

# **ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL PARA EL PROYECTO “SUBESTACIÓN NORTE 230/115 kV, LÍNEAS DE TRANSMISIÓN DE 115 kV Y MÓDULOS DE CONEXIÓN”**

## **Capítulo 3. Caracterización del área de influencia del proyecto**

### **Sección 2. Componente abiótico**

L. Angulo	L. Arévalo	A. Galindo	2017-11-24	Complemento reunión oralidad	VF
L. Angulo	L. Arévalo	A. Galindo	2015-12-18	Versión final	VF
<b>Elaboró</b>	<b>Revisó</b>	<b>Aprobó</b>	<b>Fecha</b>	<b>Descripción</b>	<b>Rev.</b>

## TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
3.2.4 Hidrología .....	1
3.2.4.1 Área de influencia indirecta .....	1
3.2.4.2 Área de Influencia Directa (AID) .....	59
3.2.5 Hidrogeología .....	89
3.2.5.1 Hidrogeología regional, Área de Influencia Indirecta (All) .....	89
3.2.5.2 Caracterización de unidades hidrogeológicas locales, Área de Influencia Directa	101
3.2.5.3 Vulnerabilidad intrínseca de los acuíferos a la contaminación .....	106
3.2.5.4 Zonas de recarga y descarga .....	111
3.2.6 Geotecnia .....	113
3.2.6.1 Caracterización geotécnica zona de estudio .....	113
3.2.6.2 Modelo geológico-geotécnico .....	113
3.2.6.3 Zonas geotécnicamente homogéneas .....	113

## ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 3.2.4-1 Cuencas y subcuencas área de influencia indirecta (cuenca alta río Bogotá)	2
Tabla 3.2.4-30 Inventario de sistemas lénticos en el Área de Influencia Indirecta	8
Tabla 3.2.4-2 Periodo de registro de las estaciones meteorológicas seleccionadas	16
Tabla 3.2.4-3 Caudales característicos, río Bogotá, en la cuenca alta	22
Tabla 3.2.4-4 Estadística descriptiva de la serie de caudales máximos, estación Tocancipá, cuenca alta del río Bogotá	23
Tabla 3.2.4-5 Caudales máximos para diferentes periodos de retorno, estación Tocancipá, cuenca alta del río Bogotá	24
Tabla 3.2.4-6 Estadística descriptiva de la serie de caudales mínimos, estación Tocancipá, cuenca alta del río Bogotá	25
Tabla 3.2.4-7 Caudales mínimos para diferentes periodos de retorno, estación Tocancipá, cuenca alta del río Bogotá	26
Tabla 3.2.4-8 Caudales medios (m³/s), río Checua, estación Puente Checua	29
Tabla 3.2.4-9 Niveles medios (cm), río Checua, estación Puente Checua	30
Tabla 3.2.4-10 Caudales característicos, río Checua, estación Puente Checua	33
Tabla 3.2.4-11 Estadística descriptiva de la serie de caudales máximos de la estación Puente Checua, río Checua	35
Tabla 3.2.4-12 Caudales máximos para diferentes periodos de retorno, estación Puente Checua, río Checua	35
Tabla 3.2.4-13 Estadística descriptiva de la serie de caudales mínimos, estación Puente Checua, río Checua	37
Tabla 3.2.4-14 Caudales mínimos para diferentes periodos de retorno, estación Puente Checua, río Checua	37
Tabla 3.2.4-15 Caudales medios (m³/s), río Teusacá, estación Puente Adobes	40
Tabla 3.2.4-16 Niveles medios (cm) río Teusacá estación Puente Adobes	42
Tabla 3.2.4-17 Caudales característicos, río Teusacá, estación Puente Adobes	44
Tabla 3.2.4-18 Estadística descriptiva de la serie de caudales máximos, río Teusacá, estación Puente Adobes	47
Tabla 3.2.4-19 Caudales máximos para diferentes periodos de retorno, río Teusacá, estación Puente Adobes	47
Tabla 3.2.4-20 Estadística descriptiva de la serie de caudales mínimos, río Teusacá, estación Puente Adobes	49
Tabla 3.2.4-21 Caudales mínimos para diferentes periodos de retorno, río Teusacá, estación Puente Adobes	49
Tabla 3.2.4-22 Caudales medios (m³/s) río Neusa estación Puente Carretera	51

Tabla 3.2.4-23 Niveles medios (cm), río Neusa, estación Puente Carretera .....	52
Tabla 3.2.4-24 Caudales característicos río Neusa estación Puente Carretera.....	54
Tabla 3.2.4-25 Estadística descriptiva de la serie de caudales máximos, río Neusa, estación Puente Carretera .....	55
Tabla 3.2.4-26 Caudales máximos para diferentes periodos de retorno, río Neusa, estación Puente Carretera .....	56
Tabla 3.2.4-27 Estadística descriptiva de la serie de caudales mínimos, río Neusa, estación Puente Carretera .....	57
Tabla 3.2.4-28 Caudales mínimos para diferentes periodos de retorno, río Neusa, estación Puente Carretera .....	58
Tabla 3.2.4-29 Inventario de sistemas loticos en el área de influencia directa .....	61
Tabla 3.2.4-30 Inventario de sistemas lenticos en el área de influencia directa .....	66
Tabla 3.2.4-31 Permisos de vertimientos otorgados .....	68
Tabla 3.2.4-39 Puntos de monitoreo de calidad de agua .....	74
Tabla 3.2.4-40 Métodos utilizados en el análisis de laboratorio de calidad de agua.....	76
Tabla 3.2.4-41 Requerimientos de manipulación para la preservación de las muestras ..	77
Tabla 3.2.4-42 Resultados de los monitoreos .....	79
Tabla 3.2.4-43 Relación del valor del índice obtenido con el índice de contaminación.....	88
Tabla 3.2.4-44 Resultados de los índices de contaminación ICO.....	88
Tabla 3.2.5-1 Descripción de convenciones del mapa de condición del acuífero .....	99
Tabla 3.2.5-2 Inventario de puntos de agua subterránea .....	104
Tabla 3.2.5-3 Análisis de la vulnerabilidad de los acuíferos .....	107

## ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 3.2.4-1 Cuencas del área de influencia indirecta (cuenca alta río Bogotá) .....	3
Figura 3.2.4-2 Cauce meandriforme unicanal, río Bogotá, municipio de Tocancipá .....	12
Figura 3.2.4-3 Representación de la etapa de los ríos .....	13
Figura 3.2.4-4 Patrón de drenaje característico de las corrientes del río Bogotá* .....	14
Figura 3.2.4-5 Localización de las estaciones hidrológicas .....	15
Figura 3.2.4-6 Cuenca río Checua .....	28
Figura 3.2.4-7 Cuenca río Teusacá.....	39
Figura 3.2.4-8 Cuenca del río Neusa .....	50
Figura 3.2.4-9 Drenajes área de influencia del proyecto .....	60
Figura 3.2.4-10 Eventos de inundación 2011-2012.....	70
Figura 3.2.4-11 Amenaza de inundación.....	72
Figura 3.2.4-12 Ubicación de los puntos de monitoreo de calidad del agua.....	75



Figura 3.2.5-1 Localización del área de estudio (recuadro en rojo), unidades hidrogeológicas generales.....	90
Figura 3.2.5-2 Mapa Hidrogeológico de la Plancha 5-09 (1:500.000), se observan unidades hidrogeológicas de la zona de estudio .....	91
Figura 3.2.5-3 Mapa de Tipos Geoquímicos de Aguas Subterráneas e isolíneas de la Plancha 5-09 (1:500.000) .....	92
Figura 3.2.5-4 Mapa de Características Geoelectricas de la Plancha 5-09 (1:500.000) ...	94
Figura 3.2.5-5 Mapa de Unidades Hidrogeológicas de la Plancha 5-09 (1:500.000) .....	96
Figura 3.2.5-6 Corte Hidrogeológico esquemático. La línea del perfil se observa en el Mapa de Unidades Hidrogeológicas .....	97
Figura 3.2.5-7 Mapa Profundidad de la Tabla de Agua de la Plancha 5-09 (1:500.000)...	98
Figura 3.2.5-8 Mapa de Condición del Acuífero de la Plancha 5-09 (1:500.000).....	100
Figura 3.2.5-9 Configuración hidrogeológica regional .....	102
Figura 3.2.5-10 Diagrama para la estimación de la vulnerabilidad de los acuíferos por el método GOD .....	108
Figura 3.2.5-11 Vulnerabilidad intrínseca de los acuíferos en el área de estudio .....	110
Figura 3.2.5-12 Zonas de recarga y descarga en el área de estudio.....	112
Figura 3.2.6-1 Mapa de Susceptibilidad geotécnica .....	114

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

Pág.

Gráfico 3.2.4-1 Consistencia de datos hidrológicos medios mensuales multianuales, estación Pte. Adobes.....	17
Gráfico 3.2.4-2 Consistencia de datos hidrológicos medios mensuales multianuales, estación Pte. Arboletes (outliers) .....	18
Gráfico 3.2.4-3 Consistencia de datos hidrológicos medios mensuales multianuales, estación Tocancipá.....	18
Gráfico 3.2.4-4 Consistencia de datos hidrológicos medios mensuales multianuales, estación Tocancipá (outliers) .....	19
Gráfico 3.2.4-7 Consistencia de datos hidrológicos medios mensuales multianuales, estación Pte. Carretera .....	19
Gráfico 3.2.4-8 Consistencia de datos hidrológicos medios mensuales multianuales, estación Pte. Carretera (outliers) .....	20
Gráfico 3.2.4-9 Consistencia de datos hidrológicos medios mensuales multianuales, estación Pte. Checua.....	20
Gráfico 3.2.4-10 Consistencia de datos hidrológicos medios mensuales multianuales, estación Pte. Checua (outliers) .....	21

Gráfico 3.2.4-13 Tendencia de los caudales, río Bogotá, en la cuenca alta .....	22
Gráfico 3.2.4-14 Curva de duración de caudales, río Bogotá, en la cuenca alta .....	23
Gráfico 3.2.4-15 Probabilidad de ocurrencia de caudales máximos, estación Tocancipá, cuenca alta del río Bogotá .....	24
Gráfico 3.2.4-16 Comparación de probabilidades de ocurrencia de caudales máximos, estación Tocancipá, cuenca alta del río Bogotá.....	25
Gráfico 3.2.4-17 Probabilidad de ocurrencia de caudales mínimos, estación Tocancipá, cuenca alta del río Bogotá .....	26
Gráfico 3.2.4-18 Comparación de probabilidad de ocurrencia de caudales mínimos, estación Tocancipá, cuenca alta del río Bogotá .....	27
Gráfico 3.2.4-19 Régimen de caudales medios, río Checua, estación Puente Checua....	29
Gráfico 3.2.4-20 Régimen de caudales medios, río Checua, estación Puente Checua (outliers).....	30
Gráfico 3.2.4-21 Régimen de niveles medios, río Checua, estación Puente Checua .....	31
Gráfico 3.2.4-22 Régimen de niveles medios, río Checua, estación Puente Checua (outliers) .....	31
Gráfico 3.2.4-23 Tendencia de los caudales, río Checua, estación Puente Checua .....	32
Gráfico 3.2.4-24 Curva de duración de caudales, río Checua, estación Puente Checua..	33
Gráfico 3.2.4-25 Probabilidad de ocurrencia de caudales máximos, estación Puente Checua, río Checua.....	34
Gráfico 3.2.4-26 Comparación de Probabilidades de ocurrencia de caudales máximos, estación Puente Checua, río Checua.....	34
Gráfico 3.2.4-27 Probabilidad de ocurrencia de caudales mínimos, estación Puente Checua, río Checua .....	36
Gráfico 3.2.4-28 Comparación Probabilidad de ocurrencia de caudales mínimos, estación Puente Checua, río Checua.....	36
Gráfico 3.2.4-29 Régimen de caudales medios, río Teusacá, estación Puente Adobes...	41
Gráfico 3.2.4-30 Régimen de caudales medios, río Teusacá, estación Puente Adobes (outliers).....	41
Gráfico 3.2.4-31 Régimen de niveles medios, río Teusacá, estación Puente Adobes .....	42
Gráfico 3.2.4-32 Régimen de niveles medios, río Teusacá, estación Puente Adobes (outliers).....	43
Gráfico 3.2.4-33 Tendencia de los caudales, río Teusacá, estación Puente Adobes .....	44
Gráfico 3.2.4-34 Curva de duración de caudales, río Teusacá estación, Puente Adobes	45
Gráfico 3.2.4-35 Probabilidad de ocurrencia de caudales máximos, río Teusacá, estación Puente Adobes .....	46
Gráfico 3.2.4-36 Comparación probabilidad de ocurrencia de caudales máximos, río Teusacá, estación Puente Adobes.....	46
Gráfico 3.2.4-37 Probabilidad de ocurrencia de caudales mínimos, río Teusacá, estación Puente Adobes .....	48

