilizada sería:

$$DUA = \left[P - (ETP * kc)\right] * ha$$

Donde:

DUA: Demanda de agua para el sector agrícola
P: Precipitación
ETP: Evapotranspiración potencial
kc: Coeficiente de uso de agua del cultivo (Obtenido del Informe 33 de la FAO)
ha: Número de hectáreas cultivadas

Para el cálculo se usó un mapa de coberturas que nos ayudo a establecer los diferentes usos consuntivos para cada zona de manejo conjunto. Por otra parte, se calcularon los valores de evapotranspiración (ETP) para cada zona utilizando las metodologías de Thornwaite, Haargreaves y Turc, y se compararon con los resultados de Pedraza (2005) los cuales fueron obtenidos usando la metodología de Penman. En algunos casos se usaron estos valores para el cálculo de la evapotranspiración. A partir de esta información se hicieron cálculos que permitieron hallar los valores de demanda de uso agrícola para cada zona (Figura 44).

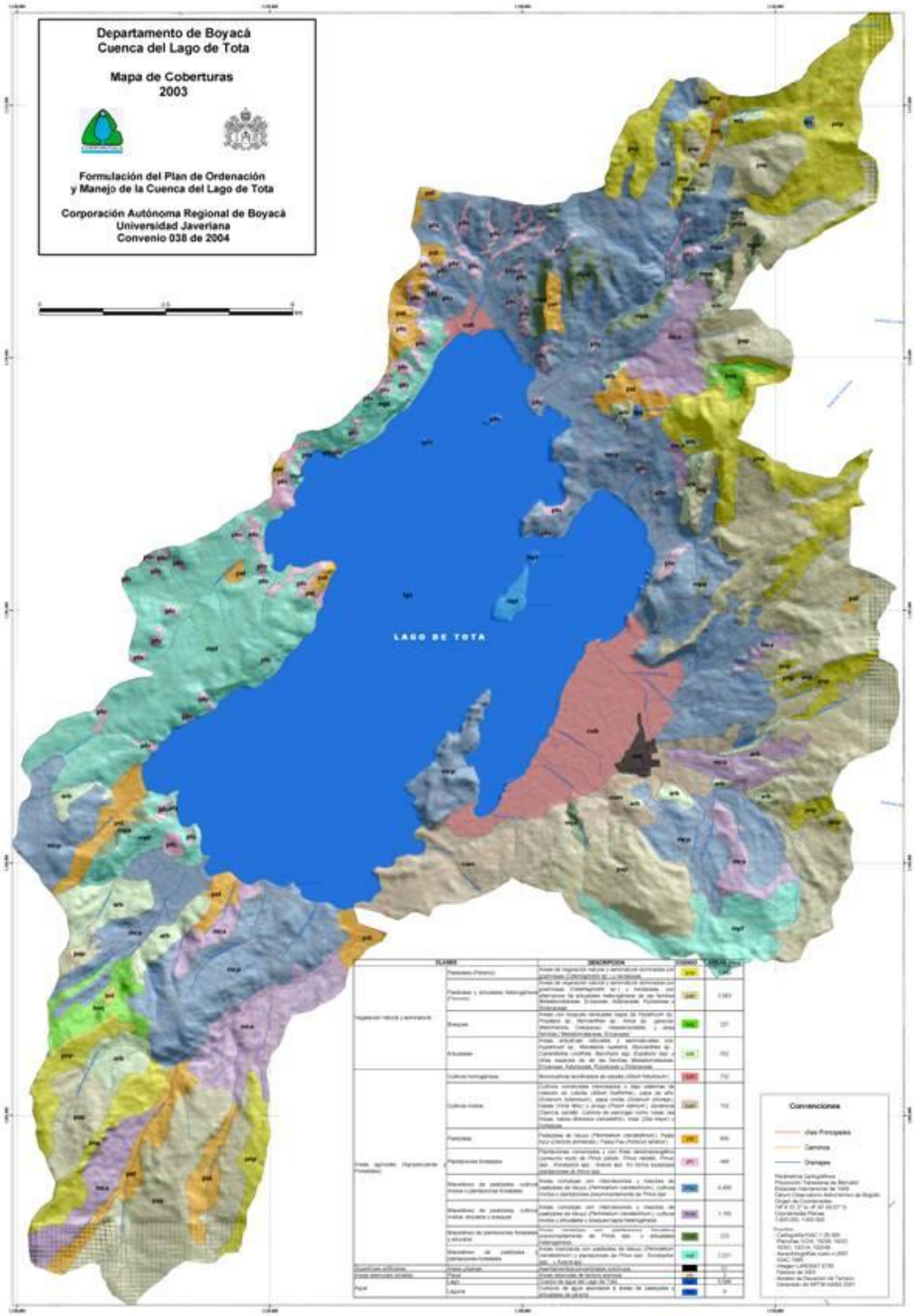


Figura 44. Coberturas vegetales de cada subcuenca

La tabla obtenida se calculó usando los datos derivados del Sistema de Información Geográfico para cada zona, además los datos de coeficientes de uso consuntivo se tomaron del Estudio de la FAO No. 33[4], y se adaptaron a las etapas de cultivo típicas obtenidas por el investigador de actividades productivas en la zona. Los tipos de cobertura encontrados se distribuyen de la siguiente manera en cada zona (Tabla 10):

Tabla 10. Áreas para cada tipo de cobertura por zonas (has^2)

COBERTURAS	ZONAS (has)					TOTAL
	A	B	C	D	E	
Arb	95,34	15,15	101,49	268,25	52,12	532,35
Aur	50,98					50,98
Bsq			6,74	151,67	48,37	206,78
Cuh	658,73	2,76	27,29	42,27		731,05
Cum	418,38	5,04	278,17			701,58
Lgu		4,84			3,94	8,78
Mca	305,21	2,10	604,75	34,70	218,22	1.164,99
Mcp	1.173,00	567,36	581,76	1.172,51	961,83	4.456,46
Mpa	24,84			64,45	133,54	222,83
Mpf	349,29			1.629,55		1.978,83
Pap	2.022,84	0,07	881,92	34,49	623,25	3.562,57
Pfo	15,44	15,79		381,37	28,60	441,20
Ply				3,36		3,36
Pnp	461,51	49,76	423,38	7,26	937,10	1.879,01
Pst	10,58	47,89	362,85	309,87	68,74	799,94
Total general	5.586,41	711,30	3.268,46	4.100,58	3.075,78	16.742,53

Los resultados se muestran en la siguiente tabla 11:

Tabla 11. Cálculo de Demandas para uso Agrícola (Mm^3)

Mes	Zona A		Zona B	Zona C	Zona D	Zona E
Enero	-0.492	-0.070	-0.223	0.000	-0.123	-0.171
Febrero	-0.388	-0.056	-0.175	0.000	-0.093	-0.116
Marzo	-0.128	-0.030	-0.039	-0.033	-0.023	-0.041
Abril	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Mayo	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Junio	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Julio	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Agosto	0.000	0.000	0.000	-0.014	-0.003	0.000
Septiembre	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.013	0.000
Octubre	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

[4] Citado por CLARO RIZZO, Francisco, IDEAM. Bogota, D.C, 1998

Noviembre	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Diciembre	-0.273	-0.036	-0.107	0.000	-0.082	-0.061

7.2.3 DEMANDA DE AGUA PARA USO PECUARIO

Para el cálculo de la demanda de uso pecuario se tomó el área correspondiente a potreros abiertos y se asumió un valor de animales/ ha estandarizado por altitud y clima. Por otra parte, el factor de consumo para los animales se adaptó del informe 33 para Latinoamérica de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) (Tabla 12).

Tabla 12. Cálculo de demandas de uso pecuario

Zona	Pastos (Ha)	Tipo de Animal	No. Animales/Ha	No. Animales	F.Consumo (l/animal/dia)	Consumo Mensual(m3)
A	630.82	Vaca de Engorde	2	1262	25	31540.8
	209.56	Vaca de Engorde	2	419	25	10477.9
B	640.27	Vaca de Engorde	2	1281	25	32013.7
C	179.00	Vaca de Engorde	2	358	25	8950.0
D	138.00	Vaca de Engorde	2	276	25	6900.0

El total de la demanda por zona se muestra a continuación (Tabla 13):

Tabla 13. Cálculo de demandas totales por zonas (Mm^3)

Mes	Zona A		Zona B	Zona C	Zona D	Zona E
Enero	501901.0	71774.3	227509.9	125987.8	173738.9	173604.9
Febrero	397769.0	57037.5	178915.3	96031.0	118989.2	118855.2
Marzo	137474.8	31526.0	43580.8	25802.2	43765.2	43631.2
Abril	9435.0	1372.7	4243.6	2885.4	2885.4	2751.4
Mayo	9435.0	1372.7	4243.6	2885.4	2885.4	2751.4
Junio	9435.0	1372.7	4243.6	2885.4	2885.4	2751.4
Julio	9435.0	1372.7	4243.6	2885.4	2885.4	2751.4
Agosto	9435.0	1372.7	4243.6	5404.0	2885.4	2751.4
Septiembre	9435.0	1372.7	4243.6	16075.5	2885.4	2751.4
Octubre	9435.0	1372.7	4243.6	2885.4	2885.4	2751.4
Noviembre	9435.0	1372.7	4243.6	2885.4	2885.4	2751.4
Diciembre	282275.8	37610.7	111030.1	85293.9	64053.0	63919.0

Con los valores de oferta y demanda, se calcula el índice de escasez mensual para cada zona (Tabla 14):

Tabla 14. Cálculo Índice de Escasez(%)

Mes	Zona A	Zona B	Zona C	Zona D	Zona E
Enero	1193%	466%	77%	354%	537%
Febrero	7704522%	2561%	120%	475%	7476%
Marzo	40%	35%	1036%	1049%	21%
Abril	1%	1%	2%	2%	0%
Mayo	0%	1%	1%	3%	0%
Junio	0%	1%	4%	7%	0%
Julio	0%	0%	2%	4%	0%
Agosto	0%	1%	8%	12%	0%
Septiembre	1%	2%	66%	13%	0%
Octubre	1%	2%	3%	3%	0%
Noviembre	1%	2%	3%	5%	1%
Diciembre	694914%	4584%	98%	352%	688%

Los resultados se estandarizaron de acuerdo a la OMM [5](Tabla 15).

