



**FG MINING GROUP CORPORATION CI LTDA
TITULO MINERO IDH-08171**



Vista general del río Bugalagrande. Google Earth

Planta actual tramo extracción generada por Drone

**ESTUDIOS HIDROLÓGICOS, HIDRÁULICOS Y DE TRANSPORTE DE SEDIMENTOS
DEL RÍO BUGALAGRANDE, PARA EXTRACCIÓN DE MATERIALES DEL CAUCE,
MUNICIPIO DE ANDALUCÍA, DEPARTAMENTO DEL VALLE DEL CAUCA**

INFORME FINAL

Bogotá, Febrero 09 de 2019

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
TABLA DE CONTENIDO	2
LISTA DE FIGURAS	4
LISTA DE TABLAS	5
1. ALCANCE GENERAL	7
2. INFORMACIÓN BASICA	8
2.1 CARTOGRAFÍA	8
2.2 FOTOGRAFÍAS AÉREAS	8
2.3 CLIMATOLOGÍA E HIDROLOGÍA	9
3. TRABAJOS DE CAMPO	9
3.1 TOPOGRAFÍA Y BATIMETRÍA	9
4. ANÁLISIS GENERAL DE LA DINÁMICA FLUVIAL DEL RÍO BUGALAGRANDE, SEGÚN LA MULTITEMPORANEIDAD DE SUS ORILLAS.	10
5. ESTUDIO HIDROLÓGICO	12
5.1 GENERALIDADES	12
5.2 ANÁLISIS DE PRECIPITACIONES	12
	13
5.3 ANÁLISIS DE CAUDALES MEDIOS	14
5.4 ANÁLISIS DE LOS CAUDALES MÁXIMOS INSTANTÁNEOS	15
6. ESTUDIO HIDRÁULICO	21

6.1	OBJETO	21
6.2	PARÁMETROS PARA LA CALIBRACIÓN DE LA MODELACIÓN HIDRÁULICA	22
6.3	MODELACIÓN HIDRÁULICA UNIDIMENSIONAL. PROGRAMA HEC RAS.	23
7.	CAPACIDAD DE TRANSPORTE DE SEDIMENTOS EN EL LECHO DEL RÍO BUGALAGRANDE	30
7.1	OBJETO	30
7.2	CAUDAL DOMINANTE	30
7.3	CAPACIDAD DE TRANSPORTE DE SEDIMENTOS DEL RÍO BUGALAGRANDE	31
8.	CONCLUSIONES	40
8.1	DEL ANÁLISIS MULTITEMPORAL DE FOTOGRAFÍAS AÉREAS	40
8.2	DEL ESTUDIO HIDROLÓGICO	40
8.3	DEL ESTUDIO HIDRÁULICO	40
8.4	CAPACIDAD DE TRANSPORTE DE SEDIMENTOS EN EL LECHO DEL RÍO BUGALAGRANDE	41
9.	RECOMENDACIONES	41

LISTA DE FIGURAS

Pág.

Figura 1. Localización del tramo de extracción de materiales y bocatoma El Voladero del acueducto sobre el río Bugalagrande, conjuntamente con las estaciones climática e hidrológica de la CVC	6
Figura 2. Localización del tramo de extracción de materiales y bocatoma El Voladero del acueducto sobre el río Bugalagrande, conjuntamente con las estaciones climática e hidrológica de la CVC, sobre el mapa de subcuencas de la CVC	7
Figura 3. Cauce del río Bugalagrande en Febrero de 1957 y Febrero de 2017	10
Figura 4. Cauce del río Bugalagrande en Noviembre de 1979 y Febrero de 2017	11
Figura 5. Cauce del río Bugalagrande en Agosto de 1986 y Febrero de 2017	11
Figura 6. Análisis Multitemporal márgenes del río Bugalagrande entre los años 1957 y 2017	12
Figura 7. Distribución Precipitación Mensual Multianual Estación Venus.	13
Figura 8. Distribución Precipitación Máxima en 24 horas Mensual Multianual Estación Venus. Período 1971-2017	14
Figura 9. Distribución Mensual de los Caudales Medios del río Bugalagrande, Estación El Placer. Período 1976-2017	15
Figura 10. Frecuencia de la Ocurrencia de los Caudales Máximos Instantáneos Anuales en el río Bugalagrande Estación El Placer. Período 1977-2017	16
Figura 11. Distribución Temporal de los Caudales Máximos Mensuales Instantáneos del río Bugalagrande en la estación hidrométrica El Placer. Período 1976-2017	17
Figura 12. Gráfica de las Distribuciones de Probabilidad para los caudales máximos instantáneos del río Bugalagrande en la estación hidrométrica El Placer. Período 1977-2017	20
Figura 13. Caudales Máximos Instantáneos en el río Bugalagrande Estación El Placer, en función del Período de Retorno. Período 1977-2017	21
Figura 14. Planta de localización del área de extracción de materiales sobre el río Bugalagrande, del sitio de la bocatoma El Voladero y de la estación hidrométrica El Placer de la CVC	22
FIGURA 15. PLANTA TOPOGRÁFICA RÍO BUGALAGRANDE EN EL SITIO DEL PROYECTO Y LAS SECCIONES BATIMÉTRICAS APLICADAS EN EL MODELO HEC RAS.	27
FIGURA 16. PERFIL LONGITUDINAL DEL RÍO BUGALAGRANDE DEL HEC RAS PARA EL CAUDAL MÁXIMO DE 2 AÑOS DE RETORNO (CAUDAL DOMINANTE)	28
FIGURA 17. VELOCIDADES DEL FLUJO EN EL LECHO Y PAREDES A LO LARGO DEL RÍO BUGALAGRANDE, OBTENIDO DEL HEC RAS PARA EL CAUDAL MÁXIMO DE 2 AÑOS DE RETORNO (CAUDAL DOMINANTE)	29
FIGURA 18. SECCIÓN TRANSVERSAL TÍPICA DEL RÍO BUGALAGRANDE SEGÚN EL HEC RAS, CON DISTRIBUCIÓN DE LAS VELOCIDADES PARA EL CAUDAL MÁXIMO DE 2 AÑOS DE RETORNO (CAUDAL DOMINANTE)	29
FIGURA 19. CURVA GRANULOMÉTRICA REPRESENTATIVA DE LOS MATERIALES DEL LECHO DEL RÍO BUGALAGRANDE	32
FIGURA 20. DIÁMETROS INCIPIENTES DE MOVIMIENTO DE LOS MATERIALES DEL LECHO DEL RÍO BUGALAGRANDE. PROMEDIO DE LOS MÉTODOS DE LA FUERZA TRACTIVA, MEYER PETER AND MULLER Y EINSTEIN, PARA DIVERSOS CAUDALES	34
FIGURA 21. PORCENTAJE DEL MATERIAL DEL LECHO DEL RÍO BUGALAGRANDE CON MOVIMIENTO INCIPIENTE Y PARA DIVERSOS CAUDALES MÁXIMOS	35

FIGURA 22. CAPACIDAD DE TRANSPORTE DE ARRASTRE DEL LECHO POR EL MÉTODO DE MEYER PETER AND MULLER A LO LARGO DEL RÍO BUGALAGRANDE. CAUDAL DOMINANTE (2 AÑOS DE RETORNO).	37
FIGURA 23. CAPACIDAD DE TRANSPORTE DE ARRASTRE DEL LECHO POR EL MÉTODO DE MEYER PETER AND MULLER A LO LARGO DEL RÍO BUGALAGRANDE. CAUDAL MÁXIMO DE 100 AÑOS DE RETORNO.	38
FIGURA 24. CAPACIDAD DE TRANSPORTE DE ARRASTRE DEL LECHO POR EL MÉTODO DE MEYER PETER AND MULLER A LO LARGO DEL RÍO BUGALAGRANDE. CAUDALES MEDIOS MÁXIMOS MENSUALES. MULTIANUALES. PERÍODO 1976-2017. DOMINANTE (2 AÑOS DE RETORNO).	39

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Fotografías aéreas representativas en la bocatoma El Voladero	8
Tabla 2. Estación Pluviométrica	9
Tabla 3. Estaciones Hidrológicas Básicas	9
Tabla 4. Caudales Máximos Anuales Instantáneos históricos Estación El Placer de la CVC en el río Bugalagrande (m ³ /s).	17
Tabla 5. Error Estandar de los Caudales Máximos Instantáneos del río Bugalagrande, estación El Placer, generados por el programa del Water Resources.	18
Tabla 6. Caudales Máximos Instantáneos esperados en el río Bugalagrande, estación El Placer por diversas metodologías de distribución de probabilidades adecuadas para valores extremos. Período 1977-2017	19
Tabla 7. Caudales Máximos Instantáneos esperados en el río Bugalagrande Estación El Placer en función del Período de Retorno. Período 1977-2017 (m ³ /s)	21
Tabla 8. Resumen de algunos de los aforos líquidos en el río Bugalagrande Estación El Placer suministrados por la CVC	22
Tabla 9. Coeficientes de Rugosidad de Manning recomendados por la Hidráulica de Canales Abiertos de Ven Te Chow	24
Tabla 10. Método de Cowan aplicado al río Bugalagrande	25
Tabla 11. Resultados de la Modelación Hidráulica del río Bugalagrande para el caudal máximo de 2 años de retorno (Caudal dominante)	28
Tabla 12. Calibración Modelo Hec Ras con el aforo 9739 de la CVC	30
Tabla 13. Caudales Medios de los Máximos Mensuales Multianuales del río Bugalagrande (m ³ /s). Período 1976-2017	38

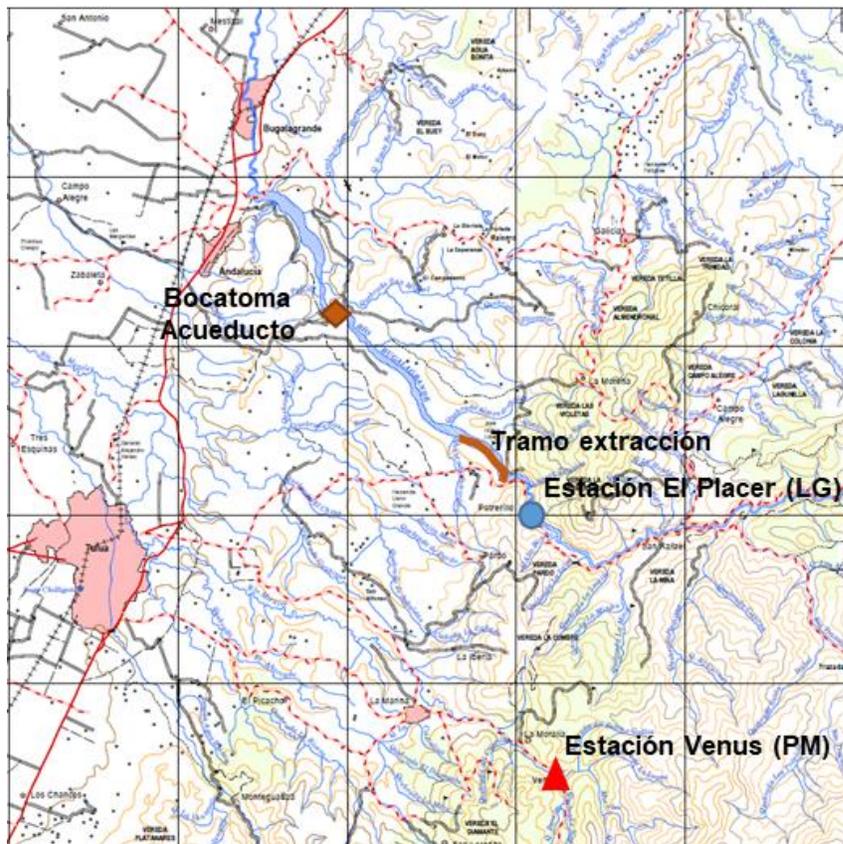
INTRODUCCIÓN

En desarrollo del Contrato IDH-081-71, cuyo objeto es: “Dar cumplimiento a la información adicional de la reunión de 12 de diciembre de 2018 del” municipio de Andalucía en el departamento del Valle del Cauca, Tectónica Consultores S.A.S., ejecutó para la CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL VALLE DEL CAUCA, los “Estudios Hidrológicos, Hidráulicos y de Transporte de Sedimentos del río Bugalagrande, para extracción de materiales del lecho, municipio de Andalucía, departamento del Valle del Cauca”.

Los estudios incluyen la conceptualización sobre posibles afectaciones en la estructura de la bocatoma El Voladero que capta en el río Bugalagrande, localizada 5 kms aguas abajo del tramo previsto para la extracción de los materiales del lecho, bocatoma construida en el año 1999 para abastecer los acueductos municipales de Andalucía y Bugalagrande. Para emitir dicha conceptualización, se efectuó un análisis multitemporal del comportamiento y evolución de las orillas del río Bugalagrande aguas arriba y abajo de la bocatoma, basado en fotografías aéreas del IGAC de tres (3) décadas.

La localización de la bocatoma El Voladero del acueducto y el tramo de extracción de los materiales del lecho sobre el río Bugalagrande, se presentan en el mapa de la **Figura 1**, conjuntamente con las estaciones limnigráfica (LG) y pluviométrica (PM) de la CVC.

Figura 1. Localización del tramo de extracción de materiales y bocatoma El Voladero del acueducto sobre el río Bugalagrande, conjuntamente con las estaciones climática e hidrológica de la CVC



Fuente: Plancha 261 escala 1:100.000 del IGAC, complementada por Tectónica Consultores S.A.S.

La bocatoma El Voladero del acueducto, el tramo de extracción de los materiales del lecho sobre el río Bugalagrande y las estaciones limnigráfica (LG) y pluviométrica (PM) de la CVC, se presentan en el mapa de la **Figura 2** donde se aprecian las subcuencas hidrográficas del río Bugalagrande,

destacando que el tramo de extracción se localiza en un sector de media a baja pendiente del río Bugalagrande.

Figura 2. Localización del tramo de extracción de materiales y bocatoma El Voladero del acueducto sobre el río Bugalagrande, conjuntamente con las estaciones climática e hidrológica de la CVC, sobre el mapa de subcuencas de la CVC



Fuente: Informe Final, Caudales específicos para las cuencas en el departamento del Valle del Cauca. CVC. Grupo de Recursos Hídricos. 2018.

1. ALCANCE GENERAL

El alcance general del presente estudio se basa en los siguientes aspectos básicos:

- Consulta y consecución de la información cartográfica, topográfica e hidroclimática relacionada con el objeto del estudio.
- Visita de campo y análisis interdisciplinario del sitio del proyecto.
- Análisis multitemporal de la dinámica fluvial de las márgenes del río Bugalagrande en el sector de la bocatoma El Voladero, para análisis de su estabilidad y referencia ante los procesos morfodinámicos generados en el cauce por la extracción de materiales 5 Kms aguas arriba.
- Análisis de Precipitaciones Medias y Máximas.

- Depuración de los caudales máximos y medios generando series representativas.
- Análisis de Caudales Medios y Máximos mediante distribución de probabilidades, para generación de las crecientes máximas del río Bugalagrande estación El Placer (LG), para los períodos de retorno de 2.33, 5, 10, 20, 50 y 100 años. Los caudales obtenidos en la estación El Placer se consideran iguales para el sitio de la extracción de materiales distante 2.5 Kms aguas abajo, sin presencia de afluentes importantes intermedios.
- Definición de la magnitud del caudal dominante del río Bugalagrande en la estación El Placer, para aplicación en el análisis de la capacidad de transporte de sedimentos del lecho.
- Modelación hidráulica con el programa unidimensional Hec Ras de crecientes máximas instantáneas de diversos períodos de retorno.
- Exploración de suelos del lecho del río Bugalagrande en el sector de la extracción de materiales, para obtención de las curvas granulométricas representativas de los materiales aluviales.
- 1del cauce como el análisis de la pendiente morfológicamente estable o de equilibrio en el evento de que predominen las arenas.
- Capacidad de transporte del lecho del río Bugalagrande. (Bed load transport).
- Informe final con los criterios básicos utilizados y los anexos correspondientes de tablas, cuadros, figuras, mapas, memorias de cálculo e información de la CVC entre otros.

2. INFORMACIÓN BASICA

Como información básica para la ejecución de la Consultoría, se recopiló la siguiente:

2.1 CARTOGRAFÍA

Se utilizó básicamente la información del Instituto Geográfico “Agustín Codazzi” IGAC. Plancha 261 en escala 1:100.000.

2.2 FOTOGRAFÍAS AÉREAS

Para los análisis de multitemporales de las márgenes del río Bugalagrande en el sector de la bocatoma, se adquirieron al IGAC las fotografías aéreas descritas en la **Tabla 1**, donde se presentan además los vuelos y escalas aproximadas.

Tabla 1. Fotografías aéreas representativas en la bocatoma El Voladero

Vuelo	Sobre No.	Año	Escala aproximada	Fotos Nos.
R-370	S-1720	Feb-05-1957	1: 20.000	135 y 136
R-588	S-2661	Feb-03-1964	1: 20.000	3331 y 3332
R-753	S-4596	Nov-08-1979	1: 32.000	163 y 164
C-2256	S-33559	Ago-13-1986	1: 34.000	85 y 86

Fuente: IGAC

2.3 CLIMATOLOGÍA E HIDROLOGÍA

En el área de estudio la CVC dispone de la estación pluviométrica Venus localizada al sur del sitio de extracción de materiales y distante 11 Kms, representativa para los análisis pluviales al ser la estación más cercana y con mejor récord histórico en su información, cuyas características se presentan en la **Tabla 2** y en el **Anexo 1** los registros históricos emitidos por la CVC.

Tabla 2. Estación Pluviométrica

TIPO	ESTACIÓN	CORRIENTE	DEPTO.	MUNICIPIO	COORD.	ELEV. (msnm)	F. INST F. SUSP	CODIGO
PM	Venus	Río Morales	Valle del Cauca	Tuluá	937278.3N 1111149.71E	1,560	1971-02 Vigente	2614200101

Fuente: CVC

PM = Pluviómetro

En el tramo en estudio del río Bugalagrande la CVC dispone de la estación hidrológica El Placer dotada de limnígrafo, que permite conocer niveles y caudales instantáneos, se localiza aproximadamente 2.5 Kms aguas arriba del sitio de la extracción de materiales sobre el mismo río, en un puente vial, cuyas características se presentan en la **Tabla 3**. Los registros históricos de los caudales emitidos por la CVC se adjuntan en el **Anexo 2**.

Tabla 3. Estaciones Hidrológicas Básicas

ESTACIÓN	CORRIENTE	DEPARTAMENTO	ELEVACIÓN	ÁREA*	TIPO	REGISTRO HISTÓRICO	CODIGO
			(msnm)	(Km ²)			
El Placer	Río Bugalagrande	Valle del Cauca	1,089	648	LG	1976-2017	2614400403

* Área según el IDEAM

LG = Limnigráfica

2.3.1 AFOROS LÍQUIDOS ADQUIRIDOS A LA CVC

Para conocer el comportamiento de diversos parámetros dinámicos del río Bugalagrande con relación a los caudales, que permitan realizar la calibración de la modelación hidráulica en el tramo previsto para la extracción de materiales, se adquirieron a la CVC el resumen de los aforos líquidos históricos de la estación El Placer, algunos de los cuales se presentan en el **Anexo 3**, que por su cercanía al sitio del proyecto distante tan solo 2.5 Kms aguas arriba, sus parámetros dinámicos aplican en orden de magnitud al sitio de extracción de materiales.

3. TRABAJOS DE CAMPO

Los trabajos de campo ejecutados en la ribera del río Bugalagrande para la realización de los análisis de transporte de sedimentos para extracción de los mismos, comprendieron los siguientes aspectos:

3.1 TOPOGRAFÍA Y BATIMETRÍA

Desarrollo de una topografía y batimetría detallada en una longitud aproximada de 2,300 m, cubriendo el ancho del corredor de divagación morfológica del río Bugalagrande y parte del área de los taludes en ambas márgenes; de esta información se generaron 22 secciones transversales con anchos desde 350 hasta 700 m y una separación promedio de 100 m. Este modelo topográfico permitió evaluar el tránsito de los caudales máximos a lo largo del tramo, con sus desbordes en las terrazas laterales y los niveles máximos esperados.

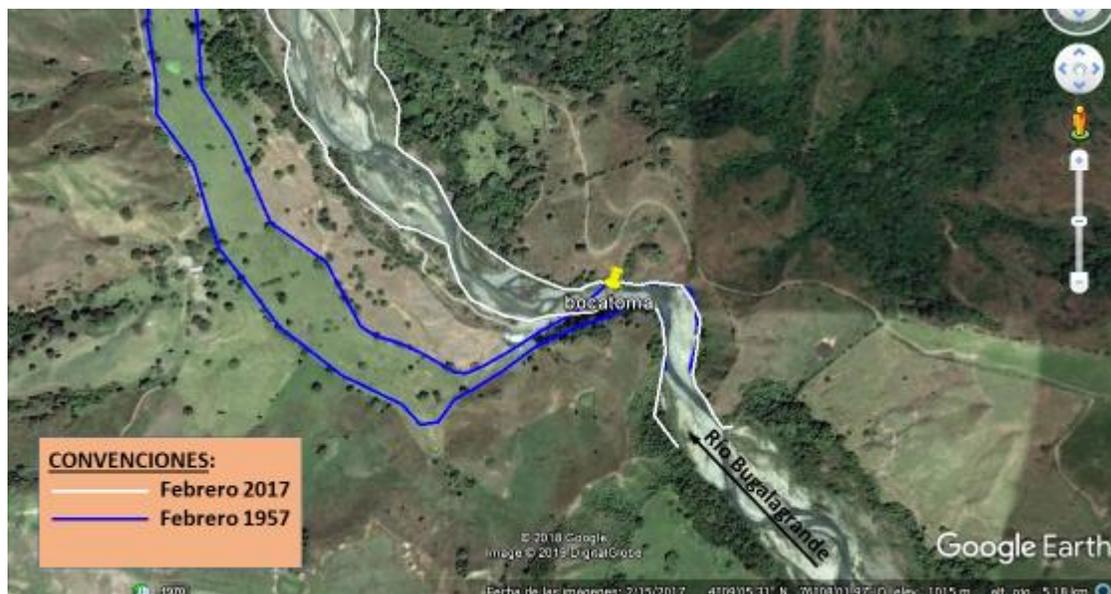
4. ANÁLISIS GENERAL DE LA DINÁMICA FLUVIAL DEL RÍO BUGALAGRANDE, SEGÚN LA MULTITEMPORANEIDAD DE SUS ORILLAS.

Para conocer la dinámica fluvial del cauce del río Bugalagrande en el sector de la bocatoma, se realizó un análisis multitemporal de las orillas basado en la información aerofotogramétrica de los vuelos disponibles en el IGAC de los años 1957, 1979, 1986 y 2017 (Google Earth), los que se dibujaron en una sola escala para que fueran comparables. Las fotografías aéreas adquiridas al IGAC se adjuntan en el **Anexo 4**.

En la Figura 3, Figura 4 y Figura 5 se presentan las orillas del río para los años 1957, 1979 y 1986 respectivamente, mientras que en la Figura 6 se observa la extraída del Google Earth año 1917. Para el análisis conjunto en la Figura 6 se presentan todas las orillas, donde se aprecia que aguas arriba de la bocatoma son estables, mientras que hacia aguas abajo en febrero de 1957 el río discurría desplazado hacia el occidente 340 m del eje actual y posteriormente migró hacia el oriente hasta el estado actual.

Lo anterior indica que el corredor del río Bugalagrande aguas abajo de la bocatoma posee un ancho activo morfológico de divagación medio del orden de 500 m, cuyo cauce se ubica dependiendo de la pendiente de equilibrio morfológico, lo que lo caracteriza como un cauce inestable. Aunque la bocatoma fue construida en el año 1999 incrementando la estabilidad del tramo del río, aún sin esta estructura las orillas hacia aguas arriba se han mantenido estables.

Figura 3. Cauce del río Bugalagrande en Febrero de 1957 y Febrero de 2017



Fuente: IGAC, fotos Febrero 1957, números 135 y 136 y Google Earth Febrero 2017.

Figura 4. Cauce del río Bugalagrande en Noviembre de 1979 y Febrero de 2017



Fuente: IGAC, fotos Noviembre 1979, números 163 y 164 y Google Earth Febrero 2017.

Figura 5. Cauce del río Bugalagrande en Agosto de 1986 y Febrero de 2017



Fuente: IGAC, fotos Agosto 1986, números 85 y 86 y Google Earth Febrero 2017.

Figura 6. Análisis Multitemporal márgenes del río Bugalagrande entre los años 1957 y 2017



Fuente: Aerofotografías del IGAC y Google Earth.

5. ESTUDIO HIDROLÓGICO

5.1 GENERALIDADES

El estudio hidrológico comprende básicamente la generación de caudales máximos instantáneos en la estación limnigráfica El Placer sobre el río Bugalagrande, localizada 2.5 Kms aguas arriba del sitio previsto para extracción de materiales, basado en los análisis estadísticos de las distribuciones adecuadas para valores extremos, estableciendo las magnitudes de las crecientes máximas esperadas en diversos períodos de retorno. Adicionalmente, se presentan las distribuciones temporales a lo largo del año de las precipitaciones y caudales en las estaciones representativas.

5.2 ANÁLISIS DE PRECIPITACIONES

5.2.1 PRECIPITACIONES MEDIAS

Es un proceso mediante el cual el agua cae a la superficie y su formación requiere la elevación de una masa de agua en la atmosfera de tal manera que se enfríe y parte de su humedad se condense, siendo uno de los componentes principales del balance hídrico, por aportar el agua que alimenta la red de drenaje tanto superficial como subterránea (Marín, 2002)¹. Se presentan principalmente tres factores que originan la lluvia en el área:

Factores de Tipo Convectivo: Son causados principalmente por el fuerte calentamiento de la superficie terrestre debido a la radiación solar, generalmente en días de poca nubosidad y alto contenido de humedad en la atmosfera, de manera que la cantidad de lluvia es alta y localizada.

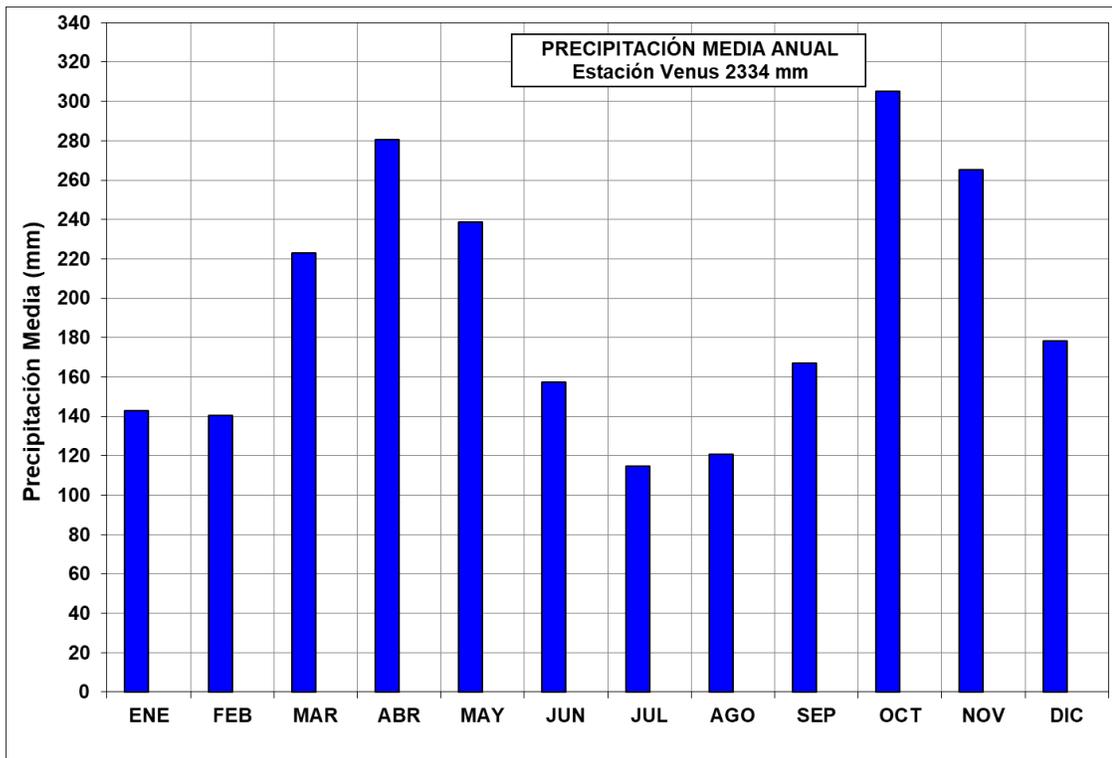
¹Marín, R. (2002). Estadística sobre el recurso hídrico en Colombia. Bogotá: IDEAM.

Factores Tipo Orográfico: Este tipo de lluvia es originada por el ascenso de las masas de aire al encontrar obstáculos como las montañas. Esto ocurre en la vertiente oriental de la cordillera oriental a sotavento.

Vientos Alisios: Los vientos alisios según el área que afecten, se clasifican en vientos de superficie, locales de montaña, locales de valle o de altitud. El área donde convergen se llama zona de convergencia intertropical (ZCIT). La posición geográfica de Colombia, dentro de la ZCIT, es clasificada bajo la influencia de los vientos alisios de los dos hemisferios NE y SE. Estos se caracterizan por su sequedad, especialmente hacia el oriente del país.

El régimen pluviométrico en la estación Venus presenta una distribución de lluvias de tipo bimodal cuyo módulo mensual de precipitación media varía durante el año entre 118 y 320 mm, presentándose un período definido de precipitaciones medias máximas tal como se aprecia en la **Figura 7** entre los meses de Marzo a Mayo para el primer semestre y Octubre a Noviembre para el segundo, en tanto que las precipitaciones medias mínimas multianuales ocurren entre los meses de Julio a Agosto a mediados del año y entre Diciembre y Febrero.

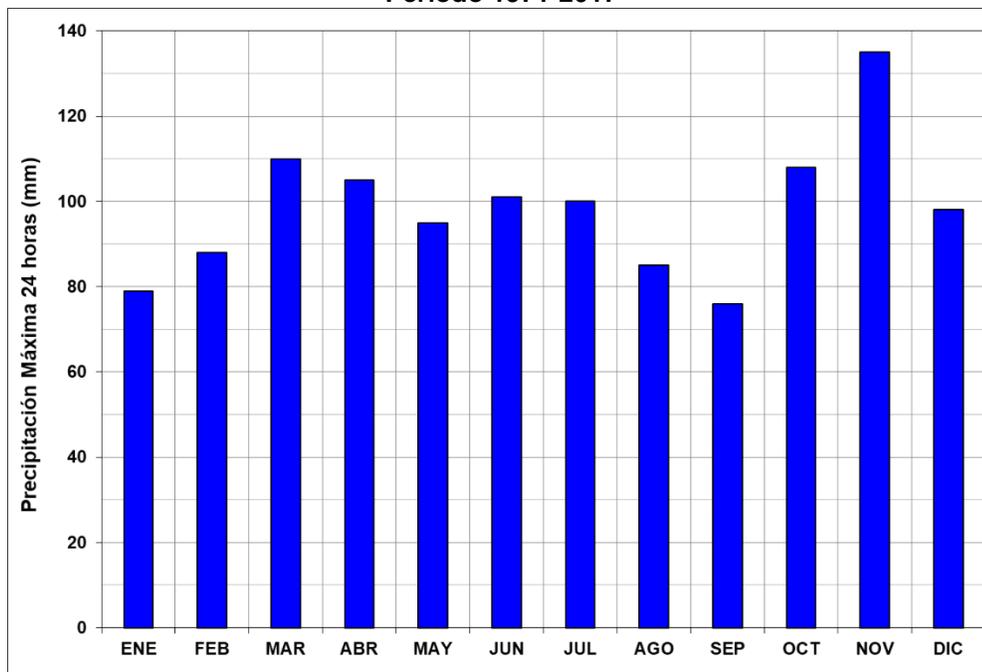
Figura 7. Distribución Precipitación Mensual Multianual Estación Venus. Período 1971-2017



5.2.2 PRECIPITACIONES MÁXIMAS EN 24 HORAS

El comportamiento de las precipitaciones máximas mensuales en 24 horas presentan una variación entre 76 y 136 mm, siendo los mayores valores en los meses de Marzo y Noviembre, en tanto que las precipitaciones máximas más bajas suelen ocurrir en los meses de Enero y Septiembre, tal como se aprecia en la **Figura 8**.

