



**Universidad
Tecnológica
de Bolívar**

CARTAGENA DE INDIAS



**ACREDITADA
INSTITUCIONALMENTE**
Resolución MEN 1166 de 2011

**CURVAS DE RENDIMIENTO DE CAUDALES MÁXIMOS INSTANTÁNEOS
ASOCIADOS A DIFERENTES PERIODOS DE RETORNO EN COLOMBIA, CASO
DE ESTUDIO RÍO MAGDALENA**

JOSÉ DAVID GAMBA MEJÍA

JOSÉ GABRIEL GONZÁLEZ HERNÁNDEZ

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL

CARTAGENA DE INDIAS D.T y C

2015



**Universidad
Tecnológica
de Bolívar**

CARTAGENA DE INDIAS



**ACREDITADA
INSTITUCIONALMENTE**
Resolución MEN 1166 de 2011

**CURVAS DE RENDIMIENTO DE CAUDALES MÁXIMOS INSTANTÁNEOS
ASOCIADOS A DIFERENTES PERIODOS DE RETORNO EN COLOMBIA, CASO
DE ESTUDIO RÍO MAGDALENA**

JOSÉ DAVID GAMBA MEJÍA

COD: T00020404

JOSÉ GABRIEL GONZÁLEZ HERNÁNDEZ

COD: T00022528

Proyecto como requisito para obtener el título de
Ingeniero civil

Director

Ing. Oscar coronado

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL

CARTAGENA DE INDIAS D.T y C

2015



Universidad
Tecnológica
de Bolívar

CARTAGENA DE INDIAS



ACREDITADA
INSTITUCIONALMENTE
Resolución MEN 1166 de 2011

Cartagena de Indias D.T. y C. 2015

Señores

COMITÉ DE EVALUACIÓN DE PROYECTOS

FACULTAD DE INGENIERÍAS

PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL

Cordial saludo.

Por medio de la presente estoy haciéndoles entrega del Informe Final del proyecto de grado titulado: **“CURVAS DE RENDIMIENTO DE CAUDALES MÁXIMOS INSTANTÁNEOS ASOCIADOS A DIFERENTES PERIODOS DE RETORNO EN COLOMBIA, CASO DE ESTUDIO RIO MAGDALENA.”**, como requisito reglamentario para optar al título de ingeniería civil.

Atentamente,

JOSÉ D. GAMBA MEJÍA

Código: T00020404

CC. 1.143.354.688 Cartagena

JOSÉ G. GONZÁLEZ HERNÁNDEZ

Código: T00022528

CC.1.047.452.374 Cartagena

Modelo carta cesión de derechos patrimoniales

Cartagena de Indias, D.T.y C., 2015

Yo, **JOSÉ DAVID GAMBA MEJÍA**, manifiesto en este documento mi voluntad de ceder a la Universidad Tecnológica de Bolívar los derechos patrimoniales, consagrados en el artículo 72 de la Ley 23 de 1982 sobre Derechos de Autor, del trabajo final denominado **“CURVAS DE RENDIMIENTO DE CAUDALES MÁXIMOS INSTANTÁNEOS ASOCIADOS A DIFERENTES PERIODOS DE RETORNO EN COLOMBIA, CASO DE ESTUDIO RÍO MAGDALENA”**, producto de mi actividad académica para optar el título de INGENIERÍA CIVIL de la Universidad Tecnológica de Bolívar.

La Universidad Tecnológica de Bolívar, entidad académica sin ánimo de lucro, queda por lo tanto facultada para ejercer plenamente los derechos anteriormente cedidos en su actividad ordinaria de investigación, docencia y extensión. La cesión otorgada se ajusta a lo que establece la Ley 23 de 1982. Con todo, en mi condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada con arreglo al artículo 30 de la ley 23 de 1982. En consecuencia suscribo este documento que hace parte integral del trabajo antes mencionado y entrego al Sistema de Bibliotecas de la Universidad Tecnológica de Bolívar.

JOSÉ DAVID GAMBA MEJÍA

CC. 1.143.354.688 de Cartagena



Universidad
Tecnológica
de Bolívar

CARTAGENA DE INDIAS



ACREDITADA
INSTITUCIONALMENTE
Resolución MEN 1166 de 2011

Modelo carta cesión de derechos patrimoniales

Cartagena de Indias, D.T.y C., 2015

Yo, **JOSÉ GABRIEL GONZÁLEZ HERNÁNDEZ**, manifiesto en este documento mi voluntad de ceder a la Universidad Tecnológica de Bolívar los derechos patrimoniales, consagrados en el artículo 72 de la Ley 23 de 1982 sobre Derechos de Autor, del trabajo final denominado **“CURVAS DE RENDIMIENTO DE CAUDALES MÁXIMOS INSTANTÁNEOS ASOCIADOS A DIFERENTES PERIODOS DE RETORNO EN COLOMBIA, CASO DE ESTUDIO RÍO MAGDALENA”**, producto de mi actividad académica para optar el título de **INGENIERÍA CIVIL** de la Universidad Tecnológica de Bolívar.

La Universidad Tecnológica de Bolívar, entidad académica sin ánimo de lucro, queda por lo tanto facultada para ejercer plenamente los derechos anteriormente cedidos en su actividad ordinaria de investigación, docencia y extensión. La cesión otorgada se ajusta a lo que establece la Ley 23 de 1982. Con todo, en mi condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada con arreglo al artículo 30 de la ley 23 de 1982. En consecuencia suscribo este documento que hace parte integral del trabajo antes mencionado y entrego al Sistema de Bibliotecas de la Universidad Tecnológica de Bolívar.

JOSÉ GABRIEL GONZALEZ HERNANDEZ

CC. 1.047.452.374 de Cartagena.



Universidad
Tecnológica
de Bolívar

CARTAGENA DE INDIAS



ACREDITADA
INSTITUCIONALMENTE
Resolución MEN 1166 de 2011

Nota de aceptación

Firma de presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

Cartagena de Indias D.T. y C. 2015

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios la oportunidad de culminar mis estudios y su constante guía en todo momento. A mis padres Edgar González y Jacqueline Hernández que con esfuerzo me regalaron la educación que hoy en día tengo, a todas aquellas amistades que me acompañaron y formaron parte de este importante logro. Al ingeniero Oscar Coronado por darle dirección a esta investigación y a todos mis educadores y a la institución en general.

JOSE GABRIEL GONZÁLEZ HERNANDEZ

A Dios Todopoderoso por haberme llenado de tantas bendiciones en este escalón más de mi vida, por haberme iluminado el camino y darme fuerza cada día para seguir adelante. A mi padre José Edilberto Gamba y a mi madre Vicenta Mejía por ser la principal pieza en mi vida, porque gracias a ellos yo logre esta meta que estoy a punto de culminar. A mi hermana Jennifer y mi hermano Jhon Jairo por estar a lado mío apoyándome en los momentos más difíciles y aconsejándome de la mejor manera. Al profesor Oscar Coronado por haber dado la oportunidad de trabajar con él en este trabajo investigativo. A profesores que me brindaron apoyo durante toda mi carrera como el Ing. German Castaño, el Ing. Vladimir Quiroz y el Ing. Cesar E. Pereira.

JOSÉ DAVID GAMBA MEJÍA

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	16
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	19
1.1 DESCRIPCION DEL PROBLEMA	19
1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	21
1.3 DELIMITACIÓN DEL TEMA	21
2. JUSTIFICACION.....	22
3. OBJETIVOS	25
3.1 OBJETIVOS GENERALES.....	25
3.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	25
4. MARCO REFERENCIAL	26
4.1 ANTECEDENTES.....	26
4.2 MARCO TEÓRICO	30
4.1.1 CICLO HIDROLÓGICO	30
4.1.2 CUENCA HIDROLÓGICA.....	31
4.1.3 HIDROMETRÍA	31
4.1.4 AFOROS	32
4.1.5 ESTACIÓN HIDROMÉTRICA.....	32
4.1.6 CAUDAL.....	33
4.1.7 ANÁLISIS DE FRECUENCIA REGIONALES.....	34
4.1.8 DISTRIBUCIONES DE PROBABILIDAD.	36
4.3 ESTADO ACTUAL.....	49
4.3.1 SISTEMAS DE INFORMACION GEOGRAFICA.....	49
4.3.2 Hydrological Frequency Analysis (HYFRAN)	51
4.3.3 IDEAM.....	52
5. METODOLOGIA.....	55
5.1 TIPO DE ESTUDIO	55
5.2 FUENTES Y TECNICAS PARA LA RECOLECCIÓN DE LA INFORMACION....	55
5.2.1 FUENTE PRIMARIA.....	55
5.2.2 FUENTES SECUNDARIAS	56



5.3	TRATAMIENTO DE LA INFORMACIÓN:	57
5.3.1	REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	57
5.3.2	RECOPIACIÓN DE LA INFORMACIÓN ESTADÍSTICA	57
5.3.3	PARAMETROS ESTADISTICOS	58
5.3.4	DETERMINACIÓN DE MEJOR AJUSTE	59
5.3.5	DETERMINACIÓN DE ÁREAS DE DRENAJE	59
5.3.6	DETERMINACIÓN DE LA LONGITUD DEL RIO	59
5.3.7	CAUDAL ESPECIFICO Y UNITARIO	59
5.3.8	ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	60
5.3.9	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	60
5.4	MATERIALES Y EQUIPOS	60
6.	CASO DE ESTUDIO	62
6.1	DESCRIPCION GENERAL DE LA CUENCA	63
6.2	HIDROLOGIA DEL RIO	65
6.2.1	SUBCUENCAS Y AFLUENTES	65
6.2.2	BALANCE HIDRICO	66
6.3	SISTEMAS DE MEDICIÓN HIDROLÓGICAS	68
7.	PRESENTACIÓN DE RESULTADOS	70
7.1	ESTACIONES LIMNIGRAFICAS UTILIZADAS	70
7.1.1	ESTACIÓN LA MAGDALENA	70
7.1.2	ESTACIÓN SALADO BLANCO	73
7.1.3	ESTACIÓN PERICONGO	74
7.1.4	ESTACION PUENTE BALSEADERO	75
7.1.5	ESTACION PASO DEL COLEGIO	77
7.1.6	ESTACION VICHECITO	78
7.1.7	ESTACION LA ESPERANZA	79
7.1.8	ESTACION PUENTE SANTANDER	81
7.1.9	ESTACION ANGOSTURA	82
7.1.10	ESTACION PURIFICACION	84
7.1.11	ESTACIÓN NARIÑO	85
7.1.12	ESTACIÓN ARRANCAPLUMAS	86



7.1.13 ESTACION PUERTO SALGAR	88
7.1.14 ESTACION PUERTO BERRIO	89
7.1.15 ESTACIÓN EL BANCO.....	90
El cuadro 16 presenta la correlación entre las áreas de drenaje calculadas con el programa HidroSig y las áreas de drenaje investigadas en el Anuario Hidrológico del IDEAM. Los datos arrojan un error absoluto promedio de 3410.75 y un error relativo promedio del 11%.	92
7.2 CAUDALES MÁXIMOS INSTANTANEOS DE ACUERDO A PARAMETROS DE DISTRIBUCIÓN DE PROBABILIDAD.....	92
7.3 DATOS DE DISPERSIÓN Y PARAMETROS DE LAS DISTRIBUCIONES DE PROBABILIDAD.....	100
7.4 BONDAD DE AJUSTE	104
8. ANALISIS DISCUSION DE RESULTADOS	108
8.1 REPRESENTATIVIDAD DE LOS DATOS.....	108
8.2 SELECCIÓN DE LA INFORMACION CON LA QUE SE HA TRABAJADO	108
8.3 VARIABILIDAD DE LOS DATOS	109
8.4 DATOS ANÓMALOS.....	113
8.5 CURVAS DE RENDIMIENTO DE CAUDALES MÁXIMOS A DIFERENTES PERIODOS DE RETORNO.....	114
8.5.1 Curva de rendimiento de Caudal Máximo Instantáneo vs. Área de Drenaje...	114
8.5.2 Curva de Caudal Máximo Instantáneo vs. Distancia.	119
9. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	122
10. BIBLIOGRAFIA	124



LISTA DE TABLAS Y CUADROS

Tabla 1. Valores típicos de distribución normal, Aparicio	38
Tabla 2. Tabla 9.6 del libro de Aparicio. Parámetros de diseño distribución Gumbel	43
Tabla 3. Tabla 9.10 del libro de Aparicio. Ejemplo ajuste de datos Chi-cuadrado	46
Tabla 4. Tabla 9.11 del libro de Aparicio. Valores Chi-cuadrado para diferentes funciones de probabilidad.	47
Tabla 5. Estaciones Limnigraficas estudiadas.....	56
Tabla 6. Periodo de Información obtenido IDEAM	58
Tabla 7. Frecuencia Relativa de Inundación	68
Tabla 8. Estaciones Limnigraficas sobre el rio Magdalena – Estaciones Activas	69
Cuadro 1. Caudal Máximo Multianual, en m ³ /s, estación La Magdalena	72
Cuadro 2. Caudal Máximo Multianual, en m ³ /s, estación Salado Blanco	73
Cuadro 3. Caudal Máximo Multianual, en m ³ /s, estación Pericongo.....	75
Cuadro 4. Caudal Máximo Multianual, en m ³ /s, estación Pte. Balseadero.....	76
Cuadro 5. Caudal Máximo Multianual, en m ³ /s, estación LG Paso del Colegio.	77
Cuadro 6. Caudal Máximo Multianual, en m ³ /s, estación Vichecito.	79
Cuadro 7. Caudal Máximo Multianual, en m ³ /s, estación La Esperanza	80
Cuadro 8. Caudal Máximo Multianual, en m ³ /s, estación Pte. Santander	81
Cuadro 9. Caudal Máximo Multianual, en m ³ /s, estación Angostura.....	83
Cuadro 10. Caudal Máximo Multianual, en m ³ /s, estación Purificación	84
Cuadro 11. Caudal Máximo Multianual, en m ³ /s, estación Nariño	86
Cuadro 12. Caudal Máximo Multianual, en m ³ /s, estación Arrancaplumas	87
Cuadro 13. Caudal Máximo Multianual, en m ³ /s, estación Pto. Salgar	88
Cuadro 14. Caudal Máximo Multianual, en m ³ /s, estación Pto. Berrio.	90
Cuadro 15. Caudal Máximo Multianual, en m ³ /s, estación El Banco.....	91
Cuadro 16. Áreas de Drenaje Anuario Hidrológico vs. HidroSig.....	92
Tabla 9 a. Caudales máximos asociados a diferentes periodos de retorno (m ³ /s), Distribución GEV de Máxima Verosimilitud.	93
Tabla 9 b. Caudales máximos asociados a diferentes periodos de retorno (m ³ /s), Distribución GEV de Método de Momentos.	93



Tabla 9 c. Caudales máximos asociados a diferentes periodos de retorno (m ³ /s), Distribución GEV de Método de Momentos Ponderados.	94
Tabla 9 d. Caudales máximos asociados a diferentes periodos de retorno (m ³ /s), Distribución GUMBELL Máxima Verosimilitud.....	94
Tabla 9 e. Caudales máximos asociados a diferentes periodos de retorno (m ³ /s), Distribución GUMBELL Método de Momentos.....	95
Tabla 9 f. Caudales máximos asociados a diferentes periodos de retorno (m ³ /s), Distribución GUMBELL Método de Momentos Ponderados.....	95
Tabla 9 g. Caudales máximos asociados a diferentes periodos de retorno (m ³ /s), Distribución WEIBULL Máxima Verosimilitud.....	96
Tabla 9 h. Caudales máximos asociados a diferentes periodos de retorno (m ³ /s), Distribución WEIBULL Método de Momentos.....	96
Tabla 9 i. Caudales máximos asociados a diferentes periodos de retorno (m ³ /s), Distribución NORMAL Máxima Verosimilitud.....	97
Tabla 9 j. Caudales máximos asociados a diferentes periodos de retorno (m ³ /s), Distribución LOG NORMAL Máxima Verosimilitud.....	97
Tabla 9 k. Caudales máximos asociados a diferentes periodos de retorno (m ³ /s), Distribución PEARSON TIPO III Máxima Verosimilitud.....	98
Tabla 9 l. Caudales máximos asociados a diferentes periodos de retorno (m ³ /s), Distribución PEARSON TIPO III Método de Momentos.....	98
Tabla 9 m. Caudales máximos asociados a diferentes periodos de retorno (m ³ /s), Distribución LOG-PEARSON TIPO III Método Sam.....	99
Tabla 9 n. Caudales máximos asociados a diferentes periodos de retorno (m ³ /s), Distribución LOG-PEARSON TIPO III Método de Momentos (BOB), Basis=10.....	99
Tabla 9 o. Caudales máximos asociados a diferentes periodos de retorno (m ³ /s), Distribución LOG-PEARSON TIPO III WRC.....	100
Tabla 10 a. Parámetros de la Distribución GEV a varios métodos de ajuste.....	101
Tabla 10 b. Parámetros de la Distribución GUMBELL a varios métodos de ajuste.....	102
Tabla 10 c. Parámetros de la Distribución WEIBULL a varios métodos de ajuste.....	102
Tabla 10 d. Parámetros de la Distribución NORMAL y LOG-NORMAL Máxima Verosimilitud.....	103
Tabla 10 e. Parámetros de la Distribución PEARSON TIPO III a varios métodos de ajuste.	103
Tabla 10 e. Parámetros de la Distribución LOG-PEARSON TIPO III a varios métodos de ajuste.....	104



Universidad
Tecnológica
de Bolívar

CARTAGENA DE INDIAS



ACREDITADA
INSTITUCIONALMENTE
Resolución MEN 1166 de 2011

Tabla 11. Bondad de Ajuste Chi-cuadrado para cada una de las estaciones del rio Magdalena.....	105
Tabla 12. Promedio y Desviación Estándar distribuciones de probabilidad.....	106
Tabla 13. Caudales máximos específicos a diferentes periodos de retorno.	114
Tabla 14. Distancia a nacimiento del rio y Caudales máximos a diferentes periodos de retorno.	119
Tabla 15. Distancias y Caudales máximos a diferentes periodos de retorno.....	121

TABLA DE FIGURAS

Figura 1. Representación del Ciclo Hidrológico.....	30
Figura 2. Representación Tipos de cuencas hidrológicas.	31
Figura 3. (a) Caudal en el área de un cauce (b) Caudal a lo largo de un cauce	36
Figura 4. Grafica de Distribución Normal. Aparicio.....	37
Figura 5. Perfil Esquemático río Magdalena-Características Principales.....	63
Figura 6. Cuenca del Magdalena-Cauca.....	64
Figura 7. Afluentes del río Magdalena. Caudal medio (m ³ /s).....	66
Figura 8. Localización de estaciones Limnigraficas sobre el río Magdalena.....	71
Figura 9. Área de drenaje Estación La Magdalena	72
Figura 10. Área de drenaje Estación Salado Blanco	74
Figura 11. Área de drenaje Estación Pericongo	75
Figura 12. Área de drenaje Puente Balseadero	76
Figura 13. Área de drenaje Paso del Colegio.....	78
Figura 14. Área de drenaje estación Vichecito	79
Figura 15. Área de drenaje estación La Esperanza	80
Figura 16. Área de drenaje estación Puente Santander.....	82
Figura 17. Área de drenaje estación Angostura	83
Figura 18. Área de drenaje estación Purificación	85
Figura 19. Área de drenaje estación Nariño	86
Figura 20. Área de drenaje estación Arrancaplumas.....	87
Figura 21. Área de drenaje estación Puerto Salgar.....	89
Figura 22. Área de drenaje Puerto Berrio.....	90
Figura 23. Área de drenaje estación El Banco	91
Figura 24. Gráfico de promedios de caudales máximos instantáneos de todas las estaciones	109
Figura 25. Gráfico de caudales máximos instantáneos de las estaciones aferentes al río Magdalena.....	112
Figura 26. Localización estación El Banco sobre el río Magdalena	113



Universidad
Tecnológica
de Bolívar

CARTAGENA DE INDIAS



ACREDITADA
INSTITUCIONALMENTE
Resolución MEN 1166 de 2011

Figura 27 (a). Áreas de drenaje y rendimientos de Caudales máximos a diferentes periodos de retorno TR=2.33 años.	115
Figura 27 (b). Áreas de drenaje y rendimientos de Caudales máximos a diferentes periodos de retorno TR=5 años.	116
Tabla 27 (c). Áreas de drenaje y rendimientos de Caudales máximos a diferentes periodos de retorno TR=10 años.	116
Tabla 27 (d). Áreas de drenaje y rendimientos de Caudales máximos a diferentes periodos de retorno TR=25 años.	117
Tabla 27 (e). Áreas de drenaje y rendimientos de Caudales máximos a diferentes periodos de retorno TR=50 años.	117
Tabla 27 (f). Áreas de drenaje y rendimientos de Caudales máximos a diferentes periodos de retorno TR=100 años.	118
Tabla 27 (g). Áreas de drenaje y rendimientos de Caudales máximos a diferentes periodos de retorno TR=500 años.	118

LISTA DE ANEXOS

- ANEXO 1. Información IDEAM – Valores Máximos Mensuales de Caudales.
- ANEXO 2. Áreas de Drenaje HIDROSIG 4.0.
- ANEXO 3. Áreas de Drenaje ANUARIO HIDROLOGICO.
- ANEXO 4. Curvas de Regionalización Rio Magdalena

INTRODUCCIÓN

Por su localización geográfica, su orografía y una gran variedad de regímenes climáticos, Colombia se ubica entre los países con mayor riqueza en recursos hídricos en el mundo.¹ Seis tipos de aguas alojan su territorio; aguas lluvias, aguas superficiales, aguas subterráneas, aguas termo minerales, aguas marinas, oceánicas y aguas de alimentación glacial.²

La inmensa cantidad de recursos hídricos es evidenciada con la amplia red de agua superficial que se encuentra en el país, incluyendo ríos, lagos, escorrentías, pantanos y dos grandes océanos, que en como todo ciclo sufren épocas de máximas y mínimas condiciones, afectados principalmente por las precipitaciones que se presentan en el país.

Según estimaciones del IDEAM, en promedio en Colombia la precipitación media anual es de 3000 mm con una evapotranspiración real de 1180 mm y una escorrentía medial anual de 1830 mm. Teniendo en cuenta lo anterior, del volumen de precipitación anual, 61% se convierte en escorrentía superficial generando un caudal medio de 67000 m³/seg, equivalente a un volumen anual de 2084 km³ que escurren por las cinco grandes regiones hidrológicas que caracterizan el territorio nacional continental, de la siguiente forma: 11% en la región Magdalena – Cauca, 5% en la región del Caribe; 18% para la región del Pacífico; 34% en la región de la Amazonia y 32% en la región de la Orinoquia.³

En las últimas décadas los cambios climáticos han generado una serie de eventos hidrológicos extremos y mínimos que sobrepasan considerablemente los datos recopilados por años de estudio no solo en Colombia sino en la totalidad del mundo.

¹ Colombia. MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico. Bogotá, D.C: Colombia, Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2010. Página 23.

² BARN, Álder. *Breviario de Colombia: Historia, Geografía, Cívica; Departamentos*. Panamericana editorial Ltda. Colombia, 1997.

³Ibid. 1, p. 23.

Estos han producido mayores daños debido al crecimiento poblacional y la urbanización en sitios de potencial peligro.⁴

Hay buena coherencia entre las anomalías hidrológicas en el trópico de Suramérica (Colombia, Venezuela, Guyana y la cuenca del Amazonas) y las dos fases del ENSO. La hidrología superficial juega un papel muy importante en la dinámica del ENSO sobre la región (Poveda & Mesa, 1997), Con ciertas diferencias en el tiempo y en la amplitud, estas regiones exhiben anomalías negativas en lluvias y caudales durante El Niño, y lo contrario durante La Niña.⁵

Estos fenómenos son determinantes en las fluctuaciones de los eventos hidrológicos máximos y mínimos que se presentan en el país, trayendo consigo largas épocas de sequías y fuertes épocas de lluvias generando inundaciones y daños en la infraestructura urbana, además de esto, afectan directamente las actividades económicas, apoyo y sustento para la mayoría de las poblaciones en Colombia. Es por esto que se necesita incentivar el apoyo a estudios encaminados a generar métodos más eficientes para estimar los cambios que se están presentando en el campo hidrológico, basándose en la aplicación de métodos que bajo eventos reales y procesos estadísticos muestren rangos de seguridad como alternativa de solución para evitar que las poblaciones en su mayoría planifiquen, prevengan y regulen su futura infraestructura teniendo en cuenta las condiciones de las cuencas en las que se encuentran. Generalmente los rangos de seguridad para solucionar estos problemas de ingeniería se presentan en curvas que muestran registros históricos de caudales para determinar la frecuencia con la que un evento máximo o mínimo desatará problemas que afectaran a las poblaciones.

Uno de los aspectos más importantes del diseño en ingeniería es la cuantificación de eventos extremos; dentro de este grupo de fenómenos se encuentran los

⁴ Edison Heredia Calderón (1998). Una Metodología de Análisis Regional de Frecuencia de Lluvias Intensas Adecuadas para Zonas Bajo los Efectos de “El Niño”. *Bulletin de l’InstitutFrancaisd’ÉtudesAndines*, Tomo 27, número 3. Página 667-673.

⁵ Germán Poveda, Marta Maria Gil, Natalia Quiceno (1998). El ciclo anual de la hidrología de Colombia en relación con el ENSO y la NAO. *Bulletin de l’InstitutFrancaisd’ÉtudesAndines*. Tomo 27, numero 3. p. 721-731.



caudales máximos, los cuales por considerarse como unos de los principales agentes geomorfológicos y modeladores de la topografía, se constituyen en objeto de estudio e implantación de nuevas metodologías de estimación.⁶

Si se conocen con un nivel de aproximación razonable las magnitudes de las crecientes que se van a presentar durante la vida útil de una obra, es claro que las estructuras se pueden diseñar con una gran confianza en cuanto a los aspectos técnicos y económicos. En efecto, la estabilidad de una obra durante la vida útil de diseño, depende en gran parte de su capacidad para soportar los efectos que se producen sobre la estructura cuando pasan las crecientes extraordinarias. Estos efectos se traducen en impactos, presiones, socavación, taponamientos y desbordamientos. Para lograr la seguridad que reduzca el riesgo de falla de dichas obras, se debe construir un modelo probabilístico y con ello contar con una función de distribución de probabilidad representativa de la variable hidrológica de interés, indicando claramente su probabilidad de excedencia⁷

El propósito de este trabajo de grado, es expandir el conocimiento acerca la regionalización de la cuenca del río Magdalena ante eventos extremos de caudales, determinar la distribución que mejor representa los mismos y generar curvas para facilitar la aplicación de estos estudios en actividades de ingeniería hidrológica e hidráulica.

⁶Mesa, O., J. Vélez, J. Giraldo & D. Quevedo. 2003: Regionalización de características medias de la cuenca con aplicación en la estimación de caudales máximos. Meteorol. Colomb. 7:141-147. ISSN 0124-6984. Bogotá, D.C. – Colombia.

⁷Muñoz, M. 2004. Análisis de algunas variables hidrológicas y su ajuste a funciones de distribución de probabilidad, en tres cuencas de la Región del Maule. Tesis de Ing. Forestal. Talca, Chile. Universidad de Talca, Facultad de Ciencias Forestales. 86 p.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 DESCRIPCION DEL PROBLEMA

En Colombia, actualmente, el volumen anual de lluvias ha venido variando debido a su posición geográfica, a la presencia de las cordilleras y las corrientes de aire húmedo originado por los dos océanos y la Amazonía. debido a ésta influencia en últimos años y debido a los altos niveles de precipitación, el país se ha visto abocado en situaciones difíciles debido a los grandes caudales que se forman por los fuertes periodos de lluvia, dejando en las comunidades aledañas daños, tales como: inundaciones, pérdidas económicas, pérdidas materiales y en el peor de los casos pérdidas humanas.⁸

El aumento de las precipitaciones en el país además de las situaciones anteriormente mencionadas, han generado en Colombia la inminente tendencia de desbordamiento en la mayoría de los ríos, las áreas de inundación ante estos eventos crecen al paso de los años aumentando a su vez el número de afectados. Además, debido a las problemáticas mundiales como el aumento de la población, los daños generados por ella al mundo y el inaplazable calentamiento global, que son pan de cada día, no se esperan respuestas alentadoras de mejoría a la problemática.

Por otro lado, adentrándonos al campo ingenieril y de planificación, es bien conocido que la predicción de la magnitud de la creciente en las cuencas a diferentes periodos de retorno, ha sido motivo principal para solucionar problemáticas de diseño de obras hidráulicas⁹, es por esto que el análisis y

⁸ Tomado de: Colombia. *MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico*. Bogotá, D.C.: Colombia, Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2010.124 p.

⁹ Tomado de: María Alejandra Aguilera Navarro. *Estimación de funciones de probabilidad, para caudales máximos, en la región del Maule*. Memoria para optar al título de Ingeniero Forestal.



diseño de las construcciones ya sean hidráulicas o de otra índole, que se vayan a realizar en las cuencas aferentes a esta fuente hídrica se deben plantear sobre estudios hidrológicos pertinentes que incluyan como mínimo indicios de soporte bajo los caudales máximos que podrían presentarse durante su periodo de diseño, así mismo, el departamento de planeación de cada región debería basar su plan de ordenamiento previniendo a sus pobladores de las posibles situaciones que puedan suceder a causa del aumento de los niveles de las corrientes de los ríos que se encuentran en el país.

La cuenca Magdalena-Cauca constituye el sistema de drenaje más importante de la región andina, y permite el acceso hacia el interior de nuestro territorio desde la costa del Caribe. Los ríos homónimos que la recorren, y en particular el Magdalena, por ser más caudaloso y tener grandes trayectos navegables de poca pendiente, han sido determinantes en la conformación de nuestra nacionalidad y en la ocupación del territorio¹⁰. A pesar de esto, no menospreciando su importancia, la magnitud del río lo hace vulnerable a prácticamente todos los eventos climáticos que se presentan en el país, lo que lo hace un foco interesante de investigación y constante incertidumbre. Es por esto que se ha elegido el río Magdalena como caso de estudio, donde se podrá notar más adelante, que en los datos recolectados en las estaciones limnigráficas del IDEAM la tendencia de caudales máximos en las estaciones del río va en alza, notando también que existen periodos intercalados de intensa sequía e intensa precipitación, lo que al fin de cuentas se traduce en una problemática económica y social como la pérdida de cultivos, de viviendas, de vidas, para la población que habita en sus laderas

Universidad de Talca, Facultad de Ciencias Forestales, Escuela de Ingeniería Forestal. Talca – Chile. 2007

¹⁰ Tomada de: *ATLAS CUENCA DEL RIO MAGDALENA VERSION FINAL*. Corporación del Río Grande de la Magdalena. file:///C:/Users/Joseph/Downloads/atlas%20cuenca%20del%20rio%20magdalena%20verson%20final.pdf

que se ve directamente afectada y la población del país en general, pues cabe recalcar que la principal fuente hídrica económica y socialmente hablando es el río Magdalena.

1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Se determinaran curvas de caudales máximos instantáneos teniendo en cuenta diferentes periodos de retorno en Colombia, nuestro estudio se centrara en el río Magdalena, principal afluente hídrico de la nación. ¿Cuáles serán los rendimientos de caudales máximos instantáneos asociados a diferentes periodos de retorno en el río Magdalena?