Tabla 15. Criterios de estandardización de la OMM

Categoría del índice de escasez	Porcentaje de la oferta hídrica utilizada	Color
Alto	> 40 %	Rojo
Medio	20 – 40%	Naranja
Moderado	10 – 20%	Amarillo
Bajo	<10%	Verde

Los valores estándar obtenidos son los siguientes (tabla 16):

Tabla 16. Índice de Escasez

Mes	Zona A	Zona B	Zona C	Zona D	Zona E
Enero	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto
Febrero	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto
Marzo	Medio	Medio	Alto	Alto	Medio
Abril	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo
Mayo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo

[5] Evaluación general de los recursos de agua dulce del mundo, Nueva York, 1997, 33 p

Junio	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo
Julio	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo
Agosto	Bajo	Bajo	Bajo	Moderado	Bajo
Septiembre	Bajo	Bajo	Alto	Moderado	Bajo
Octubre	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo
Noviembre	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo
Diciembre	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto

En el mes de enero existe una fuerte presión sobre el recurso hídrico en todas las zonas siendo mucho mas grave en las zonas A, B y C. Esto denota una urgencia máxima del ordenamiento de la oferta y la demanda a través de mecanismos que regulen la demanda agrícola que es la que tiene mas influencia sobre los valores de demanda. En estos casos la baja disponibilidad de agua puede constituir un factor limitador del desarrollo económico en escenarios futuros.

Este problema se vuelve sistemático en la zona A donde el 30% del año se mantiene un índice de escasez entre alto y medio. Esto se debe principalmente a la existencia de una gran extensión de áreas de cultivo intensivo de cebolla en las regiones cercanas al lago. El problema se agrava ya que en esta región se encuentra ubicada la mayor parte de la población de la cuenca (40%). Esto deriva en la proliferación de mangueras conectadas directamente al lago, las cuales permiten mitigar el problema y por otro lado aumentan el uso desmedido de agua, ya que esta no tiene ningún costo.

La zona B presenta una problemática de agua principalmente en el mes de enero, la cual es mitigada a través de la extracción de agua del lago debido a su cercanía y facilidad. Por otra parte, en la zona C y D se puede observar un índice alto en los meses de enero y febrero, aunque en la zona C los valores de la demanda no superan los de la oferta en ninguna época del año como sucede en las otras cuencas pertenecientes al lago de tota.

La zona E, es la región con menos problemas de escasez de agua, sin embargo el aumento desmedido de las áreas de monocultivo de cebolla podría derivar a que en escenarios futuros se presente un déficit de agua similar a las otras cuencas

8 ANÁLISIS DE ENTRADAS Y SALIDAS DEL LAGO

Con el fin de analizar toda la dinámica hídrica de la cuenca se debe analizar el lago como un ente independiente interconectado a través de las corrientes de agua con cada una de las zonas que se han considerado a lo largo de este estudio. Para este fin se considera que el agua faltante en épocas secas para los requerimientos de cada zona se extrae del lago, y que el agua que no es utilizada en cada zona entra al lago. Por otra parte, se consideran las precipitaciones como entradas directas al lago y la evaporación como salida.

Para calcular un balance del lago primero se hizo un análisis de los excedentes y faltantes para cada zona a través de la resta de oferta y demanda, los resultados obtenidos se incorporaron en una tabla de entradas y salidas del lago en la cual se calcula el balance hídrico del lago como tal. En esta tabla se tiene en cuenta además de esta resta, información de precipitación

obtenida a partir de las isoyetas antes calculadas, la evaporación tomada de las estaciones, los valores de consumo de acueductos obtenidos de Pedraza (2005) (Tablas 17 y 18).

Tabla 17. Diferencias entre oferta y Demanda (m3)

Mes	Zona A	Zona B	Zona C	Zona D	Zona E
Enero	-645.840.79	-13.194.34	418.40	-4.594.29	-2.174.50
Febrero	-477.417.80	11.444.60	3.431.51	881.57	85.220.45
Marzo	502.121.74	123.406.94	308.825.90	698.501.88	454.651.08
Abril	2.527.980.32	386.912.01	707.836.47	1.914.832.61	1.417.243.72
Mayo	3.738.254.19	451.920.43	1.135.973.28	1.895.796.52	1.549.582.83
Junio	3.531.835.31	390.630.17	966.552.15	1.346.692.34	1.564.866.96
Julio	5.682.227.92	560.126.53	1.405.905.79	1.716.031.94	2.304.363.83
Agosto	3.751.708.16	381.868.35	969.697.18	1.242.845.86	1.531.249.76
Septiembre	2.043.649.46	264.722.60	414.444.93	1.005.087.44	1.059.819.75
Octubre	318.650.67	540.507.39	1.616.814.33	1.227.435.96	5.667.639.70
Noviembre	1.595.254.31	262.197.57	544.408.29	1.375.009.16	942.525.97
Diciembre	-324.137.27	17.776.03	11..634.09	123.030.70	81.643.34
Anual	**22244286.21**	**3378318.27**	**8085942.32**	**12541551.71**	**16656632.89**

Tabla 18. Balance Hídrico del Lago (Mm3)

Área del Lago:	58.0 Km2		**Entradas(Mm3)**			**Salidas(Mm3)**			
Mes	**P(mm)**	**E(mm)**	**Entradas por P(Mm3)**	**Olarte (Mm3)**	**Entrada Total Zonas (Mm3)**	**E (Mm3)**	**Acueductos**	**Balance Con Olarte**	**Balance Sin Olarte**
Enero	15.14	110.2	0.88	0.0004	-0.67	-6.39	-1.84	-8.02	-8.02
Febrero	25.52	101.2	1.48	0.0034	-0.38	-5.87	-1.86	-6.63	-6.63
Marzo	54.34	105.7	3.15	0.3088	2.09	-6.13	-1.85	-2.74	-3.05
Abril	95.84	85.8	5.56	0.7078	6.95	-4.98	-1.81	5.73	5.02
Mayo	103.57	77.8	6.01	1.1360	8.77	-4.51	-1.75	8.51	7.38
Junio	90.20	69.7	5.23	0.9666	7.80	-4.04	-1.75	7.24	6.27
Julio	108.93	69.5	6.32	1.4059	11.67	-4.03	-1.74	12.22	10.81
Agosto	88.21	72.7	5.12	0.9697	7.88	-4.22	-1.74	7.04	6.07
Septiembre	74.52	74.3	4.32	0.4144	4.79	-4.31	-1.82	2.97	2.56
Octubre	87.22	81.8	5.06	1.6168	9.37	-4.74	-1.78	7.91	6.30
Noviembre	77.70	81.6	4.51	0.5444	4.72	-4.73	-1.93	2.56	2.02
Diciembre	27.61	93.1	1.60	0.0116	-0.09	-5.40	-1.82	-5.71	-5.72
								31.07	**22.9**

9 CONCLUSIONES

A partir de las series de lluvias obtenidas de las estaciones analizadas se puede concluir que existen notables diferencias regionales de la precipitación media mensual, las cuales varían de 1280 mm/año en la estación Colorados a 728 mm/año en la estación Túnel. Esta característica se puede observar con mayor claridad al analizar las isoyetas de valores medios de precipitación para cada mes, las cuales indican una disminución progresiva de la precipitación para todos los meses de oriente a occidente con valores medios en la estación Las Cintas.

En las series de precipitaciones se pueden observar diferencias en el comportamiento, por una parte en las estaciones Potrerito (Olarte), Colorados y Las Cintas se presenta un comportamiento monomodal de la precipitación con valores máximos entre Julio y Agosto, por otro lado en las estaciones del Túnel y Las Villitas presentan un comportamiento bimodal con picos entre abril y mayo, y octubre y noviembre. Cabe recalcar que en estas épocas de máxima precipitación las diferencias entre una cuenca y otra se acentúan.

Resultó difícil encontrar una relación confiable entre el caudal (Q) y la precipitación (P) a través del análisis regresional de los datos para las estaciones con las que se cuenta, esto se puede observar en los valores bajos de los coeficientes de correlación obtenidos en el análisis completo y en el decadal. Sumado a esto la variación de coberturas de una zona a otra no nos permite considerar la cuenca como una unidad hidrológica de respuesta única.

La distribución probabilística de los niveles del lago se ajusta a una distribución normal con media 3014.72 y desviación estándar 0.44. Esto es muy importante ya que facilitaría la toma de decisiones de niveles de operación del lago para un riesgo conocido. Por otra parte, los resultados obtenidos con la función de autocorrelación muestran una gran correlación del nivel de un mes hasta con el de tres (3) meses anteriores lo que indica la importancia del nivel base del lago en la definición de la dinámica hídrica. A partir de los datos de niveles diarios se infiere que un 90% del tiempo el nivel ha igualado o superado el nivel 3014msnm, un 50% del tiempo el nivel a igualado o excedido el nivel 3014.5 y que un 10% del tiempo el nivel ha igualado o excedido el nivel 3015.

A continuación presentamos los niveles de afectación e intervención recomendados en este trabajo para los resultados obtenidos de los índices de escasez:

Alto. Existe fuerte presión sobre el recurso hídrico, denota una urgencia máxima para el ordenamiento de la oferta y la demanda. En estos casos la baja disponibilidad de agua es un factor limitador del desarrollo económico

Medio. Es necesario el ordenamiento tanto de la oferta como de la demanda. Se deben asignar prioridades a los distintos usos y prestar particular atención a los ecosistemas acuáticos para garantizar que reciban el aporte hídrico requerido para su existencia. Se necesitan inversiones para mejorar la eficiencia en la utilización de los recursos hídricos

Moderado. Indica que la disponibilidad de agua se está convirtiendo en un factor limitador del desarrollo por lo tanto es importante regular el crecimiento de las actividades productivas.

Bajo. No se experimentan presiones importantes sobre el recurso hídrico, sin embargo es importante analizar escenarios futuros.

De acuerdo a la problemática encontrada se considera que la zona A debe ser priorizada para su intervención en cuanto a la optimización del aprovechamiento del recurso hídrico, ya que a pesar de tener un rendimiento hídrico bueno, presenta largos períodos de escasez denotados en índices altos. Además, en esta zona la producción agrícola es la mas alta de la cuenca y se encuentra concentrada una gran parte de la población.

Se debe poner en marcha un programa de calibración y mejoramiento de las estaciones existentes y la instalación de nuevas estaciones que permitan desarrollar un análisis más detallado de las variables hidroclimatológicas que determinan la oferta con el fin de verificar continuamente el estado de la dinámica hídrica de la cuenca. Y que nos permita en un futuro construir modelos que se adapten de forma mas estrecha a la realidad.