Gráfico 3.2.4-38 Comparación Probabilidad de ocurrencia de caudales mínimos, río Teusacá, estación Puente Adobes.....	48
Gráfico 3.2.4-39 Régimen de caudales medios, río Neusa, estación Puente Carretera ...	52
Gráfico 3.2.4-40 Régimen de caudales medios, río Neusa, estación Puente Carretera (outliers).....	52
Gráfico 3.2.4-41 Régimen de niveles medios, río Neusa, estación Puente Carretera .....	53
Gráfico 3.2.4-42 Régimen de niveles medios, río Neusa, estación Puente Carretera (outliers).....	53
Gráfico 3.2.4-43 Tendencia de los caudales, río Neusa, estación Puente Carretera.....	54
Gráfico 3.2.4-44 Curva de duración de caudales río Neusa estación Puente Carretera...	55
Gráfico 3.2.4-45 Probabilidad de ocurrencia de caudales máximos, río Neusa, estación Puente Carretera .....	56
Gráfico 3.2.4-46 Comparación probabilidad de ocurrencia de caudales máximos, río Neusa, estación Puente Carretera .....	57
Gráfico 3.2.4-47 Probabilidad de ocurrencia de caudales mínimos, río Neusa, estación Puente Carretera .....	58
Gráfico 3.2.4-48 Comparación probabilidad de ocurrencia de caudales mínimos, río Neusa, estación Puente Carretera .....	59

## ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

Pág.

Fotografía 3.2.4-1 Laguna de Guatavita en la parte alta de la cuenca del río Bogotá y en el sector oriental del proyecto .....	6
Fotografía 3.2.4-3 Embalse Neusa localizado en la parte alta de la cuenca del río Bogotá y en el sector occidental del proyecto .....	7
Fotografía 3.2.4-4 Laguna de oxidación típica en la cuenca del río Bogotá .....	7
Fotografía 3.2.4-12 Sistema léntico lago NN1 .....	8
Fotografía 3.2.4-13 Sistema léntico lago NN2.....	8
Fotografía 3.2.4-14 Sistema léntico lago NN3.....	9
Fotografía 3.2.4-15 Sistema léntico lago NN4.....	9
Fotografía 3.2.4-16 Sistema léntico lago NN5.....	10
Fotografía 3.2.4-17 Sistema léntico PTAR .....	10
Fotografía 3.2.4-5 Embalse San Rafael en el municipio de La Calera, obra hidráulica que controla los caudales del río Teusacá en su cuenca alta .....	38
Fotografía 3.2.4-6 Represa del Neusa en el municipio de Tausa, obra hidráulica que controla los caudales del río NEUSA en su cuenca alta.....	51
Fotografía 3.2.4-7 Canal de riego 1 .....	61

Fotografía 3.2.4-8 Canal de riego 2 .....	62
Fotografía 3.2.4-9 Río Bogotá (2) .....	63
Fotografía 3.2.4-10 Río Bogotá (3) .....	63
Fotografía 3.2.4-11 Quebrada Guasapán .....	64
Fotografía 3.2.4-11 Quebrada Agua Nueva .....	64
Fotografía 3.2.4-11 Quebrada NN 1.....	64
Fotografía 3.2.4-11 Quebrada NN 2.....	65
Fotografía 3.2.4-2 Embalse Tominé localizado en la parte alta de la cuenca del río Bogotá y en el sector oriental del proyecto.....	66
Fotografía 3.2.4-16 Sistema léntico lago NN6.....	66
Fotografía 3.2.4-16 Sistema léntico lago NN7.....	66
Fotografía 3.2.4-16 Sistema léntico lago NN8.....	67
Fotografía 3.2.4-16 Sistema léntico lago NN9.....	67
Fotografía 3.2.5-1 Manantial Perenne en la formación Arenisca Labor y tierna (Peldar)	105
Fotografía 3.2.5-2. Aljibe, presente en el área de estudio .....	105

## ÍNDICE DE ANEXOS

**Anexo 3-4** Permisos de vertimientos

**Anexo 3-5** Resultados hidrobiológicos

**Anexo 3-6** Inventario de puntos de agua subterránea

## ÍNDICE DE MAPAS

**Mapa 3-11** Hidrología

**Mapa 3-12** Hidrogeológico

**Mapa 3-13** Zonificación geotécnica

### 3.2.4 Hidrología

La hidrología puede definirse como la ciencia que se ocupa de estudiar las propiedades físicas y químicas del agua, su distribución y circulación en la superficie terrestre y en el subsuelo. Además de formar parte de todos los procesos productivos y extractivos, es un recurso vital para los diferentes ecosistemas, razón por la cual el estudio hidrológico suministra herramientas para entender la conducta del escurrimiento superficial, la real oferta hídrica y el comportamiento de los diferentes cuerpos de agua presentes.

Para la definición del área de influencia indirecta se toma la delimitación de las subcuencas donde se realiza el proyecto, esto con el fin de identificar la variación hidrológica de las corrientes hídricas presentes en el área de estudio.

Para la delimitación del área de influencia directa se seleccionó una franja de 15 metros a lado y lado del eje de las líneas de transmisión y el área de intervención, donde será construida la subestación, zonas en las cuales se considera la afectación al recurso por las actividades de construcción, operación y mantenimiento del proyecto debido a la eventual generación de residuos líquidos.

A continuación, se describen las características hidrológicas locales de la zona del proyecto. La caracterización incluye la identificación de los sistemas lénticos y lóticos existentes, y la descripción de las cuencas principales (ver Mapa 3-11 Hidrología)

#### 3.2.4.1 Área de influencia indirecta

El proyecto se encuentra ubicado en los municipios de Gachancipá, Tocancipá, Zipaquirá, Cogua, Nemocón, Suesca y Sesquilé en el Departamento de Cundinamarca. Está enmarcado dentro de la dinámica fluvial del río Bogotá, a nivel más local en su cuenca alta desde su nacimiento en el municipio de Villapinzón, el cual presenta una dirección de flujo predominante en sentido NE-SW. Este cuerpo de agua recibe entre otros, los aportes de los ríos Nemocón, Teusacá y Frío.

En la Tabla 3.2.4-1 y en la Figura 3.2.4-1 se muestra la zonificación hidrográfica del área en la que se ubica el proyecto, utilizada como base para el análisis del sistema hídrico principal del río Bogotá, Checua, Neusa y Teusacá.

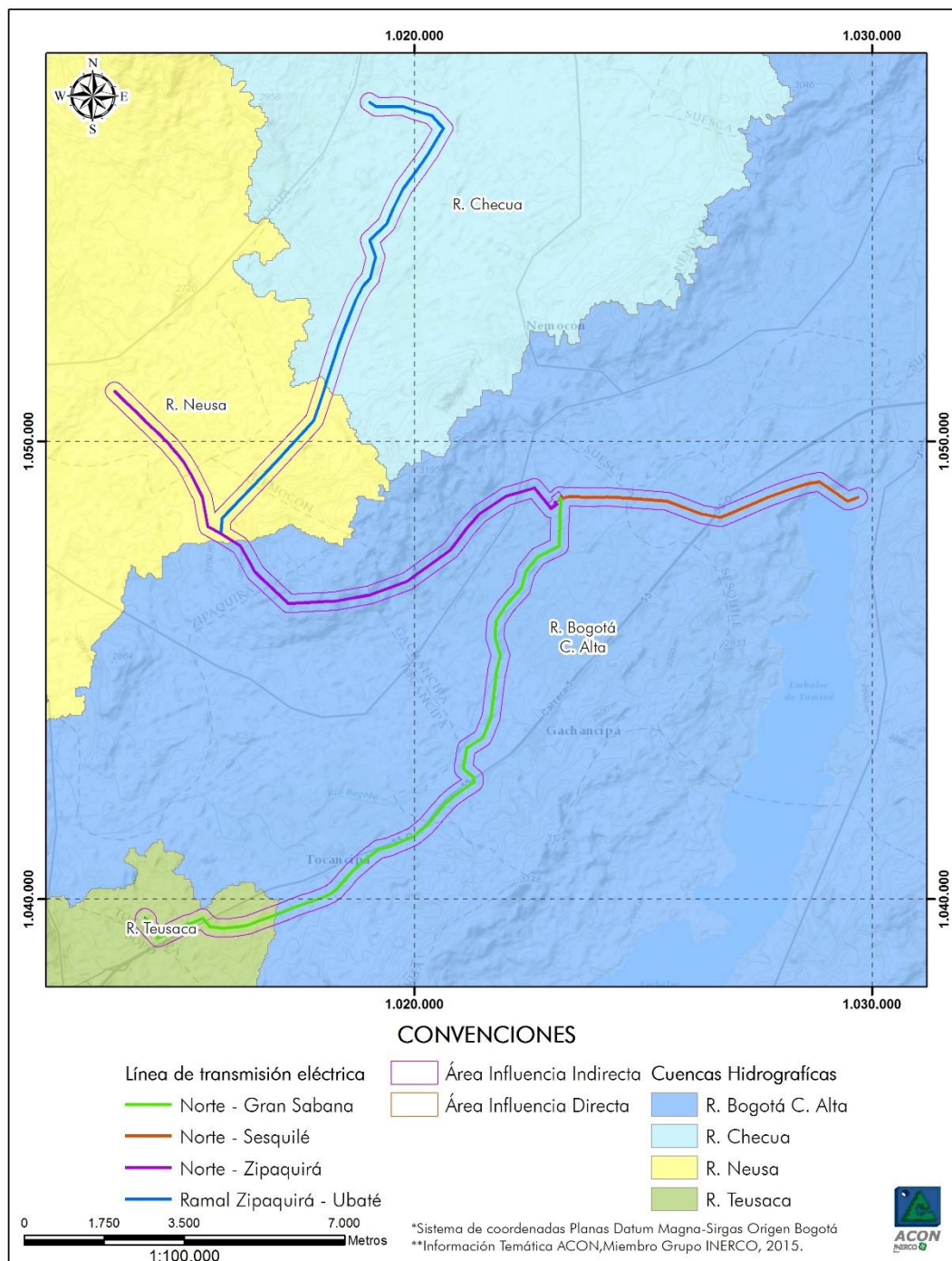
**Tabla 3.2.4-1** Cuencas y subcuencas área de influencia indirecta (cuena alta río Bogotá)

Área hidrográfica	Zona hidrográfica	Subzona hidrográfica	Cuenca	Subcuenca	Microcuenca
2. Río Magdalena Cauca	21. Alto Magdalena	2120. río Bogotá	Alto río Bogotá	Río Neusa	Río Checua
				Río Teusacá	

**Fuente:** Cartografía Base escala 1:25.000, 1:100.000. Adaptado por ACON, Miembro Grupo INERCO, 2014.



**Figura 3.2.4-1** Cuencas del área de influencia indirecta (cuenca alta río Bogotá)



**Fuente:** ACON, Miembro Grupo INERCO, 2015.

## **A Identificación de los sistemas lóticos**

A continuación, se presentan los cuerpos de agua lóticos principales, encontrados en el área de influencia indirecta definida, se destacan las principales corrientes naturales, sin embargo, es necesario anotar que la mayoría corresponden a canales de riego.