1.3 DELIMITACIÓN DEL TEMA

Este proyecto de grado será desarrollado en la Universidad Tecnológica de Bolívar, teniendo en cuenta la información obtenida de las cartas limnigraficas actualizadas hasta 2012 durante todo su periodo de funcionamiento, suministradas por el Instituto de hidrología, meteorología y estudios ambientales de Colombia (IDEAM), de artículos y bibliografía cualificada que traten el tema de estudio, por otro lado, toda la información del proyecto será tratada por las herramientas tecnológicas Hyfran, Microsoft Excel, HydroSig, AutoCAD y Arcgis.

2. JUSTIFICACION

Según el más reciente estudio nacional del agua (ENA) de Colombia revelado por el IDEAM (instituto de hidrología, meteorología y estudios ambientales de Colombia), la oferta hídrica del país es seis veces mayor a la oferta mundial y 3 veces mayor a la oferta latinoamericana.¹¹

Colombia es un país caracterizado por su alto contenido de recursos hídricos debido al número de ríos que se encuentran dentro del país y gracias a su posición geográfica se encuentra rodeada por dos océanos (Pacífico y Atlántico). Según el ENA, la mayor riqueza hídrica (ríos, páramos, humedales, cuencas, etc.) está ubicada en las regiones de la Amazonía, Orinoquía y Pacífica. Mientras que en la zona Andina y el Caribe (donde están ubicados los centros urbanos industriales) el recurso es escaso.¹²

Según estimaciones del IDEAM4, en promedio en Colombia la precipitación media anual es de 3000 mm con una evapotranspiración real de 1180 mm y una esorrentía medial anual de 1830 mm. Teniendo en cuenta lo anterior, del volumen de precipitación anual, 61% se convierte en esorrentía superficial generando un caudal medio de 67000 m³/seg, equivalente a un volumen anual de 2084 km³ que escurren por las cinco grandes regiones hidrológicas que caracterizan el territorio nacional continental, de la siguiente forma: 11% en la región Magdalena – Cauca, 5% en la región del Caribe; 18% para la región del Pacífico; 34% en la región de la Amazonia y 32% en la región de la Orinoquia.¹³

Los recientes fenómenos naturales que han afectado el país, han dejado al descubierto el deficiente estudio en cuanto a la ocurrencia de eventos y

¹¹ Colombia, potencia mundial en recursos hídricos, el universal, Ricardo José Lozano Director del IDEAM.

¹² Barn, alder 1997 Recursos hídricos en Colombia.

¹³ IDEAM, Informe anual sobre el estado del medio ambiente y los recursos naturales renovables en Colombia, 2004

fenómenos hidrológicos que han causado grandes daños en todo el territorio nacional dejando inundaciones que provocan pérdidas económicas y en el peor de los casos estos fenómenos quitan la vida humana.¹⁴ Hablando también de la infraestructura del país y teniendo en cuenta la ocurrencia de estos eventos muchas veces se atrasa los proyectos que se encuentran en proceso constructivo en las zonas afectadas por las grandes precipitaciones ocurridas dentro del territorio nacional.

De acuerdo con el plan nacional de desarrollo “prosperidad para todos” propuesta por el presidente Santos, en el periodo electo entre el 2010 y el 2014 se realizarán proyectos, en el cual es necesario contar con estudios hidrológicos para llevar a cabo dichos proyectos. En la parte de infraestructura siempre es necesario conocer que problemas puede presentarse durante el periodo de obra, dentro de los problemas puede ocurrir la creciente de un río cercano, inundaciones, problemas por el cual se debe tener una solución rápida que tenga la factibilidad económica y la información necesaria para diseñar la solución del problema, como información rápida se cuenta con las curvas de caudales máximos asociados a diferentes periodo de retorno calculado con las diferentes distribuciones de probabilidad con el fin de conocer la probabilidad de que un evento ocurra en dicho tiempo de construcción o en el mejor de los casos diseñar las obras hidráulicas con los caudales máximos que puedan ocurrir en cierto periodo de retorno, el cual da una idea clara del comportamiento hidrológico que se puede presentar en la zona donde se ubique la construcción.

Para la ejecución de muchos proyectos de ingeniería se debe tener estudios previos para la construcción de este, entre estos los estudios hidrológicos son de gran importancia y muchas veces gastan mucho tiempo en la recopilación de datos y el análisis de los mismos, la elaboración de estas curvas de

¹⁴¹⁴ Jaime Vélez; German Poveda; Oscar Mesa; Carlos Hoyos; Fredy Mejía, Diana Quevedo; Luis Salazar; Sara Vieira. Aplicación de Diferentes Metodologías Para Estimación de Curvas de Intensidad – Duración – Frecuencia en Colombia. Universidad Nacional de Colombia. Medellín



Universidad
Tecnológica
de Bolívar

CARTAGENA DE INDIAS



ACREDITADA
INSTITUCIONALMENTE
Resolución MEN 1166 de 2011

caudales máximos instantáneos es una herramienta de mucha importancia para esas empresas constructoras y diseñadoras, debido a que ya se tiene un estudio previo que indica un resultado para el diseño y construcción de los proyectos, y aun mejor si se tiene una regionalización de estas curvas en toda Colombia.

3. OBJETIVOS

3.1 OBJETIVOS GENERALES

- Determinar las curvas de rendimiento de caudales máximos instantáneo para diferentes periodos de retornos en el río Magdalena.

3.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Calcular los caudales máximos instantáneos del río Magdalena para diferentes periodos de retorno (5, 10, 25, 50, 100 y 500 años). Utilizando las diferentes distribuciones de probabilidad.
- Determinar cuál es la distribución que mejor se ajusta a la serie historia de caudales máximos en el río Magdalena través de los ajustes de distribución tales como Chi cuadrado (X^2) y K-s.
- Comparar el área de drenaje determinada con los valores reportados en el anuario hidrológico y las obtenidas con herramientas tecnológicas.
- Calcular las distancias a partir del nacimiento del río a cada una de las estaciones de estudio del Magdalena.
- Determinar la curva Caudal vs. Distancia para diferentes periodos de retorno en el río Magdalena.

4. MARCO REFERENCIAL

4.1 ANTECEDENTES

A manera de conocer las investigaciones que han sido elaboradas en cuanto al cálculo de caudales máximos en un ámbito nacional e internacional, se realizó una búsqueda en bases de datos y la web con el fin de recoger suficiente información teórica y metodológica planteada para afrontar el tema que en la siguiente investigación es abordado, teniendo en cuenta que muchos de los estudios realizados se generan de maneras diferentes y bajo diferentes criterios. A continuación se sintetizan los aportes más importantes de las investigaciones cuyo objeto fue encaminado al tema principal de la investigación.

María Alejandra Aguilera Navarro, en su estudio: **Estimación de funciones de distribución de probabilidad, para caudales máximos en la región del Maule**¹⁵, cuyo fin es la aplicación hidrológica de cuatro modelos probabilísticos, que corresponden a la función Gumbel, Log-Normal, Goodrich y Pearson tipo III para series anuales de caudales máximos, centrándose en el estudio de las todas las estaciones que se encontraban en la región del Maule- Chile, teniendo en cuenta los ríos y las cuencas principales de la región (Cuenca del río Mataquito y la cuenca del río Maule). Luego de la aplicación de los modelos probabilísticos se llega a las siguientes conclusiones: La función de distribución Pearson Tipo III, presento la calidad más baja de los ajustes de las estaciones, la gran cantidad de valores anómalos entre los años de 1998 y 2006 no deja que la función de

¹⁵ María Alejandra Aguilera Navarro. *Estimación de funciones de probabilidad, para caudales máximos, en la región del Maule*. Memoria para optar al título de Ingeniero Forestal. Universidad de Talca, Facultad de Ciencias Forestales, Escuela de Ingeniería Forestal. Talca – Chile. 2007



probabilidad de Goodrich ajuste bien a los datos tomados, la función Gumbel y la Goodrich, son las que presentan mayor flexibilidad para su aplicación la obtención de caudales máximos en la región de Maule, y de manera general, la función Gumbel es la más confiable para ajustarse a caudales máximos en distintos periodos de retorno por su rapidez y facilidad de cálculo.

Boris Eduardo Carías Juárez, Egly Tatiana Chacón Novoa y Miguel Ángel Márquez, en su trabajo de grado: **Validación de metodologías para el cálculo de caudales máximos en El Salvador**¹⁶, calculan los tiempos de concentración validando la metodología de estos y calculan caudales máximos por las metodologías hidrometeorológicas de Formula Racional, SoilConversationService, Hidrogramas Unitarios Complejos e Hidrogramas sintéticos, realizando a su vez un estudio estadístico de los caudales máximos determinando la función de distribución que mayor se ajuste, comparan los datos con metodologías puntuales y regionales y validan las metodologías determinando los factores de ajuste correspondiente.

Luego de la obtención de resultados utilizadas las metodologías propuestas para determinar tiempos de concentración (como la Kirpich, Agencia Federal de Aviación, Bureau of Reclamation y California), concluyeron que es posible utilizar cualquiera de las metodologías utilizadas, pues los resultados obtenidos se encuentran dentro de rangos preestablecidos para las regiones hidrográficas estudiadas (1-3 m/s). Para la determinación de caudales máximos, el Método Racional subestima los valores de caudales máximos para las áreas analizadas en la investigación, la metodología del hidrograma Sintético de Sneyder, determina muy bien los caudales máximos siempre se conozca en primera instancia detalladamente las características físicas de la cuenca, las metodologías HS triangular y SCS arrojan valores similares entre

¹⁶ Boris Eduardo Carías Juárez, Egly Tatiana Chacón Novoa, Miguel Ángel Márquez. *Validación de metodologías para el cálculo de caudales máximos en El Salvador*. Trabajo de graduación preparado para la facultad de ingeniería y arquitectura. Universidad Centroamericana “José Simeón Cañas”. Facultad de Ingeniería y Arquitectura. San Salvador - El Salvador. 2004



sí, al igual que los caudales máximos, pero con volúmenes de escurrimiento diferentes.

La ventaja de un método estadístico puntual es que los caudales máximos se calculan en base a eventos reales y la desventaja es que a registros largos de caudales, la extrapolación de caudales para periodos de retorno mayores a las longitudes de registro debe tomarse con criterio y reversa para ser utilizados y por último la función de probabilidad que mejor se ajustó a los datos de las estaciones tomadas para el estudio fue la distribución Log-Normal de dos parámetros.

Julio Armando Ramos Urzola y Luis Fernando Julio Amigo, en su tesis de grado: **Regionalización de Distribuciones Hidrológicas de Caudales Máximos Instantáneos en Colombia**¹⁷, se plantean la interrogante de cuál es la distribución hidrológica regionalizada de los caudales máximos instantáneos en Colombia y comienzan sus estudios obteniendo información de estaciones de medición en todo el país, aplicándole a cada una de ellas el test estadístico del Chicuadrado a las distribuciones de probabilidad utilizadas (Gumbel, Gev, Log-Pearson Tipo III, Normal) utilizando los métodos de ajuste necesarios. Se obtuvo que para Colombia se recomienda utilizar la distribución de probabilidad hidrológica GEV (momento de momentos ponderados) en vista de que en la totalidad de las regiones se obtuvieron los mejores resultados del test chi-cuadrado, con un valor promedio por región de 5,594; a pesar de esto, se pueden utilizar las distribuciones de probabilidad Gumbel y Pearson III.

Oscar Jose Mesa Sánchez, Jaime Ignacio Vélez Upegui, Juan Diego Giraldo Osorio y Diana Isabel Quevedo Tejada, en su proyecto de post-grado titulado: **Regionalización de características medias de la cuenca con aplicación**

¹⁷ Julio Armando Ramos Urzola, Luis Fernando Julio Amigo. *Regionalización de distribuciones hidrológicas de caudales máximos instantáneos en Colombia*. Trabajo de grado presentado al programa de ingeniería civil y ambiental, Universidad Tecnológica de Bolívar. Cartagena de Indias – Colombia. 2012



en la estimación de caudales máximos¹⁸, tienen como objeto inferir la respuesta hidrológica de las cuencas del país a partir de sus características geomorfológicas. La mayor parte de las características físicas de la cuenca se deben a la acción del agua, a pesar de esto, es lógico pensar en la fuerte relación que se da entre las características morfométricas de la cuenca y las variables que describen el comportamiento hidrológico de la misma. Siguiendo un procedimiento estándar de regionalización de las características medias, es posible relacionar las características geomorfológicas y climáticas de una cuenca sin información alguna de las características medias de los caudales máximos instantáneos. Luego de conocer estas características medias se pueden estimar caudales máximos instantáneos a diferentes periodos de retorno, utilizando diferentes distribuciones de probabilidad. En el caso de Colombia, luego de regionalizar el territorio se notó que el área de drenaje no es un suficiente descriptor de las cuencas que aquí se encuentran. La amplia diversidad de zonas climáticas y su combinación en las cuencas más grandes, como la del Rio Magdalena, sugiere la utilización de parámetros climáticos para capturar las características medias de los caudales máximos. Las variables geomorfológicas precipitación, evaporación y área de drenaje, constituyen unos buenos estimadores de las características medias de la cuenca. Estas características, combinadas con el método de análisis de frecuencia, entregan resultados satisfactorios para la estimación de caudales máximos.

¹⁸ Mesa, O., J. Velez, J. Giraldo & D. Quevedo. 2003: *Regionalización de características medias de la cuenca con aplicación en la estimación de caudales máximos*. Meteorol. Colomb. 7:141-147. ISSN 0124-6984. Bogotá, D.C. – Colombia.

4.2 MARCO TEÓRICO

4.1.1 CICLO HIDROLÓGICO

Es la sucesión de etapas que atraviesa el agua al pasar de la tierra a la atmósfera y volver a la tierra: evaporación desde el suelo, mar o aguas continentales, condensación de nubes, precipitación, acumulación en el suelo o masas de agua y reevaporación.

El ciclo hidrológico involucra un proceso de transporte recirculatorio e indefinido o permanente, este movimiento permanente del ciclo se debe fundamentalmente a dos causas: la primera, el sol que proporciona la energía para elevar el agua (evaporación); la segunda, la gravedad terrestre, que hace que el agua condensada descienda (precipitación y escurrimiento).¹⁹

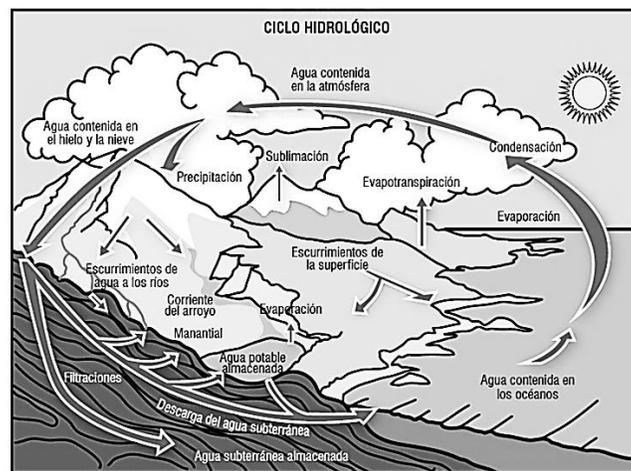


Figura 1. Representación del Ciclo Hidrológico
 Fuente: Ideam, 2010. Estudio Nacional del Agua 2010. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. Bogotá D.C.

¹⁹ ORDOÑEZ, Juan. *Cartilla Técnica: Ciclo Hidrológico*. Sociedad Geográfica de Lima. Perú. 2012



4.1.2 CUENCA HIDROLÓGICA

Una cuenca es una zona de la superficie en donde (si fuera impermeable) las gotas de lluvia que caen sobre ella tienden a ser drenadas por el sistema de corrientes hacia un mismo punto de salida.

La definición anterior se refiere a una cuenca superficial; asociada a cada una de estas existe también una cuenca subterránea, cuya forma en planta es semejante a la superficial. De ahí la aclaración de que la definición es válida si la superficie fuera impermeable.

Desde el punto de vista de su salida, existen fundamentalmente dos tipos de cuenca: endorreicas y exorreicas. En las primeras el punto de salida está dentro de los límites de la cuenca y generalmente es un lago; En las segundas, el punto de salida se encuentra en los límites de la cuenca y está en otra corriente o en el mar.²⁰



Figura 2. Representación Tipos de cuencas hidrológicas.
Fuente.montilva-cienciasdelatierra.blogspot.com

4.1.3 HIDROMETRÍA

Ciencia que trata de la medición y el análisis del agua incluyendo métodos, técnicas e instrumentos utilizados en hidrología.

²⁰ APARICIO, Francisco. *Fundamentos de hidrología de superficie*. Editorial Limusa S.A de C.V. México D.F. 1992



4.1.4 AFOROS

Conjunto de operaciones para determinar el caudal de un curso de agua para un nivel observado. El objetivo principal es correlacionar el nivel de agua con el caudal para obtener una curva de descarga o calibración.

Existen aforos directos e indirectos, los aforos directos (flotadores, molinetes, químicos, entre otros) miden directamente el caudal en la fuente del agua y los aforos indirectos (escalas limnimétricas, limnígrafos, vertederos) miden el nivel del agua en el cauce, a partir de este nivel se estima un caudal.

4.1.5 ESTACIÓN HIDROMÉTRICA

Es un lugar fijo estable, no erosionable o sedimentable en el lecho de determinado río en el que se realizan un conjunto de operaciones que permitan determinar el caudal circulante en un momento y tiempo determinado. Dentro de la clasificación de las estaciones hidrométricas encontramos:

- Estación Simple o Limnimétrica: Estación hidrométrica que cuenta con un limnómetro (escala o mira) que registra el nivel del río respecto a una referencia fija.
- Estación Limnográfica: Estación hidrométrica fija que además de contar con un limnómetro o regla, tiene un limnígrafo, aparato que registra las variaciones del nivel de agua en la sección que se quiere controlar en forma continua, debe mantenerse equilibrado con el limnómetro. Este tipo de estaciones se utiliza en aquellos ríos en donde las variaciones de caudal son muy rápidas y deben mantenerse vigilados continuamente por las consecuencias que estos puedan ocasionar.



4.1.6 CAUDAL

Según Pizarro *et al*, se denomina caudal o gasto, al volumen de agua que fluye a través de una sección transversal por unidad de tiempo, donde la unidad de medida más comúnmente empleada es m^3/s . Para el ingeniero hidrólogo, el caudal es una variable dependiente de la mayoría de los estudios, puesto que en la ingeniería hidrológica se dedica principalmente a estimar volúmenes de flujo, o los cambios en estos valores debido a la acción del hombre.

Para el cálculo de caudales existen diferentes metodologías, dependiendo del tipo de información que se disponga, la cual puede ser de tipo fluvial o pluvial; si se cuenta con datos fluviométricos, los caudales son calculados en forma directa a través de análisis de frecuencia de los gastos medidos, en cambio si se cuenta con información pluviométrica, la estimación de crecidas es estimada por medio de modelos basados en las características morfométricas de la cuenca en estudio (Pizarro *et al*, 1993).

Al considerar los caudales, son de gran importancia los que representan valores máximos. Linsley *et al.*, (1998) señalan que un caudal punta, es un caudal máximo registrado el cual sobrepasa los valores normales. En un hidrograma de crecidas, es el valor más alto de la curva. El cálculo de este tipo de caudales es una de las máximas preocupaciones de la ingeniería hidrológica, con el fin de que esta información sea útil en el diseño de obras hidráulicas, además de permitir su cuantificación en volumen y poder así definir estrategias de gestión de los recursos hídricos, hecho que cada vez cobra mayor relevancia.²¹

²¹ María Alejandra Aguilera Navarro. *Estimación de funciones de probabilidad, para caudales máximos, en la región del Maule*. Memoria para optar al título de Ingeniero Forestal. Universidad de Talca, Facultad de Ciencias Forestales, Escuela de Ingeniería Forestal. Talca – Chile. 2007. pág. 4.

4.1.6.1 CAUDAL ESPECIFICO

El caudal específico se refiere a la cantidad de escorrentía que se produce en un punto dado de un río de superficie o área relativa a dicho punto; representa el caudal aportado por cada hectárea de cuenca o área de drenaje.²²

El caudal específico relaciona el caudal de la cuenca con la superficie de la misma, midiéndose en l/s/Km² o m³/s/Km², lo que permite comparar el caudal de diversas cuencas, siendo sus superficies distintas. Las áreas de montaña proporcionan más de 20 l/s/Km², mientras que, en las partes bajas de la misma cuenca se generan solamente 4 o 5 l/s/Km².²³

4.1.7 ANÁLISIS DE FRECUENCIA REGIONALES

Los análisis de frecuencia regionales se refieren al establecimiento de relaciones válidas para toda la región. Para ello se requiere contar con registros en estaciones cercanas con características hidrológicas semejantes.

4.1.7.1 MÉTODO DE LA CRECIDA ÍNDICE²⁴

Es el utilizado por la U.S Geological Survey en sus estudios regionales de frecuencia de crecida. Consiste fundamentalmente en seleccionar una región de características morfológicas y fisiográficas similares y efectuar un análisis de frecuencia para cada una de las estaciones en estudio. Estas curvas se adimensionalizan en base a una crecida índice (puede ser la crecida media), luego se superponen y se determina una sola distribución adimensional cuyo único parámetro es la crecida índice.

²² Grupo de Gestión y apoyo a la ingeniería agrícola en Colombia. *Caudales Específicos para las cuencas en el departamento del Valle del Cauca*. Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca. Santiago de Cali. 2007. Pag. 6.

²³ <http://hidrologia.usal.es/temas/Aforos.pdf>

²⁴ CHEREQUE, Wendor. *HIDROLOGIA para estudiantes de ingeniería civil*. Pontificia Universidad Católica de Perú. Lima-Perú. pág. 175.



Después se efectúa una correlación entre las crecidas índice con las características de sus cuencas y se obtiene la curva de regresión. La combinación de la distribución adimensional y la curva de regresión permiten efectuar el análisis de frecuencia en cualquier cuenca de la región.

El método, paso a paso, es el siguiente:

1. Se tabulan las crecidas máximas anuales a cada una de las estaciones existentes en la región, siempre que dicho registro tenga una longitud de 5 o más años. No se deben utilizar estaciones que estén muy afectadas por obras de regulación artificial o cualquier otro factor artificial, salvo que se corrijan las inconsistencias.
2. Mediante un diagrama de barras se puede representar la longitud de cada registro. En base a este diagrama se elige la longitud del periodo para el cual se va a hacer el estudio (periodo común). Hay que tratar de elegir el periodo común más largo posible.
3. En base a correlaciones se extienden los registros de corta duración para que abarquen un periodo igual al periodo común elegido.
4. Se numeran las crecidas para cada estación según su magnitud, asignándole el número 1 a la mayor.
5. Se calcula el periodo de retorno o probabilidad de excedencia mediante parámetros estadísticos, solamente para crecidas medidas. A las crecidas estimadas mediante correlaciones no se les calcula periodo de retorno ya que no se recomienda graficarlas. Solo se utilizan para darles un número de orden más realista a las crecidas medidas.
6. Para cada una de las estaciones, graficas las crecidas versus su probabilidad de excedencia y trazar las respectivas rectas de distribución. Con cada una de las rectas se determina gráficamente la crecida índice. Se recomienda que sea la crecida media y para su determinación se entra al gráfico con una probabilidad de excedencia de 42.9% o $TR=2.33$ años.



7. Tabular para cada una de las estaciones las razones entre el caudal para varios periodos de retorno y la crecida índice.
8. En base los datos de las crecidas índice para cada estación y las características físicas y meteorológicas de cada cuenca determinar la ecuación de regresión con Q_i como variable dependiente. Las características físicas y meteorológicas de las cuencas son múltiples y de difícil evaluación. Afortunadamente se ha demostrado en la práctica que en la mayoría de las regiones se obtiene una buena correlación utilizando únicamente el área de la cuenca como variable independiente.
9. Utilizando estas curvas se puede obtener una curva de frecuencia para cualquier sección dentro de la región de estudio. La figura 3 muestra las curvas que se utilizaron en el proyecto presentado.

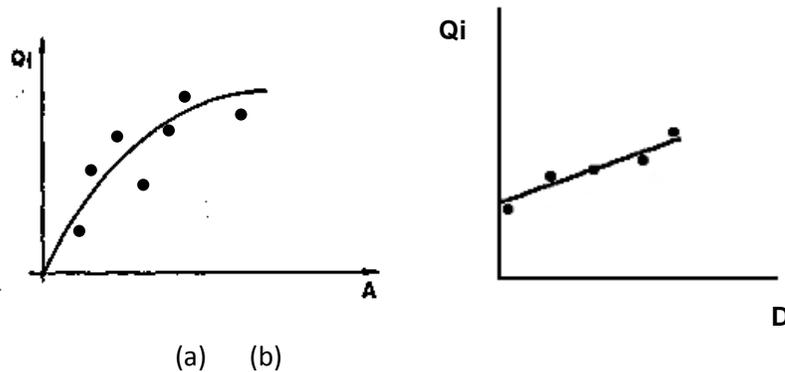


Figura 3. (a) Caudal en el área de un cauce (b) Caudal a lo largo de un cauce
Fuente: HIDROLOGIA para estudiantes de ingeniería, Wendor Chereque

4.1.8 DISTRIBUCIONES DE PROBABILIDAD.

Entre las distribuciones de probabilidad usadas en el campo de la ingeniería para el estudio y análisis de eventos hidrológicos tenemos las siguientes.

4.1.8.1 DISTRIBUCIÓN NORMAL

La función de densidad de probabilidad normal se define como:

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} * e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2}$$

Ecuación 4.1. Distribución Normal

Donde μ y σ son los parámetros de la distribución. Estos parámetros determinan la forma de la función $f(x)$ y su posición en el eje x .

Es posible demostrar que σ y μ son, respectivamente, la media y la desviación estándar de la población y pueden estimarse de la misma forma para los datos. De acuerdo con la ecuación anterior, se estima la función de distribución de probabilidad normal es:

$$f(x) = \int_{-\infty}^x \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} * e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2} dx$$

Ecuación 4.2. Distribución Normal

Hoy en día es muy difícil conocer analíticamente la integral de esta ecuación. Por lo que es necesario recurrir a métodos numéricos para evaluarla. Sin embargo, para hacer esto se requeriría una tabla para cada valor de μ y σ , por lo que se ha definido una variable z estandarizada.

$$Z = \frac{x - \mu}{\sigma}$$

Ecuación 4.3. Parámetro z estandarizado.

Que esta normalmente distribuida con media cero y desviación estándar unitaria. Así, la función de distribución de probabilidad se puede definir como:

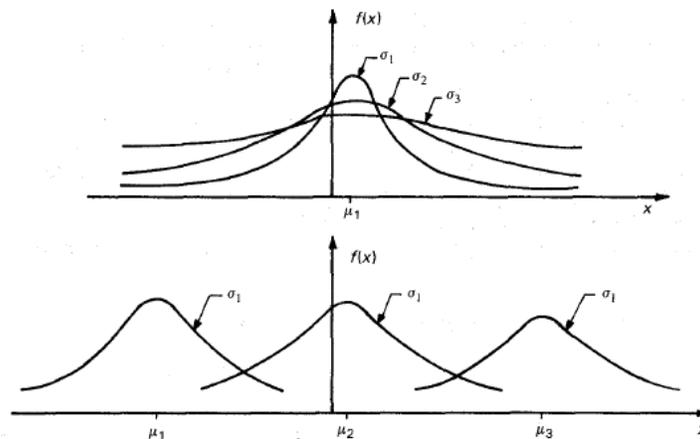
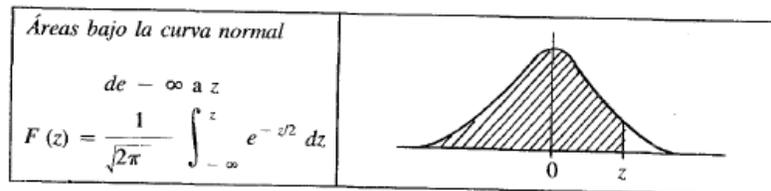


Figura 4. Grafica de Distribución Normal. Aparicio

$$f(x) = f(z) = \int_{-\infty}^z \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{z^2}{2}} dz$$

La función $f(z)$ se ha calculado numéricamente y se han publicado tablas de ella. En la siguiente tabla se muestra los valores dados para esta función. Debido a la que la función $F(z)$ es simétrica, en dicha tabla únicamente se muestran los valores de la siguiente ecuación.



z	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0.0	0.5000	0.5040	0.5080	0.5120	0.5160	0.5199	0.5239	0.5279	0.5319	0.5359
0.1	0.5398	0.5438	0.5478	0.5517	0.5557	0.5596	0.5636	0.5675	0.5714	0.5754
0.2	0.5793	0.5832	0.5871	0.5910	0.5948	0.5987	0.6026	0.6064	0.6103	0.6141
0.3	0.6179	0.6217	0.6255	0.6293	0.6331	0.6368	0.6406	0.6443	0.6480	0.6517
0.4	0.6554	0.6591	0.6628	0.6664	0.6700	0.6736	0.6772	0.6808	0.6844	0.6879
0.5	0.6915	0.6950	0.6985	0.7019	0.7054	0.7088	0.7123	0.7157	0.7190	0.7224
0.6	0.7258	0.7291	0.7324	0.7357	0.7389	0.7422	0.7454	0.7486	0.7518	0.7549
0.7	0.7580	0.7612	0.7642	0.7673	0.7704	0.7734	0.7764	0.7794	0.7823	0.7852
0.8	0.7881	0.7910	0.7939	0.7967	0.7996	0.8023	0.8051	0.8078	0.8106	0.8133
0.9	0.8159	0.8186	0.8212	0.8238	0.8264	0.8289	0.8315	0.8340	0.8365	0.8389
1.0	0.8413	0.8438	0.8461	0.8485	0.8508	0.8531	0.8554	0.8577	0.8599	0.8621
1.1	0.8643	0.8665	0.8686	0.8708	0.8729	0.8749	0.8770	0.8790	0.8810	0.8830
1.2	0.8849	0.8869	0.8888	0.8907	0.8925	0.8944	0.8962	0.8980	0.8997	0.9015
1.3	0.9032	0.9049	0.9066	0.9082	0.9099	0.9115	0.9131	0.9147	0.9162	0.9177
1.4	0.9192	0.9207	0.9222	0.9236	0.9251	0.9265	0.9279	0.9292	0.9306	0.9319
1.5	0.9332	0.9345	0.9357	0.9370	0.9382	0.9394	0.9406	0.9418	0.9429	0.9441
1.6	0.9452	0.9463	0.9474	0.9484	0.9495	0.9505	0.9515	0.9525	0.9535	0.9545
1.7	0.9554	0.9564	0.9573	0.9582	0.9591	0.9599	0.9608	0.9616	0.9625	0.9633
1.8	0.9641	0.9649	0.9656	0.9664	0.9671	0.9678	0.9686	0.9693	0.9699	0.9706
1.9	0.9713	0.9719	0.9726	0.9732	0.9738	0.9744	0.9750	0.9756	0.9761	0.9767
2.0	0.9772	0.9778	0.9783	0.9788	0.9793	0.9798	0.9803	0.9808	0.9812	0.9817
2.1	0.9821	0.9826	0.9830	0.9834	0.9838	0.9842	0.9846	0.9850	0.9854	0.9857
2.2	0.9861	0.9864	0.9868	0.9871	0.9875	0.9878	0.9881	0.9884	0.9887	0.9890
2.3	0.9893	0.9896	0.9898	0.9901	0.9904	0.9906	0.9909	0.9911	0.9913	0.9916
2.4	0.9918	0.9920	0.9922	0.9925	0.9927	0.9929	0.9931	0.9932	0.9934	0.9936
2.5	0.9938	0.9940	0.9941	0.9943	0.9945	0.9946	0.9948	0.9949	0.9951	0.9952
2.6	0.9953	0.9955	0.9956	0.9957	0.9959	0.9960	0.9961	0.9962	0.9963	0.9964
2.7	0.9965	0.9966	0.9967	0.9968	0.9969	0.9970	0.9971	0.9972	0.9973	0.9974
2.8	0.9974	0.9975	0.9976	0.9977	0.9977	0.9978	0.9979	0.9979	0.9980	0.9981
2.9	0.9981	0.9982	0.9982	0.9983	0.9984	0.9984	0.9985	0.9985	0.9986	0.9986
3.0	0.9987	0.9987	0.9987	0.9988	0.9988	0.9989	0.9989	0.9989	0.9990	0.9990
3.1	0.9990	0.9991	0.9991	0.9991	0.9992	0.9992	0.9992	0.9992	0.9993	0.9993
3.2	0.9993	0.9993	0.9994	0.9994	0.9994	0.9994	0.9994	0.9995	0.9995	0.9995
3.3	0.9995	0.9995	0.9995	0.9996	0.9996	0.9996	0.9996	0.9996	0.9996	0.9997
3.4	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9998
3.5	0.9998	0.9998	0.9998	0.9998	0.9998	0.9998	0.9998	0.9998	0.9998	0.9998
3.6	0.9998	0.9998	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999
3.7	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999
3.8	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999
3.9	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000

Tabla 1. Valores típicos de distribución normal, Aparicio

Con lo que es posible calcular $F(z)$ para cualquier valor de Z .

