




**UPME 04-2014**

**REFUERZO SUROCCIDENTAL A 500 KV  
ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO ALFÉREZ SAN MARCOS**

**CAPÍTULO 3 CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA DEL PROYECTO  
NUMERAL 3.2.4 HIDROLOGÍA**



<b>ESCALA</b> <b>SIN</b>	<b>FORMATO</b> <b>CARTA</b>	<b>CÓDIGO GEB</b> EEB-U414-CT101223-L390-EST- 1003_2.4	<b>CÓDIGO CONTRATISTA</b> EEB-U414-CT101223- L390-EST-1003_2.4	<b>HOJA</b> Página 1 de <b>69</b>	<b>REV</b> <b>0</b>
-----------------------------	--------------------------------	--	--	---	------------------------

**UPME 04-2014  
REFUERZO SUROCCIDENTAL A 500 KV  
ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO ALFÉREZ SAN MARCOS**

**TABLA DE CONTENIDO**

	<b>PÁG.</b>
3 CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA DEL PROYECTO	4
3.2 MEDIO ABIÓTICO	4
3.2.4 Hidrología	4
3.2.4.1 Área de Influencia Indirecta	5
3.2.4.2 Área de influencia Directa	49

**UPME 04-2014  
REFUERZO SUROCCIDENTAL A 500 KV  
ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO ALFÉREZ SAN MARCOS**

**ÍNDICE DE TABLAS**

	<b>Pág.</b>
Tabla 3-1 Relación de las estaciones utilizadas en el análisis hidrológico .....	5
<b>Tabla 3-2 Depósitos de Agua Artificial - Área de Influencia Indirecta (All)</b> .....	6
Tabla 3-3 Red de drenaje área de Influencia .....	10
Tabla 3-4 Coeficiente de Forma (Kf) .....	20
Tabla 3-5 Valores de Compacidad (Kc) .....	20
Tabla 3-6 Índice de Alargamiento (Ia) .....	21
Tabla 3-7 Coeficiente de Masividad (Km) .....	22
Tabla 3-8 Clasificación de orden de la corriente .....	22
Tabla 3-9 Clasificación de la densidad del drenaje .....	23
Tabla 3-10 Resumen de los parámetros morfométricos .....	24
Tabla 3-11 Parámetros morfométricos unidades hidrográficas .....	27
Tabla 3-12 Índices morfométricos unidades hidrográficas .....	28
Tabla 3-13 Tiempos de concentración de las cuencas hidrológicas.....	28
Tabla 3-14 Estaciones utilizadas para análisis.....	33
Tabla 3-15 Frecuencia de Caudales Máximos río Cauca, estación Juanchito.....	40
Tabla 3-16 Frecuencia de Caudales Máximos río Cañaveralejo, estación Cañaveralejo-El Jardín .....	41
Tabla 3-17 Frecuencia de Caudales Máximos río Lili, estación Lili-Pasoancho.....	43
Tabla 3-18 Frecuencia de Caudales Máximos río Meléndez, estación Calle Quinta .....	45
Tabla 3-19 Frecuencia de Caudales Máximos río Guachal, estación Guachal-Palmaseca .....	46
Tabla 3-20 Cruces de cuerpos lóticos.....	49
Tabla 3-21 Categorías de evaluación para la precipitación total anual el área de influencia del proyecto .....	51
Tabla 3-22 Categorías de evaluación para la Densidad de drenaje en el área de influencia del Proyecto.....	55
Tabla 3-23 Categorías de evaluación para la Pendiente en el área de influencia del Proyecto .....	57
Tabla 3-24 Intervalos y categorías de la amenaza por avenidas torrenciales .....	59
Tabla 3-25 Tipos de amenaza por avenidas torrenciales en las cuencas del área de influencia del Proyecto.....	60
Tabla 3-26 Susceptibilidad por avenidas torrenciales .....	61
Tabla 3-27 Intervalos y categorías susceptibilidad a inundaciones .....	65
Tabla 3-28 Categorías de evaluación para la precipitación total anual en las cuencas del área de influencia .....	66
<b>Tabla 3-29 Amenaza por inundación</b> .....	68

**UPME 04-2014  
REFUERZO SUROCCIDENTAL A 500 KV  
ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO ALFÉREZ SAN MARCOS**

**ÍNDICE DE FIGURAS**

	<b>Pág.</b>
Figura 3-1 Sistemas lenticos All .....	9
Figura 3-2 Localización hidrográfica área de influencia Indirecta .....	11
Figura 3-3 Red de drenaje área de influencia del proyecto .....	12
Figura 3-4 Etapa Erosiva de un Río y su Relación con los Patrones de Drenaje .....	18
Figura 3-5. Patrón de drenaje río Cauca .....	19
Figura 3-6. Patrón de drenaje río Bolo .....	19
Figura 3-7 Localización y delimitación de las cuencas en el área de influencia del proyecto .....	26
Figura 3-8 Localización estaciones hidrométricas .....	34
Figura 3-9 Caudales mensuales multianuales estación Cauca-Juanchito .....	35
Figura 3-10 Caudales mensuales multianuales estación Cañaveralejo-El Jardín.....	36
Figura 3-11 Caudales mensuales multianuales estación Lili-Pasoancho .....	36
Figura 3-12 Caudales mensuales multianuales estación Meléndez-Calle Quinta.....	37
Figura 3-13 Caudales mensuales multianuales estación Guachal-Palmaseca.....	38
Figura 3-14 Funciones de Distribución Caudales Máximos río Cauca .....	40
Figura 3-15 Histograma y funciones de densidad de probabilidad río Cauca .....	41
Figura 3-16 Funciones de Distribución Caudales Máximos río Cañaveralejo .....	42
Figura 3-17 Histograma y funciones de densidad de probabilidad río Cañaveralejo .....	43
Figura 3-18 Funciones de Distribución Caudales Máximos río Lili .....	44
Figura 3-19 Histograma y funciones de densidad de probabilidad río Lili.....	44
Figura 3-20 Funciones de Distribución Caudales Máximos río Meléndez .....	45
Figura 3-21 Histograma y funciones de densidad de probabilidad río Meléndez.....	46
Figura 3-22 Funciones de Distribución Caudales Máximos río Guachal .....	47
Figura 3-23 Histograma y funciones de densidad de probabilidad río Guachal .....	48
Figura 3-24 Mapa de categorización de la Precipitación como factor de torrencialidad en el área de influencia del Proyecto .....	53
Figura 3-25 Mapa de categorización de la Densidad de Drenajes (Dd) como factor de torrencialidad en el área de influencia del Proyecto .....	56
Figura 3-26 Mapa de categorización de Pendientes como factor de torrencialidad en el área de influencia del Proyecto .....	58
Figura 3-27 Áreas susceptibilidad avenidas torrenciales.....	61
Figura 3-28 Susceptibilidad por avenidas torrenciales .....	62
Figura 3-29 Sistema de Transferencia .....	64
Figura 3-30 susceptibilidad por inundación en el área de influencia del proyecto .....	67
Figura 3-31 Susceptibilidad inundación .....	68

### 3 CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA DEL PROYECTO

#### 3.2 MEDIO ABIÓTICO

##### 3.2.4 Hidrología

La hidrología se ocupa del análisis, las propiedades, distribución y circulación del agua en la superficie terrestre y en el subsuelo. Además de formar parte de todos los procesos productivos y extractivos como recurso vital de los diferentes ecosistemas, el estudio hidrológico suministra herramientas para entender la conducta del escurrimiento superficial, la real oferta hídrica y el comportamiento de los diferentes drenajes presentes en un área dada.

El análisis de la hidrología en un territorio, parte de la identificación de cuencas hidrográficas, las cuales se pueden definir como unidades territoriales delimitadas por los filos de las montañas, por donde escurren naturalmente las aguas lluvias (escorrentía) y manantiales que afloran de las aguas subterráneas, para drenar a los arroyos, quebradas, ríos, que a su vez entregan sus caudales a otros cuerpos de agua, tales como lagos, ciénagas, o al mar, conformando un sistema interconectado en el cual pueden interactuar uno o varios elementos biofísico-socioeconómicos y culturales (IDEAM, Zonificación y Codificación de Unidades Hidrográficas e Hidrogeológicas de Colombia, 2013). Estas unidades territoriales generan bienes y servicios ambientales que son demandados principalmente para poblaciones localizadas en el área de estudio.

Como subsistema biofísico la cuenca está constituida por una oferta ambiental en un área delimitada por la línea divisoria de aguas y con características específicas de clima, suelo, bosques, red hidrográfica, usos de suelo, componentes geológicos, etc. Como subsistema económico la cuenca presenta una disponibilidad de recursos que se combinan con diversas técnicas para producir bienes y servicios; es decir, en toda cuenca se cuenta con actividades existentes o potenciales para la explotación o transformación de recursos. Como subsistema social involucra las comunidades humanas asentadas en su área demográfica, acceso a servicios básicos, estructura organizativa, actividades, entre otros, que necesariamente causa impactos sobre el ambiente natural. También incluye el conjunto de valores culturales tradicionales y creencias de las comunidades asentadas (Minambiente, 2013).

El presente numeral describe y caracteriza los resultados de los análisis de hidrografía e hidrología para los sistemas lóticos y lénticos del área de influencia del proyecto, a partir de la información de los principales organismos consultados como el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) y la Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca (CVC).

Para la descripción hidrológica del área de influencia del proyecto, se utilizó información hidrométrica actualizada, suministrada por el IDEAM y la CVC. Para efecto de realizar los respectivos estudios de regionalización, se emplearon los registros de estaciones de las corrientes principales existentes en la zona analizada, las cuales se presentan en la Tabla 3-1.

**Tabla 3-1 Relación de las estaciones utilizadas en el análisis hidrológico**

Código	Nombre	Tipo	Corriente	Entidad	Este	Norte
2622330401	Cañaveralejo - El Jardín	LG	Cañaveralejo	CVC	1056182.93	868869.98
2622310403	Lili - Pasoancho	LG	Lili	CVC	1060025.86	864195.05
2622320402	Meléndez - Calle Quinta	LM	Meléndez	CVC	1059417.15	865046.45
2610000401	Cauca - Juanchito	LM	Cauca	CVC	1066864.22	873460.86
2622410401	Pichinde - Pichinde	LG	Pichinde	CVC	1051712.16	871601.87
2612700401	Guachal - Palmaseca	LG	Guachal	CVC	1068903.35	885379.02

(LG) Limnigráfica

(LM) Limnimétrica

Fuente: IDEAM 2010, modificado por Consultoría Colombiana S.A. 2018

A continuación, se describe el comportamiento hidrológico en la zona de interés. En este caso, se quiere evaluar y cuantificar la disponibilidad hídrica, para determinar la variación en el tiempo, su distribución espacial, analizar las tendencias, condiciones de alteración y sostenibilidad del recurso, siguiendo los términos de referencia del sector de energía LITER-1-01, establecidos mediante Resolución 1288 del 30 de junio de 2006 por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial – MAVDT-, hoy Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible –MADS-.

### 3.2.4.1 Área de Influencia Indirecta

El proyecto Alférez – San Marcos a 500 Kv, interviene una de las cinco vertientes hidrográficas correspondiente al área hidrográfica del Magdalena – Cauca, constituida en el territorio de mayor complejidad en cuanto a presencia antrópica, intervención cultural y amenazas ambientales para las cuencas de drenaje, debido a que en esta vertiente se concentra el mayor porcentaje de la población del país.

- **Sistemas Lénticos**

Corresponden a todas las aguas interiores sin flujo o estáticas y por tanto inundados, los cuales representan geoformas de especial importancia desde el punto de vista ecológico de la región. Dado su bajo comportamiento dinámico, el cuerpo de agua lenticó tiene menor capacidad de autorregulación o autodepuración en contraposición a un cuerpo lótico; por consiguiente, cualquier disposición de contaminantes sobre el recurso permanecerá en él durante largos periodos de tiempo, afectando la calidad de agua. En la Fotografía 3-5 y **Tabla 3-2** se presentan los sistemas lenticos y depósitos de agua artificial, respectivamente, identificados en el área de influencia del proyecto.

En atención a la solicitud de información adicional requerida por la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales – ANLA el día 17 de agosto de 2018, en el marco del trámite de licencia ambiental, iniciado mediante auto 03652 de 04 de julio de 2018, referente al requerimiento número nueve (9), con relación a la identificación de los sistemas lóticos y lénticos del área de influencia del proyecto, se complementa y ajusta la información cartográfica de acuerdo con la visita de campo realizada.

**Tabla 3-2 Depósitos de Agua Artificial - Área de Influencia Indirecta (All)**

Departamento	Municipio	Corregimiento	Tipo	Este	Norte
Valle Del Cauca	Palmira	Palmaseca	Jagüey	1073825.09	879410.524
Valle Del Cauca	Palmira	Palmaseca	Jagüey	1073871.69	879426.252
Valle Del Cauca	Palmira	Palmaseca	Jagüey	1073922.49	879442.127
Valle Del Cauca	Palmira	Palmaseca	Jagüey	1073971.7	879452.446
Valle Del Cauca	Palmira	Palmaseca	Jagüey	1073812.95	879461.177
Valle Del Cauca	Palmira	Palmaseca	Jagüey	1073866.13	879467.527
Valle Del Cauca	Palmira	Palmaseca	Jagüey	1074022.5	879468.321
Valle Del Cauca	Palmira	Palmaseca	Jagüey	1073916.14	879477.846
Valle Del Cauca	Palmira	Palmaseca	Jagüey	1073808.98	879488.958
Valle Del Cauca	Palmira	Palmaseca	Jagüey	1073959.79	879490.546
Valle Del Cauca	Palmira	Palmaseca	Jagüey	1073858.19	879504.833
Valle Del Cauca	Palmira	Palmaseca	Jagüey	1074012.18	879505.627
Valle Del Cauca	Palmira	Palmaseca	Jagüey	1073904.23	879515.946
Valle Del Cauca	Palmira	Palmaseca	Jagüey	1073955.03	879522.296
Valle Del Cauca	Palmira	Palmaseca	Jagüey	1073791.52	879524.677
Valle Del Cauca	Palmira	Palmaseca	Jagüey	1073849.46	879534.996
Valle Del Cauca	Palmira	Palmaseca	Jagüey	1074009.8	879539.758
Valle Del Cauca	Palmira	Palmaseca	Jagüey	1073897.88	879554.046
Valle Del Cauca	Palmira	Palmaseca	Jagüey	1073789.14	879555.633
Valle Del Cauca	Palmira	Palmaseca	Jagüey	1073948.68	879559.602
Valle Del Cauca	Palmira	Palmaseca	Jagüey	1074005.04	879562.777
Valle Del Cauca	Palmira	Palmaseca	Jagüey	1073837.56	879567.54
Valle Del Cauca	Palmira	Palmaseca	Jagüey	1073883.59	879581.827
Valle Del Cauca	Palmira	Palmaseca	Jagüey	1073939.95	879592.146
Valle Del Cauca	Palmira	Matapalo	Jagüey	1073119.78	886874.405
Valle Del Cauca	Palmira	Matapalo	Jagüey	1073198.94	887616.359
Valle Del Cauca	Palmira	Matapalo	Jagüey	1071375.36	888368.15
Valle Del Cauca	Yumbo	El Higueron	Jagüey	1067820.15	888695.387
Valle Del Cauca	Yumbo	Platanares	Jagüey	1067363.33	889462.284
Valle Del Cauca	Yumbo	Platanares	Jagüey	1067255.03	888610.798
Valle Del Cauca	Yumbo	Platanares	Jagüey	1067401.14	888640.16
Valle Del Cauca	Yumbo	Bermejál	Jagüey	1065522.77	891026.694
Valle Del Cauca	Yumbo	Bermejál	Jagüey	1065363.28	891047.215
Valle Del Cauca	Yumbo	Bermejál	Jagüey	1065407.94	890296.396
Valle Del Cauca	Yumbo	Bermejál	Jagüey	1065464.83	890323.983
Valle Del Cauca	Candelaria	El Carmelo	Jagüey	1072502.26	869123.424

Departamento	Municipio	Corregimiento	Tipo	Este	Norte
Valle Del Cauca	Candelaria	El Carmelo	Jagüey	1071011.44	867884.29
Valle Del Cauca	Candelaria	San Joaquín	Jagüey	1068404.23	866054.684
Valle Del Cauca	Palmira	Matapalo	Jagüey	1074181.44	886722.698
Valle Del Cauca	Palmira	Matapalo	Jagüey	1072484.34	885228.568
Valle Del Cauca	Palmira	Matapalo	Jagüey	1073346.04	886520.249
Valle Del Cauca	Palmira	Matapalo	Jagüey	1073554.92	885817.912
Valle Del Cauca	Palmira	Matapalo	Jagüey	1073998.6	886195.586
Valle Del Cauca	Palmira	Palmaseca	Jagüey	1073904.17	879506.675

Fuente: Consultoría Colombiana S.A. 2018 con información IGAC, 2018.

En la Fotografía 3-1 se presenta registro fotográfico de sistema lentic artificial, encontrado en el predio denominado “Los 5”, en el corregimiento Matapalo, el centroide de este jagüey presenta coordenadas en sistema de referencia Magna - Sirgas Origen Oeste correspondientes a: Este: 1073346.04 y Norte: 886520.249, el cual se relaciona en la Tabla 3-2.

**Fotografía 3-1 Sistema lentic corregimiento Matapalo**



Fuente: Consultoría Colombiana S.A.

En la Fotografía 3-2 se presenta sistema lentic artificial identificado en campo, localizado en el corregimiento de San Joaquín, en el municipio de Candelaria, el centroide de este jagüey presenta coordenadas en sistema de referencia Magna -Sirgas Origen Oeste correspondientes a: Este: 1068404.23 y Norte: 866054.684, el cual se relaciona en la Tabla 3-2.

### Fotografía 3-2 Sistema lentico corregimiento San Joaquín



Fuente: Consultoría Colombiana S.A.

En la Fotografía 3-3 se presenta sistema lentic artificial identificado en campo, localizado en el corregimiento El Carmelo, en el municipio de Candelaria, el centroide de este jagüey presenta coordenadas en sistema de referencia Magna -Sirgas Origen Oeste correspondientes a: Este:1071011.43 y Norte: 867884.29, el cual se relaciona en la Tabla 3-2.

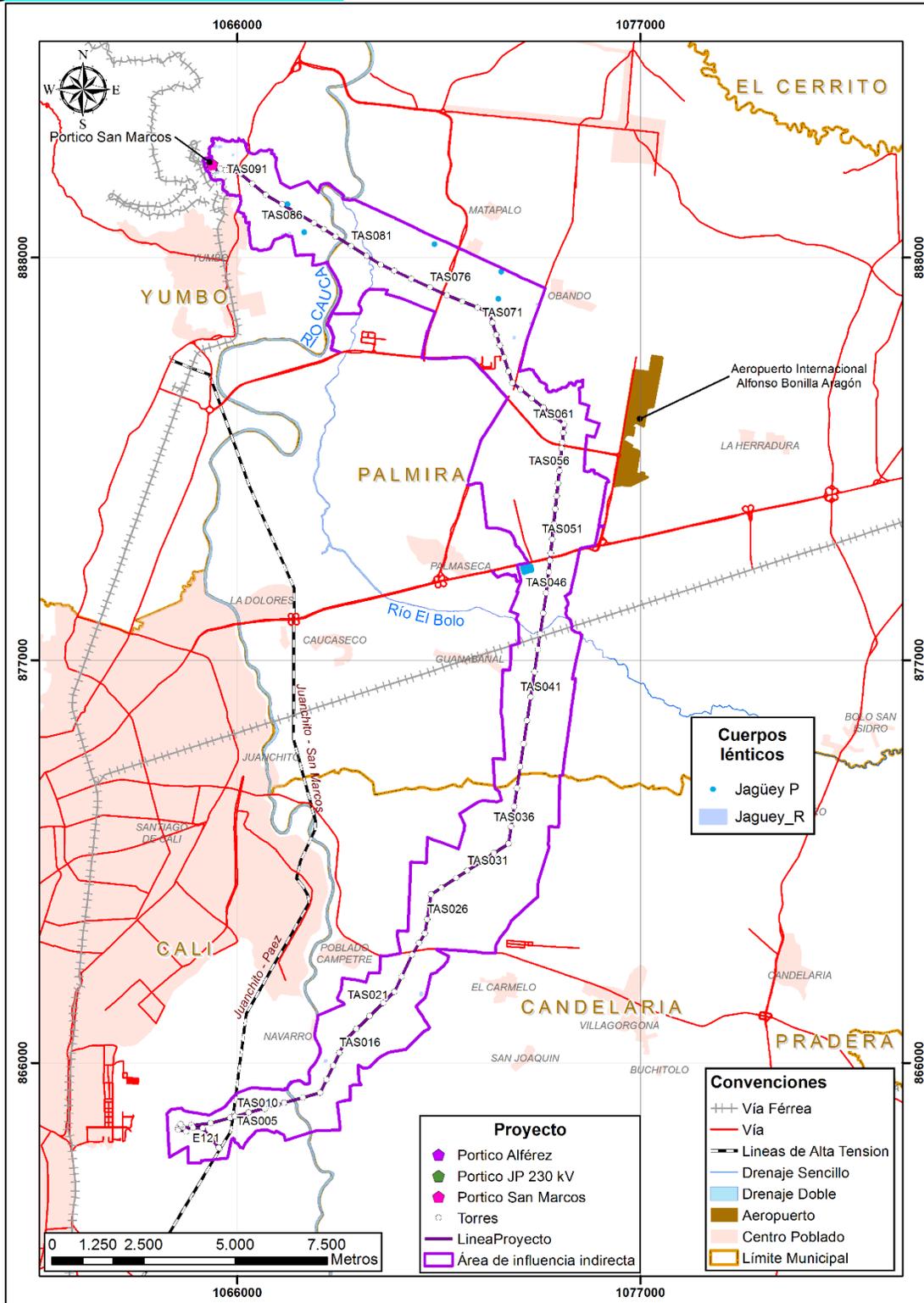
### Fotografía 3-3 Sistema lentico corregimiento El Carmelo



Fuente: Consultoría Colombiana S.A.

En la **Figura 3-1** se presentan los sistemas lenticos presentes en el AII del proyecto.

Figura 3-1 Sistemas lenticos All



Fuente: Consultoría Colombiana S.A. 2018 con información IGAC, 2018

- **Sistemas Lóticos**

Se caracterizan por formar corrientes, su dinámica es activa y permanece en continuo movimiento, lo que le permite fluir con un caudal específico por un cauce determinado, desde su nacimiento hasta su desembocadura en un cuerpo de agua mayor. Teniendo en cuenta la zonificación hidrográfica del IDEAM (IDEAM, Zonificación y Codificación de Unidades hidrográficas e Hidrogeológicas de Colombia, 2013), el proyecto se localiza en la zona Hidrográfica del río Cauca, específicamente en las subzonas hidrográficas del Río Guachal (2607), Ríos Amaime y Cerrito (2609), Ríos Claro y Jamundí (2629), Ríos Lili, Meléndez y Cañaveralejo (2630) y Ríos Arroyohondo – Yumbo – Mulalo – Vijes – Yotoco (2631). En la Tabla 3-3 se presenta la distribución de la red de drenaje de la zona. De la misma manera la distribución espacial de la red hidrológica se presenta en la [Figura 3-2](#) y [Figura 3-3](#).