### **I Río Neusa**

La subcuenca del río Neusa se encuentra en el departamento de Cundinamarca, limitando al norte con los municipios de San Cayetano, Carmen de Carupa, Sutatausa y Cucunubá; al sur con los municipios de Tocancipá y Zipaquirá; al occidente con los municipios de Pacho y San Cayetano y al oriente con los municipios de Gachancipá y Suesca. Adicionalmente, la cuenca abarca los municipios de Cogua, Tausa y Nemocón.

En total, la cuenca del río Neusa cuenta con un área de 44734,9 hectáreas y el cauce principal, tiene una longitud aproximada de 45,1 km. El río Neusa se origina en el municipio de Cogua en el páramo de Guerrero con el nombre del río Guandoque y recibe las aguas de diferentes cursos menores; es alimentada por los ríos Cubillos (río Salitre y Guandoque) que alimenta el embalse Neusa y Checua (después del embalse) el cual desemboca finalmente en el río Bogotá.

### **II Río Teusacá**

La subcuenca está ubicada sobre la provincia fisiográfica de la Cordillera Oriental, la cual se encuentra presente en los departamentos de Cundinamarca y Boyacá, y está delimitada principalmente por las condiciones topográficas consideradas a nivel de macro relieve. La subcuenca del río Teusacá está ubicada en el departamento de Cundinamarca, en la parte suroriental de la cuenca alta del río Bogotá, bordeando los cerros orientales de la ciudad de Bogotá. Dentro de la subcuenca tienen territorio los siguientes municipios: Bogotá, La Calera, Sopó, Tocancipá, Chía, Choachí, Ubaque y Guasca, todos ellos de manera parcial.

### **III Río Checua**

Tiene su nacimiento a una altura cercana a los 3.151 m s.n.m., en el municipio de Cucunubá (Cundinamarca) y corre en dirección Este-Oeste hasta desembocar en el río Neusa a los 2.573 m s.n.m.



## IV Río Bogotá

El río Bogotá nace al oriente de Cundinamarca en el páramo de Guacheneque municipio de Villapinzón, a 3.300 m s.n.m. y sus aguas fluyen hacia el sureste para desembocar al río Magdalena en Girardot a 280 m s.n.m. drenando las aguas de una cuenca de 6.000 km<sup>2</sup>, con aproximadamente 7 millones de habitantes y 40 municipios. En su recorrido de 375 km, drena las aguas de 599.568 ha de superficie a través de los ríos Sisga, Neusa, Tibitó, Negro, Teusacá, Frío, Chicú, Salitre, Funza, Tunjuelito, Balsillas que recoge las aguas del río Subachoque y Bojacá-Calandaima y Apulo.

### B Sistemas lénticos

Son cuerpos de agua cerrados que permanecen en un mismo lugar sin correr ni fluir, como los lagos, las lagunas, las ciénagas, madre viejas y los pantanos, entre otros. Por lo general tienen poca profundidad y pueden ser naturales o artificiales.

#### I Sistemas lénticos naturales

Los sistemas naturales, se distinguen sobre los planos de inundación del río Bogotá. Áreas pantanosas y lacustres, sujetas a un pronunciado régimen alterno - hídrico, que se anegan durante época lluviosa y se resecan durante el periodo seco. De los sistemas naturales que se distinguen en la cuenca alta del río Bogotá se encuentra, la laguna de Pantano Redondo y la laguna de Guatavita (ver Fotografía 3.2.4-1). Las cuales se ubican en los municipios de Zipaquirá y Guatavita respectivamente. Esta última se localiza a 2.990 m s.n.m. en una depresión montañosa, con 400 m de diámetro.

**Fotografía 3.2.4-1** Laguna de Guatavita en la parte alta de la cuenca del río Bogotá y en el sector oriental del proyecto



**Fuente:** Tomado de <http://www.guatavita-cundinamarca.gov.co/>

## II Sistemas lénticos artificiales

Los ambientes artificiales más representativos, son depósitos de aguas, contruidos mediante un dique y un sistema de alivio; cerrando la boca del valle de un canal natural, que retiene las aguas para utilizarlas en el riego, abastecer poblaciones, prevenir inundaciones o producir energía.

El embalse del Neusa es una fuente de abastecimiento para consumo humano en los acueductos de Cogua y Zipaquirá. Cumple la función de controlar las inundaciones en la Sabana de Bogotá mediante el registro de los caudales máximos en la cuenca del río Neusa y regularlos durante la temporada seca. El embalse es conocido por el servicio que presta a Cundinamarca y también por el turismo que genera el parque.

**Fotografía 3.2.4-2** Embalse Neusa localizado en la parte alta de la cuenca del río Bogotá y en el sector occidental del proyecto



**Fuente:** ACON, Miembro Grupo INERCO, 2014.

Otros sistemas artificiales son las lagunas de oxidación que se ubican en los diferentes municipios de la cuenca del río Bogotá; estas se construyen para el tratamiento de las aguas residuales, y por lo general constan de tres cámaras: la primera anaeróbica, la segunda facultativa y la tercera aeróbica. Este es considerado según SCOTT<sup>1</sup> como un humedal artificial urbano industrial donde se alojan las aguas servidas incluyendo, depósitos de aguas negras, estanques de sedimentación y oxidación (ver Fotografía 3.2.4-3). Todas estas aguas son descargadas a afluentes de aguas superficiales.

**Fotografía 3.2.4-3** Laguna de oxidación típica en la cuenca del río Bogotá



Esta se localiza a lo largo de los municipios que cobijan la cuenca



**Fuente:** Tomado de <http://static.panoramio.com/photos/large/52194892.jpg>

<sup>1</sup> Marreno, Crispulo, Humedales de los llanos Venezolanos, Universidad de los Llanos Ezequiel Zamora “UNELLEZ”, Guanare estado Portuguesa, 2011

 <p>INGENIERÍA &amp; DISEÑO S.A.</p>	 <p>Codensa es una empresa del Grupo Enel</p>		<p><b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL</b>  <b>Capítulo 3. Caracterización del área de influencia del proyecto</b>  CONTRATO 5700004954</p>
---	--	---	---

Adicionalmente, se encuentran jagüeyes a lo largo del área de influencia, los cuales son utilizados para alimentación de ganado. La relación de estos cuerpos de agua se encuentra en la Tabla 3.2.4-2.

**Tabla 3.2.4-2** Inventario de sistemas lénticos en el Área de Influencia Indirecta

Registro fotográfico	Descripción
<p><b>Fotografía 3.2.4-4</b> Sistema léntico lago NN1</p>  <p><b>Fuente:</b> ACON, Miembro Grupo INERCO, 2014.</p>	<p><b>Departamento:</b> Cundinamarca  <b>Municipio:</b> Gachancipá  <b>Vereda:</b> San José  <b>Nombre del cuerpo de agua:</b> Lago NN1  <b>Coordenadas</b>  <b>Norte:</b> 1048227  <b>Este:</b> 1021709  <b>Tipo de sistema:</b> Lago.  <b>Tipo de propiedad donde se encuentra la fuente:</b> Privada  <b>Existencia de cultivos:</b> No  <b>Presencia de animales:</b> No  <b>Temporalidad del cuerpo de agua:</b> Permanente.  <b>Tipo de vegetación circundante:</b> Pastizales.  <b>Estado del tiempo:</b> Soleado.  <b>Uso de la fuente de agua:</b> Ganadería.</p>
<p><b>Fotografía 3.2.4-5</b> Sistema léntico lago NN2</p>  <p><b>Fuente:</b> ACON, Miembro Grupo INERCO, 2014.</p>	<p><b>Departamento:</b> Cundinamarca  <b>Municipio:</b> Cogua  <b>Vereda:</b> Mortiño  <b>Nombre del cuerpo de agua:</b> Lago NN2  <b>Coordenadas</b>  <b>Norte:</b> 1051531  <b>Este:</b> 1013947  <b>Tipo de sistema:</b> Lago.  <b>Tipo de propiedad donde se encuentra la fuente:</b> Privada  <b>Existencia de cultivos:</b> No  <b>Presencia de animales:</b> Si, Patos.  <b>Temporalidad del cuerpo de agua:</b> Permanente.  <b>Tipo de vegetación circundante:</b> Pastizales, Arboles  <b>Estado del tiempo:</b> Soleado.  <b>Uso de la fuente de agua:</b> Bebedero de agua para el ganado.</p>

 <p>INGENIERÍA &amp; DISEÑO S. A.</p>			<p><b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL</b></p> <p><b>Capítulo 3. Caracterización del área de influencia del proyecto</b></p> <p>CONTRATO 5700004954</p>
Codensa es una empresa del Grupo Enel			

Registro fotográfico	Descripción
<p><b>Fotografía 3.2.4-6 Sistema léntico lago NN3</b></p>  <p><b>Fuente:</b> ACON, Miembro Grupo INERCO, 2014.</p>	<p><b>Departamento:</b> Cundinamarca  <b>Municipio:</b> Nemocón  <b>Vereda:</b> Agua Clara  <b>Nombre del cuerpo de agua:</b> Lago NN3  <b>Coordenadas</b>  <b>Norte:</b> 1050490  <b>Este:</b> 1017078  <b>Tipo de sistema:</b> Lago.  <b>Tipo de propiedad donde se encuentra la fuente:</b> Privada  <b>Existencia de cultivos:</b> No  <b>Presencia de animales:</b> No  <b>Temporalidad del cuerpo de agua:</b> Permanente.  <b>Tipo de vegetación circundante:</b> Arbustos, Pastizales.  <b>Estado del tiempo:</b> Soleado.  <b>Uso de la fuente de agua:</b> Minería.  <b>Observación:</b> Se utiliza para procesos industriales de minería.</p>
<p><b>Fotografía 3.2.4-7 Sistema léntico lago NN4</b></p>  <p><b>Fuente:</b> ACON, Miembro Grupo INERCO, 2014.</p>	<p><b>Departamento:</b> Cundinamarca  <b>Municipio:</b> Nemocón  <b>Vereda:</b> Agua Clara  <b>Nombre del cuerpo de agua:</b> Lago NN4  <b>Coordenadas</b>  <b>Norte:</b> 1049871  <b>Este:</b> 1016796  <b>Tipo de sistema:</b> Lago.  <b>Tipo de propiedad donde se encuentra la fuente:</b> Privada  <b>Existencia de cultivos:</b> No  <b>Presencia de animales:</b> Si, Vacas.  <b>Temporalidad del cuerpo de agua:</b> Permanente.  <b>Tipo de vegetación circundante:</b> Pastizales.  <b>Uso de la fuente de agua:</b> Animales  <b>Estado del tiempo:</b> Soleado.  <b>Uso de la fuente de agua:</b> Bebedero de agua para ganado. Animales.</p>