Otra manera de estimar el valor de $F(z)$, más conveniente si se hace el uso de computadoras, es mediante fórmulas aproximadas. La función de densidad $f(z)$ se aproxima, con una precisión mayor de 2.27×10^{-3} . Se define como:

$$f_{(z)} = (a_0 + a_1 z^2 + a_2 z^4 + a_3 z^6)^{-1}$$

Ecuación 4.4. Función de densidad. Aparicio

Donde:

$$a_0 = 2.490895$$

$$a_1 = 1.466003$$

$$a_2 = -0.024393$$

$$a_3 = 0.178257$$

Y la función de distribución se define como:

$$f_{(z)} = H_{(z)}, z > 0$$

$$f_{(z)} = 1 - H_{(z)}, z < 0$$

Ecuación 4.5 Definición función de densidad. Aparicio

Donde:

$$H_{(z)} = 1 - \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{\frac{-z^2}{2}} (b_1 q + b_2 q^2 + b_3 q^3)$$

Ecuación 4.6 Parámetro $H(z)$. Aparicio

$$\text{Siendo } q = \frac{1}{1 + b_0 |z|}$$

$$b_0 = 0.33267$$

$$b_1 = 0.43618$$

$$b_2 = -0.12017$$

$$b_3 = 0.93730$$

4.1.8.2 DISTRIBUCIÓN LOG – NORMAL

En esta función los logaritmos naturales de la variable aleatoria se distribuyen normalmente. La función de densidad de probabilidad se define por la siguiente ecuación:

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \frac{1}{x\beta} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{\ln x - \alpha}{\beta}\right)^2}$$

Ecuación 4.7. Distribución Log-Normal. Aparicio

Donde α y β son los parámetros de la distribución. Se deduce que los parámetros α y β son respectivamente la media y la desviación estándar de los logaritmos de la variable aleatoria. En la siguiente figura se encuentran una gráfica de la función de densidad de probabilidad para diferentes valores de α y β .

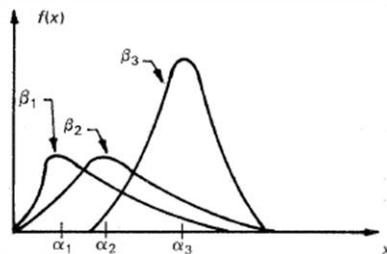


Figura 4.1. Grafica de densidad de probabilidad Log. Normal. Aparicio.

Como se observa esta función no necesariamente es simétrica. Los valores para α y β se estiman a partir de n observaciones.

$$\alpha = \sum_{i=1}^n \frac{\ln x_i}{n}$$

Ecuación 4.8 Función de valor α . Aparicio.

$$\beta = \left[\sum_{i=1}^n \frac{(\ln x_i - \alpha)^2}{n} \right]^{1/2}$$

Ecuación 4.9. Función de valor β . Aparicio.

La función de distribución de probabilidad es la siguiente integral:

$$f(x) = \int_0^x \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \frac{1}{x\beta} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{\ln x - \alpha}{\beta}\right)^2} dx$$

Ecuación 4.10. Función de distribución Log-Normal. Aparicio.

Los valores de la función de probabilidad mostrada en la ecuación anterior se obtienen usando la tabla 1 del apéndice A (mostrada en la distribución anterior) si la variable estandarizada se define como:

$$Z = \frac{\ln x - \alpha}{\beta}$$

Ecuación 4.11. Parámetro Z. Aparicio.

Esta distribución se caracteriza por:

- Asigna a valores de la variable < 0 la probabilidad 0 y de este modo se ajusta a las tasas y probabilidades de fallo que de esta forma sólo pueden ser positivas.
- Como depende de dos parámetros, se ajusta bien a un gran número de distribuciones empíricas.
- Es idónea para parámetros que son a su vez producto de numerosas cantidades aleatorias.

4.1.8.3 DISTRIBUCIÓN GUMBEL

Los valores de la distribución Tipo I conocida como distribución Gumbel o doble exponencial, tiene como distribución de probabilidad la siguiente ecuación:

$$F(x) = e^{-e^{-\alpha(x-\beta)}}$$

Ecuación 4.12. Función de distribución Gumbel. Aparicio.

Si se tienen N muestras, donde cada una posee x eventos, y se selecciona los n máximos de los x eventos de cada muestra, es posible demostrar que, a medida que n aumenta, la función de distribución de probabilidad de x tiende a la ecuación mostrada anteriormente.

Donde α y β de la distribución, específicamente siendo α un parámetro de concentración y β un parámetro de localización.

La función de densidad de probabilidad es entonces:

$$f(x) = \alpha e^{-\alpha(x-\beta)-e^{-\alpha(x-\beta)}}$$

Ecuación 4.13. Función de probabilidad Gumbel. Aparicio.

Los parámetros α y β se estiman como:

$$\alpha = \frac{1.2825}{S}$$
$$\beta = x - 0.45 S$$

Para muestras muy grandes:

$$\alpha = \frac{\sigma_y}{S}$$
$$\beta = x - \frac{\mu_y}{\alpha}$$

Para muestras relativamente pequeñas, donde μ_y y σ_y se muestran en la siguiente tabla:



Nºdatos	yn	Sn	Nºdatos	yn	Sn	Nºdatos	yn	Sn
1	0,36651	0,00000	35	0,54034	1,12847	69	0,55453	1,18440
2	0,40434	0,49838	36	0,54105	1,13126	70	0,55477	1,18535
3	0,42859	0,64348	37	0,54174	1,13394	71	0,55500	1,18629
4	0,44580	0,73147	38	0,54239	1,13650	72	0,55523	1,18720
5	0,45879	0,79278	39	0,54302	1,13896	73	0,55546	1,18809
6	0,46903	0,83877	40	0,54362	1,14131	74	0,55567	1,18896
7	0,47735	0,87493	41	0,54420	1,14358	75	0,55589	1,18982
8	0,48428	0,90432	42	0,54475	1,14576	76	0,55610	1,19065
9	0,49015	0,92882	43	0,54529	1,14787	77	0,55630	1,19147
10	0,49521	0,94963	44	0,54580	1,14989	78	0,55650	1,19227
11	0,49961	0,96758	45	0,54630	1,15184	79	0,55669	1,19306
12	0,50350	0,98327	46	0,54678	1,15373	80	0,55689	1,19382
13	0,50695	0,99713	47	0,54724	1,15555	81	0,55707	1,19458
14	0,51004	1,00948	48	0,54769	1,15731	82	0,55726	1,19531
15	0,51284	1,02057	49	0,54812	1,15901	83	0,55744	1,19604
16	0,51537	1,03060	50	0,54854	1,16066	84	0,55761	1,19675
17	0,51768	1,03973	51	0,54895	1,16226	85	0,55779	1,19744
18	0,51980	1,04808	52	0,54934	1,16380	86	0,55796	1,19813
19	0,52175	1,05575	53	0,54972	1,16530	87	0,55812	1,19880
20	0,52355	1,06282	54	0,55009	1,16676	88	0,55828	1,19945
21	0,52522	1,06938	55	0,55044	1,16817	89	0,55844	1,20010
22	0,52678	1,07547	56	0,55079	1,16955	90	0,55860	1,20073
23	0,52823	1,08115	57	0,55113	1,17088	91	0,55876	1,20135
24	0,52959	1,08646	58	0,55146	1,17218	92	0,55891	1,20196
25	0,53086	1,09145	59	0,55177	1,17344	93	0,55905	1,20256
26	0,53206	1,09613	60	0,55208	1,17467	94	0,55920	1,20315
27	0,53319	1,10054	61	0,55238	1,17586	95	0,55934	1,20373
28	0,53426	1,10470	62	0,55268	1,17702	96	0,55948	1,20430
29	0,53527	1,10864	63	0,55296	1,17816	97	0,55962	1,20486
30	0,53622	1,11237	64	0,55324	1,17926	98	0,55976	1,20541
31	0,53713	1,11592	65	0,55351	1,18034	99	0,55989	1,20596
32	0,53799	1,11929	66	0,55378	1,18139	100	0,56002	1,20649
33	0,53881	1,12249	67	0,55403	1,18242	101	0,56015	1,20701

Tabla 2. Tabla 9.6 del libro de Aparicio. Parámetros de diseño distribución Gumbel

4.1.8.4 DISTRIBUCIÓN PEARSON III

Esta distribución es muy utilizada porque permite obtener resultados de aceptable confiabilidad cuando se efectúan predicciones con grandes periodos de retorno.

La expresión de su función de densidad de probabilidad es la siguiente:

$$f(x) = \frac{1}{\alpha\Gamma(\beta)} \left\{ \frac{x - \delta}{\delta} \right\}^{\beta-1} e^{-\frac{x-\delta}{\alpha}}$$

Donde α, β y δ son los parámetros de la función y $\Gamma(\beta)$ es la función Gamma. Los parámetros α, β y δ se evalúan a partir de n datos medidos. Asimismo los parámetros de la distribución pueden ser estimados en función del promedio \bar{x} , de la desviación estándar S de la muestra y el coeficiente de sesgo γ , por medio de las siguientes expresiones:

$$\alpha = \frac{S}{\sqrt{\beta}}$$

$$\beta = \left(\frac{2}{\gamma} \right)^2$$

$$\delta = \bar{x} - \alpha\beta$$

El coeficiente de sesgo, se define como,

$$\gamma = \sum_{i=1}^n \frac{(x_i - \bar{x})^3 / n}{S^3}$$

La función de distribución de probabilidad es:

$$F(x) = \frac{1}{\alpha\Gamma(\beta)} \int_0^x e^{-\frac{x-\delta_1}{\delta_1}} \left(\frac{x-\delta_1}{\delta_1} \right)^{\beta-1} dx$$



4.1.8.5 DISTRIBUCIÓN GEV

La distribución generalizada GEV (GENERALIZED EXTREME VALUE DISTRIBUTION), también es conocida como la distribución de Fisher – Tippett, la distribución tipo Von Mises – Jenkinson. Dicha distribución fue inicialmente introducida por Jenkinson (1955).

La distribución General de Valores Extremos, GEV, es una generalización de la distribución de Gumbel, al añadirse un parámetro de forma, κ . Así, Gumbel se obtiene a partir de GEV cuando κ vale 0. La función de probabilidad de GEV es:

$$f(x) = \frac{1}{\alpha} \left[1 - k \left(\frac{x - \beta}{\alpha} \right) \right]^{\frac{1}{k} - 1} \cdot e^{\left[1 - k \left(\frac{x - \beta}{\alpha} \right) \right]^{\frac{1}{k}}}$$

Aunque κ puede tomar cualquier valor, GEV sólo puede utilizarse para máximos de variables climáticas cuando κ es negativo, pudiendo tomar x valores en el rango $\beta + \alpha/\kappa \leq x \leq \infty$. Para valores positivos de k la distribución tiene una asíntota (límite superior) en $x = \beta + \alpha/\kappa$, por lo que se suele utilizar entonces la distribución de Gumbel²⁵. La función de distribución o de probabilidad acumulada es:

$$F(x \leq X) = e^{-\left[1 - k \left(\frac{x - \beta}{\alpha} \right) \right]^{\frac{1}{k}}}$$

4.1.9 AJUSTES DE DISTRIBUCIÓN.

Estas pruebas de bondad de ajuste permiten verificar que la población de la cual proviene una muestra tiene una distribución especificada o propuesta.

²⁵Santiago Beguería. Revisión de métodos para estimación de la probabilidad de ocurrencia de eventos extremos en climatología e hidrología: el uso de series de excedencias y su comparación con las series de máximos anuales. Instituto Pirenaico de Ecología. España.2002.



Dentro de estas pruebas de bondad de ajustes tenemos:

4.1.9.1 AJUSTE DE DISTRIBUCIÓN POR EL METODO DE LA CHI CUADRADO.

La prueba Chi Cuadrado es la más popular. Fue propuesta por Karl Pearson en 1900. Para aplicar la prueba, el primer paso es dividir los datos en un numero K de intervalos de clases, como se muestra en la siguiente tabla, donde para los datos se ha escogido un K = 6.

<i>Intervalo</i> <i>i</i>	<i>Límite</i> <i>Inferior</i> <i>I_i</i>	<i>Límite</i> <i>Superior</i> <i>S_i</i>	<i>Marca</i> <i>de clase</i>	<i>Número</i> <i>observado</i> <i>θ_i</i>
1	0	1400	700	0
2	1400	2800	2100	11
3	2800	4200	3500	5
4	4200	5600	4900	3
5	5600	7000	6300	4
6	7000	8400	7700	2
				Σ = n = 25

Tabla 3. Tabla 9.10 del libro de Aparicio. Ejemplo ajuste de datos Chi-cuadrado

Posteriormente se calcula el parámetro estadístico:

$$D = \sum_{i=1}^k \frac{(\theta_i - \varepsilon_i)^2}{\varepsilon_i}$$

Donde:

θ_i : numero observado de eventos en el intervalo i.

ε_i : numero de eventos en el mismo intervalo.

ε_i Se calcula como:

$$\varepsilon_i = n[F(S_i) - F(I_i)] \quad i = 1, 2, 3, \dots, K$$

Donde:

$F(S_i)$: Función de distribución de probabilidad en el límite superior del intervalo i.

$F(I_i)$: Función de distribución de probabilidad en el límite inferior del intervalo i .

n : Numero de eventos.

En la siguiente tabla se muestran algunos valores para las diferentes distribuciones de probabilidad:

Función de distribución	Intervalo i	$F(S_i)$	$F(I_i)$	ϵ_i	$(\theta_i - \epsilon_i)^2/\epsilon_i$	\hat{D}
Normal	1	0.087	0.017	1.75	1.75	16.47
	2	0.276	0.087	4.73	8.31	
	3	0.432	0.276	3.90	0.31	
	4	0.824	0.432	9.80	4.72	
	5	0.956	0.824	3.30	0.15	
	6	0.993	0.956	0.93	1.23	
				24.41		
Lognormal	1	0.021	0	0.53	0.53	7.68
	2	0.309	0.021	7.20	2.01	
	3	0.655	0.309	8.65	1.54	
	4	0.851	0.655	4.90	0.74	
	5	0.938	0.851	2.18	1.52	
	6	0.974	0.938	0.90	1.34	
				24.36		
Pearson III	1	0.019	0	0.48	0.48	2.92
	2	0.466	0.019	11.18	0.00	
	3	0.637	0.466	4.28	0.12	
	4	0.831	0.637	4.85	0.71	
	5	0.933	0.831	2.55	0.83	
	6	0.976	0.933	1.08	0.78	
				24.42		
Gumbel	1	0.074	0.002	1.80	1.80	8.17
	2	0.324	0.074	6.25	3.61	
	3	0.614	0.324	7.25	0.70	
	4	0.810	0.614	4.90	0.74	
	5	0.913	0.810	2.58	0.79	
	6	0.961	0.913	1.20	0.53	
				23.98		
Gumbel dos poblaciones	1	0.228	0.070	3.95	3.95	14.52
	2	0.408	0.228	4.50	9.39	
	3	0.543	0.408	3.38	0.78	
	4	0.654	0.543	2.78	0.02	
	5	0.871	0.654	5.43	0.37	
	6	0.958	0.871	2.18	0.01	
				22.22		

Tabla 4. Tabla 9.11 del libro de Aparicio. Valores Chi-cuadrado para diferentes funciones de probabilidad.

Una vez calculado el parámetro D para cada función de distribución considerada, se determina el valor de una variable aleatoria con distribución χ^2 . Para $\nu = k - 1 - m$ Grados de libertad y un nivel de significancia α , donde m es el número de parámetros estimados a partir de los datos.

Para aceptar una función de distribución dada, se debe cumplir:

$$D \leq x_{1-\alpha, k-1-m}^2$$

El valor de esta función se obtiene de tablas de las funciones de distribución x^2 .

4.1.9.2 AJUSTE DE DISTRIBUCIÓN POR EL METODO DE LA MÁXIMA VEROSIMILITUD.

Este método consiste en la estimación de un parámetro del que se supone que debe converger en el tiempo al valor real que explicaría un fenómeno específico bajo el supuesto de que entre más se aproxime es porque es más consistente. La estimación por este método permite calcular los coeficientes que tienen máxima verosimilitud de reproducir la matriz de correlaciones observada, considerando que los valores a obtener sean más probables de obtener que los considerados en la muestra aleatoria considerada como punto de partida.

Este método es utilizado en los modelos probabilísticos o modelos probit y logit, y considera propiedades en los que los estimadores obtenidos resultan ser en últimas eficientes, consistente e insesgados.

Este método es considerado uno de los más utilizados para lograr el ajuste de un modelo específico dada en las condiciones mínimas que garantizan los estimadores que de él se obtienen. Referencia (GOMEZ, J Método de máxima verosimilitud TAE Curso estadística 2005).

4.1.9.3 AJUSTE DE DISTRIBUCIÓN POR EL METODO KOLMOGOROV – SMIRNOV.

La prueba de KOLMOGOROV es considerada para el análisis de una muestra un procedimiento de bondad de ajuste, es decir, permite la medición del grado de concordancia existente entre la distribución de un conjunto de datos y una distribución teórica específica.

La prueba de Kolmogorov es una prueba no paramétrica que se emplea para probar el grado de concordancia entre la distribución de datos empíricos de la muestra y alguna distribución teórica especificada.

Esta prueba consiste en comparar el máximo valor absoluto de la diferencia D entre la función de distribución de probabilidad observada $F_0(x_m)$ y la estimada $F(x_m)$

$$D = \text{máx}|F_0(x_m) - F(x_m)|$$

Con un valor crítico d que depende del número de datos y el nivel de significancia seleccionado. Si $D < d$, se acepta la hipótesis nula. Esta prueba de bondad de ajuste tiene una ventaja sobre la prueba de Chi Cuadrado de que compara los datos con modelo estadísticos sin necesidad de agruparlos. La función de distribución de probabilidad observada se calcula como:

$$F_0(x_m) = 1 - \frac{m}{n + 1}$$

Donde m es el número de orden de dato del dato x_m en una lista de mayor a menor y n es el número total de datos.

4.3 ESTADO ACTUAL

4.3.1 SISTEMAS DE INFORMACION GEOGRAFICA

Un SIG se define como un conjunto de métodos, herramientas y datos que están diseñados para actuar coordinada y lógicamente para capturar, almacenar, analizar, transformar y presentar toda la información geográfica y de sus atributos con el fin de satisfacer múltiples propósitos. Los SIG son una tecnología que permite gestionar y analizar la información espacial, y que surgió como resultado de la necesidad de



disponer rápidamente de información para resolver problemas y contestar a preguntas de modo inmediato.

Existen otras muchas definiciones de SIG, algunas de ellas acentúan su componente de base de datos, otras sus funcionalidades y otras enfatizan el hecho de ser una herramienta de apoyo en la toma de decisiones, pero todas coinciden en referirse a un SIG como un sistema integrado para trabajar con información espacial, herramienta esencial para el análisis y toma de decisiones en muchas áreas vitales para el desarrollo nacional, incluyendo la relacionada con el estudio científico de la Biodiversidad.

Un SIG responde:

- Localización ¿Qué hay en?
- Condición ¿Dónde sucede que?
- Tendencias ¿Qué ha cambiado?
- Rutas ¿Cuál es el camino optimo?
- Pautas ¿Qué pautas existen?
- Modelos ¿Qué ocurriría si?

4.3.1.1 Importancia de los SIG

Las soluciones para muchos problemas frecuentemente requieren acceso a varios tipos de información que sólo pueden ser relacionadas por geografía o distribución espacial. Sólo la tecnología SIG permite almacenar y manipular información usando geografía, analizar patrones, relaciones, y tendencias en la información, todo con el interés de contribuir a la toma de mejores decisiones.²⁶

²⁶GUTIÉRREZ, E. SIG (los sistemas de información geográfica).Recuperado el 30 de abril de 2009. Link:<<http://manuelgross.blgoo.com/content/view/501371/Los-sistemas-de-informacion-Geografica-SIG.html>>.



4.3.2 Hydrological Frequency Analysis (HYFRAN)

Es un software que nos permite ajustar datos a través de métodos estadísticos incluyendo un juego de instrumentos matemáticos, poderosos, accesibles y flexibles que permiten en particular el análisis estadístico de eventos extremos y de manera más general el análisis estadístico de serie de datos.

HYFRAN ha sido desarrollado al Instituto Nacional de Investigación Científica –Agua, Tierra y Medioambiente (INRS-ETE) de la Universidad de Québec con el patrocinio de Hydro-Québec (el principal productor de energía hidroeléctrica del mundo) y del Consejo de investigación en las ciencias naturales y en ingeniería de Canadá (CRSNG). Inicialmente, concebido para al análisis de frecuencia de eventos extremos, HYFRAN puede ser usado para todo estudio que requiere el ajuste de una distribución estadística de una serie de datos independientes e idénticamente distribuidas, y esto, en áreas profesionales tan variadas como ingeniería, medioambiente, meteorología, medicina, etc.²⁷

Estas son todas las funciones que se pueden manejar con este programa:

- Comprobación de hipótesis estadísticas.
- Independencia de datos de series.
- La homogeneidad de las series de datos (paso de series de tiempo, las hipótesis estadísticas, efecto estacional).
- La detección de las tendencias.
- La detección de valores atípicos.

Estas son las bondades de ajuste de las distribuciones es seleccionadas en el programa:

²⁷CASTILLO, I.HydrologicalFrequencyAnalysis (HYFRAN).Recuperado el 30 de enero de 2008.Link::<<http://aguaingenieria.blogspot.com/2008/01/hydrological-frequency-analysis.html>>.



a) Gran número de distribuciones de probabilidad estadística:

Gamma de la familia:

- Gamma
- Inversa Gamma
- Gamma Generalizada
- Pearson tipo III
- Log Pearson tipo III

b) Otras distribuciones:

Exponencial, Weibull, Valor Extremo Generalizado (GEV), Compuesto exponencial de Poisson, Normal, Gumbel, Halphen (A, B, B-1), Generalizada de Pareto, Lognormal (2 o 3 parámetros).

c) Distribución mixta:

Log normal y Weibull, modificado para tener en cuenta los valores nulos.

d) Numerosos métodos de ajuste:

Método de los Momentos (normal /peso), Método de los Momentos (CMR, SAM, BOB), Método de máxima verosimilitud, estimación de cuantiles XT de periodo de retorno T con intervalos de confianza.²⁸

4.3.3 IDEAM

4.3.3.1 Objetivos Misionales del IDEAM.

a) Generación y recopilación de datos.

Incluye, por una parte el dato primario generado por la red hidrometeorológica, así como la recolección de datos ambientales procedente de otros actores institucionales relacionados con diferentes aspectos biofísicos, la contaminación y degradación de los recursos naturales.

b) Estructuración de la Información

Los datos se ordenan, verifican y analizan en forma estructurada, de tal manera que puedan ser utilizados por los diferentes usuarios.

²⁸Link: <<http://www.wrpllc.com/books/hyfraninfo.html>>.



c) Generación de Conocimiento sobre el Comportamiento de las Variables Ambientales.

d) Generación de Conocimiento sobre las Relaciones Sociedad – Naturaleza.

Generación de conocimiento sobre las relaciones sociedad – naturaleza dentro de la orientación del desarrollo sostenible.

Clasificación y zonificación del uso del territorio nacional para los fines de planificación y ordenamiento del territorio.

Orientación del manejo y aprovechamiento de los recursos biofísicos de la Nación. Apoyo a las políticas del control de la contaminación y la degradación.

4.3.3.2. Funciones:

- Suministrar los conocimientos, los datos y la información ambiental.
- Realizar el levantamiento y manejo de la información científica y técnica sobre los ecosistemas que forman parte del patrimonio ambiental del país.
- Establecer las bases técnicas para clasificar y zonificar el uso del territorio nacional para los fines de la planificación y el ordenamiento ambiental del territorio.
- Obtener, almacenar, analizar, estudiar, procesar y divulgar la información básica sobre hidrología, hidrogeología, meteorología, geografía básica sobre aspectos biofísicos, geomorfología, suelos y cobertura vegetal para el manejo y aprovechamiento de los recursos biofísicos de la Nación.
- Establecer y poner en funcionamiento las infraestructuras oceanográficas, mareográficas, meteorológicas e hidrológicas nacionales.
- Efectuar el seguimiento de los recursos biofísicos de la Nación especialmente en lo referente a su contaminación y degradación.
- Realizar estudios e investigaciones sobre recursos naturales, en especializada relacionada con recursos forestales y conservación de suelos, y demás actividades que con anterioridad a la Ley 99 de 1993.



- Realizar los estudios e investigaciones sobre hidrología y meteorología que con anterioridad a la Ley 99 de 1993 venía desempeñando el HIMAT.
- Acopiar, almacenar, procesar, analizar y difundir datos y allegar o producir la información y los conocimientos necesarios para realizar el seguimiento de la interacción de los procesos sociales, económicos y naturales y proponer alternativas tecnológicas, sistemas y modelos de desarrollo sostenible.
- Dirigir y coordinar el Sistema de Información Ambiental y operarlo en colaboración con las entidades científicas vinculadas al Ministerio del Medio Ambiente, con las Corporaciones y demás entidades del SINA.
- Prestar el servicio de información en las áreas de su competencia a los usuarios que la requieran.²⁹

²⁹COLOMBIA. INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES. Actualizado el 18 marzo de 2011. Link: <<http://institucional.ideam.gov.co/jsp/loader.jsf?lServicio=Publicaciones&lTipo=publicaciones&lFuncion=loadContenidoPublicacion&id=6#mision1>>.

5. METODOLOGIA

El presente estudio se basa en la construcción de las curvas de rendimiento hídrico para caudales máximos instantáneos en el río Magdalena. La creación de estas curvas pretende proporcionar parámetros de diseño y prevención a la hora de realizar construcciones dentro de la cuenca, y a su vez, utilizarse como criterio hidrológico para estimar caudales en aquellos sitios donde no se posea información de los mismos.

5.1 TIPO DE ESTUDIO

El tipo de estudio que se implementara en este proyecto de grado será de tipo analítico, científico y tecnológico, debido a que se utilizaran herramientas estadísticas y bibliografía calificada para generar los gráficos de caudales máximos teniendo en cuenta los correspondientes periodos de retorno.

5.2 FUENTES Y TECNICAS PARA LA RECOLECCIÓN DE LA INFORMACION

5.2.1 FUENTE PRIMARIA

Como fuente de información primaria se tomaron en cuenta las cartas de caudales máximos obtenidos de las estaciones limnigraficas sobre el río Magdalena, información suministrada por el Instituto de Hidrología, Meteorológica y Estudios Ambientales de Colombia (IDEAM). En la tabla 5 se presentan las estaciones limnigraficas utilizadas.



ESTACIONES						COORDENADAS	
CODIGO	TE	ESTACION	CORRIENTE	DEPARTAMENTO	MUNICIPIO	X	Y
21017040	LG	SALADO BLANCO	MAGDALENA	HUILA	ELIAS	777166	707203
21017060	LG	LA MAGDALENA	MAGDALENA	HUILA	SAN AGUSTIN	732629	707261
21027010	LG	PERICONGO	MAGDALENA	HUILA	ALTAMIRA	801295	716395
21047010	LG	PTE BALSEADERO	MAGDALENA	HUILA	AGRADO	823579	738495
21077020	LG	PASO DEL COLEGIO	MAGDALENA	HUILA	GIGANTE	831026	764298
21077030	LG	VICHECITO	MAGDALENA	HUILA	YAGUARA	840307	773506
21097070	LG	PTE SANTANDER	MAGDALENA	HUILA	PALERMO	864459	821409
21097120	LG	LA ESPERANZA	MAGDALENA	HUILA	PALERMO	857019	797452
21137010	LG	PURIFICACION	MAGDALENA	TOLIMA	PURIFICACION	903463	917218
21137050	LG	ANGOSTURA	MAGDALENA	TOLIMA	NATAGAIMA	884898	873000
21237010	LG	NARIÑO	MAGDALENA	CUNDINAMARCA	NARIÑO	914629	976190
21237020	LG	ARRANCAPLUMAS	MAGDALENA	TOLIMA	HONDA	929512	1064648
23037010	LG	PTO SALGAR	MAGDALENA	CUNDINAMARCA	PUERTO SALGAR	935086	1095977
23097030	LG	PTO BERRIO	MAGDALENA	ANTIOQUIA	PUERTO BERRIO	966549	1210229
25027020	LG	EL BANCO	MAGDALENA	MAGDALENA	EL BANCO	1012563	1486711

Fuente. IDEAM 2012

Tabla 5. Estaciones Limnigraficas estudiadas

5.2.2 FUENTES SECUNDARIAS

Como fuentes secundarias de utilizaron artículos de investigación, científicos y técnicos, además, textos que enfatizaron la manera en que debían construirse las curvas de rendimiento de caudales máximos instantáneos, la utilización y aplicación de las distribuciones de probabilidad. El procesamiento de datos se hará por medio de programas como la hoja de cálculo Excel y el software Hyfran, para comparar las áreas de drenaje



aferentes a cada una de las estaciones estudiadas se utilizara el programa HydroSig.

5.3 TRATAMIENTO DE LA INFORMACIÓN:

5.3.1 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

Como primera instancia, se llevó a cabo una revisión de los aspectos más relevantes para la elaboración del estudio a realizar y temas relativos a la generación de las curvas de rendimiento para caudales máximos específicos, modelos probabilísticos, métodos de ajuste y generación de áreas de drenaje. Así mismo, se recopiló información de variables enlazadas al estudio, como son los caudales máximo y específico, características de la cuenca, áreas de drenaje y distancia del afluente.