**Tabla 3-3 Red de drenaje área de Influencia**

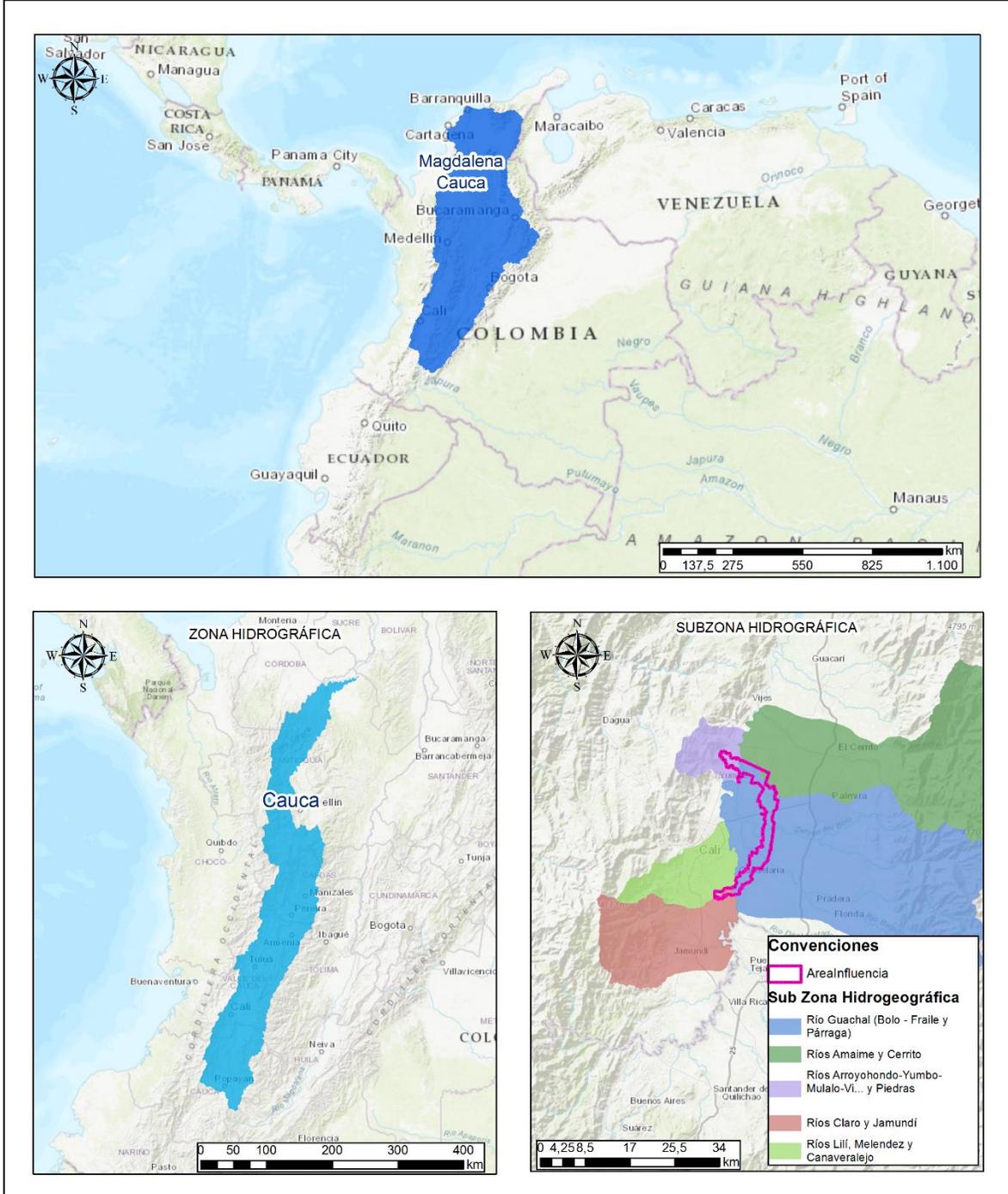
Área Hidrográfica	Cod_ZH	ZH	Cod_SZH	SZH	Unidad Hidrográfica
Magdalena Cauca	26	Cauca	2607	Río Guachal (Bolo - Fraile y Párraga)	Río Guachal
			2609	Ríos Amaime y Cerrito	Río Amaime
			2629	Ríos Claro y Jamundí	Río Jamundí
			2630	Ríos Lili, Meléndez y Cañaveralejo	Río Cañaveralejo
					Río Meléndez
					Río Lili
			2631	Ríos Arroyohondo - Yumbo - Mulalo - Vijes - Yotoco - Mediacanoa y Piedras	Zona Baja ríos Lili, Meléndez y Cañaveralejo
					Río Yumbo
					Quebrada Mulalo

ZH: Zona Hidrográfica SHZ: Sub zona hidrográfica

Fuente: Consultoría Colombiana S.A., 2018 con información IDEAM, 2018.

Con respecto a la Subzona Hidrográfica Ríos Lili, Meléndez y Cañaveralejo cabe anotar que el All del proyecto intercepta directamente la unidad hidrográfica denominada Zona Baja ríos Lili, Meléndez y Cañaveralejo la cual corresponde a la confluencia de estos tres cauces, los cuales son analizados individualmente para comprender el comportamiento hidrológico.

**Figura 3-2 Localización hidrográfica área de influencia Indirecta**

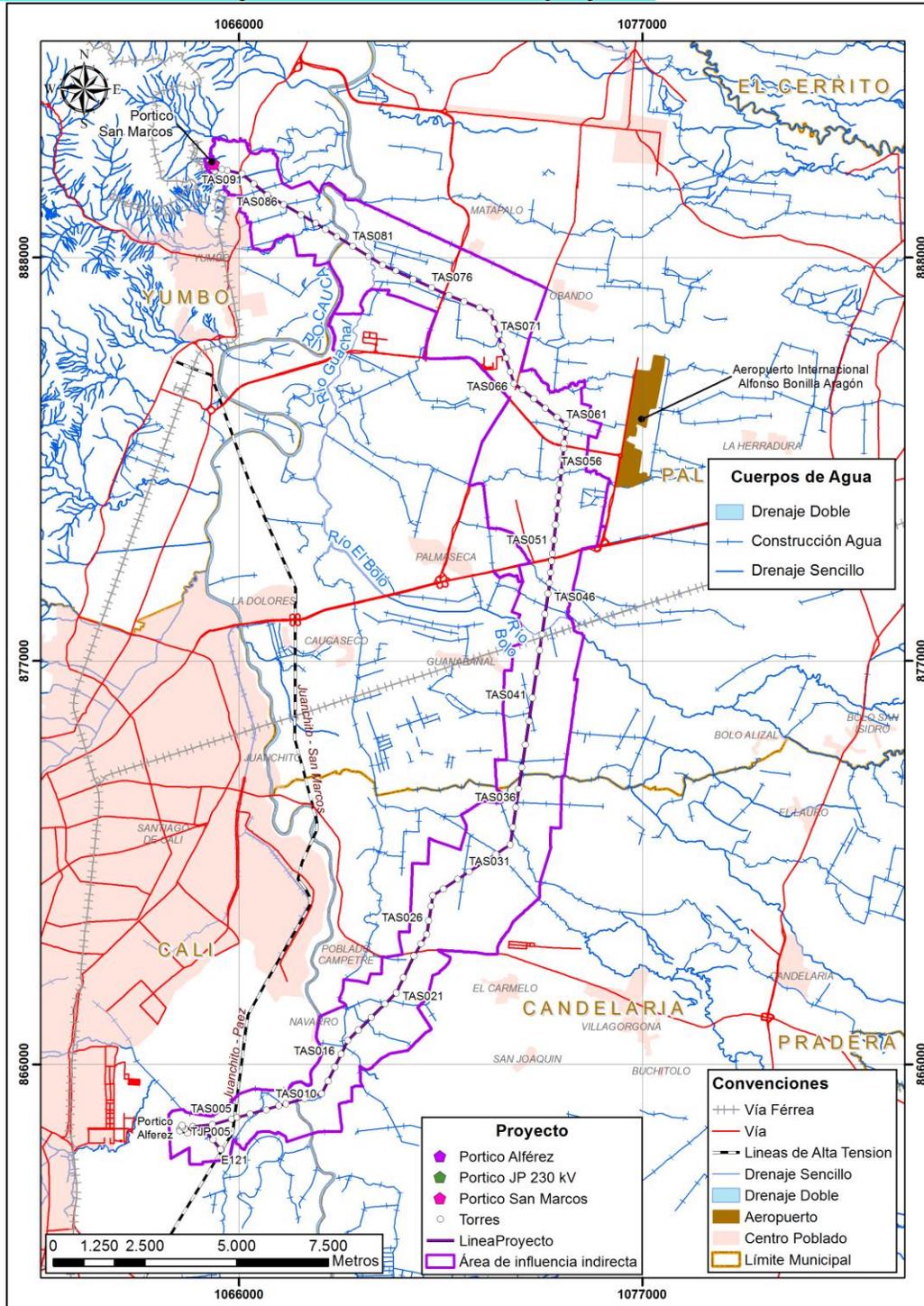


Fuente: Consultoría Colombiana S.A., 2018

En atención a la solicitud de información adicional en el marco del trámite de licencia ambiental, iniciado mediante auto 03652 de 04 de julio de 2018, en respuesta al requerimiento número nueve (9), con relación a la identificación de los sistemas lóticos y

lénticos del área de influencia del proyecto, se complementa y ajusta la información cartográfica de acuerdo con la visita de campo realizada.

**Figura 3-3 Red de drenaje área de influencia del proyecto**



Fuente: Consultoría Colombiana S.A. 2018 con información IGAC, 2018

## Área Hidrográfica Magdalena - Cauca

El área hidrográfica Magdalena – Cauca abarca una extensión aproximada de 275.000 km<sup>2</sup>, lo que representa aproximadamente el 24% de la extensión continental del país. En ella habitan alrededor de 33,6 millones de personas aproximadamente el 80% de la población total del país, y se asientan las grandes ciudades y los principales centros urbanos. La longitud total del río Magdalena de sur a norte entre las cordilleras Central y Oriental, es de aproximadamente 1.528 km, desde su nacimiento en la laguna de La Magdalena, situada en el macizo colombiano a una altura de 3.658 m.s.n.m., hasta el mar Caribe en Bocas de Ceniza en Barranquilla y el canal del Dique en Cartagena (Corporación Autónoma Regional del río Grande de la Magdalena, 2007).

### **Zona Hidrográfica Cauca**

El río Cauca es el más importante entre los muchos afluentes del Magdalena, con una longitud total de 1.350 km aproximadamente, de los cuales son navegables un poco más de 620 km. El Cauca nace también en el Macizo Colombiano, en la laguna del Buey. Corre entre las cordilleras Central y Occidental y tributa sus aguas en el Magdalena, a la altura del departamento de Bolívar.

La cuenca del río Cauca, también puede dividirse en tres sectores con características geomorfológicas diferentes: Alto Cauca, Cauca Medio y Bajo Cauca. El alto Cauca constituye una depresión alargada, en dirección sur-norte, enmarcada por las cordilleras Occidental y Central. Llega hasta aguas arriba de la confluencia del Cauca con el Cañaveral, y la conforma un área de unos 21.000 km<sup>2</sup>. El Cauca Medio abarca desde la desembocadura del río Cañaveral hasta arriba de la confluencia con el río Nechí y tiene un área de aproximada de 21.300 km<sup>2</sup>. El Bajo Cauca se extiende a partir de la desembocadura del río Nechí, donde entra a una llanura baja de cerca de 50 m de elevación. El área de drenaje de esta parte es de 4.300 km<sup>2</sup>. (Ver Fotografía 3-4).

### **Fotografía 3-4 Panorámica Río Cauca**



Fuente: Consultoría Colombiana S.A. 2018

Sub-Zona Hidrográfica Río Guachal (Bolo – Fraile y Párraga)

El río Guachal se localiza en el extremo suroriental del departamento del Valle del Cauca, se forma en la confluencia de los ríos Fraile y Bolo en el municipio de Palmira, se desarrolla en dirección noroeste hasta desembocar en el río Cauca aproximadamente a 930 m.s.n.m. (Ver Fotografía 3-5). El río Fraile nace en el páramo de Las Herosas en el municipio de Florida, Valle del Cauca a 4.000 m.s.n.m. aproximadamente, fluye en dirección oeste hasta la confluencia con el río Bolo (Ver Fotografía 3-7). El río Bolo nace aproximadamente a 4.000 m.s.n.m. en el municipio de Pradera, fluye en dirección oeste pasando por el municipio de Candelaria hasta la confluencia con el río Fraile en el municipio de Palmira (Ver Fotografía 3-6).

**Fotografía 3-5 Panorámica Río Guachal**



Fuente: Consultoría Colombiana S.A. 2018

**Fotografía 3-6. Panorámica Río Bolo**



Fuente: Consultoría Colombiana S.A. 2018

### Fotografía 3-7. Panorámica Río Fraile



Fuente: Consultoría Colombiana S.A. 2018

#### Sub-Zona Hidrográfica Ríos Amaime y Cerrito

Esta subzona hidrográfica se enmarca completamente dentro del departamento del Valle del Cauca. Está conformada por los ríos El Cerrito y Amaime. El área de influencia del proyecto se localiza en la cuenca del río Amaime; las principales subcuencas que conforman la cuenca del río Amaime son la quebrada La Tigra, el río Cabuyal, el río Coronado, el río Nima y el río Toche (Ver Fotografía 3-8).

### Fotografía 3-8. Panorámica Río Amaime



Fuente: Consultoría Colombiana S.A. 2018

#### Sub-Zona Hidrográfica Ríos Claro y Jamundí

Parte del área de influencia del proyecto se localiza específicamente dentro de la cuenca hidrográfica del río Jamundí. El río Jamundí nace a una altura aproximada de 3.040

m.s.n.m., en la vereda San Antonio en el municipio de Jamundí, en los denominados Farallones de Cali, que hacen parte de la cordillera occidental, drena en dirección occidental hacia el río Cauca, donde desemboca en el municipio de Puerto Tejada. La parte alta de la cuenca es escarpada con pendientes mayores al 60% y presenta coberturas de bosque natural abundante, en la zona media predominan los terrenos con pendientes que varían entre el 25% y 50 % con grandes áreas de bosques naturales. La parte baja o de piedemonte es ondulada con pendientes entre el 5 y el 25% y bosque a orillas del río. En la parte alta de la cuenca, a partir de la cota 2.600 m.s.n.m., se conforma el área de amortiguamiento que hace parte del Parque Nacional Natural Los Farallones de Cali (CVC C. A., 2010).

En atención a la solicitud de información adicional requerida por la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales – ANLA el día 17 de agosto de 2018, en el marco del trámite de licencia ambiental, iniciado mediante auto 03652 de 04 de julio de 2018, referente al requerimiento número nueve (9), con el fin de complementar la caracterización hidrológica en relación con la identificación de los sistemas lóticos y lénticos del área de influencia del proyecto. En la Fotografía 3-9 se presenta el estado actual del denominado caño El Estero, el cual es interceptado por la línea de transmisión, este caño se conecta con el humedal El Estero, fuera del All del proyecto, aguas abajo se conecta con el canal Navarro. El proyecto no interviene este cuerpo de agua ni su ronda de protección.

#### **Fotografía 3-9 Caño El Estero**



Fuente: Consultoría Colombiana S.A. 2018.

#### *Sub-Zona Hidrográfica Ríos Lili, Meléndez y Cañaveralejo*

La cuenca hidrográfica de los ríos Lili, Meléndez y Cañaveralejo, se localiza en el suroccidente del departamento del Valle del Cauca, en el flanco oriental de la cordillera Occidental, se caracteriza porque el cauce natural de estas tres subcuencas fue modificado por la construcción del canal interceptor sur, en la zona urbana del municipio de Cali, el cual recoge sus aguas y las entrega al río Cauca en el sector de Navarro.

El río Cañaveralejo se ubica en jurisdicción del municipio de Cali, comprendiendo 6 corregimientos y la zona urbana de Cali.

Sub-Zona Hidrográfica Ríos Arroyohondo, Yumbo, Mulaló, Vijes, Yotoco, Mediacanoa y Piedras

Dentro de esta subzona hidrográfica se encuentran varios afluentes directos al río Cauca, la zona norte del área de estudio se localiza sobre la cuenca de la quebrada Mulaló, la cual nace aproximadamente a 1.700 m.s.n.m. en el municipio de Yumbo y en su parte baja se distribuye en una red de canales que llevan las aguas a los cultivos de caña en la ribera occidental del río Cauca.

Otra de las cuencas dentro de esta subzona hidrográfica que desemboca directamente en el río Cauca, es la del río Yumbo, el cual nace de la confluencia del río Yumbillo y la quebrada Santa Inés, al occidente de la cabecera municipal de Yumbo. La cuenca hidrográfica del río Yumbo es bañada por diversas corrientes de agua que se convierten (junto con el río Cauca y el aporte de flujo base) en la fuente de agua para las necesidades del territorio; el río Yumbo entrega sus aguas al río Cauca a 170 km aguas abajo del embalse de Salvajina. La cuenca posee un patrón de drenaje erosional con un sistema subdendrítico de corrientes superficiales del orden 1 (CVC C. A., 2010).

La quebrada Guabinas es un pequeño cauce que nace aproximadamente a 1.380 m.s.n.m, al occidente de la zona urbana del municipio de Yumbo, posee una longitud aproximada de 4.6 km, fluye en sentido oeste-este hasta desembocar en el río Cauca.

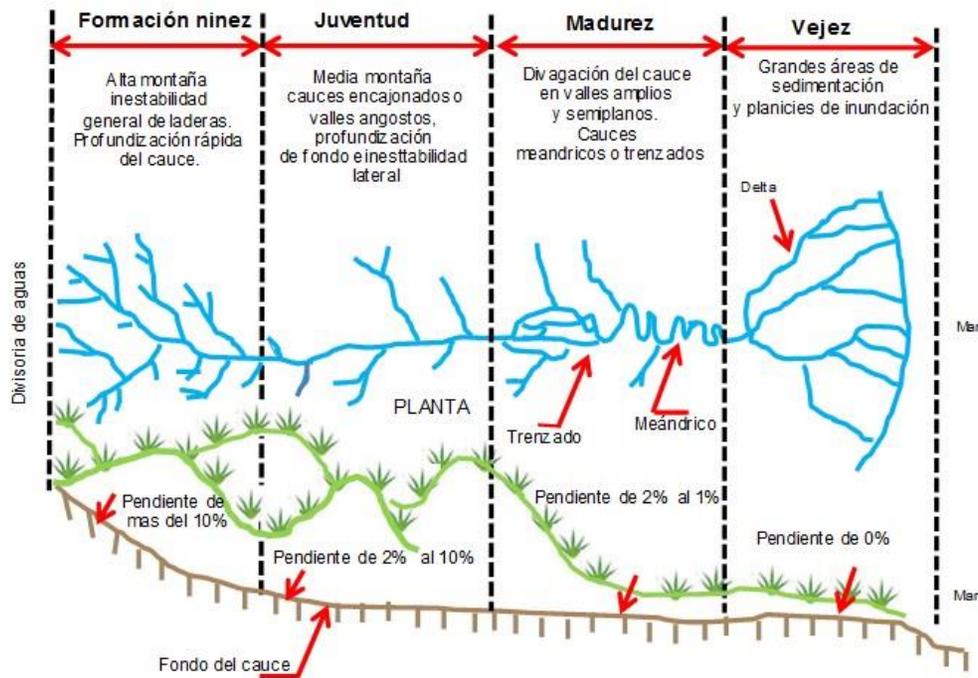
El río Arroyohondo nace en la confluencia de las quebradas Dapa y Arroyo Hondito, en la vereda Rincón Dapa en el municipio de Yumbo, Valle del Cauca, aproximadamente a una altura de 1.650 m.s.n.m.

- **Patrones de drenaje**

Se define como patrón de drenaje a la forma como una red se aprecia en un área. Se determina por la relación entre infiltración y el escurrimiento propio de cada material, los que a su vez dependen de la pendiente de las laderas y del área de drenaje, cobertura vegetal, resistencia de la litología, caudal, permeabilidad del suelo, nivel e intensidad de lluvias y actividad estructural.

Para entender los patrones de drenaje de una corriente se debe conocer su desarrollo erosional o las partes por las que discurren, a saber: el curso alto, curso medio y curso bajo (Ver Figura 3-4).

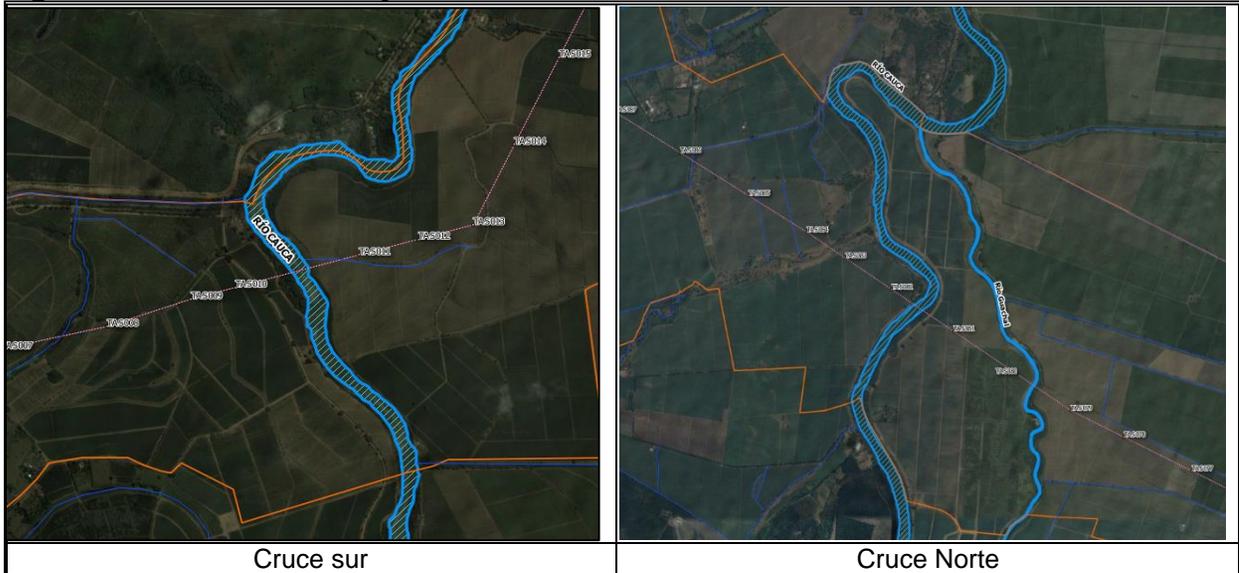
Figura 3-4 Etapa Erosiva de un Río y su Relación con los Patrones de Drenaje



Fuente: <http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/019670/Paginas/15.htm>

En la Figura 3-5 se presentan los dos cruces del río Cauca con la línea de transmisión. El área de estudio se localiza al oriente del municipio de Cali, en el valle alto del río Cauca, es un valle de suelos fértiles, producto de sedimentos aluviales depositados desde el inicio del periodo geológico del cuaternario, sobre una extensión cercana a los 214 km de longitud y 20 km de ancho, con un área que abarca 440.000 ha, plano y nivelado; se sitúa entre los 900 y los 1.000 msnm, en un piso térmico cálido-seco, con vegetación de bosque subandino, temperaturas superiores a los 24 °C y un promedio de lluvias de 1.300 mm al año. El río Cauca en este tramo es de tipo aluvial característico por su forma meandriforme y discurre por un valle conformado por los sedimentos transportados y depositados en millones de años por acción hidráulica y morfológica de su actividad natural (CVC, 2007).

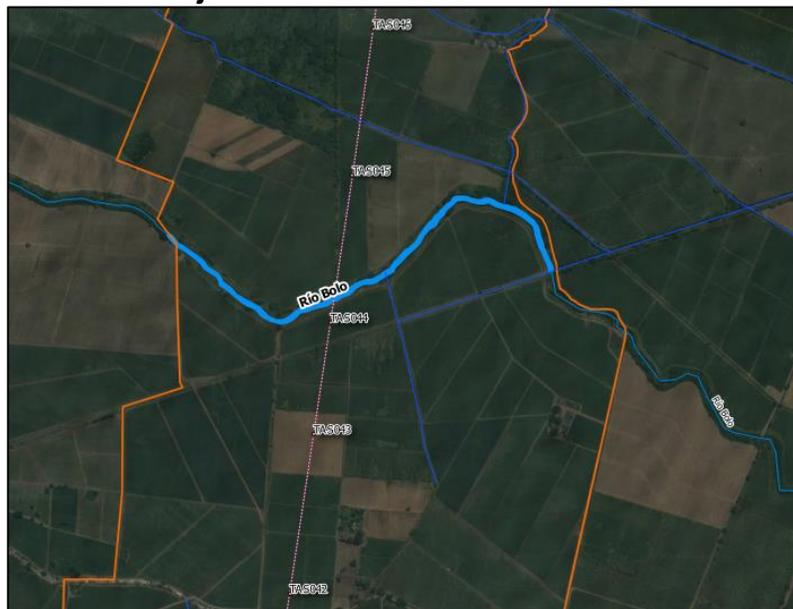
**Figura 3-5. Patrón de drenaje río Cauca**



Fuente: Consultoría Colombiana S.A. Modificado de IGAC 2018.