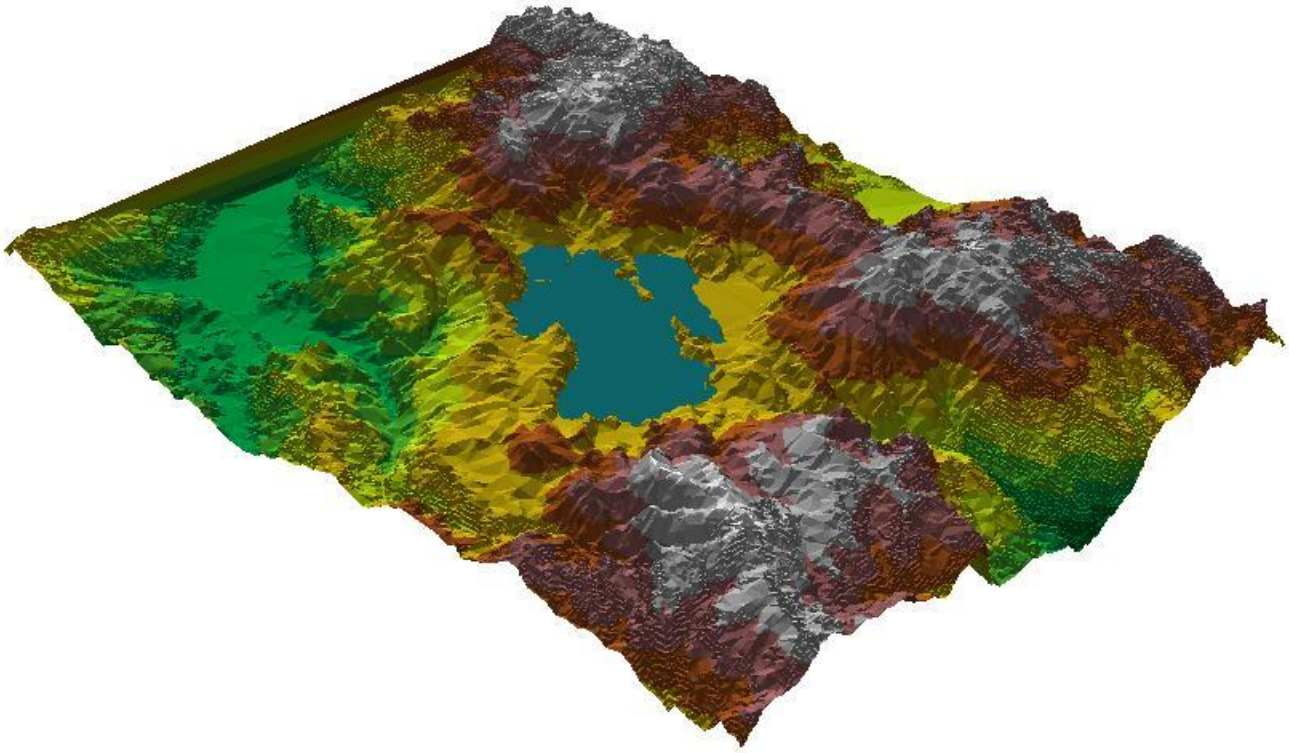
De acuerdo a los datos obtenidos del balance hídrico del lago se observa que durante los cuatro meses mas secos del año el lago estaría bajando el nivel en hasta 0.40 m a causa de la extracción desmedida con fines agrícolas, sin embargo durante la mayor parte del año se observa una tendencia al aumento del nivel derivado de las altas precipitaciones en hasta un (1) metro. A partir del presente estudio se hizo notoria la inexistencia de mediciones adecuadas sobre la extracción de volúmenes de agua de las corrientes y del lago lo que deriva en el desconocimiento de los valores reales de la demanda del recurso hídrico. Por esta razón, se recomienda establecer políticas que permitan ejercer controles sobre la derivación del recurso de las fuentes de agua.

10 BIBLIOGRAFÍA

1. OMM, Evaluación general de los recursos de agua dulce del mundo, Nueva York, 1997, 33 p.
2. OMM, Guía de prácticas hidrometeorológicas, Ginebra, OMM.
3. UNESCO. Guía metodológica para la elaboración del balance hídrico de América del Sur. Montevideo – Uruguay, 1982, 130 p.
4. Chow, V.T.; Maidment, D.R.; Mays, L.W. Hidrología aplicada, McGraw-Hill, Bogotá 1994.
5. Ministerio del Medio Ambiente, España. Restauración Hidrológico Forestal de Cuencas y Control de la Erosión, Ediciones Mundiprensa. 1998
6. Kristensen K.J., Jensen S.E., A model for estimating actual evapotranspiration, Nordic hydrology, Vol 6, pp 70 – 88.
7. Instituto De Hidrología, Meteorología Y Estudios Ambientales, IDEAM. Estudio Nacional del Agua. Bogotá, 2000.
8. MONSALVE, German. Hidrologia en la Ingeniería. Ed. Escuela Colombiana de Ingeniería. Bogotá, 1995.
9. MAIDMENT, David y DEAN, Djokic. Hydrologic and Hydraulic Modelling Support with GIS. Ed. Esri Press. 2000.
10. PEDRAZA, Jairo. Reglamentación de las Aguas Derivadas del lago de Tota a través del Túnel de Cuitiva. Convenio Corpoboyacá – UPTC. 2005

11. ANEXOS

ANEXO 1. MODELO DE ELEVACION DIGITAL 3D



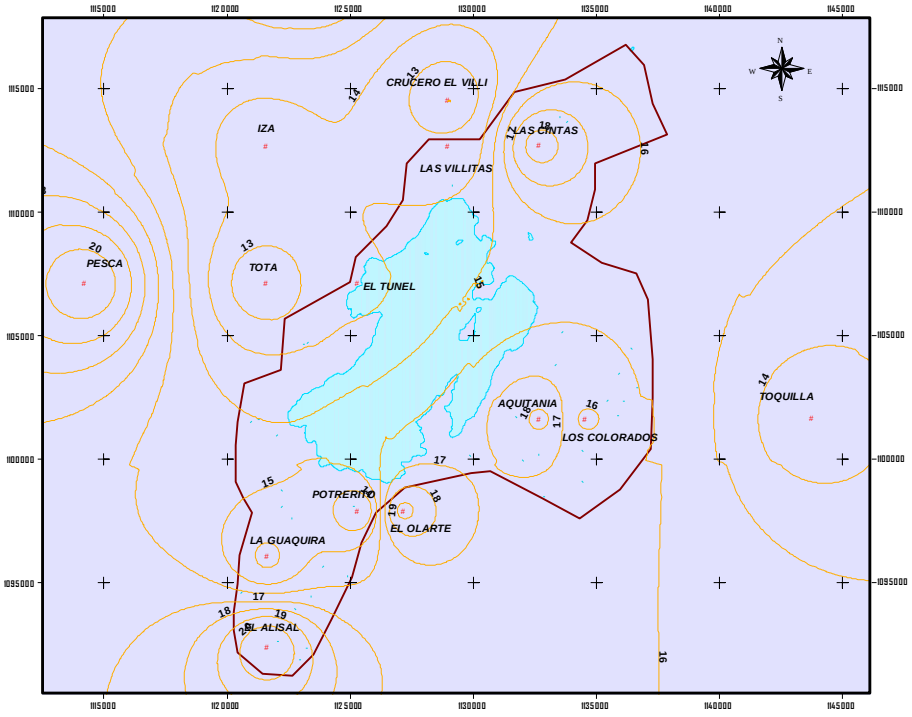
ANEXO 2.

ISOYETAS: PRECIPITACIÓN TOTAL MENSUAL (MEDIA MULTIANUAL)

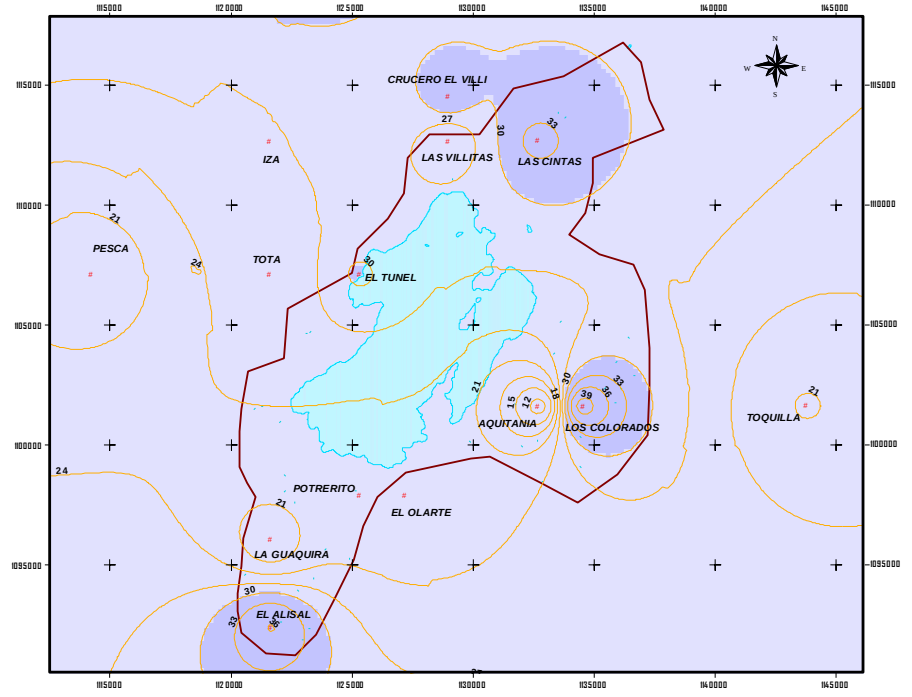
ISOMÁXIMAS: PRECIPITACIÓN MÁXIMA EN 24 HORAS (MEDIA MULTIANUAL)

ISOYETAS: PRECIPITACIÓN TOTAL MENSUAL (MEDIA MULTIANUAL)