5.3.2 RECOPIACIÓN DE LA INFORMACIÓN ESTADÍSTICA

La información requerida para realizar el estudio, se obtuvo de 15 estaciones limnigráficas ubicadas sobre el río Magdalena, pertenecientes al Instituto de Hidrología, Meteorológica y Estudios Ambientales de Colombia (IDEAM).

La información es de tipo fluviométrica, y corresponde a tiempos de muestreo de más de 15 años, lo que la hace aceptable para entregar una validez estadística confiable, aun así, no todas las estaciones presentan datos de muestra de más de 15 años, y las estaciones hidrológicas van disminuyendo en cantidad al pasar de los años.



ESTACIONES			COORDENADAS		PERIODO
CODIGO	TE	ESTACION	X	Y	
21017060	LG	LA MAGDALENA	732629	707261	1993-2012
21017040	LG	SALADO BLANCO	777166	707203	1993-2012
21027010	LG	PERICONGO	801295	716395	1993-2012
21047010	LG	PTE BALSEADERO	823579	738495	1993-2012
21077020	LG	PASO DEL COLEGIO	831026	764298	2000-2011
21077030	LG	VICHECITO	840307	773506	1985-2008*
21097070	LG	PTE SANTANDER	864459	821409	1993-2012
21097120	LG	LA ESPERANZA	857019	797452	1994-2012
21137010	LG	PURIFICACION	903463	917218	1993-2011
21137050	LG	ANGOSTURA	884898	873000	1993-2012
21237010	LG	NARIÑO	914629	976190	1993-2011
21237020	LG	ARRANCAPLUMAS	929512	1064648	1993-2011
23037010	LG	PTO SALGAR	935086	1095977	1993-2011
23097030	LG	PTO BERRIO	966549	1210229	1993-2011
25027020	LG	EL BANCO	1012563	1486711	1993-2012

*No Existe Registro del año 1995 al año 2007

Tabla 6. Periodo de Información obtenido IDEAM

5.3.3 PARAMETROS ESTADISTICOS

Luego de obtenida la serie de caudales máximos instantáneos de cada una de las estaciones activas sobre el rio Magdalena, se realizó un ajuste de los caudales en el programa HYFRAN teniendo en cuenta diferentes distribuciones de probabilidad, estas ayudaron a predecir con cierta incertidumbre los valores de los caudales máximos a diferentes periodos de retorno (2.33, 5, 10, 50, 100 y 500 años).

Se determinaron los caudales máximos utilizando las funciones de probabilidad GEV, GUMBELL, WEIBULL, NORMAL, LOG NORMAL, PEARSON Y LOG PEARSON, con los métodos de ajuste de MAXIMA VEROSIMILITUD, METODO DE MOMENTOS Y DE MOMENTOS PONDERADOS, METODO SAM Y WRC.



5.3.4 DETERMINACIÓN DE MEJOR AJUSTE

A fin de asimilar los datos a una función matemática previamente establecida y reconocida y predecir el comportamiento de los caudales en estudio se realizó el test chi-cuadrado.

5.3.5 DETERMINACIÓN DE ÁREAS DE DRENAJE

De tal manera que se pueda tener una base de resultados certificada para comparar las áreas de drenaje, se investigaron las mismas en la base de datos del IDEAM y fueron halladas las áreas de drenaje aferentes a algunas de las estaciones en el ANUARIO HIDROLOGICO 1989: Alto y Medio Magdalena TOMO II³⁰.

Las áreas de drenaje investigadas se corroboraron procesando un modelo digital de terreno MDT de Colombia en el programa HydroSig 4.0.

5.3.6 DETERMINACIÓN DE LA LONGITUD DEL RIO

Se obtuvo la distancia del nacimiento del río hasta su desembocadura y del nacimiento a cada una de las estaciones de muestreo siguiendo su cauce con el programa Arcgis 10.1.

5.3.7 CAUDAL ESPECIFICO Y UNITARIO

Se calcularon los caudales específicos y unitarios máximos dividiendo los caudales máximos ajustados estadísticamente a los diferentes periodos de retorno, y el área de drenaje aferente a cada estación y la distancia desde el nacimiento del río a la misma respectivamente.

³⁰ Instituto Colombiano de Hidrología, Meteorología y Adecuación de tierras –HIMAT-. Anuario Hidrológico 1989: Alto y Medio Magdalena Tomo II. Santa Fe de Bogotá. 1991.

Los resultados fueron graficados en el programa Microsoft Excel y se obtuvieron las regresiones respectivas para obtener las curvas de rendimiento hídrico del río.

5.3.8 ANALISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

El análisis se desarrolló teniendo en cuenta los resultados que arrojó el test de bondad de ajuste chi-cuadrado, y también en función de las comparaciones realizadas entre los datos morfológicos de la cuenca obtenidos por bibliografía certificada y los resultados obtenidos en el estudio.

5.3.9 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Partiendo de los resultados y el análisis de los mismos, se generaron las conclusiones teniendo en cuenta los objetivos planteados inicialmente en este estudio. Por otro lado, se plantearon algunas recomendaciones que se encontraron pertinentes, para futuros estudios relacionados con el tema.

5.4 MATERIALES Y EQUIPOS

Para la realización de este estudio, se requirieron los siguientes materiales y equipos:

- Base de datos, con la información de Caudales Máximos anuales instantáneos, de 15 estaciones sobre el río Magdalena, pertenecientes al Instituto Colombiano de Hidrología, Meteorología y Adecuación de Tierras IDEAM.
- Base de datos, con la información de las áreas de drenaje aferentes a cada una de las estaciones investigadas sobre el río Magdalena, pertenecientes al Instituto Colombiano de Hidrología, Meteorología y Adecuación de Tierras IDEAM.
- Cartografía de la cuenca del Magdalena-Cauca, obtenida del Modelo Digital de Terreno obtenido de la base de datos de la Universidad Nacional de Colombia – sede Medellín.



Universidad
Tecnológica
de Bolívar

CARTAGENA DE INDIAS



ACREDITADA
INSTITUCIONALMENTE
Resolución MEN 1166 de 2011

- Herramientas Computacionales (Computadores, Impresora, Escáner)
- Programas Computacionales, para la elaboración de la información requerida y el escrito para la presentación del estudio, tales como Hyfran, Microsoft Office Excel y Word, Google Earth, Arcgis 10.1 e HidroSIG 4.0.

6. CASO DE ESTUDIO

A lo largo de la historia, el río Magdalena tuvo diversos nombres, los Muiscas y Caripuaña lo llamaban Yuma, que significa río del país amigo. En Tora (hoy Barrancabermeja) lo llamaban Arli, y en el alto Magdalena le decían Guaca-hayo, que significa río de las tumbas. Hacia el año 1501, el día en el que se celebra la conversión de la Magdalena, el español Rodrigo de Bastidas incursionó por primera vez en su desembocadura, homenajeando la fecha llamando al afluente Río Grande de la Magdalena. Por otro lado, el bautizo del río se le atribuye al español Pedro de Heredia, pues quien descubrió el río fue don Alonso de Heredia, su hermano.

Al ser la vía fluvial principal de Colombia, es normal que las laderas del río Magdalena hayan sido un espacio de poblamiento indígena en el período prehispánico. Ciertamente fueron los españoles quienes fundaron las poblaciones que con el tiempo y los cambios introductorios por el reordenamiento territorial republicano configurarían la distribución político-administrativa del país, pero la preexistencia de poblados indígenas fue determinante a la hora de decidir donde se erigirían las ciudades y los centros de gobierno.³¹

Hoy en día, a la gran cuenca del río Magdalena están vinculados 20 departamentos, de los cuales 8 quedan dentro de la cuenca. En sus orillas están asentados 129 municipios, 23 corporaciones autónomas regionales, 46 resguardos indígenas y 2 áreas de reserva campesina.³²

La cuenca Magdalena-Cauca constituye el sistema de drenaje más importante de la región andina y permite el acceso hacia el interior de nuestro territorio desde la costa del Caribe. En ella, los ríos que la recorren, y en particular el Magdalena, por

³¹ Corporación del Río Grande de la Magdalena. *Atlas Cuenca del río Magdalena*. Serie de documentos del POMM.

³² IDEAM, Estudio Nacional del agua-ENA, Bogotá, D. C., Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, 2010

ser más caudaloso y tener grandes trayectos navegables de poca pendiente, han sido determinantes en la conformación de nuestra nacionalidad y en la ocupación del territorio.

6.1 DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA CUENCA

La cuenca del Magdalena-Cauca abarca su territorio desde el nacimiento (Laguna de la Magdalena) a 3.685 de elevación hasta su desembocadura en el mar Caribe (Bocas de Cenizas), un total de 257.440 Km², lo que representa el 22.8% de la extensión continental del país.

Su longitud, según la fuente, varía de 1.528 a 1.600 km, de los cuales 886 son navegables. En el Estrecho, el lugar donde el río es más angosto, mide 2.20 metros de ancho y en el municipio de Plato-Magdalena, tiene una anchura de 1.073 metros. Después de su nacimiento, el río Magdalena fluye de sur a norte por un valle interandino ubicado entre las cordilleras Central y Oriental de los Andes.³³

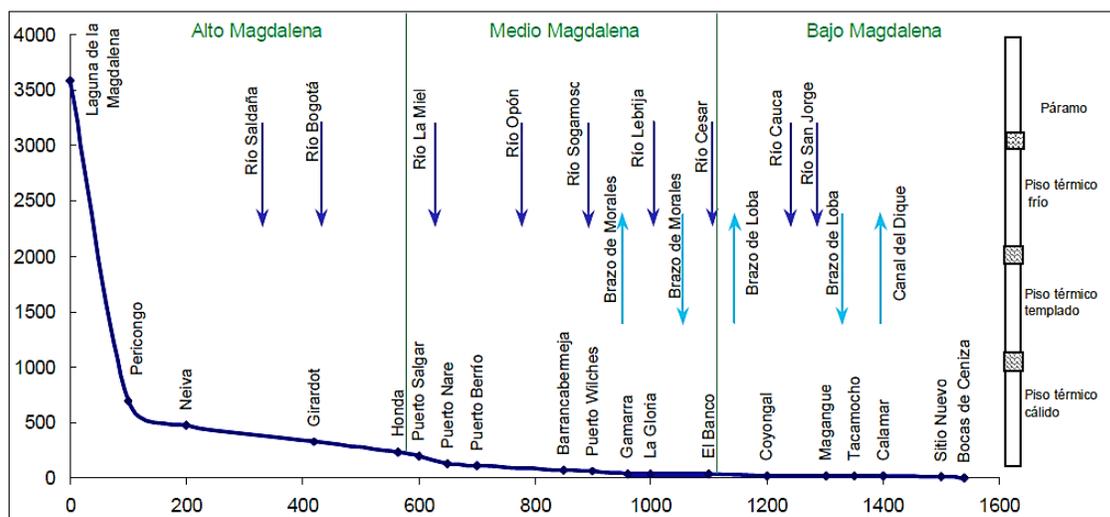


Figura 5. Perfil Esquemático río Magdalena - Características Principales
Fuente: CORMAGDALENA - Atlas Cuenca del Río Magdalena

³³Banco de Occidente. Río Grande de la Magdalena, Textos y dirección científica: Carlos Castaño Uribe, Bogotá, D. C., I/M Editores, 2003.



Figura 6. Cuenca del Magdalena-Cauca
Fuente: http://es.wikipedia.org/wiki/R%C3%ADO_Magdalena

- PERFIL ESQUEMATICO³⁴

Teniendo en cuenta el perfil altitudinal y la aptitud de navegación del río, este se ha dividido en tres partes bien diferenciadas.

1. Alto Magdalena

Inicio: Laguna de la Magdalena, Paramo de las Papas (3.685 msnm)

Fin: Rápidos de Honda (229 msnm)

Extensión: 565 Km

Descenso: 3.456 m

En el tramo inicial es un río muy caudaloso, ya en Pericongo se configura como un río de llanura. Es la parte más seca de la cuenca y

³⁴ Adaptado de: Corporación del Río Grande de la Magdalena. *Atlas Cuenca del río Magdalena*. Serie de documentos del POMM.

ecosistémicamente se extiende desde el páramo húmedo, hasta el bosque seco tropical.

2. Medio Magdalena

Inicio: Honda (229 msnm)

Fin: El banco (33 msnm)

Extensión: 547 Km aprox.

Descenso: 196 m

Es el sector de la cuenca más húmedo, denomina la selva húmeda tropical.

3. Bajo Magdalena

Inicio: El Banco (33 msnm)

Fin: Bocas de Ceniza (nivel del mar)

Extensión: 400 Km aprox.

Descenso: 33 m

Es de carácter fluvio-lacustre, zona muy rica en recursos naturales, predominan las condiciones de bosque seco tropical.

6.2 HIDROLOGIA DEL RIO

6.2.1 SUBCUENCAS Y AFLUENTES

El río Magdalena tiene muchos afluentes que tributan sus aguas en ambos lados de su cauce. El mayor de todos es el Cauca, al seguir su curso sur-norte forma el valle que le da su nombre, hasta desembocar en la boca Guamal, municipio de Pinillos, Departamento de Bolívar, en la parte baja del río Magdalena.³⁵

La cuenca del Magdalena-Cauca comprende 151 subcuencas mayores de 500Km². La corriente principal (orden 1) es el río Magdalena. A lo largo de su curso recibe 42 afluentes directos (orden 2), entre los cuales se destacan el río Cauca, Sogamoso, Cesar, San Jorge, Saldaña, Bogotá, Negro, entre otros. En estos vierten sus aguas

³⁵CORMAGDALENA. Atlas Cuenca del Río Grande de la Magdalena, Bogotá, D. C., Imprenta Nacional de Colombia, 2007.



74 afluentes (Orden 3) que a su vez reciben 30 (Orden 4) y 5 con área de drenaje mayor a 500 Km² (Orden 5).³⁶ La localización de los afluentes del río se muestra en la figura 7.

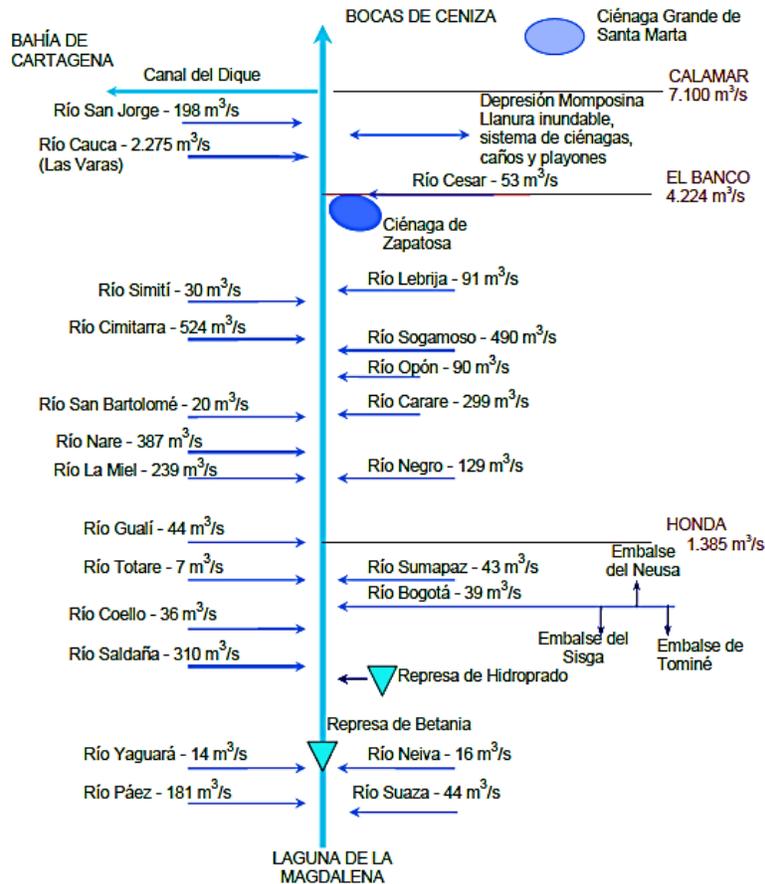


Figura 7. Afluentes del río Magdalena. Caudal medio (m³/s)
Fuente: CORMAGDALENA-IDEAM, 2001

6.2.2 BALANCE HIDRICO³⁷

En la cuenca Magdalena-Cauca se presentan múltiples variaciones de los componentes del ciclo hidrológico que tienen su origen en la configuración orográfica y en las características climáticas del territorio que comprende. Además,

³⁶ Corporación del Río Grande de la Magdalena. *Atlas Cuenca del río Magdalena*. Serie de documentos del POMM.

³⁷ *Ibíd.*, 36

dicho ciclo se ve afectado por la significativa alteración de los componentes del balance hídrico debida al asentamiento en esta zona de la mayoría de las ciudades y de las actividades agropecuarias e industriales del país.

- Precipitaciones

En la cuenca se presentan numerosas variaciones en el régimen de precipitaciones. De manera general, El alto Magdalena y la llanura del Caribe presentan zonas muy secas, mientras que, en el medio Magdalena se presentan las mayores precipitaciones.

En el alto Magdalena se nota un comportamiento Monomodal incremento de las lluvias entre junio y agosto y la temporada más seca entre diciembre y marzo; allí, la precipitación media anual es del orden de los 1000 mm. En la cuenca alta y media del Magdalena se presenta un comportamiento Bimodal, con dos periodos secos, el primero en enero y febrero, y el segundo de junio a septiembre; y dos periodos lluviosos, uno entre marzo y mayo y otro entre octubre y diciembre. En la cuenca alta la precipitación media es de 1300 mm anuales aproximadamente, mientras que en la cuenca media aumenta a un promedio anual de 2000 mm.

En cuanto al bajo Magdalena, en la margen occidental del río Cesar y en la llanura Caribe se presenta un régimen binomial con periodos secos entre diciembre y marzo, y en el mes de julio. Los periodos lluviosos tienen lugar entre abril y junio, y de agosto a diciembre. La precipitación de esta zona oscila entre los 1000 y 1500 mm anuales. De otro lado, en la cuenca del río San Jorge, al sur de Córdoba y Bolívar, se hace manifiesto un régimen monomodal en donde la época seca cubre los meses de diciembre y marzo, y la época lluviosa va de abril a noviembre. La precipitación anual de esta zona alcanza los 2100 mm.

- Inundación

En la cuenca del Magdalena-Cauca, las condiciones de precipitación lluviosa promueven el aumento de los caudales entre los meses de mayo y junio, y



entre octubre y noviembre. La zona inundable corresponde principalmente a la planicie comprendida entre Barrancabermeja y Barranquilla, e incluye los sectores del canal del Dique y La Mojana. La frecuencia relativa de inundación en algunos sectores de la cuenca se presenta en la tabla 7.

Sectores	Frecuencia media	Frecuencia alta	Frecuencia muy alta
Alto Magdalena	Guataquí	Girardot	
	Honda	Neiva	
Medio Magdalena	Yondó	La Dorada	Puerto Boyacá
	Simití	Puerto Nare	Barrancabermeja
	Arenal	Puerto Triunfo	Puerto Wilches
	Río Viejo	Puerto Berrio	La Gloria
	Aguachica	Cantagallo	Tamalameque
	Gamarra	San Pablo	
	Pinillos		
	Regidor		
Bajo Magdalena	Margarita		
	Talaiga Nuevo	Plato	El Banco
	Barranco de Loba	Barranquilla	Mompós
	San Juan Nepomuceno		Cicuco
	Calamar		Magangué
	Malambo		
	Soledad		

Tabla 7. Frecuencia Relativa de Inundación
Fuente. CORMAGDALENA-IDEAM 2001

6.3 SISTEMAS DE MEDICIÓN HIDROLÓGICAS

A lo largo del río Magdalena encontramos 245 estaciones hidrológicas de las cuales 25 son de tipo limnigráficas (LG) y solo 15 de estas se encuentran en funcionamiento y son las que se utilizarán para llevar a cabo los análisis de este trabajo. En la tabla 8 se muestra las estaciones hidrológicas de tipo limnigráfica sobre el río Magdalena y aquellas que se encuentran activas a la fecha de hoy.



ESTACIONES RÍO MAGDALENA - LIMNIGRAFICAS (LG)									
CODIGO	AREA	ZONA	SUBZONA	ORDEN	TE	NOMBRE EST.	CORRIENTE	DEPTO	MUNICIPIO
2101703	2	21	2101	703	LG	CASCADA SIMON BOLI	MAGDALENA	HUIL	SAN AGUSTIN
2101704	2	21	2101	704	LG	SALADO BLANCO	MAGDALENA	HUIL	ELIAS
2101706	2	21	2101	706	LG	MAGDALENA LA	MAGDALENA	HUIL	SAN AGUSTIN
2102701	2	21	2102	701	LG	PERICONGO	MAGDALENA	HUIL	ALTAMIRA
2104701	2	21	2104	701	LG	PTE BALSEADERO	MAGDALENA	HUIL	AGRADO
2107701	2	21	2107	701	LG	PTE MOMICO	MAGDALENA	HUIL	YAGUARA
2107702	2	21	2107	702	LG	PASO DEL COLEGIO	MAGDALENA	HUIL	TESALIA
2107703	2	21	2107	703	LG	VICHECITO	MAGDALENA	HUIL	YAGUARA
2109707	2	21	2109	707	LG	PTE SANTANDER	MAGDALENA	HUIL	PALERMO
2109711	2	21	2109	711	LG	EMBALSE BETANIA	MAGDALENA	HUIL	PALERMO
2109712	2	21	2109	712	LG	ESPERANZA LA	MAGDALENA	HUIL	PALERMO
2113701	2	21	2113	701	LG	PURIFICACION	MAGDALENA	TOLI	PURIFICACION
2113705	2	21	2113	705	LG	ANGOSTURA	MAGDALENA	TOLI	NATAGAIMA
2123701	2	21	2123	701	LG	NARI#O	MAGDALENA	CUND	NARI#O
2123702	2	21	2123	702	LG	ARRANCA PLUMAS	MAGDALENA	CUND	GUADUAS
2123703	2	21	2123	703	LG	GIRARDOT N 2	MAGDALENA	CUND	GIRARDOT
2303701	2	23	2303	701	LG	PTO SALGAR	MAGDALENA	CUND	PUERTO SALGAR
2309703	2	23	2309	703	LG	PTO BERRIO	MAGDALENA	ANTI	PUERTO BERRIO
2309704	2	23	2309	704	LG	PTO INMARCO	MAGDALENA	ANTI	PTO NARE(LAMAGDA
2502702	2	25	2502	702	LG	BANCO EL	MAGDALENA	MAGD	EL BANCO
2502745	2	25	2502	745	LG	PLATO	MAGDALENA	MAGD	PLATO
2904702	2	29	2904	702	LG	FLORES LAS	MAGDALENA	ATLA	BARRANQUILLA
2904703	2	29	2904	703	LG	MAREOGRAFO N 4	MAGDALENA	ATLA	BARRANQUILLA
2904704	2	29	2904	704	LG	CASA DE PILOTOS	MAGDALENA	ATLA	BARRANQUILLA
2904705	2	29	2904	705	LG	TERMINAL LMG	MAGDALENA	ATLA	BARRANQUILLA

Tabla 8. Estaciones Limnigraficas sobre el rio Magdalena – Estaciones Activas
Fuente: IDEAM 2012



7. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

En este capítulo se presentan los principales resultados en la investigación realizada.

7.1 ESTACIONES LIMNIGRAFICAS UTILIZADAS

Para el análisis de la investigación se utilizaron 15 estaciones activas sobre el río Magdalena operadas por el IDEAM, estas estaciones fueron tabuladas de manera ordenada teniendo en cuenta su posición sobre el río desde su nacimiento hasta su desembocadura. En la figura 8 se muestra la localización de las estaciones limnigraficas utilizadas.

Se caracterizaron cada una de las estaciones sobre el río Magdalena y se obtuvieron los siguientes resultados:

7.1.1 ESTACIÓN LA MAGDALENA

7.1.1.1 Localización:

- Latitud: 0154N
- Longitud: 7624W
- Distancia del nacimiento a posición actual: 29.63 Km

7.1.1.2 Elevación: 1700 m.s.n.m

7.1.1.3 Caudales Registrados:

La estación La Magdalena cuenta con información histórica de caudales para el periodo comprendido entre los años 1993 y 2012. Con la serie de caudales

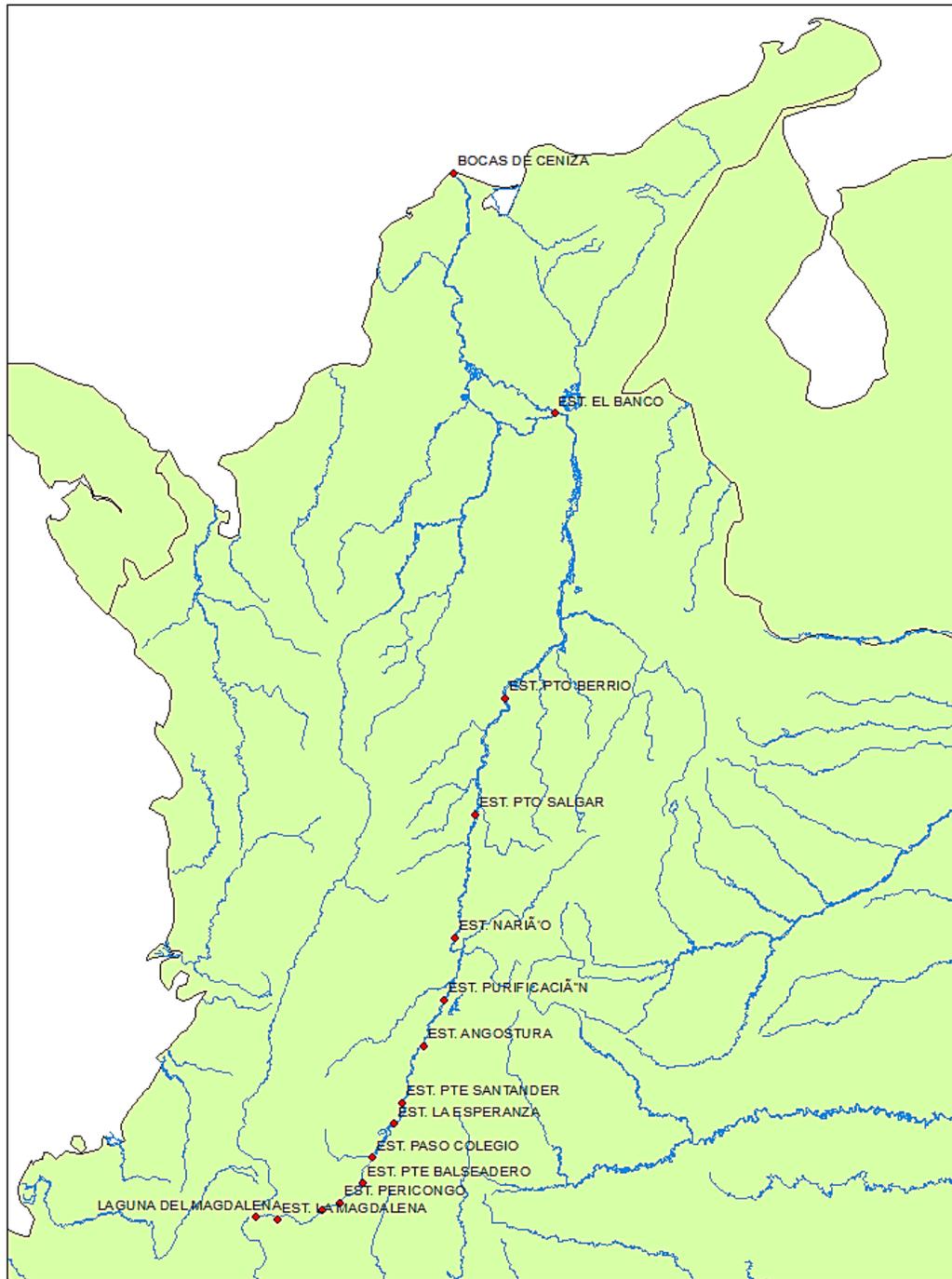


Figura 8. Localización de estaciones Limnigraficas sobre el rio Magdalena.



mensuales se obtuvieron los caudales máximos multianuales que se presentan en el **cuadro 1**, se observa que el año con el caudal máximo más bajo es 1995 y el caudal máximo más alto es 2007.

Año	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002
Q max	493.5	531	327.5	410	522.5	515	465	475	507.5	650
Año	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Q max	395	447.5	497.5	447.5	1020	798.6	695	374.8	434	439.7

Cuadro 1. Caudal Máximo Multianual, en m³/s, estación La Magdalena

7.1.1.4 Área de Drenaje:

La cuenca de la estación La Magdalena tiene un área igual a 220.66 Km² (ver figura 9)

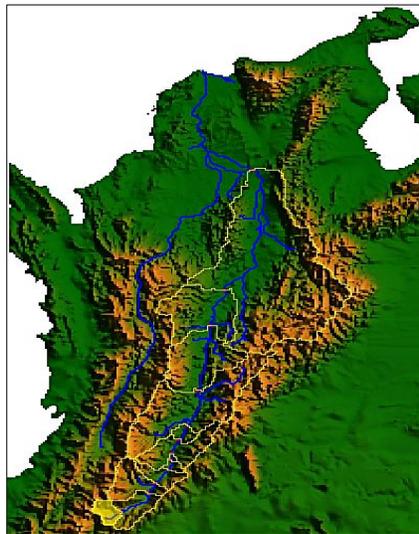


Figura 9. Área de drenaje Estación La Magdalena



7.1.2 ESTACIÓN SALADO BLANCO

7.1.2.1 Localización:

- Latitud: 0159N
- Longitud: 7600W
- Distancia del nacimiento a posición actual: 103.22 Km

7.1.2.2 Elevación: 1070 m.s.n.m

7.1.2.3 Caudales Registrados:

La estación Salado Blanco cuenca con información histórica de caudales para el periodo comprendido entre los años 1993 y 2012. Con la serie de caudales mensuales se obtuvieron los caudales máximos multianuales que se presentan en el **cuadro 2**, se observa que el año con el caudal máximo más bajo es 2010 y el caudal máximo más alto es 2008.

Año	1993	1194	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002
Q max	1103	1090	723.2	964	1224	1026	1068	955.6	944.4	1023

Año	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Q max	966.8	698	754	964	1370	910.8	614	902.4	698

Cuadro 2. Caudal Máximo Multianual, en m³/s, estación Salado Blanco

7.1.2.4 Área de Drenaje:

La cuenca de la estación Salado Blanco tiene un área igual a 2854.79 Km² (ver figura 10)

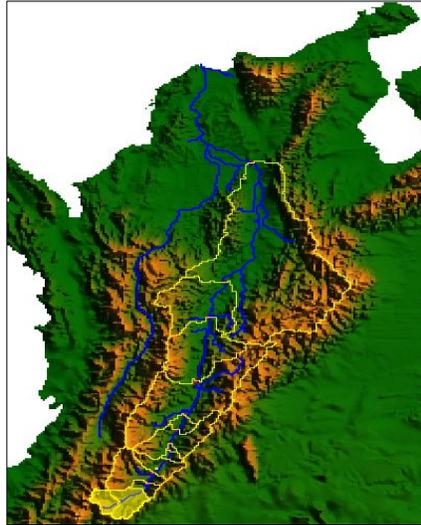


Figura 10. Área de drenaje Estación Salado Blanco

7.1.3 ESTACIÓN PERICONGO

7.1.3.1 Localización:

- Latitud: 0203N
- Longitud: 7551W
- Distancia del nacimiento a posición actual: 131.2 Km

7.1.3.2 Elevación: 0839 m.s.n.m

7.1.3.3 Caudales Registrados:

La estación Pericongo cuenta con información histórica para el periodo comprendido entre los años 1993 y 2012. Con la serie de caudales mensuales se obtuvieron los caudales máximos multianuales que se presentan en el **cuadro 3**, se observa que el año con el caudal máximo más bajo es 2003 y el caudal máximo más alto es 1997.