Figura 8. Distribución Precipitación Máxima en 24 horas Mensual Multianual Estación Venus. Período 1971-2017



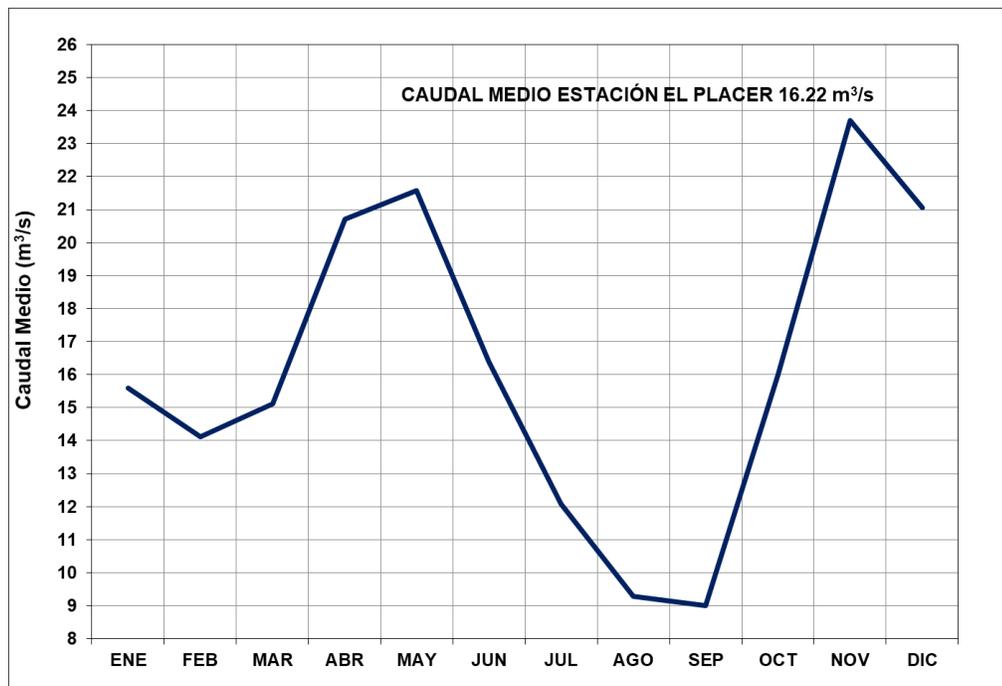
5.3 ANÁLISIS DE CAUDALES MEDIOS

Los caudales medios de la estación El Placer sobre el río Bugalagrande, fueron considerados iguales para el sitio de extracción de materiales 2.5 kms aguas abajo, al no haber aportes de afluentes significativos en el tramo.

5.3.1 DISTRIBUCIÓN MENSUAL DE LOS CAUDALES MEDIOS DEL RÍO LA VIEJA

La distribución de los caudales medios del Bugalagrande en la estación El Placer para el período de registro histórico 1976-2017 que se presenta en la **Figura 9**, es de tipo bimodal similar a las precipitaciones medias, con valores máximos en los meses de Abril y Mayo en el primer semestre y Noviembre en el segundo, en tanto que los mínimos son frecuentes en los meses de Julio a Septiembre a mediados del año y Enero a Marzo a comienzos del año, siendo el caudal medio multianual de 16.22 m³/s.

Figura 9. Distribución Mensual de los Caudales Medios del río Bugalagrande, Estación El Placer. Período 1976-2017



5.4 ANÁLISIS DE LOS CAUDALES MÁXIMOS INSTANTÁNEOS

Los caudales máximos del río Bugalagrande en la estación El Placer, se evaluaron y depuraron previamente los que fueron aplicados posteriormente en el análisis de distribución de probabilidades para valores extremos, para generar las crecientes máximas esperadas en diversos años de retorno, criterios expuestos en este Capítulo.

5.4.1 HOMOGENEIZACIÓN DE LAS SERIES DE CAUDALES MÁXIMOS INSTANTÁNEOS ANUALES

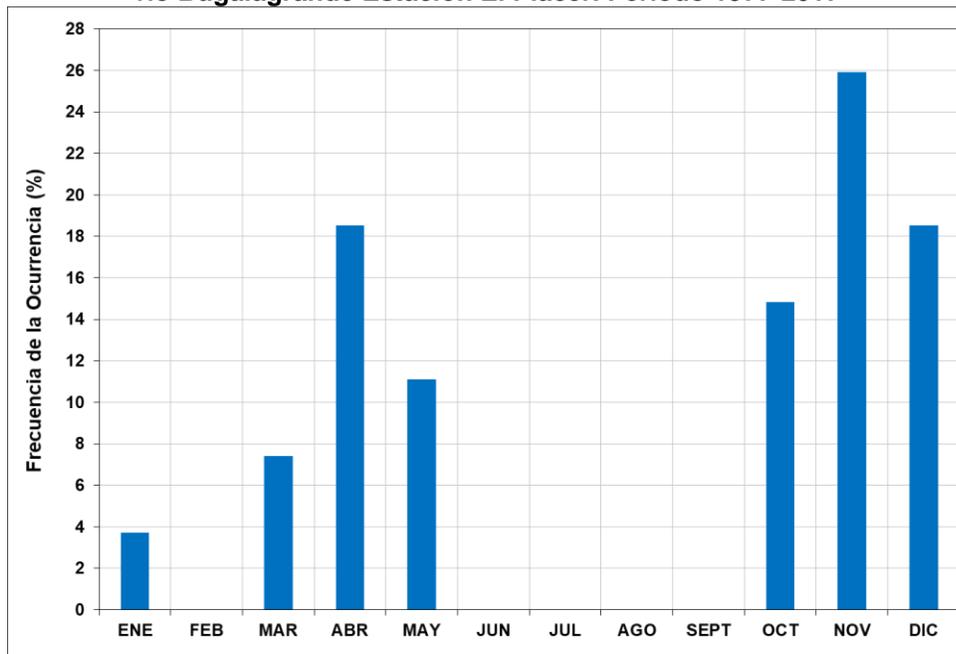
En la estación El Placer sobre el río Bugalagrande, para definir la serie de los caudales máximos anuales dado que muchos de los años de registro poseen meses incompletos o faltantes, para no desprestigiar esta información se fijaron los siguientes criterios:

- Se consideraron inicialmente los caudales máximos de años completos.
- Se identifican los meses en los cuales han ocurrido los caudales máximos de años completos.
- Se involucra el caudal máximo de toda la serie, aunque el año correspondiente posea meses incompletos o faltantes.

- Para los años con registro incompleto o faltante, si estos pertenecen a alguno de los meses donde han ocurrido los caudales máximos de años completos, no se considera el caudal máximo anual, en caso contrario se tiene en cuenta, siempre y cuando no sean más de dos meses los faltantes.
- Una vez se tengan seleccionados los caudales máximos según los criterios anteriores, se halla el promedio y se involucran adicionalmente aquellos caudales máximos de años incompletos o faltantes que sean superiores a dicho promedio, cuando no sean más de dos meses los faltantes. De esta forma se tienen en cuenta caudales que probablemente estén muy cerca del valor máximo real, ya que aún incompletos son superiores a los años anteriores.
- A criterio y dependiendo del número de años disponibles en la serie anual, se incluyen aquellos años incompletos un tanto por debajo del promedio.

Según los 27 años completos en la estación, los caudales máximos anuales son más frecuentes de ocurrir en los meses de Abril y Noviembre, un tanto menor en los meses de Enero y Marzo y nulos entre los meses Junio a Septiembre y en Febrero, como se aprecia en la **Figura 10** que sirvió de apoyo para la homogeneización antes descrita.

Figura 10. Frecuencia de la Ocurrencia de los Caudales Máximos Instantáneos Anuales en el río Bugalagrande Estación El Placer. Período 1977-2017



Bajo estos criterios se logró extender la serie a un período de 32 años de caudales máximos instantáneos anuales en la estación El Placer, los que se presentan en la **Tabla 4**.

Tabla 4. Caudales Máximos Anuales Instantáneos históricos Estación El Placer de la CVC en el río Bugalagrande (m³/s).

Año	Caudal (m ³ /s)	Año	Caudal (m ³ /s)
1977	40.2	2002	74.6
1978	73.9	2003	112.2
1979	96.8	2004	70.8
1981	81.2	2005	70.8
1983	74.8	2006	112.2
1984	81.8	2007	104.8
1986	59.2	2008	134.6
1988	96.8	2009	233.2
1989	107.9	2010	200.0
1991	42.6	2011	180.0
1992	32.4	2012	118.1
1994	114.5	2013	115.4
1995	85.7	2014	71.6
1996	85.8	2015	35.7
1997	82.5	2016	51.0
2001	61.6	2017	301.3
Caudal Máximo Instantáneo			301.3
Caudal Promedio de los máximos anuales			100.1
Caudal máximo de año incompleto confiable			

5.4.2 DISTRIBUCIÓN TEMPORAL DE LOS CAUDALES MÁXIMOS DEL RÍO BUGALAGRANDE

La distribución de los caudales máximos mensuales instantáneos multianuales del río Bugalagrande en la estación hidrométrica El Placer, se presenta en la **Figura 11**, donde se aprecia en forma general que los valores máximos suelen ocurrir en los meses de Marzo y Noviembre y los menores en el período de verano entre Julio y Septiembre a mediados del año.

Figura 11. Distribución Temporal de los Caudales Máximos Mensuales Instantáneos del río Bugalagrande en la estación hidrométrica El Placer. Período 1976-2017



5.4.3 DISTRIBUCIÓN DE PROBABILIDAD DE LOS CAUDALES MÁXIMOS ANUALES INSTANTÁNEOS DEL RÍO LA VIEJA EN LA ESTACIÓN ALAMBRADO EL AUTOMÁTICO.

Este análisis se basó considerando la serie homogeneizada de caudales máximos anuales instantáneos, aplicando diversas metodologías adecuadas para valores extremos con base en el modelo de Frequency and Risk Analyses in Hydrology de G.W. Kite del Water Resources y en otros modelos realizados por el Consultor.

El modelo se basa en el análisis probabilístico de las series anuales de valores máximos o mínimos, a partir de diversos métodos entre los cuales se destacan: la Distribución normal, Distribución Log Normal de 2 Parámetros, Distribución Log Normal de 3 Parámetros, Distribución Type I Extremal o de Gumbel, Distribución Pearson Type III, Distribución Log-Pearson Type III y la Distribución Type III External, efectuando el proceso para el método por momentos.

El programa selecciona el tipo adecuado de distribución, determinando inicialmente los períodos de retorno para la serie histórica como el inverso de la probabilidad de ocurrencia de un evento, probabilidad que se halla ordenando la serie en forma descendente y para el número de orden con relación al número total de datos se asigna una probabilidad a cada valor mediante la relación m/N , siendo "m" el número de orden y "N" el total de datos.

Luego se calcula la probabilidad teórica para cada distribución y los límites de confianza superior e inferior con un nivel de significancia del 95%, los cuales se aplican para datos distribuidos normalmente utilizando la distribución no central; el programa plotea las gráficas de cada distribución con los puntos de distribución asignada y los límites de confianza; para determinar cuál de las distribuciones es la adecuada, el programa estima el error estándar para cada distribución como una medida de la desviación estándar de las magnitudes de eventos calculadas mediante muestras con respecto a la magnitud verdadera del evento; con el error estándar y las propiedades de cada distribución con relación al coeficiente de sesgo de la serie, se escoge el tipo de distribución de la serie de eventos extremos.

En la

Tabla 5 se presenta el error estándar de la serie histórica de caudales máximos instantáneos de 1977 a 2017 del río Bugalagrande en la estación El Placer, para los diferentes métodos de distribución adecuados para valores extremos, donde se aprecia que la distribución Type I Extremal de Gumbel, es la de menor error, a excepción de la normal no común para valores máximos.

TABLA 5. ERROR ESTANDAR DE LOS CAUDALES MÁXIMOS INSTANTÁNEOS DEL RÍO BUGALAGRANDE, ESTACIÓN EL PLACER, GENERADOS POR EL PROGRAMA DEL WATER RESOURCES. PERÍODO 1977-2017

Standard Errors of Maximum Events using Different Distributions							
Return Period (years)	Sorted Recorded Event	Calculated Magnitudes					
		Truncated Normal	2 Param. Lognormal	3 Param. Lognormal	Type I Extremal	Pearson Type III	L-Pearson Type III
33.00E+00	30.13E+01	20.89E+01	22.84E+01	23.98E+01	20.44E+01	23.49E+01	23.64E+01
16.50E+00	23.32E+01	18.99E+01	19.34E+01	19.94E+01	17.85E+01	19.96E+01	19.61E+01
11.00E+00	20.00E+01	17.75E+01	17.33E+01	17.68E+01	16.30E+01	17.88E+01	17.39E+01
8.25E+00	18.00E+01	16.78E+01	15.93E+01	16.12E+01	15.19E+01	16.39E+01	15.87E+01
6.60E+00	13.46E+01	15.98E+01	14.84E+01	14.93E+01	14.31E+01	15.23E+01	14.71E+01
5.50E+00	11.81E+01	15.27E+01	13.95E+01	13.97E+01	13.57E+01	14.26E+01	13.78E+01
4.71E+00	11.54E+01	14.64E+01	13.19E+01	13.16E+01	12.94E+01	13.44E+01	12.99E+01
4.13E+00	11.45E+01	14.06E+01	12.53E+01	12.46E+01	12.39E+01	12.72E+01	12.32E+01
3.67E+00	11.22E+01	13.51E+01	11.94E+01	11.84E+01	11.88E+01	12.08E+01	11.72E+01
3.30E+00	11.22E+01	13.00E+01	11.41E+01	11.29E+01	11.42E+01	11.50E+01	11.19E+01
3.00E+00	10.79E+01	12.50E+01	10.93E+01	10.79E+01	11.00E+01	10.97E+01	10.71E+01
2.75E+00	10.48E+01	12.03E+01	10.48E+01	10.33E+01	10.60E+01	10.48E+01	10.26E+01
2.54E+00	96.80E+00	11.57E+01	10.07E+01	99.02E+00	10.22E+01	10.02E+01	98.54E+00
2.36E+00	96.75E+00	11.12E+01	96.75E+00	95.04E+00	98.68E+00	95.92E+00	94.71E+00
2.20E+00	85.80E+00	10.67E+01	93.04E+00	91.30E+00	95.25E+00	91.87E+00	91.10E+00
2.06E+00	85.65E+00	10.23E+01	89.50E+00	87.76E+00	91.95E+00	88.03E+00	87.68E+00
1.94E+00	82.50E+00	97.93E+00	86.12E+00	84.39E+00	88.75E+00	84.36E+00	84.43E+00
1.83E+00	81.80E+00	93.52E+00	82.84E+00	81.15E+00	85.62E+00	80.84E+00	81.30E+00
1.74E+00	81.20E+00	89.07E+00	79.67E+00	78.03E+00	82.55E+00	77.44E+00	78.28E+00
1.65E+00	74.80E+00	84.56E+00	76.56E+00	75.01E+00	79.51E+00	74.15E+00	75.34E+00
1.57E+00	74.64E+00	79.94E+00	73.52E+00	72.05E+00	76.49E+00	70.94E+00	72.47E+00
1.50E+00	73.90E+00	75.19E+00	70.51E+00	69.16E+00	73.47E+00	67.81E+00	69.65E+00
1.43E+00	71.62E+00	70.27E+00	67.52E+00	66.30E+00	70.42E+00	64.74E+00	66.86E+00
1.38E+00	70.80E+00	65.11E+00	64.53E+00	63.47E+00	67.32E+00	61.71E+00	64.08E+00
1.32E+00	70.80E+00	59.67E+00	61.51E+00	60.63E+00	64.14E+00	58.70E+00	61.29E+00
1.27E+00	61.64E+00	53.84E+00	58.44E+00	57.76E+00	60.84E+00	55.70E+00	58.46E+00
1.22E+00	59.20E+00	47.49E+00	55.27E+00	54.83E+00	57.37E+00	52.68E+00	55.56E+00
1.18E+00	50.96E+00	40.45E+00	51.95E+00	51.79E+00	53.65E+00	49.62E+00	52.53E+00
1.14E+00	42.55E+00	32.39E+00	48.40E+00	48.57E+00	49.55E+00	46.46E+00	49.30E+00
1.10E+00	40.20E+00	22.75E+00	44.46E+00	45.05E+00	44.87E+00	43.16E+00	45.74E+00
1.06E+00	35.66E+00	10.32E+00	39.86E+00	41.00E+00	39.15E+00	39.60E+00	41.59E+00
1.03E+00	32.40E+00	0.00E+00	33.75E+00	35.75E+00	31.06E+00	35.52E+00	36.10E+00
Standard Errors of Estimate							
		25.60E+00	17.23E+00	15.12E+00	22.12E+00	16.11E+00	15.78E+00

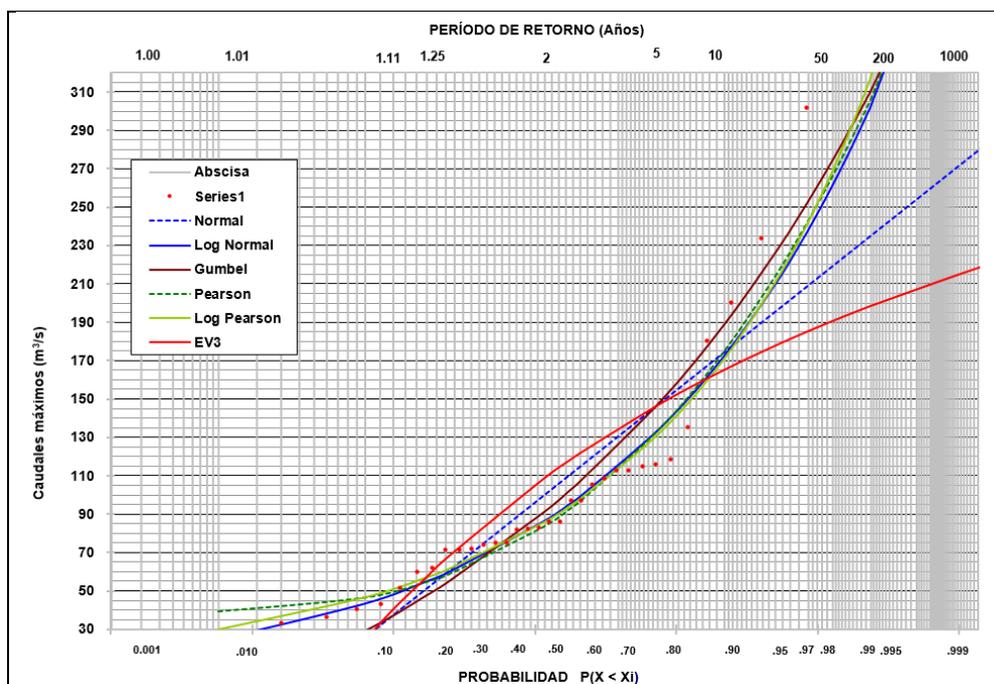
Para la serie histórica depurada de 32 años de caudales máximos anuales instantáneos del río Bugalagrande en la estación El Placer, la distribución de mejor ajuste es Log Pearson 3. Para constatar se procesaron otras metodologías cuyos resultados se muestran en la

Tabla 6 y gráficamente en la **Figura 12**.

TABLA 6. CAUDALES MÁXIMOS INSTANTÁNEOS ESPERADOS EN EL RÍO BUGALAGRANDE, ESTACIÓN EL PLACER POR DIVERSAS METODOLOGÍAS DE DISTRIBUCIÓN DE PROBABILIDADES ADECUADAS PARA VALORES EXTREMOS. PERÍODO 1977-2017

Tr	NORMAL	GUMBEL	PEARSON	LOG- PEAR	LOG-NOR	EV3
años	cm	cm	cm	cm	cm	cm
2	100.1	91.2	83.6	85.8	86.7	108.9
2.33	110.5	102.2	92.5	94.0	95.4	118.1
2.5	114.8	107.0	96.6	97.7	99.3	121.8
5	148.9	149.9	136.0	133.7	136.2	148.2
10	174.4	188.8	174.9	170.8	172.5	165.2
50	219.1	274.2	266.1	268.7	261.3	190.6
55	221.4	279.2	271.6	275.2	266.8	191.8
60	223.4	283.8	276.6	281.1	271.9	192.8
65	225.3	287.9	281.2	286.7	276.7	193.8
70	227.0	291.8	285.5	291.8	281.1	194.6
75	228.5	295.4	289.5	296.7	285.2	195.4
80	230.0	298.8	293.2	301.3	289.0	196.1
85	231.3	301.9	296.7	305.7	292.7	196.8
90	232.6	304.9	300.0	309.8	296.1	197.4
95	233.8	307.7	303.1	313.8	299.4	198.0
100	234.9	310.4	306.1	317.5	302.5	198.5
1000	279.2	429.8	442.6	517.3	456.1	218.3
10000	315.6	549.0	584.6	790.8	639.4	232.4
chi 2	0.85	174.05	45.09	40.11	43.83	1234.95
Prueba F	0.65	0.93	0.39	0.31	0.36	0.54
R2	0.80	0.91	0.95	0.96	0.95	0.68

Figura 12. Gráfica de las Distribuciones de Probabilidad para los caudales máximos instantáneos del río Bugalagrande en la estación hidrométrica El Placer. Período 1977-2017



5.4.4 CAUDALES MÁXIMOS INSTANTÁNEOS EN FUNCIÓN DEL PERÍODO DE RETORNO

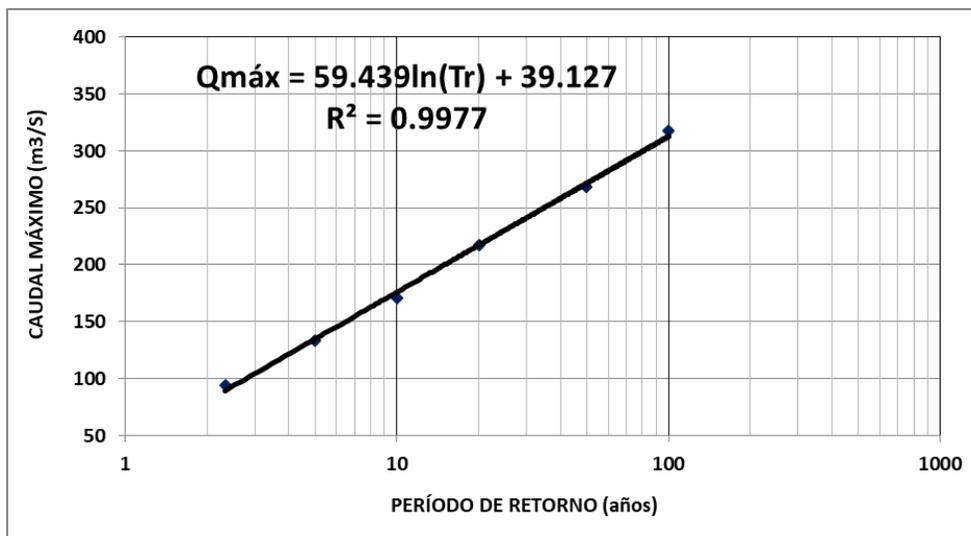
De los análisis de probabilidad anteriores, se deduce que la distribución Log Pearson es la de mejor ajuste según las pruebas de Chi cuadrado, la prueba F y el coeficiente de correlación, cuyos caudales máximos instantáneos esperados en función del período de retorno se presentan en la **Tabla 7**.

TABLA 7. CAUDALES MÁXIMOS INSTANTÁNEOS ESPERADOS EN EL RÍO BUGALAGRANDE ESTACIÓN EL PLACER EN FUNCIÓN DEL PERÍODO DE RETORNO. PERÍODO 1977-2017 (M³/s)

Estación	Corriente	Área (Km²)	Tipo	Número de años	Distribución de mejor ajuste	Período de Retorno (años)					
						2.33	5	10	20	50	100
El Placer	Bugalagrande	648	LG	32	Log Pearson	94.0	133.7	170.8	217.2	268.7	317.5

El caudal máximo histórico presentado en la estación El Placer del río Bugalagrande en Noviembre 2017 de 301.34 m³/s, posee un período de retorno del orden de 80 años. La ecuación de mejor ajuste es decir, Log Pearson se presenta en la **Figura 13**.

FIGURA 13. CAUDALES MÁXIMOS INSTANTÁNEOS EN EL RÍO BUGALAGRANDE ESTACIÓN EL PLACER, EN FUNCIÓN DEL PERÍODO DE RETORNO. PERÍODO 1977-2017

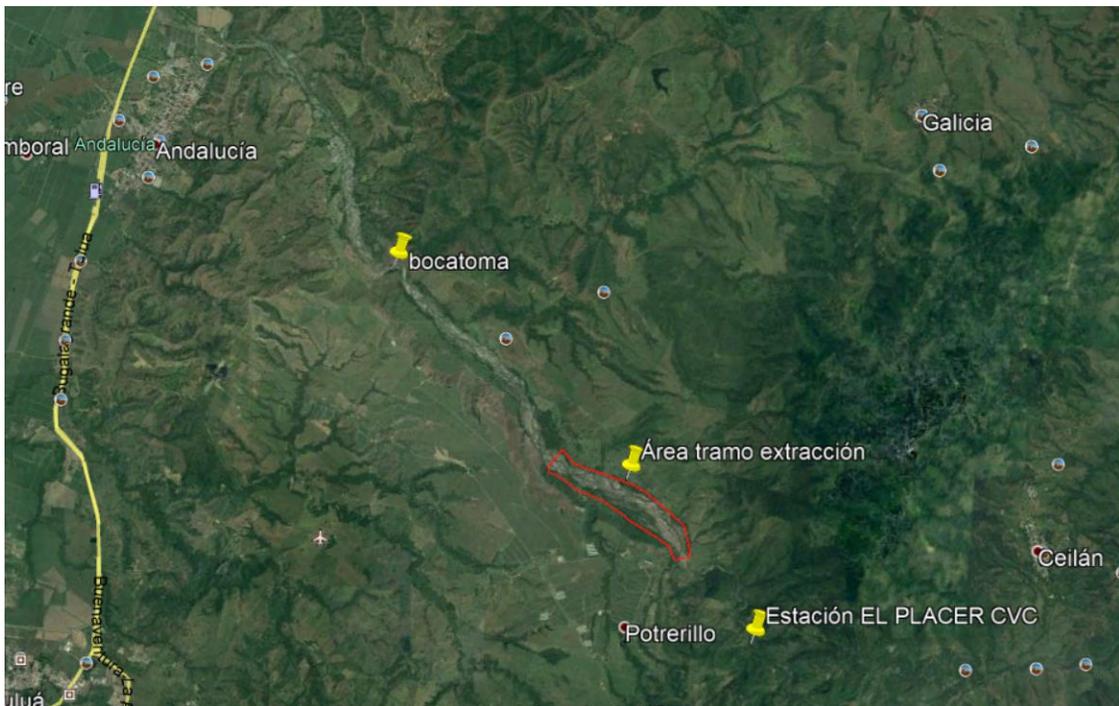


6. ESTUDIO HIDRÁULICO

6.1 OBJETO

El objeto de los estudios y análisis hidráulicos se basaron en la obtención de los parámetros geométricos e hidráulicos representativos para diversas crecientes máximas del río Bugalagrande en el sitio de extracción de materiales. En la **Figura 14**, se presenta la planta con localización del área de extracción, el sitio de la bocatoma El Voladero y la estación hidrométrica El Placer de la CVC.

FIGURA 14. PLANTA DE LOCALIZACIÓN DEL ÁREA DE EXTRACCIÓN DE MATERIALES SOBRE EL RÍO BUGALAGRANDE, DEL SITIO DE LA BOCATOMA EL VOLADERO Y DE LA ESTACIÓN HIDROMÉTRICA EL PLACER DE LA CVC



6.2 PARÁMETROS PARA LA CALIBRACIÓN DE LA MODELACIÓN HIDRÁULICA

Se disponen de aforos líquidos en la estación El Placer del río Bugalagrande entre los años 1993 y 2018, algunos de los cuales se presentan en **Tabla 8**, donde se destaca el número 9739 con el caudal de $64.72 \text{ m}^3/\text{s}$, máximo caudal aforado por la CVC y el que sirvió para la calibración del modelo Hec Ras.

TABLA 8. RESUMEN DE ALGUNOS DE LOS AFOROS LÍQUIDOS EN EL RÍO BUGALAGRANDE ESTACIÓN EL PLACER SUMINISTRADOS POR LA CVC



CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL VALLE DEL CAUCA
 Dirección Técnica Ambiental
 Grupo Recursos Hídricos - Red de Monitoreo

ESTACIÓN: BUGALAGRANDE - EL
 CÓDIGO: 2614400403
 CUENCA: Bugalagrande
 DEPARTAMENTO: Valle del Cauca
 MUNICIPIO: ANDALUCÍA
 CORREGIMIENTO: Pardo
 COORD. ESTE: 1110474.03
 COORD. NORTE: 944915.72
 ALTURA: 1088.93
 CATEGORÍA: Limnigráfica
 ENTIDAD: CVC
 FECHA INICIO: 01/07/1976

RESUMEN DE AFOROS LIQUIDOS

Nº AFORO	FECHA (dd/mm/yyyy)	ANCHO SECC.	PROF. MEDIA	AREA	VEL. MEDIA	NIVEL AFORO	CAUDAL (m³/s)	CAUDAL TABLA	METODO AFORO	MOLINET TIPO Nº	AFORADORES	PERIM MOJADO	RADIO HERRA	R *2/3	I/m	%	TABL	NIVEL TABLA	CORRECIÓN	OBSERVACIONES
9353	14/07/2008	20.50	0.81	16.04	1.94	0.79	32.35	30.55	SUSP.	f 1348	Roj-Har-Boni	22.12	0.75	0.83	2.35	-5.9	381	0.87	0.08	
9354	27/08/2008	17.80	0.62	11.1	1.38	0.49	15.34	15.80	SUSP.	f1 2002	Caicedo-Ruiz	18.14	0.58	0.7	1.99	2.9 %	381	0.48	-0.01	
9352	24/09/2008	16.30	0.45	8.72	1.4	0.7	12.25	15.40	SUSP.	f 1348	Rojas-Ortega	20.2	0.43	0.57	2.46	20.5	380	0.66	-0.04	
9355	16/10/2008	20.90	0.52	10.93	1.7	0.75	18.56	19.00	SUSP.	f1 2002	Cai-Cast-Góm	21.85	0.5	0.63	2.7	2.3 %	380	0.74	-0.01	
9444	21/05/2009	20.80	0.45	9.38	1.75	0.7	16.44	15.40	SUSP.	ui 93001	Agudelo-Rend	21.7	0.43	0.57	3.07	-6.8	380	0.71	0.01	
9445	29/08/2009	19.00	0.37	6.07	1.09	0.54	7.3	6.43	VADEO	f1 2002	Caicedo-Ruiz	18.74	0.38	0.5	2.18	-13.5	380	0.57	0.03	
9446	10/11/2009	20.20	0.52	10.3	1.55	0.71	15.95	16.12	SUSP.	ui 93001	Agudelo-Rend	21.03	0.49	0.62	2.49	1.1 %	380	0.71	-0	
9508	25/02/2010	18.30	0.35	6.48	0.87	0.52	5.83	5.89	VADEO	a 90016	Gómez-Velasco	19.01	0.34	0.49	1.79	4.5 %	380	0.51	-0.01	
9511	10/03/2010	18.10	0.3	5.45	0.87	0.48	4.74	4.97	VADEO	f 1348	Rojas-Ortega	18.7	0.29	0.44	1.98	4.6 %	380	0.47	-0.01	
9534	26/05/2010	19.50	0.45	8.79	1.65	0.75	14.5	19.00	SUSP.	f 1348	Rojas-Ortega	20.4	0.43	0.57	2.89	23.7	380	0.66	-0.06	
9553	21/07/2010	20.50	0.64	13.03	1.64	0.74	21.41	21.20	SUSP.	A 90016	Velasco-Ruiz	21.77	0.8	0.71	2.31	-1.0	379	0.75	0.01	
9575	25/08/2010	19.80	0.43	8.47	1.19	0.48	9.82	9.00	VADEO	F 1348	Rojas-Trujillo-Ruiz	20.48	0.41	0.58	2.09	-6.1	379	0.5	0.02	
9913	15/09/2010	18.50	0.5	9.18	1.28	0.5	11.71	10.00	SUSP.	UI 93300	Agudelo-Góm	19.49	0.47	0.61	2.11	-17.1	379	0.53	0.03	
9914	20/09/2010	18.50	0.83	11.94	1.44	0.64	16.72	17.00	SUSP.	A 90016	Velasco-Ruiz	19.78	0.59	0.7	2.04	1.6 %	379	0.83	-0.01	
9711	17/02/2011	20.50	0.77	15.8	2.03	0.9	32.12	30.00	SUSP.	F 1348	Rojas-Ortega	22.04	0.72	0.8	2.54	-7.1	379	0.93	0.03	
9725	17/03/2011	20.50	0.64	13.17	1.58	0.84	20.82	25.80	SUSP.	A 90016	Velasco	21.78	0.8	0.71	2.21	19.3	379	0.73	-0.11	
9739	14/04/2011	21.50	1.19	25.53	2.54	1.38	64.72	59.80	SUSP.	UI 93001	Agudelo-Ruiz	23.87	1.07	1.05	2.42	-8.2	379	1.41	0.05	
9740	24/05/2011	21.50	0.7	15.04	2.3	0.92	34.54	31.50	SUSP.	UI 93001	Agudelo-Ruiz	22.9	0.66	0.78	3.04	-9.8	379	0.66	0.04	
9872	15/06/2011	20.50	0.67	13.68	1.76	0.71	24.11	20.30	SUSP.	UI 93001	Agudelo-Ruiz	21.83	0.63	0.73	2.41	-18.8	379	0.82	0.11	
9945	14/09/2011	18.50	0.43	7.9	1.22	0.48	6.63	9.00	SUSP.	A 90016	Agudelo-Velasco	19.35	0.41	0.55	2.22	-7.0	379	0.49	0.01	
9959	17/11/2011	21.20	1.04	22.14	2.15	1.03	47.51	42.07	SUSP.	UI 93001	Agudelo-Orte	23.29	0.95	0.97	2.22	-12.9	379	1.12	0.09	
10042	19/04/2012	21.50	0.97	20.75	2.18	1.02	45.28	41.48	SUSP.	UI 93001	Agudelo-Caice	23.43	0.89	0.92	2.37	-9.1	379	1.08	0.08	

6.3 MODELACIÓN HIDRÁULICA UNIDIMENSIONAL. PROGRAMA HEC RAS.

La caracterización o modelación hidráulica tiene por objeto realizar la simulación para diversas crecientes máximas con el Modelo Matemático denominado Hec Ras del Cuerpo de Ingenieros de los Estados Unidos Versión 5.0.3, en las secciones topobatimétricas levantadas transversalmente al eje del cauce principal, hallando los diversos parámetros geométricos y dinámicos más relevantes que aplican en los análisis hidráulicos.