En la Figura 3-6, se presenta el cruce del río Bolo con la línea de transmisión. Este sector corresponde a zona de abanicos aluviales, los cuales se localizan entre la zona de la vertiente y la planicie aluvial del río Cauca, formada por los materiales transportados por los mayores tributarios y depositados al entrar a la planicie aluvial. Los más recientes de estos depósitos se ubican hacia la margen derecha del río, donde muchos de ellos aún se encuentran en plena actividad, como los abanicos fluviales de los ríos Bolo, Fraile y Desbaratado, entre otros.

**Figura 3-6. Patrón de drenaje río Bolo**



Fuente: Consultoría Colombiana S.A. Modificado de IGAC 2018.

### **Parámetros morfométricos de las cuencas, subcuencas o microcuencas**

El comportamiento del caudal y las crecidas puede verse modificado por una serie de propiedades morfométricas de las cuencas, como son el tamaño, la forma y la pendiente, que resultan muy importantes en la respuesta del caudal recibido y que pueden operar tanto para atenuar como para intensificar las crecidas. La mayor parte de estas propiedades actúa incrementando el volumen de flujo y la velocidad de su movimiento (Ward & Robinson, 1999).

La longitud de la cuenca del cauce principal (L), se define como la distancia horizontal del punto aguas abajo de la cuenca de salida y un punto aguas arriba, donde la línea proyectada del cauce principal corte el contorno de la cuenca. El perímetro (P), de la cuenca corresponde a la longitud de la línea divisoria de la cuenca proyectada en un plano horizontal. El ancho (B), se define como la relación entre el área y la longitud de la cuenca ( $B=A/L$ ).

El coeficiente de forma o de Gravelius, se estima a partir de la relación entre el ancho promedio de la cuenca y la longitud de esta; esta longitud se mide desde la salida o descarga hasta el punto más alejado de ella. En la Tabla 3-4 se presenta la clasificación del coeficiente de forma Kf:

**Tabla 3-4 Coeficiente de Forma (Kf)**

Rangos de Kf	Clase de forma
0,01 - 0,18	Muy Achatada
0,18 – 0,36	Ligeramente achatada
0,36 – 0,54	Moderadamente achatada

Fuente: (Universidad del Valle, 2010)

El Coeficiente de compacidad, (Kc), también propuesto por Gravelius, compara la forma de la cuenca con la de una circunferencia, cuyo círculo inscrito, tiene igual área que la cuenca estudiada. El Kc, se define como la relación entre el perímetro de la cuenca que corresponde a la longitud de la divisoria que la envuelve y el área de esta. Kc, se define mediante la siguiente expresión:

$$Kc = 0.282 \times P / A^{0.5}$$

P= La longitud de la divisoria (km)

A= Área de la cuenca (km<sup>2</sup>)

Entre más cercano al valor a 1 de este coeficiente, más circular será la cuenca. Se definen tres categorías de clasificación de Kc, tal como se presentan en la Tabla 3-5.

**Tabla 3-5 Valores de Compacidad (Kc)**

Rangos de Kc	Clases de Compacidad
Hasta 1,25	Redonda a oval redonda
1,25 – 1,50	De oval redondo a Oval Oblonga

Rangos de Kc	Clases de Compacidad
1,50 – 2,1	De oval Oblonga a Rectangular Oblonga

Fuente: Universidad del Valle, 2010.

La relación de elongación (Re), es otro parámetro de la forma de la cuenca (formulada por Schaum, 1.956), definida como la relación entre el diámetro de un círculo con igual área de la cuenca y la longitud de la misma.

$$Re = (4 \cdot A / \pi) / L = 1.128 / L \cdot A^{0,5}$$

Se ha encontrado que Re, está muy relacionado con el relieve; para regiones de bajo relieve, presentan valores de Re cercanos a la unidad; sin embargo, regiones de alto relieve y altas pendientes presentan valores de Re entre 0,60 y 0,80 (Eagleson 1.970).

Índice de alargamiento (Ia), propuesto por Horton, relaciona la máxima longitud de la cuenca, medida en el sentido de la corriente principal y el máximo ancho de ella en dimensión perpendicular al sentido del cauce. Se define mediante la siguiente expresión:

$$Ia = Lm / b$$

Lm = longitud máxima de la cuenca

b = ancho máximo de la cuenca

Puede establecerse que cuando el índice de alargamiento (Ia) toma valores mayores de 1.0, se consideran cuencas alargadas y cuando sus valores son cercanos a uno, corresponde a cuencas cuya red de drenaje presenta la forma de abanico con un río principal. En la Tabla 3-6, que clasifica la clase de alargamiento de la cuenca en función del Índice de alargamiento (Ia):

**Tabla 3-6 Índice de Alargamiento (Ia)**

Rangos de Ia	Clase de Alargamiento
0,0 – 1,40	Poco alargada
1,50 – 2,80	Moderadamente alargada
2,90 – 6,50	Muy alargada

Fuente: Universidad del Valle, 2010.

Coefficiente de Masividad, (Km), define el tipo de relieve de montaña, relaciona la elevación media de la cuenca con su superficie; se dimensiona en este documento en m/Km<sup>2</sup>.

$$Km = \text{Altura media de cuenca (msnm)} / \text{Área de la cuenca (Km}^2\text{)}$$

La Tabla 3-7, presenta la clasificación del coeficiente de masividad, Kf. Los valores bajos de Kf representan cuencas montañosas y los valores altos representan cuencas planas.

**Tabla 3-7 Coeficiente de Masividad (Km)**

Rangos de Km	Clase de Masividad
0 - 35	Muy montañosa
35 - 70	Montañosa
70 - 105	Moderadamente montañosa

Fuente: Universidad del Valle, 2010.

El Índice de orden de la corriente, fue propuesto por Horton y Stahler, quienes establecen que una corriente de primer orden es aquella que no tiene afluentes, una de segundo orden es aquella que reúne dos corrientes de primer orden, una de tercer orden es donde confluye una de segundo orden con una de primer orden y así sucesivamente.

La definición de este Índice de orden, indica el grado de estructura de la red drenante, pues a mayor sea el valor, mayor será la red y más compleja la estructura. En la Tabla 3-8, se presenta la clasificación de Orden de corrientes de drenaje.

**Tabla 3-8 Clasificación de orden de la corriente**

Rangos de orden	Clases de orden
1 - 2	Bajo
2,1 - 4	Medio
4,1 - 6	Alto

Fuente: Universidad del Valle, 2010.

El Índice de Densidad de drenaje (Dd), permite conocer la complejidad y desarrollo del sistema de drenaje de una cuenca. Con la definición de este Índice, se establece que una mayor densidad de escurrimiento indica mayor estructuración de la red fluvial, lo que se traduce en un mayor potencial erosivo. Por lo tanto, la red de drenaje suministra una serie de atributos de la forma de la cuenca y los procesos que se presentan a lo largo de la corriente.

Mediante la densidad de drenaje, se reflejan controles topográficos, geotécnicos y de vegetación que adicionalmente incorporan la influencia humana.

La densidad de drenaje (Dd) de la cuenca, se define como la relación entre la longitud del sistema de drenaje y el Área de la cuenca que contiene el sistema.

$$Dd = L / A$$

L= Longitud del sistema de drenaje (km)  
 A = Área de la cuenca contenedora (Km<sup>2</sup>)

A fin de catalogar una cuenca bien o mal drenada, se puede definir que para Dd próximos o mayores 0,5 Km/Km<sup>2</sup>, se define la eficiencia de la red de drenaje. La red de drenaje toma sus características a partir de la topografía y de la influencia de la precipitación; es decir que un valor alto de Dd, corresponde a un volumen alto de escurrimiento y valores altos de la velocidad, implican crecimiento en la lámina.

La cuenca con valores bajos de Dd, representan una densidad de drenaje baja, asociada a una región resistente a la erosión, muy permeable, bajo relieve, pobremente drenada con respuesta hidrológica lenta. Valores altos de Dd, reflejan cuencas con suelos erosionables o relativamente impermeables, poca vegetación, relieve montañoso, pendiente general alta, bien drenada y relativamente responde rápido a la precipitación (Eagleson, 1970).

Es de esperarse que, en época de estiaje, se dé un descenso en el caudal en las cuencas de alta densidad de drenaje y pendiente alta; mientras en zonas planas de alta densidad de drenaje, se espera estabilidad en los caudales, dado por el aporte subterráneo y el drenaje subsuperficial. En la Tabla 3-9, se relaciona la clasificación de la densidad de drenaje Dd:

**Tabla 3-9 Clasificación de la densidad del drenaje**

Rangos de densidad	Clase de densidad
0,1 – 1,80	Baja
1,90 – 3,60	Moderada
3,70 – 5,60	Alta

Fuente: Universidad del Valle, 2010.

El tiempo de Concentración Tc presenta una relación con el volumen transportado por el drenaje. Algunos autores lo definen como el tiempo entre el centroide del hietograma de excesos (Precipitación que se convierte en escorrentía superficial) y el punto de inflexión sobre la curva de recesión del hidrograma de escurrimiento (Caudal superficial generado por la cuenca ante un evento de precipitación) directo o en otros términos, como el tiempo que tarda una partícula de agua desde el punto más remoto sobre la curva de recesión del hidrograma de escurrimiento directo (zona de disminución progresiva de caudal).

Existen diversas metodologías para la estimación del tiempo de concentración que han sido desarrolladas a partir de conceptualizaciones semi-empíricas, las más empleadas en los estudios de hidrología son las siguientes:

***Tiempo de concentración a partir de la fórmula empírica de Kirpich (Kirpich, 1940)***

Desarrollada a partir de la información del SCS en siete cuencas rurales en Tennessee con canales bien definidos y pendientes empinadas (de 3% a 10%).

$$T_c = \frac{0.0003245 * L^{0.77}}{S^{0.385}}$$

Dónde:

Tc: Tiempo de concentración (horas)

L: Longitud máxima del canal o río desde aguas arriba hasta la salida, (en metros).

S: Pendiente del cauce o H/L (m/m) donde H es la diferencia de elevación entre el punto más elevado y el punto de interés.

**Tiempo de concentración a partir de la fórmula de Kirpich Californiana (U.S. Bureau of Reclamation, 1973)**

Conocida también como la fórmula de California Culverts Practice. Esencialmente es la ecuación de Kirpich, desarrollada para pequeñas cuencas montañosas en California (Ven Te Chow, 1994: p. 96).

$$T_c = \left( \frac{0.870 * L^3}{H} \right)^{0.385}$$

Dónde:

L: Longitud de flujo superficial (en kilómetros).

H: Diferencia de nivel entre la divisoria de aguas y la salida (en metros).

**Tiempo de concentración a partir de la fórmula de Bureau of Reclamation (U.S. Bureau of Reclamation, 1973)**

$$T_c = 0.066 \left( \frac{L}{\sqrt{S}} \right)^{0.77}$$

Dónde:

Tc: Tiempo de concentración en horas.

L: Longitud cauce principal (km)

S: Pendiente del cauce o H/L (m/m) donde H es la diferencia de elevación entre el punto más elevado y el punto de interés.

La Tabla 3-10 resume el significado de los parámetros morfométricos descritos anteriormente. En la Tabla 3-11 se presentan los parámetros morfométricos medidos para cada unidad hidrográfica y en la Tabla 3-12 se presentan los índices y coeficientes de forma deducidos a partir de los parámetros medidos. En la Tabla 3-13 se presentan los tiempos de concentración deducidos para cada unidad hidrográfica.

**Tabla 3-10 Resumen de los parámetros morfométricos**

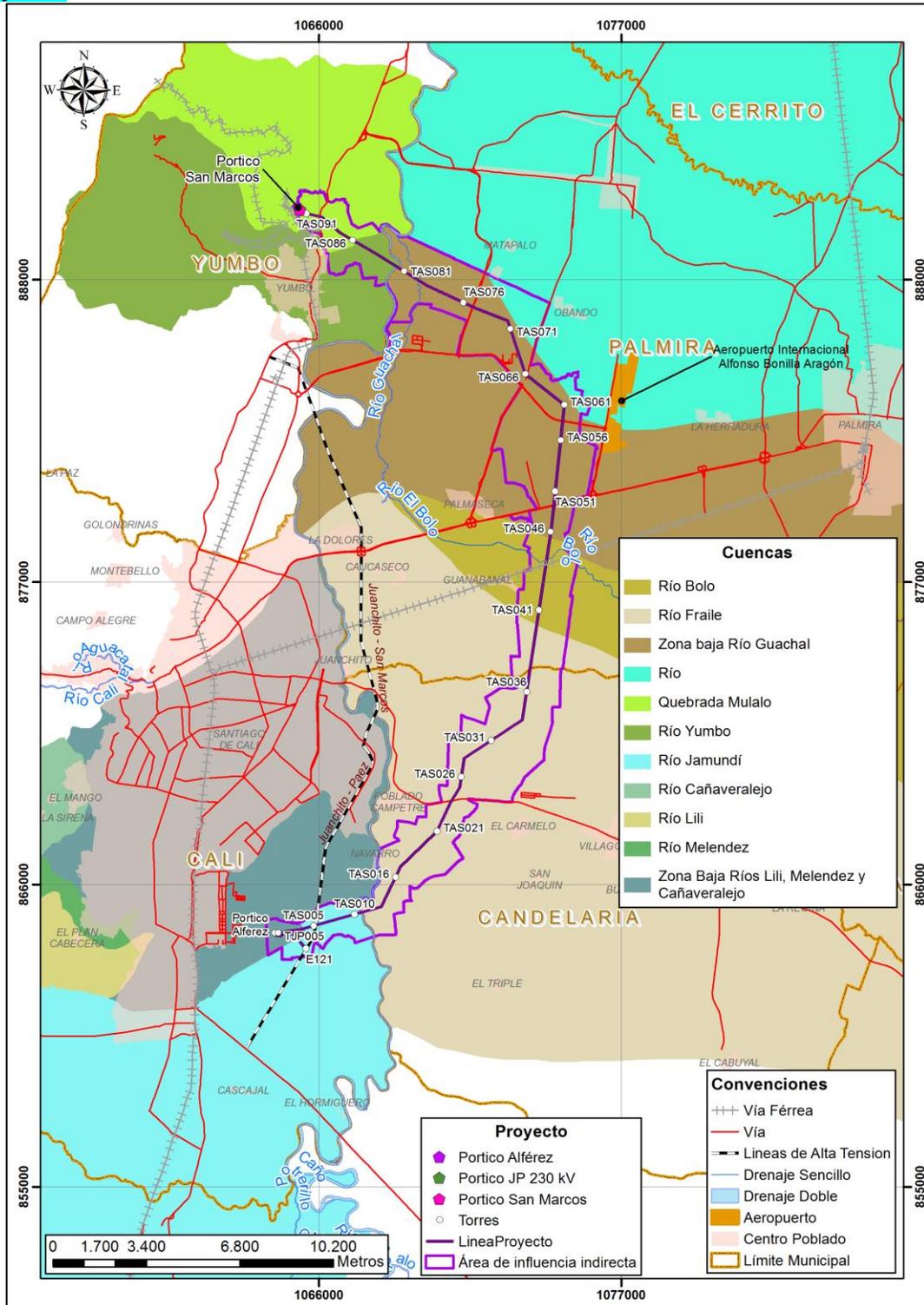
MORFOMETRÍA	SIGNIFICADO MORFOMÉTRICO
Longitud de cauce Principal (Km)	A mayor longitud, mayor Tc. Está influido por la pendiente.
Elevación media (msnm)	Distribución espacial del escurrimiento y distribución térmica.
Área (km2)	Tamaño relativo, a menor tamaño, menor capacidad de captar agua y menor volumen de ésta. Se correlaciona directamente con su longitud e inversamente con la densidad de drenaje.
Desnivel (m)	Variación altitudinal, si es mayor el desnivel, hay más variedad climática y ecológica
Coeficiente de forma (Kf):	Grado de achatamiento. Valores altos indican tendencia a la concentración de aguas (formación de crecientes).
Coeficiente de compacidad (Kc):	Grado de circularidad. Valores cercanos a 1 indican tendencia a concentrar mayor volumen de escurrimiento
Coeficiente de alargamiento (Li)	Valores cercanos a 1 corresponde a ríos cortos y por tanto, con mejor respuesta a las lluvias.

MORFOMETRÍA	SIGNIFICADO MORFOMÉTRICO
<b>Coeficiente de masividad (Km):</b>	Una cuenca montañosa implica mayor energía y mayor precipitación en general.
<b>Orden:</b>	Valor de la red de drenaje. Indica el grado de estructura que tiene. Un mayor orden indica mayor energía y mayor control estructural y en general, mayor erosión.
<b>Densidad de drenaje (km/km2):</b>	Valores altos indican mayor eficiencia de transporte y mayor velocidad de transporte. Cuencas erosionables e impermeables, relieve montañoso, poca vegetación.
<b>Pendiente del cauce principal</b>	A mayor pendiente mayor velocidad de desplazamiento del agua; menor tiempo de concentración y menor infiltración depende de suelo
<b>Tiempo de concentración (T):</b>	A mayor tiempo, mayor volumen de agua. También puede indicar un mayor escurrimiento

Fuente: Universidad del Valle, 2010.

Finalmente, el trazado de divisorias dentro del área de influencia directa se hizo a partir de la cartografía 1:25.000 obteniendo como resultado un total de 11 cuencas cuyos parámetros morfométricos se resumen en la Tabla 3-11 y Tabla 3-12. En la **Figura 3-7** se presenta la delimitación de estas cuencas en el área del proyecto.

**Figura 3-7 Localización y delimitación de las cuencas en el área de influencia del proyecto**



Fuente: Consultoría Colombiana S.A. 2018

**Tabla 3-11 Parámetros morfométricos unidades hidrográficas**

SZH	Unidad Hidrográfica	Área (km <sup>2</sup> )	Perímetro (km)	Longitud Cauce (Km)	Ancho medio (km)	Longitud Cuenca (Km)	Longitud Total Drenajes (km)	Altura media (m.s.n.m)	Pendiente media del cauce (%)
Río Guachal (Bolo - Fraile y Párraga)	Zona baja Río Guachal	152.9255	79.32	10.68	5.33	14.3	119.08	964.11	1.27
	Río Fraile	679.1283	149.69	65.89	14.097	58	251.99	1607.35	5.15
	Río Bolo	411.3298	128.45	57.59	14.64	53.9	942.31	1836.60	5.60
Ríos Amaime y Cerrito	Río Amaime	962,71	186,30	77,85	33,40	186,30	2653.24	2.518,38	9,19
Ríos Claro y Jamundí	Río Jamundí	368,23	108,47	48,16	13,73	108,47	449.24	1.640,26	9,17
Ríos Lili, Meléndez y Cañaveralejo	Río Cañaveralejo	14,94	16,73	4,18	3,03	16,73	11,74	1.398,87	8,76
	Río Meléndez	37,42	37,90	15,29	3,81	37,90	28,15	1.862,39	9,49
	Río Lili	15,96	21,24	7,78	3,85	21,24	14,29	1.297,79	10,43
Ríos Arroyohondo - Yumbo - Mulalo - Vijes - Yotoco - Mediacanoa y Piedras	Río Yumbo	58,15	42,54	14,03	6,66	42,54	135.83	1.463,88	8,06
	Quebrada Mulalo	49,01	38,03	13,33	6,61	38,03	129.92	1.342,81	10,54

Fuente: Consultoría Colombiana S.A. 2018

**Tabla 3-12 Índices morfométricos unidades hidrográficas**

Unidad Hidrográfica	Coefficiente de forma	Coefficiente. de Compacidad (kc)	Relación de Elongación	Densidad de Drenaje (km/Km <sup>2</sup> )	Coefficiente de Masividad	Índice de alargamiento	Orden Horton
Zona baja Río Guachal	0.373	1.81	0.975	0.779	6.30	2.68	6
Río Fraile	0.243	1.62	0.507	0.371	2.37	4.11	6
Río Bolo	0.272	1.79	0.424	2.291	4.47	3.68	5
Río Amaime	0.179	1.69	0.188	2.756	2.62	5.58	6
Río Jamundí	0.127	1.59	0.2	1.220	4.45	7.90	5
Río Cañaveralejo	0.181	1.22	0.261	0.786	93.65	5.52	3
Río Meléndez	0.1	1.75	0.182	0.752	49.78	9.95	4
Río Lili	0.181	1.50	0.212	0.896	81.33	12.34	4
Río Yumbo	0.157	1.57	0.202	2.336	25.17	6.39	5
Quebrada Mulaló	0.174	1.53	0.208	2.651	27.40	5.75	4

Fuente: Consultoría Colombiana S.A. 2018

**Tabla 3-13 Tiempos de concentración de las cuencas hidrológicas**

Unidad Hidrográfica	Longitud Cauce (Km)	Altura máxima (m,s,n,m,)	Altura mínima (m,s,n,m,)	Pendiente cauce	Tiempo de concentración (hr)			TC	
					Kirpich	Culverts	Bureau	Horas	min
Zona baja río Guachal	10.68	1061.1	925.027	0.01	0.374	2.204	0.372	0.984	59.0133975
Río Fraile	65.893	4321.3	927.037	0.05	0.886	5.226	0.883	2.332	139.901344
Río Bolo	57.59	4161.8	935.969	0.06	0.774	4.561	0.771	2.035	122.11528
Río Amaime	77,85	4,211,24	930,28	0,09	4,748	6,418	4,730	5,299	317,94
Río Jamundí	48,16	4,055,89	934,47	0,09	3,284	3,758	3,272	3,438	206,28
Río Cañaveralejo	4,18	1,915,17	979,54	0,09	0,509	0,355	0,507	0,457	27,42
Río Meléndez	15,29	3,113,71	988,57	0,09	1,339	1,158	1,334	1,277	76,62
Río Lili	7,78	1,848,72	972,97	0,10	0,768	0,747	0,765	0,760	45,61

Unidad Hidrográfica	Longitud Cauce (Km)	Altura máxima (m,s,n,m,)	Altura mínima (m,s,n,m,)	Pendiente cauce	Tiempo de concentración (hr)			TC	
					Kirpich	Culverts	Bureau	Horas	min
Río Yumbo	14,03	2,217,86	934,42	0,08	1,335	1,273	1,330	1,313	78,78
Quebrada Mulalo	13,33	1,853,36	930,28	0,11	1,158	1,362	1,153	1,224	73,45

Fuente: Consultoría Colombiana S.A. 2018

### **Río Guachal**

La cuenca del río Guachal posee un área aproximada de 1.243 km<sup>2</sup> y un perímetro aproximado de 189 km. El factor de forma de esta cuenca presenta un valor de 0,15, lo que indica que tiene una forma muy achatada. El coeficiente de compacidad es otro factor que da indicios de la forma de la cuenca, el valor del coeficiente de compacidad de esta cuenca es 1,5, lo que indica que se trata de una cuenca oblonga a rectangular oblonga. La densidad de drenajes indica que tan bien o mal drenada está la cuenca, esta cuenca tiene una densidad de drenajes de 0,9 km/km<sup>2</sup>, esto indica que la cuenca presenta una densidad de drenajes baja. En la parte alta de la cuenca se presenta un patrón de drenaje dendrítico con drenajes cortos de altas pendientes que nacen en la Cordillera Central, de la parte media hacia la parte baja se presenta un patrón de drenaje sub-paralelo, hasta la confluencia de estos drenajes en el río Guachal y su posterior desembocadura en el río Cauca. El patrón de drenaje dendrítico tiene forma similar a pequeñas hebras o hilos, se desarrolla en materiales aproximadamente homogéneos en su composición, en los que no existe un control estructural. El patrón de drenaje subparalelo es característico del terreno dominado por una pendiente regional, lo cual le impone al drenaje una dirección predominante, con cauces paralelos. La cuenca del río Guachal se subdivide en las unidades del río Fraile, el río Bolo y la zona baja de la cuenca del río Guachal.