Año	1993	1194	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002
Q max	1164	1252	750	1178	1438	1156	986	1110	1190	1150



Año	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Q max	1350	950	950	1150	1350	1590	1134	1306	850

Cuadro 3. Caudal Máximo Multianual, en m³/s, estación Pericongo.

7.1.3.4 Área de Drenaje:

La cuenca de la estación Pericongo tiene un área igual a 3833.96 Km² (ver figura 11)

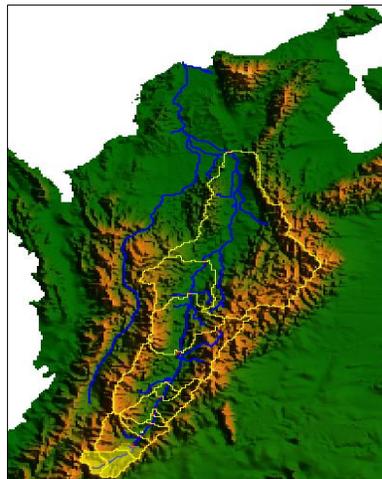


Figura 11. Área de drenaje Estación Pericongo

7.1.4 ESTACION PUENTE BALSEADERO

7.1.4.1 Localización:

- Latitud: 0213N
- Longitud: 7538W
- Distancia del nacimiento a posición actual: 176.27 Km

7.1.4.2 Elevación: 0688 m.s.n.m

7.1.4.3 Caudales Registrados:

La estación Pte. Balseadero cuenta con información histórica para el periodo comprendido entre los años 1993 y 2012. Con la serie de caudales mensuales se obtuvieron los caudales máximos multianuales que se presentan en el **cuadro 4**, se observa que el año con el caudal máximo más bajo es 2003 y el caudal máximo más alto es 2000.

Año	1993	1194	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002
Q max	1832	1651	1100	1238	1702	1411	1534	2548	1176	1411

Año	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Q max	1568	1562	1266	1288	2352	1144	1372	1641	1034

Cuadro 4. Caudal Máximo Multianual, en m³/s, estación Pte. Balseadero.

7.1.4.4 Área de Drenaje:

La cuenca de la estación Puente Balseadero tiene un área igual a 6178.47 Km² (ver figura 12)

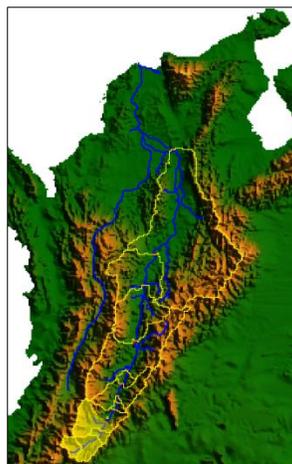


Figura 12. Área de drenaje Puente Balseadero



7.1.5 ESTACION PASO DEL COLEGIO

7.1.5.1 Localización:

- Latitud: 0227N
- Longitud: 7534W
- Distancia del nacimiento a posición actual: 216.75 Km

7.1.5.2 Elevación: 0662 m.s.n.m

7.1.5.3 Caudales Registrados:

La estación Paso del Colegio cuenta con información histórica para el periodo comprendido entre los años 2000 y 2011. Con la serie de caudales mensuales se obtuvieron los caudales máximos multianuales que se presentan en el **cuadro 5**, se observa que el año con el caudal máximo más bajo es 2011 y el caudal máximo más alto es 2008.

Año	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Q max	2268	1697	1883	1960	1838	2114	1622	2037	2454	1276	1516	1090

Cuadro 5. Caudal Máximo Multianual, en m³/s, estación LG Paso del Colegio.

7.1.5.4 Área de Drenaje:

La cuenca de la estación Paso del Colegio tiene un área igual a 7061.10 Km² (ver figura 13)

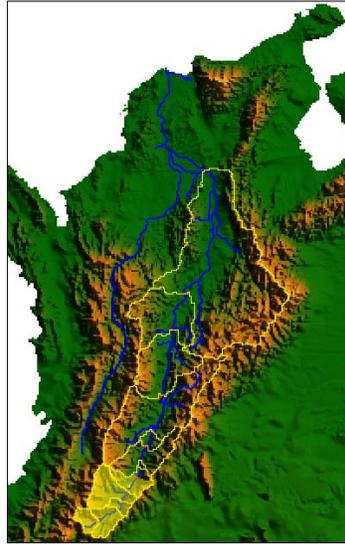


Figura 13. Área de drenaje Paso del Colegio

7.1.6 ESTACION VICHECITO

7.1.6.1 Localización:

- Latitud: 0230N
- Longitud: 7532W
- Distancia del nacimiento a posición actual: 274.04 Km

7.1.6.2 Elevación: 0620 m.s.n.m

7.1.6.3 Caudales Registrados:

La estación Vichecito cuenta con información histórica para el periodo comprendido entre los años 1985 y 2008. Con la serie de caudales mensuales se obtuvieron los caudales máximos multianuales que se presentan en el **cuadro 6**, se observa que el año con el caudal máximo más bajo es 1987 y el caudal máximo más alto es 2008.



Año	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	2008
Q max	2180	3035	2053	2789	3920	3536	2738	2486	3011	3515	3925

Cuadro 6. Caudal Máximo Multianual, en m³/s, estación Vichecito.

7.1.6.4 Área de Drenaje:

La cuenca de la estación Vichecito tiene un área igual a 12081.11 Km² (ver figura 14)

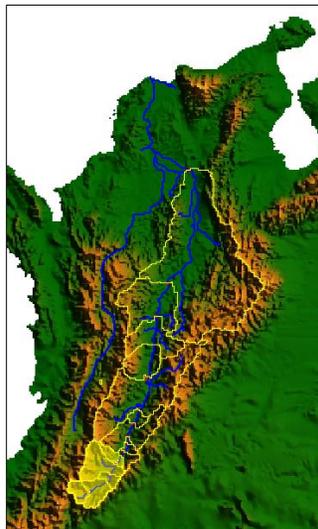


Figura 14. Área de drenaje estación Vichecito

7.1.7 ESTACION LA ESPERANZA

7.1.7.1 Localización:

- Latitud: 0245N
- Longitud: 7523W
- Distancia del nacimiento a posición actual: 327.33 Km

7.1.7.2 Elevación: 0460 m.s.n.m

7.1.7.3 Caudales Registrados:



La estación Pte. Esperanza LA cuenta con información histórica para el periodo comprendido entre los años 1994 y 2012. Con la serie de caudales mensuales se obtuvieron los caudales máximos multianuales que se presentan en el **cuadro 7**, se observa que el año con el caudal máximo más bajo es 2012 y el caudal máximo más alto es 2011.

Año	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002
Q max	1679	1151	1437	1737	1164	1112	1776	1009	1242
Año	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Q max	1444	1164	1506	1734	1549	1210	1045	1812	925

Cuadro 7. Caudal Máximo Multianual, en m³/s, estación La Esperanza

7.1.7.4 Área de Drenaje:

La cuenca de la estación La Esperanza tiene un área igual a 13736.06 Km² (ver figura 15)

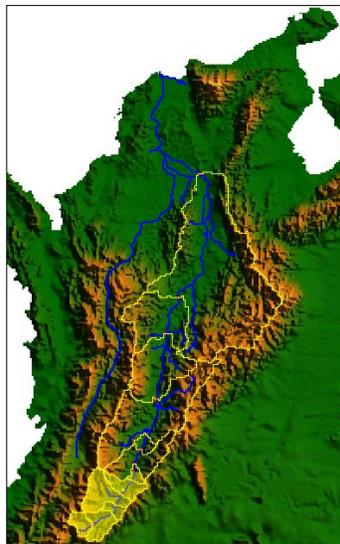


Figura 15. Área de drenaje estación La Esperanza



7.1.8 ESTACION PUENTE SANTANDER

7.1.8.1 Localización:

- Latitud: 0256N
- Longitud: 7518W
- Distancia del nacimiento a posición actual: 354.34 Km

7.1.8.2 Elevación: 0432 m.s.n.m

7.1.8.3 Caudales Registrados:

La estación Pte. Santander Auto cuenta con información histórica para el periodo comprendido entre los años 1993 y 2012. Con la serie de caudales mensuales se obtuvieron los caudales máximos multianuales que se presentan en el **cuadro 8**, se observa que el año con el caudal máximo más bajo es 2001 y el caudal máximo más alto es 2011.

Año	1993	1194	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002
Q max	1282	2486	1289	1926	2094	1422	2514	1968	1144	1464

Año	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Q max	1471	1730	1730	1989	1905	1954	1597	2752	2010

Cuadro 8. Caudal Máximo Multianual, en m³/s, estación Pte. Santander

7.1.8.4 Área de Drenaje:

La cuenca de la estación Puente Santander tiene un área igual a 15570.30 Km² (ver figura 15)

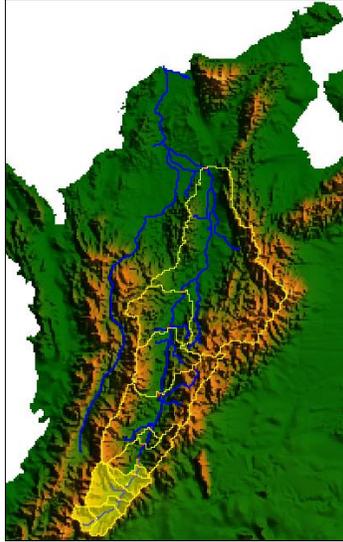


Figura 16. Área de drenaje estación Puentesantander

7.1.9 ESTACION ANGOSTURA

7.1.9.1 Localización:

- Latitud: 0326N
- Longitud: 7507W
- Distancia del nacimiento a posición actual: 439.23 Km

7.1.9.2 Elevación: 0340 m.s.n.m

7.1.9.3 Caudales Registrados:

La estación Angostura cuenta con información histórica para el periodo comprendido entre los años 1993 y 2012. Con la serie de caudales mensuales se obtuvieron los caudales máximos multianuales que se presentan en el **cuadro 9**, se observa que el año con el caudal máximo más bajo es 1998 y el caudal máximo más alto es 1994.



Año	1993	1194	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002
Q max	2896	2996	1755	2308	2239	1626	2684	2024	2377	1830

Año	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Q max	1672	1959	1959	2365	2576	2747	2494	3867	2589

Cuadro 9. Caudal Máximo Multianual, en m³/s, estación Angostura.

7.1.9.4 Área de Drenaje:

La cuenca de la estación Angostura tiene un área igual a 23100.30 Km² (ver figura 17)

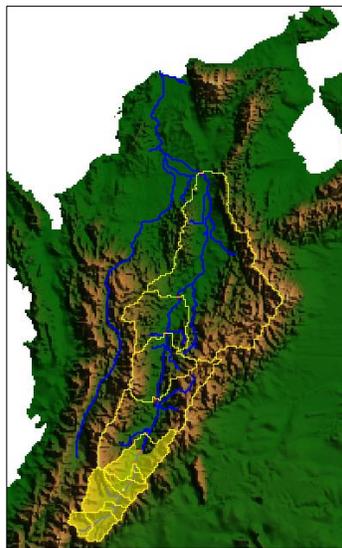


Figura 17. Área de drenaje estación Angostura



7.1.10 ESTACION PURIFICACION

7.1.10.1 Localización:

- Latitud: 0350N
- Longitud: 7456W
- Distancia del nacimiento a posición actual: 503.66 Km

7.1.10.2 Elevación: 0291 m.s.n.m

7.1.10.3 Caudales Registrados:

La estación Purificación Autom cuenta con información histórica para el periodo comprendido entre los años 1993 y 2011. Con la serie de caudales mensuales se obtuvieron los caudales máximos multianuales que se presentan en el **cuadro 10**, se observa que el año con el caudal máximo más bajo es 1997 y el caudal máximo más alto es 2008.

Año	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002
Q max	3102	2661	2402	1950	1849	2033	3234	2102	2238	2140

Año	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Q max	2433	2287	2595	3745	4855	3163	2755	4439

Cuadro 10. Caudal Máximo Multianual, en m³/s, estación Purificación

7.1.10.4 Área de Drenaje:

La cuenca de la estación Puente Purificación tiene un área igual a 35388.29 Km² (ver figura 18)

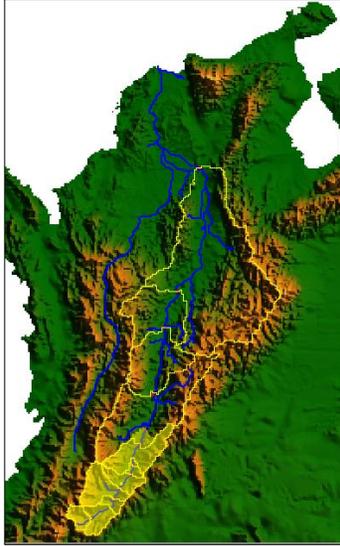


Figura 18. Área de drenaje estación Purificación

7.1.11 ESTACIÓN NARIÑO

7.1.11.1 Localización:

- Latitud: 0423N
- Longitud: 7450W
- Distancia del nacimiento a posición actual: 598.59 Km

7.1.11.2 Elevación: 0252 m.s.n.m

7.1.11.3 Caudales Registrados:

La estación Nariño cuenta con información histórica para el periodo comprendido entre los años 1993 y 2011. Con la serie de caudales mensuales se obtuvieron los caudales máximos multianuales que se presentan en el **cuadro 11**, se observa que el año con el caudal máximo más bajo es 2001 y el caudal máximo más alto es 1993.



Año	1993	1194	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002
Q max	5435	3856	3092	3391	3277	3130	4013	3434	2772	3008

Año	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Q max	3049	2909	3272	3354	4890	3715	3687	4370

Cuadro 11. Caudal Máximo Multianual, en m³/s, estación Nariño

7.1.11.4 Área de Drenaje:

La cuenca de la estación Nariño tiene un área igual a 47441.82 Km² (ver figura 19)

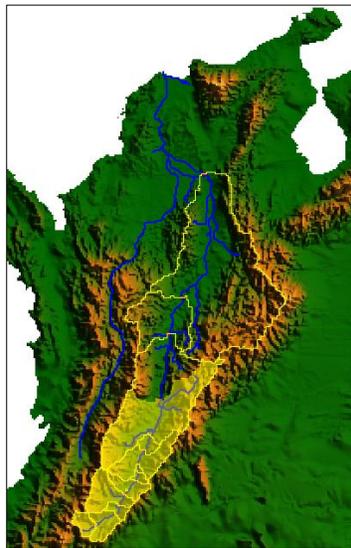


Figura 19. Área de drenaje estación Nariño

7.1.12 ESTACIÓN ARRANCAPLUMAS

7.1.12.1 Localización:

- Latitud: 0512N
- Longitud: 7443W
- Distancia del nacimiento a posición actual: 721.26 Km



7.1.12.2 Elevación: 2'3 m.s.n.m

7.1.12.3 Caudales Registrados:

La estación Arrancaplumas Auto cuenta con información histórica para el periodo comprendido entre los años 1993 y 2011. Con la serie de caudales mensuales se obtuvieron los caudales máximos multianuales que se presentan en el **cuadro 12**, se observa que el año con el caudal máximo más bajo es 2005 y el caudal máximo más alto es 2011.

Año	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2001	2002
Q max	3559	3500	2740	3634	3202	3056	4360	2891	3192

Año	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Q max	2847	2645	3165	3241	4511	3509	3587	5086

Cuadro 12. Caudal Máximo Multianual, en m³/s, estación Arrancaplumas

7.1.12.4 Área de Drenaje:

La cuenca de la estación Arrancaplumas tiene un área igual a 53799.57 Km² (ver figura 20)

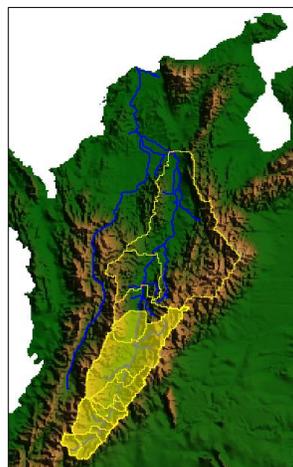


Figura 20. Área de drenaje estación Arrancaplumas

7.1.13 ESTACION PUERTO SALGAR

7.1.13.1 Localización:

- Latitud: 0528N
- Longitud: 7439W
- Distancia del nacimiento a posición actual: 764.09 Km

7.1.13.2 Elevación: 0172 m.s.n.m

7.1.13.3 Caudales Registrados:

La estación Pto. Salgar cuenta con información histórica para el periodo comprendido entre los años 1993 y 2011. Con la serie de caudales mensuales se obtuvieron los caudales máximos multianuales que se presentan en el **cuadro 13**, se observa que el año con el caudal máximo más bajo es 1995 y el caudal máximo más alto es 2011.

Año	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002
Q max	3671	3893	3399	4540	3520	3880	5857	5058	3563	4020

Año	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Q max	3859	3500	4394	4559	6042	4435	4503	6509

Cuadro 13. Caudal Máximo Multianual, en m³/s, estación Pto. Salgar

7.1.13.4 Área de Drenaje:

La cuenca de la estación Puerto Salgar tiene un área igual a 56695.73 Km² (ver figura 21)

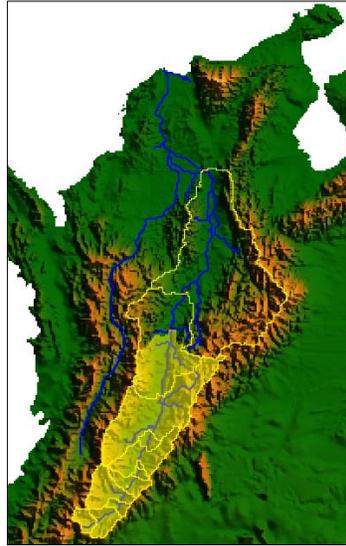


Figura 21. Área de drenaje estación Puerto Salgar

7.1.14 ESTACION PUERTO BERRIO

7.1.14.1 Localización:

- Latitud: 0629N
- Longitud: 7424W
- Distancia del nacimiento a posición actual: 908.55 Km

7.1.14.2 Elevación: 0111 m.s.n.m

7.1.14.3 Caudales Registrados:

La estación Pto. Berrio cuenta con información histórica para el periodo comprendido entre los años 1993 y 2011. Con la serie de caudales mensuales se obtuvieron los caudales máximos multianuales que se presentan en el **cuadro 14**, se observa que el año con el caudal máximo más bajo es 2001 y el caudal máximo más alto es 2011.

Año	1993	1194	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002
Q max	4365	4467	3903	4660	3709	4660	5050	4660	3502	4616



Año	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Q max	7339	8645	7301	6207	7600	5193	6937	8376

Cuadro 14. Caudal Máximo Multianual, en m³/s, estación Pto. Berrio.

7.1.14.4 Área de Drenaje:

La cuenca de la estación Puerto Berrio tiene un área igual a 74610.53 Km² (ver figura 22)

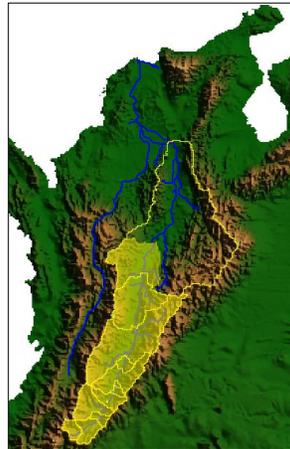


Figura 22. Área de drenaje Puerto Berrio

7.1.15 ESTACIÓN EL BANCO.

7.1.15.1 Localización:

- Latitud: 0859N
- Longitud: 7358W
- Distancia del nacimiento a posición actual: 1262.31 Km

7.1.15.2 Elevación: 0029 m.s.n.m

7.1.15.3 Caudales Registrados:

La estación El Banco cuenta con información histórica para el periodo comprendido entre los años 1993 y 2012. Con la serie de caudales mensuales se obtuvieron los

caudales máximos multianuales que se presentan en el **cuadro 15**, se observa que el año con el caudal máximo más bajo es 1997 y el caudal máximo más alto se presenta en 2010 y 2011.

Año	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002
Q max	6331	6378	6661	7048	4034	5583	6233	5611	4821	5284

Año	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Q max	6600	7145	5940	6902	6576	5280	7900	7900	7135

Cuadro 15. Caudal Máximo Multianual, en m³/s, estación El Banco.

7.1.15.4 Área de Drenaje:

La cuenca de la estación El Banco tiene un área igual a 139787.87 Km² (ver figura 23)

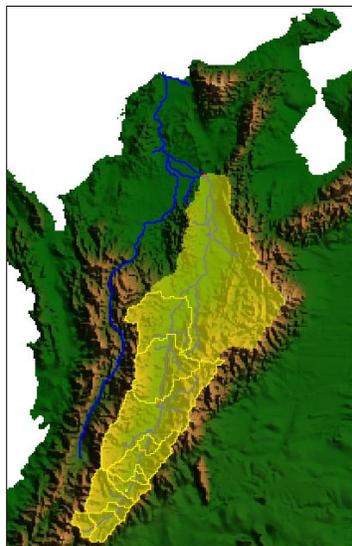


Figura 23. Área de drenaje estación El Banco

ESTACIONES			COORDENADAS		AREA DE DRENAJE ANUARIO HIDROLOGICO	AREA DE DRENAJE HIDROSIG
CODIGO	TE	ESTACION	X	Y	Km2	Km2
LAGUNA DEL MAGDALENA						
21017060	LG	LA MAGDALENA	732629	707261		220.66
21017040	LG	SALADO BLANCO	777166	707203	3022	2854.78
21027010	LG	PERICONGO	801295	716395	3650	3833.96
21047010	LG	PTE BALSEADERO	823579	738495	5875	6178.47
21077020	LG	PASO DEL COLEGIO	831026	764298	11324	7061.1
21077030	LG	VICHECITO	840307	773506		12081.11
21097120	LG	LA ESPERANZA	857019	797452		13736.06
21097070	LG	PTE SANTANDER	864459	821409	15705	15570.29
21137050	LG	ANGOSTURA	884898	873000	26115	23100.3
21137010	LG	PURIFICACION	903463	917218	23180	35388.29
21237010	LG	NARIÑO	914629	976190	47910	47441.82
21237020	LG	ARRANCAPLUMAS	929512	1064648	54359	53799.57
23037010	LG	PTO SALGAR	935086	1095977	56905	56695.73
23097030	LG	PTO BERRIO	966549	1210229	74410	74610.53
BOZAS DE CENIZA						

Cuadro 16. Áreas de Drenaje Anuario Hidrológico vs. HidroSig

El cuadro 16 presenta la correlación entre las áreas de drenaje calculadas con el programa HidroSig y las áreas de drenaje investigadas en el Anuario Hidrológico del IDEAM. Los datos arrojan un error absoluto promedio de 3410.75 y un error relativo promedio del 11%.

7.2 CAUDALES MÁXIMOS INSTANTANEOS DE ACUERDO A PARAMETROS DE DISTRIBUCIÓN DE PROBABILIDAD

La tabla 9 presenta las distintas estaciones y los valores probables de caudales máximos a diferentes periodos de retorno (2.33, 5, 10, 25, 50, 100, 500) teniendo en cuenta las distribuciones de probabilidad que se utilizaron, esto con el fin de poder determinar variaciones en los caudales de las crecidas a lo largo de los años.

			DISTRIBUCIÓN GEV MAXIMA VEROSIMILITUD						
TE	ESTACION	CORRIENTE	TR 2,33	TR 5	TR10	TR25	TR50	TR100	TR500
LG	SALADO BLANCO	MAGDALENA	5390	6620	7800	9570	11100	12900	18000
LG	LA MAGDALENA	MAGDALENA	505	607	703	845	967	1110	1500
LG	PERICONGO	MAGDALENA	1180	1340	1430	1510	1560	1590	1640
LG	PTE BALSEADERO	MAGDALENA	1460	1750	2000	2340	2620	2910	3670
LG	PASO DEL COLEGIO	MAGDALENA	1920	2150	2280	2400	2460	2500	2560
LG	VICHECITO	MAGDALENA	3200	3570	3770	3940	4030	4090	4170
LG	PTE SANTANDER	MAGDALENA	1820	2130	2370	2650	2850	3030	3420
LG	LA ESPERANZA	MAGDALENA	1390	1580	1720	1870	1960	2040	2190
LG	PURIFICACION	MAGDALENA	2630	3220	3840	4860	5830	7030	11000
LG	ANGOSTURA	MAGDALENA	2330	2720	3050	3470	3800	4140	4950
LG	NARIÑO	MAGDALENA	3440	3930	4440	5300	6130	7160	10600
LG	ARRANCAPLUMAS	MAGDALENA	3340	3800	4260	4950	5560	6260	8370
LG	PTO SALGAR	MAGDALENA	4120	4850	5760	7540	9540	12400	24400
LG	PTO BERRIO	MAGDALENA	5390	6620	7800	9570	11100	12900	18000
LG	EL BANCO	MAGDALENA	6500	7110	7460	7770	7930	8050	8220

Tabla 9 a. Caudales máximos asociados a diferentes periodos de retorno (m³/s),
Distribución GEV de Máxima Verosimilitud.

			DISTRIBUCIÓN GEV METODO DE MOMENTOS						
TE	ESTACION	CORRIENTE	TR 2,33	TR 5	TR10	TR25	TR50	TR100	TR500
LG	SALADO BLANCO	MAGDALENA	961	1100	1190	1290	1360	1410	1510
LG	LA MAGDALENA	MAGDALENA	513	623	721	855	963	1080	1380
LG	PERICONGO	MAGDALENA	1190	1340	1430	1500	1540	1570	1610
LG	PTE BALSEADERO	MAGDALENA	1480	1770	2010	2320	2560	2790	3350
LG	PASO DEL COLEGIO	MAGDALENA	1910	2170	2320	2460	2540	2600	2690
LG	VICHECITO	MAGDALENA	3130	3580	3870	4170	4340	4490	4740
LG	PTE SANTANDER	MAGDALENA	1840	2160	2400	2660	2840	3000	3320
LG	LA ESPERANZA	MAGDALENA	1400	1600	1750	1900	1990	2080	2230
LG	PURIFICACION	MAGDALENA	2760	3340	3840	4470	4960	5450	6620
LG	ANGOSTURA	MAGDALENA	2350	2740	3060	3450	3740	4020	4660
LG	NARIÑO	MAGDALENA	3540	4040	4460	5010	5440	5870	6940
LG	ARRANCAPLUMAS	MAGDALENA	3410	3880	4270	4770	5140	5520	6410
LG	PTO SALGAR	MAGDALENA	4350	5010	5550	6240	6750	7260	8440
LG	PTO BERRIO	MAGDALENA	5680	6860	7740	8780	9490	10100	11500
LG	EL BANCO	MAGDALENA	6490	7130	7510	7860	8050	8190	8410

Tabla 9 b. Caudales máximos asociados a diferentes periodos de retorno (m³/s),
Distribución GEV de Método de Momentos.

			DISTRIBUCIÓN GEV METODO DE MOMENTOS PONDERADOS						
TE	ESTACION	CORRIENTE	TR 2,33	TR 5	TR10	TR25	TR50	TR100	TR500
LG	SALADO BLANCO	MAGDALENA	965	1100	1190	1290	1340	1390	1480
LG	LA MAGDALENA	MAGDALENA	494	597	703	874	1040	1230	1870
LG	PERICONGO	MAGDALENA	1190	1340	1420	1490	1530	1550	1590
LG	PTE BALSEADERO	MAGDALENA	1460	1760	2020	2370	2660	2970	3750
LG	PASO DEL COLEGIO	MAGDALENA	1920	2180	2340	2470	2540	2590	2670
LG	VICHECITO	MAGDALENA	3140	3610	3910	4220	4390	4540	4790
LG	PTE SANTANDER	MAGDALENA	1830	2160	2410	2700	2900	3080	3460
LG	LA ESPERANZA	MAGDALENA	1390	1600	1760	1940	2060	2170	2380
LG	PURIFICACION	MAGDALENA	2660	3240	3810	4670	5430	6310	8910
LG	ANGOSTURA	MAGDALENA	2350	2750	3080	3480	3780	4070	4740
LG	NARIÑO	MAGDALENA	3450	3930	4420	5180	5870	6680	9180
LG	ARRANCAPLUMAS	MAGDALENA	3350	3830	4260	4900	5430	6020	7660
LG	PTO SALGAR	MAGDALENA	4230	4890	5530	6490	7320	8270	11000
LG	PTO BERRIO	MAGDALENA	5500	6730	7780	9190	10300	11400	14300
LG	EL BANCO	MAGDALENA	6500	7150	7530	7870	8050	8190	8390

Tabla 9 c. Caudales máximos asociados a diferentes periodos de retorno (m³/s),
Distribución GEV de Método de Momentos Ponderados.

			DISTRIBUCIÓN GUMBELL MAXIMA VEROSIMILITUD						
TE	ESTACION	CORRIENTE	TR 2,33	TR 5	TR10	TR25	TR50	TR100	TR500
LG	SALADO BLANCO	MAGDALENA	943	1100	1230	1400	1520	1650	1930
LG	LA MAGDALENA	MAGDALENA	516	611	689	786	859	931	1100
LG	PERICONGO	MAGDALENA	1150	1390	1580	1820	2000	2180	2590
LG	PTE BALSEADERO	MAGDALENA	1480	1760	1990	2270	2480	2690	3180
LG	PASO DEL COLEGIO	MAGDALENA	1840	2210	2520	2900	3180	3470	4120
LG	VICHECITO	MAGDALENA	3040	3590	4040	4610	5030	5450	6420
LG	PTE SANTANDER	MAGDALENA	1810	2150	2430	2780	3040	3300	3900
LG	LA ESPERANZA	MAGDALENA	1360	1590	1770	2010	2180	2350	2750
LG	PURIFICACION	MAGDALENA	2740	3260	3690	4230	4630	5030	5940
LG	ANGOSTURA	MAGDALENA	2340	2740	3060	3470	3770	4070	4760
LG	NARIÑO	MAGDALENA	3530	3960	4320	4770	5100	5430	6200
LG	ARRANCAPLUMAS	MAGDALENA	3400	3830	4180	4630	4960	5290	6040
LG	PTO SALGAR	MAGDALENA	4310	4910	5390	6010	6460	6910	7950
LG	PTO BERRIO	MAGDALENA	5540	6690	7630	8820	9700	10600	12600
LG	EL BANCO	MAGDALENA	6340	7300	8070	9060	9790	10500	12200

Tabla 9 d. Caudales máximos asociados a diferentes periodos de retorno (m³/s),
Distribución GUMBELL Máxima Verosimilitud.