El Modelo Matemático Hec Ras desarrollado por el Cuerpo de Ingenieros de los Estados Unidos denominado "Water Surface Profiles", calcula los perfiles y niveles superficiales de agua, la velocidad y esfuerzos cortantes del flujo entre otros, para las condiciones de un flujo permanente o no permanente y gradualmente variado en canales naturales o artificiales no prismáticos. Este procedimiento está basado en solucionar la ecuación unidimensional de energía con las pérdidas por fricción evaluadas de la ecuación de Manning y el método convencional por pasos; en el presente estudio se consideraron condiciones de flujo permanente y no uniforme. Las condiciones hidráulicas de la corriente más sobresalientes son:

- a. Rugosidad del lecho y de las márgenes.
- b. Influencia de obstrucciones en la sección.
- c. Condiciones del flujo, subcrítico y/o supercrítico.

El programa genera en forma directa las elevaciones del nivel del agua en el canal de estudio en las secciones transversales para la creciente simulada, además de las demás características geométricas tales como área, perímetro mojado, radio hidráulico, profundidad media y las dinámicas como velocidades y esfuerzos del flujo, tanto en las paredes como en el canal principal, la pendiente hidráulica y el número de Froude entre otros; indirectamente se puede calcular el factor hidráulico.

6.3.1 DATOS DE ENTRADA

Los datos básicos de entrada al modelo son los siguientes:

- Secciones transversales topográficas normales al eje del cauce, siempre de izquierda a derecha.
- Separación entre las secciones transversales tanto por el eje principal como en los bordes de agua en ambas márgenes.
- Coeficientes de rugosidad de Manning en cada una de las secciones transversales tanto en el lecho principal como en las márgenes.
- Caudales máximos en diversos tramos del río y caudales máximos en los afluentes principales incorporados en la red hídrica.
- Fronteras de nivel de agua o pendiente hidráulica en la sección inicial aguas abajo, en caso de que se presuma que el régimen de flujo es subcrítico y en la última sección aguas arriba en caso de que el régimen de flujo sea mixto, es decir, subcrítico y supercrítico.
- Características principales de las diversas estructuras existentes en el cauce, principalmente puentes viales y puentes colgantes, en caso de existir.
- En cada sección se debe definir y separar claramente el lecho de las paredes y taludes en las márgenes.
- Se deben fijar en el modelo, fronteras en las márgenes para las secciones transversales propensas a desbordes de los niveles de agua hacia zonas bajas aledañas que no corresponden a la sección principal del río.
- Para el inicio o corrida del programa se debe definir el régimen de flujo, si es subcrítico, supercrítico o mixto.
- El cauce del río La Vieja se halla en las categorías D cauces naturales menores y en la subcategoría D2 Cauces de montaña, sin vegetación, laderas con pendientes usualmente pronunciadas, árboles y arbustos a lo largo de las laderas y sumergidos para niveles altos; en primera instancia, 1. Fondo: gravas, cantos rodados y algunas rocas, con coeficientes entre 0.030 y 0.050 en el lecho y en una segunda instancia 2. Fondo; cantos rodados con rocas grandes, estos últimos entre 0.040 a 0.070 en el lecho, los cuales se presentan en la **Para la** asignación de los coeficientes de rugosidad de Manning en el lecho y paredes del río Bugalagrande en el tramo en estudio de la extracción de materiales del lecho, se tomó como referencia los descritos en la **Tabla 9**. Adicionalmente, se desarrolló el método de Cowan que se presenta en la **Tabla 10**, deduciendo de esta información y análisis que los coeficientes de rugosidad de Manning en el lecho y paredes del río Bugalagrande son de 0.035 y 0.068 respectivamente, los que fueron aplicados en la modelación hidráulica con el Hec Ras.

Tabla 9.

6.3.2 COEFICIENTES DE RUGOSIDAD DE MANNING

Para la asignación de los coeficientes de rugosidad de Manning en el lecho y paredes del río Bugalagrande en el tramo en estudio de la extracción de materiales del lecho, se tomó como referencia los descritos en la **Tabla 9**. Adicionalmente, se desarrolló el método de Cowan que se presenta en la **Tabla 10**, deduciendo de esta información y análisis que los coeficientes de rugosidad de Manning en el lecho y paredes del río Bugalagrande son de 0.035 y 0.068 respectivamente, los que fueron aplicados en la modelación hidráulica con el Hec Ras.

TABLA 9. COEFICIENTES DE RUGOSIDAD DE MANNING RECOMENDADOS POR LA HIDRÁULICA DE CANALES ABIERTOS DE VEN TE CHOW

Tipo de Cauce y descripción	Valor de "n"		
	Mínimo	Normal	Máximo
D. Cauces naturales menores (ancho superior a nivel de crecida, menor a 30 m)			
D1) Cauces en Planicie			
1) Limpio, recto, nivel lleno, sin fallas o pozos profundos	0.025	0.030	0.033
2) Igual que arriba pero más piedras y pastos	0.030	0.035	0.040
3) Limpio, curvado, algunos pozos y bancos	0.033	0.040	0.045
4) Igual que arriba pero más piedras y pastos	0.035	0.045	0.050
5) Igual que arriba, niveles más bajos, pendiente y secciones inefectivas	0.040	0.048	0.055

6) Igual que 4, pero más piedras	0.045	0.050	0.060
7) Tramos sucios, con pastos y pozos profundos	0.050	0.070	0.080
8) Tramos con muchos pastos, pozos profundos o recorrido de la crecida con mucha madera o arbustos bajos	0.075	0.100	0.150
D2. Cauces de montaña, sin vegetación en el canal, laderas con pendientes usualmente pronunciadas, árboles y arbustos a lo largo de las laderas y sumergidos para niveles altos			
1) Fondo; grava, canto rodado y algunas rocas	0.030	0.040	0.050
2) Canto rodado y algunas rocas	0.040	0.050	0.070
E) Cauces con planicie de crecidas			
1) Pastos sin arbustos			
Pastos cortos	0.025	0.030	0.035
Pastos altos	0.030	0.035	0.050
2) Áreas cultivadas			
Sin cultivo	0.020	0.030	0.040
Cultivos maduros alineados	0.025	0.035	0.045
Campo de cultivos maduros	0.030	0.040	0.050
3) Arbustos			
Arbustos escasos, muchos pastos	0.035	0.050	0.070
Pequeños arbustos y árboles, en invierno	0.035	0.060	0.060
Pequeños arbustos y árboles, en verano	0.040	0.060	0.080
Arbustos medianos a densos, en invierno	0.045	0.070	0.110
Arbustos medianos a densos, en verano	0.070	0.100	0.160
4) Árboles			
Sauces densos, en verano y rectos	0.110	0.150	0.200
Tierra clara con ramas, sin brotes	0.030	0.040	0.050
Igual que arriba pero con gran crecimiento de brotes	0.050	0.060	0.080
Grupos grandes de madera, algunos árboles caídos, poco crecimiento inferior y nivel de inundación por debajo de las ramas	0.080	0.100	0.120
Igual que arriba, pero con el nivel de inundación alcanzando ramas	0.100	0.120	0.160
F) Cursos de agua importantes (Ancho superior, a nivel de inundación, mayor que 30 m). Los valores de n son menores que los de los cursos menores de descripción similar, ya que los bancos ofrecen menor resistencia efectiva.			
1) Sección regular sin rocas y arbustos	0.025	-	0.060
2) Sección irregular y áspera	0.035	-	0.100

Fuente: Hidráulica de Canales Abiertos de Ven Te Chow

TABLA 10. MÉTODO DE COWAN APLICADO AL RÍO BUGALAGRANDE

CAUCE	RÍO BUGALAGRANDE	ABSCISA		FECHA	2018	
REGISTRO FOTOGRÁFICO		SITIO	TRAMO EXTRACCIÓN DE MATERIALES			
						
FACTOR	CARACTERÍSTICA DOMINANTE DEL FACTOR	COEFICIENTE RECOMENDADO	n	COEFICIENTES DE MANNING SELECCIONADOS		
				PLANICIE IZQUIERDA	LECHO	PLANICIE DERECHA
Material del lecho (ver nota*)	Suelo fino	0.020	n0	0.028	0.028	0.028
	Árena o grava fina	0.024				
	Grava gruesa	0.028				
	Roca	0.025				
Irregularidades del fondo u orillas	Suave	0.000	n1	0.010	0.002	0.010
	Menor	0.005				
	Moderado	0.010				
	Severos	0.020				
Cambio de secciones transversales	Gradual	0.000	n2	0.005	0.000	0.005
	Ocasionalmente alternante	0.005				
	Frecuentemente alternante	0.010 a 0.015				
	Insignificante	0.000				
Incidencia de las obstrucciones	Menor	0.010 a 0.015	n3	0.015	0.000	0.015
	Apreciable	0.020 a 0.030				
	Severo	0.040 a 0.060				
	Baja	0.005 a 0.010				
Vegetación	Media	0.010 a 0.025	n4	0.010	0.005	0.010
	Alta	0.025 a 0.050				
	Muy alta	0.050 a 0.100				
	Coficiente "n" en cauce recto = (n0+n1+n2+n3+n4)					
Grado de los efectos por meandros	Sinuosidad Menores (sinuosidad 1.0 a 1.2)	Tramo recto 0.000	n5	0.000	0.000	0.000
	Apreciables (sinuosidad 1.2 a 1.5)	0.15 x "n" cauce recto				
	Severas (sinuosidad mayor a 1.5)	0.30 x "n" cauce recto				
	Coficiente "n" total del cauce = (n0+n1+n2+n3+n4+n5)					

6.3.3 SECCIONES TRANSVERSALES

La determinación de la conducción total y del coeficiente de velocidad para una sección transversal, requiere que se subdivida al flujo en unidades para las cuales la velocidad está uniformemente distribuida. El enfoque empleado en el modelo Hec Ras se basa en subdividir el flujo en las áreas de sobreborde empleando las estaciones de sección transversal ingresadas (coordenadas x) como base para la subdivisión. La conducción se calcula dentro de cada subdivisión mediante la siguiente ecuación expresada en unidades inglesas:

$$K = (1.486 / n) AR^{2/3}$$

Donde:

K = conducción en la subdivisión

n = coeficiente de Manning para la subdivisión

A = área del flujo en la subdivisión

R = radio hidráulico en la subdivisión, es decir el área dividida por el perímetro mojado.

La conducción total en la sección transversal se obtiene sumando las conducciones incrementales.

El flujo en el canal principal no está subdividido excepto cuando el coeficiente de rugosidad se cambia dentro del área del canal. El modelo matemático Hec Ras ha sido modificado para probar la aplicabilidad de la subdivisión de rugosidad dentro de la porción del canal de una sección transversal y si no es aplicable, el programa calculará un valor compuesto de "n" para el canal entero. El programa determina si es posible que la porción del canal en la sección transversal se pueda subdividir o si es posible emplear un valor compuesto de "n" tomando como base el siguiente criterio:

Si la pendiente lateral de un canal es mayor que 5H:1V y se ha subdividido la sección transversal, entonces se computará un coeficiente compuesto de rugosidad "nc". La pendiente lateral del canal, empleada por el Hec Ras se define como la distancia horizontal entre estaciones "NH" adyacentes dentro del canal sobre la diferencia en elevación de esas dos estaciones

Para la determinación del “nc”, se divide imaginariamente la superficie del agua en “N” partes cada una con un perímetro mojado conocido Pi y un coeficiente de rugosidad ni

$$n_c = [\sum (P_i n_i^{1.5}) / P]^{2/3}$$

Donde:

nc = coeficiente compuesto o equivalente de rugosidad
P = perímetro mojado de la sección transversal
Pi = perímetro mojado de la subdivisión imaginaria i
ni = coeficiente de rugosidad de la subdivisión imaginaria i

El coeficiente compuesto 'nc' calculado debe ser controlado para verificar su coherencia. El valor calculado es el valor “n” del canal en las tablas de sumario detalladas.

6.3.4 PENDIENTE HIDRÁULICA

Los intervalos de aplicación del modelo Hec Ras para la pendiente longitudinal de los canales naturales varía entre 0.10 m/m (Capítulo 2 página 2-205) y 0.0001 m/m (Capítulo 10, Tránsito de Onda Dinámica, página 3206).

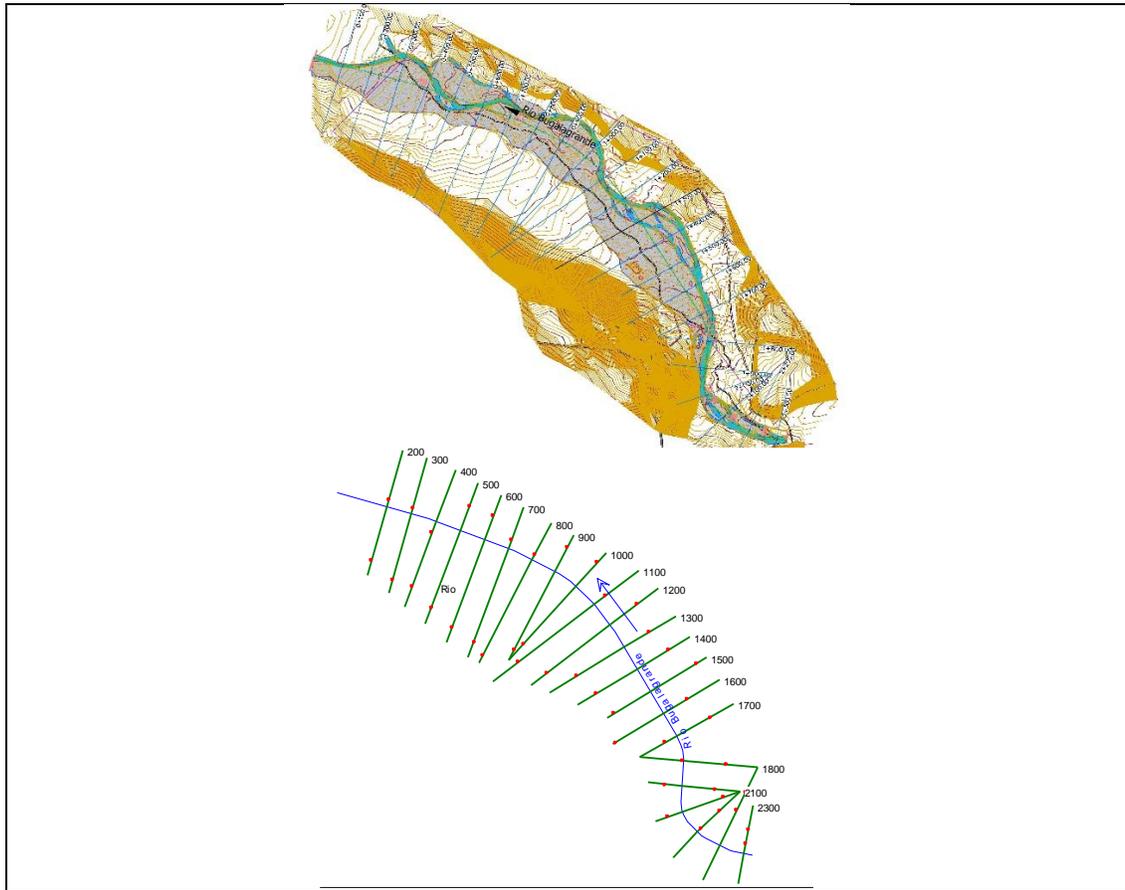
6.3.5 RESULTADOS DE LA CARACTERIZACIÓN PARA EL CAUDAL DOMINANTE EQUIVALENTE A 2 AÑOS DE RETORNO

Dada que el objeto de los estudios es el transporte de sedimentos del río Bugalagrande para la extracción de sedimentos del lecho, se efectuaron simulaciones de diversos caudales máximos, siendo el caudal máximo de 2 años de retorno equivalente al caudal dominante que se describe en el próximo capítulo, los resultados aquí presentados son solamente para dicho caudal dada su importancia en los análisis.

Como parámetros de entrada el programa hec ras se consideraron los coeficientes de rugosidad de Manning en el lecho y las paredes del río Bugalagrande de 0.035 y 0.068 respectivamente y como fronteras inicial y final se asignó la pendiente medio del tramo de 2,300 m que es prácticamente constante de 0.010568 m/m, por lo que se supone un flujo paralelo.

En la **FIGURA 15** se presenta la planta del río Bugalagrande en el sector del proyecto tanto del plano topográfico como del programa Hec Ras, con las secciones batimétricas levantadas que alimentaron el modelo. De simulación.

FIGURA 15. PLANTA TOPOGRÁFICA RÍO BUGALAGRANDE EN EL SITIO DEL PROYECTO Y LAS SECCIONES BATIMÉTRICAS APLICADAS EN EL MODELO HEC RAS.



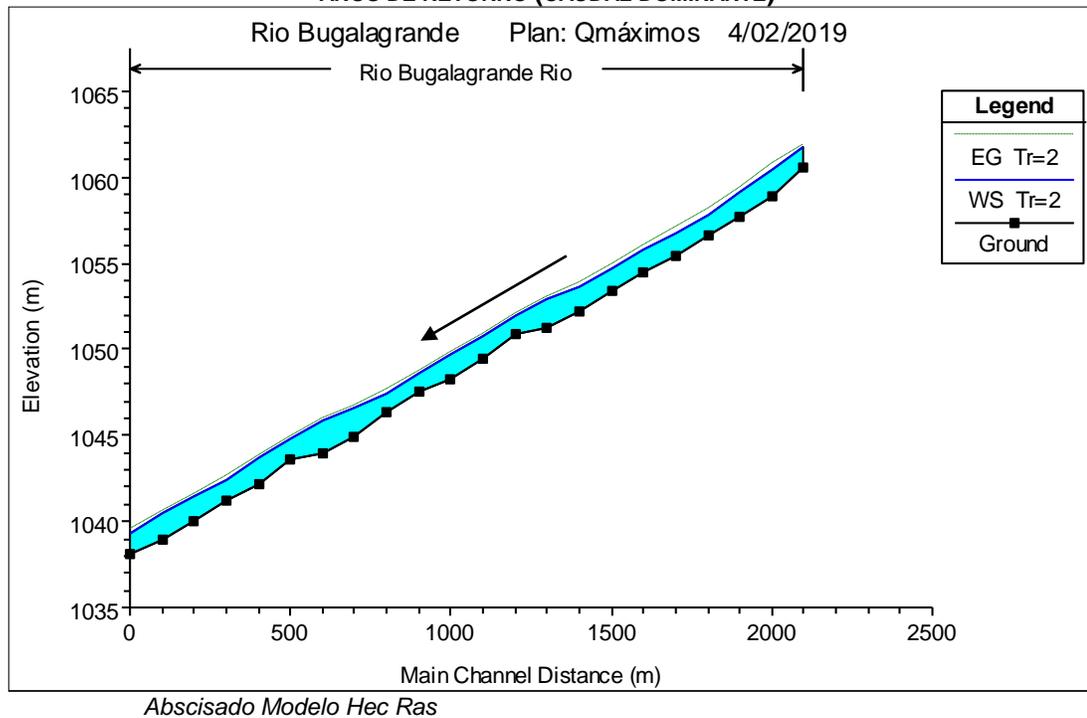
El río Bugalagrande en el tramo de 2.3 Kms, para el caudal máximo de 2 años de retorno equivalente al caudal dominante de $85.8 \text{ m}^3/\text{s}$, presenta una velocidad media del flujo entre 1.33 y 2.54 m/s, el número de Froude que es la relación entre la velocidad media y la raíz cuadrada del producto de la constante de gravedad por la profundidad media de la sección, varía entre 0.64 y 1.00, correspondiendo a un régimen de flujo entre subcrítico o tranquilo y crítico; la profundidad media mayor es de 0.79 m, en tanto que la menor es de 0.31 m, resultados que se presentan en la **Tabla 11**.

TABLA 11. RESULTADOS DE LA MODELACIÓN HIDRÁULICA DEL RÍO BUGALAGRANDE PARA EL CAUDAL MÁXIMO DE 2 AÑOS DE RETORNO (CAUDAL DOMINANTE)

Abscisa	SITIO	Caudal Total (m ³ /s)	Cota Mínima (m)	Cota Nivel de Agua (m)	Cota Nivel Crítico (m)	Cota Línea Energía (m)	Pendiente Línea Energía (m/m)	Velocidad Total (m/s)	Velocidad Lecho (m/s)	Coefficiente Rugosidad Manning	Esfuerzo Cortante Margen Izq. (N/m ²)	Esfuerzo Cortante Canal (N/m ²)	Esfuerzo Cortante Margen Der. (N/m ²)	Profundidad Media (m)	Ancho Lámina Agua (m)	Número Froude	Factor Hidráulico S ¹⁷ /n
K2+300	Aguas arriba	85.8	1060.58	1061.72	1061.63	1061.95	0.009329	2.11	2.14	0.035	20.09	62.51	11.97	0.66	61.5	0.83	2.76
K2+200		85.8	1058.92	1060.50	1060.50	1060.81	0.013951	2.42	2.49	0.034	24.59	86.63	34.95	0.59	60.1	1.00	3.47
K2+100		85.8	1057.68	1059.13	1059.10	1059.34	0.013643	2.04	2.05	0.035	24.52	64.40		0.48	87.3	0.94	3.34
K2+000		85.8	1056.65	1057.87	1057.79	1058.17	0.010600	2.44	2.44	0.035		77.37		0.79	44.4	0.87	2.86
K1+900		85.8	1055.47	1056.80	1056.75	1057.14	0.010661	2.54	2.56	0.035	24.95	84.76		0.79	42.7	0.91	2.95
K1+800		85.8	1054.52	1055.76	1055.70	1056.03	0.011059	2.24	2.28	0.035	46.89	71.47		0.66	58.2	0.89	3.00
K1+700		85.8	1053.43	1054.70	1054.65	1054.90	0.011119	1.99	1.99	0.035		58.72		0.54	79.6	0.87	3.01
K1+600		85.8	1052.26	1053.62		1053.84	0.010123	2.06	2.06	0.035		60.30		0.61	68.1	0.84	2.87
K1+500		85.8	1051.23	1052.92		1053.02	0.006324	1.41	1.41	0.035		30.34		0.49	123.8	0.64	2.27
K1+400		85.8	1050.87	1052.00		1052.12	0.013671	1.54	1.54	0.035		41.93		0.31	177.8	0.88	3.34
K1+300		85.8	1049.45	1050.75	1050.68	1050.88	0.011367	1.58	1.58	0.035		41.52		0.37	145.7	0.82	3.05
K1+200		85.8	1048.27	1049.68	1049.61	1049.77	0.010546	1.33	1.33	0.035		31.70	19.87	0.31	210.1	0.77	2.93
K1+100		85.8	1047.55	1048.65		1048.77	0.009508	1.47	1.47	0.035		35.91	23.87	0.38	152.4	0.76	2.79
K1+000		85.8	1046.39	1047.41	1047.38	1047.64	0.013155	2.12	2.14	0.035		68.21	58.06	0.53	76.3	0.94	3.28
K0+900		85.8	1044.88	1046.61		1046.70	0.006448	1.35	1.35	0.035		28.58		0.45	139.8	0.64	2.29
K0+800		85.8	1043.95	1045.84		1045.95	0.009009	1.45	1.45	0.035		34.60		0.39	150.4	0.74	2.71
K0+700		85.8	1043.65	1044.83	1044.77	1044.96	0.010743	1.62	1.63	0.035		42.85	19.81	0.41	130.0	0.81	2.96
K0+600		85.8	1042.17	1043.67	1043.57	1043.90	0.010443	2.12	2.12	0.035		63.23		0.62	65.1	0.86	2.92
K0+500		85.8	1041.25	1042.47	1042.43	1042.67	0.014337	2.00	2.00	0.035		62.84		0.45	95.7	0.95	3.42
K0+400		85.8	1039.99	1041.46		1041.59	0.008205	1.62	1.62	0.035		39.75		0.50	107.0	0.73	2.59
K0+300		85.8	1038.94	1040.49	1040.44	1040.61	0.011880	1.52	1.53	0.035		40.12	15.39	0.34	164.4	0.83	3.11
K0+200	Aguas abajo	85.8	1038.16	1039.36	1039.30	1039.49	0.010571	1.53	1.57	0.035		40.57	19.15	0.38	148.9	0.80	2.94
MAXIMO			1060.58	1061.72			0.014337	2.54			46.89	86.63	58.06	0.79	210.13	1.00	3.47
MINIMO			1038.16				0.006324	1.33			20.09	28.58	11.97	0.31	42.70	0.64	2.27
MEDIO							0.010731	1.84								0.83	2.95

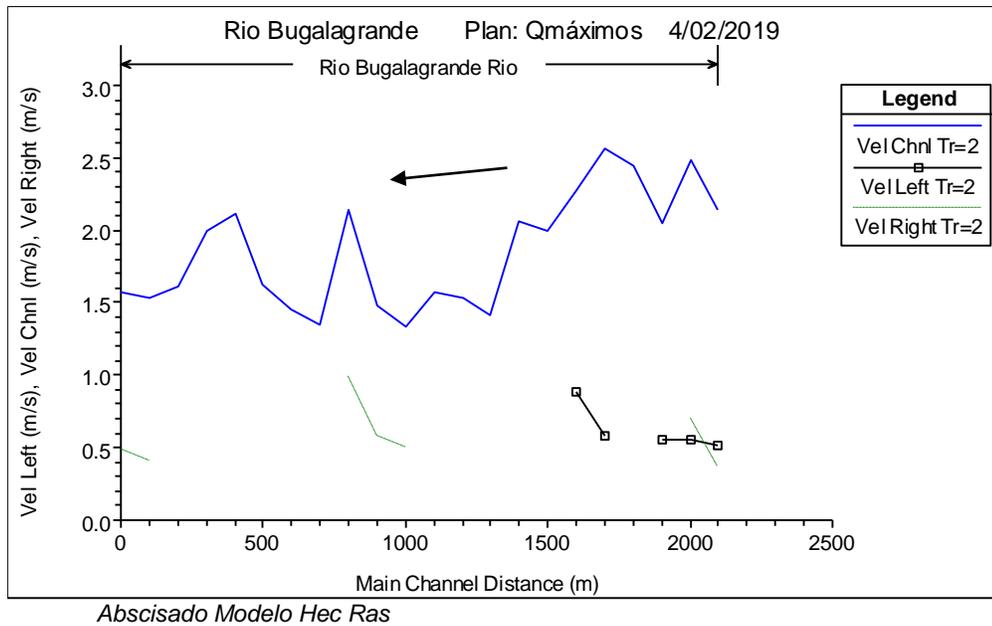
En la FIGURA 16 se presenta el perfil longitudinal hidráulico del río Bugalagrande en el tramo en estudio, para la creciente máxima instanyánea de 2 años de retorno, equivalente al caudal dominante.

FIGURA 16. PERFIL LONGITUDINAL DEL RÍO BUGALAGRANDE DEL HEC RAS PARA EL CAUDAL MÁXIMO DE 2 AÑOS DE RETORNO (CAUDAL DOMINANTE)



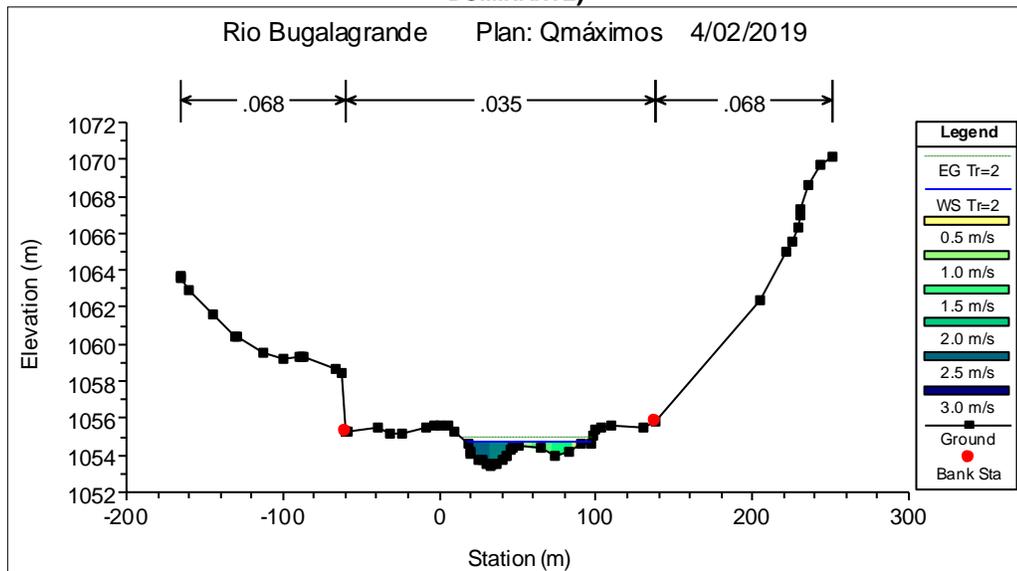
Las velocidades del flujo en el lecho tal como se aprecia en la FIGURA 17 fluctúan entre 1.5 y 2.5 m/s aproximadamente, siendo muy irregulares a lo largo del tramo, dada la variabilidad en el ancho de las secciones del río Bugalagrande.

FIGURA 17. VELOCIDADES DEL FLUJO EN EL LECHO Y PAREDES A LO LARGO DEL RÍO BUGALAGRANDE, OBTENIDO DEL HEC RAS PARA EL CAUDAL MÁXIMO DE 2 AÑOS DE RETORNO (CAUDAL DOMINANTE)



En la **FIGURA 18** se presenta una sección transversal típica del río Bugalagrande en el tramo en estudio. Las demás secciones se adjuntan en el **Anexo 5**.