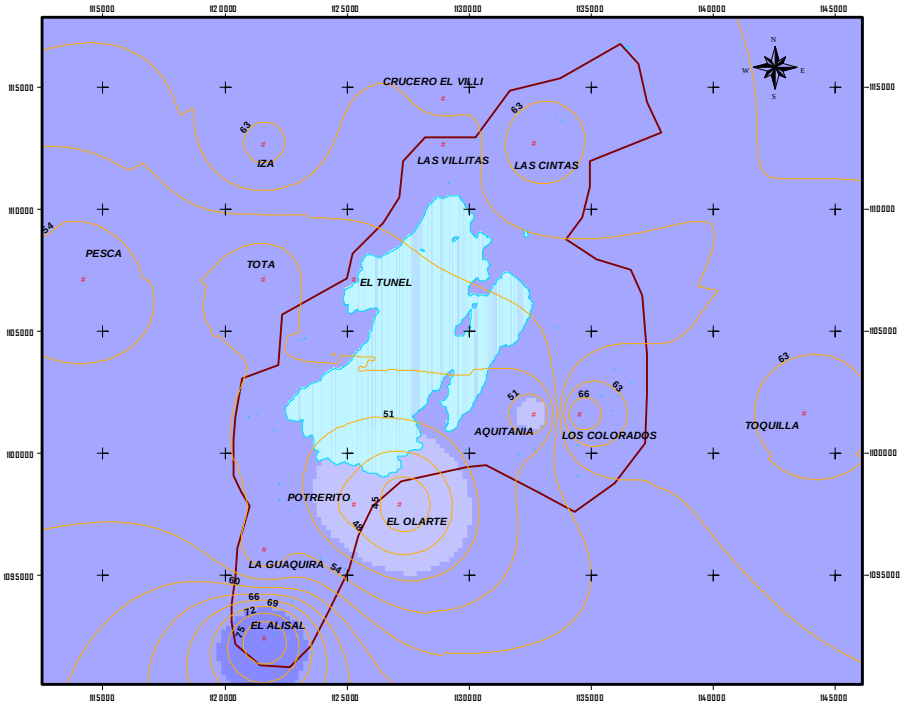
ENERO



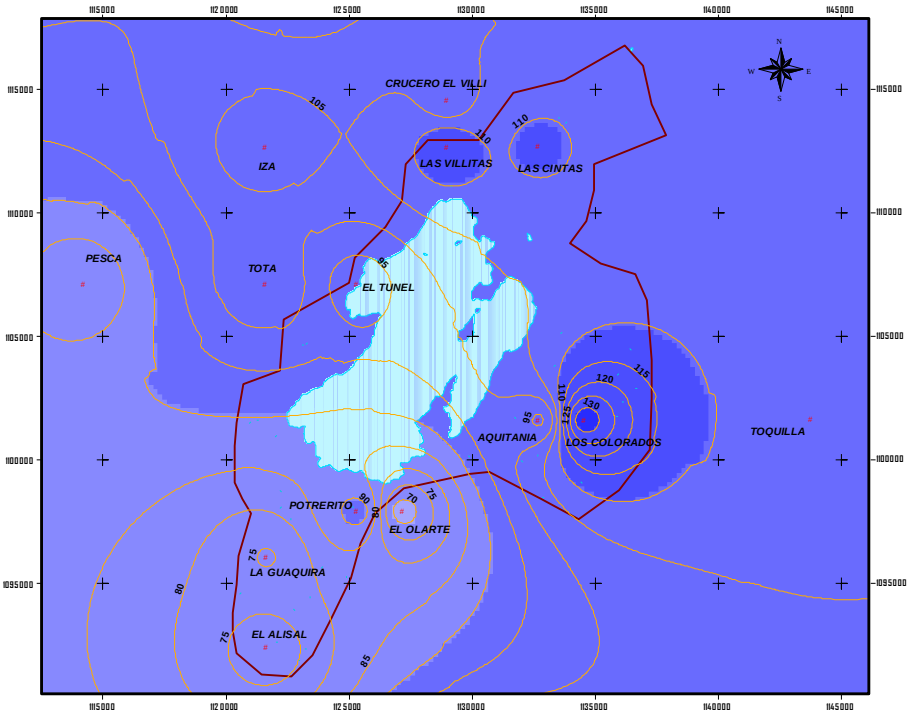
FEBRERO



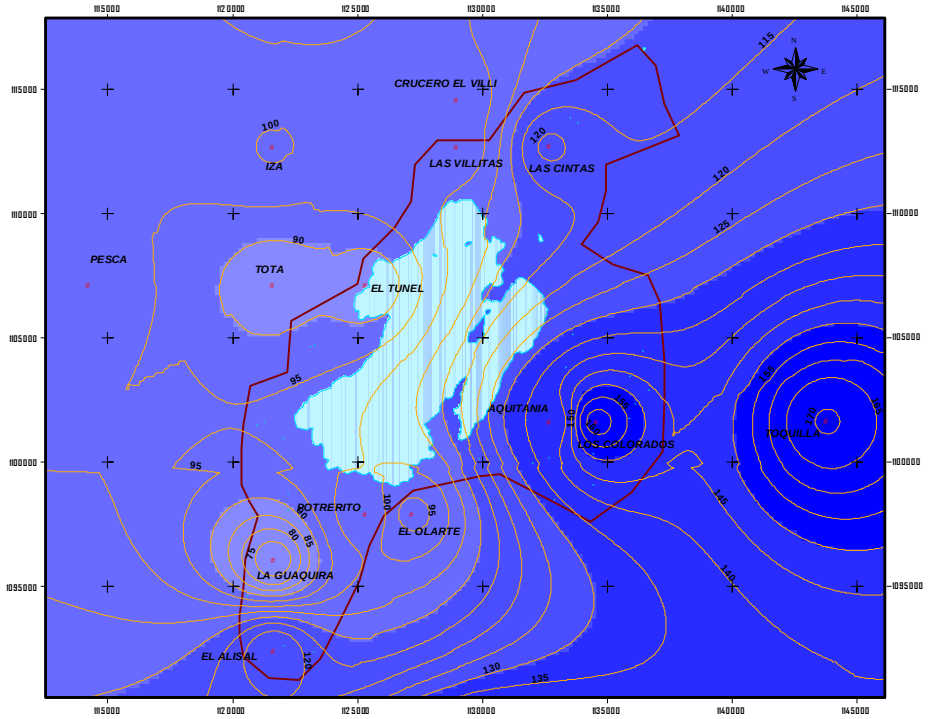
MARZO


CRUCERO EL VILLI
IZA
LAS VILLITAS
LAS CINTAS
PESCA
TOTA
EL TUNEL
AQUITANIA
LOS COLORADOS
TOQUILLA
POTRERITO
EL OLARTE
LA GUAQUIRA
EL ALISAL

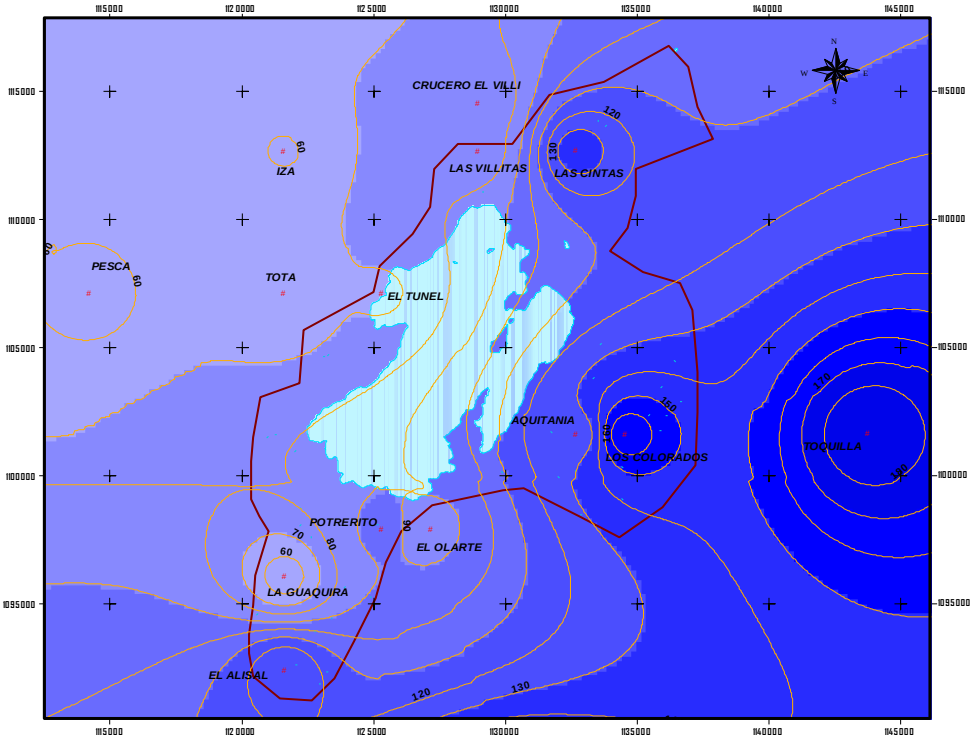
ABRIL


CRUCERO EL VILLI
IZA
LAS VILLITAS
LAS CINTAS
PESCA
TOTA
EL TUNEL
AQUITANIA
LOS COLORADOS
TOQUILLA
POTRERITO
EL OLARTE
LA GUAQUIRA
EL ALISAL

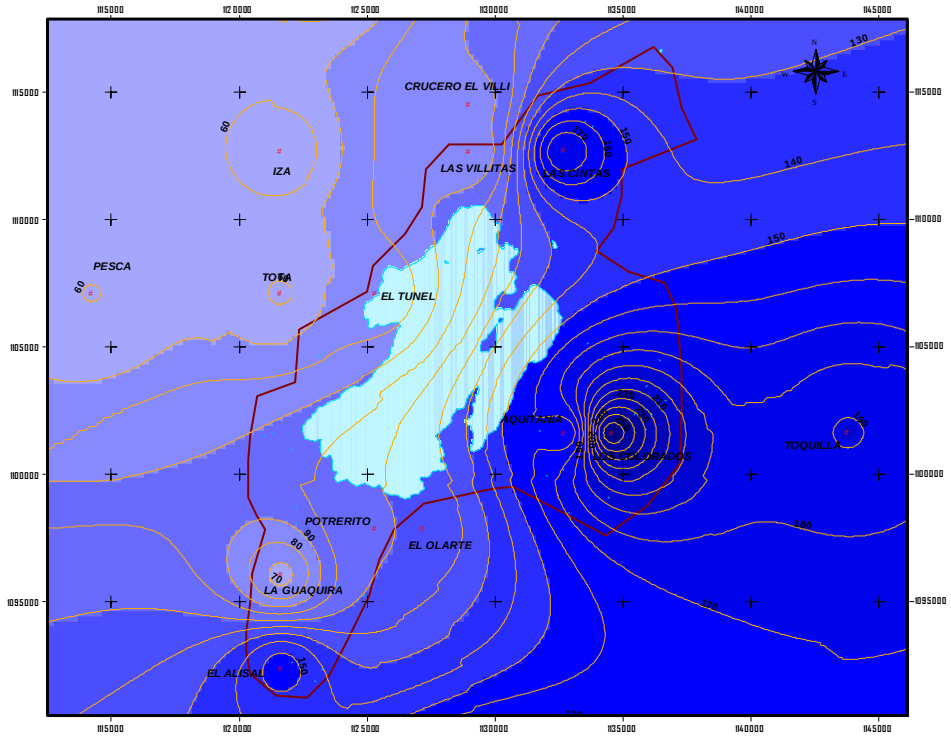
MAYO


CRUCERO EL VILLI
IZA
LAS VILLITAS
LAS CINTAS
PESCA
TOTA
EL TUNEL
AQUITANIA
LOS COLORADOS
TOQUILLA
POTRERITO
EL OLARTE
LA GUAQUIRA
EL ALISAL