 <p>INGENIERÍA &amp; DISEÑO S. A.</p>	 <p>Codensa es una empresa del Grupo Enel</p>		<p><b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL</b>  <b>Capítulo 3. Caracterización del área de influencia del proyecto</b>  CONTRATO 5700004954</p>
--	--	---	---

Registro fotográfico	Descripción
<p><b>Fotografía 3.2.4-8 Sistema léntico lago NN5</b></p>  <p><b>Fuente:</b> ACON, Miembro Grupo INERCO, 2014.</p>	<p><b>Departamento:</b> Cundinamarca  <b>Municipio:</b> Nemocón  <b>Vereda:</b> agua clara  <b>Nombre del cuerpo de agua:</b> Lago NN5  <b>Coordenadas</b>  <b>Norte:</b> 1049530  <b>Este:</b> 1016712  <b>Tipo de sistema:</b> Lago.  <b>Tipo de propiedad donde se encuentra la fuente:</b> Privada  <b>Existencia de cultivos:</b> No  <b>Presencia de animales:</b> Si, Vacas.  <b>Temporalidad del cuerpo de agua:</b> Permanente.  <b>Tipo de vegetación circundante:</b> Pastizales.  <b>Estado del tiempo:</b> Soleado.  <b>Uso de la fuente de agua:</b> Bebedero de agua para ganado. Animales.</p>
<p><b>Fotografía 3.2.4-9 Sistema léntico PTAR</b></p>  <p><b>Fuente:</b> ACON, Miembro Grupo INERCO, 2014.</p>	<p><b>Departamento:</b> Cundinamarca  <b>Municipio:</b> Gachancipá  <b>Vereda:</b> El Roble  <b>Nombre del cuerpo de agua:</b> PTAR Gachancipá  <b>Coordenadas</b>  <b>Norte:</b> 1044145  <b>Este:</b> 1021906  <b>Tipo de sistema:</b> Reservorio  <b>Tipo de propiedad donde se encuentra la Fuente:</b> Privada, CAR  <b>Existencia de cultivos:</b> No.  <b>Presencia de animales:</b> No.  <b>Temporalidad del cuerpo de agua:</b> Permanente.  <b>Tipo de vegetación circundante:</b> Pastizales, arbustos.  <b>Uso de la fuente de agua:</b> Sistema de tratamiento de aguas residuales.  <b>Estado del tiempo:</b> Nublado.  <b>Uso de la fuente de agua:</b> Sistema de tratamiento de aguas Residuales.</p>

**Fuente:** ACON, Miembro Grupo INERCO, 2014.

## C Patrones de drenaje a nivel regional

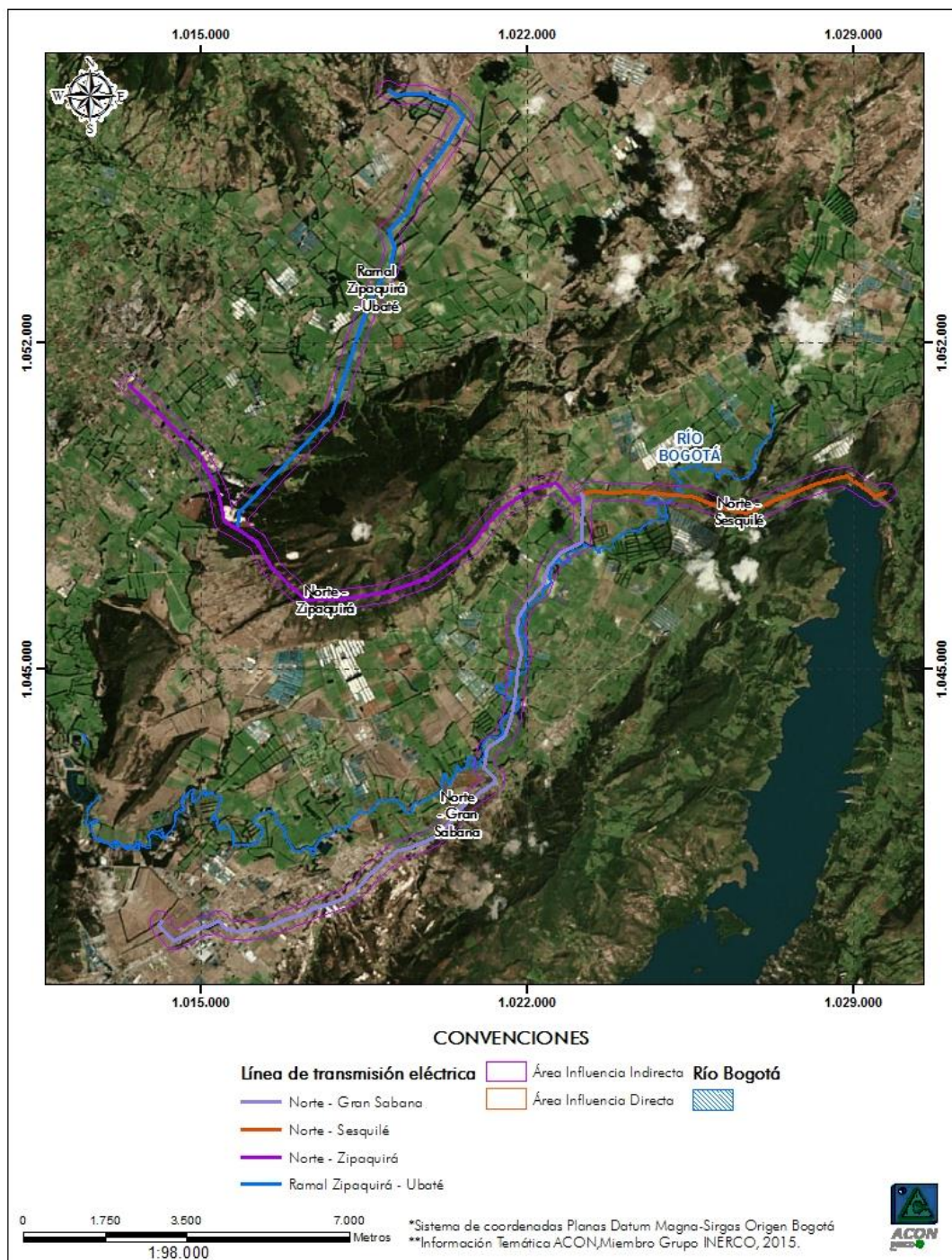
Se define como patrón de drenaje a la forma como una red se aprecia en un área determinada, la cual es función de la relación entre infiltración y el escurrimiento propio de cada material, los que a su vez dependen de la pendiente de las laderas y del área de drenaje, cobertura vegetal, resistencia de la litología, caudal, permeabilidad del suelo, nivel e intensidad de lluvias y actividad estructural. La caracterización y el análisis del patrón de drenaje constituyen una herramienta básica de definición del sistema hidrológico de un área

de estudio y sirve para definir el comportamiento de una unidad hídrica, así como su forma y orientación entre otras.

En la cuenca del río Bogotá y sus afluentes existen llanuras de inundación, producto de los desbordes del cauce de los ríos en cada sector. Estas llanuras presentan variaciones en su inclinación originando un patrón de drenaje subparalelos en las corrientes menores, con dirección Norte-Sur, con sectores en los que los canales se presentan levemente meandriformes. En los casos de inclinaciones mayores el patrón de drenaje es también subparalelo y los canales son menos meandriformes. Las zonas de baja pendiente se caracterizan entonces por los meandros, los que dependiendo de su tiempo de formación pueden estar en mayor o menor grado rellenos por vegetación y sedimentos.

Los meandros, paleocauces o cinturones alternados, que le da al cauce, visto en planta, forma de S (sinuosidad mayor de 2). Está localizado en zonas de baja pendiente, donde se combina la erosión de las bancas y transporte de corta distancia formando curvas pronunciadas y estrangulamientos.

**Figura 3.2.4-2** Cauce meandriforme unicanal, río Bogotá, municipio de Tocancipá



Fuente "ArcGIS® Online, 2015" Adaptado por ACON, Miembro Grupo INERCO, 2015.

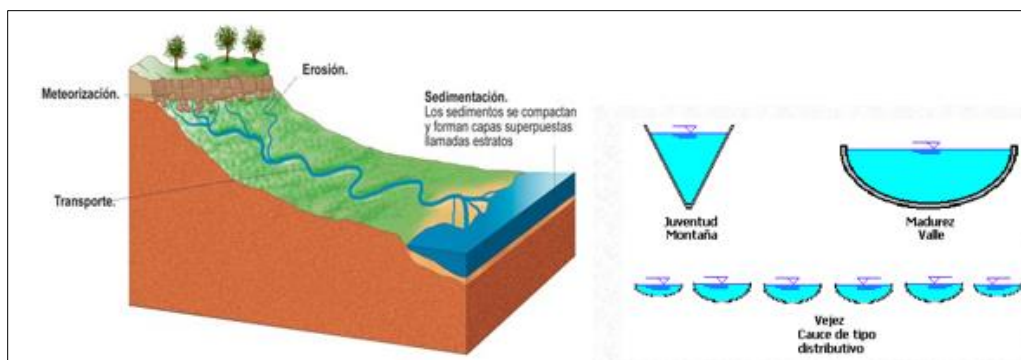


## D Patrones de drenaje a nivel local y dinámica fluvial

Los patrones de drenaje se pueden clasificar de acuerdo con el ciclo erosivo. Existen tres tipos: de montaña, pie de monte y de llanura; (juventud, madurez y vejez). En la Figura 3.2.4-3 las zonas de montaña corresponden a la de producción de sedimentos, pie de monte a la transferencia de sedimentos y la llanura la deposición de sedimentos.

El área de influencia indirecta se ubica en la cuenca alta del río Bogotá, el cual se caracteriza por ser un río erosivo, al igual que los ríos Neusa, Checua y Teusacá. Las anteriores corrientes se distinguen por tener un cauce de altas pendientes, son rápidos, con saltos, cascadas, etc., erosionan el lecho y sus orillas, arrastrando material sedimentario.

**Figura 3.2.4-3** Representación de la etapa de los ríos



En el caso del río Bogotá a la altura del proyecto se encuentra en etapa de erosión (juventud) y proceso erosivo

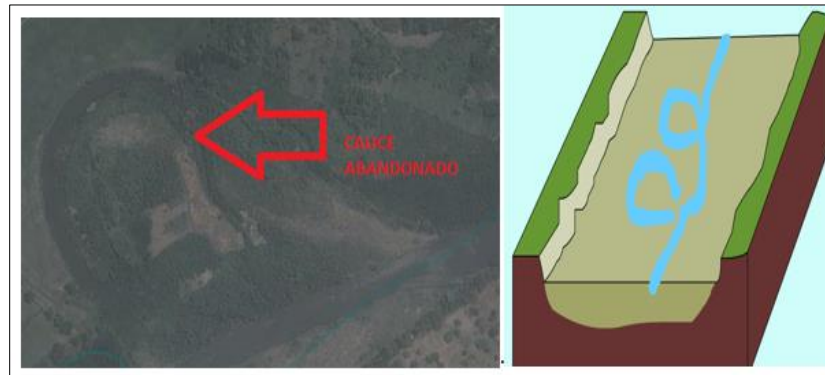
**Fuente:** Disponible en <http://www.aula2005.com>

En el río Bogotá, a lo largo de su recorrido, se distinguen dos tipos de cauce: rectos y meandriformes; los primeros poseen una sinuosidad muy baja en una distancia de varias veces el ancho de la sección transversal de éste. El fondo del cauce es de todas maneras sinuoso y muestra partes más profundas (pozos), alternando con partes menos profundas donde el flujo tiene mayor velocidad.