FIGURA 18. SECCIÓN TRANSVERSAL TÍPICA DEL RÍO BUGALAGRANDE SEGÚN EL HEC RAS, CON DISTRIBUCIÓN DE LAS VELOCIDADES PARA EL CAUDAL MÁXIMO DE 2 AÑOS DE RETORNO (CAUDAL DOMINANTE)



6.3.6 CALIBRACIÓN DEL MODELO UNIDIMENSIONAL HEC RAS 1D

Según el aforo líquido 9739 de la CVC del río Bugalagrande en la estación El Placer, se efectuó una simulación en el programa hec ras para dicho caudal aforado de 64.72 m³/s, con el fin de comparar los parámetros dinámicos del programa con los del aforo, resultados que se presentan en la **Tabla 12**.

TABLA 12. CALIBRACIÓN MODELO HEC RAS CON EL AFORO 9739 DE LA CVC

PARÁMETRO	AFORO LÍQUIDO CVC	HEC RAS
Caudal	64.72 m ³ /s	
Velocidad media (m/s)	2.54	1.84
Profundidad media (m)	1.19	0.50
Factor hidráulico	2.42	2.95
Número de Froude	0.74	0.83

Como se aprecia en la tabla anterior, para el mismo caudal los parámetros presentan algunas diferencias por lo que aunque es el mismo río, el sitio del aforo líquido en la estación El Placer está distante 2.5 Kms aguas arriba del tramo de extracción de materiales simulado, obteniendo de este último los valores medios en dicho tramo según la simulación con el programa hec ras y las secciones transversales en ambos casos no son iguales por poseer algunas variaciones significativas. Sin embargo, a pesar de estas pequeñas diferencias se puede afirmar que los resultados del modelo son confiables basado en esta calibración muy aproximada.

7. CAPACIDAD DE TRANSPORTE DE SEDIMENTOS EN EL LECHO DEL RÍO BUGALAGRANDE

7.1 OBJETO

El objeto es evaluar la capacidad de transporte de sedimentos en el lecho del río Bugalagrande, para conocer aproximadamente el volumen de extracción de materiales, sin que se afecte la dinámica del río en su entorno. Es de destacar que en este estudio se evalúa únicamente la capacidad de transporte de sedimentos como producto de sus características geométricas y dinámicas del cauce, asumiendo que la cuenca hidrográfica de 648 Km², abastece de materiales desde aguas arriba hacia el tramo del río previsto para la extracción aguas abajo.

7.2 CAUDAL DOMINANTE

En las corrientes naturales donde la variación del caudal tanto líquido como sólido puede ser muy amplio, Inglis introdujo el concepto del gasto formativo y Schaffernak lo modificó por el USBR (Bureau of Reclamation), proponiéndolo como gasto dominante que parece ser el más aceptado, definido como el gasto o caudal hipotético que producirá los mismos efectos en la configuración del cauce, que la variación de los gastos reales o como lo definen otros textos, *“el caudal que efectúa mayor trabajo en términos de transporte de sedimentos, mientras que el orden de magnitud del cauce puede venir condicionado por caudales mayores”*.

El caudal dominante con base en la metodología descrita en el capítulo 11 Morfología de Ríos del Manual de Ingeniería de Ríos de la UNAM por el Ingeniero José Antonio Maza, parte de la distribución de los caudales medios y la relación entre el caudal medio y el sólido en suspensión y el producto del caudal sólido hallado para cada caudal líquido por la frecuencia de éste último, generando de esta forma el mayor producto, que corresponde al caudal medio equivalente al caudal dominante.

**Caudal Dominante río Bugalagrande-Estación El Placer.
Tramo de Extracción de Materiales 85.8 m³/s**

El caudal dominante equivalente a un período de retorno de 1.06 años (para el presente estudio se aplicó el de 2 años), es muy representativo según lo descrito en diversas notas bibliográficas, por

ejemplo, el texto Restauración de Ríos y Riberas de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes de la Universidad Politécnica de Madrid, 1995, en el Capítulo Morfología Fluvial, subcapítulo “Concepto del Caudal Dominante” dice:

“Experimentalmente se ha comprobado que el caudal dominante corresponde en la mayoría de los casos a un período de retorno comprendido entre 1.5 y 2 años, aunque puede referirse a otros períodos de recurrencia (Knighton, 1984). Para la obtención del caudal dominante se puede utilizar el criterio de corresponder a un período de retorno de 1.5 años, en la serie de caudales máximos anuales (Dunne y Leopold, 1978), o el criterio de ser el que ocupa toda la sección transversal, aunque a veces ésta tiene una delimitación poco precisa, observándose en ella varios ángulos que podrían corresponder al nivel del “bankfull.”

7.3 CAPACIDAD DE TRANSPORTE DE SEDIMENTOS DEL RÍO BUGALAGRANDE

Los estudios tienen por objeto evaluar la capacidad de transporte de sedimentos del cauce del río Bugalagrande en el sitio previsto para extracción de materiales, en una longitud de 2,300 m, estudios basados en los resultados de la dinámica del flujo mediante caracterización hidráulica para los caudales y crecientes representativas del río, la textura y clasificación extraída de la curva granulométrica según los materiales del lecho y los análisis geomorfológicos de dinámica fluvial.

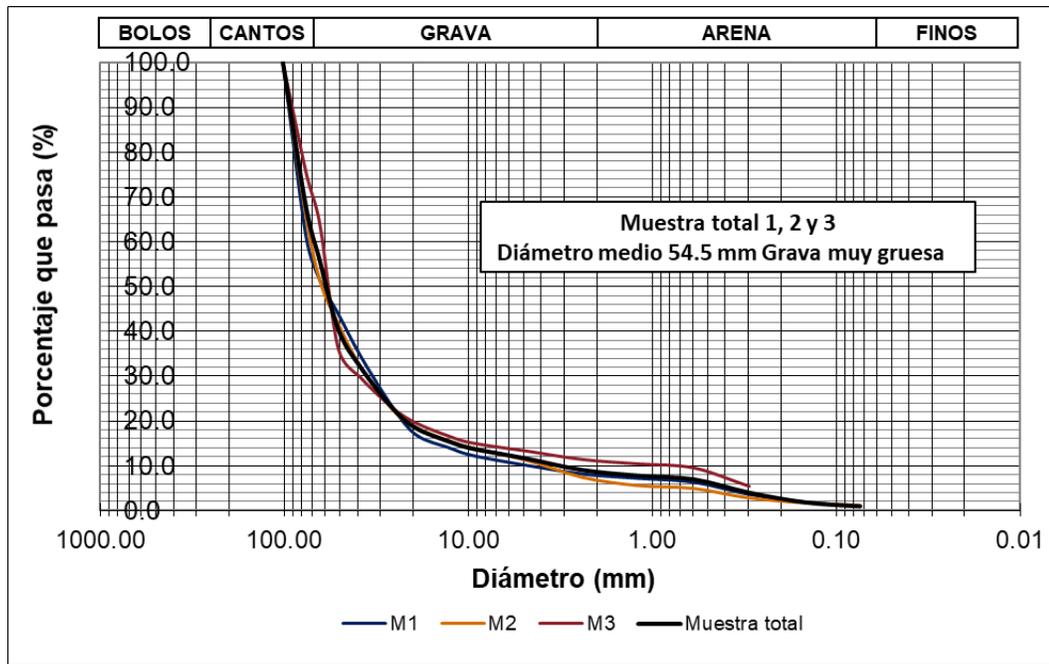
Para el cálculo de la capacidad de transporte de sedimentos del cauce principal del río Bugalagrande, se evaluaron las metodologías relacionadas únicamente con el arrastre del lecho (bed load transport), en especial la de Meyer Peter and Muller, adecuada para lechos aluviales aún de granulometría casi extendida, es decir donde predominan materiales gruesos como son los encontrados en el cauce del río Bugalagrande.

7.3.1 MUESTREO DEL LECHO

Las tres (3) muestras del lecho representativas para todo el tramo de 2,300 m longitudinales en estudio, fueron procesadas en Laboratorio para obtención de la curva granulométrica total integranda dada su similitud en la textura, curva que se presenta en la **FIGURA 19**, que involucra los sobre tamaños por ser importantes en el proceso de arrastre del río debido a su forma redondeada de origen aluvial, siendo los porcentajes de materiales los descritos a continuación:

GRAVAS 88.5% ARENAS 10.5% FINOS 1%

FIGURA 19. CURVA GRANULOMÉTRICA REPRESENTATIVA DE LOS MATERIALES DEL LECHO DEL RÍO BUGALAGRANDE



Las curvas granulométricas originales se adjuntan en el **Anexo 6**.

7.3.2 DIÁMETRO INCIPIENTE DE MOVIMIENTO EN EL RÍO BUGALAGRANDE DE LOS MATERIALES DEL LECHO

Para determinar la capacidad de transporte del material del lecho, se halló el diámetro característico capaz de transportar el río ante diferentes eventos de crecientes, principalmente la del caudal dominante, utilizando el esfuerzo cortante del flujo para la condición crítica alcanzada en flujo turbulento, es decir, cuando el flujo inicia el movimiento, arrastre o transporte de las partículas sedimentarias, lo cual se denomina movimiento incipiente, movimiento crítico, condición crítica de arrastre o inicio de arrastre o transporte incipiente.

Existen varias fórmulas para determinar el esfuerzo cortante crítico para material no cohesivo y no uniforme, tal como es el caso de los materiales del lecho del río Bugalagrande, donde dicho esfuerzo de una fracción específica del material se ve afectado por la presencia de las demás fracciones, debido a que los granos gruesos protegen a los finos en una especie de acorazamiento, pero la mayoría de fórmulas empíricas aplican en un intervalo de tamaños de partículas relativamente pequeño, ya que estas se basan en experiencias o ensayos de laboratorio.

Debido a que los materiales del lecho del río Bugalagrande son no cohesivos y no uniformes, se emplearon los métodos de la Fuerza Tractiva o de Lane, de Meyer Peter and Muller y de Einstein, los cuales son objeto del presente subcapítulo.

Es de anotar que no se tuvo en cuenta el método de la Curva de Shields, dado que este aplica únicamente para materiales uniformes y bien graduados, en los que teóricamente cuando un grano se mueve, todos los demás también, características muy diferentes a los materiales del lecho del río Bugalagrande.

Método de Einstein

Para hallar la partícula de movimiento incipiente por el método de Einstein, se utilizó la siguiente expresión:

$$\Psi = (S_s - 1) D / R S_e$$

Donde:

Ψ = Parámetro de Intensidad del flujo para iniciación del movimiento, igual a 30.

S_s = Densidad específica del material, adimensional 2.60.

D = Diámetro de la partícula mínima de arrastre en m.

R = Radio Hidráulico del flujo en la sección en m.

S_e = Pendiente de la línea de energía para las condiciones de flujo dadas.

Método de la Fuerza Tractiva según Bureau of Reclamation y Lane

Este método abarca un intervalo más amplio de tamaños de materiales no cohesivos, gruesos, bien graduados, donde Lane convirtió las velocidades medias que no causan erosión, a esfuerzos cortantes máximos permisibles o esfuerzos cortantes permisibles, para distinguirlos de los que se determinan experimentalmente en laboratorio, llamados esfuerzos cortantes críticos, basado en el diámetro D_{75} , donde las partículas más finas son arrastradas por el flujo y las de mayor tamaño son las que permanecen protegiendo al material fino subyacente, obteniendo un diagrama que relaciona el esfuerzo cortante permisible y el diámetro de las partículas.

Según el diagrama para D_{75} mayor a 5mm (gravas finas), el esfuerzo cortante crítico τ_c se determina mediante la ecuación:

$$\tau_c = 0.754 D_{75}$$

Donde:

τ_c = Esfuerzo Cortante Crítico en N/m².

D_{75} = Diámetro en mm.

Método de Meyer Peter and Muller

Este método se desarrolló mediante experimentos en Laboratorio con materiales de diferentes densidades relativas S_s entre 1.25 y 4.20, tanto de granulometría uniforme como no uniforme, en los que el tamaño de las partículas osciló entre 5.05 y 28.6 mm, es decir, entre gravas finas a guesas. Con base en sus resultados, los investigadores obtuvieron una ecuación que puede expresarse adimensionalmente en la forma típica del parámetro de Shields, es decir:

$$D_m = \tau_c / 0.047 (\gamma_s - \gamma)$$

Según Meyer Peter and Muller, la ecuación anterior rige en cualquier tipo de régimen o sea para cualquier valor del número de Reynolds crítico adimensional R_{τ_c} .

Donde:

D_m = Diámetro incipiente de movimiento en m.

τ_c = Esfuerzo Cortante Crítico en N/m².

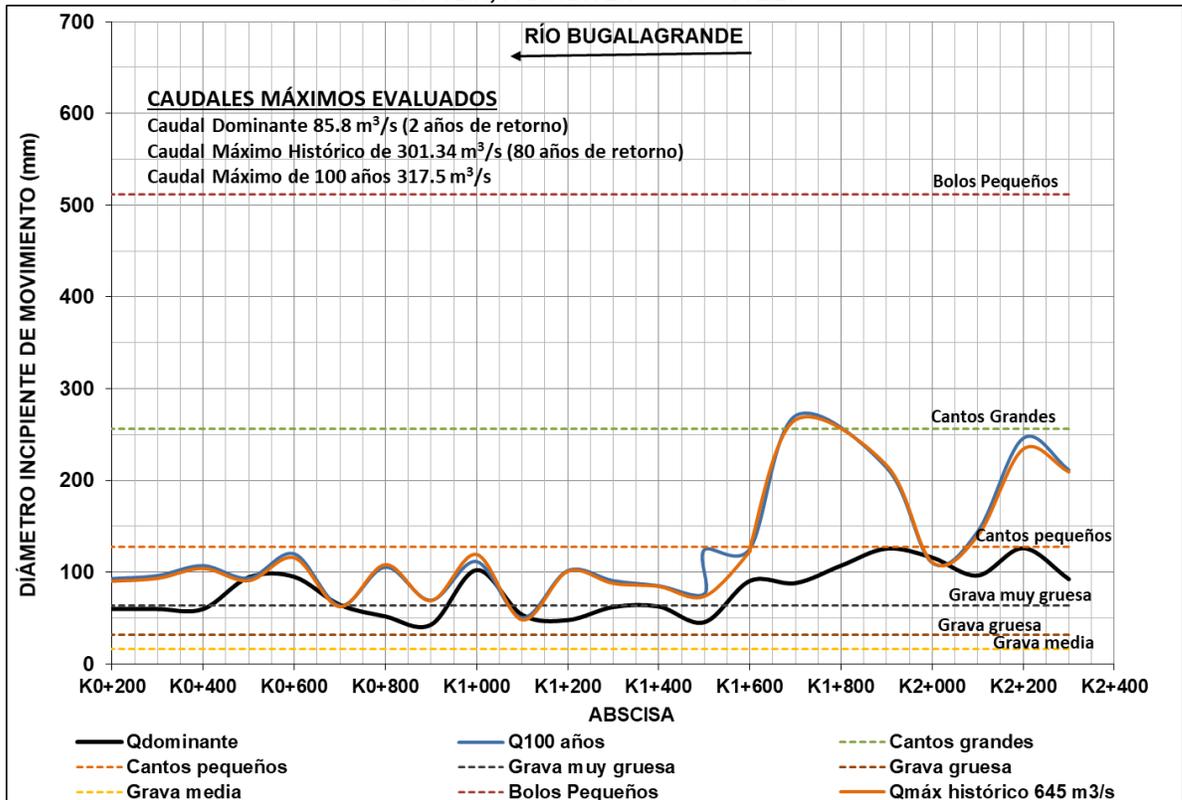
γ_s = Peso específico del material en N/m³.

γ = Peso específico del agua N/m³.

Resultados del Análisis del Diámetro Incipiente de Movimiento en el río Bugalagrande

Los resultados de los diámetros incipientes calculados a partir de los métodos adecuados para materiales aluviales, es decir, de la Fuerza Tractiva o Lane, Meyer Peter and Muller y Einstein, se presentan en la **FIGURA 20** para el caudal dominante equivalente a la creciente de 2 años de retorno, el caudal máximo histórico y el caudal máximo esperado en 100 años.

FIGURA 20. DIÁMETROS INCIPIENTES DE MOVIMIENTO DE LOS MATERIALES DEL LECHO DEL RÍO BUGALAGRANDE. PROMEDIO DE LOS MÉTODOS DE LA FUERZA TRACTIVA, MEYER PETER AND MULLER Y EINSTEIN, PARA DIVERSOS CAUDALES

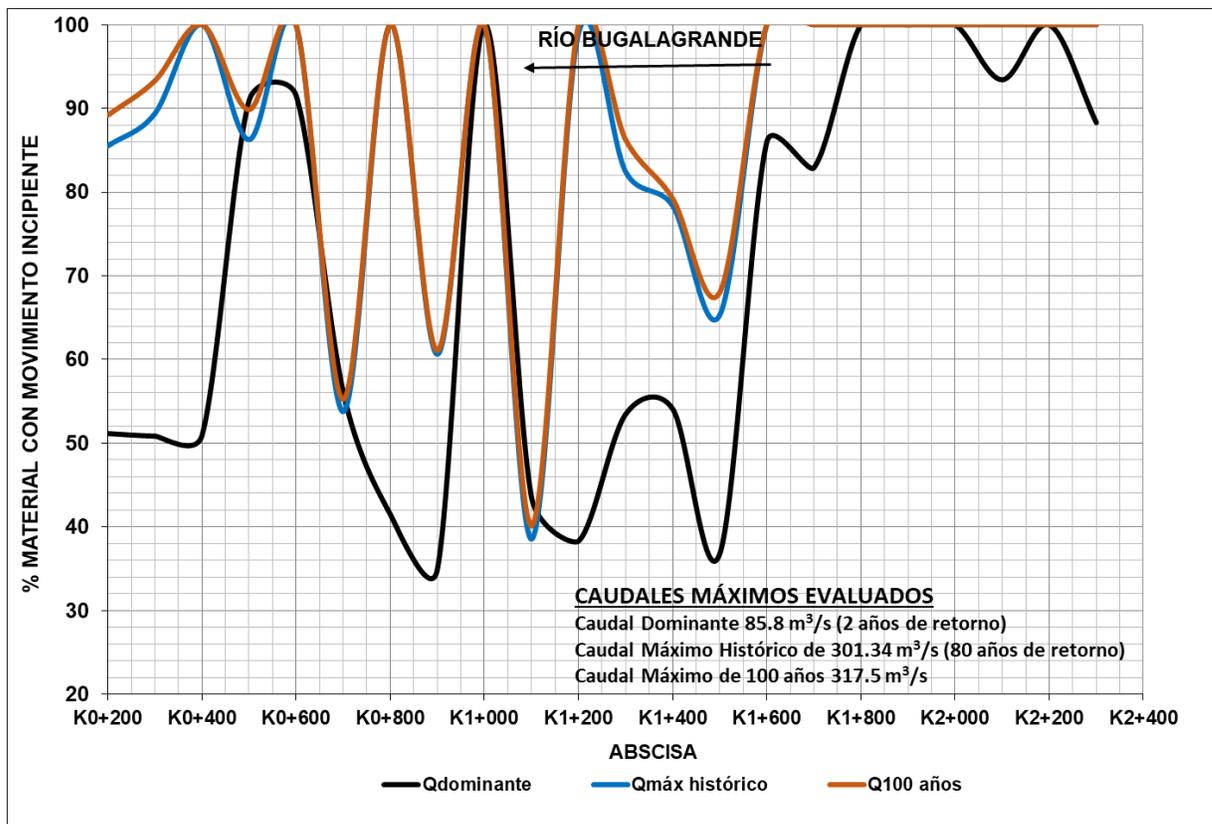


De la figura anterior se deduce que los caudales máximos mueven materiales más grandes aguas arriba en el tramo de las abscisas K1+500 a K2+300, mientras que en el tramo de aguas abajo el movimiento incipiente es para diámetros menores principalmente las gravas.

Porcentaje de movimiento de materiales en el tramo del río Bugalagrande

Para encontrar la cantidad en porcentaje del movimiento incipiente de los materiales del lecho del río Bugalagrande en el tramo en estudio, se buscó en la curva granulométrica el porcentaje equivalente de material inferior al diámetro incipiente a lo largo del tramo, resultados que se presentan en la **FIGURA 21**, para los caudales dominante, máximo histórico y máximo de 100 años esperado.

FIGURA 21. PORCENTAJE DEL MATERIAL DEL LECHO DEL RÍO BUGALAGRANDE CON MOVIMIENTO INCIPIENTE Y PARA DIVERSOS CAUDALES MÁXIMOS



De la figura anterior se deduce que en el tramo de aguas arriba entre las abscisas K1+500 y K2+300, los caudales máximos mueven gran volumen de los materiales del lecho, mientras que para el tramo restante aguas abajo, para el caudal dominante que es el que interesa, un porcentaje del 40% de los materiales del lecho son propensos a moverse y transportarse.

7.3.3 TRANSPORTE DEL LECHO O ARRASTRE (BED LOAD TRANSPORT)

Para el análisis y evaluación de la explotación de materiales en el lecho del río Bugalagrande, la capacidad de transporte del lecho o arrastre (Bed Load Transport), es el parámetro más importante e incidente en dicho fenómeno, existen los métodos de Schoklitsch, Kalinske, Meyer Peter and Muller, Rottner, Einstein, Toffaleti y Van-Rijn entre otros, cuya fundamentación, validez y aplicación es la siguiente:

Schoklitsch

Metodología basada en canales de laboratorio y mediciones en ríos; cuando el tamaño de la partícula es uniforme, Schoklitsch recomienda utilizar un diámetro representativo. Usa fracciones de la clasificación de la curva de gradación.

Kalinske

Si el material no es uniforme, se recomienda utilizar D₅₀; método basado en ensayos en canales de laboratorio y ríos. Usa fracciones de la clasificación de la curva de gradación.

Meyer Peter and Muller

Método obtenido a partir de experiencias en laboratorio, mejorado varias veces, siendo su aplicación de las últimas para cauces con lechos de arena superiores a 0,2 mm hasta grava gruesa de 30 mm, se recomienda especialmente para diámetros inferiores a 5 mm.

Sin embargo, este método es recomendado en cauces arenosos donde el arrastre se produce sólo dentro de la capa de fondo y en cauces donde el material es granular ya sean gravas o arenas y además material grueso (Estabilidad de Cauces. Capítulo 12 del Manual de Ingeniería de Ríos de la UNAM. Subcapítulo Transporte de Sedimentos páginas 57 y 59). En la misma nota bibliográfica página 66, se menciona que dicha fórmula es la que se puede aplicar a un rango mayor de tamaños de sedimentos.

Recomendación similar del uso frecuente de este método en la estimación de sedimentos arrastrados por el fondo en ríos de tipo torrentoso, según se menciona en el texto de Hidráulica de Sedimentos de Julián Aguirre Capítulo 4.4 página 128).

Rottner

Se obtuvo con más de 2.550 mediciones con diámetros entre 0,305 y 15,49 mm y pesos específicos entre 1,030 y 2,690 kg/m³; utiliza para el cálculo el D₅₀.

Einstein

Se recomienda si la carga de arrastre del lecho en arenas y gravas es significativa en relación a la carga total del material del lecho; recomendable para partículas entre 0,3 y 30 mm, pesos específicos entre 1,250 y 4,200 kg/m³ y materiales con granulometrías extendidas y bien gradadas.

Toffaletti

Esta ecuación es una variación sobre el método de Einstein con muchas características comunes y algunas muy diferentes.

Se utiliza si las arenas del lecho son grandes. Usa fracciones de la clasificación de la curva de gradación y tiene como restricciones que es válido únicamente para arenas, dado que incluye el valor del peso específico relativo "Ss" de 2.65 y los coeficientes empíricos están basados en correlaciones hechas en ríos en los cuales no se consideraron otros materiales en la carga del material del lecho, además no produce mejores resultados que la ecuación de Einstein.

Van Rijn

Método desarrollado a principios de la década de 1,980 en el Laboratorio de Delft en Holanda, basado en los criterios del esfuerzo cortante para la iniciación del movimiento de Shields.

La metodología de Van-Rijn es adecuada para el cálculo de carga en ríos y canales con lechos predominantemente uniformes, susceptibles a ser descritos por un sólo tamaño de partículas representativas del lecho y otro representativo de la suspensión; es válida para sedimentos en que el D₅₀ esté comprendido entre 0,2 y 2 mm².

Aplicación para el lecho del río Bugalagrande

De acuerdo con la validez y aplicación de las diversas metodologías, por las características de los materiales del cauce del río Bugalagrande que en general oscilan entre arenas y gravas muy gruesas, ninguna metodología aplica estrictamente ya que estas fueron generadas con diámetros de

² Ing. José Antonio Maza. Universidad Nacional Autónoma de México. 1996. Transporte de Sedimentos, Manual de Ingeniería de Ríos. Pág. 486

Laboratorio para un tamaño máximo del orden de 30 mm correspondiente a gravas finas. Sin embargo, por las características específicas de la fórmula de Meyer Peter and Muller, es la que se asemeja bastante a las condiciones de la textura de sedimentos del río Bugalagrande para el cálculo de la capacidad de transporte de sedimentos de arrastre, tratándose además de ser apta para lechos con materiales aluviales gruesos y de granulometría extendida.

Análisis de la Capacidad de Transporte de Sedimentos del lecho del río Bugalagrande

Para conocer los tramos potencialmente erosionables y sedimentables a lo largo del río Bugalagrande, se aplicó el criterio descrito por Maza en la Publicación Estabilidad de Cauces, Capítulo 12 del Manual de Ingeniería de Ríos de la UNAM, página 72, que textualmente dice:

“Una vez calculado el transporte de sedimentos para el tramo en estudio, debe compararse con el que entra a dicho tramo proveniente de aguas arriba. Si el transporte de sedimentos es mayor que dos veces el que entra al tramo en estudio, dicho tramo está sujeto a un proceso de erosión. Si es menor que la mitad del que entra, estará sujeto a un proceso de sedimentación”.

En la **FIGURA 22** se presenta la Capacidad de Transporte del lecho a lo largo del tramo de extracción de materiales del río Bugalagrande, para la ocurrencia del caudal dominante, equivalente a 2 años de retorno, mientras que en la **FIGURA 23**, se presenta para el caudal máximo de 100 años. Los cálculos correspondientes del transporte de sedimentos del lecho antes descritos, se presentan en el **Anexo 7** al final del presente informe.

FIGURA 22. CAPACIDAD DE TRANSPORTE DE ARRASTRE DEL LECHO POR EL MÉTODO DE MEYER PETER AND MULLER A LO LARGO DEL RÍO BUGALAGRANDE. CAUDAL DOMINANTE (2 AÑOS DE RETORNO).

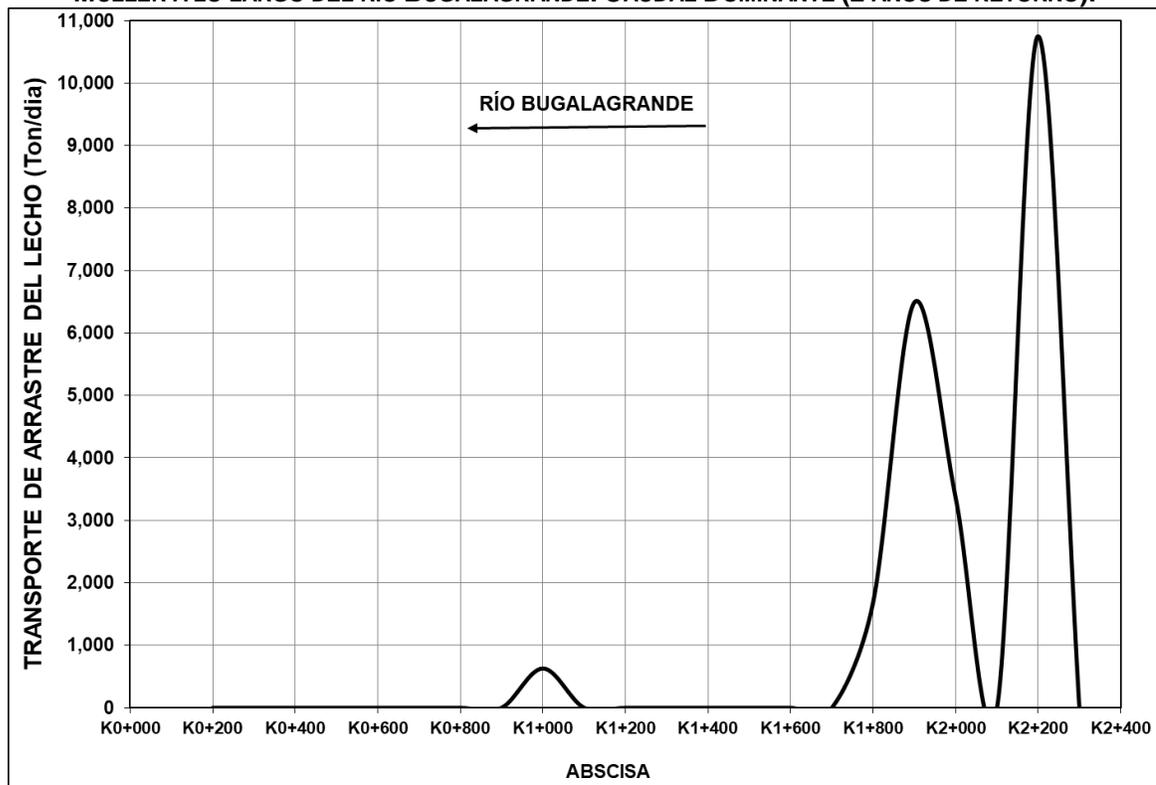
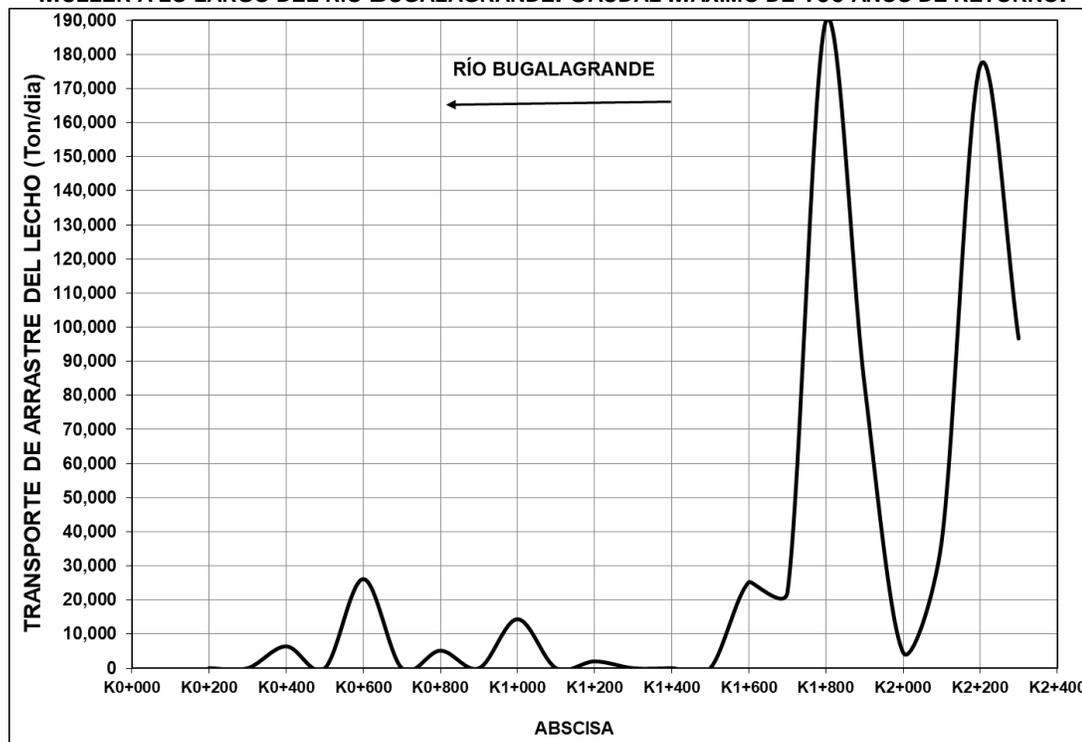


FIGURA 23. CAPACIDAD DE TRANSPORTE DE ARRASTRE DEL LECHO POR EL MÉTODO DE MEYER PETER AND MULLER A LO LARGO DEL RÍO BUGALAGRANDE. CAUDAL MÁXIMO DE 100 AÑOS DE RETORNO.