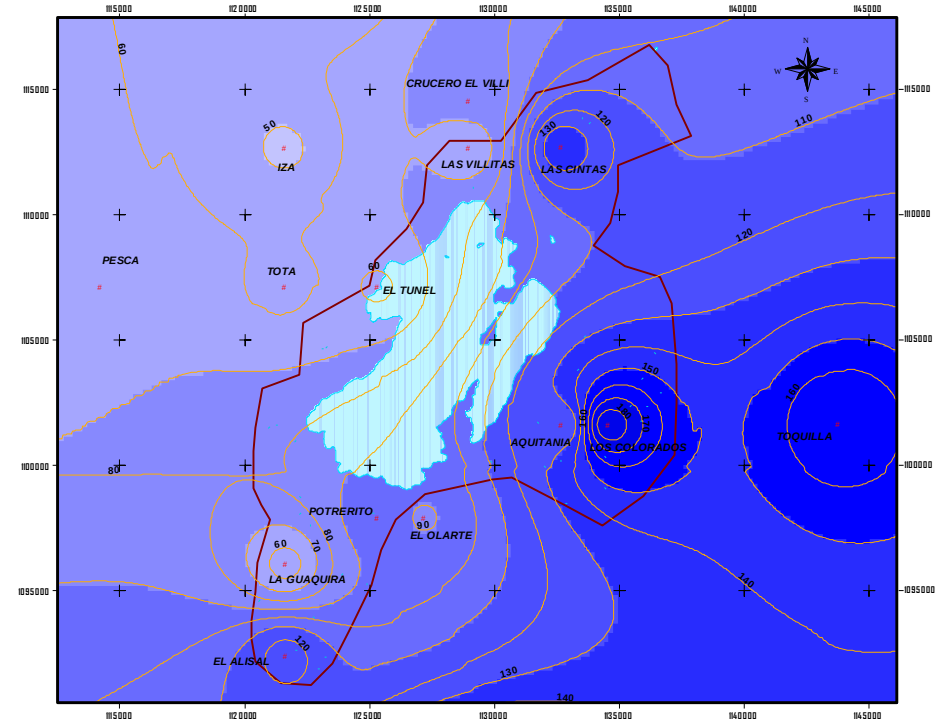
JUNIO


CRUCERO EL VILLI
IZA
LAS VILLITAS
LAS CINTAS
PESCA
TOTA
EL TUNEL
AQUITANIA
LOS COLORADOS
TOQUILLA
POTRERITO
EL OLARTE
LA GUAQUIRA
EL ALISAL