A la altura de Girardot se desvían de un alineamiento rectilíneo e inicia la formación de curvas, de esta manera la corriente no se distribuye uniformemente en la sección transversal sino que es dirigida de una orilla a otra. El deslizamiento de las orillas, la depositación no uniforme del material en el lecho, los escombros tales como árboles, y la fuerza de coriolis debido a la rotación de la tierra se consideran causas del desarrollo de meandros en los ríos (Ochoa)<sup>2</sup> (ver Figura 3.2.4-4).

\* Cauces meándricos con proceso dinámicos intensos producto de esta intensidad, cauces abandonados,

**Figura 3.2.4-4** Patrón de drenaje característico de las corrientes del río Bogotá\*



**Fuente:** Londoño<sup>3</sup>. Adaptado por ACON, Miembro Grupo INERCO, 2014.

## **E Zonas de recarga y descarga**

Esta información se relaciona en el numeral 3.2.5.4 Zonas de recarga y descarga del presente capítulo.

## **F Identificación del régimen hidrológico y caudales característicos de las principales corrientes**

A continuación, se describe la metodología empleada para la selección de estaciones tanto para el área de influencia directa como indirecta.

## **G Selección de las estaciones hidrológicas**

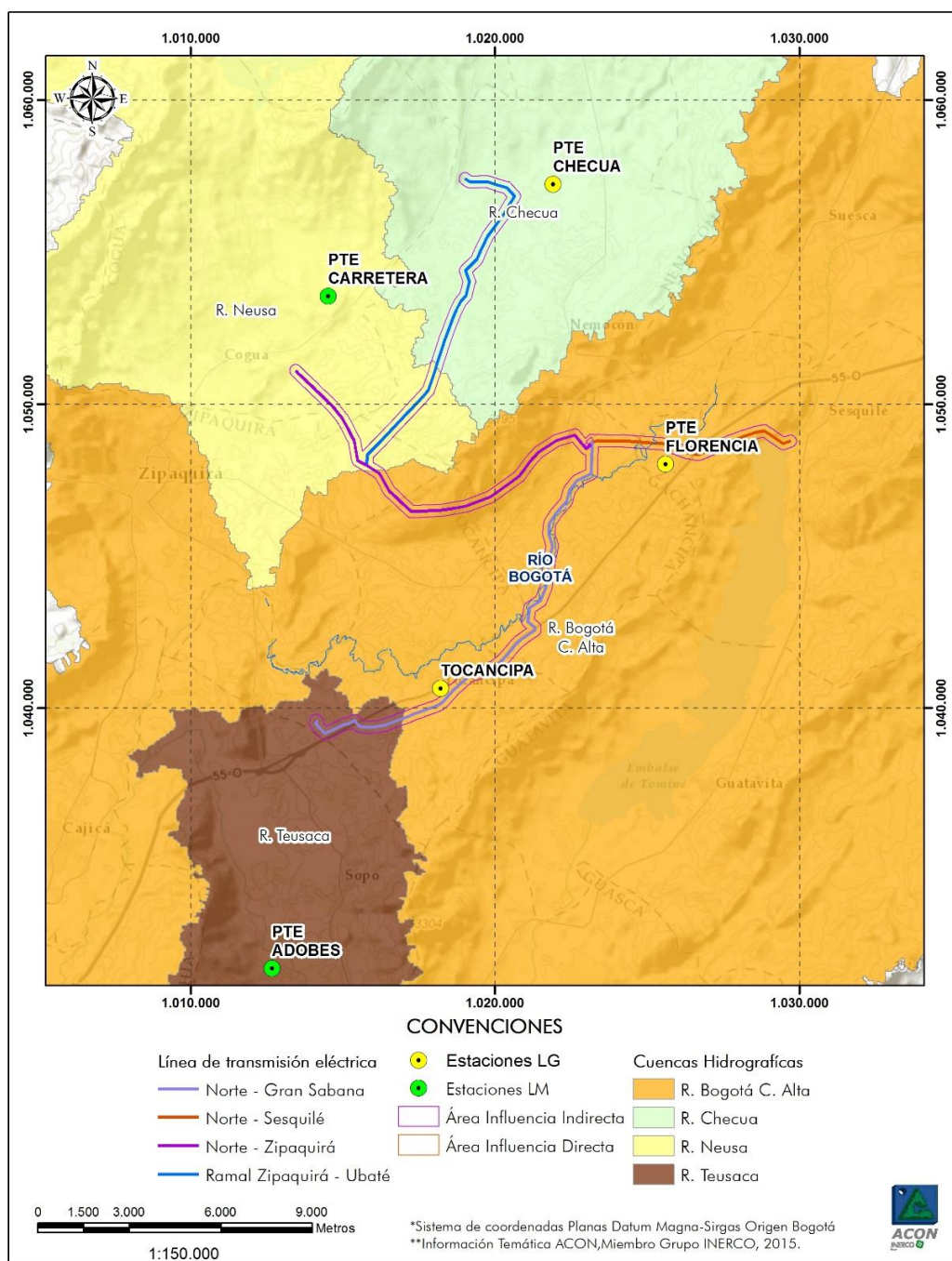
Los datos fueron obtenidos de las estaciones operadas por la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR). Para la selección de estaciones se consideró la existencia de registros continuos en las cuencas aferentes y de influencia directa del proyecto; obteniéndose así un conjunto de 5 estaciones, entre limnimétricas y limnigráficas (ver Figura 3.2.4-5).

madres viejas o paleocauces.

<sup>2</sup> OCHOA, Tomás. Hidráulica de ríos y procesos morfológicos. Bogotá: Ecoe Ediciones, 2011.

<sup>3</sup> LONDOÑO, Carlos. Cuencas Hidrográficas. Bases Conceptuales - Caracterización - Planificación - Administración. Ibagué: Universidad del Tolima, 2001.

**Figura 3.2.4-5 Localización de las estaciones hidrológicas**



LG: limnigráficas; LM: limnimétricas. Coordenadas: Magna Colombia Bogotá

**Fuente:** CAR, 2014. Adaptado por ACON, Miembro Grupo INERCO, 2014.

Las estaciones seleccionadas son operadas por la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR), las cuales presentan un historial continuo del registro. Considerando que la organización meteorológica mundial recomienda el uso de años comunes se determinó el periodo de 1993 a 2011. En la Tabla 3.2.4-3 se puede apreciar la información asociada y la serie de tiempo evaluada para este estudio.

**Tabla 3.2.4-3** Periodo de registro de las estaciones meteorológicas seleccionadas

Este	Norte	Código	Nombre	Corriente	Categoría	Instalación	Periodo de análisis
1.014.517,20	1.053.555,50	21207320	PTE CARRETERA	Neusa	LM	15/02/1946	1993-2012
1.012.672,90	1.031.438,30	21207880	PTE ADOBES	Teusaca	LM	15/02/1964	1993-2012
1.021.908,70	1.057.243,50	21208750	PTE CHECUA	Checua	LG	15/09/1986	1993-2012
1.018.216,80	1.040.654,80	21207920	TOCANCIPÁ	Bogotá	LG	15/05/1950	1993-2012

LG: limnigráficas; LM: limnimétricas. Coordenadas: Magna Colombia Bogotá

**Fuente:** CAR, 2014. Adaptado por ACON, Miembro Grupo INERCO, 2014.

## H Procesamiento de la información

## I Análisis de la consistencia

Se utilizó el método del Water Resources Council (Chow)<sup>4</sup> para la realización de ajustes de series dudosas, que varían significativamente de la tendencia de la información hidrológica. El análisis de consistencia que se le aplica a los valores de las series de datos, es recomendado para detectar los puntos que se separan de los valores máximos por encima o por debajo y que puedan afectar significativamente la magnitud de los parámetros estadísticos<sup>5</sup> con un nivel de significancia del 10%. Utilizando la ecuación de frecuencia se puede hallar los datos dudosos altos con la siguiente expresión:

$$Y_H = Y + K_n S_Y$$

Donde  $Y_H$  es el umbral dudoso alto en unidades logarítmicas,  $Y$  y  $S_Y$  son variables estadísticas para un tamaño de la muestra.  $K_n$  corresponde a los valores obtenidos de la tabla del U.S. Water Resources para la distribución normal.

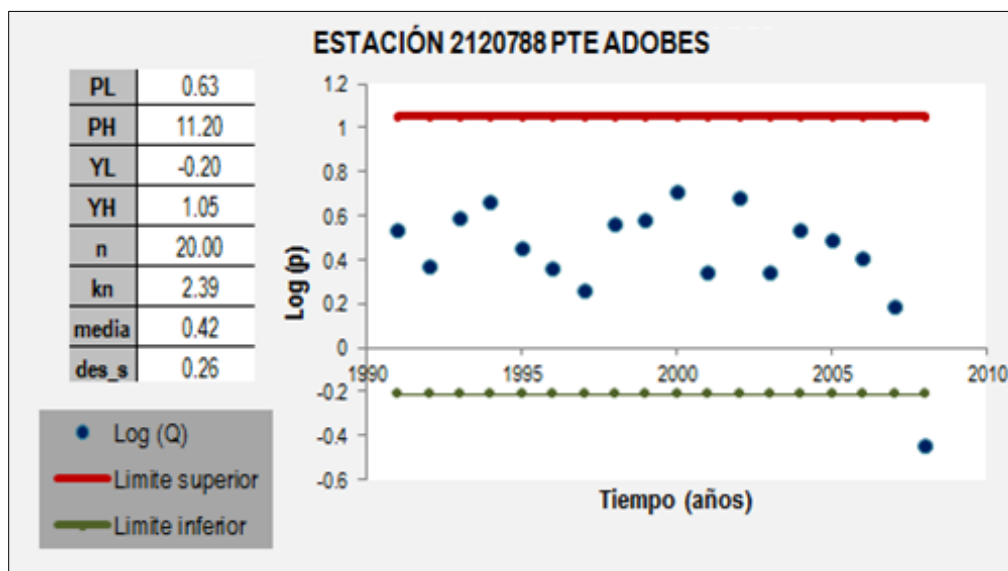
Los valores considerados como bajos o altos se eliminan del registro y se repite el análisis de frecuencia. Del Gráfico 3.2.4-1 al **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se muestra la prueba de aplicación de esta metodología. De los análisis realizados se

<sup>4</sup> Chow, Ven Te. Hidrología aplicada. Bogotá: McGraw-Hill, 1994

<sup>5</sup> Ibid.

concluyó que la estación Puente Adobes presenta un punto muy por debajo del límite inferior de la tendencia de los datos. En este caso se suprimió el dato del registro y se repitió el análisis. Las demás estaciones se encontraron dentro del rango de aceptación, para ser tenidas en cuenta en el componente hidrológico.