De acuerdo con la capacidad de transporte de sedimentos del lecho del río Bugalagrande (Bed Load Transport), de sumo interés para la extracción de materiales, las zonas potencialmente aptas para la extracción de materiales del lecho se centran en el tramo de aguas abajo entre las abscisas K0+000 a K1+500, por ser de poco arrastre y de alta sedimentación dado que el tramo de aguas arriba entre las abscisas K1+500 a K2+300 poseen gran potencial de arrastre, que lo depositan aguas abajo y desde luego en el tramo de aguas abajo las crecientes de gran magnitud como la esperada en 100 años de retorno tiene capacidad para originar arrastre.

Capacidad de Transporte de Sedimentos del lecho del río Bugalagrande según los Caudales Medios Máximos Mensuales Multianuales Históricos. Período 1976-2017

Para los caudales medios de los máximos mensuales multianuales históricos del río Bugalagrande en la estación El Placer que se presentan en la **Tabla 13** del período 1976-2017, se generaron en cada una de las secciones transversales la Capacidad de Transporte de Sedimentos mensual del lecho por el Método más apropiado para los materiales del río como es el de Meyer Peter and Muller.

TABLA 13. CAUDALES MEDIOS DE LOS MÁXIMOS MENSUALES MULTIANUALES DEL RÍO BUGALAGRANDE (M³/S). PERÍODO 1976-2017

ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
36.83	32.85	45.34	60.0	55.7	37.7	26.6	19.8	22.1	47.3	67.0	56.6
			9	6	9	4	9	4	5	4	8

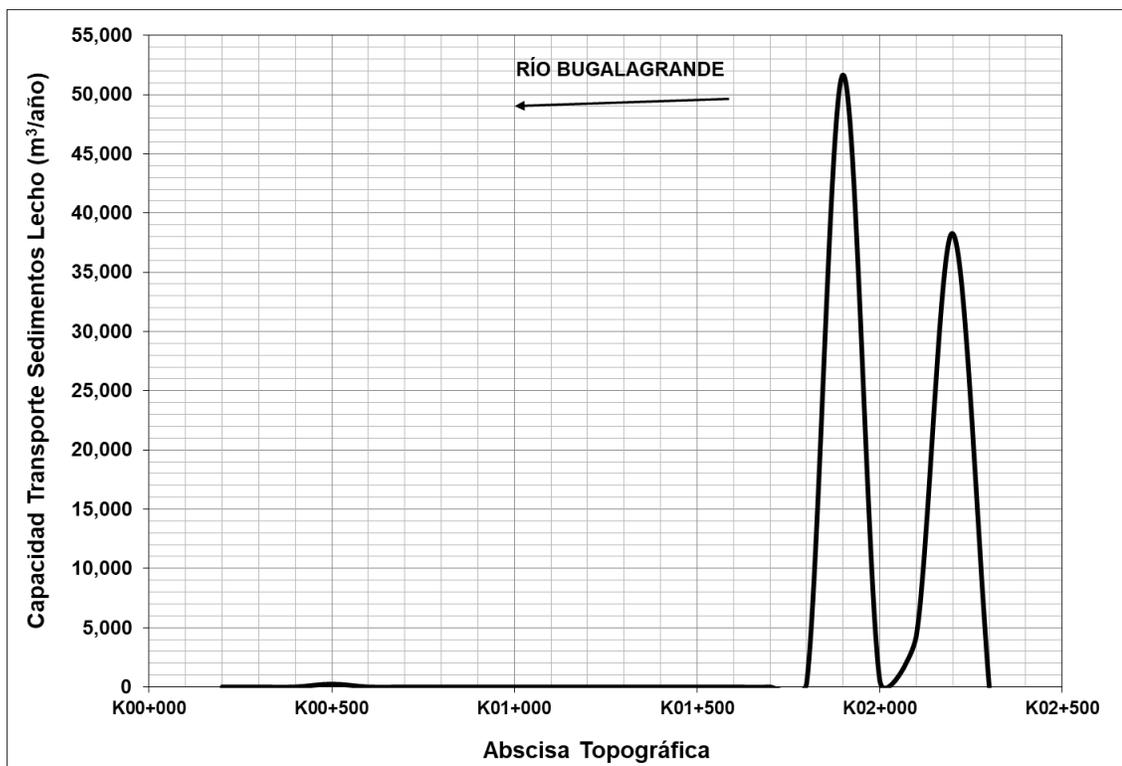
Una vez hallada la capacidad de transporte de sedimentos mensuales en el lecho del río Bugalagrande en cada sección transversal, mediante la gráfica de la capacidad de transporte con relación a los doce (12) meses del año, se obtuvo el volumen del material de arrastre anual, representada en el área bajo la curva para cada sección; dado que en cada mes, los caudales máximos medios mensuales están sesgados hacia los caudales máximos menores, el volumen anual

se afectó por 50%, que por el mencionado sesgo representa en promedio el peso de estos últimos sobre la serie de cada mes, reconociendo su importancia; sin embargo, debido a que el mayor transporte de sedimentos lo realizan los caudales máximos, con la anterior consideración la capacidad de transporte calculada puede estar subestimada, pero también compensa el tiempo de ocurrencia de las crecientes, que no es constante todo el mes.

En la **FIGURA 24** se presenta la capacidad de transporte del lecho en volumen a lo largo del río Bugalagrande en el tramo de extracción de materiales según el abscisado topográfico.

En el **Anexo 8** se presentan los cálculos mensuales y en el **Anexo 9** el resumen de la capacidad de transporte anual en cada sección.

FIGURA 24. CAPACIDAD DE TRANSPORTE DE ARRASTRE DEL LECHO POR EL MÉTODO DE MEYER PETER AND MULLER A LO LARGO DEL RÍO BUGALAGRANDE. CAUDALES MEDIOS MÁXIMOS MENSUALES. MULTIANUALES. PERÍODO 1976-2017. DOMINANTE (2 AÑOS DE RETORNO).



El potencial de transporte de los materiales del lecho del río Bugalagrande, se presenta en el tramo de aguas arriba entre las abscisas topográficas K1+800 y K2+200, hasta de 52,000 m³ por año; este volumen capaz de arrastrar por dinámica del flujo del río, es depositado aguas abajo en los 1,500 m, que es el tramo recomendado para la extracción de los materiales. Al considerar que de este volumen de 52,000 m³ por año, se utilice el 70% ya que al río se le debe dejar alguna cantidad, se dispondría de 36,400 m³ al año, que con un peso específico para gravas de 2.3 Ton/m³, equivale a un peso del orden de 84,000 Ton/año.

8. CONCLUSIONES

8.1 DEL ANÁLISIS MULTITEMPORAL DE FOTOGRAFÍAS AÉREAS

- El área de extracción de materiales se localiza en la zona media a baja del río Bugalagrande
- Aguas abajo de la bocatoma el río Bugalagrande es inestable ya que posee un ancho de corredor fluvial activo hasta de 500 m, compuesto por materiales aluviales y en el intervalo de los años 1957 a 2017, ha mostrado migraciones laterales.
- Morfológicamente, desde 700 m aguas arriba por el cauce del río Bugalagrande donde se inicia el área de extracción de materiales del lecho, se inicia el trenzamiento del cauce y su condición de inestabilidad, dado que el cauce discurre a un corredor aluvial de divagación más amplio, que facilita la acumulación y sedimentación de los materiales en el lecho que provienen de la parte alta de la cuenca.

8.2 DEL ESTUDIO HIDROLÓGICO

- La distribución durante el año tanto de las precipitaciones medias como de los caudales medios y máximos instantáneos con igual similitud, son de tipo bimodal con valores máximos entre los meses de Marzo a Mayo para el primer semestre y Octubre a Noviembre para el segundo, en tanto que los menores ocurren en los meses del período de verano entre Junio a Agosto a mediados del año y entre Diciembre y Febrero.
- Las precipitaciones máximas mayores suelen ocurrir en los meses de Marzo y Noviembre.
- Los caudales máximos anuales en el río Bugalagrande son más frecuentes de ocurrir en los meses de Abril y Noviembre, mientras que en los meses de Febrero y Junio a Septiembre, no se han presentado.
- La estación hidrométrica El Placer está localizada aproximadamente a tan solo 2.5 Kms aguas arriba del sitio del proyecto, a pesar de estar fuera del tramo en estudio, es representativa para los análisis hidrológicos con la ventaja de ser de tipo limnigráfica con registro de niveles instantáneos.
- El caudal máximo histórico ocurrido en el río Bugalagrande Estación El Placer en Noviembre del año 2017 de 301.34 m³/s, posee un período de retorno del orden de 80 años.

8.3 DEL ESTUDIO HIDRÁULICO

- Los parámetros dinámicos básicos del aforo líquido número 9739 de la CVC de Abril 14 del 2011, son similares con algunas pequeñas diferencias con relación de los obtenidos en la simulación con el hec ras para el mismo caudal de 64.72 m³/s, en la calibración del modelo.
- El régimen de flujo en el río Bugalagrande sector de la extracción de materiales en general oscila entre subcrítico o tranquilo a casi-crítico.
- Las velocidades medias del flujo esperadas para la creciente máxima de 2 años de retorno equivalente al caudal dominante, en el tramo de la extracción de materiales oscilan entre 1.33 y 2.54 m/s.

8.4 CAPACIDAD DE TRANSPORTE DE SEDIMENTOS EN EL LECHO DEL RÍO BUGALAGRANDE

- La capacidad de transporte de sedimentos del presente estudio, es producto de las características geométricas y dinámicas del cauce del río Bugalagrande, asumiendo que la cuenca hidrográfica de 648 Km², abastece de materiales desde aguas arriba hacia el tramo del río previsto para la extracción aguas abajo.
- Los materiales del lecho predominantes en el cauce del río Bugalagrande son las gravas, seguido por las arenas y en un porcentaje muy bajo los finos. El diámetro medio se clasifica como grava muy gruesa.
- Los diversos análisis de capacidad de transporte de los materiales del lecho permiten concluir [río posee alta energía para transportar materiales del lecho, que los va a depositar aguas abajo en el intervalo de K0+000 a K1+500, donde la capacidad de arrastre solo es efectiva en caudales máximo como la creciente esperada en 100 años de retorno, por esta razón el tramo de aguas abajo es el más recomendado para la extracción de materiales del lecho.
- El análisis de la capacidad de transporte de sedimentos del lecho para los caudales medios máximos instantáneos mensuales del río Bugalagrande, permite concluir que el volumen a extraer debe ser del orden de 36,400 m³ al año, equivalentes en peso a 84,000 Ton por año.
- No se realizó una simulación hidráulica y análisis de la capacidad de transporte de sedimentos en el lecho del río Bugalagrande, para el escenario posterior al volumen extraído de materiales, por cuanto en el tramo recomendado entre el K0+000 a K1+500 por la amplitud del cauce el arrastre esperado es bajo, las condiciones más relevantes que posee de agrandar y sedimentar materiales, con las áreas incrementadas en las secciones por extracción de materiales, las velocidades y esfuerzos del flujo disminuyen y de hecho la capacidad de transporte también.
- El tramo recomendado para extracción de materiales del lecho entre las abscisas K0+000 y K1+500, presenta arrastre únicamente durante la ocurrencia de crecientes máximas extraordinarias como la de 100 años de retorno.
- No se espera afectación de la estructura **de la bocatomá** aguas abajo y distante 5 Kms por el cauce del río Bugalagrande, como consecuencia de la extracción de los materiales del lecho debido a que dicha estructura tipo presa está reteniendo los materiales de arrastre del cauce.

9. RECOMENDACIONES

- Los procesos de extracción de materiales del lecho, es recomendable realizarlos principalmente durante los períodos definidos de verano entre Junio y Agosto a mediados del año y entre Diciembre y Febrero.
- Por la magnitud de la cuenca de tan solo 648 Km², no es recomendable desarrollar la extracción de materiales por tiempos prolongados, salvo que el abastecimiento de materiales de la cuenca sea alto.
- La profundidad máxima de extracción de materiales aluviales en el lecho del río Bugalagrande debe ser de 1.50 metros, sin que supere el punto más bajo de la sección denominado thalweg o el nivel freático.
- La extracción de materiales aluviales es recomendable realizarla preferiblemente en las zonas internas de las curvas del río, donde es permanente la sedimentación y acumulación de materiales

por la dinámica del flujo, nunca se debe extraer materiales de curvas externas porque se incrementaría la socavación y erosión adicional a la que origina el mismo río.

- No es recomendable ensanchar mucho el cauce con la extracción de materiales, debido a que se reducen considerablemente la velocidad y el esfuerzo del flujo, lo que impide el arrastre de materiales hacia aguas abajo.
- La extracción de materiales de arrastre es recomendable ejecutarla en áreas donde la corriente natural aporte o genere agradación tales como islas, bancos, playas, áreas internas de las curvas y en terrazas aluviales bajas y amplias, de tal forma que no se generen impactos negativos de gran magnitud o irreversibles.
- No deben realizarse explotaciones en la línea del thalweg (mayor profundidad longitudinal), ni tampoco por debajo del nivel de abatimiento del río y su nivel freático.

ANEXO 1

INFORMACIÓN DE LA CVC

PRECIPITACIONES



CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL VALLE DEL CAUCA

Dirección Técnica Ambiental
Grupo Recursos Hídricos / Red de Monitoreo

ESTACIÓN: VENUS
CÓDIGO: 2614200101
CUENCA: Morales
DEPARTAMENTO: Valle del Cauca
MUNICIPIO: TULLÁ
CORREGIMIENTO: Venus
COORD. ESTE: 1111149,71
COORD. NORTE: 937278,30
ALTURA: 1560
CATEGORÍA: Pluviométrica
ENTIDAD: CVC
FECHA INICIO: 01/02/1971

PRECIPITACIÓN MENSUAL MULTIANUAL TOTAL (mm)

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1971	***<	74,0<	406,0	294,0	358,0	273,0	77,0	340,0	270,0	632,0	471,0	126,0	3521,0<
1972	213,0	240,0	186,0	264,0	228,0	248,0	12,0	30,0	53,0	169,0	171,0	96,0	1910,0
1973	18,0	7,0	65,0	267,0	312,0	189,0	229,0	186,0	154,0	371,0	207,0	188,0	2193,0
1974	185,0	208,0	250,0	97,0	91,0	61,0	134,0	52,0	100,0	244,0	491,0	41,0	1954,0
1975	51,0	143,0	247,0	346,0	177,0	40,0	185,0	122,0	153,0	631,0	577,0	321,0	2993,0
1976	19,0	131,0	332,0	486,0	178,0	66,0	44,0	18,0	100,0	247,0	224,0	73,0	1918,0
1977	2,0	28,0	209,0	281,0	181,0	202,0	107,0	143,0	134,0	168,0	175,0	171,0	1801,0
1978	117,0	76,0	161,0	470,0	230,0	118,0	96,0	49,0	65,0	173,0	130,0	145,0	1830,0
1979	85,0	100,0	201,0	311,0	130,0	108,0	98,0	170,0	123,0	277,0	282,0	59,0	1944,0
1980	115,0	94,0	47,0	160,0	289,0	213,0	51,0	34,0	126,0	153,0	214,0	189,0	1685,0
1981	19,0	112,0	309,0	239,0	345,0	188,0	115,0	141,0	128,0	255,0	335,0	203,0	2389,0
1982	220,0	282,0	243,0	375,0	302,0	93,0	114,0	17,0	209,0	350,0	227,0	117,0	2549,0
1983	24,0	69,0	157,0	305,0	193,0	136,0	54,0	71,0	96,0	319,0	138,0	200,0	1762,0
1984	241,0	281,0	160,0	310,0	247,0	192,0	164,0	102,0	221,0	320,0	292,0	223,0	2753,0
1985	246,0	15,0	199,0	216,0	225,0	91,0	60,0	232,0	164,0	294,0	164,0	204,0	2110,0
1986	164,0	257,0	225,0	318,0	233,0	149,0	63,0	146,0	174,0	309,0	166,0	141,0	2345,0
1987	85,0	25,0	210,0	177,0	381,0	56,0	199,0	82,0	161,0	320,0	134,0	107,0	1937,0
1988	93,0	104,0	83,0	351,0	254,0	292,0	129,0	315,0	207,0	356,0	410,0	308,0	2902,0
1989	161,0	167,0	232,0	115,0	428,0	195,0	105,0	94,0	186,0	253,0	167,0	162,0	2265,0
1990	123,0	159,0	209,0	200,0	109,0	94,0	148,0	57,0	161,0	319,0	172,0	182,0	1933,0
1991	68,0	63,0	335,0	122,0	296,0	169,0	140,0	43,0	200,0	198,0	233,0	201,0	2068,0
1992	74,0	122,0	128,0	95,0	179,0	70,0	117,0	110,0	181,0	177,0	158,0	113,0	1524,0
1993	63,0	150,0	206,0	245,0	290,0	94,0	136,0	61,0	303,0	272,0	285,0	250,0	2355,0
1994	251,0	183,0	320,0	308,0	185,0	186,0	43,0	59,0	86,0	383,0	355,0	104,0	2463,0
1995	48,0	30,0	302,0	405,0	237,0	122,0	203,0	168,0	193,0	218,0	217,0	269,0	2412,0
1996	177,0	222,0	366,0	288,0	330,0	201,0	142,0	186,0	62,0	435,0	210,0	166,0	2785,0
1997	342,0	54,0	163,0	262,0	188,0	232,0	16,0	13,0	177,0	142,0	389,0	47,0	2025,0
1998	83,0	76,0	207,0	316,0	252,0	107,0	108,0	231,0	205,0	339,0	308,0	200,0	2432,0
1999	294,0	535,0	234,0	201,0	127,0	248,0	78,0	92,0	274,0	336,0	267,0	231,0	2917,0
2000	400,0	258,0	236,0	363,0	288,0	234,0	111,0	122,0	274,0	201,0	239,0	170,0	2896,0
2001	82,0	71,0	246,0	175,0	211,0	80,0	231,0	4,0	234,0	185,0	118,0	150,0	1787,0
2002	77,0	81,0<	218,0	281,0	69,0	156,0	80,0	44,0	187,0	400,0	313,0	82,0	1988,0<
2003	53,0	192,0	***<	***<	***<	275,0	130,0	225,0	152,0	433,0	188,0	266,0	1914,0<
2004	209,0	69,0	170,0	369,0	264,0	67,0	161,0	49,0	242,0	323,0	237,1	191,0	2351,1
2005	162,0	195,0	262,0	243,0	156,0	237,0	96,0	126,0	149,0	362,0	270,0	364,0	2622,0
2006	252,0	36,0	317,0	271,0<	254,0	323,0	63,0	79,0	110,0	307,0	326,0	238,0	2576,0<
2007	192,0	80,0	279,0	259,0	292,0	237,0	113,0	299,0	208,0	463,0	280,0	236,0	2938,0
2008	229,0	231,0	314,0	261,0	242,0	114,0	243,0	241,0	175,0	247,0	501,0	227,0	3025,0
2009	161,0	174,0	341,0	204,0	143,0<	83,0	47,0	126,0	43,0<	174,0	208,0	38,0	1742,0<
2010	39,0	97,0	72,0	288,0	113,0	159,0	332,0	143,0	232,0	283,0	300,0	379,0	2437,0
2011	95,0	122,0	122,0	459,0	146,0	294,0	153,0	104,0	161,0	206,0	417,0	175,0	2454,0
2012	337,0	101,0	181,0	275,0	222,0	55,0	31,0	102,0	105,0	535,0	211,0	213,0	2368,0
2013	69,0	284,0	248,0	145,0	532,0	86,0	92,0	189,0	123,0	210,0	328,0	199,0	2505,0

Fecha y Hora de Impresión: 31/05/2018 04:57 PM

Página 1 de 2



CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL VALLE DEL CAUCA

Dirección Técnica Ambiental
Grupo Recursos Hídricos / Red de Monitoreo

ESTACIÓN: VENUS
CÓDIGO: 2614200101
CUENCA: Morales
DEPARTAMENTO: Valle del Cauca
MUNICIPIO: TULUÁ
CORREGIMIENTO: Venus
COORD. ESTE: 1111149,71
COORD. NORTE: 937278,30
ALTURA: 1560
CATEGORÍA: Pluviométrica
ENTIDAD: CVC
FECHA INICIO: 01/02/1971

Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca

PRECIPITACIÓN MENSUAL MULTIANUAL TOTAL (mm)

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
2014	184,0	248,0<	191,0	340,0	340,0	112,0	55,0	103,0	171,0	211,0	224,0	88,0	2267,0<
2015	46,0	143,0	158,0	405,0	171,0	98,0	107,0	64,0	156,0	481,0	244,0	44,0	2117,0
2016	111,0	146,0	255,0	477,0	377,0	135,0	122,0	87,0	359,0	261,0	253,0	163,0	2746,0
2017	299,0	73,0	252,0	264,0	184,0	224,0	63,0	198,0	112,0	201,0	244,0	313,0	2427,0
MÁXIMA	400,0<	535,0<	406,0<	486,0<	532,0<	323,0	332,0	340,0	359,0<	832,0	577,0	379,0	3521,0<
PROMEDIOS	143,0<	140,6<	222,9<	280,5<	238,7<	157,5	114,8	120,6	167,2<	305,2	265,3	178,1	2315,6<
MÍNIMA	2,0<	7,0<	47,0<	95,0<	69,0<	157,5	12,0	4,0	43,0<	142,0	118,0	38,0	1524,0<

***< = No Hay Data
< = Data Incompleto
Valeto = No Aplica Data



CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL VALLE DEL CAUCA

Dirección Técnica Ambiental
Grupo Recursos Hídricos - Red de Monitoreo

ESTACIÓN: VENUS
CÓDIGO: 2614200101
CUENCA: Morales
DEPARTAMENTO: Valle del Cauca
MUNICIPIO: TULUÁ
CORREGIMIENTO: Venus
COORD. ESTE: 1111149,71
COORD. NORTE: 937278,30
ALTURA: 1560
CATEGORÍA: Pluviométrica
ENTIDAD: CVC
FECHA INICIO: 01/02/1971

Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca

PRECIPITACIÓN MENSUAL MULTIANUAL MÁXIMAS EN 24 HORAS (mm)

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1971	***<	21,0<	49,0	60,0	58,0	60,0	19,0	57,0	52,0	100,0	100,0	50,0	100,0<
1972	50,0	55,0	110,0	60,0	36,0	50,0	5,0	5,0	10,0	35,0	40,0	40,0	110,0
1973	10,0	5,0	12,0	50,0	35,0	40,0	50,0	40,0	22,0	100,0	40,0	49,0	100,0
1974	70,0	60,0	50,0	31,0	40,0	10,0	50,0	20,0	30,0	105,0	90,0	16,0	105,0
1975	20,0	30,0	50,0	105,0	72,0	10,0	35,0	27,0	40,0	108,0	135,0	98,0	135,0
1976	10,0	26,0	41,0	105,0	54,0	10,0	41,0	13,0	42,0	41,0	41,0	15,0	105,0
1977	1,0	15,0	60,0	105,0	30,0	40,0	28,0	40,0	35,0	24,0	36,0	40,0	105,0
1978	40,0	23,0	45,0	40,0	40,0	25,0	22,0	10,0	13,0	40,0	29,0	41,0	45,0
1979	30,0	45,0	62,0	95,0	24,0	27,0	36,0	29,0	25,0	69,0	43,0	22,0	95,0
1980	33,0	31,0	14,0	20,0	80,0	40,0	14,0	19,0	30,0	30,0	49,0	35,0	80,0
1981	9,0	17,0	72,0	44,0	38,0	42,0	17,0	30,0	27,0	30,0	45,0	37,0	72,0
1982	50,0	55,0	34,0	80,0	30,0	18,0	25,0	8,0	33,0	67,0	41,0	25,0	80,0
1983	7,0	35,0	24,0	40,0	31,0	21,0	20,0	26,0	18,0	32,0	43,0	36,0	43,0
1984	48,0	40,0	60,0	85,0	32,0	33,0	38,0	23,0	50,0	60,0	48,0	32,0	85,0
1985	50,0	6,0	48,0	50,0	31,0	36,0	18,0	85,0	26,0	34,0	40,0	43,0	85,0
1986	46,0	45,0	34,0	70,0	30,0	24,0	20,0	37,0	40,0	48,0	65,0	50,0	70,0
1987	15,0	8,0	48,0	35,0	67,0	17,0	40,0	19,0	30,0	31,0	70,0	27,0	70,0
1988	32,0	28,0	58,0	38,0	50,0	55,0	40,0	63,0	55,0	75,0	94,0	41,0	94,0
1989	40,0	30,0	50,0	20,0	80,0	43,0	20,0	20,0	41,0	61,0	44,0	48,0	80,0
1990	21,0	24,0	59,0	40,0	15,0	24,0	23,0	24,0	34,0	77,0	44,0	78,0	78,0
1991	20,0	15,0	69,0	33,0	46,0	32,0	24,0	14,0	33,0	38,0	38,0	82,0	82,0
1992	12,0	29,0	40,0	21,0	32,0	13,0	38,0	57,0	31,0	61,0	26,0	23,0	61,0
1993	16,0	60,0	32,0	46,0	50,0	19,0	62,0	20,0	65,0	67,0	54,0	36,0	67,0
1994	65,0	28,0	62,0	49,0	35,0	60,0	14,0	20,0	20,0	42,0	60,0	30,0	65,0
1995	46,0	19,0	75,0	87,0	45,0	17,0	39,0	38,0	76,0	46,0	49,0	42,0	87,0
1996	43,0	49,0	53,0	50,0	40,0	40,0	20,0	38,0	17,0	59,0	46,0	23,0	59,0
1997	50,0	13,0	29,0	45,0	42,0	47,0	9,0	7,0	34,0	30,0	60,0	15,0	60,0
1998	39,0	17,0	31,0	38,0	40,0	28,0	20,0	50,0	35,0	65,0	62,0	44,0	65,0
1999	49,0	88,0	35,0	25,0	20,0	49,0	30,0	20,0	37,0	57,0	35,0	41,0	88,0
2000	79,0	31,0	50,0	42,0	50,0	44,0	19,0	17,0	39,0	29,0	43,0	32,0	79,0
2001	40,0	29,0	40,0	40,0	29,0	7,0	64,0	4,0	32,0	32,0	23,0	15,0	64,0
2002	15,0	24,0<	21,0	42,0	10,0	15,0	12,0	8,0	52,0	105,0	30,0	15,0	105,0<
2003	20,0	35,0	***<	***<	***<	***<	31,0	21,0	40,0	60,0	20,0	75,0	75,0<
2004	60,0	30,0	45,0	60,0	54,0	20,0	25,0	10,0	35,0	51,0	51,0	51,0	60,0
2005	45,0	63,0	33,0	40,0	21,0	40,0	23,0	20,0	35,0	50,0	42,0	54,0	63,0
2006	52,0	6,0	50,0	70,0<	36,0	101,0	20,0	22,0	15,0	40,0	39,0	30,0	101,0<
2007	76,0	20,0	75,0	30,0	40,0	55,0	35,0	46,0	60,0	55,0	60,0	30,0	76,0
2008	50,0	49,0	40,0	30,0	35,0	16,0	100,0	56,0	50,0	30,0	70,0	35,0	100,0
2009	15,0	52,0	40,0	30,0	35,0<	8,0	5,0	50,0	15,0<	20,0	54,0	11,0	54,0<
2010	18,0	80,0	35,0	40,0	25,0	40,0	100,0	35,0	30,0	50,0	101,0	20,0	101,0
2011	20,0	25,0	20,0	60,0	30,0	50,0	15,0	15,0	40,0	20,0	60,0	22,0	60,0
2012	54,0	30,0	45,0	34,0	35,0	11,0	6,0	60,0	58,0	61,0	42,0	50,0	61,0
2013	12,0	43,0	45,0	10,0	88,0	20,0	30,0	29,0	17,0	39,0	40,0	40,0	88,0

Fecha y Hora de Impresión: 31/05/2018 04:58 PM

Página 1 de 2



CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL VALLE DEL CAUCA
 Dirección Técnica Ambiental
 Grupo Recursos Hídricos - Red de Monitoreo

ESTACIÓN: VENUS
 CÓDIGO: 2614200101
 CUENCA: Morales
 DEPARTAMENTO: Valle del Cauca
 MUNICIPIO: TULUÁ
 CORREGIMIENTO: Venus
 COORD. ESTE: 1111149,71
 COORD. NORTE: 937276,30
 ALTURA: 1560
 CATEGORÍA: Pluviométrica
 ENTIDAD: CVC
 FECHA INICIO: 01/02/1971

PRECIPITACIÓN MENSUAL MULTIANUAL MÁXIMAS EN 24 HORAS (mm)

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
2014	38,0	50,0<	24,0	56,0	45,0	20,0	17,0	48,0	30,0	26,0	40,0	28,0	56,0<
2015	11,0	13,0	30,0	50,0	42,0	12,0	19,0	14,0	37,0	70,0	40,0	9,0	70,0
2016	30,0	21,0	60,0	90,0	95,0	22,0	15,0	17,0	60,0	27,0	75,0	34,0	95,0
2017	70,0	35,0	20,0	40,0	25,0	20,0	10,0	30,0	15,0	31,0	25,0	45,0	70,0
MÁXIMA	79,0<	88,0<	110,0<	105,0	95,0<	101,0	100,0	85,0	76,0<	108,0	135,0	98,0	135,0<
PROMEDIOS	35,4<	33,0<	45,2<	50,7<	41,7<	31,1	28,8	29,4	35,3<	51,7	51,5	37,3	79,8<
MÍNIMA	1,0<	5,0<	12,0<	10,0<	10,0<	7,0	5,0	4,0	10,0<	20,0	20,0	9,0	43,0<

<<<< = No Hay Dato
 < = Dato Incompleto
 Vazio = No Aplica Dato

ANEXO 2

INFORMACIÓN DE LA CVC

CAUDALES



CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL VALLE DEL CAUCA

Dirección Técnica Ambiental

Grupo Recursos Hídricos - Red de Monitoreo

ESTACIÓN: BUGALAGRANDE - EL
 CÓDIGO: 2614400403
 CUENCA: Bugalagrande
 DEPARTAMENTO: Valle del Cauca
 MUNICIPIO: ANDALUCÍA
 CORREGIMIENTO: Pardo
 COORD. ESTE: 1110474,03
 COORD. NORTE: 944915,72
 ALTURA: 1088.93
 CATEGORÍA: Limnigráfica
 ENTIDAD: CVC
 FECHA INICIO: 01/07/1976

CAUDAL MEDIO MENSUAL (m3/s)