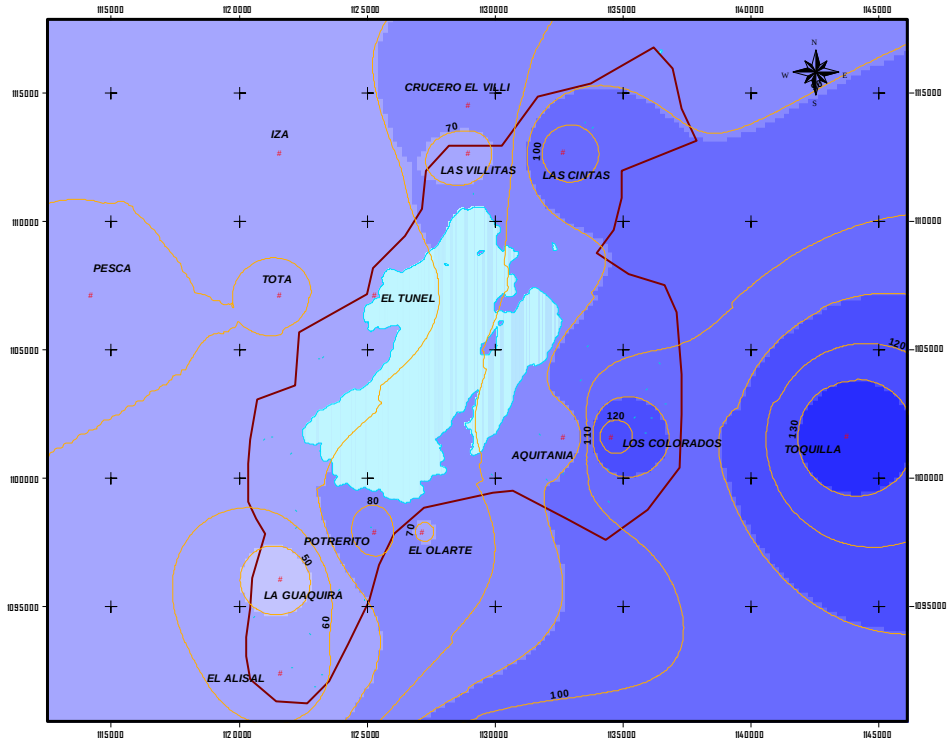
JULIO



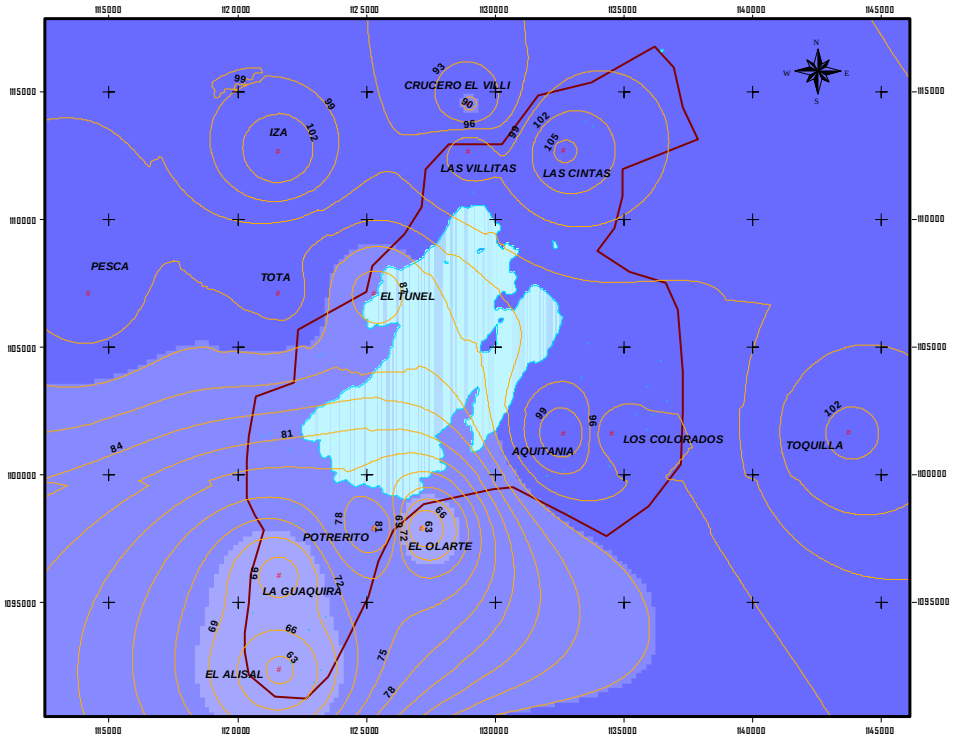
AGOSTO



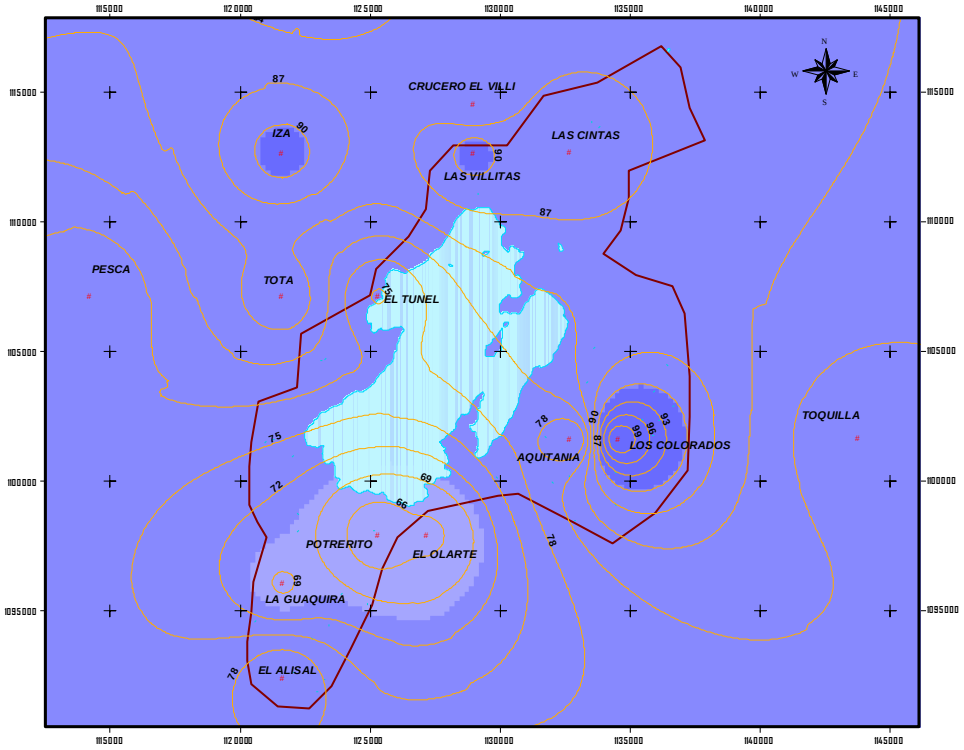
SEPTIEMBRE



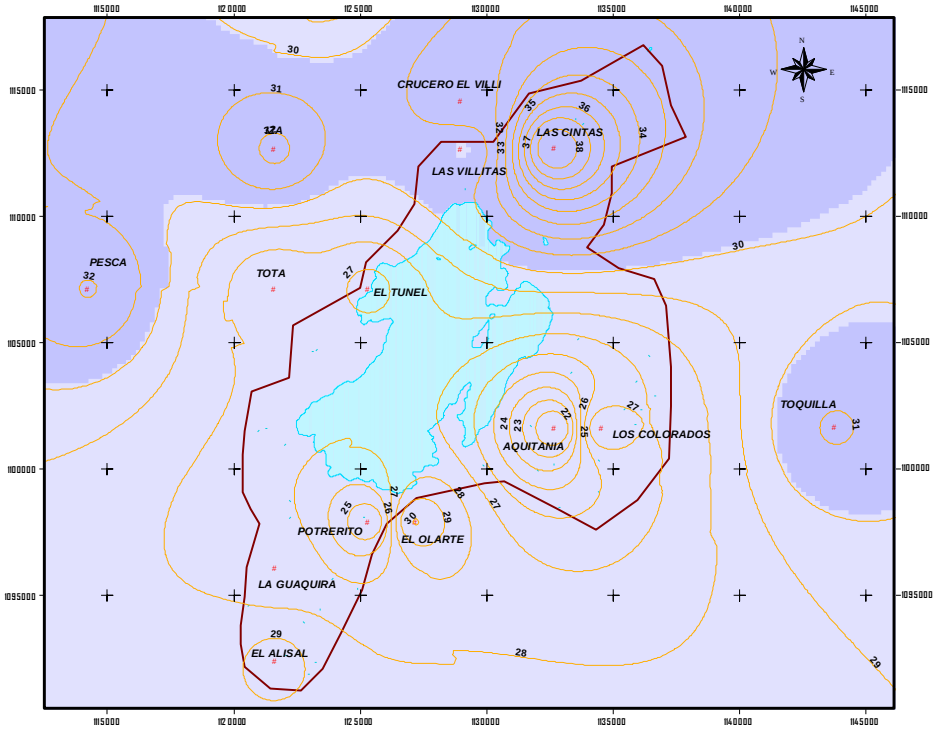
OCTUBRE



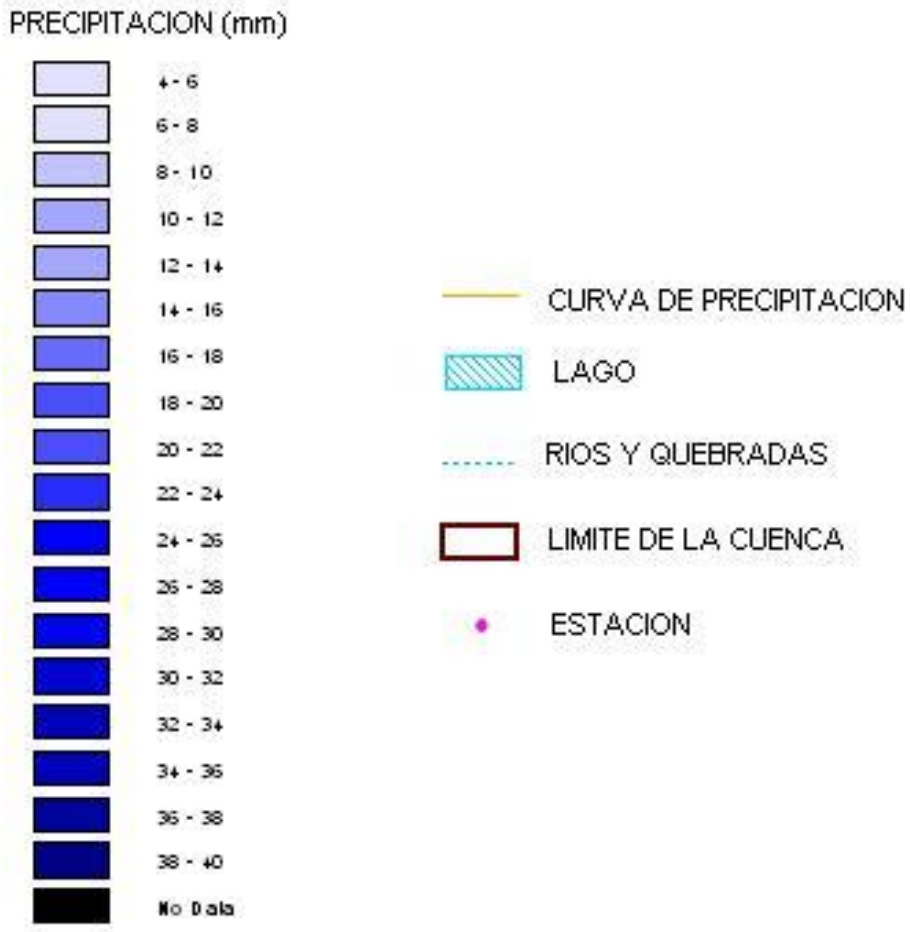
NOVIEMBRE



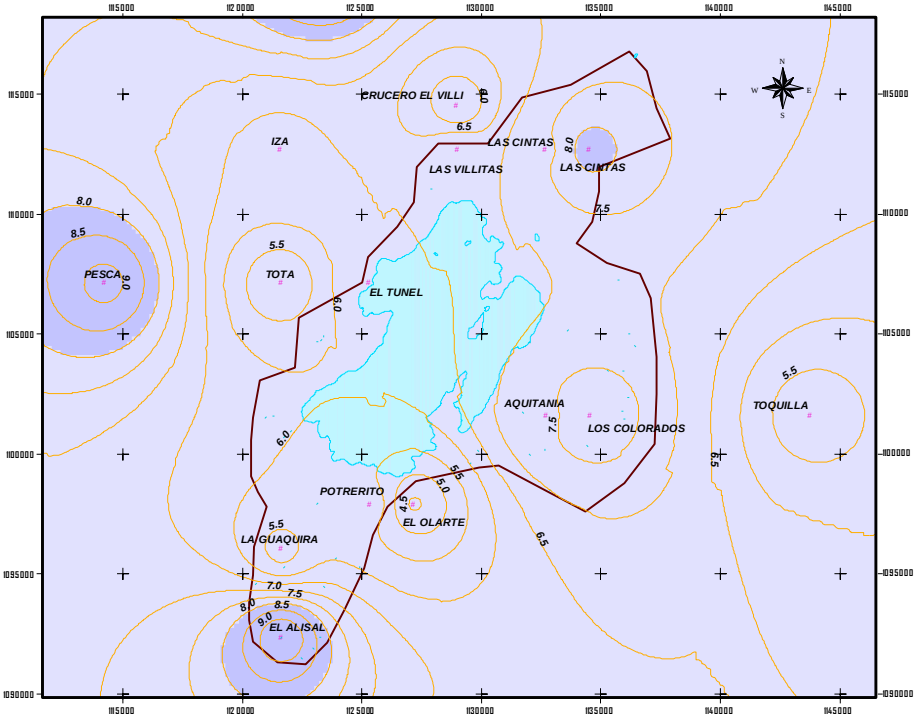
DICIEMBRE



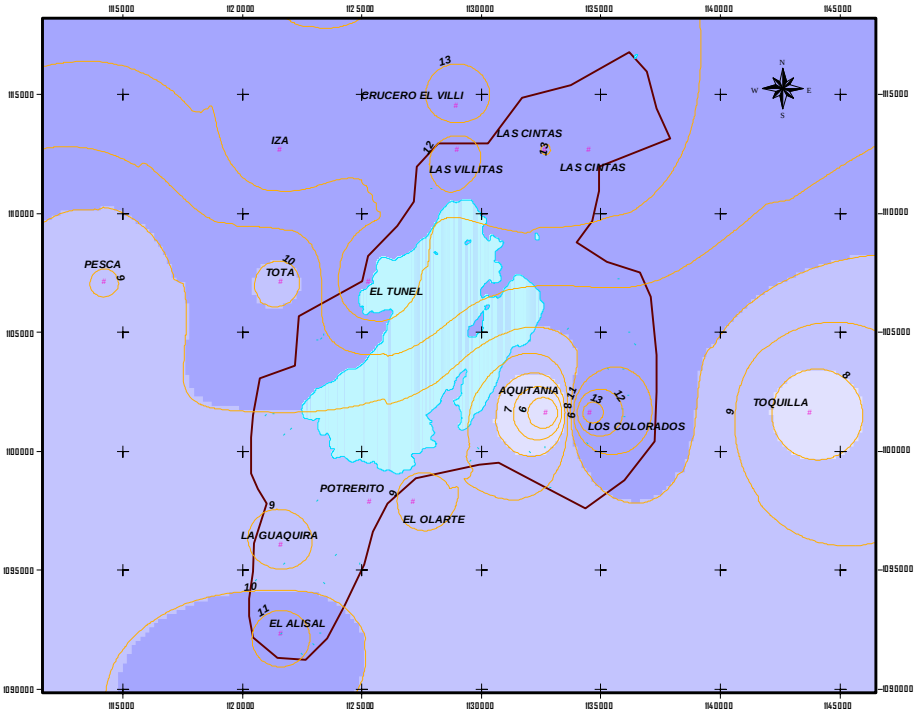
ISOMÁXIMAS: PRECIPITACIÓN MÁXIMA EN 24 HORAS (MEDIA MULTIANUAL)