#### ○ **Río Bolo**

La cuenca del río Bolo posee un área aproximada de 411.33 km<sup>2</sup> y un perímetro aproximado de 128.45 km. El factor de forma de esta cuenca presenta un valor de 0,27, lo que indica que tiene una forma ligeramente achatada. El coeficiente de compacidad es otro factor que da indicios de la forma de la cuenca, el valor del coeficiente de compacidad de esta cuenca es 1,79, lo que indica que se trata de una cuenca oval oblonga a rectangular oblonga. La densidad de drenajes indica que tan bien o mal drenada está la cuenca, esta cuenca tiene una densidad de drenajes de 2.29 km/km<sup>2</sup>, esto indica que la cuenca presenta una densidad de drenajes baja. En la parte alta de la cuenca se presenta un patrón de drenaje dendrítico con drenajes cortos de altas pendientes que nacen en la Cordillera Central, de la parte media hacia la parte baja se presenta un patrón de drenaje sub-paralelo, hasta su desembocadura en el río Guachal. El patrón de drenaje dendrítico tiene forma similar a pequeñas hebras o hilos, se desarrolla en materiales aproximadamente homogéneos en su composición, en los que no existe un control estructural. El patrón de drenaje subparalelo es característico del terreno dominado por una pendiente regional, lo cual le impone al drenaje una dirección predominante, con cauces paralelos.

#### ○ **Río Fraile**

La cuenca del río Fraile posee un área aproximada de 679.13 km<sup>2</sup> y un perímetro aproximado de 679 km. El factor de forma de esta cuenca presenta un valor de 0.24, lo que indica que tiene una forma ligeramente achatada. El coeficiente de compacidad es otro factor que da indicios de la forma de la cuenca, el valor del coeficiente de compacidad de esta cuenca es 1,62, lo que indica que se trata de una cuenca oblonga a rectangular oblonga. La densidad de drenajes indica que tan bien o mal drenada está la cuenca, esta cuenca tiene una densidad de drenajes de 0.37 km/km<sup>2</sup>, esto indica que la cuenca presenta una densidad de drenajes baja. En la parte alta de la cuenca se presenta un patrón de drenaje dendrítico con drenajes cortos de altas pendientes que nacen en la Cordillera

Central, de la parte media hacia la parte baja se presenta un patrón de drenaje sub-paralelo, hasta que confluye con el río Bolo para formar el río Guachal. El patrón de drenaje dendrítico tiene forma similar a pequeñas hebras o hilos, se desarrolla en materiales aproximadamente homogéneos en su composición, en los que no existe un control estructural. El patrón de drenaje subparalelo es característico del terreno dominado por una pendiente regional, lo cual le impone al drenaje una dirección predominante, con cauces paralelos.

### ***Río Amaime***

La cuenca del río Amaime posee un área aproximada de 962 km<sup>2</sup> y un perímetro aproximado de 186,3 km. El factor de forma de esta cuenca presenta un valor de 0,18, lo que indica que tiene una forma muy achatada. El coeficiente de compacidad es otro factor que da indicios de la forma de la cuenca, el valor del coeficiente de compacidad de esta cuenca es 1,69, lo que indica que se trata de una cuenca oblonga a rectangular oblonga. La densidad de drenajes indica que tan bien o mal drenada está la cuenca, esta cuenca tiene una densidad de drenajes de 1,17 km/km<sup>2</sup>, esto indica que la cuenca presenta una densidad de drenajes baja. En la parte alta de la cuenca se presenta un patrón de drenaje dendrítico con drenajes cortos de altas pendientes, de la parte media hacia la parte baja se presenta un patrón de drenaje subparalelo, hasta la confluencia en el río Amaime y su posterior desembocadura en el río Cauca. El patrón de drenaje dendrítico tiene forma similar a pequeñas hebras o hilos, se desarrolla en materiales aproximadamente homogéneos en su composición, en los que no existe un control estructural. El patrón de drenaje subparalelo es característico del terreno dominado por una pendiente regional, lo cual le impone al drenaje una dirección predominante, con cauces paralelos.

### ***Río Jamundí***

La cuenca del río Jamundí posee un área aproximada de 368 km<sup>2</sup> y un perímetro aproximado de 108 km. El factor de forma de esta cuenca presenta un valor de 0,127, lo que indica que tiene una forma muy achatada. El coeficiente de compacidad es otro factor que da indicios de la forma de la cuenca, el valor del coeficiente de compacidad de esta cuenca es 1,59, lo que indica que se trata de una cuenca oblonga a rectangular oblonga. La densidad de drenajes indica que tan bien o mal drenada está la cuenca, esta cuenca tiene una densidad de drenajes de 0,8 km/km<sup>2</sup>, esto indica que la cuenca presenta una densidad de drenajes baja. En la parte alta de la cuenca se presenta un patrón de drenaje dendrítico con drenajes cortos de altas pendientes que nacen en los Farallones de Cali. El patrón de drenaje dendrítico tiene forma similar a pequeñas hebras o hilos, se desarrolla en materiales aproximadamente homogéneos en su composición, en los que no existe un control estructural.

### ***Río Cañaveralejo***

La cuenca del río Cañaveralejo posee un área aproximada de 14,94 km<sup>2</sup> y un perímetro aproximado de 16,7 km. El factor de forma de esta cuenca presenta un valor de 0,18, lo que indica que tiene una forma ligeramente achatada. El coeficiente de compacidad es otro factor que da indicios de la forma de la cuenca, el valor del coeficiente de compacidad de esta cuenca es 1,22, lo que indica que se trata de una cuenca casi redonda a oval redonda.

La densidad de drenajes indica que tan bien o mal drenada está la cuenca, esta cuenca tiene una densidad de drenajes de  $0,78 \text{ km/km}^2$ , esto indica que la cuenca presenta una densidad de drenajes baja. La cuenca presenta un patrón de drenaje predominantemente dendrítica, este patrón de drenaje tiene forma similar a pequeñas hebras o hilos, se desarrolla en materiales aproximadamente homogéneos en su composición, en los que no existe un control estructural.

### ***Río Meléndez***

La cuenca del río Meléndez posee un área aproximada de  $37,42 \text{ km}^2$  y un perímetro aproximado de  $37,9 \text{ km}$ . El factor de forma de esta cuenca presenta un valor de  $0,10$ , lo que indica que tiene una forma muy achatada. El coeficiente de compacidad es otro factor que da indicios de la forma de la cuenca, el valor del coeficiente de compacidad de esta cuenca es  $1,75$ , lo que indica que se trata de una cuenca oval oblonga a rectangular oblonga. La densidad de drenajes indica que tan bien o mal drenada esta la cuenca, esta cuenca tiene una densidad de drenajes de  $0,75 \text{ km/km}^2$ , esto indica que la cuenca presenta una densidad de drenajes baja. La cuenca presenta un patrón de drenaje predominantemente dendrítica, este patrón de drenaje tiene forma similar a pequeñas hebras o hilos, se desarrolla en materiales aproximadamente homogéneos en su composición, en los que no existe un control estructural.

### ***Río Lili***

La cuenca del río Lili posee un área aproximada de  $15,9 \text{ km}^2$  y un perímetro aproximado de  $21,24 \text{ km}$ . El factor de forma de esta cuenca presenta un valor de  $0,18$ , lo que indica que tiene una forma ligeramente achatada. El coeficiente de compacidad es otro factor que da indicios de la forma de la cuenca, el valor del coeficiente de compacidad de esta cuenca es  $1,5$ , lo que indica que se trata de una cuenca oval redonda a oval oblonga. La densidad de drenajes indica que tan bien o mal drenada esta la cuenca, esta cuenca tiene una densidad de drenajes de  $0,89 \text{ km/km}^2$ , esto indica que la cuenca presenta una densidad de drenajes baja. La cuenca presenta un patrón de drenaje predominantemente dendrítica, este patrón de drenaje tiene forma similar a pequeñas hebras o hilos, se desarrolla en materiales aproximadamente homogéneos en su composición, en los que no existe un control estructural.

### ***Río Yumbo***

La cuenca del río Yumbo posee un área aproximada de  $58,15 \text{ km}^2$  y un perímetro aproximado de  $42,5 \text{ km}$ . El factor de forma de esta cuenca presenta un valor de  $0,15$ , lo que indica que tiene una forma muy achatada. El coeficiente de compacidad es otro factor que da indicios de la forma de la cuenca, el valor del coeficiente de compacidad de esta cuenca es  $1,5$ , lo que indica que se trata de una cuenca oval oblonga a rectangular oblonga. La densidad de drenajes indica que tan bien o mal drenada esta la cuenca, esta cuenca tiene una densidad de drenajes de  $0,95 \text{ km/km}^2$ , esto indica que la cuenca presenta una densidad de drenajes baja. La cuenca presenta un patrón de drenaje predominantemente dendrítica, este patrón de drenaje tiene forma similar a pequeñas hebras o hilos, se desarrolla en materiales aproximadamente homogéneos en su composición, en los que no

existe un control estructural. La cuenca presenta un patrón de drenaje predominantemente dendrítica, este patrón de drenaje tiene forma similar a pequeñas hebras o hilos, se desarrolla en materiales aproximadamente homogéneos en su composición, en los que no existe un control estructural.

### **Quebrada Mulalo**

La cuenca de la quebrada Mulalo posee un área aproximada de 49 km<sup>2</sup> y un perímetro aproximado de 38 km. El factor de forma de esta cuenca presenta un valor de 0,17, lo que indica que tiene una forma muy achatada. El coeficiente de compacidad es otro factor que da indicios de la forma de la cuenca, el valor del coeficiente de compacidad de esta cuenca es 1,53, lo que indica que se trata de una cuenca oval oblonga a rectangular oblonga. La densidad de drenajes indica que tan bien o mal drenada esta la cuenca, esta cuenca tiene una densidad de drenajes de 1,13 km/km<sup>2</sup>, esto indica que la cuenca presenta una densidad de drenajes baja. La cuenca presenta un patrón de drenaje predominantemente dendrítica, este patrón de drenaje tiene forma similar a pequeñas hebras o hilos, se desarrolla en materiales aproximadamente homogéneos en su composición, en los que no existe un control estructural.

- **Régimen hidrológico y de caudales característicos de las principales corrientes**

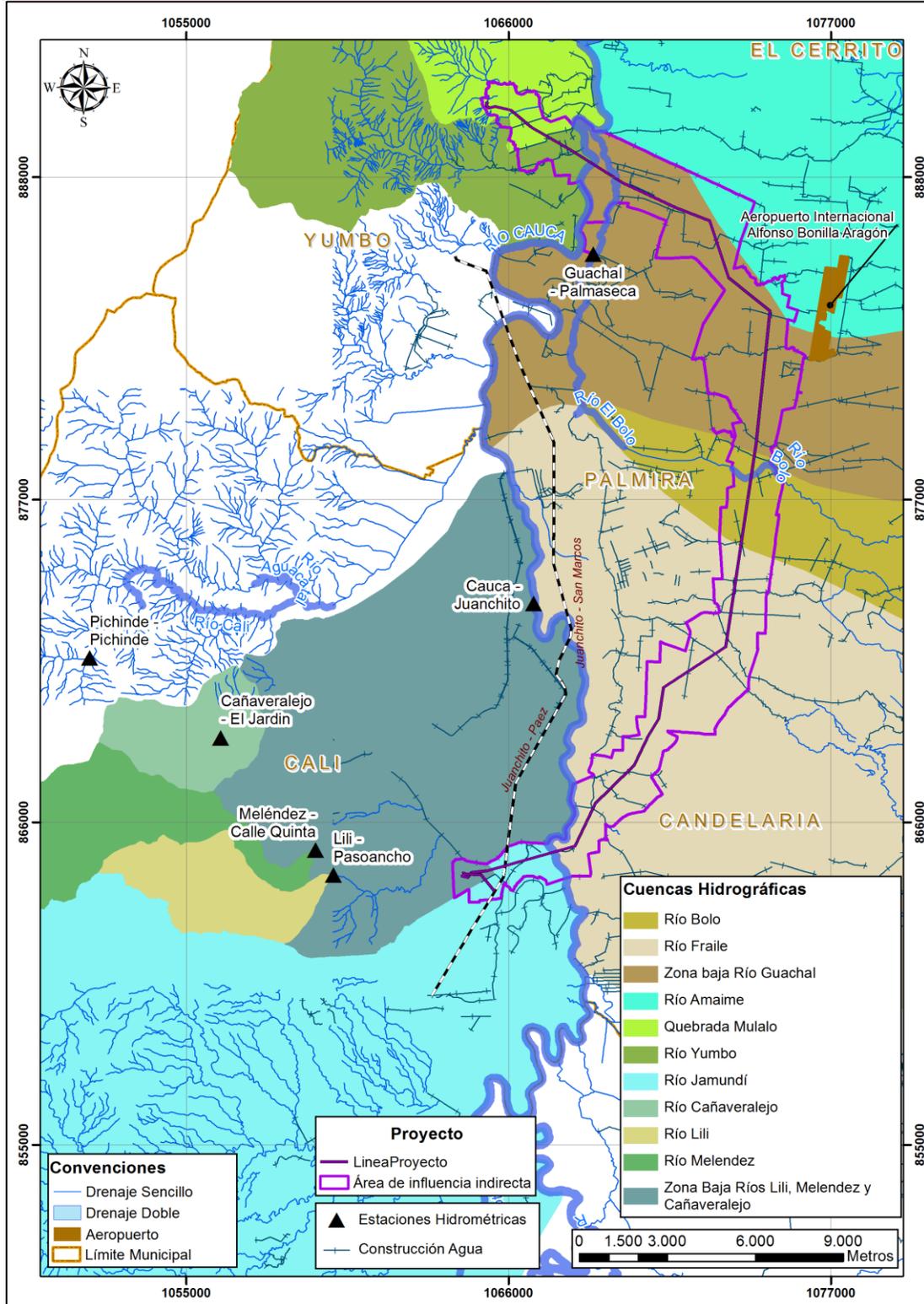
Las variaciones de caudal definen el régimen hidrológico de un río. Las variaciones temporales se dan durante o después de las tormentas. En casos extremos se puede producir la crecida cuando el aporte de agua es mayor que la capacidad del río para evacuarla, desbordándose y cubriendo las zonas llanas próximas. En la Tabla 3-14 se presenta el listado de las estaciones hidrométricas utilizadas para el análisis de caudales en el área de influencia y en la Figura 3-8 se presenta la localización de estas.

**Tabla 3-14 Estaciones utilizadas para análisis**

<b>Código</b>	<b>Nombre</b>	<b>Tipo*</b>	<b>Corriente</b>	<b>Entidad</b>	<b>Este</b>	<b>Norte</b>
2622330401	Cañaveralejo - El Jardín	LG	Cañaveralejo	CVC	1056182,93	868869,98
2622310403	Lili - Pasoancho	LG	Lili	CVC	1060025,86	864195,05
2622320402	Meléndez - Calle Quinta	LM	Meléndez	CVC	1059417,15	865046,45
2610000401	Cauca - Juanchito	LM	Cauca	CVC	1066864,22	873460,86
2622410401	Pichinde - Pichinde	LG	Pichinde	CVC	1051712,16	871601,87
2612700401	Guachal - Palmaseca	LG	Guachal	CVC	1068903,35	885379,02

LG: Limnigráfica, LM: Limnimétrica  
Fuente: IDEAM., 2017.

**Figura 3-8 Localización estaciones hidrométricas**



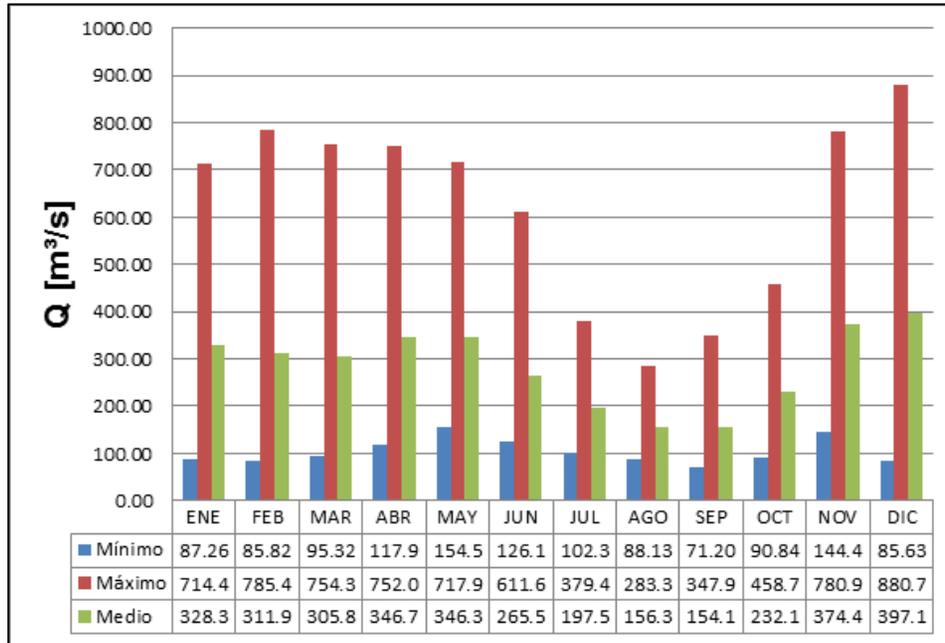
Fuente: Consultoría Colombiana S.A. 2018 (Datos IDEAM, 2017).

## Río Cauca

### Estación Cauca-Juanchito

El río Cauca en el punto de cierre de la estación Juanchito, localizada en el municipio de Palmira en el departamento del Valle del Cauca; reporta un caudal medio de 284,67 m<sup>3</sup>/s, un caudal máximo de 622,24 m<sup>3</sup>/s y un caudal mínimo de 104,14 m<sup>3</sup>/s. Esta estación presenta registros desde enero de 1945 a diciembre de 2016.

**Figura 3-9 Caudales mensuales multianuales estación Cauca-Juanchito**



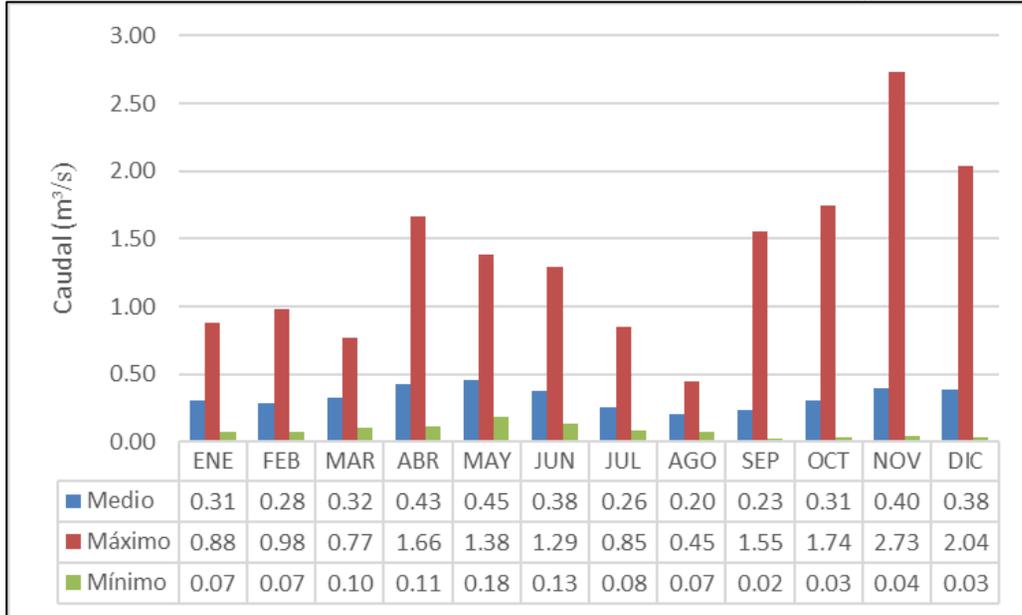
Fuente: Consultoría Colombiana S.A. 2018 (Datos IDEAM, 2017).

## Subzona Hidrográfica ríos Lili, Meléndez y Cañaveralejo

### Estación Cañaveralejo-El Jardín

El río Cañaveralejo en el punto de cierre de la estación El Jardín, localizada en el municipio de Cali en el departamento del Valle del Cauca, reporta un caudal medio de 0,33 m<sup>3</sup>/s, un caudal máximo de 1,36 m<sup>3</sup>/s y un caudal mínimo de 0,08 m<sup>3</sup>/s. Esta estación presenta registros desde enero de 1975 hasta diciembre de 2016.

**Figura 3-10 Caudales mensuales multianuales estación Cañaveralejo-El Jardín**

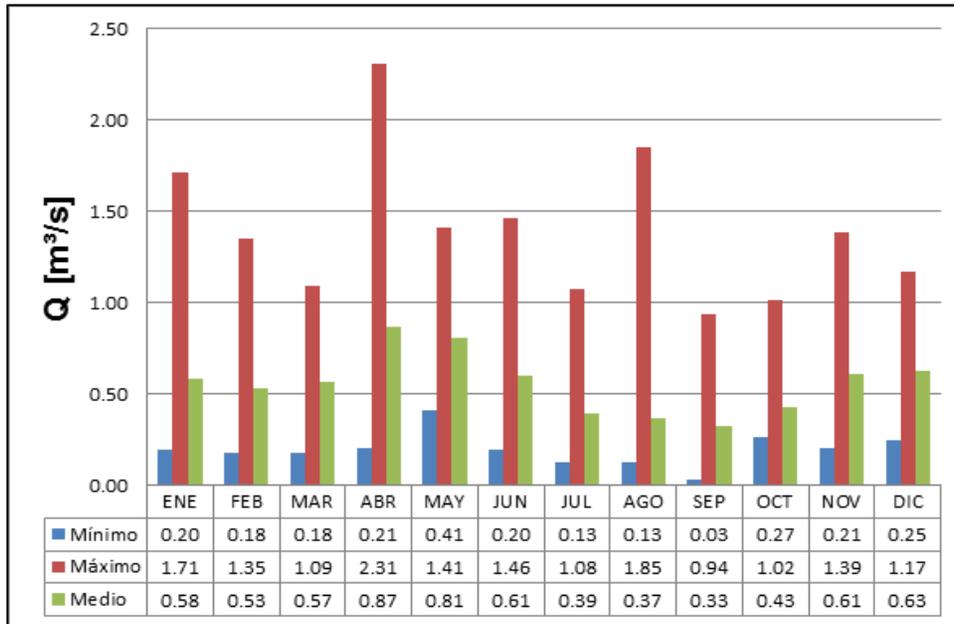


Fuente: Consultoría Colombiana S.A. 2018 (Datos IDEAM, 2017).

**Estación Lili-Pasoancho**

El río Lili en el punto de cierre de la estación Pasoancho, localizada en el municipio de Cali en el departamento del Valle del Cauca, reporta un caudal medio de 0,56 m<sup>3</sup>/s, un caudal máximo de 1,40 m<sup>3</sup>/s y un caudal mínimo de 0,2 m<sup>3</sup>/s. Esta estación presenta registros desde enero de 1995 hasta diciembre de 2016.

**Figura 3-11 Caudales mensuales multianuales estación Lili-Pasoancho**

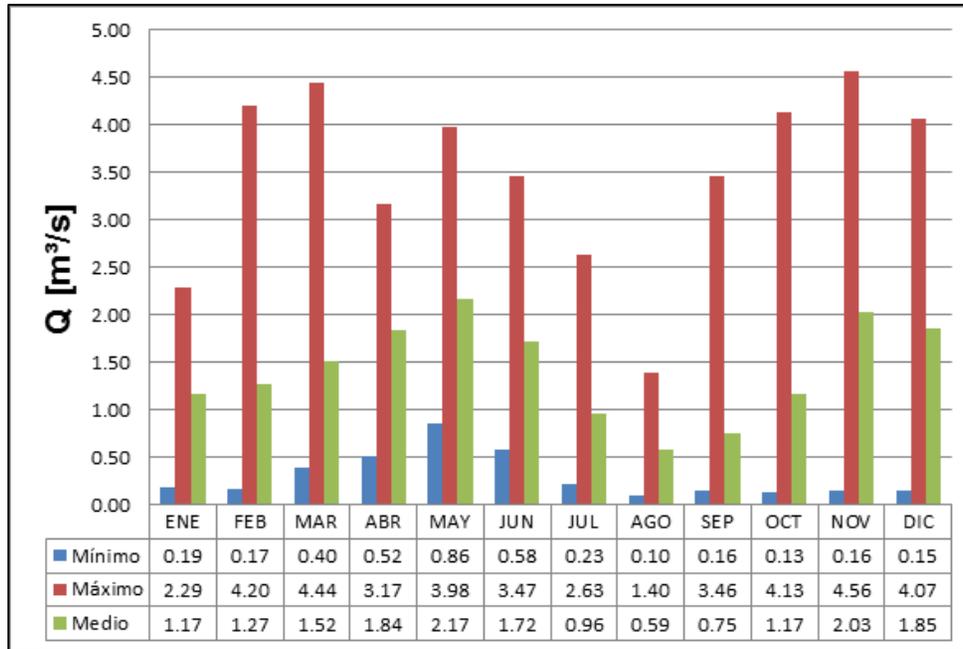


Fuente: Consultoría Colombiana S.A. 2018 (Datos IDEAM, 2017).