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1976	***<	***<	***<	***<	***<	***<	11,83	8,27	7,01	15,87	18,72	10,64	12,06<
1977	6,71	5,75	5,81	11,49	14,88	14,15	8,74	8,02	7,14	10,75	18,54	7,67	9,97
1978	11,70	6,21	10,43	32,05	20,23	12,63	10,55	8,15	6,44	9,72	8,70	12,22	12,42
1979	7,41	5,93	11,72	15,73	18,47	18,06	8,89	10,88	12,36	19,34	47,39	21,71	16,49
1980	13,45	16,34	8,57	6,35	14,67	17,25	9,19	7,19	7,13<	29,69<	10,25	9,50	12,46<
1981	6,88	5,21	7,30	12,66	38,23	9,30	10,69	8,63	10,01	10,99	18,31	17,69	12,99
1982	19,96	27,61	15,84	26,07	21,84	13,14	11,26	8,45<	4,54	10,46	18,44	15,59<	16,10<
1983	14,53	12,14	15,87	30,97	12,12	12,82	9,52	7,95	7,09	8,31	7,85	18,86	13,17
1984	19,13	18,72	14,36	18,51	33,43	27,65	21,12	17,12	17,75	27,42	37,12	26,82	23,26
1985	25,69	19,93	17,76	24,80	27,38<	17,55	11,46	12,61	12,33	22,29	24,08	16,09	19,33<
1986	14,72	22,29	19,00	14,41	8,90	10,50	10,28	5,69	5,72	14,22	16,25	11,42	12,78
1987	6,97	5,83	8,61	10,82	18,68	10,06	8,88	9,01	7,52	22,44	17,30	17,04<	11,93<
1988	8,62	8,25<	8,00	16,07	11,63	19,20	24,01	15,48	19,94	24,15	42,19	28,14	18,81<
1989	11,63	10,96<	16,34	13,06	22,35	13,31	10,61	8,36	9,73	13,14	16,29	24,85	14,22<
1990	11,01	10,66	8,08	15,33<	23,09	10,62	9,69	6,13	5,28	8,84	8,27	16,59	11,13<
1991	5,04	3,10	8,21	11,81	12,75	11,65	9,31	7,72	6,41	8,78	12,22	10,85	8,99
1992	9,29	7,70	6,61	6,81	8,92	7,50	9,40	7,18	5,21	5,52	10,18	14,16	8,21
1993	10,33	11,08	9,82	28,13	23,07	14,39	8,51	4,86	6,31	7,61<	30,77	10,51	13,78<
1994	23,30	25,68	19,32	31,16	20,36	15,91	8,75	4,33	4,30	13,36	16,27	15,33	16,51
1995	9,50	6,28	11,67	21,69	26,93	13,74	12,72	16,09	8,04	18,19	38,30	39,11	18,52
1996	17,83	21,97	39,35	36,54	27,76	20,43	20,20	10,83	6,05	24,10	19,60	19,19	21,99
1997	32,15	16,48	12,57	14,88	12,53	15,35	11,59	6,02	5,69	7,09	17,01	14,27	13,80
1998	6,68	6,17	8,32<	25,80	20,97	15,59	10,13	8,73	10,89	18,28	34,14<	37,05	16,90<
1999	46,99<	55,68	33,51<	27,60<	22,20	19,67	13,86	11,63	16,45	25,31	35,28	28,18	28,03<
2000	34,99	27,27	24,28	22,57	30,36	31,45	14,44	11,11	11,68	13,75	23,33	13,07<	21,52<
2001	10,83	8,13<	12,45<	10,09	11,87	10,34	8,43	6,49	8,90	7,86	10,18	22,84	10,69<
2002	11,07	6,63	8,79	25,70	15,77	34,53	10,16	7,96	5,41	8,91	15,52	12,43	13,57
2003	6,28	6,70	15,30	24,19	13,62	13,16	10,18	7,09	7,04	27,89	26,44	23,36	15,10
2004	17,94	11,76	8,43	15,55	16,23	13,72	11,15	7,69	8,47	18,71	26,12	16,77	14,38
2005	13,51	13,45	12,05	12,21	18,69	11,60	7,70	6,61	5,50	21,75	29,49	29,97	15,21
2006	25,33	12,17	18,06	27,21	30,44	23,47	11,76	7,34	7,32	11,23	23,17	25,05	18,55
2007	12,54	9,58	12,41	26,87	26,11	23,63<	15,74	18,08	21,28	37,70	31,22	38,79	22,83<
2008	20,67	20,78	28,06	24,41	36,65	26,23	22,43	16,52	16,99	16,90	38,88	38,55	25,59
2009	26,08	21,42	25,76	26,98	19,26	17,14	10,58	6,42	6,00	9,08	13,26	6,75	15,73
2010	5,34	5,97	5,86	15,57	22,47	17,21	24,07	12,18	13,42	24,02	57,65	47,89	20,97
2011	21,08	28,76	36,95	64,53	37,60	22,73	16,15	10,71	9,34	31,60	47,85	56,30	31,97
2012	36,10	21,62	19,60	31,48	26,24	18,60	15,33	14,50	11,83	20,78	14,32	15,69	20,51
2013	9,30	13,20	13,24	12,44	18,63	10,89	8,16	8,31	6,65	8,03	17,82	24,48	12,60
2014	10,98	11,06	19,74	10,56	18,26	13,75	11,09	8,03	7,62	10,64	17,42	18,01	13,10
2015	12,08	11,88	12,94	14,64	11,26	12,14	9,27	7,19	5,59	6,37	8,74	5,23	9,78
2016	5,10	4,81	6,85	10,70	13,13	10,54	10,61	6,90	8,82	11,21	19,67	16,94	10,44
2017	20,68	13,37	22,18	20,90	56,71<	20,76	9,03<	7,51	6,74	9,08<	51,39<	29,03	22,28<

Fecha y Hora de Impresión: 06/07/2018 11:43 AM

Página 1 de 2



CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL VALLE DEL CAUCA

Dirección Técnica Ambiental

Grupo Recursos Hídricos - Red de Monitoreo

ESTACIÓN: BUGALAGRANDE - EL
 CÓDIGO: 2614400403
 CUENCA: Bugalagrande
 DEPARTAMENTO: Valle del Cauca
 MUNICIPIO: ANDALUCÍA
 CORREGIMIENTO: Pardo
 COORD. ESTE: 1110474,03
 COORD. NORTE: 944915,72
 ALTURA: 1088.93
 CATEGORÍA: Limnigráfica
 ENTIDAD: CVC
 FECHA INICIO: 01/07/1976

MÁXIMO	46,99<	55,68<	39,35<	64,53<	56,71<	34,53<	24,07<	18,08<	21,28<	37,70<	57,65<	56,30<	31,97<
MEDIO	15,60<	14,11<	15,12<	20,72<	21,58<	16,40<	12,08<	9,28<	9,00<	15,99<	23,71<	21,06<	16,16<
MÍNIMO	5,04<	3,10<	5,81<	6,35<	8,90<	7,50<	7,70<	4,33<	4,30<	5,52<	7,85<	5,23<	8,21<

***< = No Hay Dato
 < = Dato Incompleto
 Valet = No Aplica Dato



CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL VALLE DEL CAUCA

Dirección Técnica Ambiental
Grupo Recursos Hídricos - Red de Monitoreo

ESTACIÓN: BUGALAGRANDE - EL
CÓDIGO: 2614400403
CUENCA: Bugalagrande
DEPARTAMENTO: Valle del Cauca
MUNICIPIO: ANDALUCÍA
CORREGIMIENTO: Pardo
COORD. ESTE: 1110474,03
COORD. NORTE: 944915,72
ALTURA: 1088,93
CATEGORÍA: Limnigráfica
ENTIDAD: CVC
FECHA INICIO: 01/07/1976

CAUDAL MÁXIMO MENSUAL (m³/s)

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1976	***<	***<	***<	***<	***<	***<	28,30	14,70	15,70	35,90	56,40	15,70	56,40<
1977	8,10	7,10	13,20	26,80	29,70	26,80	14,20	18,50	15,70	17,40	40,20	15,70	40,20
1978	40,20	8,90	38,50	73,90	47,00	26,20	28,70	12,40	19,20	40,40	15,20	23,70	73,90
1979	9,30	8,20	23,70	62,00	36,60	33,70	12,10	23,70	19,20	47,70	96,80	37,20	96,80
1980	17,20	34,30	19,20	8,20	58,40	69,20	14,00	10,50	***<	***<	101,10	19,70	101,10<
1981	12,20	9,30	21,90	27,70	81,20	58,90	67,30	10,70	15,70	15,70	44,70	44,70	81,20
1982	68,20	68,20	68,20	62,20	54,90	18,50	19,70	16,50<	8,20	34,40	29,30	21,00<	68,20<
1983	19,70	17,60	73,60	65,50	35,60	23,40	13,00	15,40	9,20	16,80	13,00	74,80	74,80
1984	74,80	33,70	49,80	66,80	61,60	42,90	33,70	56,70	29,00	81,80	61,30	41,90	81,80
1985	55,50	24,60	44,00	55,50	55,50<	38,70	15,10	19,00	38,70	44,00	47,90	31,80	55,50<
1986	31,30	51,40	33,70	34,70	13,70	24,60	25,10	16,80	20,50	59,20	44,00	14,70	59,20
1987	9,79	7,76	16,50	28,52	58,35	16,50	25,41	32,08	19,63	84,26	40,44	39,64<	84,26<
1988	12,41	28,52<	35,63	39,64	25,41	75,33	67,04	35,63	76,33	64,43	86,24	96,75	96,75<
1989	19,63	58,35<	58,35	24,79	107,86	16,95	19,63	10,91	25,41	28,52	50,27	96,75	107,86<
1990	20,00	61,50	61,50	46,90<	110,00	33,50	27,50	8,60	21,50	27,50	77,30	110,00	110,00<
1991	8,35	3,86	42,55	20,88	24,46	18,49	17,69	24,46	14,47	18,49	42,55	35,96	42,55
1992	14,03	11,42	12,29	14,47	18,49	13,16	32,40	30,00	13,05	9,00	32,40	30,00	32,40
1993	24,00	36,00	30,60	155,24	80,25	36,03	14,15	9,70	12,50	30,01<	87,81	23,60	155,24<
1994	96,42	67,83	57,50	55,25	74,00	52,25	30,00	10,80	18,50	114,50	50,00	43,00	114,50
1995	18,00	7,75	50,52	49,72	67,50	27,60	45,13	43,60	13,70	45,13	65,94	85,65	85,65
1996	39,92	46,36	76,76	65,79	49,33	44,34	44,34	14,06	8,26	85,80	65,79	73,64	85,80
1997	82,50	27,34	21,10	37,97	30,68	52,93	30,68	18,20	10,80	12,56	65,79	30,68	82,50
1998	18,20	8,60	30,68<	55,75	49,16	46,34	24,00	30,68	37,97	77,00	77,00<	98,90	98,90<
1999	197,00<	180,00<	55,20<	48,55<	41,90	36,65	21,40	26,50	55,20	133,00	121,25	109,50	197,00<
2000	133,44	90,80	48,00	180,00	58,00	40,30	18,72	14,38	18,00	33,84	62,00	44,40<	180,00<
2001	14,80	18,45<	22,35<	14,60	22,78	12,50	11,90	12,50	31,90	13,55	32,48	61,84	61,84<
2002	19,94	9,70	31,00	74,64	23,75	64,40	15,00	21,50	7,60	35,50	38,25	64,40	74,64
2003	8,80	27,59	40,60	83,60	40,60	23,30	15,20	10,00	11,20	64,40	64,40	112,20	112,20
2004	40,60	16,40	14,02	34,80	49,96	40,60	29,00	16,90	17,40	46,60	70,80	22,50	70,80
2005	22,50	46,60	22,50	34,80	34,80	17,40	9,82	17,40	14,90	70,80	64,40	70,80	70,80
2006	46,60	32,00	27,00	104,80	112,20	40,60	27,00	17,85	18,95	27,50	32,00	64,40	112,20
2007	18,95	15,45	37,00	46,60	64,40	32,00<	40,60	37,00	59,00	104,80	58,00	84,88	104,80<
2008	32,00	45,40	119,60	40,60	134,60	36,00	33,20	21,40	46,60	22,00	77,20	67,60	134,60
2009	29,80	27,00	233,20	37,00	32,00	29,80	22,00	7,06	12,20	38,80	38,80	8,14	233,20
2010	6,43	22,00	13,00	40,60	38,80	83,60	37,50	19,00	21,50	59,00	200,00	117,50	200,00
2011	26,50	55,00	63,00	180,00	82,00	63,00	24,40	21,20	15,00	132,00	100,00	91,30	180,00
2012	74,70	29,50	37,40	118,10	39,72	24,50	18,15	18,15	16,92	56,25	100,00	24,50	118,10
2013	10,75	22,35	45,61	25,50	53,00	19,79	16,10	16,92	13,94	21,06	63,25	115,37	115,37
2014	34,50	28,50	71,62	28,00	58,85	26,50	22,35	14,30	13,58	20,63	32,50	36,82	71,62
2015	20,63	21,92	34,50	35,66	18,56	21,49	21,92	13,22	15,38	12,50	16,51	9,35	35,66
2016	11,45	11,45	13,58	47,56	34,00	18,56	22,78	10,05	39,14	40,30	50,96	27,50	50,96
2017	61,00	18,97	50,28	210,12	176,49<	121,14	62,62<	36,45	16,94	18,46<	301,34<	142,26	301,34<

Fecha y Hora de Impresión: 05/07/2018 11:43 AM

Página 1 de 2



CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL VALLE DEL CAUCA

Dirección Técnica Ambiental
Grupo Recursos Hídricos - Red de Monitoreo

ESTACIÓN: BUGALAGRANDE - EL
CÓDIGO: 2614400403
CUENCA: Bugalagrande
DEPARTAMENTO: Valle del Cauca
MUNICIPIO: ANDALUCÍA
CORREGIMIENTO: Pardo
COORD. ESTE: 1110474,03
COORD. NORTE: 944915,72
ALTURA: 1088,93
CATEGORÍA: Limnigráfica
ENTIDAD: CVC
FECHA INICIO: 01/07/1976

MÁXIMO	197,00<	180,00<	233,20<	210,12<	176,49<	121,14<	67,30<	56,70<	76,33<	133,00<	301,34<	142,26<	301,34<
MEDIO	36,83<	32,85<	45,34<	60,09<	55,76<	37,79<	26,64<	19,89<	22,14<	47,35<	67,04<	56,68<	102,63<
MÍNIMO	6,43<	3,86<	12,29<	8,20<	13,70<	12,50<	9,82<	7,06<	7,60<	9,00<	13,00<	8,14<	32,40<

***< = No Hay Data
< = Dato Incompleto
Vaño = No Aplica Dato

ANEXO 3
INFORMACIÓN DE LA CVC
AFOROS LÍQUIDOS



CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL VALLE DEL CAUCA
 Dirección Técnica Ambiental
 Grupo Recursos Hídricos - Red de Monitoreo

ESTACIÓN: BUGALAGRANDE - EL
 CÓDIGO: 261400403
 CUENCA: Bugalagrande
 DEPARTAMENTO: Valle del Cauca
 MUNICIPIO: ANDALUCÍA
 CORREGIMIENTO: Pardo
 COORD. ESTE: 110474,03
 COORD. NORTE: 944915,72
 ALTURA: 1088,93
 CATEGORÍA: Limnigráfica
 ENTIDAD: CVC
 FECHA INICIO: 01/07/1976

RESUMEN DE AFOROS LIQUIDOS

Nº AFORO	FECHA	ANCHO SECC.	PROF. MEDIA	AREA	VEL. MEDIA	NIVEL AFORO	CAUDAL (m³/s)	CAUDAL TABLA	METODO	MOLINET TIPO Nº	AFORADORES	PERIM. MOJADO	RAD. HEDRA	R *20	ln	% TABL.	NIVEL TABLA	CORRECCION	OBSERVACIONES	
1580	12/01/1993	18,00	0,4	7,11	1,02	0,87	7,26	11,30	VADEO	A-19017	MARIN-DOMINGUEZ	18,70	0,38	0,52	1,05	35,8	368	0,75	-0,12	IA
1581	16/02/1993	17,40	0,4	6,95	1,14	0,87	7,91	11,30	VADEO	A-60018	CAicedo-TABARES	18,2	0,38	0,53	2,18	30,0	368	0,78	-0,09	
1582	03/03/1993	17,50	0,37	6,45	0,93	0,83	5,99	9,70	VADEO	A-60018	DOM-TABARES	18,24	0,35	0,5	1,88	38,3	368	0,7	-0,13	
1583	12/03/1993	18,70	0,55	10,25	1,76	0,98	18,02	16,90	SUSP.	A-80749	BERNAL-AGUDELO	19,8	0,52	0,64	2,73	-6,6	368	1	0,02	
1584	14/07/1993	17,50	0,44	7,96	0,95	0,74	7,28	7,00	VADEO	A-19017	SOTO-DOMINGUEZ	18,38	0,42	0,56	1,69	-4,1	368	0,75	0,01	
1585	05/08/1993	17,50	0,37	6,47	0,93	0,69	6	5,80	VADEO	A-19018	DOMINGUEZ-TABARES	18,24	0,35	0,5	1,85	-3,4	368	0,7	0,01	
1586	22/09/1993	17,10	0,3	5,11	0,85	0,62	4,35	4,40	VADEO	A-80749	RAMIREZ-AGUDELO	17,7	0,29	0,44	1,95	12,9	368	0,82	-0	
1587	08/11/1993	19,80	0,52	9,28	1,16	0,98	11,08	11,70	VADEO	A-19017	MARIN-DOMINGUEZ	19,84	0,49	0,62	1,91	13,36	368	0,95	-0,02	
1588	07/12/1993	19,00	0,44	12,23	1,73	1,12	21,19	28,01	SUSP.	A-19018	JACOB-TABARES	20,29	0,8	0,71	2,43	24,3	368	1,04	-0,08	
1589	12/01/1994	19,00	0,58	12,83	1,59	1,15	20,37	31,02	SUSP.	A-80017	MARIN-DOMINGUEZ	20,35	0,93	0,74	2,18	34,3	368	1,03	-0,12	
1590	14/03/1994	18,50	0,58	10,87	1,22	0,99	13,06	12,10	SUSP.	A-19018	DOMINGUEZ-CAICEDO	19,65	0,54	0,87	1,94	-8,0	368	0,91	0,02	
1591	02/03/1994	18,50	0,71	13,07	1,46	1,03	19,1	20,40	SUSP.	A-19017	MARIN-DOMINGUEZ	19,61	0,65	0,76	1,93	6,48	368	1,01	-0,02	
1592	06/04/1994	19,50	0,79	14,84	1,97	1,13	29,28	29,01	SUSP.	A-80749	DOMINGUEZ-AGUDELO	21,02	0,71	0,79	2,49	-0,9	368	1,13	0	
1593	03/05/1994	18,70	0,7	13,03	1,74	1,08	22,63	24,40	SUSP.	A-80748	COBO-AGUDELO	20,09	0,65	0,75	2,32	7,28	368	1,05	-0,02	
1594	12/07/1994	17,90	0,57	10,29	1,43	0,91	14,60	13,05	SUSP.	A-60018	CARDONA-CAICEDO	19,05	0,54	0,66	2,15	-12,6	368	0,94	0,03	
1595	24/08/1994	17,50	0,55	9,58	1,09	0,85	10,42	10,50	VADEO	A-80748	SOTO-LOPEZ	18,59	0,52	0,64	1,69	0,88	368	0,85	-0	
1596	05/09/1994	16,10	0,43	6,95	0,73	0,67	5,08	5,40	VADEO	A-80746	DOMINGUEZ-AGUDELO	16,90	0,41	0,55	1,33	5,9	368	0,85	-0,02	
1597	01/11/1994	17,50	0,55	9,71	1,42	0,85	13,83	10,50	VADEO	A-60018	CARDONA-CAICEDO	18,61	0,52	0,65	2,2	-31,7	368	0,92	0,07	
1598	01/03/1995	17,10	0,37	6,41	0,95	0,7	6,11	6,00	SUSP.	A-80748	AREVALO-TABARES	17,85	0,36	0,51	1,89	-1,8	368	0,7	0	
1599	29/03/1995	18,00	0,59	10,83	1,3	0,97	13,8	16,35	VADEO	A-80749	BARRA-AGUDELO	19,18	0,55	0,87	1,62	15,6	368	0,92	-0,05	
1600	16/05/1995	16,30	0,65	12,55	1,75	1,12	21,91	23,40	SUSP.	A-19018	CAICEDO-HERNANDEZ	20,6	0,81	0,72	2,43	6,4	367	1,1	-0,02	
1601	24/07/1995	17,80	0,51	8,93	1,03	0,62	9,19	10,70	SUSP.	A-19018	BELTRAN-CAICEDO	18,61	0,48	0,61	1,88	14,1	367	0,89	-0,03	

Página 1 de 9

Fecha y Hora de Impresión: 07/02/2019 08:07 AM

Nº AFORO	FECHA	ANCHO SECC.	PROF. MEDIA	AREA	VEL. MEDIA	NIVEL AFORO	CAUDAL (m³/s)	CAUDAL TABLA	METODO	MOLINET TIPO Nº	AFORADORES	PERIM. MOJADO	RAD. HEDRA	R *20	ln	% TABL.	NIVEL TABLA	CORRECCION	OBSERVACIONES	
1602	12/09/1995	17,30	0,48	8,38	1,06	0,85	8,92	7,75	SUSP.	A-19017	VELASCO-MARIN	17,22	0,48	0,59	1,79	-15,1	367	0,88	0,03	
1603	20/12/1995	19,70	0,87	17,1	2,17	1,32	37,14	37,72	SUSP.	A-80749	AGUDELO-AREVALO	21,44	0,8	0,89	2,62	15,5	367	1,31	-0,01	
1604	08/02/1996	19,20	0,69	13,17	1,75	1,09	23,07	23,43	SUSP.	A-80749	AGUDELO-VALASCO	20,57	0,64	0,74	2,36	15,6	366	1,08	-0,01	IA
1605	12/03/1996	21,00	1,15	24,1	2,96	1,65	71,35	71,28	SUSP.	A-80749	AGUDELO-VALASCO	23,3	1,03	1,02	2,89	-0,1	366	1,65	0	
1606	09/04/1996	19,80	0,59	11,19	1,78	1,02	19,98	19,42	SUSP.	A-80749	AGUDELO-ROJAS	20,08	0,58	0,68	2,03	-2,8	366	1,03	0,01	
1608	04/09/1996	19,40	0,7	13,58	1,98	1,02	21,98	22,19	SUSP.	S-F1348	ROJAS-SOTO	20,18	0,59	0,7	2,04	0,86	366	1,02	-0	
1609	03/07/1996	18,50	0,59	10,83	1,85	0,94	17,5	17,87	SUSP.	A-19017	MARIN-ROJAS	19,07	0,55	0,67	2,46	-2,2	365	0,94	0	
1610	15/09/1996	17,50	0,48	8,43	1,17	0,78	9,82	9,98	VADEO	S-F1348	ROJAS-SOTO	18,46	0,48	0,59	1,67	19,8	365	0,76	-0	
1612	09/04/1996	19,50	0,41	6,71	0,92	0,7	6,15	5,97	VADEO	A-19017	-	17,31	0,39	0,53	1,72	-3,0	364	0,71	0,01	
1611	19/04/1996	19,50	0,39	6,5	0,98	0,7	6,23	5,97	VADEO	A-19017	ROJAS-MARIN	17,29	0,38	0,52	1,84	-4,4	364	0,71	0,01	
1613	29/10/1996	17,00	0,82	10,47	1,62	1,02	20,08	19,42	SUSP.	S-F1348	VELASCO-SOTO	18,23	0,57	0,69	2,78	-3,4	364	1,03	0,01	
1614	09/11/1996	17,50	0,57	9,68	1,25	0,9	12,48	13,39	VADEO	A-19017	AGUDELO-MARIN	18,64	0,54	0,66	1,9	6,98	364	0,88	-0,02	
1615	03/12/1996	17,50	0,52	9,19	1,37	0,86	12,52	12,99	VADEO	A-19017	VELASCO-MARIN	18,55	0,49	0,62	2,19	3,98	364	0,88	-0,01	
1616	04/02/1997	17,50	0,65	11,46	1,67	1,02	19,15	19,42	SUSP.	A-80748	JOEL-TABARES	18,61	0,61	0,72	2,33	14,4	364	1,02	-0	
1617	25/03/1997	17,50	0,42	7,43	1,52	0,98	11,3	17,30	SUSP.	A-80748	JOEL-TABARES	18,35	0,4	0,55	2,78	34,7	364	0,85	-0,13	
1618	23/04/1997	18,40	0,64	11,79	1,72	1,04	20,32	20,57	SUSP.	A-80748	ROJAS-TABARES	19,68	0,6	0,71	2,43	12,3	364	1,04	-0	
1619	14/05/1997	17,50	0,5	8,78	1,37	0,89	12,04	12,99	VADEO	A-19017	AGUDELO-MARIN	18,5	0,47	0,61	2,25	7,36	364	0,87	-0,02	
1620	28/05/1997	17,30	0,48	8,3	1,43	0,84	11,88	10,97	VADEO	A-19017	AGUDELO-MARIN	18,26	0,45	0,59	2,42	-8,2	364	0,86	0,02	
1621	24/06/1997	17,50	0,45	7,87	1,18	0,83	9,28	9,62	VADEO	A-19017	AGUDELO-MARIN	18,4	0,43	0,57	2,08	8,56	363	0,82	-0,01	
1622	06/07/1997	18,00	0,82	11,15	1,8	0,96	17,81	17,86	VADEO	A-80749	AGUDELO-MARIN	19,24	0,58	0,7	2,3	-0,7	363	0,99	0	
1623	28/08/1997	18,50	0,38	6,31	0,96	0,78	6,02	6,90	VADEO	A-19017	AGUDELO-MARIN	17,28	0,37	0,51	1,87	12,7	363	0,72	-0,03	

Página 2 de 9

Fecha y Hora de Impresión: 07/02/2019 08:07 AM

Nº AFORO	FECHA	ANCHO SECC.	PROF. MEDIA	AREA	VEL. MEDIA	NIVEL AFORO	CAUDAL (m³/s)	CAUDAL TABLA	METODO	MOLINET TIPO Nº	AFORADORES	PERIM. MOJADO	RAD. HEDRA	R *20	ln	% TABL.	NIVEL TABLA	CORRECCION	OBSERVACIONES	
1624	02/09/1997	18,50	0,35	5,77	0,96	0,7	5,15	5,20	VADEO	A-19017	AGUDELO-MARIN	17,2	0,34	0,48	1,85	0,3	363	0,7	-0	
1625	02/09/1997	18,50	0,39	6,4	0,94	0,72	5,4	5,88	VADEO	A-19017	AGUDELO-MARIN	17,28	0,37	0,52	1,63	8,2	363	0,71	-0,01	
1626	17/09/1997	18,50	0,32	5,2	0,85	0,68	4,44	4,40	VADEO	A-19017	AGUDELO-MARIN	17,13	0,3	0,45	1,89	5,6	363	0,67	-0,01	
1627	09/10/1997	18,50	0,34	5,58	0,81	0,68	4,51	4,70	VADEO	A-19017	AGUDELO-MARIN	17,18	0,32	0,47	1,71	4,0	363	0,67	-0,01	
1628	23/10/1997	17,00	0,39	6,53	0,96	0,75	6,58	6,90	VADEO	A-19017	AGUDELO-MARIN	17,78	0,37	0,52	1,91	4,7	363	0,74	-0,01	
1629	13/11/1997	18,30	0,49	9,01	1,69	0,93	15,25	14,58	SUSP.	A-19017	MARIN-AGUDELO	19,28	0,47	0,6	2,81	-4,7	363	0,94	0,01	
1630	28/11/1997	20,00	0,88	13,69	2,03	1,13	27,8	28,00	SUSP.	A-80746	AGUDELO-SOTO	21,37	0,84	0,74	2,73	-6,9	363	1,16	0,03	

RESUMEN DE AFOROS LIQUIDOS

Nº AFORO	FECHA	ANCHO SECC	PROF MEDIA	AREA	VEL MEDIA	NIVEL AFORO	CAUDAL (m³/s)	CAUDAL TABLA	METODO AFORO	MOLINET TIPO Nº	AFORADORES	PERM MOJADO	RADIO HERRA	R *20	I/n	%	TABL	NIVEL TABLA	CORRECCION	OBSERVACIONES
5471	14/06/2001	20.00	0.38	7.86	1.42	0.55	10.01	11.00	SUSP.	F19017	Martin-Cabeado	20.77	0.37	0.51	2.77	0.8 %	387	0.55	-0	
5505	01/08/2001	20.00	0.36	7.24	1.13	0.49	8.16	8.02	SUSP.	F1348	Jimenez-Rojas	20.72	0.36	0.5	2.27	-1.7	387	0.46	0	
5581	25/09/2001	18.00	0.36	6.72	0.82	0.4	5.52	5.80	VADEO	F19017	Cabeado-Martin	19.32	0.35	0.49	1.66	4.8 %	387	0.39	-0.01	
5790	23/10/2001	20.15	0.43	8.02	1.08	0.52	9.35	10.10	VADEO	F19017	Cabeado-Agudelo	21.01	0.41	0.55	1.66	7.4 %	387	0.5	-0.02	
6071	08/11/2001	20.00	0.36	7.18	0.93	0.44	6.7	7.28	VADEO	80747	Bernal-Agudelo	20.72	0.35	0.49	1.89	6.0 %	387	0.42	-0.02	
6072	23/01/2002	20.30	0.39	7.95	1.06	0.56	8.4	9.70	VADEO	80749	Cabeado-Agudelo	21.08	0.38	0.52	2.02	13.4 %	386	0.52	-0.04	Medidor Inv. 1008
6188	16/02/2002	20.20	0.34	6.88	0.89	0.48	6.1	7.12	VADEO	80748	Agudelo-Martin	20.88	0.33	0.48	1.86	14.4 %	386	0.44	-0.04	Medidor Inv. 1008
6471	06/05/2002	20.70	0.53	11.07	1.39	0.65	15.43	14.35	VADEO	90016	Agudelo-Berna	21.77	0.51	0.64	2.19	-7.5	386	0.67	0.02	
6804	06/07/2002	20.50	0.48	9.75	1.04	0.56	10.17	9.70	VADEO	F19017	Cabeado-Agudelo	21.45	0.45	0.59	1.77	-4.9	388	0.57	0.01	
6977	25/09/2002	20.80	0.35	7.23	0.72	0.41	5.22	5.44	VADEO	F19017	Martin-Agudelo	21.5	0.34	0.48	1.49	4.1 %	388	0.4	-0.01	
7554	14/11/2002	20.00	0.53	10.51	1.4	0.67	14.86	15.65	SUSP.	F1348	Agudelo-Jimenez	21.05	0.5	0.63	2.22	6.2 %	388	0.66	-0.01	
7555	04/12/2002	21.00	0.39	8.2	0.96	0.5	8.08	7.80	VADEO	F19017	Cabeado-Agudelo	21.78	0.38	0.52	1.89	-8.4	388	0.51	0.01	
7583	14/01/2003	20.50	0.44	9.06	0.96	0.43	6.27	5.88	VADEO	F19017	Martin-Agudelo	21.38	0.42	0.56	1.23	-8.6	385	0.45	0.02	
7896	25/02/2003	20.00	0.43	8.56	0.71	0.43	6.11	5.88	VADEO	F19017	Martin-Agudelo	20.86	0.41	0.55	1.29	-3.9	385	0.44	0.01	
7897	09/04/2003	20.00	0.43	8.66	0.9	0.5	7.82	7.28	VADEO	193001	Cabeado-Agudelo	20.87	0.42	0.56	1.62	-7.4	385	0.52	0.02	
8066	25/06/2003	19.50	0.53	10.43	1.21	0.63	12.63	13.04	SUSP.	90016	Jimenez-Velazco	20.57	0.51	0.64	1.9	3.1 %	384	0.62	-0.01	
8067	03/09/2003	19.50	0.41	8.03	0.74	0.39	5.93	5.73	VADEO	90016	Rojas-Velazco	20.32	0.4	0.54	1.37	-3.5	384	0.4	0.01	
8163	07/10/2003	20.00	0.48	9.56	0.76	0.48	7.25	7.56	VADEO	F19017	Agudelo-Martin	20.66	0.46	0.59	1.29	4.1 %	384	0.47	-0.01	
8164	21/10/2003	20.50	0.81	16.56	1.61	0.88	26.7	27.02	SUSP.	F19017	Agudelo-Martin	22.12	0.75	0.93	1.65	1.2 %	384	0.85	-0.01	
8165	10/12/2003	19.80	0.83	12.30	1.41	0.81	17.43	17.62	SUSP.	F1348	Rojas-Jimenez	20.68	0.59	0.71	1.69	2.7 %	383	0.8	-0.01	
8196	10/03/2004	19.50	0.52	10.09	1.09	0.67	11.02	11.50	VADEO	90016	Velazco-Jimenez	20.59	0.49	0.62	1.75	4.2 %	383	0.66	-0.01	
8297	16/03/2004	19.30	0.43	8.32	0.91	0.58	7.54	7.54	VADEO	90016	Agudelo-Velazco	20.16	0.41	0.55	1.64	-0.0	383	0.58	0	