			DISTRIBUCIÓN GUMBELL METODO DE MOMENTOS						
TE	ESTACION	CORRIENTE	TR 2,33	TR 5	TR10	TR25	TR50	TR100	TR500
LG	SALADO BLANCO	MAGDALENA	936	1070	1190	1330	1430	1540	1780
LG	LA MAGDALENA	MAGDALENA	522	638	732	851	939	1030	1230
LG	PERICONGO	MAGDALENA	1130	1300	1440	1610	1740	1870	2170
LG	PTE BALSEADERO	MAGDALENA	1490	1780	2020	2320	2540	2760	3280
LG	PASO DEL COLEGIO	MAGDALENA	1810	2100	2330	2620	2840	3060	3560
LG	VICHECITO	MAGDALENA	3020	3480	3860	4340	4700	5050	5860
LG	PTE SANTANDER	MAGDALENA	1800	2120	2380	2710	2950	3190	3750
LG	LA ESPERANZA	MAGDALENA	1360	1570	1740	1950	2110	2270	2630
LG	PURIFICACION	MAGDALENA	2770	3370	3850	4460	4910	5360	6400
LG	ANGOSTURA	MAGDALENA	2340	2740	3050	3460	3760	4050	4740
LG	NARIÑO	MAGDALENA	3560	4060	4480	5000	5380	5770	6650
LG	ARRANCAPLUMAS	MAGDALENA	3420	3890	4280	4760	5120	5480	6300
LG	PTO SALGAR	MAGDALENA	4350	5020	5560	6240	6750	7250	8420
LG	PTO BERRIO	MAGDALENA	5580	6750	7700	8900	9790	10700	12700
LG	EL BANCO	MAGDALENA	6250	6960	7540	8280	8820	9360	10600

Tabla 9 e. Caudales máximos asociados a diferentes periodos de retorno (m³/s),
Distribución GUMBELL Método de Momentos.

			DISTRIBUCIÓN GUMBELL METODO DE MOMENTOS PONDERADOS						
TE	ESTACION	CORRIENTE	TR 2,33	TR 5	TR10	TR25	TR50	TR100	TR500
LG	SALADO BLANCO	MAGDALENA	936	1080	1200	1350	1460	1570	1830
LG	LA MAGDALENA	MAGDALENA	522	630	717	828	910	991	1180
LG	PERICONGO	MAGDALENA	1130	1310	1450	1630	1770	1900	2210
LG	PTE BALSEADERO	MAGDALENA	1490	1780	2020	2320	2550	2770	3280
LG	PASO DEL COLEGIO	MAGDALENA	1810	2130	2380	2700	2940	3180	3720
LG	VICHECITO	MAGDALENA	3020	3530	3950	4480	4870	5260	6160
LG	PTE SANTANDER	MAGDALENA	1800	2140	2420	2760	3020	3280	3870
LG	LA ESPERANZA	MAGDALENA	1360	1580	1770	2000	2170	2340	2730
LG	PURIFICACION	MAGDALENA	2770	3370	3850	4460	4920	5370	6410
LG	ANGOSTURA	MAGDALENA	2340	2750	3080	3490	3800	4110	4820
LG	NARIÑO	MAGDALENA	3560	4060	4470	4990	5370	5750	6630
LG	ARRANCAPLUMAS	MAGDALENA	3420	3890	4280	4770	5130	5490	6320
LG	PTO SALGAR	MAGDALENA	4350	5020	5570	6260	6780	7290	8460
LG	PTO BERRIO	MAGDALENA	5580	6800	7790	9050	9980	10900	13000
LG	EL BANCO	MAGDALENA	6250	7010	7630	8410	8990	9560	10900

Tabla 9 f. Caudales máximos asociados a diferentes periodos de retorno (m³/s),
Distribución GUMBELL Método de Momentos Ponderados.

			DISTRIBUCIÓN WEIBULL MAXIMA VEROSIMILITUD						
TE	ESTACION	CORRIENTE	TR 2,33	TR 5	TR10	TR25	TR50	TR100	TR500
LG	SALADO BLANCO	MAGDALENA	982	1110	1180	1260	1310	1350	1420
LG	LA MAGDALENA	MAGDALENA	550	671	750	831	883	928	1020
LG	PERICONGO	MAGDALENA	1190	1330	1410	1500	1550	1600	1680
LG	PTE BALSEADERO	MAGDALENA	1570	1860	2050	2240	2360	2470	2670
LG	PASO DEL COLEGIO	MAGDALENA	1910	2140	2280	2420	2510	2590	2730
LG	VICHECITO	MAGDALENA	3170	3560	3800	4040	4180	4310	4540
LG	PTE SANTANDER	MAGDALENA	1900	2200	2380	2570	2680	2780	2980
LG	LA ESPERANZA	MAGDALENA	1430	1610	1720	1840	1900	1960	2080
LG	PURIFICACION	MAGDALENA	2930	3520	3910	4300	4550	4770	5200
LG	ANGOSTURA	MAGDALENA	2460	2850	3100	3340	3490	3630	3890
LG	NARIÑO	MAGDALENA	3720	4240	4560	4880	5080	5250	5580
LG	ARRANCAPLUMAS	MAGDALENA	3580	4050	4340	4630	4810	4960	5260
LG	PTO SALGAR	MAGDALENA	4560	5220	5630	6040	6290	6510	6930
LG	PTO BERRIO	MAGDALENA	5910	7010	7700	8420	8860	9260	10000
LG	EL BANCO	MAGDALENA	6510	7100	7440	7790	7990	8170	8500

Tabla 9 g. Caudales máximos asociados a diferentes periodos de retorno (m³/s),
Distribución WEIBULL Máxima Verosimilitud.

			DISTRIBUCIÓN WEIBULL METODO DE MOMENTOS						
TE	ESTACION	CORRIENTE	TR 2,33	TR 5	TR10	TR25	TR50	TR100	TR500
LG	SALADO BLANCO	MAGDALENA	983	1100	1170	1250	1290	1330	1400
LG	LA MAGDALENA	MAGDALENA	553	661	730	801	846	885	962
LG	PERICONGO	MAGDALENA	1190	1330	1420	1510	1570	1610	1700
LG	PTE BALSEADERO	MAGDALENA	1570	1840	2010	2180	2280	2380	2550
LG	PASO DEL COLEGIO	MAGDALENA	1910	2160	2310	2460	2550	2630	2790
LG	VICHECITO	MAGDALENA	3170	3580	3820	4070	4220	4350	4600
LG	PTE SANTANDER	MAGDALENA	1900	2190	2360	2540	2650	2740	2920
LG	LA ESPERANZA	MAGDALENA	1430	1610	1720	1830	1900	1950	2070
LG	PURIFICACION	MAGDALENA	2940	3490	3840	4200	4420	4620	5000
LG	ANGOSTURA	MAGDALENA	2470	2810	3030	3240	3370	3490	3710
LG	NARIÑO	MAGDALENA	3730	4160	4430	4690	4850	4980	5240
LG	ARRANCAPLUMAS	MAGDALENA	3580	3980	4230	4470	4610	4740	4980
LG	PTO SALGAR	MAGDALENA	4570	5150	5500	5850	6060	6250	6600
LG	PTO BERRIO	MAGDALENA	5900	6980	7660	8360	8800	9180	9930
LG	EL BANCO	MAGDALENA	6510	7100	7450	7790	8000	8170	8510

Tabla 9 h. Caudales máximos asociados a diferentes periodos de retorno (m³/s),
Distribución WEIBULL Método de Momentos.

			DISTRIBUCIÓN NORMAL MAXIMA VEROSIMILITUD						
TE	ESTACION	CORRIENTE	TR 2,33	TR 5	TR10	TR25	TR50	TR100	TR500
LG	SALADO BLANCO	MAGDALENA	970	1100	1180	1270	1330	1380	1490
LG	LA MAGDALENA	MAGDALENA	551	657	728	804	853	897	985
LG	PERICONGO	MAGDALENA	1170	1330	1430	1540	1610	1680	1810
LG	PTE BALSEADERO	MAGDALENA	1560	1830	2010	2200	2320	2430	2660
LG	PASO DEL COLEGIO	MAGDALENA	1880	2150	2320	2510	2630	2740	2960
LG	VICHECITO	MAGDALENA	3130	3560	3850	4150	4350	4520	4880
LG	PTE SANTANDER	MAGDALENA	1880	2180	2370	2580	2710	2830	3080
LG	LA ESPERANZA	MAGDALENA	1410	1600	1730	1870	1950	2030	2190
LG	PURIFICACION	MAGDALENA	2920	3470	3830	4220	4470	4690	5150
LG	ANGOSTURA	MAGDALENA	2440	2800	3040	3300	3460	3610	3910
LG	NARIÑO	MAGDALENA	3680	4150	4460	4790	5000	5200	5590
LG	ARRANCAPLUMAS	MAGDALENA	3540	3970	4260	4570	4770	4950	5310
LG	PTO SALGAR	MAGDALENA	4510	5130	5540	5970	6250	6500	7010
LG	PTO BERRIO	MAGDALENA	5870	6940	7660	8420	8910	9360	10300
LG	EL BANCO	MAGDALENA	6430	7080	7520	7990	8290	8560	9100

Tabla 9 i. Caudales máximos asociados a diferentes periodos de retorno (m³/s), Distribución NORMAL Máxima Verosimilitud.

			DISTRIBUCIÓN LOG NORMAL MAXIMA VEROSIMILITUD						
TE	ESTACION	CORRIENTE	TR 2,33	TR 5	TR10	TR25	TR50	TR100	TR500
LG	SALADO BLANCO	MAGDALENA	952	1090	1200	1320	1410	1490	1670
LG	LA MAGDALENA	MAGDALENA	528	629	707	801	868	933	1080
LG	PERICONGO	MAGDALENA	1150	1340	1480	1650	1770	1890	2150
LG	PTE BALSEADERO	MAGDALENA	1510	1780	1990	2250	2420	2600	2990
LG	PASO DEL COLEGIO	MAGDALENA	1850	2160	2390	2670	2870	3060	3490
LG	VICHECITO	MAGDALENA	3070	3560	3920	4350	4650	4940	5580
LG	PTE SANTANDER	MAGDALENA	1830	2150	2390	2680	2890	3090	3530
LG	LA ESPERANZA	MAGDALENA	1380	1590	1750	1930	2060	2190	2460
LG	PURIFICACION	MAGDALENA	2800	3350	3780	4290	4650	5010	5810
LG	ANGOSTURA	MAGDALENA	2380	2760	3040	3370	3610	3830	4330
LG	NARIÑO	MAGDALENA	3610	4080	4410	4810	5080	5330	5900
LG	ARRANCAPLUMAS	MAGDALENA	3470	3910	4230	4600	4860	5100	5630
LG	PTO SALGAR	MAGDALENA	4420	5040	5500	6030	6400	6760	7530
LG	PTO BERRIO	MAGDALENA	5640	6800	7700	8780	9560	10300	12100
LG	EL BANCO	MAGDALENA	6360	7100	7640	8270	8700	9100	9980

Tabla 9 j. Caudales máximos asociados a diferentes periodos de retorno (m³/s), Distribución LOG NORMAL Máxima Verosimilitud.

			DISTRIBUCIÓN PEARSON TIPO III MAXIMA VEROSIMILITUD						
TE	ESTACION	CORRIENTE	TR 2,33	TR 5	TR10	TR25	TR50	TR100	TR500
LG	SALADO BLANCO	MAGDALENA	958	1090	1180	1290	1360	1430	1580
LG	LA MAGDALENA	MAGDALENA	515	626	717	832	916	998	1180
LG	PERICONGO	MAGDALENA	1180	1330	1410	1500	1560	1600	1690
LG	PTE BALSEADERO	MAGDALENA	1470	1780	2030	2340	2570	2790	3300
LG	PASO DEL COLEGIO	MAGDALENA	1910	2140	2280	2420	2500	2560	2690
LG	VICHECITO	MAGDALENA	3110	3530	3830	4150	4370	4570	4990
LG	PTE SANTANDER	MAGDALENA	1800	2140	2420	2770	3010	3250	3780
LG	LA ESPERANZA	MAGDALENA	1350	1590	1770	2000	2170	2330	2690
LG	PURIFICACION	MAGDALENA	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
LG	ANGOSTURA	MAGDALENA	2290	2750	3160	3670	4050	4430	5300
LG	NARIÑO	MAGDALENA	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
LG	ARRANCAPLUMAS	MAGDALENA	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
LG	PTO SALGAR	MAGDALENA	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
LG	PTO BERRIO	MAGDALENA	5390	6780	7990	9550	10700	11900	14500
LG	EL BANCO	MAGDALENA	6490	7080	7450	7810	8030	8210	8560

Tabla 9 k. Caudales máximos asociados a diferentes periodos de retorno (m³/s),
Distribución PEARSON TIPO III Máxima Verosimilitud.

			DISTRIBUCIÓN PEARSON TIPO III METODOD DE MOMENTOS						
TE	ESTACION	CORRIENTE	TR 2,33	TR 5	TR10	TR25	TR50	TR100	TR500
LG	SALADO BLANCO	MAGDALENA	963	1090	1190	1290	1360	1420	1550
LG	LA MAGDALENA	MAGDALENA	501	623	733	877	986	1090	1340
LG	PERICONGO	MAGDALENA	1190	1330	1420	1510	1560	1610	1690
LG	PTE BALSEADERO	MAGDALENA	1480	1780	2030	2340	2570	2790	3280
LG	PASO DEL COLEGIO	MAGDALENA	1900	2150	2310	2470	2570	2650	2810
LG	VICHECITO	MAGDALENA	3130	3560	3850	4160	4360	4540	4910
LG	PTE SANTANDER	MAGDALENA	1850	2160	2390	2650	2830	3000	3360
LG	LA ESPERANZA	MAGDALENA	1400	1600	1740	1890	1990	2090	2290
LG	PURIFICACION	MAGDALENA	2740	3360	3880	4520	4990	5440	6470
LG	ANGOSTURA	MAGDALENA	2350	2750	3070	3460	3740	4000	4600
LG	NARIÑO	MAGDALENA	3520	4050	4500	5060	5470	5880	6800
LG	ARRANCAPLUMAS	MAGDALENA	3400	3890	4300	4800	5160	5510	6300
LG	PTO SALGAR	MAGDALENA	4340	5030	5590	6270	6760	7240	8300
LG	PTO BERRIO	MAGDALENA	5700	6870	7740	8750	9450	10100	11500
LG	EL BANCO	MAGDALENA	6480	7100	7480	7880	8120	8330	8730

Tabla 9 l. Caudales máximos asociados a diferentes periodos de retorno (m³/s),
Distribución PEARSON TIPO III Método de Momentos.

			DISTRIBUCIÓN LOG-PEARSON TIPO III METODO SAM						
TE	ESTACION	CORRIENTE	TR 2,33	TR 5	TR10	TR25	TR50	TR100	TR500
LG	SALADO BLANCO	MAGDALENA	958	1090	1180	1290	1360	1430	1570
LG	LA MAGDALENA	MAGDALENA	505	612	712	855	974	1100	1460
LG	PERICONGO	MAGDALENA	1190	1340	1420	1500	1540	1570	1620
LG	PTE BALSEADERO	MAGDALENA	1480	1760	2000	2320	2560	2820	3450
LG	PASO DEL COLEGIO	MAGDALENA	1890	2150	2310	2480	2580	2670	2830
LG	VICHECITO	MAGDALENA	3090	3530	3840	4190	4430	4640	5090
LG	PTE SANTANDER	MAGDALENA	1830	2140	2380	2670	2870	3070	3530
LG	LA ESPERANZA	MAGDALENA	1380	1580	1740	1920	2050	2170	2440
LG	PURIFICACION	MAGDALENA	2710	3280	3790	4490	5040	5640	7190
LG	ANGOSTURA	MAGDALENA	2350	2730	3040	3430	3720	4010	4700
LG	NARIÑO	MAGDALENA	3510	4000	4430	5010	5470	5950	7160
LG	ARRANCAPLUMAS	MAGDALENA	3390	3850	4240	4760	5150	5560	6560
LG	PTO SALGAR	MAGDALENA	4310	4960	5510	6250	6820	7410	8900
LG	PTO BERRIO	MAGDALENA	5560	6720	7670	8910	9840	10800	13100
LG	EL BANCO	MAGDALENA	6470	7100	7480	7860	8080	8270	8600

Tabla 9 m. Caudales máximos asociados a diferentes periodos de retorno (m³/s),
Distribución LOG-PEARSON TIPO III Método Sam.

			DISTRIBUCIÓN LOG-PEARSON TIPO III METODO DE MOMENTOS (BOB), Basis =10						
TE	ESTACION	CORRIENTE	TR 2,33	TR 5	TR10	TR25	TR50	TR100	TR500
LG	SALADO BLANCO	MAGDALENA	962	1090	1180	1280	1340	1400	1520
LG	LA MAGDALENA	MAGDALENA	514	624	719	848	949	1050	1330
LG	PERICONGO	MAGDALENA	1190	1340	1420	1490	1530	1560	1610
LG	PTE BALSEADERO	MAGDALENA	1490	1770	2000	2300	2510	2730	3260
LG	PASO DEL COLEGIO	MAGDALENA	1900	2150	2300	2430	2510	2570	2680
LG	VICHECITO	MAGDALENA	3130	3550	3820	4110	4280	4430	4710
LG	PTE SANTANDER	MAGDALENA	1850	2150	2370	2630	2800	2960	3290
LG	LA ESPERANZA	MAGDALENA	1400	1600	1730	1880	1970	2060	2230
LG	PURIFICACION	MAGDALENA	2770	3350	3820	4410	4860	5320	6400
LG	ANGOSTURA	MAGDALENA	2360	2740	3040	3410	3680	3940	4560
LG	NARIÑO	MAGDALENA	3550	4040	4440	4970	5360	5760	6730
LG	ARRANCAPLUMAS	MAGDALENA	3420	3880	4250	4720	5060	5410	6230
LG	PTO SALGAR	MAGDALENA	4370	5010	5530	6170	6640	7120	8230
LG	PTO BERRIO	MAGDALENA	5700	6840	7680	8650	9320	9940	11300
LG	EL BANCO	MAGDALENA	6480	7100	7470	7830	8040	8210	8500

Tabla 9 n. Caudales máximos asociados a diferentes periodos de retorno (m³/s),
Distribución LOG-PEARSON TIPO III Método de Momentos (BOB), Basis=10.



TE	ESTACION	CORRIENTE	DISTRIBUCIÓN LOG-PEARSON TIPO III WRC						
			TR 2,33	TR 5	TR10	TR25	TR50	TR100	TR500
LG	SALADO BLANCO	MAGDALENA	959	1100	1190	1300	1370	1440	1580
LG	LA MAGDALENA	MAGDALENA	503	613	719	873	1000	1150	1550
LG	PERICONGO	MAGDALENA	1190	1340	1420	1490	1530	1560	1610
LG	PTE BALSEADERO	MAGDALENA	1470	1770	2020	2350	2620	2890	3590
LG	PASO DEL COLEGIO	MAGDALENA	1900	2170	2330	2500	2590	2670	2810
LG	VICHECITO	MAGDALENA	3100	3560	3890	4250	4500	4720	5180
LG	PTE SANTANDER	MAGDALENA	1830	2150	2400	2700	2920	3130	3600
LG	LA ESPERANZA	MAGDALENA	1380	1590	1750	1940	2070	2200	2490
LG	PURIFICACION	MAGDALENA	2710	3300	3830	4580	5190	5850	7600
LG	ANGOSTURA	MAGDALENA	2350	2740	3060	3470	3780	4090	4840
LG	NARIÑO	MAGDALENA	3500	4010	4460	5080	5580	6110	7460
LG	ARRANCAPLUMAS	MAGDALENA	3390	3860	4270	4820	5250	5700	6810
LG	PTO SALGAR	MAGDALENA	4300	4970	5560	6340	6960	7610	9250
LG	PTO BERRIO	MAGDALENA	5560	6760	7770	9080	10100	11100	13600
LG	EL BANCO	MAGDALENA	6480	7120	7510	7880	8090	8270	8580

Tabla 9 o. Caudales máximos asociados a diferentes periodos de retorno (m³/s),
Distribución LOG-PEARSON TIPO III WRC.

7.3 DATOS DE DISPERSIÓN Y PARAMETROS DE LAS DISTRIBUCIONES DE PROBABILIDAD

De los estudios estadísticos realizados en cada una de las estaciones se obtuvieron los parámetros requeridos por cada función de distribución de probabilidad para el ajuste de los caudales máximos instantáneos. Los resultados se presentan en la tabla 10.

			DISTRIBUCIÓN GEV								
			MAXIMA VEROSIMILITUD			METODO DE MOMENTOS			METODO DE MOMENTOS PONDERADOS		
TE	ESTACION	CORRIENTE	alpha	k	μ	alpha	k	μ	alpha	k	μ
LG	SALADO BLANCO	MAGDALENA	1087,69	-0,197034	4724,34	182,217	0,197396	861,363	187,715	0,233029	863,814
LG	LA MAGDALENA	MAGDALENA	91,1273	-0,181892	449,434	108,091	-0,0986105	448,329	82,1198	-0,289111	442,475
LG	PERICONGO	MAGDALENA	242,421	0,374068	1058,68	250,127	0,419611	1062,07	252,310	0,451611	1065,91
LG	PTE BALSEADERO	MAGDALENA	277,422	-0,0977191	1299,6	307,648	-0,0221603	1304,38	288,825	-0,0968125	1291,73
LG	PASO DEL COLEGIO	MAGDALENA	404,574	0,444351	1709,11	415,013	0,376179	1690,26	440,949	0,419829	1693,56
LG	VICHECITO	MAGDALENA	663,264	0,481708	2860,23	643,121	0,265879	2783,12	681,086	0,278905	2775,11
LG	PTE SANTANDER	MAGDALENA	367,963	0,080067	1614,57	396,198	0,12695	1619,57	397,854	0,0987858	1609,64
LG	LA ESPERANZA	MAGDALENA	256,392	0,18632	1247,44	274,996	0,197549	1246,68	270,720	0,131754	1234,97
LG	PURIFICACION	MAGDALENA	460,12	-0,309445	2342,17	617,805	-0,0305442	2396,35	508,471	-0,212393	2344,96
LG	ANGOSTURA	MAGDALENA	405	-0,0403665	2091,52	435	0,0179145	2099,12	445	0,0136155	2092,14
LG	NARIÑO	MAGDALENA	380,67	-0,317368	3194,01	515,617	-0,0455132	3235,04	410,345	-0,244684	3190,62
LG	ARRANCAPLUMAS	MAGDALENA	403	-0,216316	3090,25	499	-0,0187392	3121,44	436	-0,156076	3088,2
LG	PTO SALGAR	MAGDALENA	462	-0,510471	3808,62	718	-0,0031414	3933,15	585	-0,19868	3870,25
LG	PTO BERRIO	MAGDALENA	1087,69	-0,197034	4724,34	1413,22	0,0957377	4883,97	1239,67	-0,0668024	4773,66
LG	EL BANCO	MAGDALENA	1022,49	0,421821	5976,68	1037,28	0,382372	5948,17	1062,58	0,398921	5950,87

Tabla 10 a. Parámetros de la Distribución GEV a varios métodos de ajuste.



			DISTRIBUCIÓN GUMBELL					
			MAXIMA VEROSIMILITUD		METODO DE MOMENTOS		METODO DE MOMENTOS PONDERADOS	
TE	ESTACION	CORRIENTE	alpha	μ	alpha	μ	alpha	μ
LG	SALADO BLANCO	MAGDALENA	174,884	841,439	149,68	849,862	157,75	845,204
LG	LA MAGDALENA	MAGDALENA	103,228	456,249	125,445	449,921	116,489	455,091
LG	PERICONGO	MAGDALENA	254,318	1006,63	183,999	1023,59	191,863	1019,05
LG	PTE BALSEADERO	MAGDALENA	300,776	1308,72	316,993	1305,87	318,474	1305,01
LG	PASO DEL COLEGIO	MAGDALENA	404,056	1607,18	309,661	1634,18	339,11	1617,18
LG	VICHECITO	MAGDALENA	600,388	2690,9	505,256	2725,45	557,93	2695,05
LG	PTE SANTANDER	MAGDALENA	371,843	1592,09	344,694	1604,64	366,019	1592,33
LG	LA ESPERANZA	MAGDALENA	246,280	1218,45	225,867	1229,31	243,022	1219,41
LG	PURIFICACION	MAGDALENA	568,163	2412,68	644,135	2400,35	645,56	2399,53
LG	ANGOSTURA	MAGDALENA	429	2092,43	425	2097,21	439	2089,4
LG	NARIÑO	MAGDALENA	474,002	3253,99	549,442	3239,75	544,866	3242,39
LG	ARRANCAPLUMAS	MAGDALENA	469	3129,24	512	3123,51	515	3121,52
LG	PTO SALGAR	MAGDALENA	646	3940,39	721	3933,43	730	3928,55
LG	PTO BERRIO	MAGDALENA	1251,03	4817,49	1266,51	4845,48	1323,71	4812,46
LG	EL BANCO	MAGDALENA	1037,15	5739,64	772,246	5805,25	823,726	5775,53

Tabla 10 b. Parámetros de la Distribución GUMBELL a varios métodos de ajuste.

			DISTRIBUCIÓN WEIBULL			
			MAXIMA VEROSIMILITUD		METODO DE MOMENTOS	
TE	ESTACION	CORRIENTE	alpha	c	alpha	c
LG	SALADO BLANCO	MAGDALENA	1013,1	5,35943	1012,68	5,64252
LG	LA MAGDALENA	MAGDALENA	579,564	3,24075	579,597	3,60662
LG	PERICONGO	MAGDALENA	1.221,090	5,68645	1.223,410	5,5298
LG	PTE BALSEADERO	MAGDALENA	1641,56	3,74388	1639,79	4,12114
LG	PASO DEL COLEGIO	MAGDALENA	1965,03	5,56205	1968,96	5,24969
LG	VICHECITO	MAGDALENA	3270,49	5,55325	3272,73	5,36423
LG	PTE SANTANDER	MAGDALENA	1.975,010	4,44548	1.972,830	4,64185
LG	LA ESPERANZA	MAGDALENA	1.476,270	5,3568	1.474,150	5,41171
LG	PURIFICACION	MAGDALENA	3073,58	3,47538	3069,92	3,74126
LG	ANGOSTURA	MAGDALENA	2.557	4,36905	2.554	4,90899
LG	NARIÑO	MAGDALENA	3850,1	4,92956	3839,15	5,85725
LG	ARRANCAPLUMAS	MAGDALENA	3.693	5,17113	3.683	6,06114
LG	PTO SALGAR	MAGDALENA	4.728	4,78198	4.715	5,42197
LG	PTO BERRIO	MAGDALENA	6177,33	3,7766	6166,83	3,83711
LG	EL BANCO	MAGDALENA	6658,27	7,47616	6660,87	7,45595

Tabla 10 c. Parámetros de la Distribución WEIBULL a varios métodos de ajuste



TE	ESTACION	CORRIENTE	DISTRIBUCIÓN			
			NORMAL MAXIMA VEROSIMILITUD		LOG-NORMAL MAXIMA VEROSIMILITUD	
			Mu	Sigma	Mu	Sigma
LG	SALADO BLANCO	MAGDALENA	936,1	191,982	6,82138	0,208511
LG	LA MAGDALENA	MAGDALENA	522,05	160,96	6,2211	0,26553
LG	PERICONGO	MAGDALENA	1.129,800	235,988	7,006	0,231161
LG	PTE BALSEADERO	MAGDALENA	1488,8	406,616	7,27402	0,252737
LG	PASO DEL COLEGIO	MAGDALENA	1812,92	397,156	7,47856	0,235617
LG	VICHECITO	MAGDALENA	3017,09	648,016	7,99032	0,220912
LG	PTE SANTANDER	MAGDALENA	1.803,600	442,087	7,469	0,243167
LG	LA ESPERANZA	MAGDALENA	1.359,680	289,686	7,193	0,213356
LG	PURIFICACION	MAGDALENA	2772,16	826,135	7,89073	0,269708
LG	ANGOSTURA	MAGDALENA	2.343	545,701	8	0,22205
LG	NARIÑO	MAGDALENA	3556,89	704,687	8,16017	0,18129
LG	ARRANCAPLUMAS	MAGDALENA	3.419	656,328	8	0,178686
LG	PTO SALGAR	MAGDALENA	4.350	925,13	8	0,197513
LG	PTO BERRIO	MAGDALENA	5576,53	1624,36	8,58801	0,281292
LG	EL BANCO	MAGDALENA	6251	990,444	8,72777	0,166878

Tabla 10 d. Parámetros de la Distribución NORMAL y LOG-NORMAL Máxima Verosimilitud

TE	ESTACION	CORRIENTE	DISTRIBUCIÓN PEARSON TIPO III					
			MAXIMA VEROSIMILITUD			METODO DE MOMENTOS		
			alpha	Lambda	m	alpha	Lambda	m
LG	SALADO BLANCO	MAGDALENA	0,0250715	22,327	45,73	0,0395874	57,755	-522,664
LG	LA MAGDALENA	MAGDALENA	0,0099244	2,09624	311,11	0,0065547	1,11215	352,658
LG	PERICONGO	MAGDALENA	-0,024	30,2716	2394,29	-0,021	23,4638	2272,91
LG	PTE BALSEADERO	MAGDALENA	0,0036946	2,21966	888,06	0,0038485	2,44804	852,728
LG	PASO DEL COLEGIO	MAGDALENA	0,5	15,9574	3347,44	-0,017268	47,0335	4536,65
LG	VICHECITO	MAGDALENA	0,013284	67,9423	-2097,52	0,0842266	2979	-32351,8
LG	PTE SANTANDER	MAGDALENA	0,004	2,94354	1010,1	0,009	14,464	122,273
LG	LA ESPERANZA	MAGDALENA	0,005	2,77925	846,363	0,026	57,9905	-846,317
LG	PURIFICACION	MAGDALENA	N/A	N/A	N/A	0,0018141	2,24616	1534,01
LG	ANGOSTURA	MAGDALENA	0	1,4832	1597,16	0	3,72345	1289,8
LG	NARIÑO	MAGDALENA	N/A	N/A	N/A	0,0019701	1,92728	2578,6
LG	ARRANCAPLUMAS	MAGDALENA	N/A	N/A	N/A	0	2,53583	2373,73
LG	PTO SALGAR	MAGDALENA	N/A	N/A	N/A	0	2,98109	2752,47
LG	PTO BERRIO	MAGDALENA	0,0006404	1,36359	3447,33	0,0018769	9,29526	624,17
LG	EL BANCO	MAGDALENA	-0,005058	24,0515	11005,9	-0,006532	41,8615	12659,2

Tabla 10 e. Parámetros de la Distribución PEARSON TIPO III a varios métodos de ajuste.