### Estación Meléndez – Calle Quinta

El río Meléndez en el punto de cierre de la estación Calle quinta, localizada en el municipio de Cali en el departamento del Valle del Cauca, reporta un caudal medio de 1,42 m<sup>3</sup>/s, un caudal máximo de 3,48 m<sup>3</sup>/s y un caudal mínimo de 0,30 m<sup>3</sup>/s. Esta estación presenta registros desde enero de 1995 hasta diciembre de 2016.

**Figura 3-12 Caudales mensuales multianuales estación Meléndez-Calle Quinta**



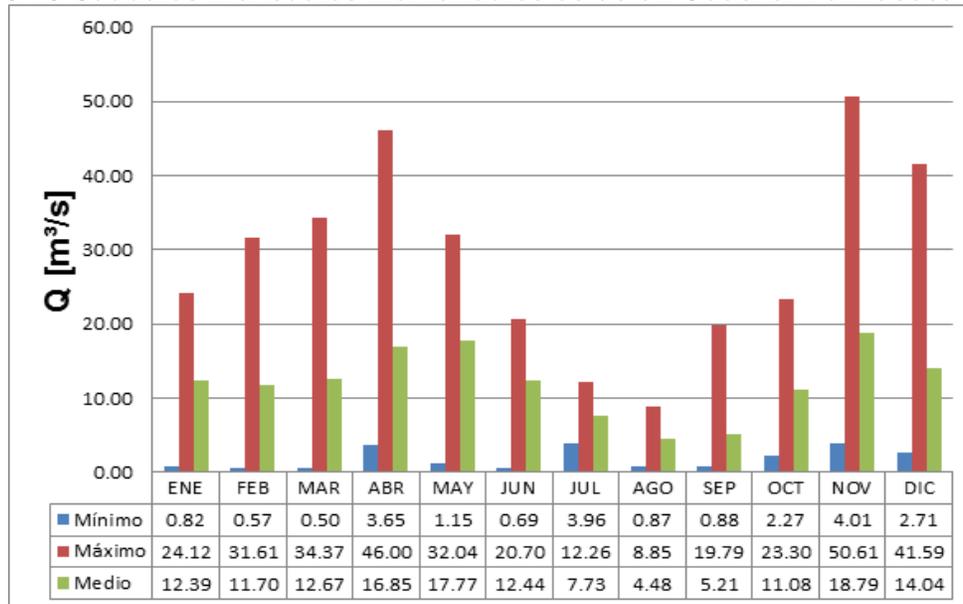
Fuente: Consultoría Colombiana S.A. 2018 (Datos IDEAM, 2017).

### Subzona Hidrográfica río Guachal

#### Estación Guachal-Palmaseca

El río Guachal en el punto de cierre de la estación Palmaseca, localizada en el municipio de Palmira en el departamento del Valle del Cauca, reporta un caudal medio de 12,1 m<sup>3</sup>/s, un caudal máximo de 28,77 m<sup>3</sup>/s y un caudal mínimo de 1,84 m<sup>3</sup>/s. Esta estación presenta registros desde enero de 1978 hasta diciembre de 2011.

**Figura 3-13 Caudales mensuales multianuales estación Guachal-Palmaseca**



Fuente: Consultoría Colombiana S.A. 2018 (Datos IDEAM, 2017).

- **Régimen hidrológico y caudales máximos, medio y mínimos**

### Caudales máximos

Los caudales de un río son completamente aleatorios, dependen de ciertos factores tales como precipitación, geología, vegetación, topografía, temperatura, etc. Sin embargo, los factores que tienen una mayor influencia son las precipitaciones y las condiciones geológicas.

Para los análisis de los caudales máximos en una estación de medida se utilizan las funciones de distribución de probabilidad para establecer un comportamiento matemático de esta variable, estos análisis sirven para determinar la magnitud de los caudales en una frecuencia de tiempo determinada, estos resultados son los que se usan para el diseño de las obras hidráulicas que se ven afectadas por procesos hidrológicos.

Para determinar los caudales máximos de las corrientes se analizan estadísticamente los registros en donde se cuente con información de estaciones hidrométricas que suministren una serie de datos que permitan establecer con qué frecuencia podrían tomar un valor determinado y luego evaluar las probabilidades teóricas. Las bases matemáticas que se presentan a continuación son las establecidas en el libro de Hidrología Aplicada de Ven Te Chow.

Los registros pueden ser clasificados en orden descendente y a cada uno se le puede atribuir un número de orden. La frecuencia con que sea igualado o superado un evento de orden  $i$  es:

Frecuencia (Utilizando el Método de California):  $F(x \geq x_i) = i/n$

Siendo  $n$  el número total de datos de la muestra.

A cada uno de los valores de la serie le corresponde un periodo de retorno  $T$  asociado, dependiendo de la posición  $m$  que dicho valor ocupe dentro de la serie de  $n$  datos. De esta forma existen varias expresiones para determinar  $T$ . Las más conocidas son la de California y Weibull:

$$California \left\{ \begin{array}{l} p = \frac{m}{n} \\ T = \frac{n}{m} \end{array} \right.$$

$$Weibull \left\{ \begin{array}{l} p = \frac{m}{n+1} \\ T = \frac{n+1}{m} \end{array} \right.$$

Con la frecuencia calculada, se tiene una muy buena aproximación de la probabilidad teórica de la igualación o excedencia de un caudal determinado. Ahora, se define un tiempo de recurrencia o periodo de retorno  $T$  como el periodo de tiempo promedio en que un determinado evento es igualado o superado por lo menos una vez. Este periodo se define en años.

$$T = 1 / F(x \geq x_i)$$

Para periodos de retorno menores que el número de años de observaciones, el valor encontrado para la Frecuencia puede dar una buena idea del valor real de la Probabilidad Teórica, pero para periodos de retorno mayores, la repartición de frecuencia debe ser ajustada a una distribución probabilística teórica, de tal forma que se pueda hacer un cálculo más correcto de las probabilidades.

Las distribuciones probabilísticas que se utilizarán para ajustar los datos son las siguientes:

- Distribución Normal o Gauss
- Distribución Log Normal
- Distribución Gumbel o de Valores Extremos
- Distribución Pearson
- Distribución Log Pearson

### **Río Cauca – estación Cauca-Juanchito**

El análisis de frecuencia para los registros máximos anuales de caudal reportados durante todo el período de registro de la estación Juanchito en el río Cauca, se reporta en la Tabla 3-15. En la Figura 3-14, se presenta el ajuste de las diferentes funciones de distribución y en la Figura 3-15, se presenta el histograma de frecuencias con las funciones de densidad

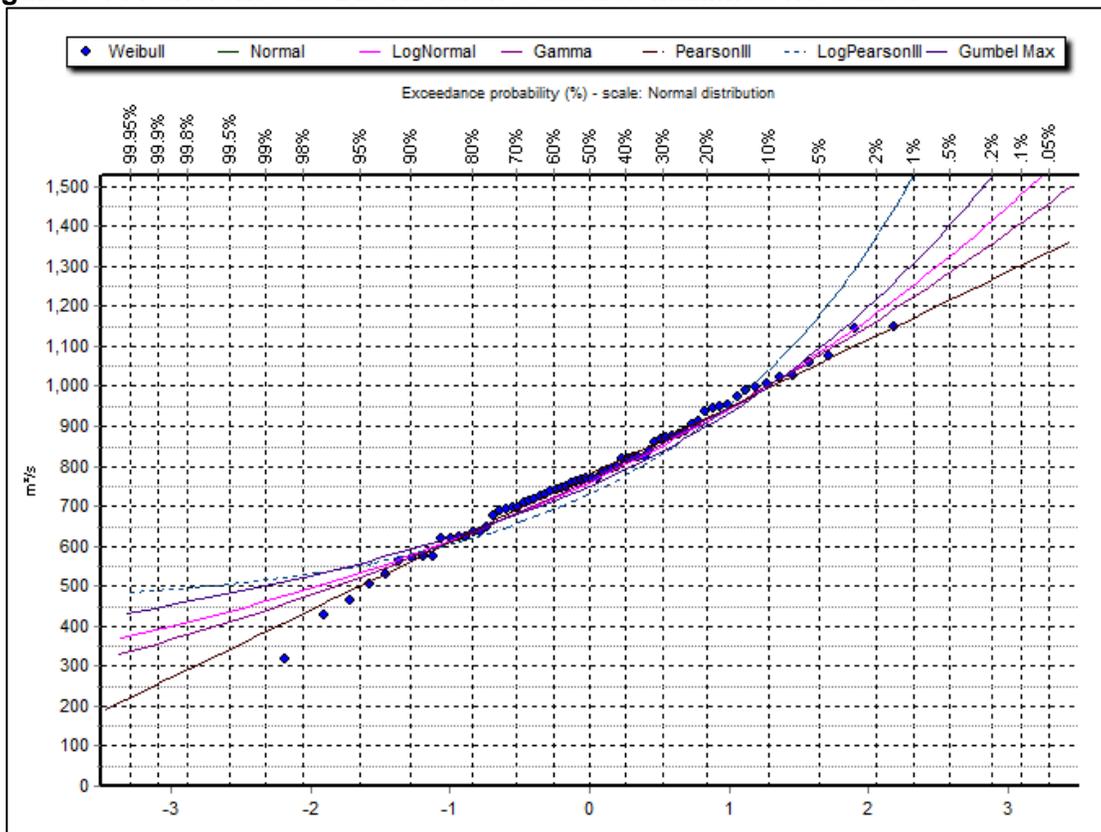
de probabilidad, para verificar gráficamente cuál de las distribuciones es la que más se ajusta a los datos.

**Tabla 3-15 Frecuencia de Caudales Máximos río Cauca, estación Juanchito**

Periodo Retorno (años)	Valor esperado para cada distribución para cada Tr					
	GUMBEL	NORMAL	PEARSON	LOG PEARSON	LOGNORMAL	GAMMA
	m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /s
2	750,34	778,15	778,15	731,60	760,37	765.92
5	899,99	920,62	920,62	908,57	911,21	915.88
10	999,07	995,09	995,09	1.040,23	1.001,62	1001.44
20	1.094,11	1.056,59	1.056,59	1.177,24	1.083,00	1075.90
50	1.217,13	1.125,80	1.125,80	1.371,36	1.182,53	1163.90
100	1.309,32	1.171,94	1.171,94	1.530,50	1.253,92	1225.06
<b>Prueba CHI cuadrado</b>	3,29	3,06	3,06	10,58	2,35	0.94

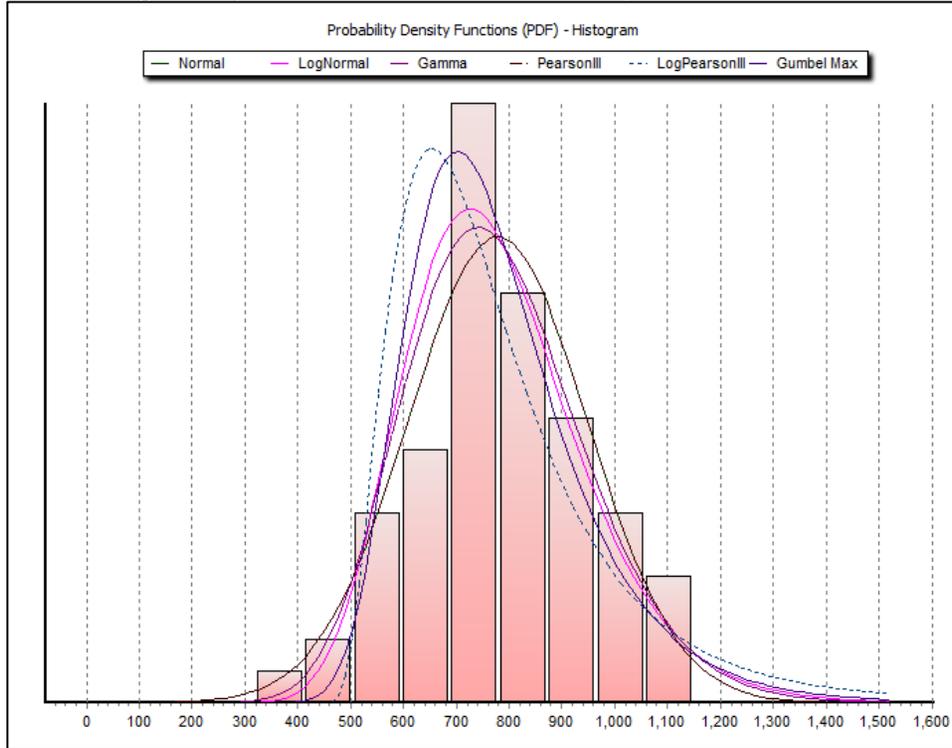
Fuente: Consultoría Colombiana S.A. 2018

**Figura 3-14 Funciones de Distribución Caudales Máximos río Cauca**



Fuente: Consultoría Colombiana S.A. 2018

**Figura 3-15 Histograma y funciones de densidad de probabilidad río Cauca**



Fuente: Consultoría Colombiana S.A. 2018

Los análisis de probabilidad de ocurrencia de eventos máximos de caudal para la estación Cauca-Juanchito en el río Cauca, indican que la función de distribución de probabilidad que mejor se ajusta es la Gamma, la cual indica que el periodo de retorno asociado a la ocurrencia de un caudal de 1.001 m³/s es de diez años, para un caudal de 1.182 m³/s es de 50 años y para un caudal de 1.253 m³/s es de 100 años.

**Río Cañaveralejo – estación Cañaveralejo-El Jardín**

El análisis de frecuencia para los registros máximos anuales de caudal reportados durante todo el período de registro de la estación Cañaveralejo-El Jardín en el río Cañaveralejo, se reporta en la Tabla 3-16. En la Figura 3-16 se presenta el ajuste de las diferentes funciones de distribución y en la Figura 3-17 se presenta el histograma de frecuencias con las funciones de densidad de probabilidad, para verificar gráficamente cuál de las distribuciones es la que más se ajusta a los datos.

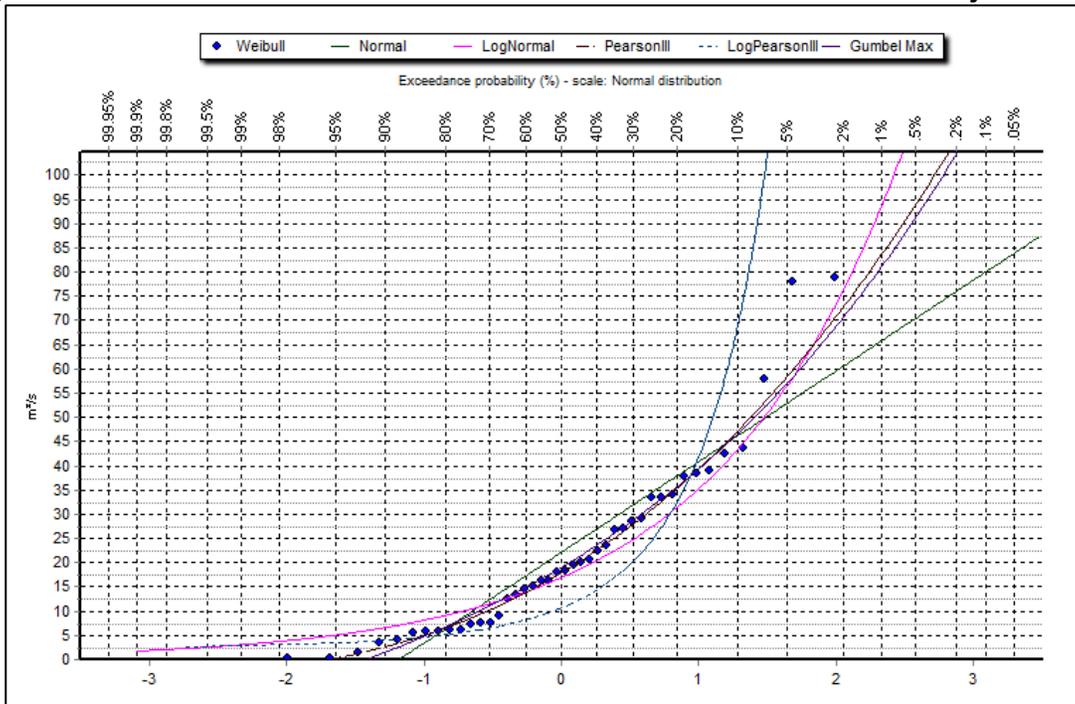
**Tabla 3-16 Frecuencia de Caudales Máximos río Cañaveralejo, estación Cañaveralejo-El Jardín**

Periodo Retorno (años)	Valor esperado para cada distribución para cada Tr				
	GUMBEL	NORMAL	PEARSON	LOG PEARSON	LOGNORMAL
	m³/s	m³/s	m³/s	m³/s	m³/s
2	19,06	22,15	17,92	10,66	16,90
5	35,63	37,91	35,35	32,46	31,37

Periodo Retorno	Valor esperado para cada distribución para cada Tr				
	GUMBEL	NORMAL	PEARSON	LOG PEARSON	LOGNORMAL
10	46,60	46,16	41,19	68,79	43,35
20	57,12	52,96	58,46	140,44	56,61
50	70,73	60,62	72,85	348,2	76,46
100	80,94	65,73	83,45	679,45	93,41
<b>Prueba CHI cuadrado</b>	1,71	6,28	2,0	17,4	10,86

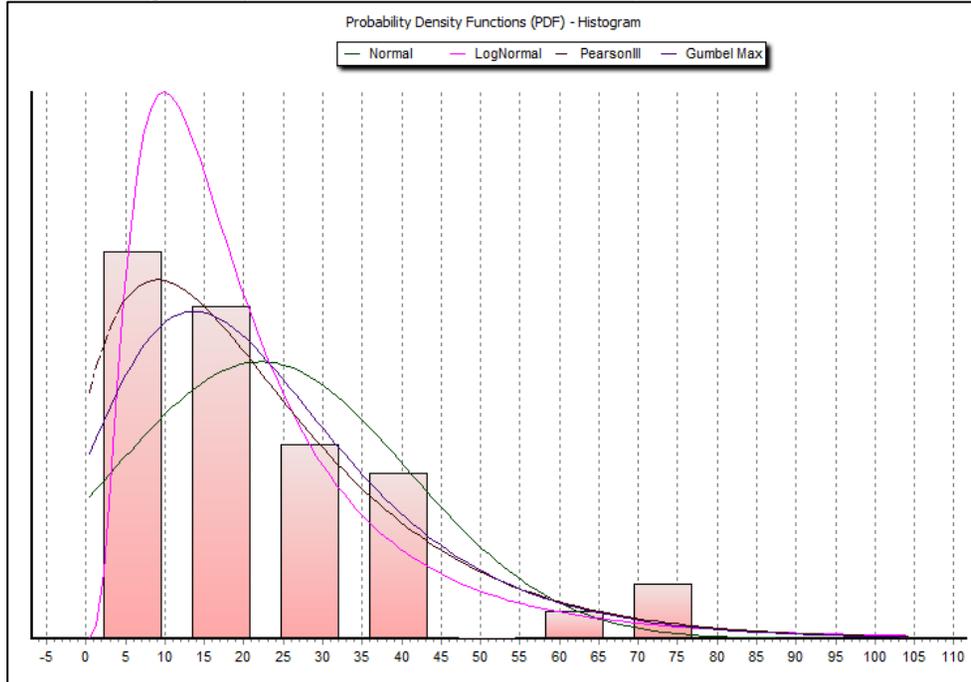
Fuente: Consultoría Colombiana S.A. 2018

Figura 3-16 Funciones de Distribución Caudales Máximos río Cañaveralejo



Fuente: Consultoría Colombiana S.A. 2018

Figura 3-17 Histograma y funciones de densidad de probabilidad río Cañaveralejo



Fuente: Consultoría Colombiana S.A. 2018

Los análisis de probabilidad de ocurrencia de eventos máximos de caudal para la estación Cañaveralejo-El Jardín en el río Cañaveralejo, indican que la función de distribución de probabilidad que mejor se ajusta es la Gumbel, la cual indica que el periodo de retorno asociado a la ocurrencia de un caudal de 46,6 m<sup>3</sup>/s es de diez años, para un caudal de 70,7 m<sup>3</sup>/s es de 50 años y para un caudal de 80,9 m<sup>3</sup>/s es de 100 años.

**Río Lili – estación Lili-Pasoancho**

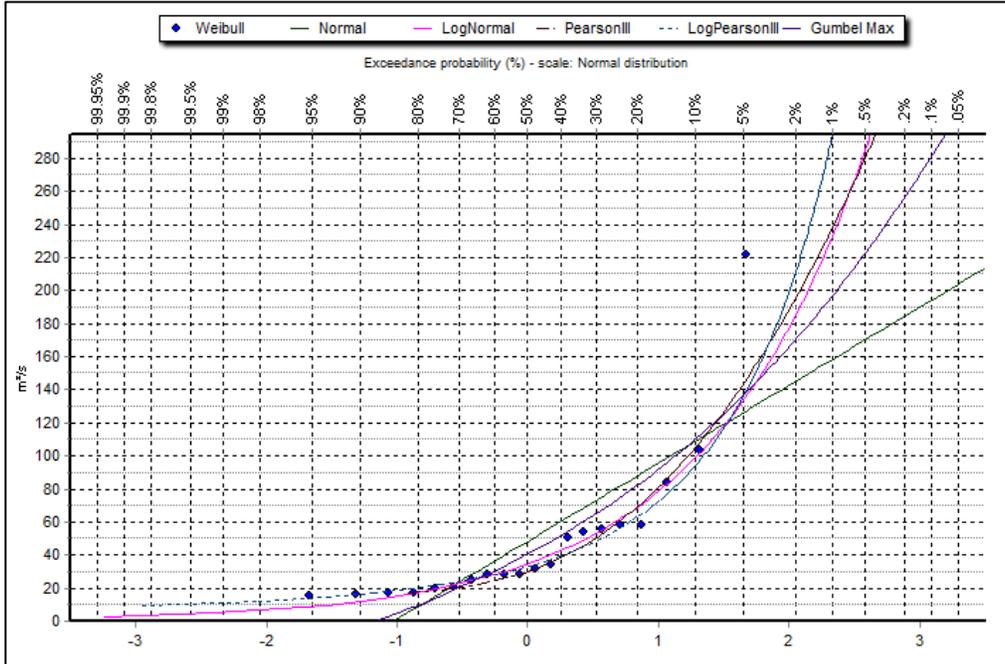
El análisis de frecuencia para los registros máximos anuales de caudal reportados durante todo el período de registro de la estación Lili-Pasoancho en el río Lili, se reporta en la Tabla 3-17. En la Figura 3-18 se presenta el ajuste de las diferentes funciones de distribución y en la Figura 3-19 se presenta el histograma de frecuencias con las funciones de densidad de probabilidad, para verificar gráficamente cuál de las distribuciones es la que más se ajusta a los datos.