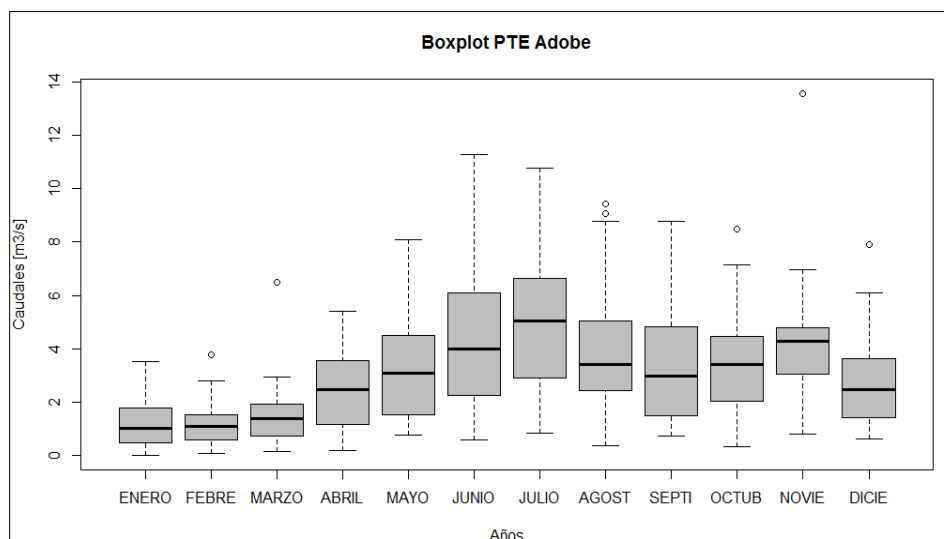
**Gráfico 3.2.4-1** Consistencia de datos hidrológicos medios mensuales multianuales, estación Pte. Adobes



Valores  $K_n$ , con un nivel de significancia del 10% para la distribución normal en la prueba de datos dudosos (Chow, 1994)

**Fuente:** CAR, 2014. Método US Water Resources Council, 1981. Adaptado por ACON, Miembro Grupo INERCO, 2014.

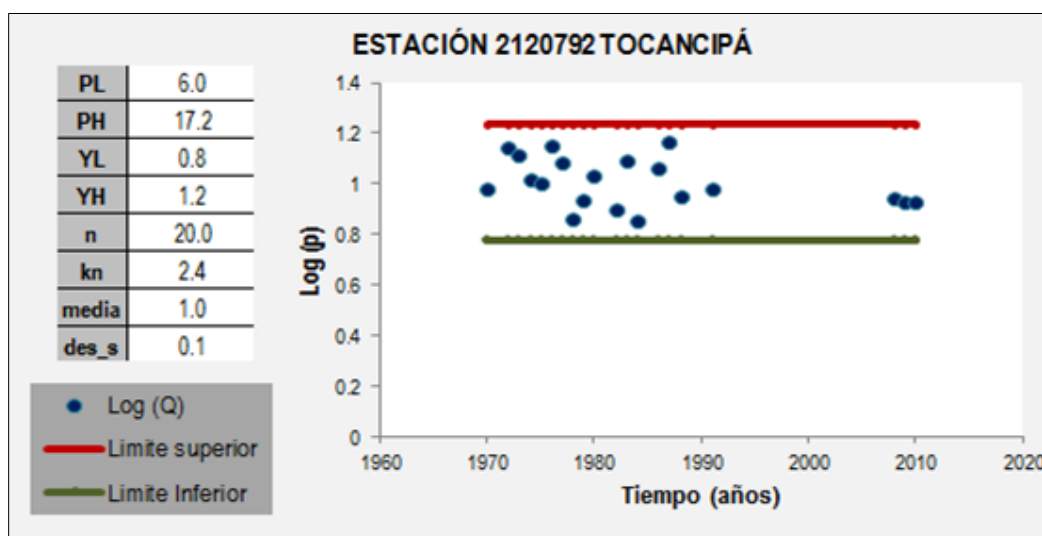
**Gráfico 3.2.4-2** Consistencia de datos hidrológicos medios mensuales multianuales, estación Pte. Arboletes (*outliers*)



Valores  $K_n$ , con un nivel de significancia del 10% para la distribución normal en la prueba de datos dudosos (Chow, 1994)

**Fuente:** CAR, 2014. Método US Water Resources Council, 1981. Adaptado por ACON, Miembro Grupo INERCO, 2014.

**Gráfico 3.2.4-3** Consistencia de datos hidrológicos medios mensuales multianuales, estación Tocancipá

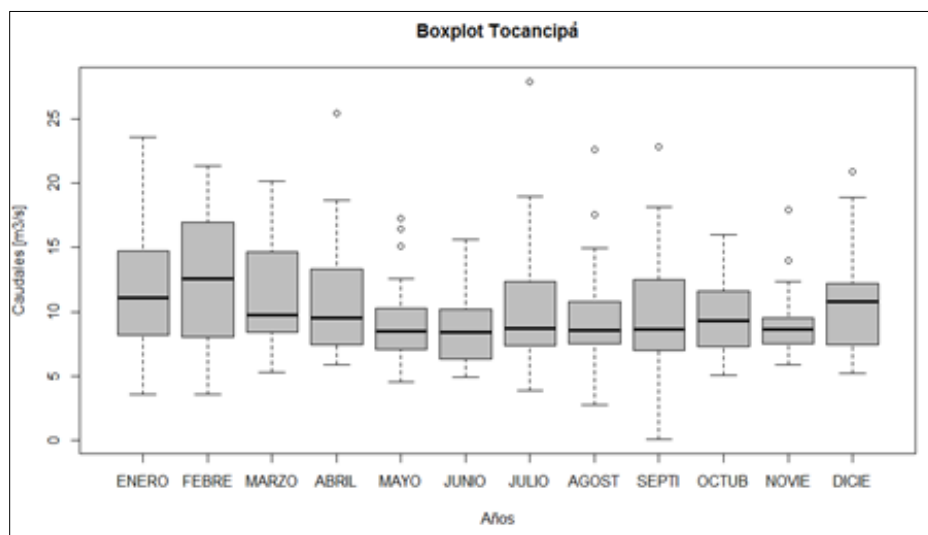


Valores  $K_n$ , con un nivel de significancia del 10% para la distribución normal en la prueba de datos dudosos (Chow, 1994)

**Fuente:** CAR, 2014. Método US Water Resources Council, 1981. Adaptado por ACON, Miembro Grupo INERCO, 2014.



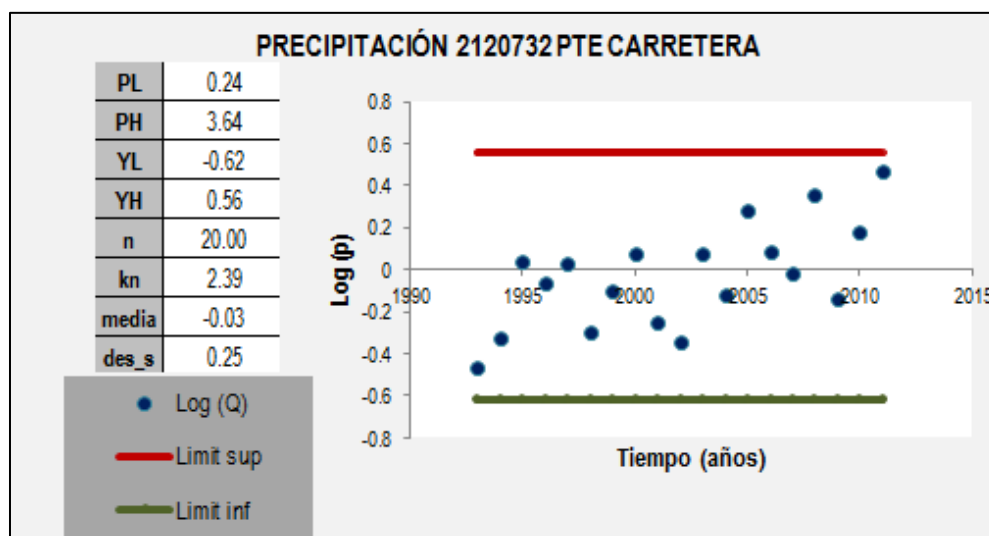
**Gráfico 3.2.4-4** Consistencia de datos hidrológicos medios mensuales multianuales, estación Tocancipá (*outliers*)



Valores  $K_n$ , con un nivel de significancia del 10% para la distribución normal en la prueba de datos dudosos (Chow, 1994)

**Fuente:** CAR, 2014. Método US Water Resources Council, 1981. Adaptado por ACON, Miembro Grupo INERCO, 2014.

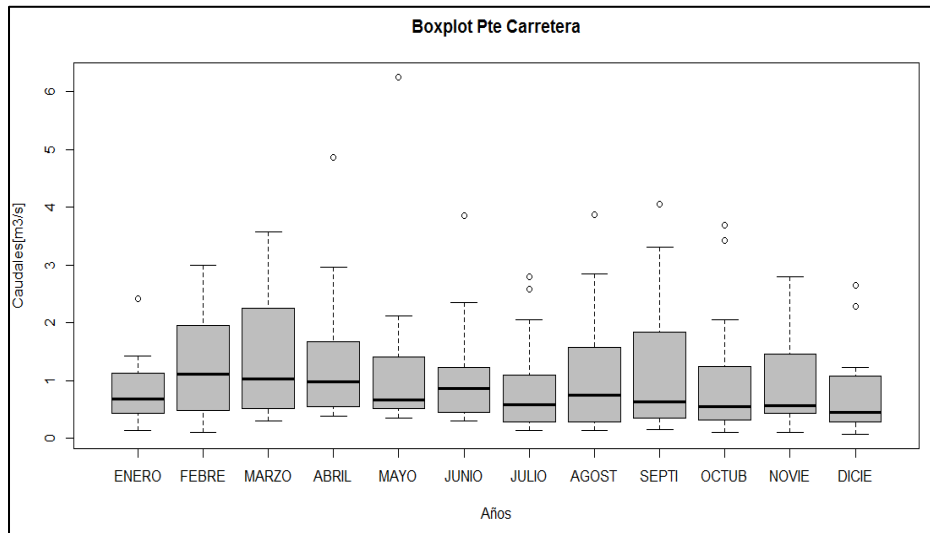
**Gráfico 3.2.4-5** Consistencia de datos hidrológicos medios mensuales multianuales, estación Pte. Carretera



Valores  $K_n$ , con un nivel de significancia del 10% para la distribución normal en la prueba de datos dudosos (Chow, 1994)

**Fuente:** CAR, 2014. Método US Water Resources Council, 1981. Adaptado por ACON, Miembro Grupo INERCO, 2014.

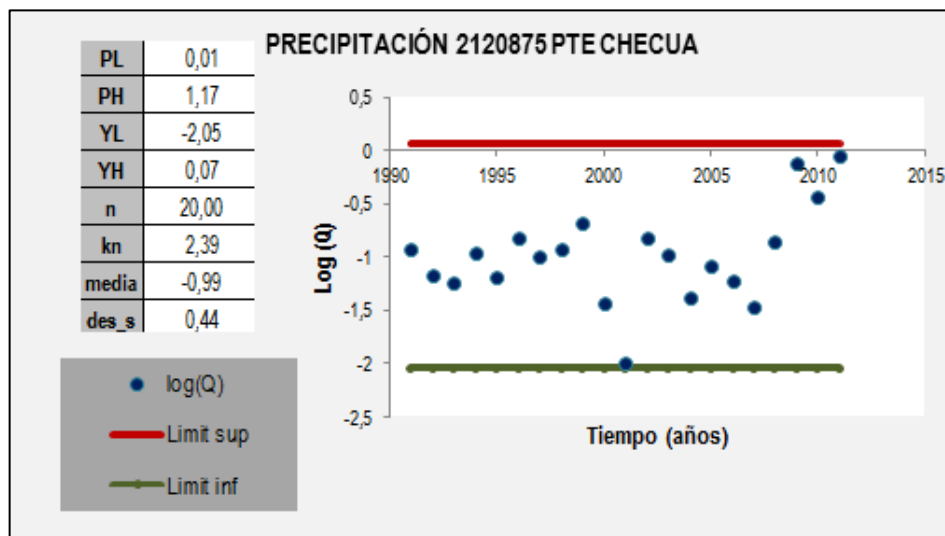
**Gráfico 3.2.4-6** Consistencia de datos hidrológicos medios mensuales multianuales, estación Pte. Carretera (*outliers*)