DISTRIBUCIÓN LOG-PEARSON TIPO III											
			METODO SAM			METODO DE MOMENTOS (BOB), Basis=10			WRC		
TE	ESTACION	CORRIENTE	alpha	Lambda	m	alpha	Lambda	m	alpha	Lambda	m
LG	SALADO BLANCO	MAGDALENA	-117,311	106,952	3,87426	-63,885	32,3395	3,4687	-104,029	88,744	3,81563
LG	LA MAGDALENA	MAGDALENA	17,2794	3,7504	2,48501	29,113	11,6569	2,30082	15,3116	3,11113	2,49887
LG	PERICONGO	MAGDALENA	-19,901	3,78276	3,23287	-19,233	3,53218	3,22647	-17,721	3,16496	3,22139
LG	PTE BALSEADERO	MAGDALENA	34,0903	13,2629	2,77003	62,486	46,7232	2,41098	30,3734	11,1081	2,79337
LG	PASO DEL COLEGIO	MAGDALENA	-30,4793	8,8797	3,53923	-21,5982	4,61707	3,4615	-25,1229	6,60879	3,51096
LG	VICHECITO	MAGDALENA	-92,8469	71,8302	4,24379	-36,3093	11,5316	3,78752	-75,3583	52,2719	52,2719
LG	PTE SANTANDER	MAGDALENA	299,883	949,022	0,079283	-84,593	79,0237	4,17782	269,663	811	0,236475
LG	LA ESPERANZA	MAGDALENA	494,931	1983,05	-0,88264	-57,490	28,3707	3,6173	432,643	1607,08	-0,59048
LG	PURIFICACION	MAGDALENA	23,6186	7,20631	3,12179	64,449	58,8067	2,51367	20,8289	5,95237	3,14113
LG	ANGOSTURA	MAGDALENA	57	28,4428	2,85848	93	77,7976	2,52185	51	24,2382	2,88453
LG	NARIÑO	MAGDALENA	26,5884	4,1384	3,38827	41,2949	10,4517	3,29064	23,6201	3,45843	3,3975
LG	ARRANCAPLUMAS	MAGDALENA	33	6,2245	3,33912	52	15,9303	3,22063	29	5,154	3,35086
LG	PTO SALGAR	MAGDALENA	31	6,50201	3,4176	63	28,8283	3,16986	27	27,1556	3,43024
LG	PTO BERRIO	MAGDALENA	51,812	37,6443	3,00317	-66,9693	69,9359	4,77311	45,4864	30,8777	3,05089
LG	EL BANCO	MAGDALENA	-40,0557	7,99867	3,99011	-36,2591	6,59873	3,97239	-35,9186	6,77651	3,97908

Tabla 10 e. Parámetros de la Distribución LOG-PEARSON TIPO III a varios métodos de ajuste.

7.4 BONDAD DE AJUSTE

Para las distintas series de datos y funciones de probabilidad utilizadas, se calculó el test chi-cuadrado. En la tabla 11 se presentan los resultados de ajuste de las series de caudales máximos instantáneos. En la tabla siguiente (Tabla 12) se muestra un cuadro resumen de promedio y desviación estándar de cada una de las series de X^2 obtenidas para cada una de las distribuciones de probabilidad.

TE	ESTACION	CORRIENTE	GEV MAXIMA VEROSIMILIUD	GEV METODO DE MOMENTOS	GEV METODO DE MOMENTOS PONDERADOS	GUMBELL MAXIMA VEROSIMILITUD	GUMBELL METODO DE MOMENTOS	GUMBELL METODO DE MOMENTOS PONDERADOS	WEIBULL MAXIMA VEROSIMILITUD	WEIBULL METODO DE MOMENTOS	NORMAL MAXIMA VEROSIMILITUD	LOG NORMAL MAXIMA VEROSIMILITUD	PEARSON TIPO III MAXIMA VEROSIMILITUD	PEARSON TIPO III METODO DE MOMENTOS	LOG-PEARSON TIPO III METODO SAM	LOG-PEARSON TIPO III METODO DE MOMENTOS (BOB), Basis =10	LOG-PEARSON TIPO III WRC
			X^2	X^2	X^2	X^2	X^2	X^2	X^2	X^2	X^2	X^2	X^2	X^2	X^2	X^2	X^2
LG	SALADO BLANCO	MAGDALENA	6,58	5,2	5,2	7,6	10,6	7,6	5,2	5,2	5,2	5,2	5,2	5,2	5,2	5,2	5,2
LG	LA MAGDALENA	MAGDALENA	5,8	7	4,6	5,2	5,2	4,6	13,6	13	13	4,6	5,2	7	7	5,2	7
LG	PERICONGO	MAGDALENA	3,4	3,4	1,6	11,2	7,6	10,6	3,4	3,4	6,4	10,6	100	3,4	3,4	3,4	1,6
LG	PTE BALSEADERO	MAGDALENA	1,6	1	0,4	0,4	1	1	4,6	4,6	4,6	1,6	1,6	1,6	2,2	1	2,2
LG	PASO DEL COLEGIO	MAGDALENA	0,5	0,5	0,5	1,33	0,5	1,33	0,5	0,5	0,5	1,33	48	0,5	0,5	0,5	0,5
LG	VICHECITO	MAGDALENA	0,36	0,36	0,36	0,36	4	1,27	0,36	0,36	0,36	0,36	1,27	0,36	1,27	0,36	0,36
LG	PTE SANTANDER	MAGDALENA	1,6	0,4	1,6	2,8	4	4	4,6	4,6	2,2	1,6	4	0,4	1,6	0,4	1,6
LG	LA ESPERANZA	MAGDALENA	5,95	5,95	3,42	4,05	5,95	4,05	9,74	9,74	5,95	5,95	4,05	5,95	5,95	5,95	5,95
LG	PURIFICACION	MAGDALENA	0,89	0,26	0,89	0,26	1,53	1,53	8,47	9,11	5,95	0,89	N/A	2,16	0,89	0,26	0,89
LG	ANGOSTURA	MAGDALENA	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8	4,6	1,6	1,6	2,2	2,8	2,8	2,8	2,2	2,8
LG	NARIÑO	MAGDALENA	0,89	0,89	0,89	2,16	3,42	3,42	10,37	10,37	6,58	2,16	N/A	2,16	2,16	0,89	0,89
LG	ARRANCAPLUMAS	MAGDALENA	7,33	0,67	2	1,33	0,67	0,67	7,33	6	5,33	4,67	N/A	2	1,33	2	0,67
LG	PTO SALGAR	MAGDALENA	6,58	2,79	1,53	2,16	2,79	2,79	17,95	7,21	9,11	5,32	N/A	3,42	1,53	2,79	0,89
LG	PTO BERRIO	MAGDALENA	6,58	7,21	7,21	7,21	7,21	7,21	9,11	9,11	9,11	7,21	5,95	7,21	7,21	9,74	7,21
LG	EL BANCO	MAGDALENA	2,2	3,4	3,4	4	2,8	6,4	1	1	2,2	5,2	100	3,4	3,4	3,4	3,4

Tabla 11. Bondad de Ajuste Chi-cuadrado para cada una de las estaciones del rio Magdalena.



DISTRIBUCIÓN	X^2_{prom}	Desv. Estándar
DISTRIBUCIÓN GEV MAXIMA VEROSIMILITUD	3,537	2,534
DISTRIBUCIÓN GEV METODO DE MOMENTOS	2,789	2,427
DISTRIBUCIÓN GEV METODO DE MOMENTOS PONDERADOS	2,427	1,941
DISTRIBUCIÓN GUMBELL MAXIMA VEROSIMILITUD	3,524	3,025
DISTRIBUCIÓN GUMBELL METODO DE MOMENTOS	4,005	2,771
DISTRIBUCIÓN GUMBELL METODO DE MOMENTOS PONDERADOS	3,951	2,792
WEIBULL MAXIMA VEROSIMILITUD	6,722	4,787
WEIBULL METODO DE MOMENTOS	5,720	3,825
DISTRIBUCIÓN NORMAL MAXIMA VEROSIMILITUD	5,206	3,393
DISTRIBUCIÓN LOG NORMAL MAXIMA VEROSIMILITUD	3,926	2,723
DISTRIBUCIÓN PEARSON TIPO III MAXIMA VEROSIMILITUD	25,279	37,427
DISTRIBUCIÓN PEARSON TIPO III METODO DE MOMENTOS	3,171	2,187
DISTRIBUCIÓN LOG-PEARSON TIPO III METODO SAM	3,096	2,152
DISTRIBUCIÓN LOG-PEARSON TIPO III METODO DE MOMENTOS (BOB), Basis =10	2,886	2,602
DISTRIBUCIÓN LOG-PEARSON TIPO III WRC	2,744	2,353

Tabla 12. Promedio y Desviación Estándar distribuciones de probabilidad.

Con base a los resultados se puede deducir:

- La distribución que mejor se ajusta a la proyección de caudales máximos en el Rio Magdalena teniendo en cuenta los datos obtenidos en el IDEAM es la distribución GEV MOMENTO DE MOMENTOS PONDERADOS con un valor promedio de 2,427 y una desviación estándar de 1,941. Se puede notar de igual forma que las distribuciones PEARSON TIPO III METODO DE MOMENTOS Y LOG-PEARSON TIPO III METODO SAM arrojan valores de ajuste muy cerca de la distribución a utilizar con una desviación estándar de 2,187 y 2,152 respectivamente.
- En el Rio Magdalena la distribución de ajuste más desfavorable implementando el Test Chi-Cuadrado fue la distribución PEARSON TIPO III MAXIMA VEROSIMILITUD, con un valor promedio de 25,279 y una desviación estándar de 37,427, valores bastante alejados de los promedios y desviaciones obtenidas con las demás distribuciones de probabilidad en cada uno de sus métodos de ajuste.



Universidad
Tecnológica
de Bolívar

CARTAGENA DE INDIAS



ACREDITADA
INSTITUCIONALMENTE
Resolución MEN 1166 de 2011

- Para propósitos de análisis y estudio en la siguiente investigación y teniendo en cuenta los resultados obtenidos con el Test Chi-Cuadrado se tomara la distribución GEV MOMENTO con el método de ajuste de MOMENTOS PONDERADOS.

8. ANALISIS DISCUSION DE RESULTADOS

En base a los resultados obtenidos en el capítulo anterior, a continuación se expone el objetivo principal de nuestra investigación y se destacan algunos aspectos destacables.

8.1 REPRESENTATIVIDAD DE LOS DATOS

En primera instancia es importante mencionar, que el presente estudio posee como base la información obtenida y procesada de 15 estaciones limnigráficas activas sobre el río Magdalena de Colombia. A pesar de esto, no se puede declarar que los resultados obtenidos representan en forma fidedigna los valores exactos de los caudales máximos del río, ni las áreas exactas aferentes a las estaciones, debido a ciertas probabilidades que se deben asumir, sobreestimando o subestimando los valores de los datos reales. No obstante, se puede considerar que la información con la que se ha contado, representa de un modo importante lo que ocurre en la cuenca del Magdalena.

8.2 SELECCIÓN DE LA INFORMACION CON LA QUE SE HA TRABAJADO

Un segundo aspecto importante de discutir, es la manera en la que se ha obtenido la información estadística para la realización de este estudio. Para este caso, se ha trabajado con información real muestreada, procesada y avalada por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM, es decir, no se han completado datos de series bajo ninguna circunstancia, lo que asegura la fidelidad de la información obtenida.

Por otro lado, el estudio fue realizado con un conjunto de datos distribuidos en series, que presentan un amplio registro a través del tiempo, en la que el 86.6% representan más de 18 años y solo el 13.4% menos de 18 años.



8.3 VARIABILIDAD DE LOS DATOS

Un tercer aspecto discutible de la información utilizada, es la variabilidad de los datos, ya sea entre estaciones o dentro de una estación determinada.

La variabilidad de las estaciones se puede observar en la figura 24, en la que se relacionan los caudales máximos instantáneos promedios de las estaciones en estudio, en esta se aprecia un patrón de comportamiento variable entre estaciones.

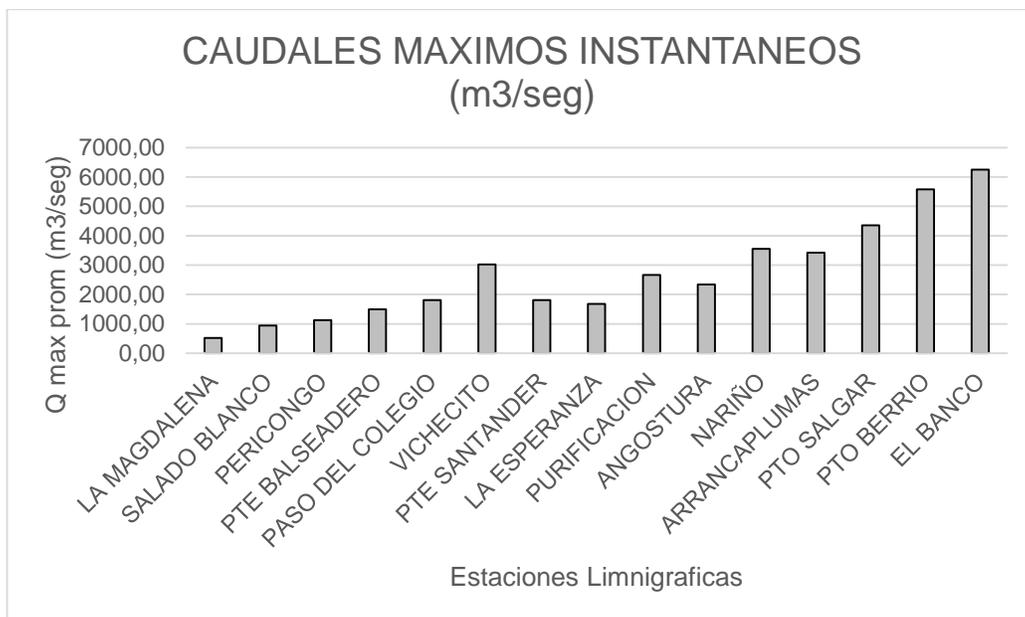


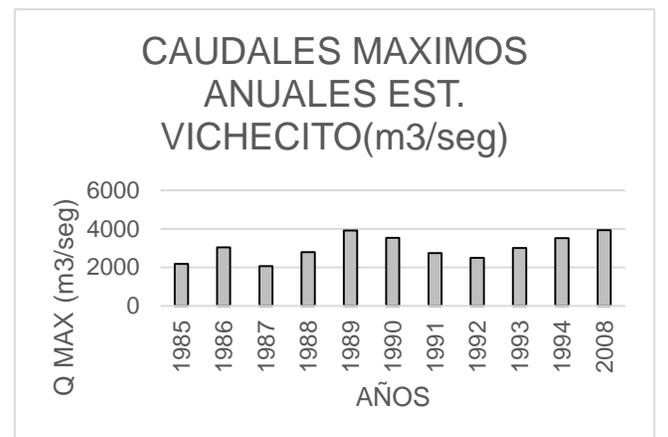
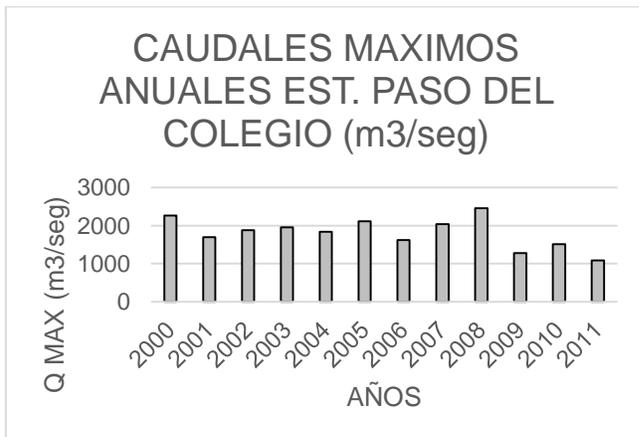
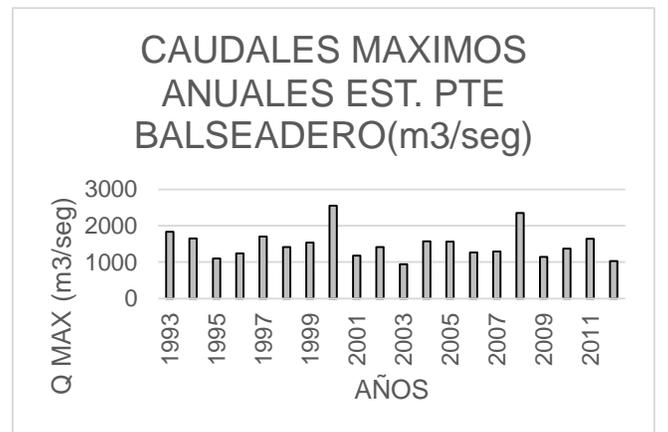
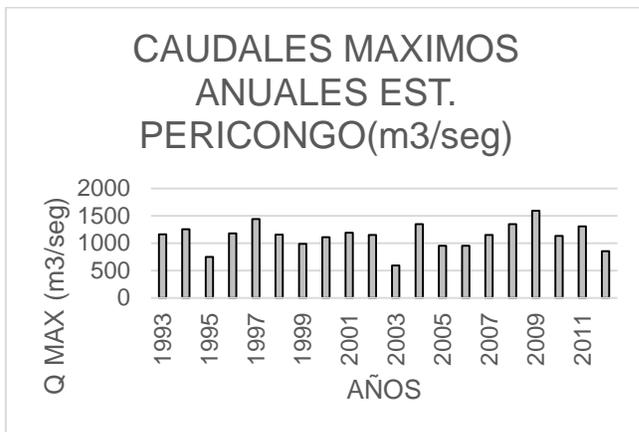
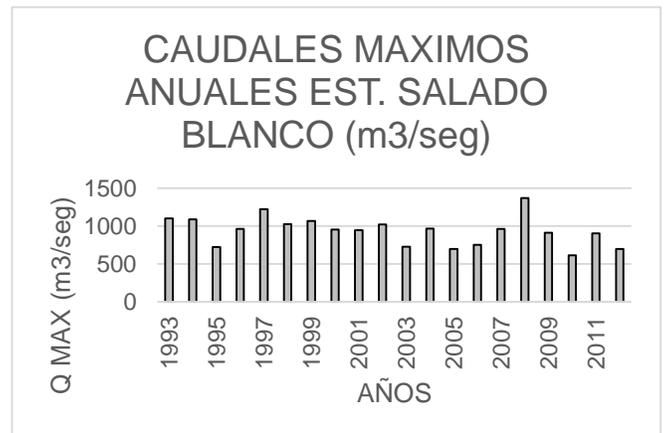
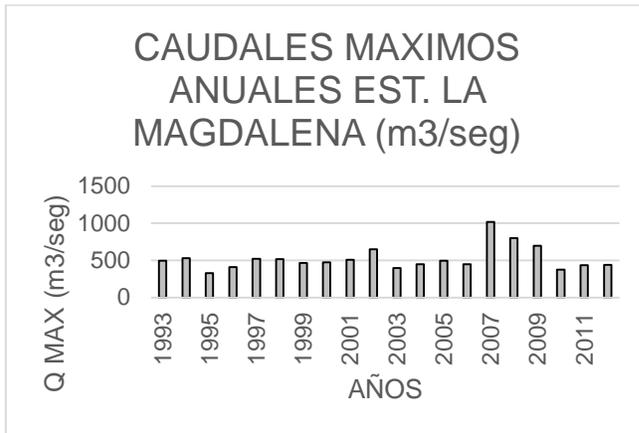
Figura 24. Gráfico de promedios de caudales máximos instantáneos de todas las estaciones

Como se puede observar en la figura 24, la tendencia de caudales máximos va en aumento a medida que se recorre el río desde su nacimiento a la desembocadura, a pesar de esto, existen caídas de caudal de estación a estación.

Las diferencias que se observan básicamente son en función de la magnitud de la cuenca que abastece las estaciones y del régimen de precipitaciones que presenta la misma, de igual forma, las caídas de caudales pueden deberse a la toma de aguas del río para el abastecimiento humano.

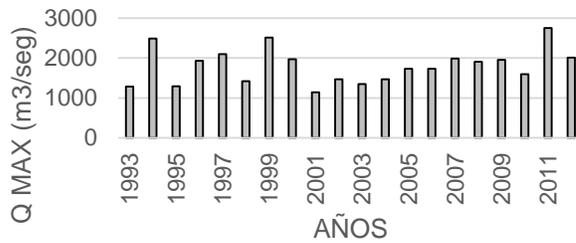


Respecto a la variabilidad dentro de las estaciones, esta se puede explicar por la existencia de años lluviosos y otros más secos, lo cual se puede observar en la figura 25.

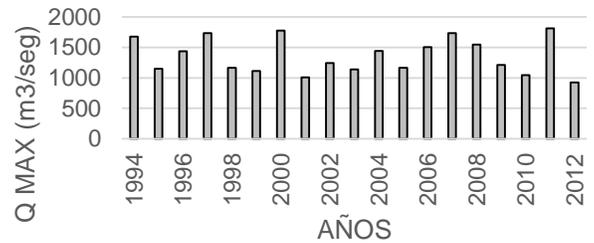




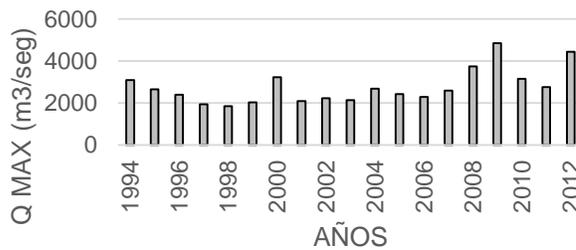
CAUDALES MAXIMOS ANUALES EST. PTE SANTANDER (m3/seg)



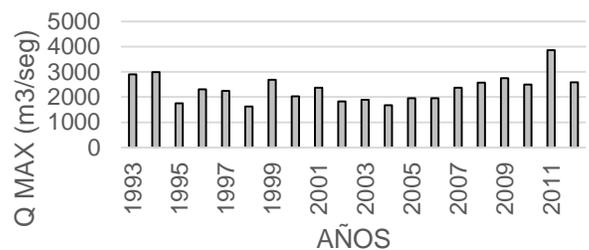
CAUDALES MAXIMOS ANUALES EST. LA ESPERANZA (m3/seg)



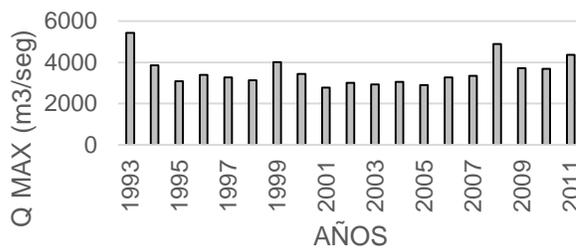
CAUDALES MAXIMOS ANUALES EST. PURIFICACIÓN (m3/seg)



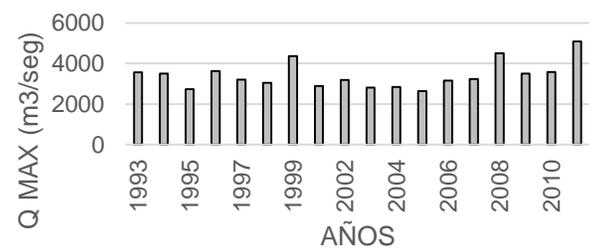
CAUDALES MAXIMOS ANUALES EST. ANGOSTURA (m3/seg)



CAUDALES MAXIMOS ANUALES EST. NARIÑO (m3/seg)



CAUDALES MAXIMOS ANUALES EST. ARRANCAPLUMAS (m3/seg)



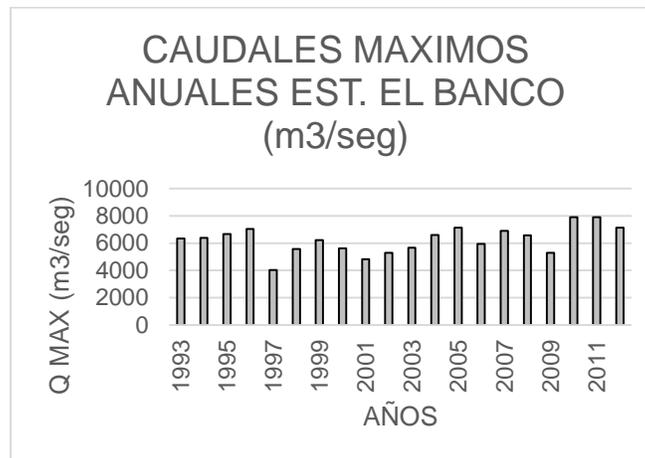
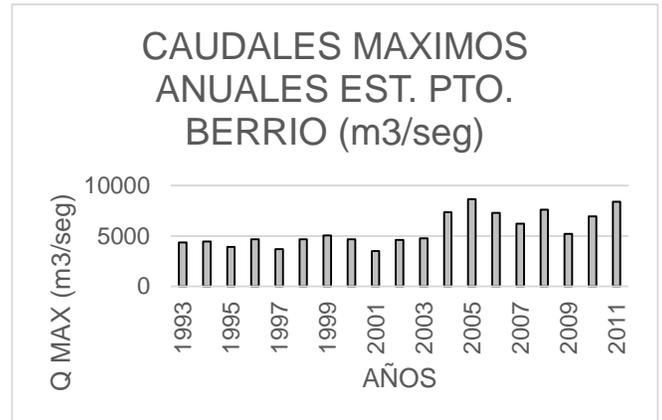
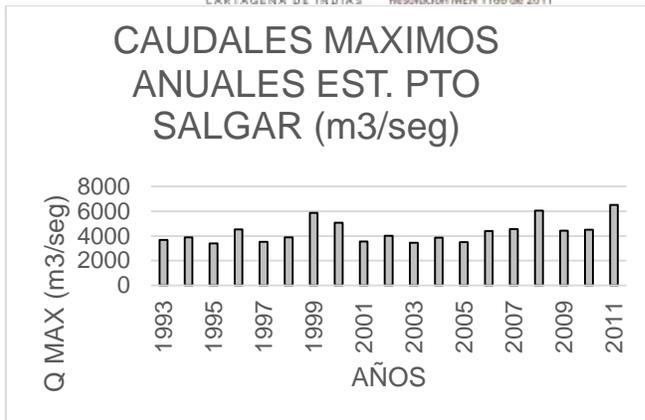


Figura 25. Gráfico de caudales máximos instantáneos de las estaciones aferentes al río Magdalena.

De las gráficas se puede notar que un 80% de las estaciones, resultan coincidentes en mostrar valores máximos en sus datos en el año 2008, el cual se destaca por ser uno de los años con precipitaciones más altas en la última década. En los años 2007 y 2008 los efectos de la Niña intensificaron la temporada normal de lluvias en el país, tanto que las mediciones de precipitación de ese año se catalogaron como los más lluviosos en toda la historia meteorológica del país, según el IDEAM.

8.4 DATOS ANÓMALOS

La presencia de datos extremos, superiores o inferiores a los demás registrados, se presentan en la investigación. Los denominados “outliers” son datos que se alejan significativamente de la tendencia de los datos, y que afectan considerablemente la magnitud de los parámetros estadísticos de la serie.

La estación El Banco sobre el río Magdalena, es un ejemplo de lo anterior, dado que según la función de distribución de probabilidad GEV Método de Momentos Ponderados, la proyección de caudales cae abruptamente respecto a las estaciones que la preceden.

La presencia de estos datos se puede deber a que según las coordenadas de posición de la estación en cuestión, esta se encuentra localizada en una bifurcación del río Magdalena (ver figura 26), por lo que el caudal medido en la misma, va a ser un porcentaje significativo más bajo que el caudal real que pasa por ese tramo del río.

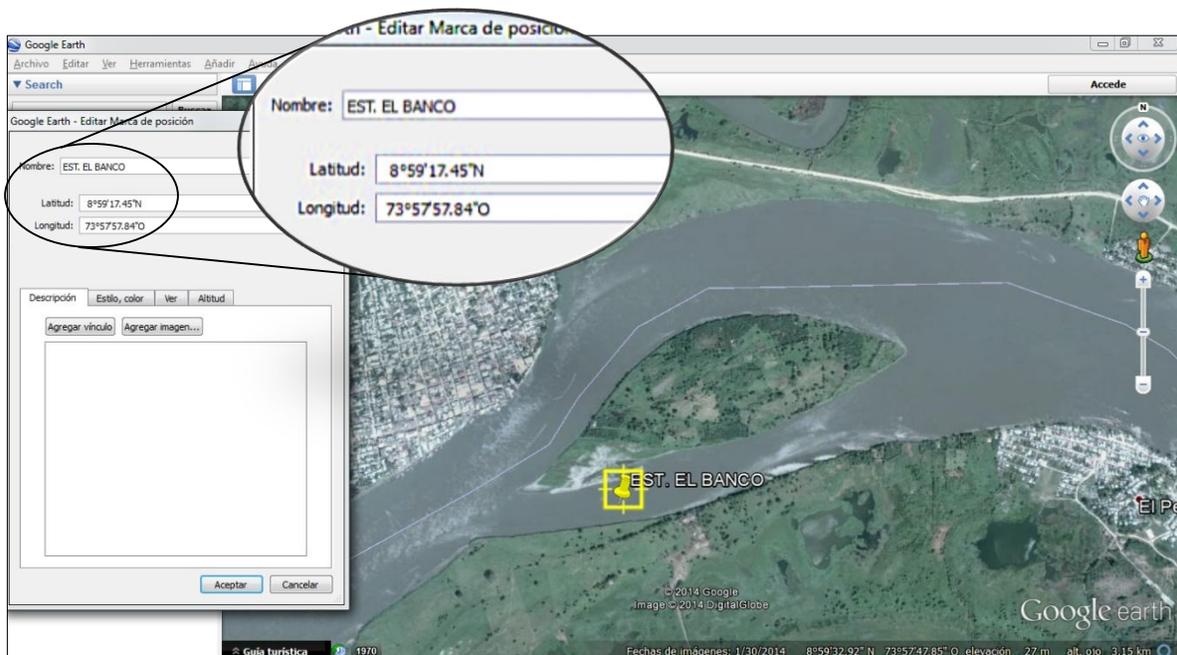


Figura 26. Localización estación El Banco sobre el río Magdalena

8.5 CURVAS DE RENDIMIENTO DE CAUDALES MÁXIMOS A DIFERENTES PERIODOS DE RETORNO

8.5.1 Curva de rendimiento de Caudal Máximo Instantáneo vs. Área de Drenaje.

Se obtuvo la curva de rendimiento de caudal máximo vs. Área de drenaje, se aplicó la metodología del diagrama unitario, que se basa en el uso de los registros de las estaciones limnigráficas ubicadas dentro de una cuenca específica y de los caudales máximos hidrológicamente homogéneos bajo una misma función de distribución.

La tabla 13 resume la información necesaria para la construcción de las curvas de rendimiento de Caudal Máximo vs. Área de drenaje. Los datos son el resultado de los estudios presentados con anterioridad. La estación de El Banco fue excluida del estudio debido a la anomalía de los resultados que arrojó.