Tabla 3-17 Frecuencia de Caudales Máximos río Lili, estación Lili-Pasoancho

Periodo Retorno (años)	Valor esperado para cada distribución para cada Tr				
	GUMBEL m <sup>3</sup> /s	NORMAL m <sup>3</sup> /s	PEARSON m <sup>3</sup> /s	LOG PEARSON m <sup>3</sup> /s	LOGNORMAL m <sup>3</sup> /s
2	40,70	48,44	30,11	33,10	34,70
5	82,42	88,17	69,43	63,10	69,01
10	110,04	108,93	105,03	94,16	98,86
20	136,54	126,08	143,21	135,60	133,02
50	170,85	145,38	196,14	212,35	185,78
100	196,55	158,25	237,42	292,98	232,12
<b>Prueba CHI cuadrado</b>	13,5	23,5	2,5	2,0	0,5

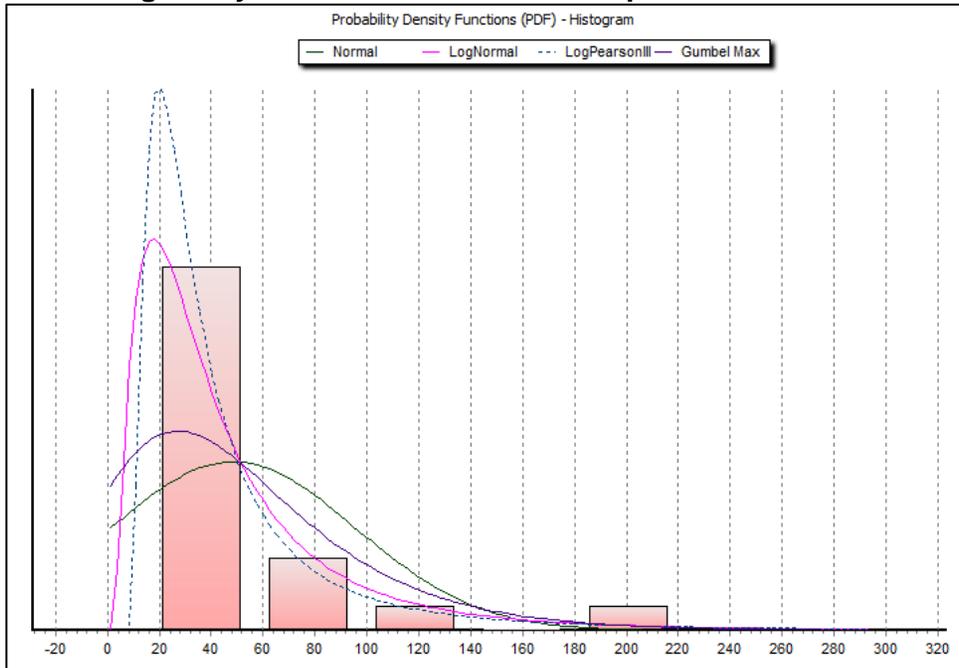
Fuente: Consultoría Colombiana S.A. 2018

Figura 3-18 Funciones de Distribución Caudales Máximos río Lili



Fuente: Consultoría Colombiana S.A. 2018

Figura 3-19 Histograma y funciones de densidad de probabilidad río Lili



Fuente: Consultoría Colombiana S.A. 2018

Los análisis de probabilidad de ocurrencia de eventos máximos de caudal para la estación Pasoancho en el río Lili, indican que la función de distribución de probabilidad que mejor se ajusta es la Log-Normal, la cual indica que el periodo de retorno asociado a la ocurrencia

de un caudal de 98,86 m<sup>3</sup>/s es de diez años, para un caudal de 185,78 m<sup>3</sup>/s es de 50 años y para un caudal de 232,12 m<sup>3</sup>/s es de 100 años.

### Río Meléndez – estación Meléndez-Calle Quinta

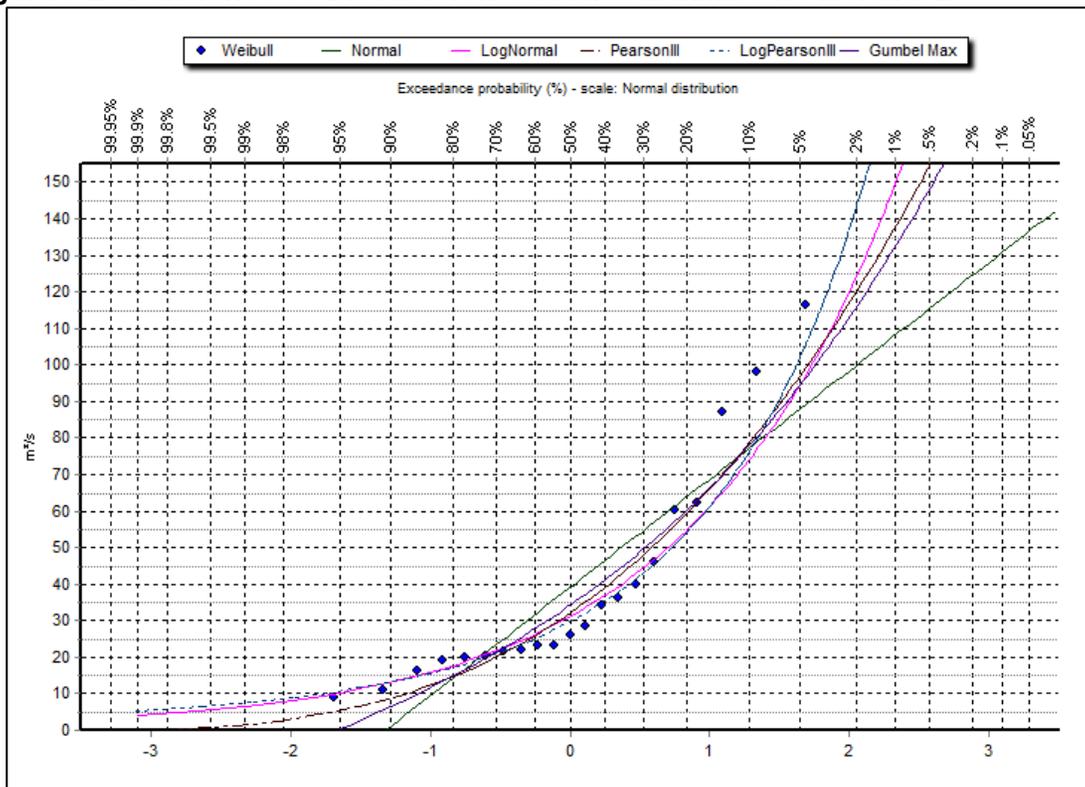
El análisis de frecuencia para los registros máximos anuales de caudal reportados durante todo el período de registro de la estación Calle Quinta en el río Meléndez, se reporta en la Tabla 3-18. En la Figura 3-20 se presenta el ajuste de las diferentes funciones de distribución y en la Figura 3-21 se presenta el histograma de frecuencias con las funciones de densidad de probabilidad, para verificar gráficamente cuál de las distribuciones es la que más se ajusta a los datos.

**Tabla 3-18 Frecuencia de Caudales Máximos río Meléndez, estación Calle Quinta**

Periodo Retorno (años)	Valor esperado para cada distribución para cada Tr				
	GUMBEL m <sup>3</sup> /s	NORMAL m <sup>3</sup> /s	PEARSON m <sup>3</sup> /s	LOG PEARSON m <sup>3</sup> /s	LOGNORMAL m <sup>3</sup> /s
2	34,22	39,09	32,05	29,74	31,15
5	60,43	64,05	59,64	54,32	54,93
10	77,79	77,09	78,65	76,17	73,89
20	94,44	87,87	96,88	101,96	94,40
50	115,99	99,99	120,244	143,49	124,36
100	132,14	108,07	137,54	181,66	149,45
<b>Prueba CHI cuadrado</b>	7,81	10,67	5,90	3,04	5,43

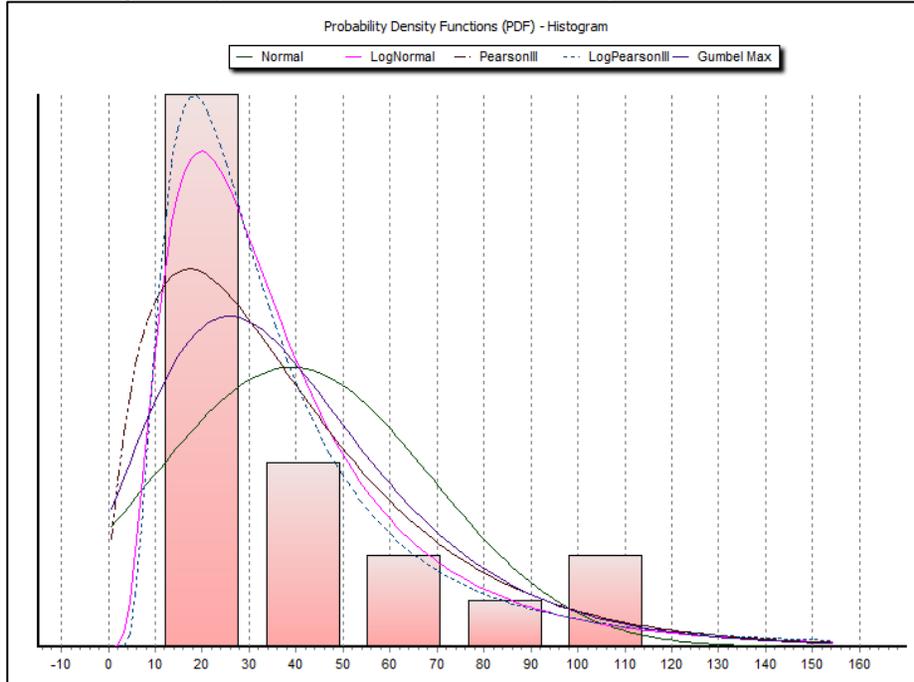
Fuente: Consultoría Colombiana S.A. 2018

**Figura 3-20 Funciones de Distribución Caudales Máximos río Meléndez**



Fuente: Consultoría Colombiana S.A. 2018

Figura 3-21 Histograma y funciones de densidad de probabilidad río Meléndez



Fuente: Consultoría Colombiana S.A. 2018

Los análisis de probabilidad de ocurrencia de eventos máximos de caudal para la estación Calle Quinta en el río Meléndez, indican que la función de distribución de probabilidad que mejor se ajusta es la Log-Pearson, la cual indica que el periodo de retorno asociado a la ocurrencia de un caudal de 76,17 m<sup>3</sup>/s es de diez años, para un caudal de 143,49 m<sup>3</sup>/s es de 50 años y para un caudal de 181,66 m<sup>3</sup>/s es de 100 años.

**Río Guachal – estación Guachal-Palmaseca**

El análisis de frecuencia para los registros máximos anuales de caudal reportados durante todo el período de registro de la estación Guachal-Palmaseca en el río Guachal, se reporta en la Tabla 3-19. En la Figura 3-22 se presenta el ajuste de las diferentes funciones de distribución y en la Figura 3-23 se presenta el histograma de frecuencias con las funciones de densidad de probabilidad, para verificar gráficamente cuál de las distribuciones es la que más se ajusta a los datos.

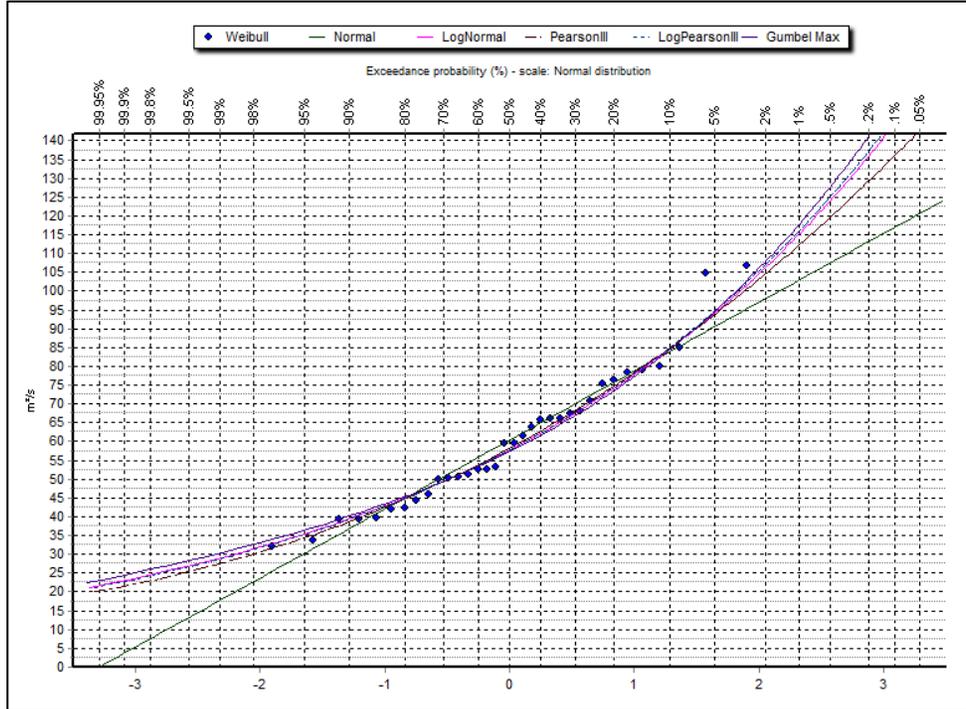
Tabla 3-19 Frecuencia de Caudales Máximos río Guachal, estación Guachal-Palmaseca

Periodo Retorno (años)	Valor esperado para cada distribución para cada Tr				
	GUMBEL m <sup>3</sup> /s	NORMAL m <sup>3</sup> /s	PEARSON m <sup>3</sup> /s	LOG PEARSON m <sup>3</sup> /s	LOGNORMAL m <sup>3</sup> /s
2	57.36	60.37	58.19	57.80	57.77
5	73.56	75.79	74.82	74.40	74.17
10	84.29	83.86	84.81	84.90	84.52
20	94.58	90.51	93.77	94.67	94.14

Periodo Retorno	Valor esperado para cada distribución para cada Tr				
	GUMBEL	NORMAL	PEARSON	LOG PEARSON	LOGNORMAL
50	107.89	98.00	104.64	107.03	106.29
100	117.87	103.00	112.36	116.16	115.25
<b>Prueba CHI cuadrado</b>	2.0	2.70	1.29	1.29	2.35

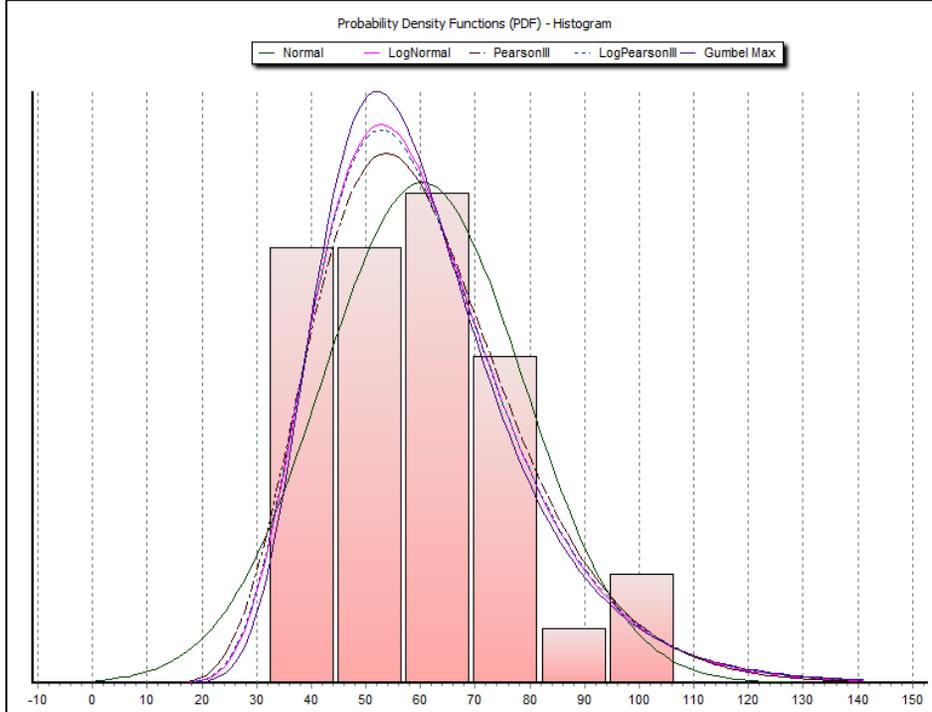
Fuente: Consultoría Colombiana S.A. 2018

**Figura 3-22 Funciones de Distribución Caudales Máximos río Guachal**



Fuente: Consultoría Colombiana S.A. 2018

**Figura 3-23 Histograma y funciones de densidad de probabilidad río Guachal**



Fuente: Consultoría Colombiana S.A. 2018

Los análisis de probabilidad de ocurrencia de eventos máximos de caudal para la estación Palmaseca en el río Guachal, indican que la función de distribución de probabilidad que mejor se ajusta es la Log-Pearson, la cual indica que el periodo de retorno asociado a la ocurrencia de un caudal de 84,90 m<sup>3</sup>/s es de diez años, para un caudal de 107,03 m<sup>3</sup>/s es de 50 años y para un caudal de 116,16 m<sup>3</sup>/s es de 100 años.

- **Usos y usuarios a nivel regional**

El agua para consumo humano se refiere al agua que es utilizada en actividades tales como bebida directa y preparación de alimentos para consumo inmediato; para satisfacción de necesidades domésticas, individuales o colectivas, tales como higiene personal y limpieza de elementos, materiales o utensilios; y para preparación de alimentos en general, y en especial, los destinados a su comercialización o distribución, que no requieran elaboración (Decreto 1076 de 2015).

Con respecto al uso agrícola, de acuerdo con lo identificado se encuentra que dentro de las actividades con mayor demanda de agua y que generan más contaminación, están los cultivos de caña de azúcar, sorgo, soya, arroz y café. Cabe resaltar que el aumento de los cultivos de caña de azúcar ha generado una problemática ambiental ya que el agua que se utiliza para el riego proviene de aguas superficiales y subterráneas. Estas aguas se captan de ríos (el principal cauce es el río Cauca) y quebradas, cuyo caudal base disminuye de forma significativa en los períodos secos, lo que ha generado en gran medida la necesidad de recurrir a fuentes permanentes como las aguas subterráneas", generando conflictos entre los pobladores aledaños que se abastecen de la misma.

En el caso de la industria se destacan la producción de azúcar, mieles, etanol, papel, alimentos y licores. Una parte importante de las empresas usan fuentes subterráneas de agua para llevar a cabo sus procesos productivos, en parte como respuesta a la contaminación de las fuentes superficiales de agua. En el capítulo 3.2.6 Usos del Agua se presenta de manera detallada la información de usos y usuarios en el área de influencia del proyecto.

### 3.2.4.2 Área de influencia Directa

Para los sitios de cruce del conductor sobre los cuerpos de agua se instalarán pódicos que facilitarán su paso a fin de lograr la mínima intervención sobre la vegetación ribereña. En lo que respecta a la red de drenaje, las corrientes interceptadas por el proyecto son las que se muestran en la Tabla 3-20 y en el Mapa Hidrológico (Anexo A1) se muestra la red hídrica (sistemas lénticos y lóxicos de carácter permanente) y las líneas de transmisión asociadas al proyecto Subestación Alférez – San Marcos.

**Tabla 3-20 Cruces de cuerpos lóxicos**

Departamento	Municipio	Corregimiento	Nombre	Este	Norte
VALLE DEL CAUCA	CALI	Navarro	*Rio Cauca	1067526,18	864982,04
VALLE DEL CAUCA	CANDELARIA	San Joaquín	Rio Cauca	1067559,51	864991,36
VALLE DEL CAUCA	PALMIRA	Guanabanal	Río Bolo	1074277,85	877809,58
VALLE DEL CAUCA	PALMIRA	Matapalo	Rio Cauca	1068886,10	888448,56
VALLE DEL CAUCA	PALMIRA	Matapalo	Río Guachal	1069653,58	887968,15
VALLE DEL CAUCA	YUMBO	Mulalo	Rio Cauca	1068859,02	888465,51
VALLE DEL CAUCA	YUMBO	Mulalo	Drenaje Sencillo	1065250,68	890438,67
VALLE DEL CAUCA	YUMBO	Mulalo	Drenaje Sencillo	1065288,39	890550,35
VALLE DEL CAUCA	YUMBO	Mulalo	Drenaje Sencillo	1066172,11	890220,18
VALLE DEL CAUCA	CALI	El Hormiguero	Canal	1065202,25	864034,30
VALLE DEL CAUCA	CALI	Navarro	Canal	1066557,56	864698,04
VALLE DEL CAUCA	CANDELARIA	El Carmelo	Canal	1068876,20	866461,94
VALLE DEL CAUCA	CANDELARIA	El Carmelo	Canal	1069482,63	867154,15
VALLE DEL CAUCA	CANDELARIA	El Carmelo	Canal	1070047,67	867708,78
VALLE DEL CAUCA	CANDELARIA	El Carmelo	Canal	1072129,48	871154,26
VALLE DEL CAUCA	CANDELARIA	El Lauro	Canal	1073057,32	871764,12
VALLE DEL CAUCA	CANDELARIA	El Lauro	Canal	1073454,58	872345,08
VALLE DEL CAUCA	CANDELARIA	El Lauro	Canal	1073574,54	873141,32
VALLE DEL CAUCA	CANDELARIA	El Lauro	Canal	1073680,01	873841,38
VALLE DEL CAUCA	CANDELARIA	San Joaquin	Canal	1067716,80	865035,35
VALLE DEL CAUCA	PALMIRA	Guanabanal	Canal	1073697,90	873960,14
VALLE DEL CAUCA	PALMIRA	Guanabanal	Canal	1073742,22	874254,33
VALLE DEL CAUCA	PALMIRA	Guanabanal	Canal	1073943,14	875587,93

Departamento	Municipio	Corregimiento	Nombre	Este	Norte
VALLE DEL CAUCA	PALMIRA	Guanabanal	Zanjón Varela	1074378,77	878493,12
VALLE DEL CAUCA	PALMIRA	La Herradura	Canal	1074773,80	882046,83
VALLE DEL CAUCA	PALMIRA	La Herradura	Canal	1074907,20	883320,54
VALLE DEL CAUCA	PALMIRA	Matapalo	Canal	1073098,03	885810,12
VALLE DEL CAUCA	PALMIRA	Palmaseca	Canal	1074456,19	879042,74
VALLE DEL CAUCA	YUMBO	Mulalo	Canal	1066606,46	889852,35
VALLE DEL CAUCA	YUMBO	Mulalo	Canal	1067304,75	889402,69
VALLE DEL CAUCA	YUMBO	Mulalo	Canal	1067759,81	889138,48
VALLE DEL CAUCA	YUMBO	Mulalo	Canal	1067987,83	889006,09
VALLE DEL CAUCA	YUMBO	Mulalo	Canal	1068250,22	888846,59

\*El Rio Cauca es el límite de varios corregimientos por eso aparece tantas veces repetido.

Fuente: Consultoría Colombiana S.A. 2018

En el área de influencia directa del proyecto no se registran sistemas lénticos.

- **Amenaza por Avenidas Torrenciales**

Las avenidas torrenciales son crecientes súbitos que por las condiciones geomorfológicas de la cuenca están compuestas por un flujo de agua con alto contenido de materiales de arrastre, con gran potencial destructivo debido a su alta velocidad (MinAmbiente, 2014).

La zona en estudio presenta condiciones particulares que contribuyen a explicar la susceptibilidad al fenómeno de avenidas torrenciales.

La zonificación por avenidas torrenciales se efectuó por medio de un método semi-cuantitativo, siguiendo los procedimientos de zonificación mediante un sistema de evaluación numérica y superponiendo las temáticas relacionadas en dicha evaluación, como es la densidad de drenajes, la precipitación y las pendientes.

El sistema torrencial consiste en tres partes, una que produce, otra que transporta y la tercera donde se depositan detritos. Dicho sistema está íntimamente relacionado con la producción de detritos, las zonas de inicio y transporte, así como a las zonas propensas a procesos de remoción en masa adyacentes a corrientes de agua. La comprensión de esta unidad natural es fundamental para la evaluación de riesgos en cuencas de montaña.

### **Evaluación de la amenaza por avenidas torrenciales**

La evaluación de la amenaza por avenidas torrenciales se llevó a cabo solamente dentro del sistema torrencial, distinguiendo los cursos de aguas principales, secundarios y menores, en los que eventualmente pueden desencadenarse este tipo de procesos o en los que ya ha sucedido. Para el caso se hizo uso de cartografía IGAC a escala 1:25.000.

El cálculo del grado de amenaza se hizo de manera semicuantitativa, por medio de la definición de variables geo-ambientales relacionadas con este tipo de amenaza, y la

ponderación por pesos relativos de cada una de las variables siguiendo procedimientos de zonificación por medio de sistemas de evaluación numérica y superponiendo las temáticas relacionadas en dicha evaluación. A continuación, se presenta el análisis de la amenaza ante avenidas torrenciales en el área de estudio, partiendo de la descripción de las variables tenidas en cuenta, precipitación, densidad de drenajes y pendientes.