Fecha y Hora de Impresión: 07/02/2019 08:08 AM

Página 5 de 9

RESUMEN DE AFOROS LIQUIDOS

Nº AFORO	FECHA	ANCHO SECC	PROF MEDIA	AREA	VEL MEDIA	NIVEL AFORO	CAUDAL (m³/s)	CAUDAL TABLA	METODO AFORO	MOLINET TIPO Nº	AFORADORES	PERM MOJADO	RADIO HERRA	R *20	I/n	%	TABL	NIVEL TABLA	CORRECCION	OBSERVACIONES
8298	13/04/2004	20.00	0.41	8.12	1.28	0.63	10.4	9.82	SUSP.	F1348	Agudelo-Jimenez	20.81	0.39	0.53	2.4	-5.9	383	0.64	0.01	
8299	28/05/2004	19.50	0.62	12.13	0.78	0.58	16.40	16.40	SUSP.	F19017	Martin-Velazco	20.73	0.58	0.69	1.62	2.5 %	383	0.77	-0.01	
8343	18/08/2004	19.30	0.44	8.58	0.84	0.58	7.22	7.54	VADEO	F1348	Rojas-Jimenez	20.19	0.42	0.57	1.49	4.3 %	383	0.57	-0.01	
8344	08/09/2004	19.40	0.37	7.20	0.76	0.54	5.54	5.80	VADEO	u 93001	Martin-Agudelo	20.25	0.38	0.51	1.5	4.4 %	383	0.53	-0.01	
8427	27/10/2004	20.30	0.89	13.90	1.45	0.87	20.23	21.00	SUSP.	u 93001	Agudelo-Velazco	21.68	0.65	0.76	1.94	3.7 %	383	0.85	-0.02	
8628	01/03/2005	19.60	0.47	9.28	0.97	0.62	8.96	9.38	VADEO	u 93001	Agudelo-Mari	20.83	0.45	0.58	1.66	4.5 %	383	0.61	-0.01	
8629	16/06/2005	19.50	0.42	8.11	0.57	0.48	4.61	4.28	VADEO	F1384	Ortega-Jimenez	20.33	0.4	0.54	1.05	-7.6	383	0.5	0.02	
8630	19/10/2005	20.00	0.5	10.06	1.35	0.73	13.54	14.02	SUSP.	u 93001	Agudelo-Orte	21.01	0.48	0.61	2.2	3.4 %	383	0.72	-0.01	
8939	14/02/2008	19.70	0.49	8.71	1.24	0.64	12.01	12.10	VADEO	F1348	Cabeado-Jimenez	20.69	0.47	0.6	2.05	0.7 %	382	0.64	-0	
8940	19/05/2008	20.20	0.72	14.6	1.91	0.9	27.95	27.00	SUSP.	u 93001	Agudelo-Gómez	21.65	0.67	0.77	2.49	-3.5	382	0.92	0.02	
9099	13/09/2008	19.60	0.38	7.65	0.77	0.52	5.87	5.90	VADEO	u 93001	Ortega-Agudelo	20.67	0.37	0.52	1.49	0.5 %	382	0.52	-0	
9100	09/11/2008	20.00	0.72	14.5	1.67	0.86	24.22	26.50	SUSP.	u 93001	Agudelo-Orte	21.45	0.68	0.77	2.17	6.6 %	382	0.85	-0.04	
9202	23/01/2007	19.50	0.48	9.35	0.95	0.65	8.89	12.95	VADEO	u 90016	Velazco-Cabe	20.45	0.46	0.59	1.6	3.14	382	0.59	-0.06	Medidor Inverso
9203	21/03/2007	20.50	0.41	8.33	0.85	0.57	7.1	7.82	VADEO	F1348	Ortega-Rojas	21.31	0.39	0.53	1.6	9.2 %	382	0.55	-0.02	
9204	23/03/2007	20.30	0.84	12.95	1.53	0.8	19.87	22.00	SUSP.	u 93001	Agua-Boni Vel	21.58	0.6	0.71	2.16	9.7 %	382	0.77	-0.03	
9205	23/05/2007	20.50	0.57	11.87	1.92	0.87	22.35	25.50	SUSP.	F1348	Rojas-Jimenez	21.64	0.54	0.68	2.89	12.4	382	0.81	0.06	
9206	27/08/2007	20.50	0.63	12.94	1.37	0.93	17.73	28.80	SUSP.	F1348	Rojas-Ortega	21.76	0.59	0.71	1.94	38.0	382	0.73	-0.2	Medidor Inverso
9251	28/11/2007	20.00	0.81	12.23	1.5	0.75	18.37	18.95	SUSP.	u 93001	Agudelo-Ruiz	21.22	0.58	0.69	2.17	3.0 %	382	0.74	-0.01	
9252	30/01/2008	20.80	0.81	16.02	1.63	0.97	32.64	30.70	SUSP.	u 93001	Velazco-Agudelo	22.43	0.75	0.83	2.33	-6.3	382	1.01	0.04	
9349	06/05/2008	20.00	0.89	18.03	1.8	0.91	33.62	33.60	SUSP.	u 93001	Agudelo-Cabe	22.68	0.82	0.88	2.06	-0.0	381	0.91	0	
9350	07/05/2008	20.50	0.73	14.98	1.93	0.79	28.93	30.55	SUSP.	u 93001	Agudelo-Cabe	21.96	0.68	0.77	2.49	5.3 %	381	0.74	-0.05	
9351	16/06/2008	18.30	0.86	12.05	1.79	0.61	21.52	21.90	SUSP.	F12002	Ca-Vel-Gómez	19.62	0.81	0.72	2.47	1.7 %	381	0.8	-0.01	

Fecha y Hora de Impresión: 07/02/2019 08:08 AM

Página 6 de 9

RESUMEN DE AFOROS LIQUIDOS

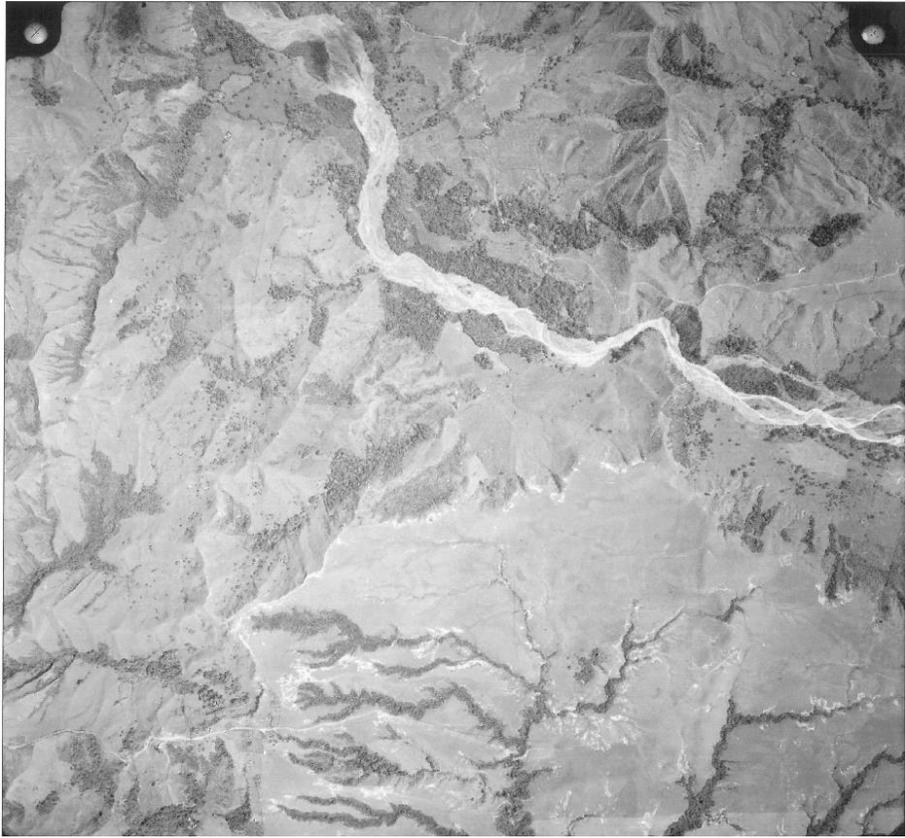
Nº AFORO	FECHA	ANCHO SECC	PROF MEDIA	AREA	VEL MEDIA	NIVEL AFORO	CAUDAL (m³/s)	CAUDAL TABLA	METODO AFORO	MOLINET TIPO Nº	AFORADORES	PERM MOJADO	RADIO HERRA	R *20	I/n	%	TABL	NIVEL TABLA	CORRECCION	OBSERVACIONES
9353	14/07/2008	20.50	0.81	16.64	1.94	0.79	32.35	30.55	SUSP.	F1348	Roj-Hur-Boni	22.12	0.75	0.83	2.35	-5.6	381	0.87	0.08	
9354	27/08/2008	17.60	0.62	11.1	1.38	0.49	15.34	15.80	SUSP.	F12002	Cabeado-Ruiz	19.14	0.58	0.7	1.69	2.9 %	381	0.48	-0.01	
9352	24/09/2008	19.30	0.45	8.72	1.4	0.7	12.25	15.40	SUSP.	F1348	Rojas-Ortega	20.52	0.43	0.57	2.46	20.6	380	0.66	-0.04	
9355	16/10/2008	20.60	0.52	10.93	1.7	0.78	18.66	19.00	SUSP.	F12002	Ca-Cast-Gómez	21.65	0.55	0.63	2.7	2.3 %	380	0.74	-0.01	
9444	21/05/2009	20.80	0.45	8.38	1.75	0.7	16.44	15.40	SUSP.	u 93001	Agudelo-Renz	21.7	0.43	0.57	3.07	-8.8	380	0.71	0.01	
9445	26/06/2009	19.00	0.37	6.67	1.00	0.54	7.3	6.43	VADEO	F12002	Cabeado-Ruiz	18.74	0.38	0.5	2.18	-13.5	380	0.57	0.03	
9446	10/11/2009	20.00	0.52	10.3	1.55	0.71	15.95	16.12	SUSP.	u 93001	Agudelo-Renz	21.03	0.49	0.62	2.49	1.1 %	380	0.71	-0	
9508	26/02/2010	19.30	0.36	6.46	0.97	0.62	9.89	9.89	VADEO	u 90016	Gómez-Velazco	19.01	0.34	0.49	1.79	4.5 %	380	0.41	-0.01	
9511	15/03/2010	18.10	0.3	5.46	0.97	0.48	4.74	4.87	VADEO	F1348	Rojas-Ortega	18.7	0.29	0.44	1.68	4.8 %	380	0.47	-0.01	
9534	25/05/2010	19.50	0.45	8.79	1.65	0.75	14.5	16.00	SUSP.	F1348	Rojas-Ortega	20.4	0.43	0.57	2.89	23.7	380	0.66	-0.08	
9563	21/07/2010	20.50	0.84	13.03	1.64	0.74	21.41	21.29	SUSP.	A 90016	Velazco-Ruiz	21.77	0.8	0.71	2.31	-1.0	379	0.75	0.01	
9575	25/08/2010	19.60	0.43	8.47	1.16	0.48	8.82	9.20	VADEO	F1348	Rojas-Trujillo-Ruiz	20.45	0.41	0.56	2.09	-5.1	379	0.5	0.02	
9913	15/09/2010	18.50	0.5	9.16	1.29	0.5	11.71	10.00	SUSP.	U 93000	Agudelo-Gómez	19.49	0.47	0.61	2.11	-17.1	379	0.53	0.03	

RESUMEN DE AFOROS LIQUIDOS

N° AFORO	FECHA (ddmm/yyyy)	ANCHO SECC	PROF MEDIA	AREA	VEL MEDIA	NIVEL AFORO	CAUDAL (m³/s)	CAUDAL TABLA	METODO AFORO	MOLINET TIPO N°	AFORADORES	PERM MOJADO	RADIO HORA	R °20	I ln	%	TABLA	NIVEL TABLA	CORRECCION	OBSERVACIONES
19123	14/03/2016	20.50	0.34	6.87	1.04	0.28	7.16	8.40	VADEO	1.558		21.17	0.32	0.04	29.69	14.8	379	0.24	-0.04	
19073	23/08/2016	20.50	0.4	8.29	1.01	0.36	8.35	11.10	VADEO	570.125		21.31	0.39	0.05	19.94	24.8	379	0.28	-0.08	
19074	29/08/2016	20.50	0.3	6.2	0.84	0.18	5.21	5.48	VADEO	1.558		21.11	0.29	0.03	29.17	4.9 %	379	0.17	-0.01	
19075	19/09/2016	20.50	0.4	8.25	0.75	0.27	6.16	8.10	VADEO	2.583.25		21.3	0.39	0.05	14.94	24.0	379	0.21	-0.06	
19081	25/10/2016	21.00	0.75	15.74	1.92	0.69	30.18	24.07	SUSP.	2.583.25		22.5	0.7	0.16	11.76	-25.4	379	0.81	0.12	
19142	21/11/2016	21.00	0.83	17.5	1.73	0.75	30.34	27.00	SUSP.	2-00.16		22.87	0.77	0.2	8.72	-12.4	379	0.82	0.07	LOS DETALLES DEL AFORO NO SON TOTALES DEL SISTEMA
19578	21/02/2017	20.50	0.43	8.88	1.18	0.36	10.46	11.10	SUSP.	570.125		21.37	0.42	0.06	20.45	5.7 %	379	0.34	-0.02	
19579	13/03/2017	21.00	0.66	14.5	2.09	0.72	30.26	25.50	SUSP.	2.583.25		22.38	0.65	0.14	14.82	-18.7	379	0.82	0.1	
19576	18/04/2017	20.50	0.66	13.92	1.72	0.5	23.87	16.10	SUSP.	2.583.25		21.86	0.64	0.14	12.68	-48.3	379	0.69	0.19	
19577	24/05/2017	21.50	0.75	16.2	8.61	0.7	136.46	24.50	SUSP.	2.00.16		23.01	0.7	0.17	52.09	-489.	379	2.1	1.4	
19580	11/07/2017	21.00	0.81	12.84	1.53	0.54	16.64	17.74	SUSP.	2-00.16		22.22	0.68	0.11	13.74	-10.7	379	0.59	0.05	
20129	27/09/2017	20.50	0.36	7.48	1.22	0.19	9.13	5.74	SUSP.	2.583.25		21.23	0.35	0.04	29.47	-59.1	379	0.3	0.11	
20130	17/10/2017	20.10	0.4	7.99	1.08	0.25	8.63	7.50	SUSP.	2-00.16		20.9	0.38	0.05	22.2	-15.1	379	0.29	0.04	
20423	17/04/2018	20.50	0.78	15.9	2.1	0.76	33.44	31.43	SUSP.	2-00.16		22.05	0.72	0.17	12.15	-6.4	2122	0.8	0.04	
20424	30/05/2018	20.50	0.76	15.68	1.85	0.63	26.07	23.88	SUSP.	570.125		22.03	0.71	0.17	10.96	-21.8	2122	0.72	0.09	

ANEXO 4

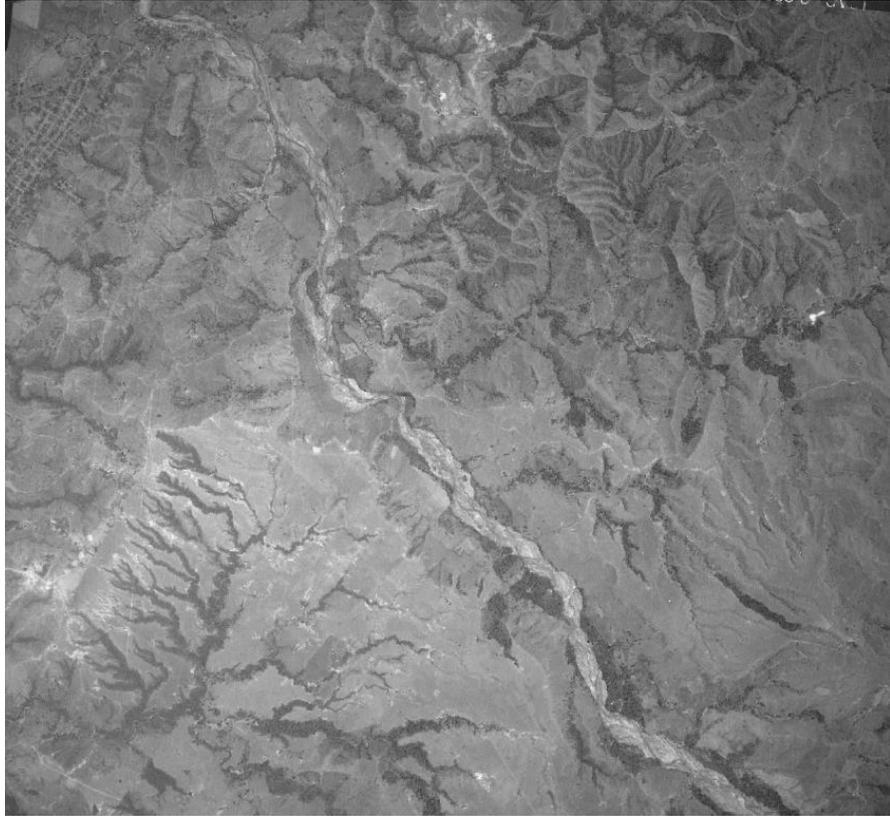
FOTOGRAFÍAS AÉREAS DEL IGAC



Fotografía Aérea 135-Vuelo R370-Febrero 05 de 1957



Fotografía Aérea 164-Vuelo R753-Noviembre 08 de 1979



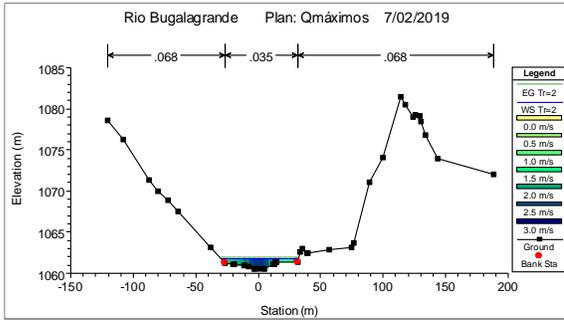
Fotografía Aérea 85-Vuelo C2256-Agosto 13 de 1986

ANEXO 5

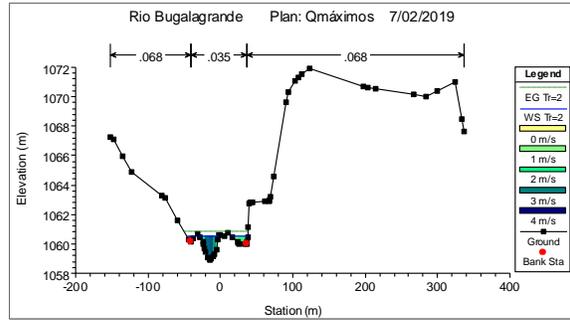
SECCIONES TRANSVERSALES HEC RAS

CAUDAL DOMINANTE (2 años de retorno)

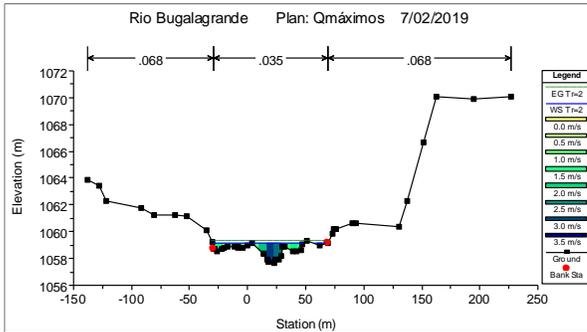
Sección K2+300



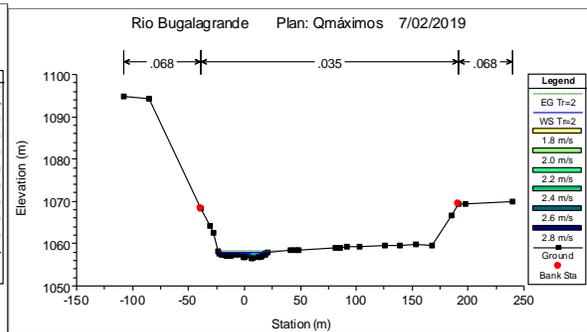
Sección K2+200



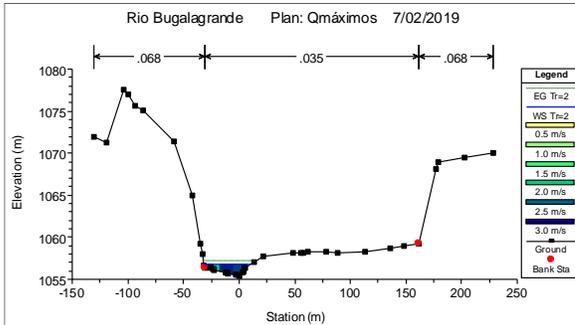
Sección K2+100



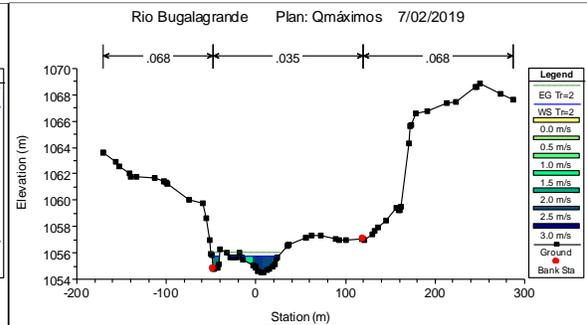
Sección K2+000



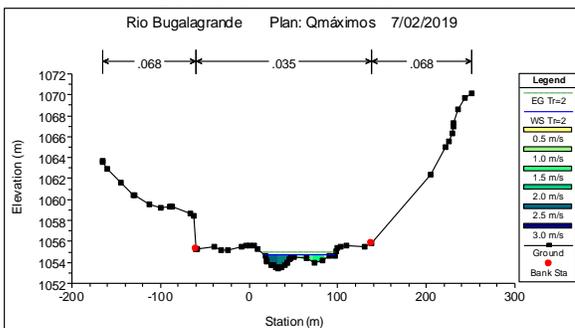
Sección K1+900



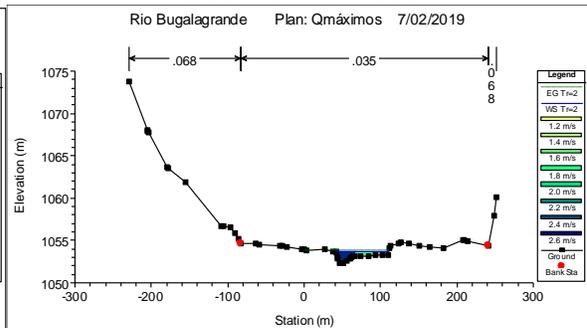
Sección K1+800



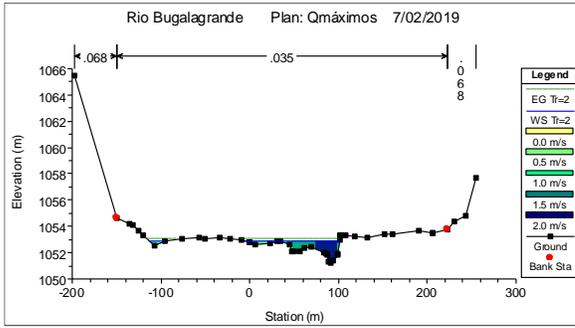
Sección K1+700



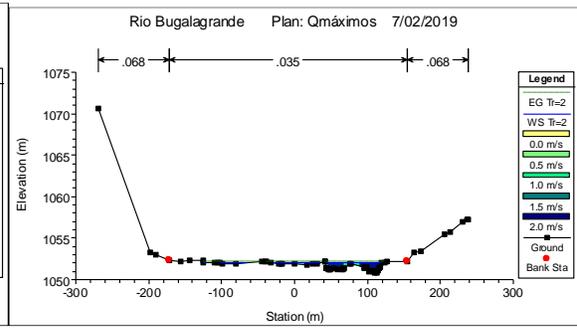
Sección K1+600



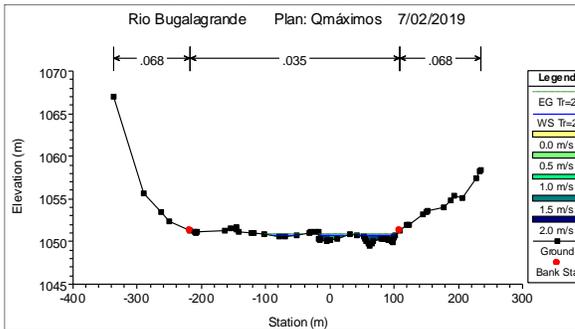
Sección K1+500



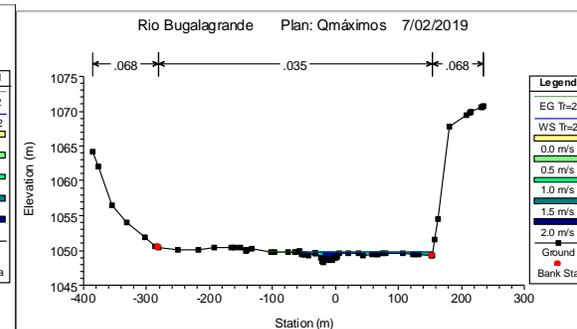
Sección K1+400



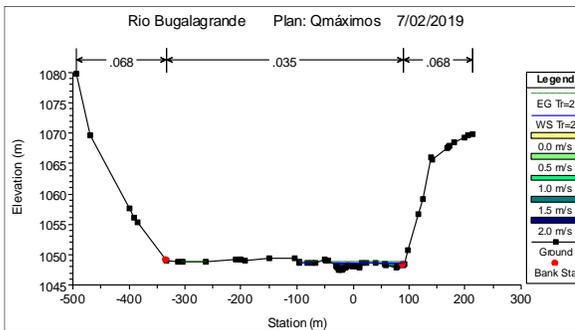
Sección K1+300



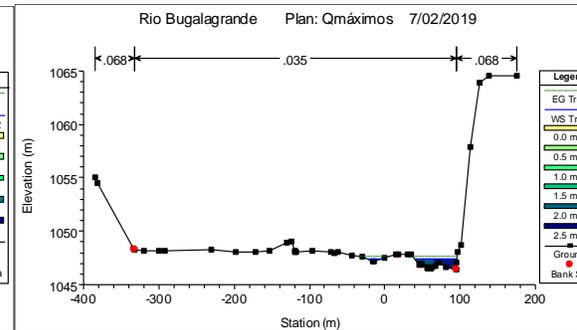
Sección K1+200



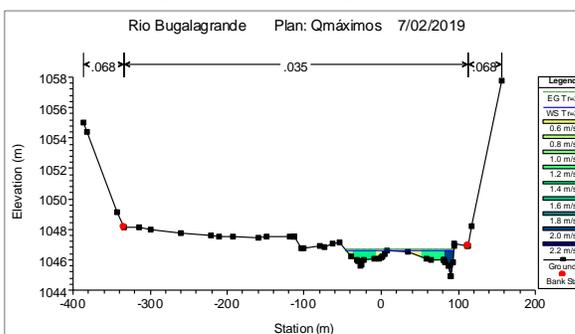
Sección K1+100



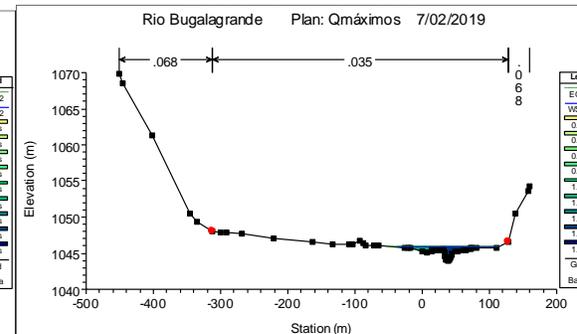
Sección K1+000



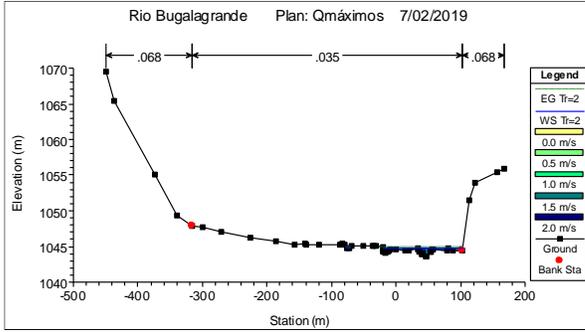
Sección K0+900



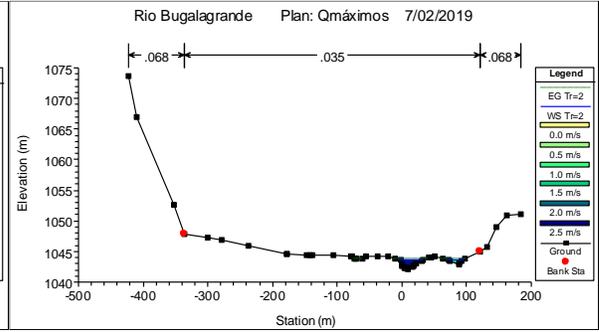
Sección K0+800



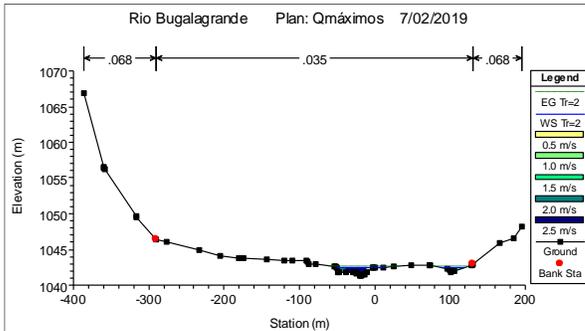
Sección K0+700



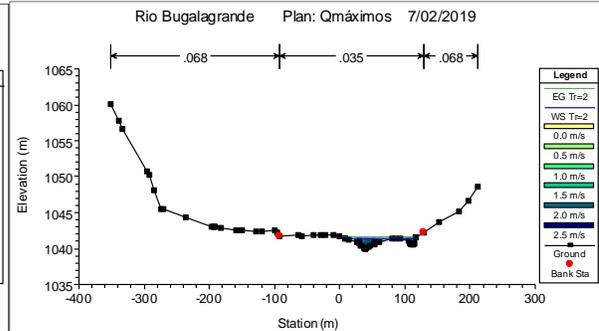
Sección K0+600



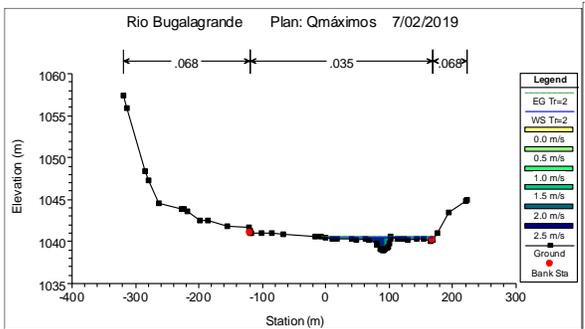
Sección K0+500



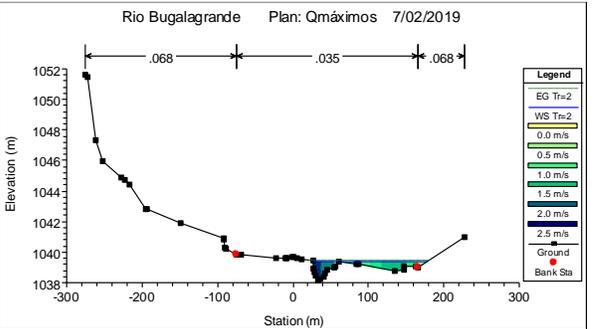
Sección K0+400



Sección K0+300



Sección K0+200



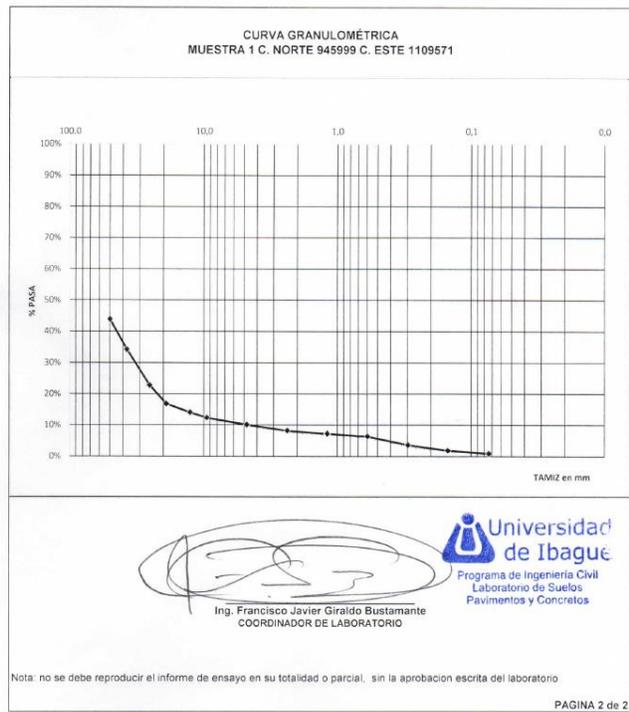
ANEXO 6

CURVAS GRANULOMÉTRICAS DE LOS

MATERIALES DEL LECHO RÍO BUGALAGRANDE

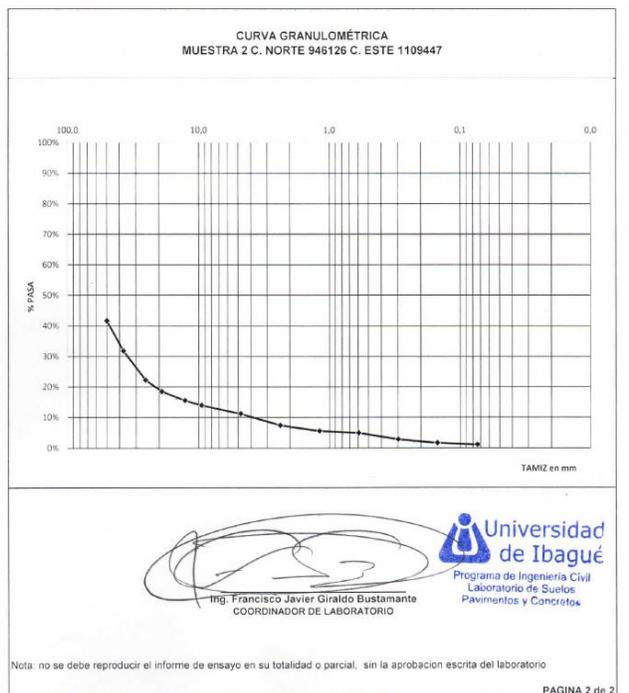
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE AGREGADOS GRUESOS Y FINOS				
NORMA: INV-E-213 - 13				
PROYECTO: EXPLOTACIÓN DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN TITULO MINERO IDH-08171				
SOLICITANTE: TECTONICA CONSULTORES SAS				
DESCRIPCION: MUESTRA 1 C. NORTE 945999 C. ESTE 1109571				
FECHA DE ENSAYO: 31/01/2019				
TAMIZ	PESO RETENIDO	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% PASA
3"	5589.8	38.8%	38.8%	61.2%
2 1/2"	1403.7	9.7%	48.5%	51.4%
2"	1091.0	7.6%	56.1%	43.9%
1 1/2"	1388.7	9.6%	65.8%	34.2%
1"	1853.4	11.5%	77.3%	22.7%
3/4"	853.5	5.9%	83.2%	16.8%
1/2"	402.2	2.8%	86.0%	14.0%
3/8"	245.1	1.7%	87.7%	12.3%
No. 4	322.8	2.2%	89.9%	10.1%
No. 8	278.0	1.9%	91.8%	8.2%
No. 16	136.0	0.9%	92.8%	7.2%
No. 30	124.4	0.9%	93.7%	6.3%
No. 50	391.6	2.7%	96.4%	3.6%
No. 100	256.1	1.8%	98.1%	1.9%
No. 200	132.0	0.9%	99.1%	0.9%
Fondo	134.7	0.9%	100.0%	0.0%
TOTALES 14401.00				
Grava %	89.9%		Cu :	20,24
Arena %	9.1%		Cc :	3,05
Fino %	0.9%		Tamaño Máximo:	N/A
<p>Observaciones: El material analizado obedece a las características de Grava mal graduada (GP) según el SUCS. Los tambores retenidos en el tamiz de 3" tienen dimensiones aproximadas de 4.72 de largo por 3.34" de ancho.</p> <p style="text-align: right;">  Ing. Francisco Javier Giraldo Bustamante COORDINADOR DE LABORATORIO </p>				