ESTACIONES			COORDENADAS		AREA DE DRENAJE	Rendimiento Hídrico (L/s/Km2)						
CODIGO	TE	ESTACION	X	Y	Km2	TR 2,33	TR 5	TR10	TR25	TR50	TR100	TR500
LAGUNA DEL MAGDALENA												
21017060	LG	LA MAGDALENA	732629	707261	220,66	2238,74	2705,52	3185,90	3960,84	4713,13	5574,19	8474,58
21017040	LG	SALADO BLANCO	777166	707203	2854,78	338,03	385,32	416,84	451,87	469,39	486,90	518,43
21027010	LG	PERICONGO	801295	716395	3833,96	310,38	349,51	370,37	388,63	399,07	404,28	414,71
21047010	LG	PTE BALSEADERO	823579	738495	6178,47	236,30	284,86	326,94	383,59	430,53	480,70	606,95
21077020	LG	PASO DEL COLEGIO	831026	764298	7061,1	271,91	308,73	331,39	349,80	359,72	366,80	378,13
21077030	LG	VICHECITO	840307	773506	12081,11	259,91	298,81	323,65	349,31	363,38	375,79	396,49
21097070	LG	PTE SANTANDER	864459	821409	15570,29	117,53	138,73	154,78	173,41	186,25	197,81	222,22
21097120	LG	LA ESPERANZA	857019	797452	13736,06	101,19	116,48	128,13	141,23	149,97	157,98	173,27
21137010	LG	PURIFICACION	903463	917218	35388,29	75,17	91,56	107,66	131,96	153,44	178,31	251,78
21137050	LG	ANGOSTURA	884898	873000	23100,3	101,73	119,05	133,33	150,65	163,63	176,19	205,19
21237010	LG	NARIÑO	914629	976190	47441,82	72,72	82,84	93,17	109,19	123,73	140,80	193,50
21237020	LG	ARRANCAPLUMAS	929512	1064648	53799,57	62,27	71,19	79,18	91,08	100,93	111,90	142,38
23037010	LG	PTO SALGAR	935086	1095977	56695,73	74,61	86,25	97,54	114,47	129,11	145,87	194,02
23097030	LG	PTO BERRIO	966549	1210229	74610,53	73,72	90,20	104,27	123,17	138,05	152,79	191,66
BOCAS DE GENIZA												

Tabla 13. Caudales máximos específicos a diferentes periodos de retorno.

Se encontró, que el mejor ajuste del caudal máximo, para los diferentes periodos de retorno, en función al área de drenaje es el de tipo potencial, la tabla 14 muestra las ecuaciones que mejor se ajustan a la tendencia de los datos.

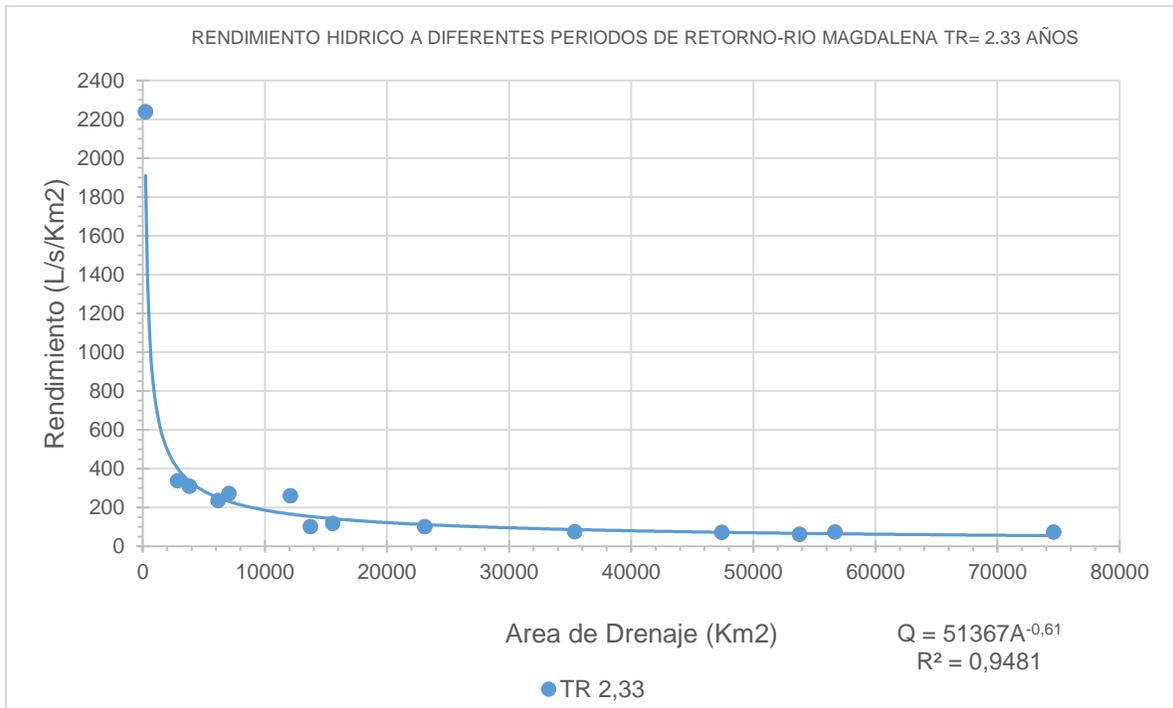


Figura 27 (a). Áreas de drenaje y rendimientos de Caudales máximos a diferentes periodos de retorno TR=2.33 años.

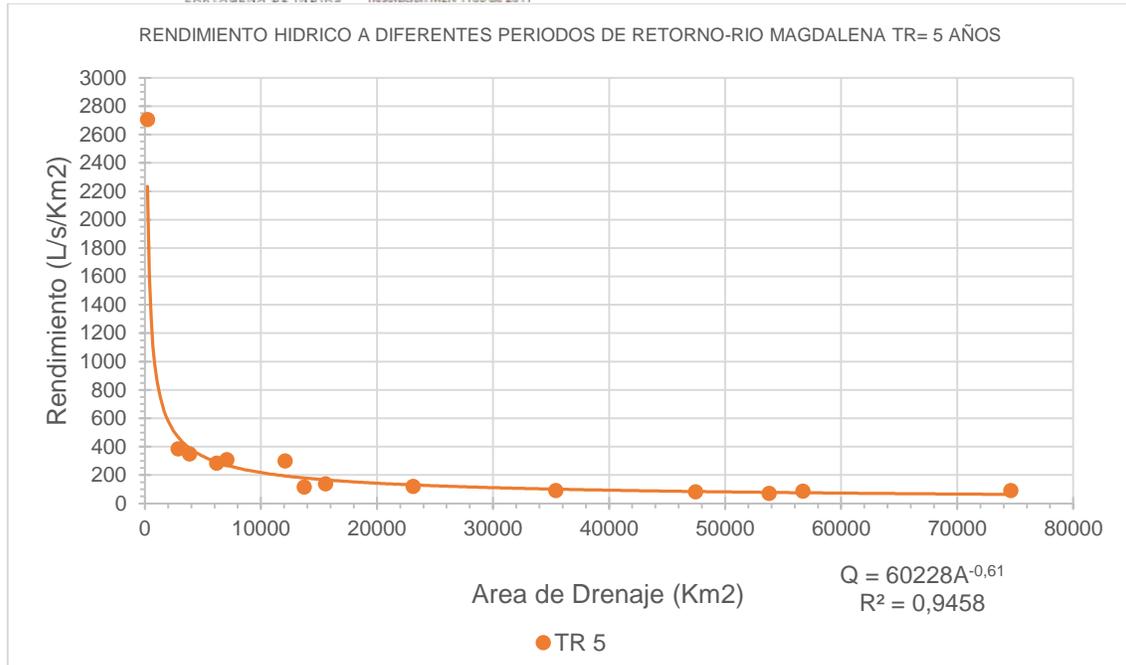


Figura 27 (b). Áreas de drenaje y rendimientos de Caudales máximos a diferentes periodos de retorno TR=5 años.

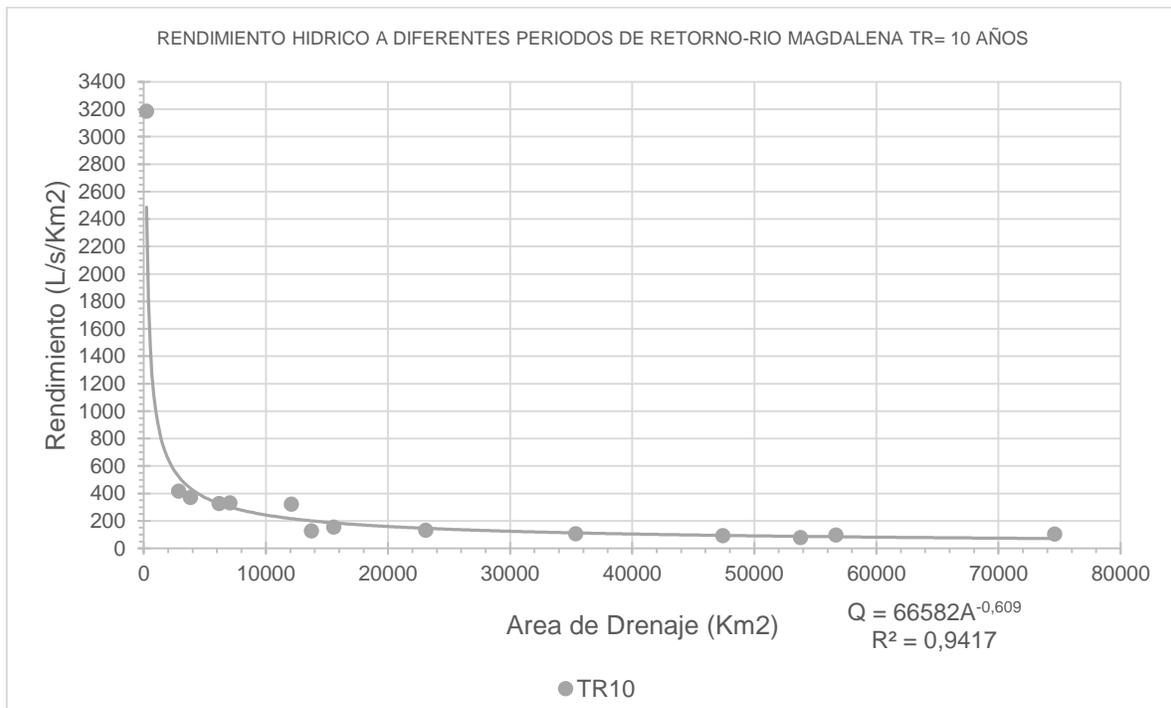


Tabla 27 (c). Áreas de drenaje y rendimientos de Caudales máximos a diferentes periodos de retorno TR=10 años.

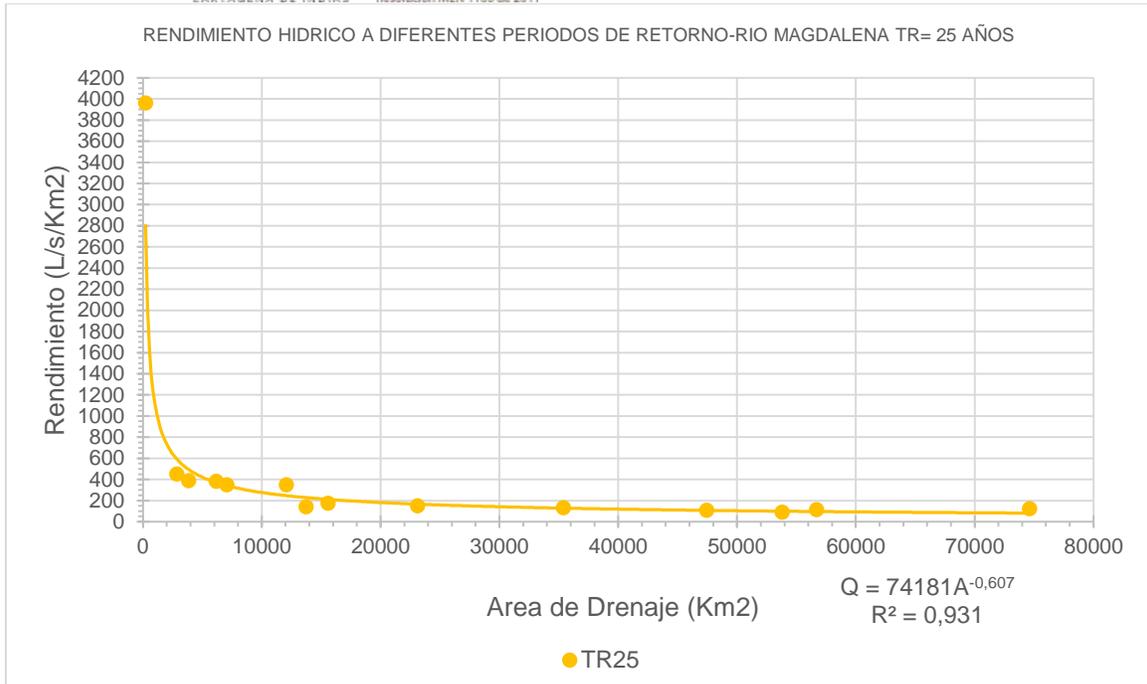


Tabla 27 (d). Áreas de drenaje y rendimientos de Caudales máximos a diferentes periodos de retorno TR=25 años.

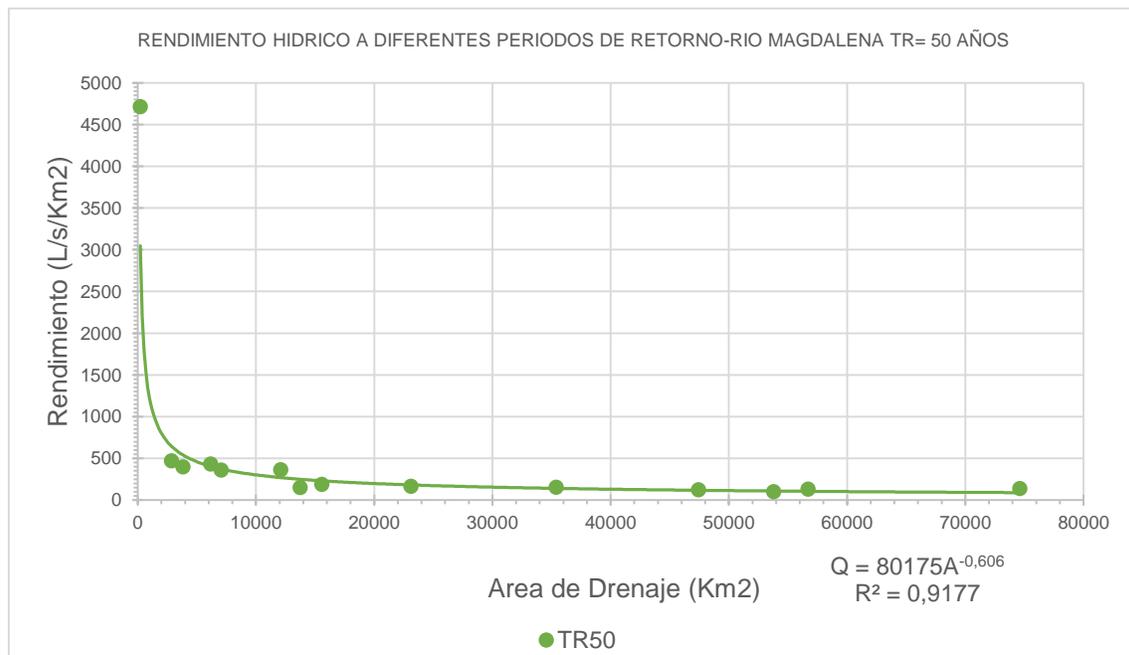


Tabla 27 (e). Áreas de drenaje y rendimientos de Caudales máximos a diferentes periodos de retorno TR=50 años.

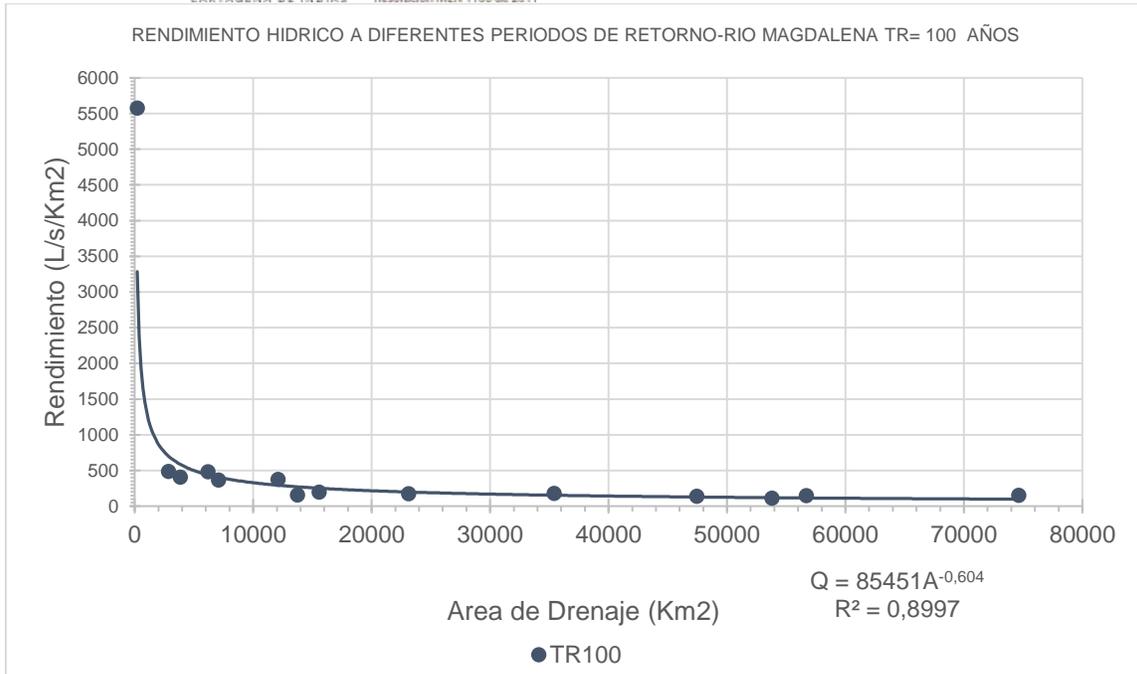


Tabla 27 (f). Áreas de drenaje y rendimientos de Caudales máximos a diferentes periodos de retorno TR=100 años.

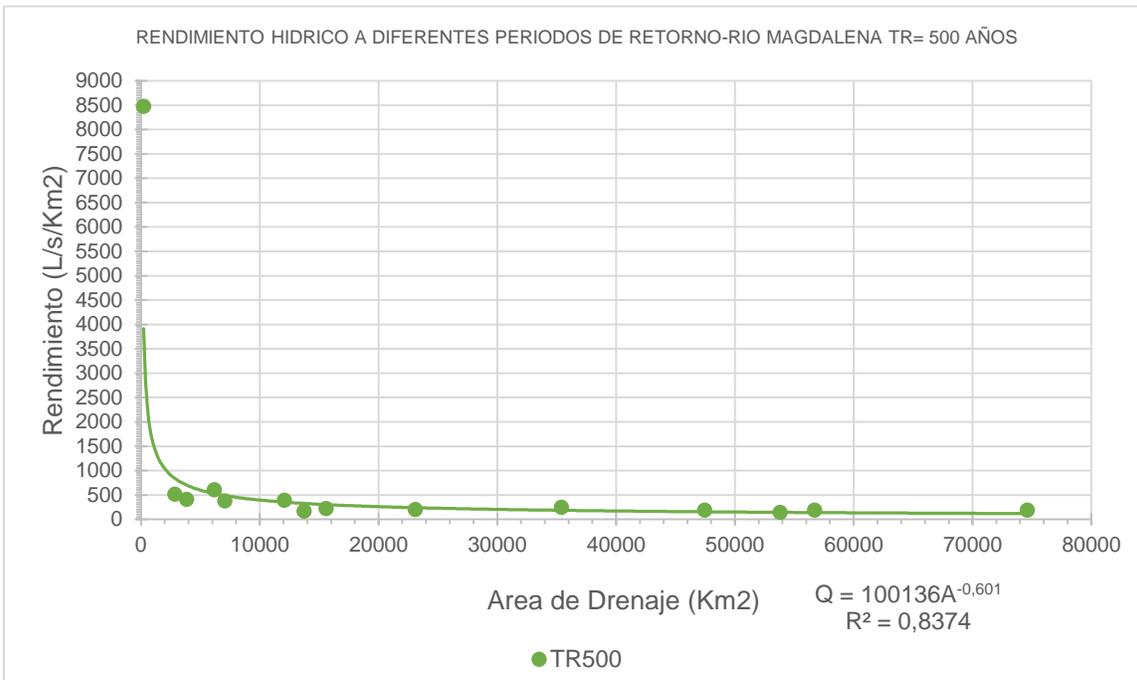


Tabla 27 (g). Áreas de drenaje y rendimientos de Caudales máximos a diferentes periodos de retorno TR=500 años.

Donde Q es el Caudal Máximo en m³/s y A es el área de drenaje aferente a cada estación de estudio en Km².

8.5.2 Curva de Caudal Máximo Instantáneo vs. Distancia.

La tabla 16 resume la información necesaria para la construcción de las curvas de Caudal Máximo vs. Distancia. La estación de El Banco fue excluida del estudio debido a la anomalía de los resultados que arrojo.

ESTACIONES			COORDENADAS		DISTANCIA	DISTRIBUCIÓN GEV METODO DE MOMENTOS PONDERADOS						
CODIGO	TE	ESTACION	X	Y	Km	Caudales máximos asociados a diferentes periodos de retorno (m3/s)						
LAGUNA DEL MAGDALENA						TR 2,33	TR 5	TR10	TR25	TR50	TR100	TR500
21017060	LG	LA MAGDALENA	732629	707261	29,6	494	597	703	874	1040	1230	1870
21017040	LG	SALADO BLANCO	777166	707203	103,22	965	1100	1190	1290	1340	1390	1480
21027010	LG	PERICONGO	801295	716395	131,2	1190	1340	1420	1490	1530	1550	1590
21047010	LG	PTE BALSEADERO	823579	738495	176,27	1460	1760	2020	2370	2660	2970	3750
21077020	LG	PASO DEL COLEGIO	831026	764298	216,75	1920	2180	2340	2470	2540	2590	2670
21077030	LG	VICHECITO	840307	773506	272,0	3140	3610	3910	4220	4390	4540	4790
21097070	LG	PTE SANTANDER	864459	821409	327,33	1830	2160	2410	2700	2900	3080	3460
21097120	LG	LA ESPERANZA	857019	797452	354,3	1390	1600	1760	1940	2060	2170	2380
21137010	LG	PURIFICACION	903463	917218	439,23	2660	3240	3810	4670	5430	6310	8910
21137050	LG	ANGOSTURA	884898	873000	503,66	2350	2750	3080	3480	3780	4070	4740
21237010	LG	NARIÑO	914629	976190	598,59	3450	3930	4420	5180	5870	6680	9180
21237020	LG	ARRANCAPLUMAS	929512	1064648	721,26	3350	3830	4260	4900	5430	6020	7660
23037010	LG	PTO SALGAR	935086	1095977	764,09	4230	4890	5530	6490	7320	8270	11000
23097030	LG	PTO BERRIO	966549	1210229	908,55	5500	6730	7780	9190	10300	11400	14300
25027020	LG	EL BANCO	1012563	1486711	1262,3	6500	7150	7530	7870	8050	8190	8390
BOCAS DE CENIZA					1638,8							

Tabla 14. Distancia a nacimiento del río y Caudales máximos a diferentes periodos de retorno.



Se obtuvo,

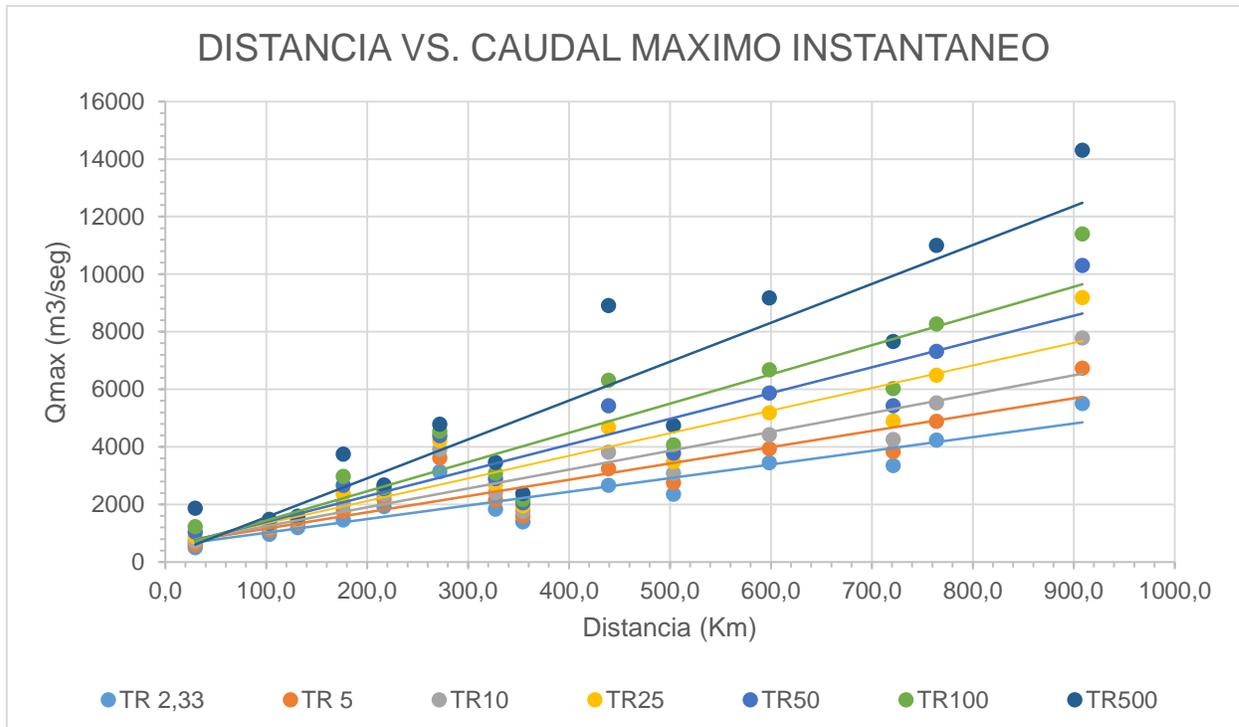


Figura 28. Curva distancia vs. Caudal máximo instantáneo de la cuenca del río Magdalena.

Se encontró, que el mejor ajuste del caudal máximo, para los diferentes periodos de retorno, en función a la distancia es el de tipo lineal, la tabla 17 muestra las ecuaciones que mejor se ajustan a la tendencia de los datos.



Periodo de Retorno	Ecuación Característica	R ²
TR 2,33	$Q = 4,7444d + 543,97$	0,8497
TR 5	$Q = 5,6645d + 592,9$	0,8234
TR 10	$Q = 6,5471d + 594,43$	0,8459
TR 25	$Q = 7,8522d + 551,04$	0,8514
TR 50	$Q = 8,9553d + 494,46$	0,8537
TR 100	$Q = 10,15d + 426,97$	0,8531
TR 500	$Q = 13,505d + 205,55$	0,8331

Tabla 15. Distancias y Caudales máximos a diferentes periodos de retorno.

Donde Q es el caudal máximo en m³/s y d la distancia desde el nacimiento del río a la estación estudiada en Km.



9. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- La metodología utilizada para la creación de las curvas de rendimiento de Caudales Máximos a diferentes periodos de retorno, consistió en llevar a cabo el siguiente procedimiento:
 1. Se realizó una revisión bibliográfica de los aspectos más importantes para la elaboración del estudio realizado.
 2. Se recopiló información estadística de 15 estaciones Limnigráficas ubicadas sobre el río Magdalena.
 3. Se realizó un ajuste de los caudales en el programa HYFRAN teniendo en cuenta diferentes distribuciones de probabilidad, con el fin de predecir los valores de caudales máximos instantáneos a diferentes periodos de retorno.
 4. Se predijo el comportamiento de los caudales en estudio teniendo en cuenta el test chi-cuadrado.
 5. Se determinaron las áreas de drenaje procesando un modelo digital de terreno de Colombia en el programa HydroSig 4.0.
 6. Se obtuvo la distancia de cada estación teniendo como origen el nacimiento del río, siguiendo el cauce del mismo.
 7. Se calcularon los caudales específicos y unitarios.
 8. Finalmente, se graficaron los resultados en el programa Microsoft Excel para obtener el objeto principal del estudio.
- Con base al análisis realizado, la distribución de probabilidad que mejor se ajusta a la cuenca del Magdalena es la distribución hidrológica GEV (método de momentos ponderados) debido a que fue la que mejor asimiló el comportamiento de los datos con un valor promedio de 2.43 y una desviación estándar de 1.941, cabe resaltar que se pueden utilizar las distribuciones de probabilidad PEARSON TIPO III (Método de momentos) y LOG-PEARSON TIPO (Método Sam) cuyas desviaciones estándar fueron 2.187 y 2.152



respectivamente, bastante cercanas a la distribución probabilística que mejor se ajustó.

- Se determinaron las áreas de drenaje aferentes a cada una de las estaciones de estudio y se corroboraron las mismas con aquellas encontradas en el Anuario Hidrológico.
- Se calcularon las distancias del nacimiento del río a cada una de las estaciones estudiadas.
- Se estableció con la función GEV método de momentos ponderados los parámetros (k , μ y α) y los caudales máximos instantáneos a diferentes periodos de retorno, con los que se construyeron las curvas de rendimiento hídrico del río Magdalena.
- Se determinaron las ecuaciones características de cada uno de los caudales máximos instantáneos a diferentes periodos de retorno, para las curvas de rendimiento hídrico Q vs A y Q vs d .
- Se calcularon los rendimientos hídricos en $L/s/Km^2$ para cada una de las estaciones estudiadas a diferentes periodos de retorno.
- Para próximas investigaciones se recomienda trabajar el área del bajo Magdalena, que es quizás la sección más importante del río por su navegabilidad.
- Se recomienda realizar estudios similares al canal del dique, brazo de gran importancia para la ciudad y muchas poblaciones de Bolívar.
- Se recomienda a las instituciones gubernamentales el instalar más estaciones de medición en los sistemas fluviales del país, pues estas sirven para generar estudios de gran importancia para la prevención de desastres y ordenamiento de tierras.



10. BIBLIOGRAFIA

- APARICIO, Francisco. Fundamentos de hidrología de superficie. 9 ed. México D. F: Grupo Noriega, 2001. P. 252 – 255, 258 – 261, 263 – 264, 270 – 272.
- CASTILLO, I. Hydrological Frequency Analysis (HYFRAN). Recuperado el 30 de enero de 2008. Disponible en internet:
<<http://aguaingenieria.blogspot.com/2008/01/hydrological-frequencyanalysis.html>>.
- AGUILERA, María Alejandra. Estimación de funciones de distribución de probabilidad, para caudales máximos, en la región del Maule, Talca-Chile, 2007.
- CORMAGDALENA-IDEAM, Estudio ambiental de la cuenca Magdalena-Cauca y elementos para su ordenamiento territorial. Informe final, Bogotá, 2001.
- CORMAGDALENA-IDEAM, Atlas cuenca del río Magdalena. Versión final, Bogotá.
- CHEREQUE, Wendor. HIDROLOGIA para estudiantes de ingeniería civil. Pontificia Universidad Católica de Perú. Lima-Perú. pág. 175.
- CONSORCIO CONSULTORIA CONCESIONES VIALES COLOMBIA, Estudio de Hidrología, Hidrometeorología, Hidráulica y Socavación Variante Flandes. Anexo 5. 2013.
- CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL VALLE DEL CAUCA, Caudales específicos para las cuencas en el departamento del Valle del Cauca. Grupo de gestión y apoyo a la ingeniería agrícola de Colombia. Santiago de Cali. 2007.
- CELY, William Leonardo. TANGUA, Mayra Alejandra. Aplicación de HIDROSIG para el cálculo del balance hídrico en la cuenca superior del río Lebrija. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga, 2011.