### ***Precipitación***

Es un factor de gran importancia para determinar la potencialidad torrencial que presentan los cursos de agua y las cuencas aferentes, ya que constituye un agente activador de fenómenos torrenciales.

El caudal de las crecientes, y su capacidad erosiva, es incrementado por el caudal sólido de los materiales que arrastran, producto de la erosión superficial, del lavado de los deslizamientos someros y de la erosión de orillas en un proceso que da lugar a las avenidas torrenciales. En este aparte se presentan los análisis del régimen de las aguas superficiales en laderas de alta pendiente y el papel que puede desempeñar la lluvia en los procesos torrenciales, apoyados en los conceptos básicos de la morfometría, hidrología y en la información disponible sobre precipitaciones. El ejercicio anterior ofrece una explicación razonable sobre el mecanismo de generación de eventos torrenciales en las cuencas de la zona de estudio.

Puesto que la metodología está orientada a la identificación y zonificación de áreas potencialmente torrenciales y no al diseño de obras de control de crecidas o establecimiento de medidas en vertientes, resultó pertinente evaluar este parámetro a través de la generación del mapa de isoyetas anuales, considerando las estaciones de influencia en el área. Las curvas de isoyetas son líneas que unen puntos de igual profundidad de precipitación, se construyen a partir de los datos de precipitación medida en cada una de las estaciones, realizando una interpolación con métodos geoestadísticos que mejor se ajuste a los datos observados (Ver numeral de clima 3.2.8 Clima).

Las precipitaciones altas aumentan la carga y competencia de los cursos de agua en el arrastre de los materiales presentes en sus cauces.

Se asignaron diferentes categorías de evaluación a los rangos de precipitación media anual, por medio de las unidades de estabilidad relativa, esto permitió homogenizar los diversos parámetros para posteriormente analizarlos; cada categoría está compuesta por un dígito numérico que va del 1 al 5, donde 1 corresponde a la condición más favorable y 5 representa la condición más desfavorable (ver Tabla 3-21).

**Tabla 3-21 Categorías de evaluación para la precipitación total anual el área de influencia del proyecto**

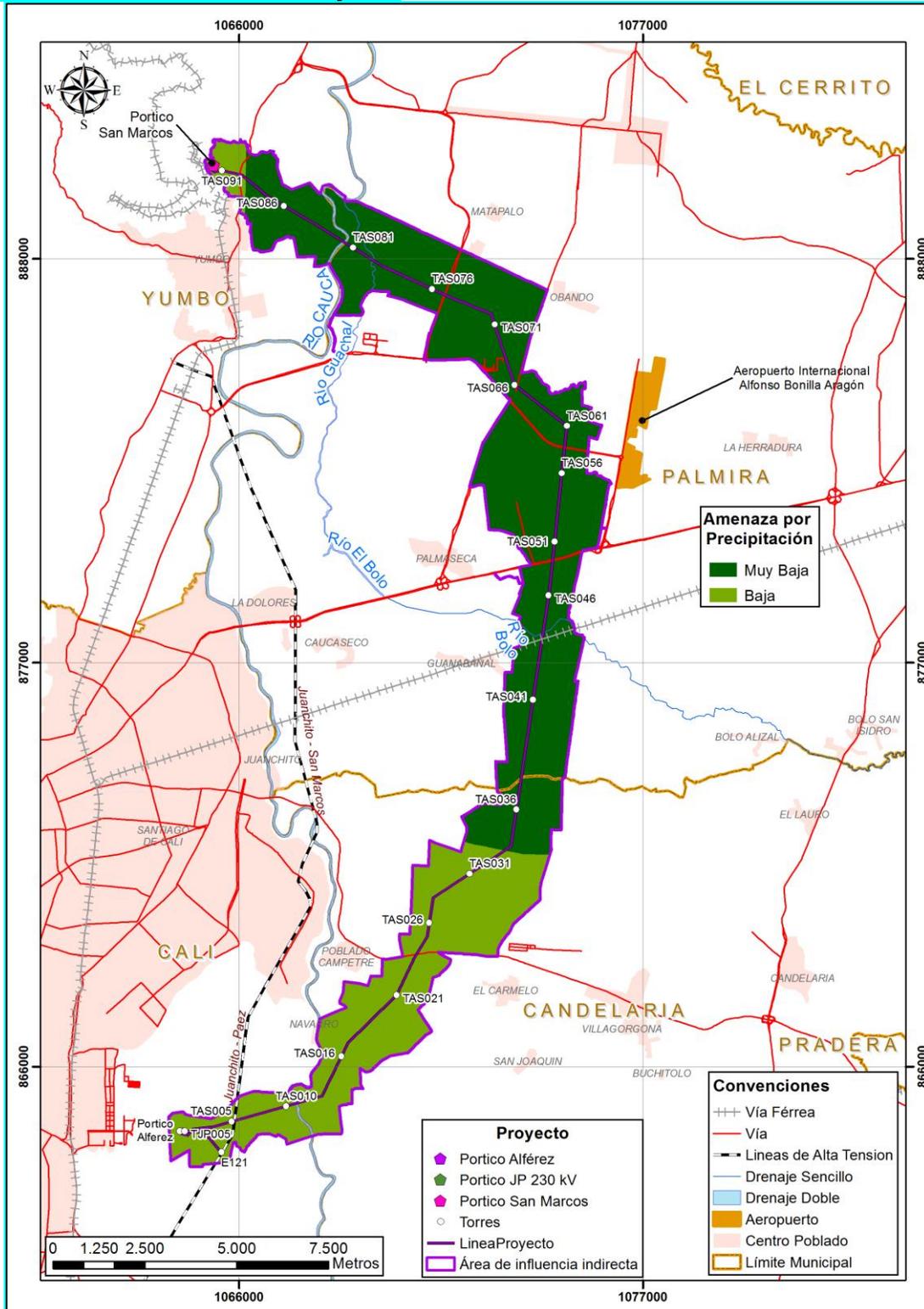
Rango de Precipitación (mm)	Categoría	Valor de reclasificación
<1000	Muy Baja	1
1000–2000	Baja	2
2000–3000	Moderada	3
3000–4000	Alta	4

>4000	Muy Alta	5
-------	----------	---

Fuente: Consultoría Colombiana S.A. 2018

El resultado de este análisis de reclasificación para el parámetro del Precipitación es como se muestra en la [Figura 3-24](#).

**Figura 3-24 Mapa de categorización de la Precipitación como factor de torrencialidad en el área de influencia del Proyecto**



Fuente: Consultoría Colombiana S.A. 2018

### **Red de drenajes**

La densidad de drenaje fue definida por Horton (1.932) como la longitud de los canales (L) por unidad de área (A). Se reconoce que la densidad de drenaje es un valioso indicador de las relaciones entre clima, vegetación y la resistencia del substrato rocoso o edáfico a la erosión.

Este parámetro constituye un elemento indicativo de las causas o agentes que contribuyen a la integración de la red hídrica. Para el asunto en consideración, es necesario tener en cuenta que durante el transcurso o con posterioridad más o menos inmediata a los períodos de precipitaciones, escurre por la superficie de la cuenca una cantidad de agua que, al ir encauzándose en los diferentes tributarios, termina por concentrarse en el colector, configurando así un sistema hidrográfico.

Si la zona posee una cuenca bien desarrollada, la superficie medida de los terrenos a través de los cuales tiene lugar el escurrimiento, es reducida y el río alcanza los cursos con prontitud. También se debe tener en cuenta, que la erosión remontante y, consecuentemente la profundización de los lechos fluviales, están controlados por los siguientes factores:

- ✓ Características litológicas.
- ✓ Características climáticas.
- ✓ Magnitud de la pendiente.

Si se toma una unidad de área, la extensión de los cursos de agua es menor en una zona árida que en una húmeda. Por otra parte, la densidad de drenaje tiende a ser baja, cuando los materiales son muy permeables (arenas y gravas), debido a que la infiltración es alta quedando poca disponibilidad de agua, que pueda alimentar a los cauces en superficie. Esta situación se ve favorecida cuando se trata de una topografía llana, bajo clima árido. En regiones húmedas, con pendientes marcadas y rocas impermeables, la densidad de drenaje tiende a ser máxima.

En síntesis, climas húmedos tienden a densidades de drenaje más bajas que en regiones áridas de litologías comparables, como resultado de la protección de la cobertura vegetal. Por otra parte, áreas de bajo relieve y buena infiltración muestran generalmente una densidad de drenaje más baja que zonas con mayores relieves o baja permeabilidad. Se puede admitir en consecuencia, que para una cuenca dada existe cierta armonía o concordancia entre el coeficiente de escurrimiento y la densidad de drenaje de la misma.

Para el presente análisis se asignaron valores entre 1 y 5 a cada uno de los índices de Densidad de Drenaje (Dd) calculados para la morfometría de las cuencas (Tabla 3-22). Se definieron cinco (5) clases morfométricas basadas en la posible respuesta de los torrentes ante un evento de precipitación por la influencia que tiene la densidad de drenaje en la respuesta de los cauces para generar escorrentía superficial, desde muy lenta hasta muy rápida y violenta, para generar crecidas torrenciales.

El resultado de esta operación permite clasificar cada punto del mapa dentro de cinco categorías que se describen en la Tabla 3-22.

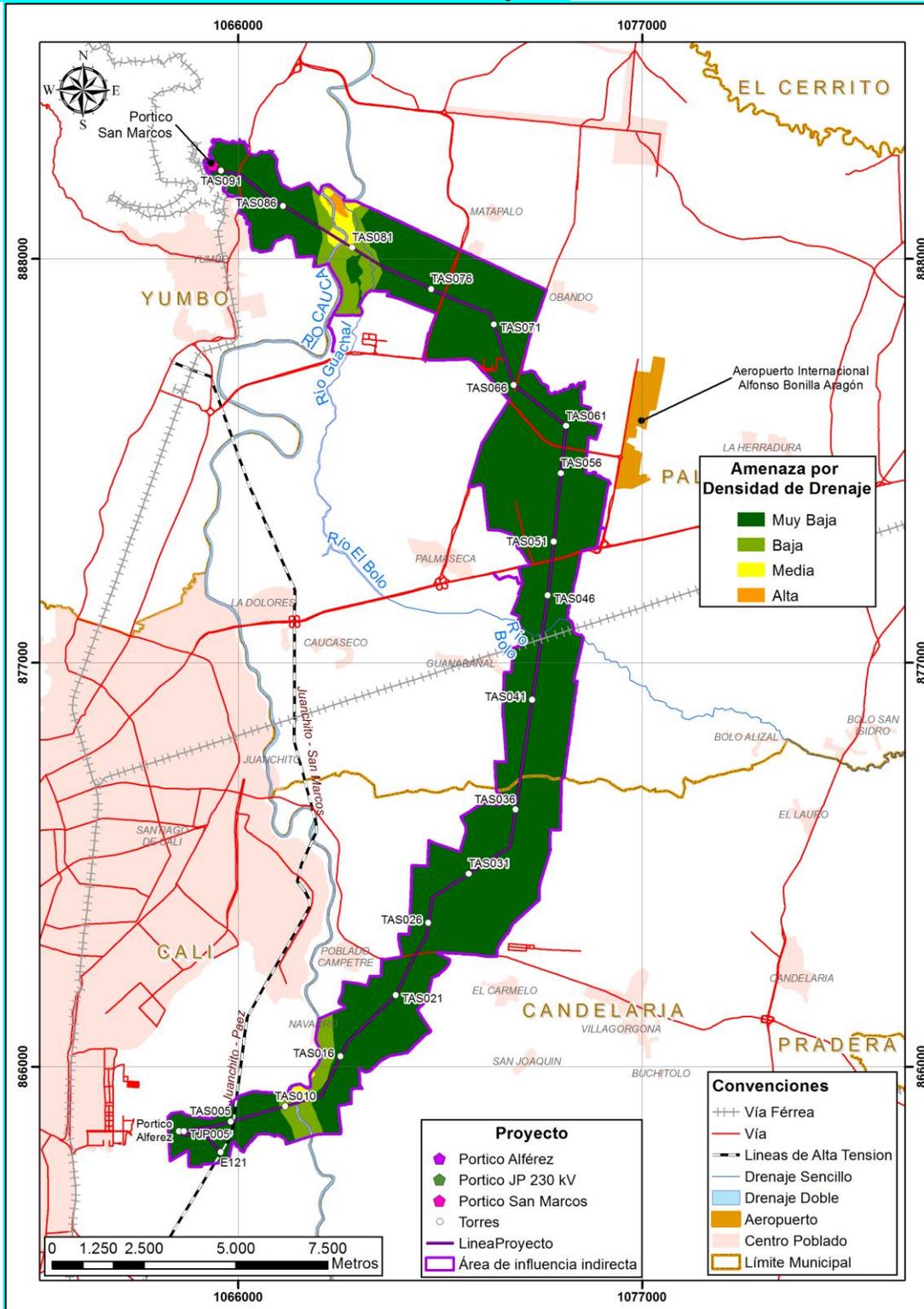
**Tabla 3-22 Categorías de evaluación para la Densidad de drenaje en el área de influencia del Proyecto**

Rangos Densidad de drenajes (Km/Km <sup>2</sup> )	Valoración	Valoración
<1,8	1	Muy Baja
1,8–3,7	2	Baja
3,7–5,6	3	Moderada
5,6–7,4	4	Alta
>7,4	5	Muy Alta

Fuente: Consultoría Colombiana S.A. 2018

El resultado de este análisis de reclasificación para el parámetro de Densidad de drenaje (km/km<sup>2</sup>) es como se muestra en la [Figura 3-25](#).

**Figura 3-25 Mapa de categorización de la Densidad de Drenajes (Dd) como factor de torrencialidad en el área de influencia del Proyecto**



Fuente: Consultoría Colombiana S.A. 2018

### ***Pendiente del terreno***

Las avenidas torrenciales se originan comúnmente en ríos de montaña o en ríos cuyas cuencas presentan fuertes vertientes por efecto de fenómenos hidrometeorológicos intensos, cuando en un evento de lluvias se superan los valores de precipitación pico en pocas horas. Esto genera la saturación de los materiales de las laderas facilitando el desprendimiento del suelo, produciéndose de esta manera numerosos desgarres superficiales y deslizamientos, cuyo material cae al cauce y es transportado inmediatamente aguas abajo o queda inicialmente represado y luego, una vez se rompe el represamiento, es transportado violentamente de forma repentina (CORNARE, Gobernación de Antioquia, 2012).

La pendiente del terreno es parámetro es muy relevante a la hora de establecer susceptibilidad de ocurrencia de avenidas torrenciales, debido a que la inclinación del terreno tiene gran acercamiento con la susceptibilidad a movimiento de remoción en masa y a procesos de incisión y socavación del cauce.

Se asignaron valores entre 1 y 5 a cada rango de pendientes calculadas, por medio del mapa de pendientes. Dicho mapa se obtiene a partir del modelo digital de elevación del terreno, que cuenta con una resolución de 12.5 x 12.5 metros. El resultado de esta operación permite clasificar cada punto del mapa dentro de cinco categorías que se describen en la Tabla 3-23.

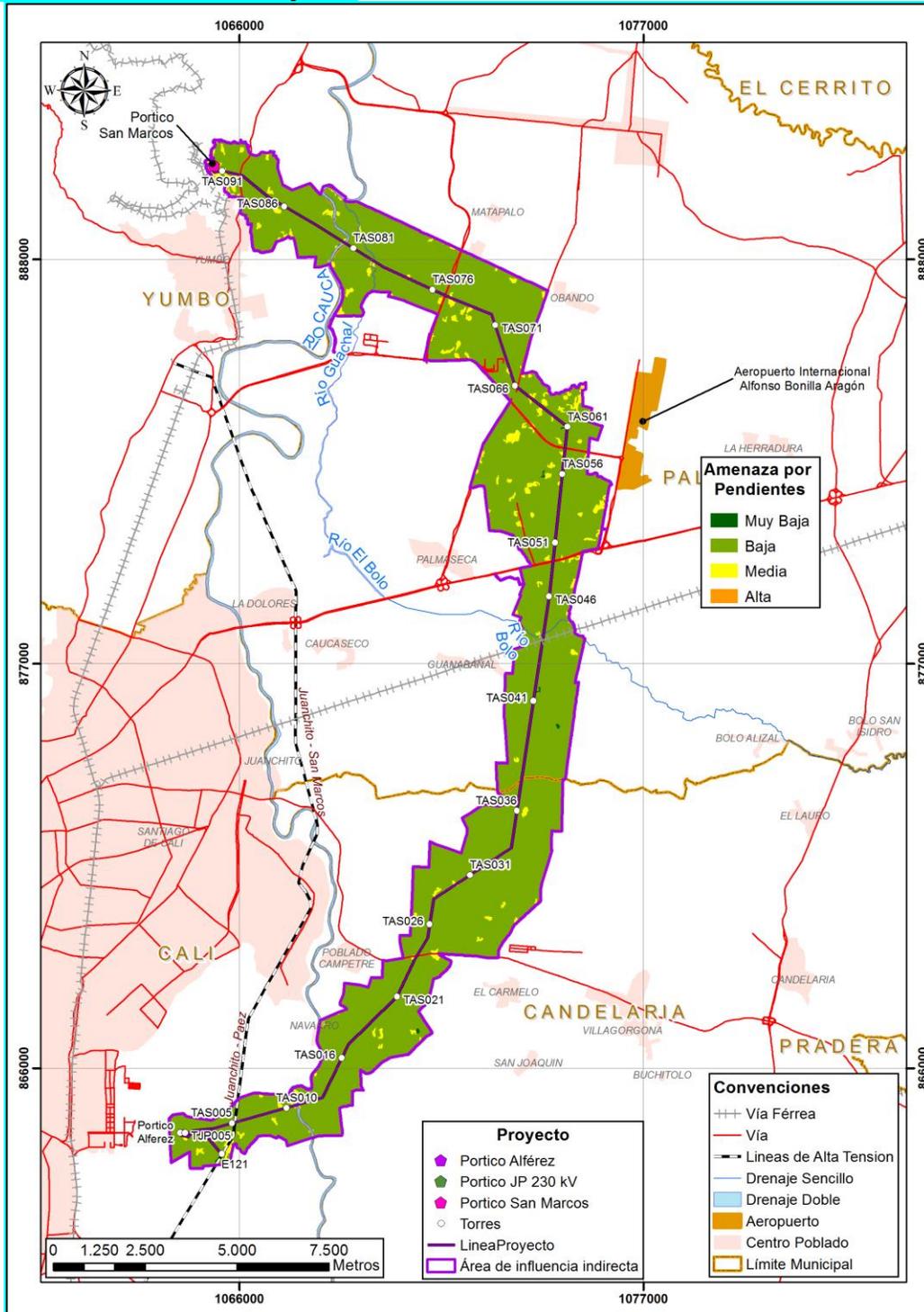
**Tabla 3-23 Categorías de evaluación para la Pendiente en el área de influencia del Proyecto**

Rangos Densidad de pendiente (%)	Valoración	Valoración
<3%	1	Muy Baja
3%-12%	2	Baja
12%-50%	3	Moderada
50%-75%	4	Alta
>75%	5	Muy Alta

Fuente: Consultoría Colombiana S.A. 2018

El resultado de este análisis de reclasificación para el parámetro de pendientes es como se muestra en la **Figura 3-26**.

**Figura 3-26 Mapa de categorización de Pendientes como factor de torrencialidad en el área de influencia del Proyecto**



Fuente: Consultoría Colombiana S.A. 2018

### **Categorización de la amenaza por avenidas torrenciales**

En numerosas investigaciones sobre la identificación de áreas susceptibles a flujos de detritos, en las cuales se han utilizado metodologías cuantitativas a partir de análisis morfométricos y de relieve, se han encontrado fuertes correlaciones entre parámetros como la pendiente y la densidad de drenajes, con la ocurrencia de flujo de detritos (Chen & Yu, 2011) (Crosta & Frattini, 2004) (De Scally & Owens, 2010) (Rowbotham, De Scally, & Louis, 2005) (Santangelo & Di Crescenzo, 2012). La evaluación de la amenaza por avenidas torrenciales se define en el presente análisis de la siguiente manera:

$$\text{Amenaza Torrencial (AT)} = 0,4xP + 0,4xS_0 + 0,2xDd$$

Dónde:

AT=Amenaza por avenidas torrenciales.

P=Nivel de amenaza según la Precipitación media total anual del AII.

S<sub>0</sub>= Nivel de amenaza según la Pendiente del terreno del AII.

Dd=Nivel de amenaza según la Densidad de Drenaje del AII.

Se asignaron diferentes categorías de evaluación a los rangos de precipitación media anual, las clases morfométricas medidas como Densidad de drenaje y la pendiente del terreno, esto permitió homogenizar los diversos parámetros para posteriormente analizarlos; cada categoría está compuesta por un dígito numérico que va del 1 al 5, donde 1 corresponde a la condición más favorable y 5 representa la condición más desfavorable.

Con la ponderación de estos parámetros en la Tabla 3-24, se presentan los intervalos para la categorización y grado de amenaza por avenidas torrenciales.

**Tabla 3-24 Intervalos y categorías de la amenaza por avenidas torrenciales**

Rango de Valoración de la variable AT	Categoría
1–2	Muy Baja
2–3	Baja
3–4	Moderada
4–4,5	Alta
4,5–5	Muy Alta

Fuente: Consultoría Colombiana S.A., 2018

El significado de cada uno de estos rangos a raíz de los eventos de torrencialidad se indica en la Tabla 3-25.

**Tabla 3-25 Tipos de amenaza por avenidas torrenciales en las cuencas del área de influencia del Proyecto**

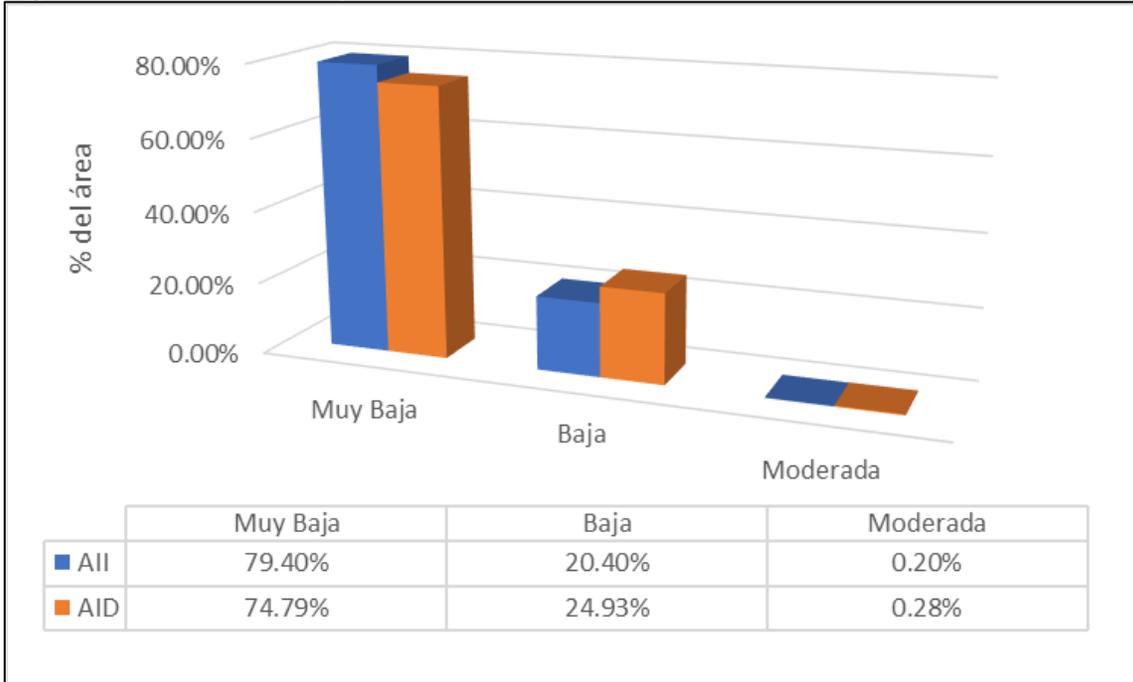
Nivel de Amenaza	Rango	Descripción
1,0-2,0	Muy Baja	Son áreas que tienen poca o baja activación como respuesta a lluvias de larga duración cubriendo zonas extensas. Generalmente, son los interfluvios y drenajes de primer orden que drenan directamente al río principal de la cuenca.
2,0-3,0	Baja	Son áreas que se activan como respuesta a lluvias de larga duración cubriendo zonas extensas. Generalmente, son los interfluvios y drenajes de primer orden que drenan directamente al río principal de la cuenca.
3,0-4,0	Moderada	Presentan una cobertura vegetal variada desde los bosques hasta cultivos, potencialmente inestables por movimientos en masa, pendiente, procesos erosivos y crecientes de los cursos de agua; poseen una respuesta hidrológica moderadamente rápida. Generalmente presentan crecidas en las épocas de mayor precipitación.
4,0-4,5	Alta	Áreas potencialmente inestables por pendiente y movimientos en masa; poseen una respuesta hidrológica rápida con una cobertura del suelo que incluye matorrales, asociación de cultivos y pastizales y pastizales naturales. Generalmente presentan crecidas en periodos lluviosos.
4,5-5,0	Muy Alta	Áreas caracterizadas por presentar fuertes precipitaciones y condiciones de humedad con antecedentes altos, con predominio de cultivos, pastizales y vegetación arbustiva. En áreas inestables y potencialmente inestables que responden rápida y violentamente a lluvias de alta intensidad y corta duración, pueden generar crecidas torrenciales.