Valores  $K_n$ , con un nivel de significancia del 10% para la distribución normal en la prueba de datos dudosos (Chow, 1994)

**Fuente:** CAR, 2014. Método US Water Resources Council, 1981. Adaptado por ACON, Miembro Grupo INERCO, 2014.

**Gráfico 3.2.4-7** Consistencia de datos hidrológicos medios mensuales multianuales, estación Pte. Checua

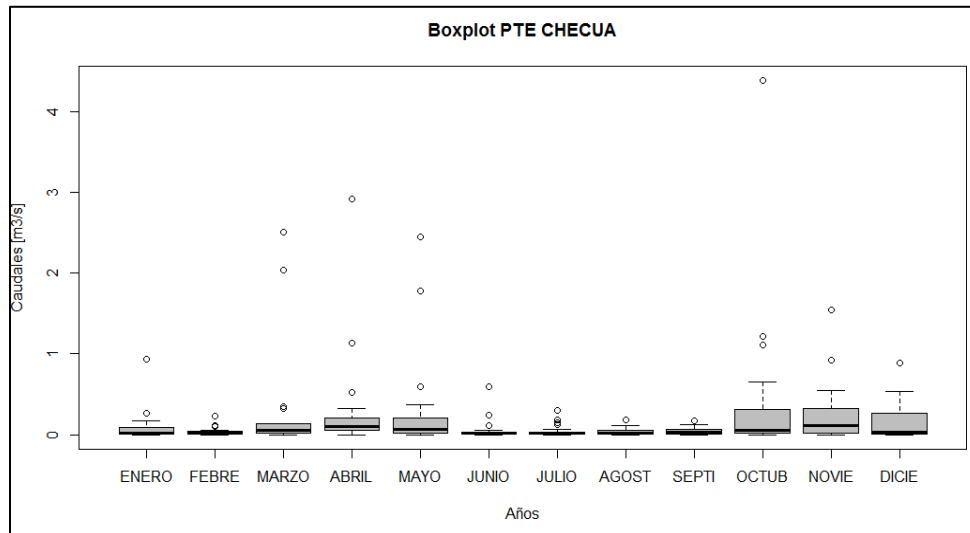


Valores  $K_n$ , con un nivel de significancia del 10% para la distribución normal en la prueba de datos dudosos (Chow, 1994)

**Fuente:** CAR, 2014. Método US Water Resources Council, 1981. Adaptado por ACON, Miembro Grupo INERCO, 2014.



**Gráfico 3.2.4-8** Consistencia de datos hidrológicos medios mensuales multianuales, estación Pte. Checua (*outliers*)



Valores  $K_n$ , con un nivel de significancia del 10% para la distribución normal en la prueba de datos dudosos (Chow, 1994)

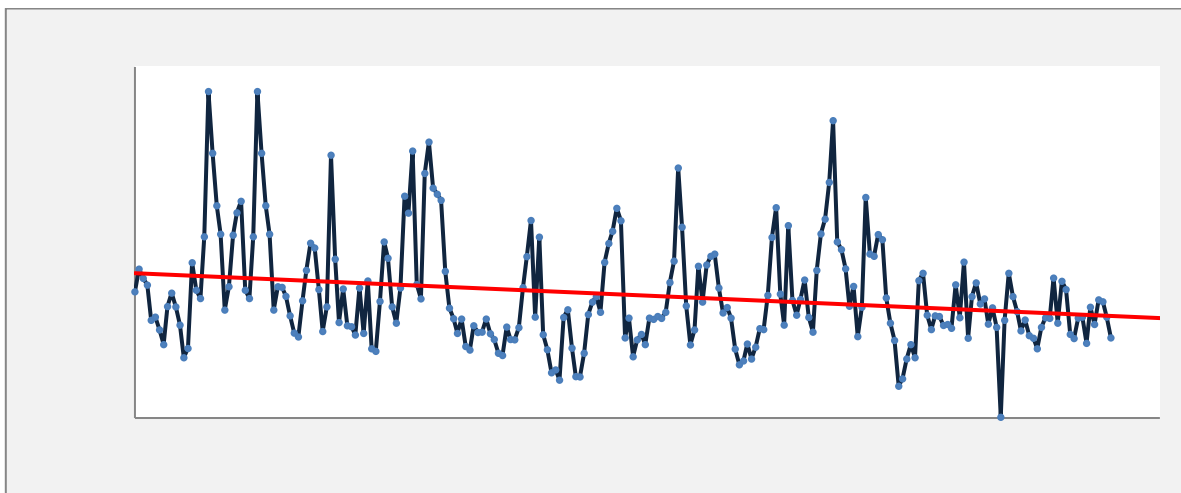
**Fuente:** CAR, 2014. Método US Water Resources Council, 1981. Adaptado por ACON, Miembro Grupo INERCO, 2014.

## II Río Bogotá (cuenca alta)

### • Hidrograma de caudal anual, tendencia de los caudales río Bogotá

Los caudales medios mensuales tienen una marcada tendencia a disminuir, ratificando el control del sistema de embalses sobre el río, además de los innumerables usos de agua que a esta altura presenta su cuenca. En el Gráfico 3.2.4-9 se aprecia la serie de caudales medios mensuales en el río Bogotá en su parte alta.

**Gráfico 3.2.4-9** Tendencia de los caudales, río Bogotá, en la cuenca alta



**Fuente:** CAR, 2014. Adaptado por ACON, Miembro Grupo INERCO, 2014.

- **Curva de duración de caudales, río Bogotá**

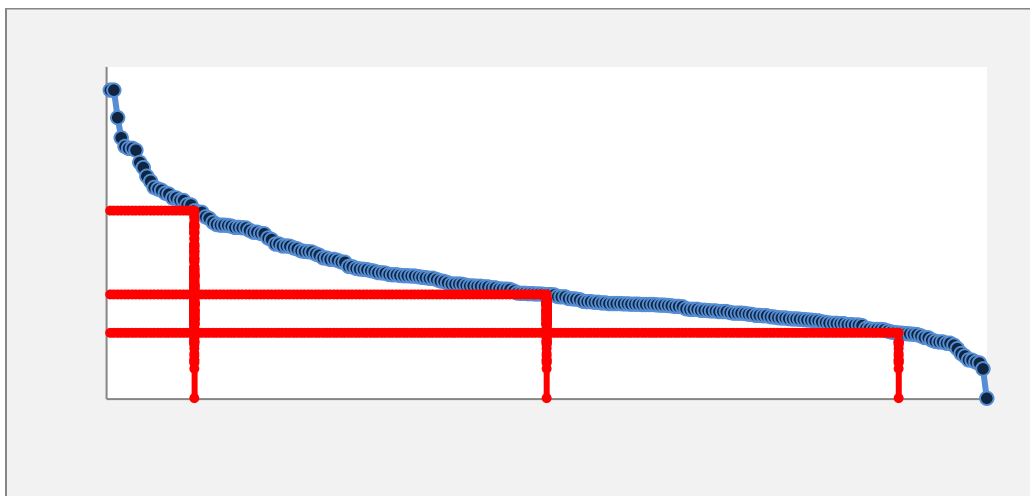
En la Tabla 3.2.4-4 se presentan los registros de los caudales en la estación Tocancipá y en el Gráfico 3.2.4-10 se muestran las formas típicas de la curva de duración de los caudales medios. También se puede apreciar el caudal ambiental, que para el río a la altura de la estación Tocancipá es de 5,15 m<sup>3</sup>/s.

**Tabla 3.2.4-4** Caudales característicos, río Bogotá, en la cuenca alta

	Registros Caudales m <sup>3</sup> /s
Máximo registro	27,9
Menor registro	0,1
Registro 10%, o caudal de aguas altas	17,021
Registro 50%, o caudal promedio	9,459
Registro del 90%, o caudal base	5,973
Registro del 95%, o caudal ecológico	5,155

**Fuente:** CAR, 2014. Adaptado por ACON, Miembro Grupo INERCO, 2014.

**Gráfico 3.2.4-10** Curva de duración de caudales, río Bogotá, en la cuenca alta



**Fuente:** CAR, 2014. Adaptado por ACON, Miembro Grupo INERCO, 2014.

- Análisis probabilístico río Bogotá cuenca alta**

A continuación se presentan en la Tabla 3.2.4-5 el resultado de la estadística de caudales máximos de las series seleccionadas y en la Tabla 3.2.4-6 y el Gráfico 3.2.4-11 los resultados de la distribución que más se ajustó a la tendencia.

**Tabla 3.2.4-5** Estadística descriptiva de la serie de caudales máximos, estación Tocancipá, cuenca alta del río Bogotá

Variable	Valor
Número de datos	17
Mínimo	2,00
Máximo	8,00
Promedio	5,24
Desviación estándar	1,56
Mediana	5,00
Coeficiente de variación	0,298
Coeficiente de asimetría	-0,442
Coeficiente de Curtosis	2,38

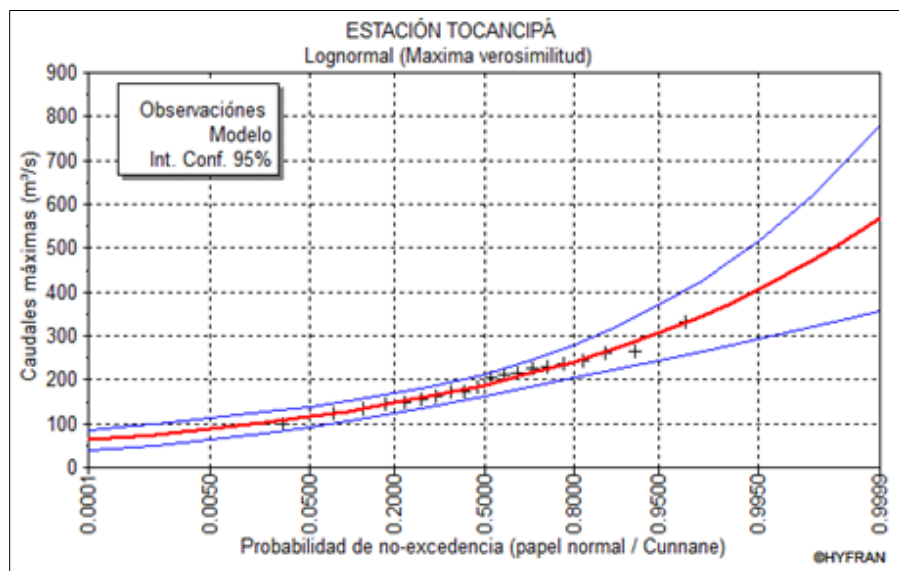
**Fuente:** CAR, 2014. Adaptado por ACON, Miembro Grupo INERCO, 2014.