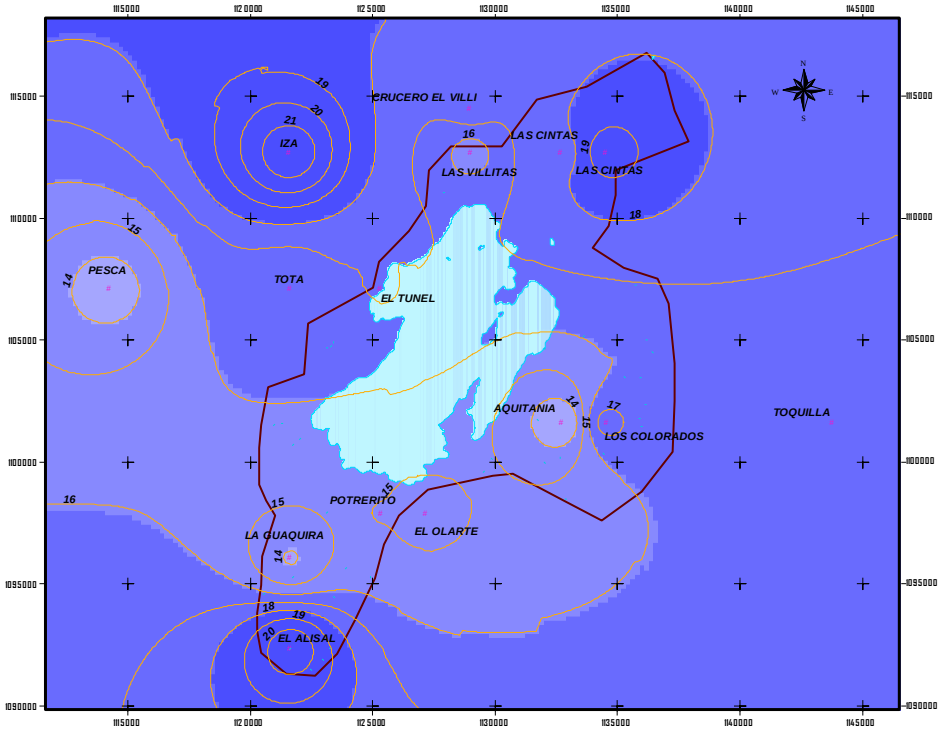
ENERO



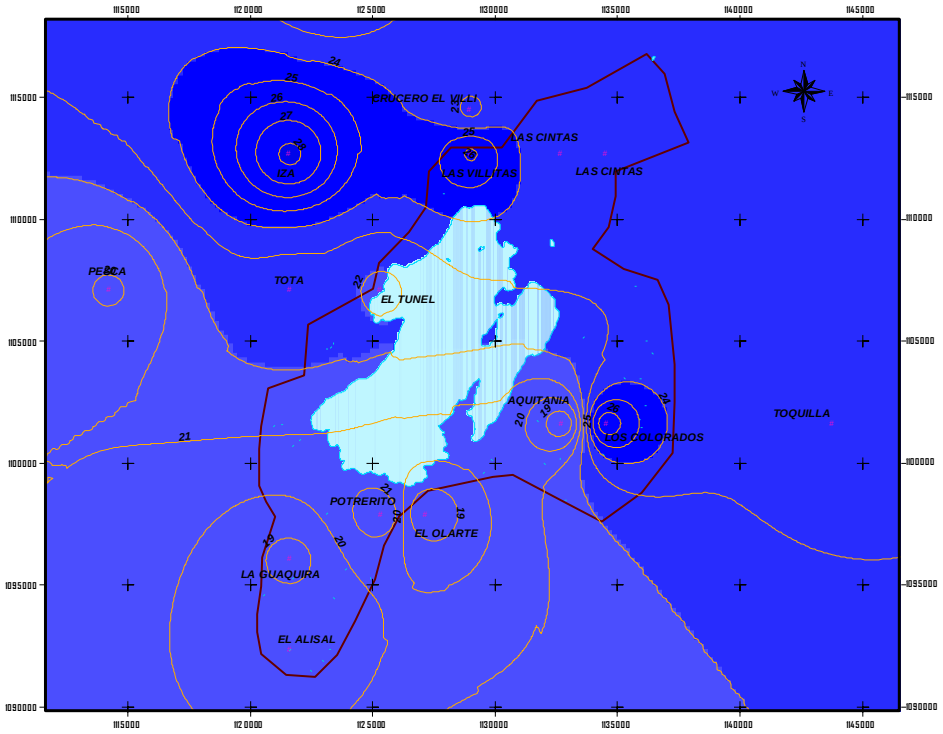
FEBRERO



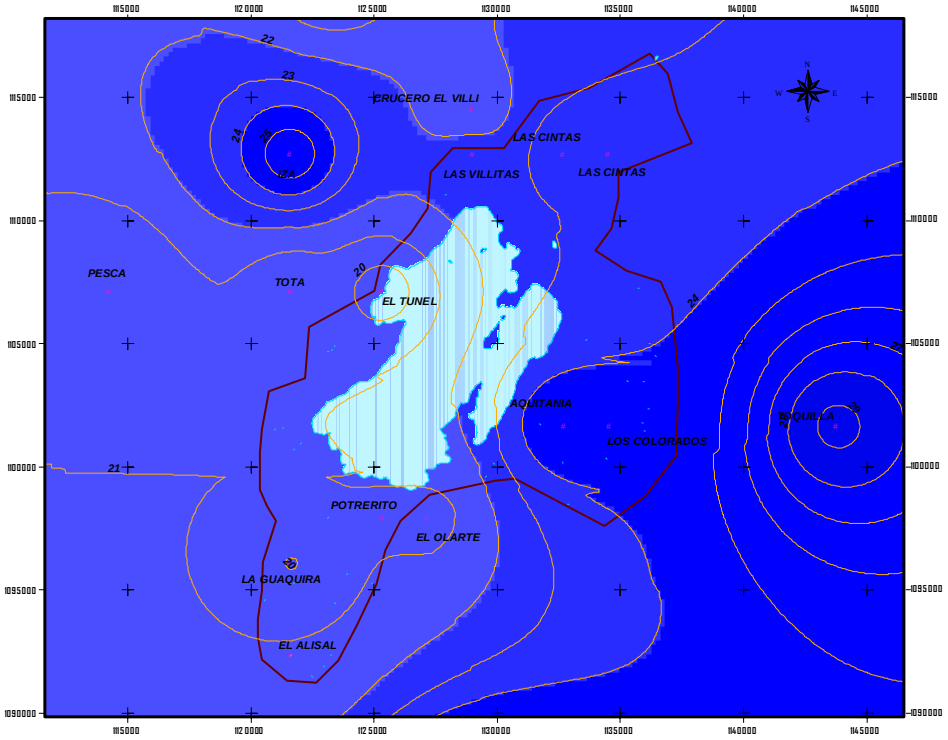
MARZO


CRUCERO EL VILLI
IZA
LAS CINTAS
LAS VILLITAS
LAS CINTAS
PESCA
TOTA
EL TUNEL
AQUITANIA
LOS COLORADOS
TOQUILLA
POTRERITO
EL OLARTE
LA GUAQUIRA
EL ALISAL

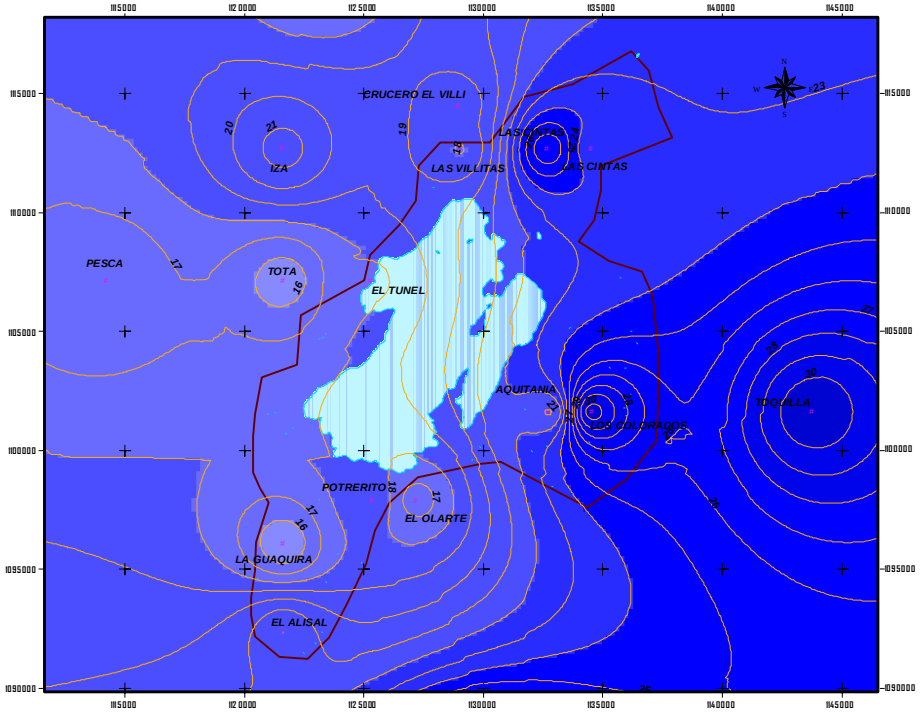
ABRIL


CRUCERO EL VILLI
IZA
LAS CINTAS
LAS VILLITAS
LAS CINTAS
PESCA
TOTA
EL TUNEL
AQUITANIA
LOS COLORADOS
TOQUILLA
POTRERITO
EL OLARTE
LA GUAQUIRA
EL ALISAL

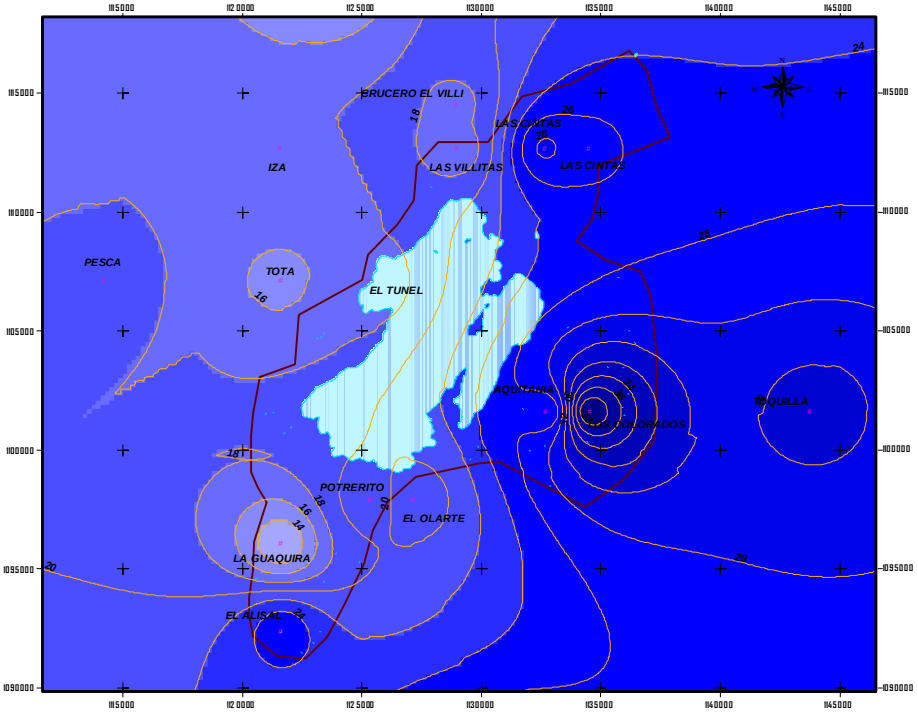
MAYO


CRUCERO EL VILLI
LAS CINTAS
LAS VILLITAS
LAS CINTAS
IZA
PESCA
TOTA
EL TUNEL
AQUITANIA
LOS COLORADOS
TOQUILLA
POTRERITO
EL OLARTE
LA GUAQUIRA
EL ALISAL