Fuente: Consultoría Colombiana S.A. 2018

En la **Figura 3-28** se representan las zonas de amenaza por avenidas torrenciales en el área de influencia del Proyecto, principalmente clasificadas en la categoría de baja y muy baja, debido a las características morfológicas del área de estudio, las bajas pendientes y su localización, por encontrarse en un área plana alejada de sistemas montañosos, los cuales representan las zonas de origen y transporte de flujos torrenciales.

En la Tabla 3-26 se presentan las áreas correspondientes a cada categoría de susceptibilidad ante avenidas torrenciales. En la Figura 3-27 muestra que la mayor parte del área de influencia indirecta se clasifica en las categorías de susceptibilidad de avenidas torrenciales, muy baja y baja, con 5712.79 Ha y 1468.29 Ha, lo cual corresponde al 99,8% del total del área. De manera similar, para el AID, el 99.7% se clasifica en categorías de susceptibilidad muy baja y baja.

**Figura 3-27 Áreas susceptibilidad avenidas torrenciales**



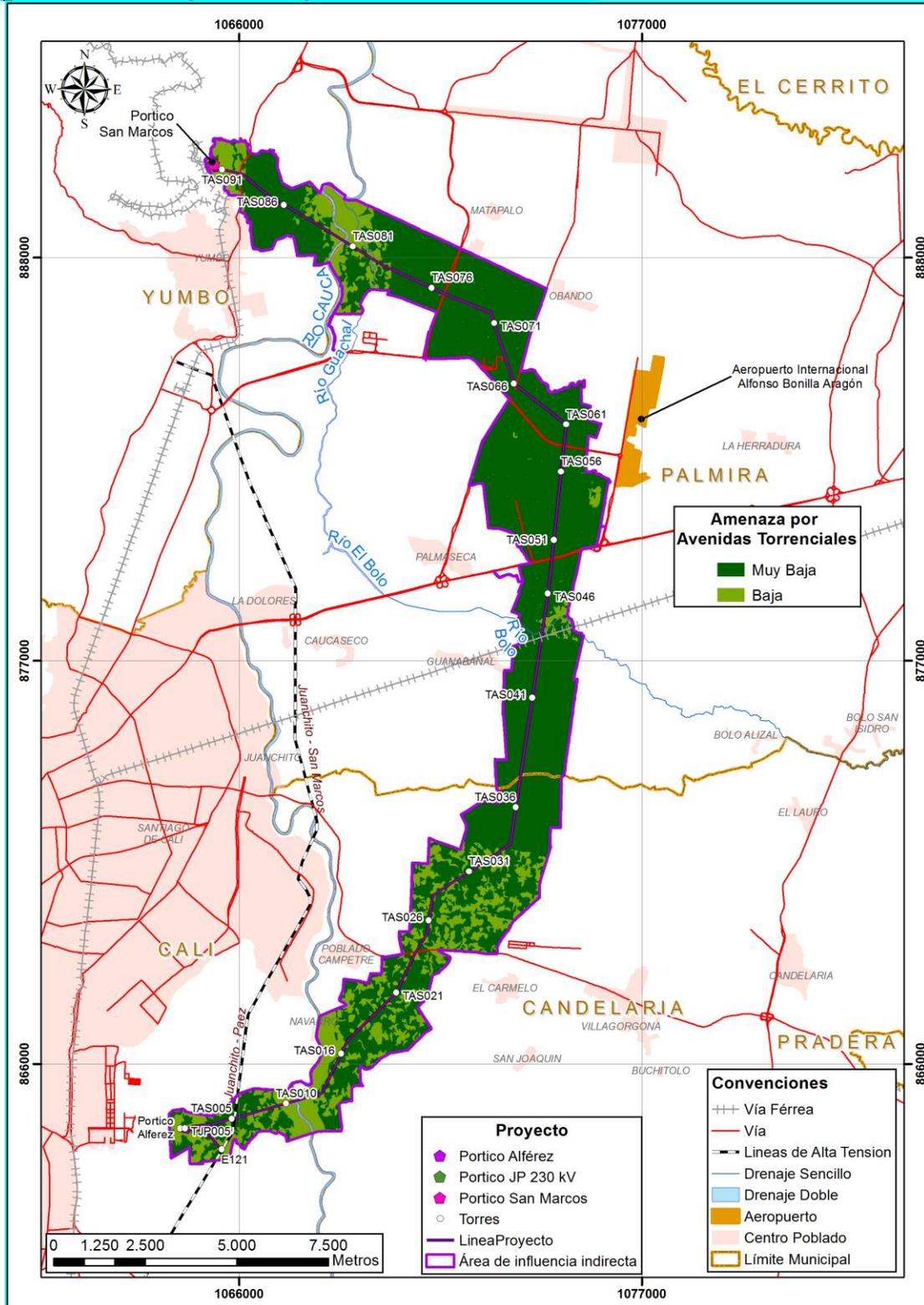
Fuente: Consultoría Colombiana S.A. 2018

**Tabla 3-26 Susceptibilidad por avenidas torrenciales**

Susceptibilidad Avenidas Torrenciales	AII		AID	
	Área (ha)	%	Área (ha)	%
Muy Baja	5712.79	79.40%	215.21	74.79%
Baja	1468.29	20.40%	71.75	24.93%
Moderada	14.11	0.20%	0.8	0.28%
Total	7195.19	100.00%	287.76	100.00%

Fuente: Consultoría Colombiana S.A. 2018

Figura 3-28 Susceptibilidad por avenidas torrenciales



Fuente: Consultoría Colombiana S.A. 2018

- **Susceptibilidad a inundaciones**

Las inundaciones son fenómenos producidos por el aumento de caudales con desborde del cauce normal de los cuerpos de agua. Estos eventos ocurren en época de invierno, afectan especialmente las zonas de bajas topográficas y planicies, tienen una dinámica específica en el año de acuerdo con el comportamiento hidrológico de la zona. Con base en los análisis realizados a los caudales máximos y medios anuales, para esta región estos eventos se presentan en el periodo comprendido entre los meses de marzo a mayo y el periodo entre octubre y noviembre.

En el área de influencia, la susceptibilidad de inundación está asociada a relieves de terrazas y barras longitudinales, sitios próximos a los cauces y zonas afectadas por altas precipitaciones.

El estudio referente a nivel nacional y de mayor relevancia fue realizado por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM, para evaluar la susceptibilidad a inundación en todo el territorio nacional a escala 1:100.000. Para esto, el instituto tomó como línea base los meses de octubre y diciembre de 2001 (condiciones meteorológicas normales) para realizar los análisis espaciales, acompañados de fotointerpretación para zonificar el territorio nacional en zonas inundables periódicamente (por recurrencia de eventos), zonas inundadas (cota alcanzada durante el fenómeno de la Niña 2010 – 2011) y zonas susceptibles a inundación (extraídas con base en el análisis de sistemas morfogénéticos del territorio nacional en el año 2010 (IDEAM 2012).

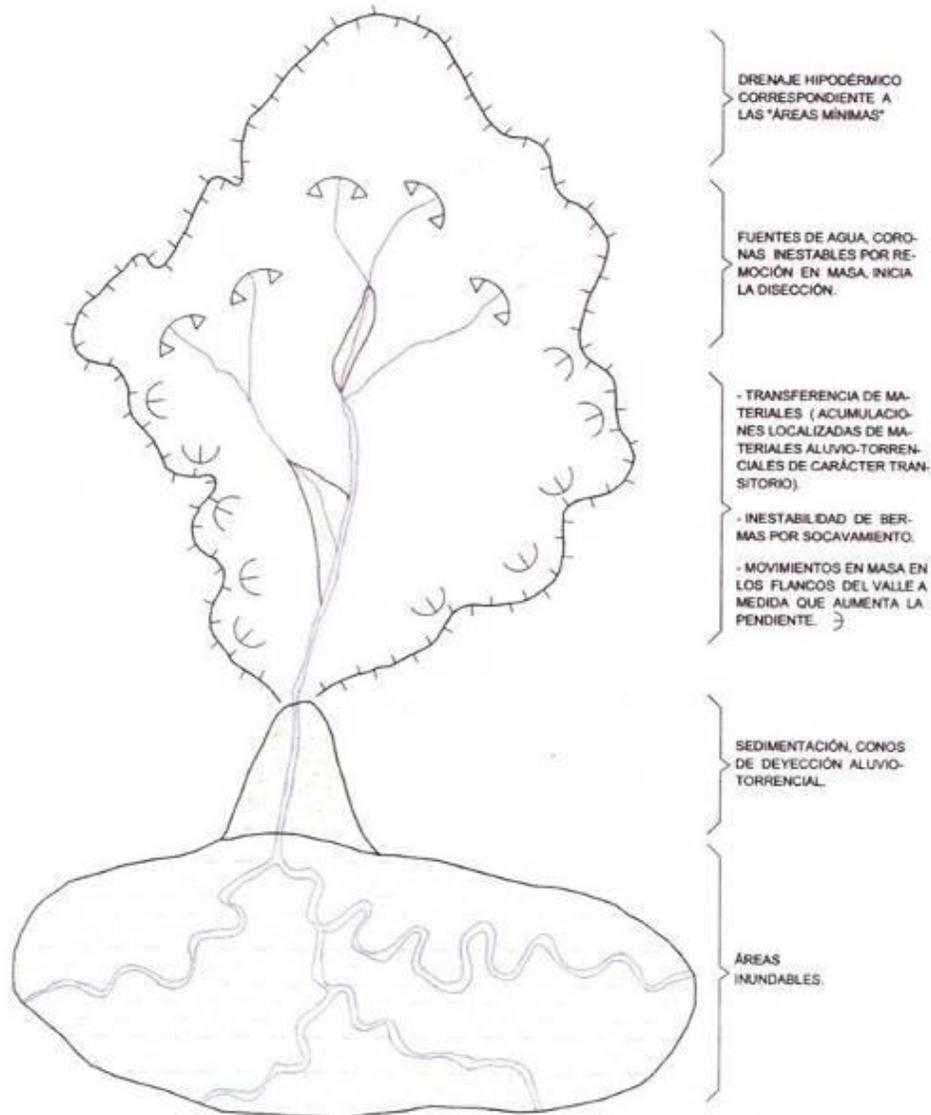
### **Metodología**

Según Flórez (2003), los modelados aluviales resultan de la dinámica fluvial de las corrientes de agua. Un sistema fluvial se entiende bajo el concepto de sistema de transferencia que corresponde con una cuenca hidrográfica en la que se diferencian áreas de la cuenca o sectores del cauce del drenaje llamados básicamente “área de aporte”, “transporte” y “sedimentación”, elementos que conforman una catena<sup>1</sup> (ver Figura 3-29).

---

<sup>1</sup> Catena: conjunto de todos los elementos interrelacionados que integran un modelado.

**Figura 3-29 Sistema de Transferencia**



Fuente: (Flórez, 2003)

De acuerdo con la fuente anterior y para entender el sistema de transferencia se deben tener en cuenta las siguientes definiciones:

- Área de aporte: Las partes altas de una cuenca reciben el agua lluvia, la concentran, y por escurrimiento y disección, el caudal y los sedimentos van a los ejes de drenaje.
- Área de transporte. El proceso es básicamente el transporte, aunque por disección hay también arranque de materiales en el fondo y márgenes, que se incorporan como sedimentos a las corrientes.
- Área de sedimentación. En las partes bajas (piedemontes o bordes de llanuras) disminuye su competencia y capacidad de carga, con la pérdida notable de su pendiente longitudinal, y ocurre sedimentación en conos aluviales o aluvio-

torrenciales. Por la baja profundidad del cauce, sus aguas se desbordan durante el periodo lluvioso, formando áreas de inundación y desborde de las corrientes de agua en la llanura aluvial (partes bajas o depresionales).

La zonificación por inundación se realizó utilizando un sistema semicuantitativo, siguiendo los procedimientos de zonificación del sistema de evaluación numérica y superponiendo las temáticas relacionadas en dicha evaluación, descritos por Varnes (op cit.) y Van Westeen (op cit.).

### Evaluación de amenaza por inundación

De acuerdo con lo anterior, para el estudio de zonificación de amenazas se tuvieron en cuenta dos aspectos relacionados con la geomorfología del área de estudio, el paisaje y las unidades geomorfológicas. La valoración de susceptibilidad a inundaciones por características geomorfológicas se realizó con base en los criterios que se establecen en la Tabla 3-27, donde 1 corresponde a muy baja susceptibilidad y 5 a muy alta.

**Tabla 3-27 Intervalos y categorías susceptibilidad a inundaciones**

AMBIENTE MORFOGENÉTICO	AMBIENTE MORFOGENÉTICO DE PAISAJE	PAISAJE	TIPO DE RELIEVE	SÍMBOLO	SG
Fluvial	Coluvio aluvial	pedemonte	Abanico Aluvial reciente	<b>Faar</b>	3
			Abanico coluvio aluvial	<b>Faca</b>	3
			Abanico Aluvial subreciente	<b>Faas</b>	3
			Vallecito	<b>Fva</b>	2
	Fluvial	Planicie aluvial	Plano o llanura de inundación	<b>Fpi</b>	4
			Terraza de acumulación	<b>Fta</b>	3
			Cauce Aluvial	<b>Fca</b>	5
Erosional o Denudacional			Montículos y ondulaciones denudacionales	<b>Dmo</b>	1

Fuente: Consultoría Colombiana S.A. 2018

Adicionalmente, la precipitación es el factor generador principal de las inundaciones, al incrementar los caudales superficiales de las fuentes de agua y ocasionar el desbordamiento de los cauces”.

Se asignaron diferentes categorías de evaluación a los rangos de precipitación media anual, cada categoría está compuesta por un dígito numérico que va del 1 al 5, donde 1 corresponde a la condición más favorable y 5 representa la condición más desfavorable (ver Tabla 3-28).

**Tabla 3-28 Categorías de evaluación para la precipitación total anual en las cuencas del área de influencia**

Rango de Precipitación(mm)	Categoría	Calificación
<1000	Muy Baja	1
1000 - 2000	Baja	2
2000 - 3000	Moderada	3
3000 - 4000	Alta	4
> 4000	Muy Alta	5

Fuente: Consultoría Colombiana S.A. 2018.

Para la elaboración de los mapas de susceptibilidad de inundación, en la metodología del IDEAM se parte de la información a escala nacional de los sistemas morfogénicos del territorio colombiano, adicionalmente establece que para las zonas en que se cuente con información geomorfológica a escala más detallada, como es el caso, se pueden utilizar criterios similares de selección de unidades que presentan procesos de inundación y desborde en llanuras sometidas a régimen fluvial (IDEAM, 2018). De esta manera la evaluación de susceptibilidad a inundaciones se plantea con base en la susceptibilidad geomorfológica y las precipitaciones como factor detonante, de la siguiente manera:

$$AI = (0.7 * SG) + (0.3 * P)$$

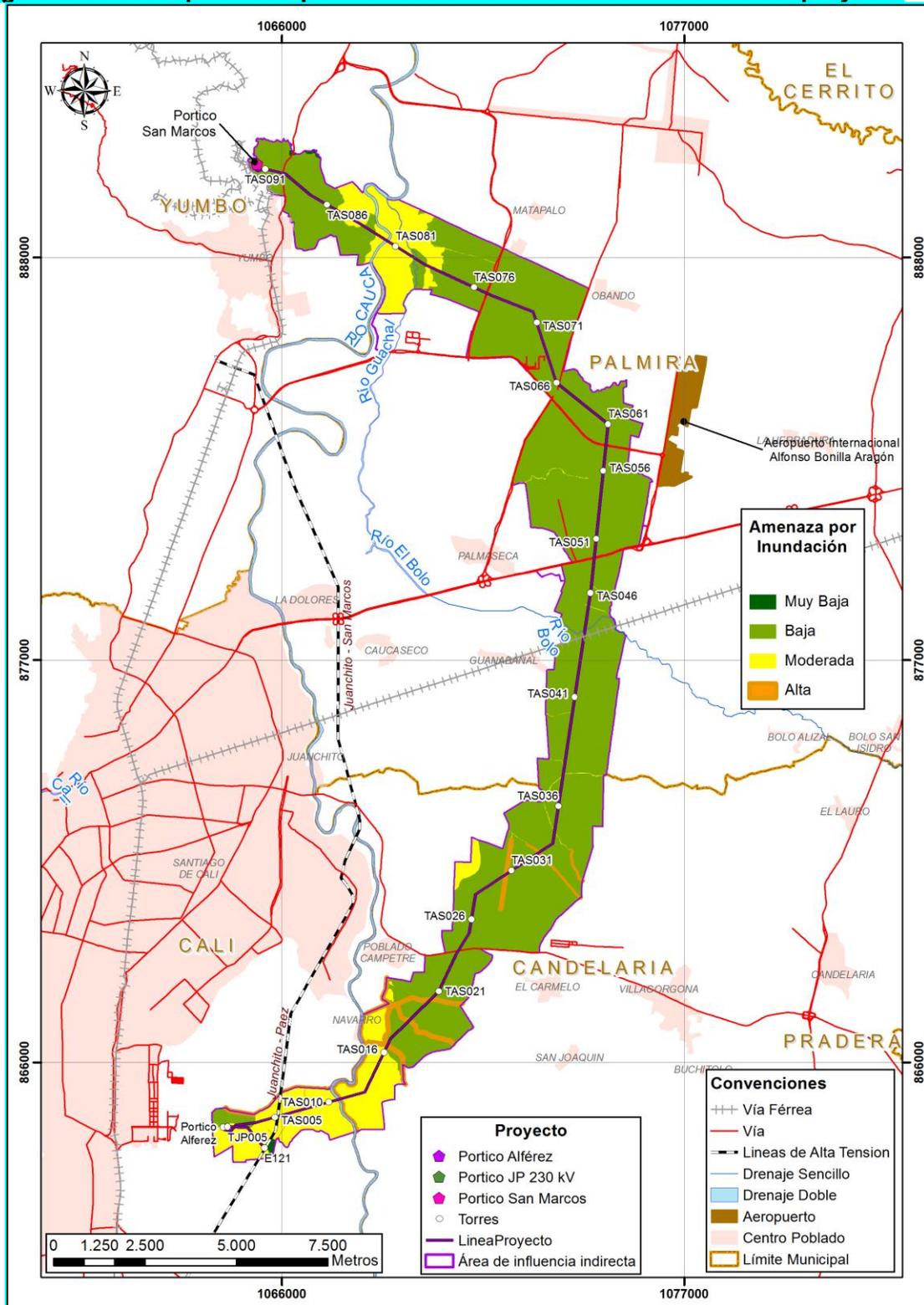
Dónde:

AI= Amenaza por inundación.  
 SG= Susceptibilidad geomorfológica por paisaje y relieve  
 P= Calificación por precipitación.

Aplicando la evaluación anterior, a las condiciones geomorfológicas y la categorización de la precipitación, para el área de influencia del proyecto, se encontró la distribución espacial de las zonas con tendencia a inundaciones, las cuales se pueden observar en la **Figura 3-30**.

En el área de influencia, las áreas con más alta susceptibilidad a inundaciones corresponden a los planos de desborde del río Cauca. En el cruce norte de la línea con el anterior cuerpo de agua, principalmente la zona comprendida entre el río Guachal y el río Cauca, a pesar de los diques presentes en las márgenes de los cauces, se presentan procesos de infiltración del flujo subsuperficial en época de lluvias, siendo en algunos casos necesario el bombeo para la evacuación del agua en estas zonas de cultivo de caña. En el cruce de la parte sur del río Cauca, se presenta una susceptibilidad moderada a las inundaciones, evidenciado en el análisis de frecuencia debido a las características morfológicas de la zona.

Figura 3-30 susceptibilidad por inundación en el área de influencia del proyecto



Fuente: Consultoría Colombiana S.A. 2018

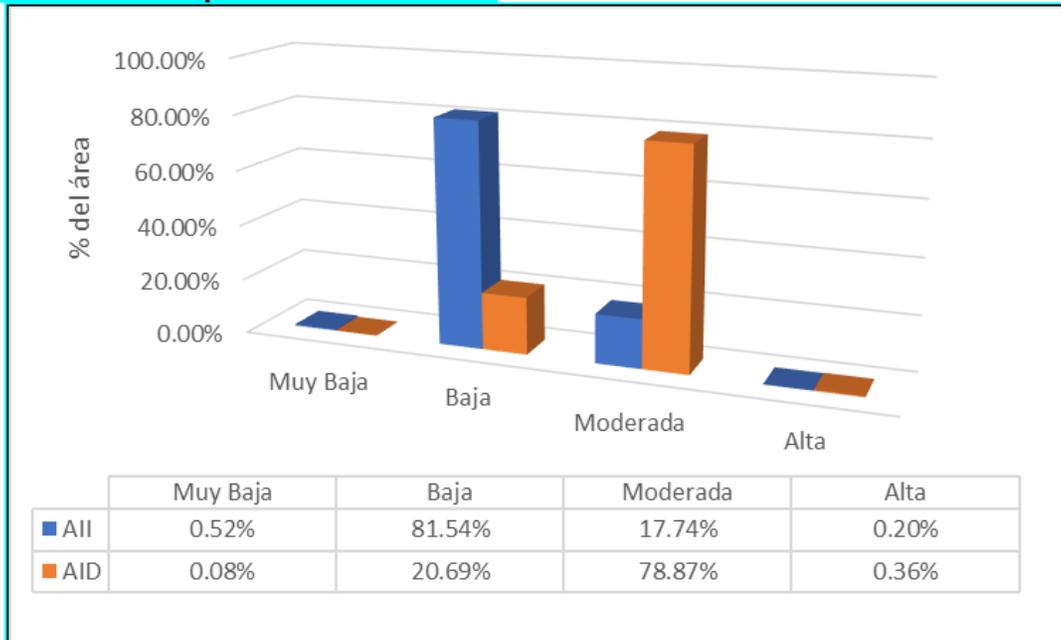
De acuerdo con los resultados obtenidos a partir de la Figura 3-30, se elaboró la Tabla 3-29, donde se presentan los resultados de las áreas clasificadas según el nivel de susceptibilidad por inundación dentro del área de influencia indirecta, encontrándose que el 82.06% del área se encuentra en zonas que presentan baja o muy baja susceptibilidad a la inundación y tan solo el 0.20% presenta una susceptibilidad alta. Para el AID, tan solo el 0.36% del área presenta una susceptibilidad alta.

**Tabla 3-29 Amenaza por inundación**

Susceptibilidad a Inundación	AII		AID	
	Área (ha)	%	Área (ha)	%
Muy Baja	37.55	0.52%	0.22	0.08%
Baja	5867.07	81.54%	59.53	20.69%
Moderada	1276.09	17.74%	226.96	78.87%
Alta	14.48	0.20%	1.05	0.36%
<b>Total</b>	<b>7195.19</b>	<b>100.00%</b>	<b>287.76</b>	<b>100.00%</b>

Fuente: Consultoría Colombiana S.A. 2018

**Figura 3-31 Susceptibilidad inundación**



Fuente: Consultoría Colombiana S.A. 2018