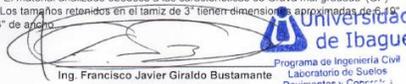
Nota: no se debe reproducir el informe de ensayo en su totalidad o parcial, sin la aprobación escrita del laboratorio

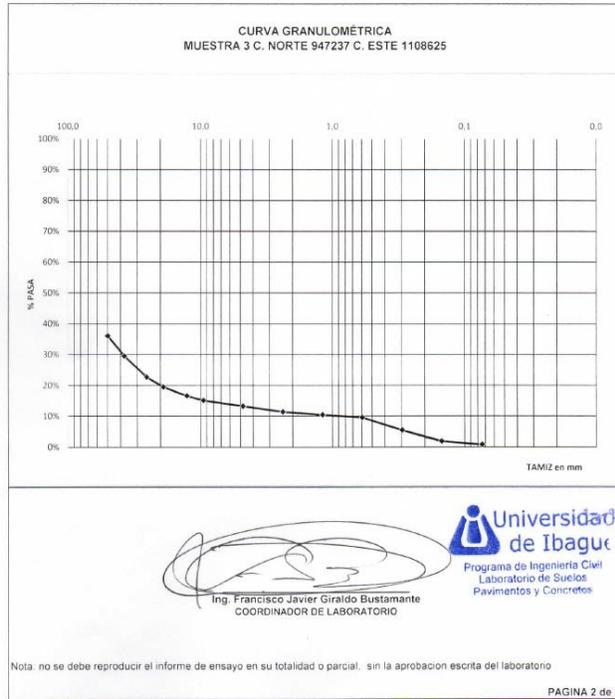


ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE AGREGADOS GRUESOS Y FINOS				
NORMA: INV-E-213 - 13				
PROYECTO: EXPLOTACIÓN DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN TITULO MINERO IDH-08171				
SOLICITANTE: TECTONICA CONSULTORES SAS				
DESCRIPCION: MUESTRA 2 C. NORTE 946126 C. ESTE 1109447				
FECHA DE ENSAYO: 31/01/2019				
TAMIZ	PESO RETENIDO	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% PASA
3"	5303.5	34.2%	34.2%	65.8%
2 1/2"	2242.4	14.5%	48.7%	51.3%
2"	1497.0	9.7%	58.4%	41.6%
1 1/2"	1522.5	9.8%	68.2%	31.8%
1"	1480.6	9.6%	77.7%	22.3%
3/4"	578.7	3.7%	81.5%	18.5%
1/2"	465.7	3.0%	84.5%	15.5%
3/8"	236.6	1.5%	86.0%	14.0%
No. 4	434.3	2.8%	88.8%	11.2%
No. 8	586.7	3.8%	92.6%	7.4%
No. 16	281.0	1.8%	94.4%	5.6%
No. 30	100.2	0.6%	95.1%	4.9%
No. 50	325.5	2.1%	97.2%	2.8%
No. 100	178.2	1.2%	98.3%	1.7%
No. 200	82.7	0.5%	98.8%	1.2%
Fondo	178.3	1.2%	100.0%	0.0%
TOTALES 15493.90				
Grava %	88.8%		Cu :	23,75
Arena %	10,0%		Cc :	3,22
Fino %	1,2%		Tamaño Máximo:	N/A
<p>Observaciones: El material analizado obedece a las características de Grava mal graduada (GP) según el SUCS. Los tambores retenidos en el tamiz de 2" tienen dimensiones aproximadas de 5.39" de largo por 3.68" de ancho.</p> <p style="text-align: right;">  Ing. Francisco Javier Giraldo Bustamante COORDINADOR DE LABORATORIO </p>				

Nota: no se debe reproducir el informe de ensayo en su totalidad o parcial, sin la aprobación escrita del laboratorio



ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE AGREGADOS GRUESOS Y FINOS				
NORMA: INV-E-213 - 13				
PROYECTO: EXPLOTACION DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN TITULO MINERO IDH-08171				
SOLICITANTE: TECTONICA CONSULTORES SAS				
DESCRIPCION: MUESTRA 3 C. NORTE 947237 C. ESTE 1108625				
FECHA DE ENSAYO: 31/01/2019				
TAMIZ	PESO RETENIDO	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% PASA
3"	3916,5	24,5%	24,5%	75,5%
2 1/2"	1861,2	11,6%	36,1%	63,9%
2"	4443,2	27,8%	63,9%	36,1%
1 1/2"	1048,3	6,6%	70,5%	29,5%
1"	1086,2	6,8%	77,3%	22,7%
3/4"	513,0	3,2%	80,5%	19,5%
1/2"	465,1	2,9%	83,4%	16,6%
3/8"	238,8	1,5%	84,9%	15,1%
No. 4	295,6	1,8%	86,7%	13,3%
No. 8	296,2	1,9%	88,6%	11,4%
No. 16	162,3	1,0%	89,6%	10,4%
No. 30	146,2	0,9%	90,5%	9,5%
No. 50	657,1	4,1%	94,6%	5,4%
No. 100	568,4	3,6%	98,1%	1,9%
No. 200	169,2	1,1%	99,2%	0,8%
Fondo	129,1	0,8%	100,0%	0,0%
TOTALES	15986,40			
Grava %	86,7%		Cu :	111,11
Arena %	12,4%		Cc :	16,90
Fino %	0,8%		Tamaño Máximo:	N/A
Observaciones: El material analizado obedece a las características de Grava <i>mal gradada</i> (GP) según el SUCS. Los tamaños retenidos en el tamiz de 3" tienen dimensiones aproximadas de 2" de largo por 3,54" de ancho.				
 Ing. Francisco Javier Giraldo Bustamante Programa de Ingeniería Civil Laboratorio de Suelos Pavimentos y Concreto COORDINADOR DE LABORATORIO				
<small>Nota: no se debe reproducir el informe de ensayo en su totalidad o parcial, sin la aprobación escrita del laboratorio.</small>				



ANEXO 7

**MEMORIAS DE CÁLCULO CAPACIDAD DE
TRANSPORTE DE SEDIMENTOS DEL LECHO PARA
EL CAUDAL DOMINANTE Y EL CAUDAL MÁXIMO
DE 100 AÑOS DE RETORNO**

MATERIALES DEL LECHO RÍO BUGALAGRANDE

CAPACIDAD DE TRANSPORTE DE SEDIMENTOS DEL LECHO DEL RÍO BUGALAGRANDE PARA EL CAUDAL DOMINANTE

CAPACIDAD DE TRANSPORTE DE ARRASTRE DEL LECHO POR EL MÉTODO DE MEYER PETER AND MULLER		SECCIÓN HEC RAS																					
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
DATOS DE ENTRADA																							
Parámetros Hidráulicos		K0+200	K0+300	K0+400	K0+500	K0+600	K0+700	K0+800	K0+900	K1+000	K1+100	K1+200	K1+300	K1+400	K1+500	K1+600	K1+700	K1+800	K1+900	K2+000	K2+100	K2+200	K2+300
Caudal (m³/s)		85.0	85.0	85.0	85.0	85.0	85.0	85.0	85.0	85.0	85.0	85.0	85.0	85.0	85.0	85.0	85.0	85.0	85.0	85.0	85.0	85.0	85.0
Ancho del canal / fondo o lecho (m)		140.86	184.37	183.97	95.05	95.09	129.98	190.44	128.01	76.26	152.40	200.11	145.68	177.78	222.03	88.30	273.64	185.15	42.70	44.36	87.27	63.10	61.47
Radio Hidráulico en el Lecho (m)		0.39	0.34	0.43	0.45	0.62	0.41	0.39	0.45	0.53	0.28	0.31	0.37	0.31	0.49	0.61	0.54	0.66	0.81	0.79	0.46	0.63	0.68
Pendiente Hidráulica (‰)		0.00571	0.01680	0.008205	0.04332	0.00443	0.00743	0.00909	0.006449	0.01935	0.009508	0.00546	0.01367	0.00371	0.006324	0.00123	0.01119	0.011939	0.009661	0.00000	0.00643	0.00391	0.00923
Velocidad Media del flujo en el Lecho (m/s)		1.57	1.53	1.62	2.00	2.12	1.83	1.45	1.35	2.14	1.47	1.33	1.56	1.54	1.41	2.06	1.89	2.28	2.56	2.44	2.05	2.49	2.14
Parámetros del Lecho																							
Diámetro medio (mm)		54.5	54.5	54.5	54.5	54.5	54.5	54.5	54.5	54.5	54.5	54.5	54.5	54.5	54.5	54.5	54.5	54.5	54.5	54.5	54.5	54.5	54.5
Diámetro D ₉₀ (mm)		92.0	92.0	92.0	92.0	92.0	92.0	92.0	92.0	92.0	92.0	92.0	92.0	92.0	92.0	92.0	92.0	92.0	92.0	92.0	92.0	92.0	92.0
Densidad Relativa "δ _r "		2.65	2.65	2.65	2.65	2.65	2.65	2.65	2.65	2.65	2.65	2.65	2.65	2.65	2.65	2.65	2.65	2.65	2.65	2.65	2.65	2.65	2.65
Peso específico agua γ (Kg/m³)		1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
Peso específico materiales γ _s (Kg/m³)		2.650	2.650	2.650	2.650	2.650	2.650	2.650	2.650	2.650	2.650	2.650	2.650	2.650	2.650	2.650	2.650	2.650	2.650	2.650	2.650	2.650	2.650
Densidad Relativa partículas sumergidas "δ _s "		1.65	1.65	1.65	1.65	1.65	1.65	1.65	1.65	1.65	1.65	1.65	1.65	1.65	1.65	1.65	1.65	1.65	1.65	1.65	1.65	1.65	1.65
Cálculos																							
Parámetro adimensional de Shields "τ _* "		0.05	0.04	0.04	0.07	0.07	0.05	0.04	0.03	0.05	0.04	0.04	0.05	0.05	0.03	0.07	0.07	0.08	0.10	0.09	0.07	0.10	0.07
Rugosidad partículas según Shields "n"		0.0258	0.0258	0.0258	0.0258	0.0258	0.0258	0.0258	0.0258	0.0258	0.0258	0.0258	0.0258	0.0258	0.0258	0.0258	0.0258	0.0258	0.0258	0.0258	0.0258	0.0258	0.0258
Rugosidad total de Manning "n"		0.0350	0.0347	0.0348	0.0352	0.0350	0.0351	0.0349	0.0349	0.0349	0.0351	0.0354	0.0354	0.0348	0.0348	0.0351	0.0351	0.0351	0.0350	0.0350	0.0349	0.0349	0.0349
Capacidad de Transporte del Lecho unitario q _s (Kg/m.s)		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.34	1.76	0.88	0.00	2.07
Capacidad de Transporte del Lecho G _s (Kg/día)		0	0	0	0	0	0	0	0	7	0	0	0	0	0	0	0	0	20	75	39	0	124
Capacidad de Transporte del Lecho G _s (Ton/día)		0	0	0	0	0	0	0	0	829	0	0	0	0	0	0	0	0	1.687	6.492	3.363	0	10.750

CAPACIDAD DE TRANSPORTE DE SEDIMENTOS DEL LECHO DEL RÍO BUGALAGRANDE PARA EL CAUDAL MÁXIMO DE 100 AÑOS

CAPACIDAD DE TRANSPORTE DE ARRASTRE DEL LECHO POR EL MÉTODO DE MEYER PETER AND MULLER		SECCIÓN HEC RAS																					
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
DATOS DE ENTRADA																							
Parámetros Hidráulicos		K0+200	K0+300	K0+400	K0+500	K0+600	K0+700	K0+800	K0+900	K1+000	K1+100	K1+200	K1+300	K1+400	K1+500	K1+600	K1+700	K1+800	K1+900	K2+000	K2+100	K2+200	K2+300
Caudal (m³/s)		317.5	317.5	317.5	317.5	317.5	317.5	317.5	317.5	317.5	317.5	317.5	317.5	317.5	317.5	317.5	317.5	317.5	317.5	317.5	317.5	317.5	317.5
Ancho del canal / fondo o lecho (m)		263.03	253.31	279.53	279.67	253.53	274.78	241.29	222.84	285.30	370.49	277.39	284.02	321.12	286.52	180.46	195.95	84.14	67.24	111.63	106.93	116.66	70.63
Radio Hidráulico en el Lecho (m)		0.61	0.60	0.64	0.68	0.54	0.65	0.59	0.59	0.76	0.50	0.57	0.63	0.55	0.50	0.69	0.60	0.59	1.34	1.12	1.10	1.05	1.42
Pendiente Hidráulica (‰)		0.00571	0.01625	0.01073	0.009430	0.01562	0.005548	0.012146	0.006209	0.005553	0.006025	0.012860	0.011236	0.01717	0.008823	0.02506	0.010717	0.008547	0.010595	0.006663	0.009366	0.008434	0.009571
Velocidad Media del flujo en el Lecho (m/s)		2.10	2.12	2.27	2.14	2.33	1.76	2.22	1.88	2.22	1.52	2.14	2.03	1.94	1.88	2.46	2.54	3.88	2.62	2.91	3.79	3.73	3.73
Parámetros del Lecho																							
Diámetro medio (mm)		54.5	54.5	54.5	54.5	54.5	54.5	54.5	54.5	54.5	54.5	54.5	54.5	54.5	54.5	54.5	54.5	54.5	54.5	54.5	54.5	54.5	54.5
Diámetro D ₉₀ (mm)		92.0	92.0	92.0	92.0	92.0	92.0	92.0	92.0	92.0	92.0	92.0	92.0	92.0	92.0	92.0	92.0	92.0	92.0	92.0	92.0	92.0	92.0
Densidad Relativa "δ _r "		2.65	2.65	2.65	2.65	2.65	2.65	2.65	2.65	2.65	2.65	2.65	2.65	2.65	2.65	2.65	2.65	2.65	2.65	2.65	2.65	2.65	2.65
Peso específico agua γ (Kg/m³)		1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
Peso específico materiales γ _s (Kg/m³)		2.650	2.650	2.650	2.650	2.650	2.650	2.650	2.650	2.650	2.650	2.650	2.650	2.650	2.650	2.650	2.650	2.650	2.650	2.650	2.650	2.650	2.650
Densidad Relativa partículas sumergidas "δ _s "		1.65	1.65	1.65	1.65	1.65	1.65	1.65	1.65	1.65	1.65	1.65	1.65	1.65	1.65	1.65	1.65	1.65	1.65	1.65	1.65	1.65	1.65
Cálculos																							
Parámetro adimensional de Shields "τ _* "		0.07	0.07	0.08	0.07	0.09	0.05	0.08	0.05	0.08	0.04	0.08	0.07	0.07	0.06	0.09	0.10	0.20	0.16	0.08	0.11	0.19	0.17
Rugosidad partículas según Shields "n"		0.0258	0.0258	0.0258	0.0258	0.0258	0.0258	0.0258	0.0258	0.0258	0.0258	0.0258	0.0258	0.0258	0.0258	0.0258	0.0258	0.0258	0.0258	0.0258	0.0258	0.0258	0.0258
Rugosidad total de Manning "n"		0.0352	0.0361	0.0349	0.0351	0.0350	0.0349	0.0349	0.0349	0.0349	0.0349	0.0351	0.0349	0.0351	0.0351	0.0352	0.0352	0.0351	0.0349	0.0351	0.0349	0.0351	0.0350
Capacidad de Transporte del Lecho unitario q _s (Kg/m.s)		0.00	0.00	0.34	0.00	1.19	0.00	0.25	0.00	0.58	0.00	0.08	0.00	0.00	0.00	154	164	26.09	14.32	4.02	4.02	22.31	15.63
Capacidad de Transporte del Lecho G _s (Kg/día)		0	0	74	0	303	0	60	0	165	0	23	0	0	0	293	257	2,195	963	54	430	2,045	1,118
Capacidad de Transporte del Lecho G _s (Ton/día)		0	0	6.413	0	26.141	0	5.149	0	14.382	0	2.010	0	0	0	25.274	22.240	189.644	83.196	4.639	37.175	176.660	96.619

ANEXO 8

MEMORIAS DE CÁLCULO CAPACIDAD DE TRANSPORTE DE SEDIMENTOS DEL LECHO PARA LOS 12 MESES DEL AÑO CON LOS CAUDALES MEDIOS MÁXIMOS MENSUALES MULTIANUALES HISTÓRICOS

MATERIALES DEL LECHO RÍO BUGALAGRANDE

CAPACIDAD DE TRANSPORTE DE SEDIMENTOS DEL LECHO DEL RÍO BUGALAGRANDE PARA EL CAUDAL MEDIO MÁXIMO MENSUAL HISTÓRICO. MES DE ENERO

CAPACIDAD DE TRANSPORTE DE ARRASTRE DEL LECHO POR EL MÉTODO DE MEYER PETER AND MÜLLER	SECCIONES TRANSVERSALES Y ABCISADO MODELO HEC RAS																					
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
DATOS DE ENTRADA																						
Parámetros Hidráulicos																						
Caudal (m³/s)	36.9	36.9	36.9	36.9	36.9	36.9	36.9	36.9	36.9	36.9	36.9	36.9	36.9	36.9	36.9	36.9	36.9	36.9	36.9	36.9	36.9	36.9
Ancho del canal, fondo o lecho (m)	11.40	31.43	58.23	57.58	38.96	176.93	66.76	90.61	54.06	76.33	117.61	77.87	57.95	56.93	67.22	48.68	41.66	35.42	39.98	45.17	32.52	40.42
Radio Hidráulico en el Lecho (m)	0.27	0.6	0.42	0.38	0.23	0.23	0.38	0.32	0.44	0.3	0.28	0.32	0.39	0.47	0.35	0.46	0.49	0.54	0.5	0.41	0.55	0.47
Pendiente Hidráulica (mm)	0.00562	0.009402	0.009759	0.01282	0.003730	0.017425	0.005737	0.008980	0.008854	0.005344	0.006520	0.014562	0.014954	0.006364	0.010338	0.009421	0.00855	0.010358	0.010342	0.01564	0.01155	0.02382
Velocidad Media del Flujo en el Lecho (m/s)	1.23	1.96	1.52	1.70	1.81	1.40	1.19	1.27	1.54	1.61	1.12	1.48	1.53	1.37	1.55	1.65	1.62	1.62	1.98	1.98	2.06	1.96
Parámetros del Lecho																						
Dámetro medio (mm)	54.50	54.50	54.50	54.50	54.50	54.50	54.50	54.50	54.50	54.50	54.50	54.50	54.50	54.50	54.50	54.50	54.50	54.50	54.50	54.50	54.50	54.50
Dámetro D ₉₀ (mm)	92.00	92.00	92.00	92.00	92.00	92.00	92.00	92.00	92.00	92.00	92.00	92.00	92.00	92.00	92.00	92.00	92.00	92.00	92.00	92.00	92.00	92.00
Densidad Relativa "Se"	2.65	2.65	2.65	2.65	2.65	2.65	2.65	2.65	2.65	2.65	2.65	2.65	2.65	2.65	2.65	2.65	2.65	2.65	2.65	2.65	2.65	2.65
Peso específico agua γ _w (Kg/m³)	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
Peso específico materiales γ _s (Kg/m³)	2.650	2.650	2.650	2.650	2.650	2.650	2.650	2.650	2.650	2.650	2.650	2.650	2.650	2.650	2.650	2.650	2.650	2.650	2.650	2.650	2.650	2.650
Densidad Relativa partículas sumergidas "Δ"	1.65	1.65	1.65	1.65	1.65	1.65	1.65	1.65	1.65	1.65	1.65	1.65	1.65	1.65	1.65	1.65	1.65	1.65	1.65	1.65	1.65	1.65
Cálculos																						
Parámetro adimensional de Shields "τ"	0.03	0.06	0.04	0.05	0.06	0.04	0.02	0.03	0.04	0.05	0.03	0.04	0.05	0.03	0.04	0.05	0.05	0.06	0.06	0.07	0.07	0.07
Rugosidad partículas según Shickler "n"	0.0258	0.0258	0.0258	0.0258	0.0258	0.0258	0.0258	0.0258	0.0258	0.0258	0.0258	0.0258	0.0258	0.0258	0.0258	0.0258	0.0258	0.0258	0.0258	0.0258	0.0258	0.0258
Rugosidad total de Manning "n"	0.035	0.035	0.035	0.035	0.035	0.035	0.035	0.035	0.035	0.035	0.035	0.035	0.035	0.035	0.035	0.035	0.035	0.035	0.035	0.035	0.035	0.035
Capacidad de Transporte del Lecho unitario G _L (Kg/m².s)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Capacidad de Transporte del Lecho G _L (Ton/día)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Capacidad de Transporte del Lecho G _L (m³/área)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Capacidad de Transporte del Lecho G _L (m³/área)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

CAPACIDAD DE TRANSPORTE DE SEDIMENTOS DEL LECHO DEL RÍO BUGALAGRANDE PARA EL CAUDAL MEDIO MÁXIMO MENSUAL HISTÓRICO. MES DE FEBRERO

CAPACIDAD DE TRANSPORTE DE ARRASTRE DEL LECHO POR EL MÉTODO DE MEYER PETER AND MÜLLER	SECCIONES TRANSVERSALES Y ABCISADO MODELO HEC RAS																					
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
DATOS DE ENTRADA																						
Parámetros Hidráulicos																						
Caudal (m³/s)	32.9	32.9	32.9	32.9	32.9	32.9	32.9	32.9	32.9	32.9	32.9	32.9	32.9	32.9	32.9	32.9	32.9	32.9	32.9	32.9	32.9	32.9
Ancho del canal, fondo o lecho (m)	103.23	28.83	45.54	56.23	35.72	114.66	84.66	88.37	51.40	72.95	117.78	76.67	56.23	95.34	67.75	46.70	39.06	33.73	39.67	39.15	31.01	39.93
Radio Hidráulico en el Lecho (m)	0.26	0.93	0.41	0.36	0.51	0.21	0.38	0.3	0.43	0.28	0.27	0.3	0.37	0.44	0.33	0.44	0.46	0.52	0.46	0.42	0.53	0.44
Pendiente Hidráulica (mm)	0.00572	0.009888	0.010073	0.012046	0.009830	0.019635	0.005571	0.009370	0.009461	0.006430	0.006177	0.013395	0.010953	0.006474	0.012004	0.009177	0.010320	0.010352	0.010320	0.015639	0.011546	0.017397
Velocidad Media del Flujo en el Lecho (m/s)	1.21	1.91	1.59	1.61	1.80	1.36	1.08	1.22	1.49	1.58	1.08	1.44	1.56	1.33	1.49	1.59	1.60	1.86	1.80	1.80	1.80	1.87
Parámetros del Lecho																						
Dámetro medio (mm)	66.76	66.76	66.76	66.76	66.76	66.76	66.76	66.76	66.76	66.76	66.76	66.76	66.76	66.76	66.76	66.76	66.76	66.76	66.76	66.76	66.76	66.76
Dámetro D ₉₀ (mm)	108.70	108.70	108.70	108.70	108.70	108.70	108.70	108.70	108.70	108.70	108.70	108.70	108.70	108.70	108.70	108.70	108.70	108.70	108.70	108.70	108.70	108.70
Densidad Relativa "Se"	2.65	2.65	2.65	2.65	2.65	2.65	2.65	2.65	2.65	2.65	2.65	2.65	2.65	2.65	2.65	2.65	2.65	2.65	2.65	2.65	2.65	2.65
Peso específico agua γ _w (Kg/m³)	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
Peso específico materiales γ _s (Kg/m³)	2.650	2.650	2.650	2.650	2.650	2.650	2.650	2.650	2.650	2.650	2.650	2.650	2.650	2.650	2.650	2.650	2.650	2.650	2.650	2.650	2.650	2.650
Densidad Relativa partículas sumergidas "Δ"	1.65	1.65	1.65	1.65	1.65	1.65	1.65	1.65	1.65	1.65	1.65	1.65	1.65	1.65	1.65	1.65	1.65	1.65	1.65	1.65	1.65	1.65
Cálculos																						
Parámetro adimensional de Shields "τ"	0.02	0.05	0.04	0.04	0.05	0.03	0.02	0.03	0.03	0.04	0.02	0.04	0.04	0.03	0.04	0.04	0.05	0.05	0.05	0.06	0.06	0.05
Rugosidad partículas según Shickler "n"	0.0258	0.0258	0.0258	0.0258	0.0258	0.0258	0.0258	0.0258	0.0258	0.0258	0.0258	0.0258	0.0258	0.0258	0.0258	0.0258	0.0258	0.0258	0.0258	0.0258	0.0258	0.0258
Rugosidad total de Manning "n"	0.035	0.035	0.035	0.035	0.035	0.035	0.035	0.035	0.035	0.035	0.035	0.035	0.035	0.035	0.035	0.035	0.035	0.035	0.035	0.035	0.035	0.035
Capacidad de Transporte del Lecho unitario G _L (Kg/m².s)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Capacidad de Transporte del Lecho G _L (Ton/día)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Capacidad de Transporte del Lecho G _L (m³/área)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Capacidad de Transporte del Lecho G _L (m³/área)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

CAPACIDAD DE TRANSPORTE DE SEDIMENTOS DEL LECHO DEL RÍO BUGALAGRANDE PARA EL CAUDAL MEDIO MÁXIMO MENSUAL HISTÓRICO. MES DE MARZO

CAPACIDAD DE TRANSPORTE DE ARRASTRE DEL LECHO POR EL MÉTODO DE MEYER PETER AND MÜLLER	SECCIONES TRANSVERSALES Y ABCISADO MODELO HEC RAS																					
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
DATOS DE ENTRADA																						
Parámetros Hidráulicos																						
Caudal (m³/s)	45.3	45.3	45.3	45.3	45.3	45.3	45.3	45.3	45.3	45.3	45.3	45.3	45.3	45.3	45.3	45.3	45.3	45.3	45.3	45.3	45.3	45.3
Ancho del canal, fondo o lecho (m)	112.99	72.36	76.15	58.71	46.60	119.14	88.41	94.43	58.60	78.31	128.23	80.36	61.29	60.89	67.38	69.61	43.39	37.14	40.63	64.67	36.40	58.33
Radio Hidráulico en el Lecho (m)	0.3	0.37	0.44	0.39	0.55	0.25	0.42	0.35	0.46	0.35	0.3	0.36	0.42	0.51	0.4	0.41	0.54	0.58	0.57	0.36	0.59	0.43
Pendiente Hidráulica (mm)	0.00571	0.010393	0.006719	0.017179	0.008389	0.016885	0.005703	0.008995	0.008323	0.013909	0.008995	0.016962	0.012747	0.006259	0.010723	0.010781	0.008991	0.010444	0.010445	0.017349	0.010657	0.020205
Velocidad Media del Flujo en el Lecho (m/s)	1.32	1.68	1.35	1.99	1.75	1.54	1.21	1.35	1.65	1.66	1.21	1.58	1.76	1.45	1.67	1.59	1.90	2.09	1.98	1.91	2.11	1.82
Parámetros del Lecho																						
Dámetro medio (mm)	54.5	54.5	54.5	54.5	54.5	54.5	54.5	54.5	54.5	54.5	54.5	54.5	54.5	54.5	54.5	54.5	54.5	54.5	54.5	54.5	54.5	54.5
Dámetro D ₉₀ (mm)	92.00	92.00	92.00	92.00	92.00	92.00	92.00	92.00	92.00	92.00	92.00	92.00	92.00	92.00	92.00	92.00	92.00	92.00	92.00	92.00	92.00	92.00
Densidad Relativa "Se"	2.65	2.65	2.65	2.65	2.65	2.65	2.65	2.65	2.65	2.65	2.65	2.65	2.65	2.65	2.65	2.65	2.65	2.65	2.65	2.65	2.65	2.65
Peso específico agua γ _w (Kg/m³)	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
Peso específico materiales γ _s (Kg/m³)	2.650	2.650	2.650	2.650	2.650	2.650	2.650	2.650	2.650	2.650	2.650	2.650	2.650	2.650	2.650	2.650	2.650	2.650	2.650	2.650	2.650	2.650
Densidad Relativa partículas sumergidas "Δ"	1.65	1.65	1.65	1.65	1.65	1.65	1.65	1.65	1.65	1.65	1.65	1.65	1.65	1.65	1.65	1.65	1.65	1.65	1.65	1.65	1.65	1.65
Cálculos																						
Parámetro adimensional de Shields "τ"	0.04	0.05	0.03	0.07	0.05	0.05	0.03	0.04	0.05	0.03	0.05	0.06	0.05	0.04	0.05	0.05						

ANEXO 9

**MEMORIAS DE CÁLCULO CAPACIDAD DE
TRANSPORTE DE SEDIMENTOS DEL LECHO.
TOTAL ANUAL CON LOS CAUDALES MEDIOS
MÁXIMOS MENSUALES MULTIANUALES
HISTÓRICOS**

MATERIALES DEL LECHO RÍO BUGALAGRANDE

CAPACIDAD DE TRANSPORTE DE ARRASTRE DEL LECHO POR EL MÉTODO DE MEYER PETER AND MULLER	SECCIONES TRANSVERSALES Y ABSCISADO MODELO HEC RAS																						Promedio	Máximo	Mínimo
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22			
DATOS DE ENTRADA																									
Parámetros Hidráulicos	K0+200	K0+300	K0+400	K0+500	K0+600	K0+700	K0+800	K0+900	K1+000	K1+100	K1+200	K1+300	K1+400	K1+500	K1+600	K1+700	K1+800	K1+900	K2+000	K2+100	K2+200	K2+300			
Capacidad de Transporte del Lecho G_B [m^3 /año]	0	0	0	492	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	615	103,289	1,210	8,542	76,518	0			
Capacidad de Transporte del Lecho G_B corregido [m^3 /año]	0	0	0	246	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	308	51,644	605	4,271	38,259	0			