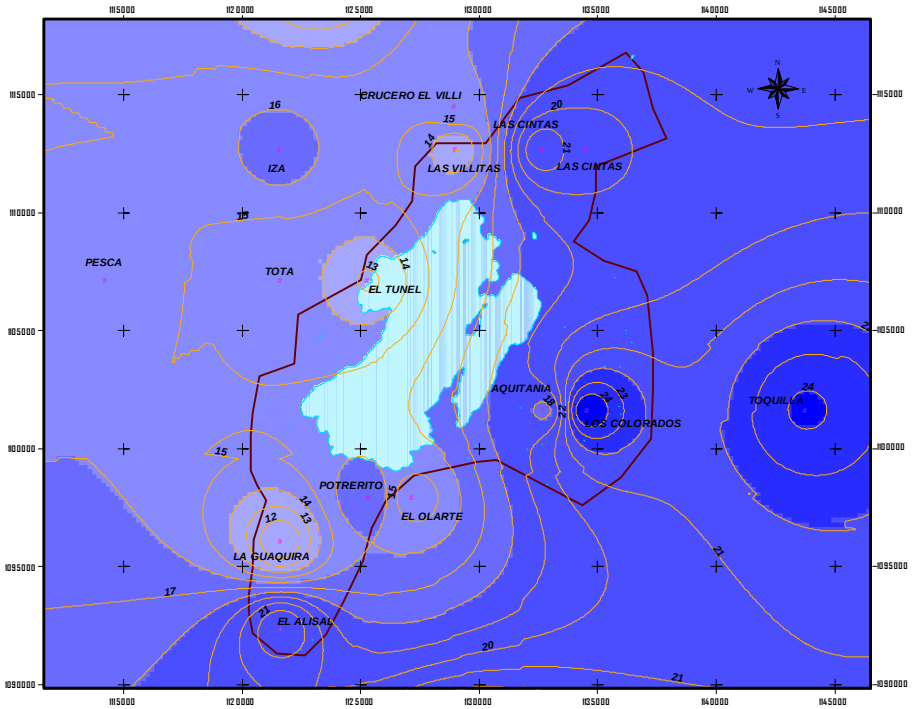
JUNIO


CRUCERO EL VILLI
LAS CINTAS
LAS VILLITAS
LAS CINTAS
IZA
PESCA
TOTA
EL TUNEL
AQUITANIA
LOS COLORADOS
TOQUILLA
POTRERITO
EL OLARTE
LA GUAQUIRA
EL ALISAL

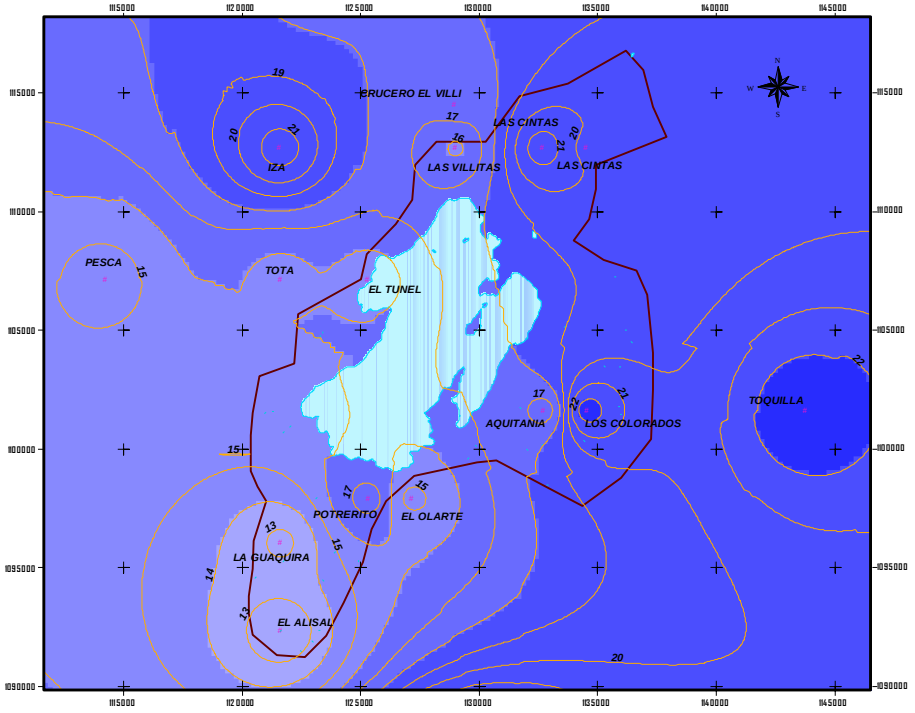
JULIO



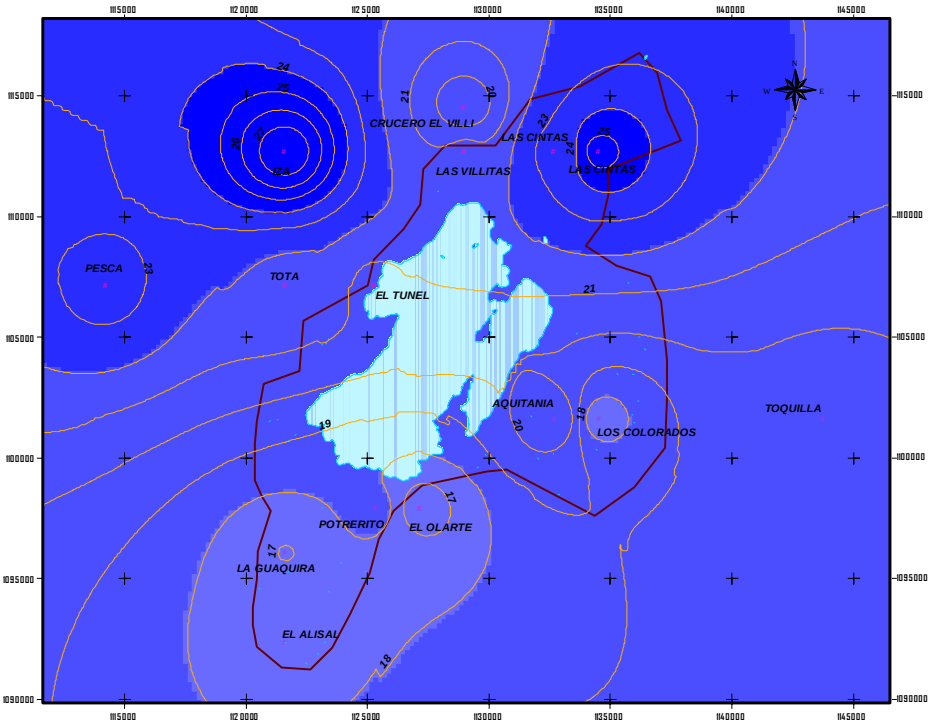
AGOSTO



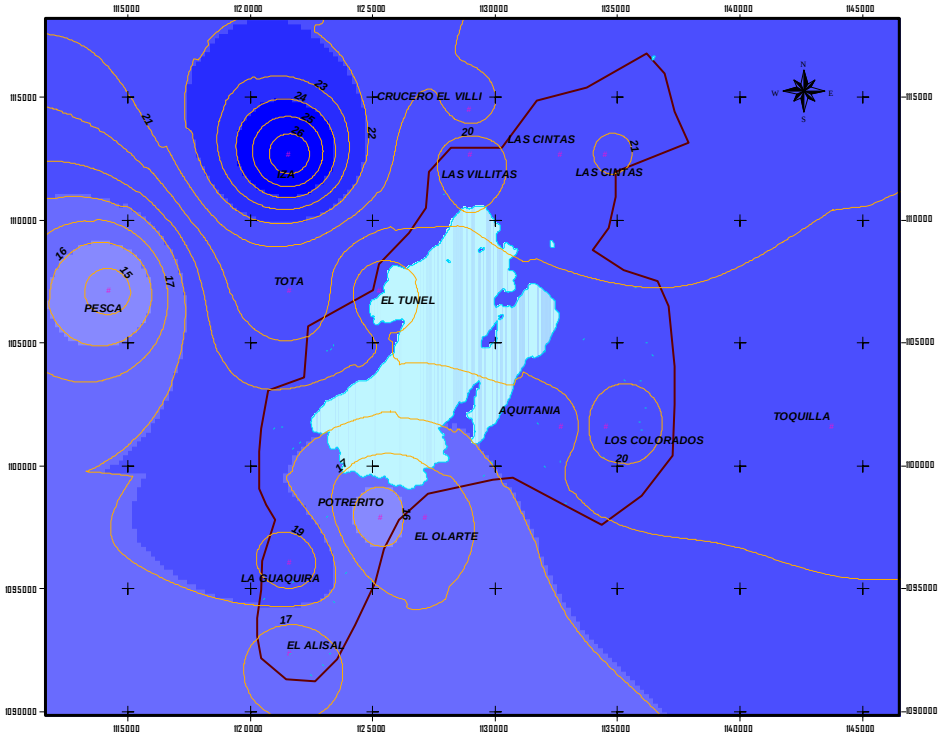
SEPTIEMBRE



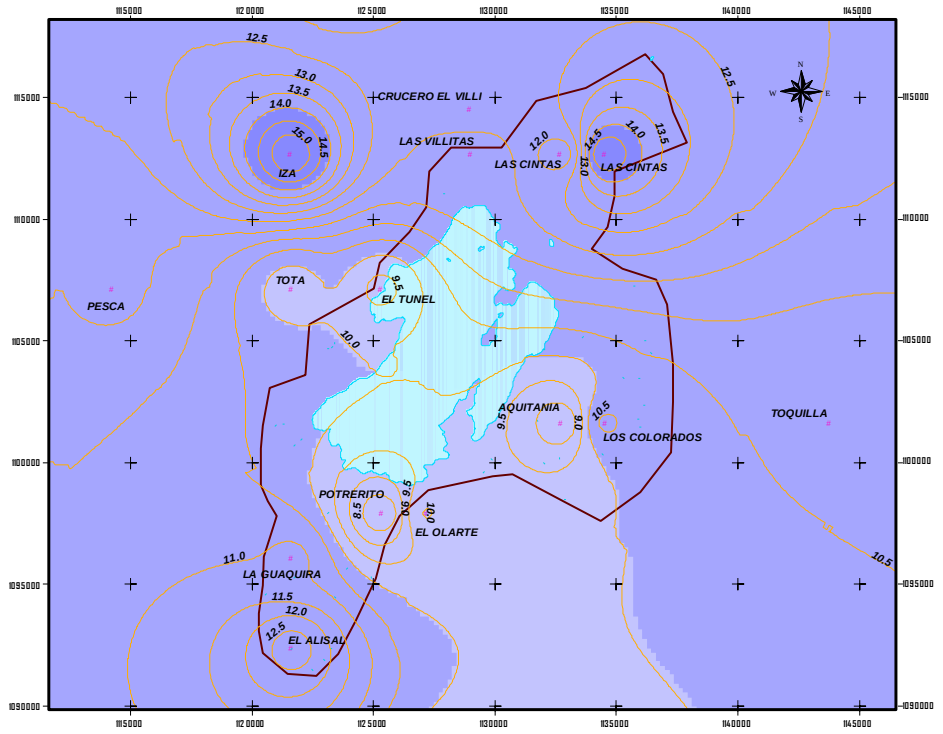
OCTUBRE



NOVIEMBRE



DICIEMBRE



ANEXO 3. INFORME DE ESTACIONES HIDROCLIMATOLOGICAS