**Tabla 3.2.4-6** Caudales máximos para diferentes periodos de retorno, estación Tocancipá, cuenca alta del río Bogotá

TR	Caudales (m <sup>3</sup> /s)
100	376
50	346
20	307
10	275
5	242
3	214
2	188

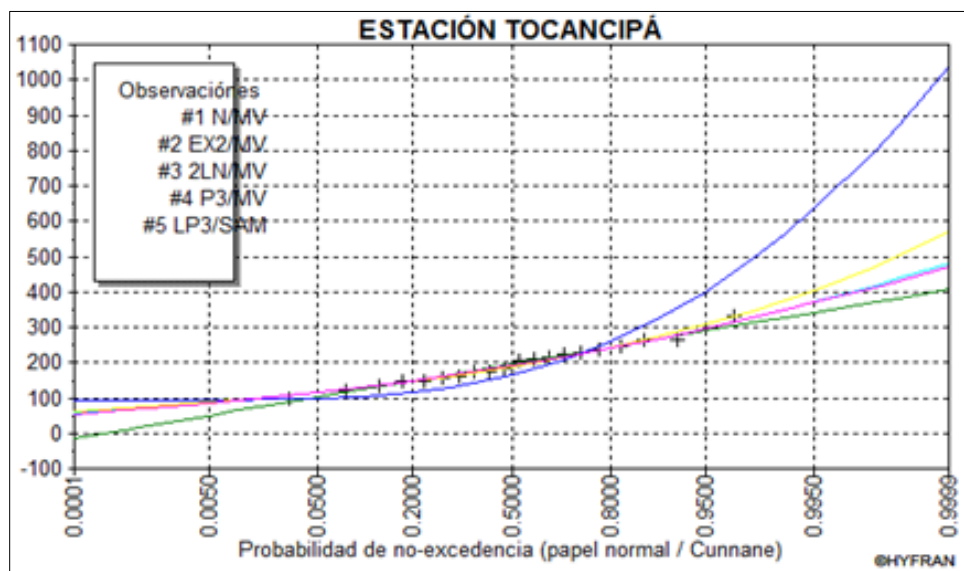
**Fuente:** CAR, 2014. Adaptado por ACON, Miembro Grupo INERCO, 2014.

**Gráfico 3.2.4-11** Probabilidad de ocurrencia de caudales máximos, estación Tocancipá, cuenca alta del río Bogotá



**Fuente:** CAR, 2014. Adaptado por ACON, Miembro Grupo INERCO, 2014.

**Gráfico 3.2.4-12** Comparación de probabilidades de ocurrencia de caudales máximos, estación Tocancipá, cuenca alta del río Bogotá



**Fuente:** CAR; IDEAM, 2013. Adaptado por ACON, Miembro Grupo INERCO, 2014.

El análisis de frecuencias de caudales mínimos demostró que la distribución normal (método máxima verosimilitud) es la que mejor se ajusta a los datos de la estación (ver la Tabla 3.2.4-7 y Tabla 3.2.4-8, el Gráfico 3.2.4-13 y Gráfico 3.2.4-14).

**Tabla 3.2.4-7** Estadística descriptiva de la serie de caudales mínimos, estación Tocancipá, cuenca alta del río Bogotá

Variable	Valor
Número de datos	17
Mínimo	2,00
Máximo	8,00
Promedio	5,24
Desviación estándar	1,56
Mediana	5,00
Coeficiente de	0,298
Coeficiente de	-0,442
Coeficiente de Curtosis	2,38

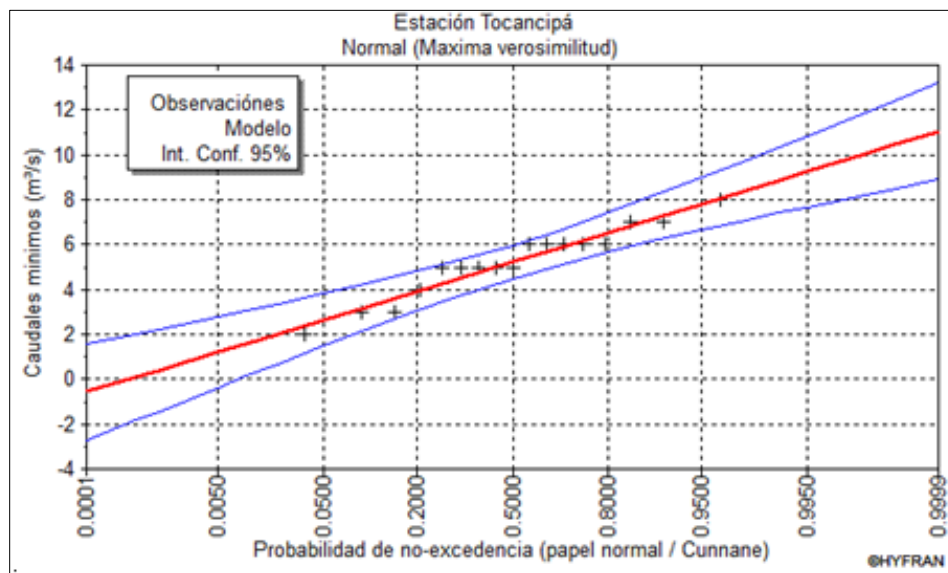
**Fuente:** CAR, 2014. Adaptado por ACON, Miembro Grupo INERCO, 2014.

**Tabla 3.2.4-8** Caudales mínimos para diferentes periodos de retorno, estación Tocancipá, cuenca alta del río Bogotá

TR	Caudales (m <sup>3</sup> /s)
100	1,60
50	2,03
20	2,66
10	3,23
5	3,92
3	4,42
2	5,24

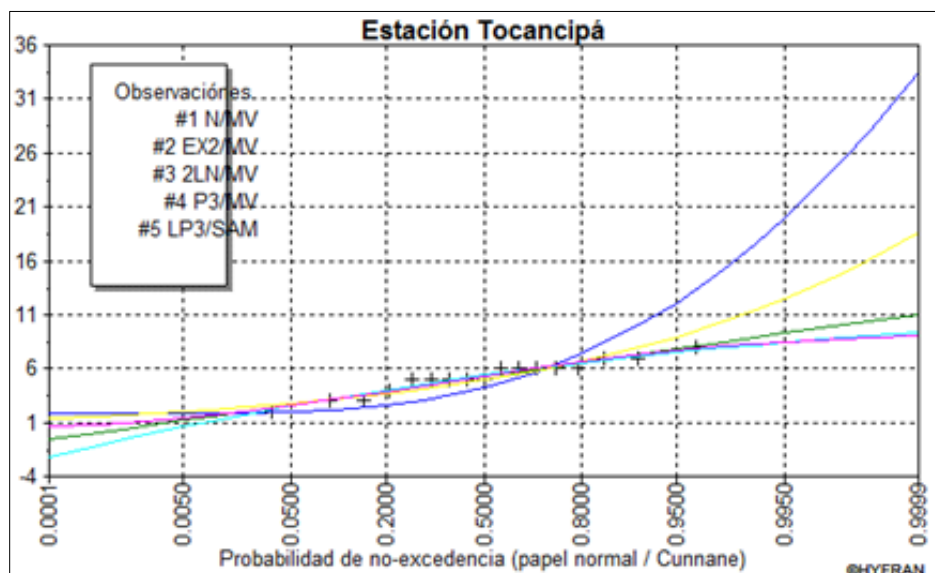
**Fuente:** CAR, 2014. Adaptado por ACON, Miembro Grupo INERCO, 2014.

**Gráfico 3.2.4-13** Probabilidad de ocurrencia de caudales mínimos, estación Tocancipá, cuenca alta del río Bogotá



**Fuente:** CAR; IDEAM, 2013. Adaptado por ACON, Miembro Grupo INERCO, 2014.

**Gráfico 3.2.4-14** Comparación de probabilidad de ocurrencia de caudales mínimos, estación Tocancipá, cuenca alta del río Bogotá



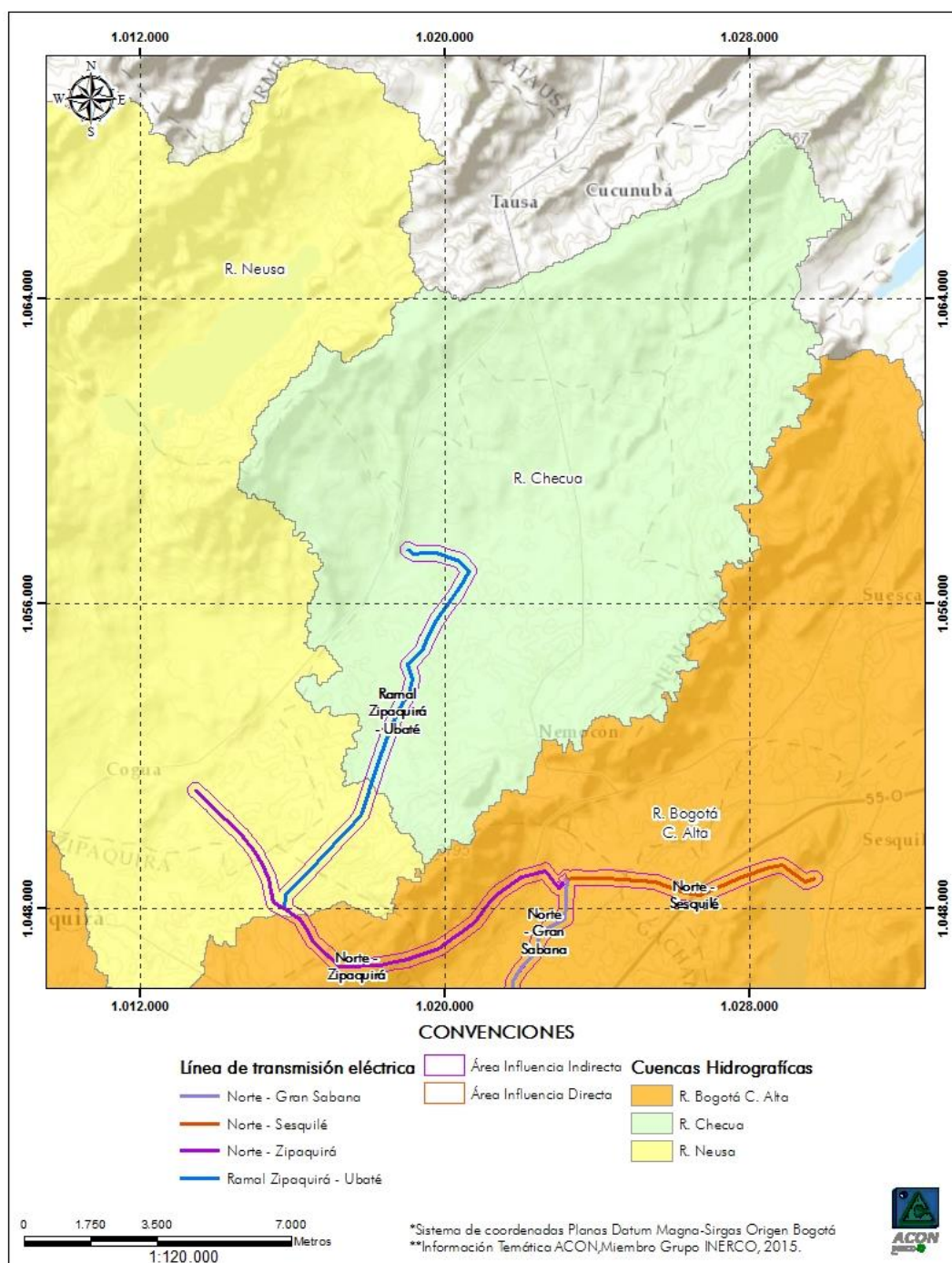
**Fuente:** CAR; IDEAM, 2013. Adaptado por ACON, Miembro Grupo INERCO, 2014.

### III Río Checua

Tiene su nacimiento a una altura cercana a los 3.151 m s.n.m., en el municipio de Cucunubá (Cundinamarca) y corre en dirección Este-Oeste hasta desembocar en el Río Neusa a los 2.573 m s.n.m. Sus drenajes están dominados por la pendiente regional, lo cual le impone una dirección predominante, con cauces casi paralelos, lo que es común en las zonas de laderas. Su cuenca tiene un área aproximada de 162,92 km<sup>2</sup> y recorre una longitud de 22 km.



**Figura 3.2.4-6 Cuenca río Checua**



**Fuente:** POMCA río Bogotá. Adaptado por ACON, Miembro Grupo INERCO, 2015.



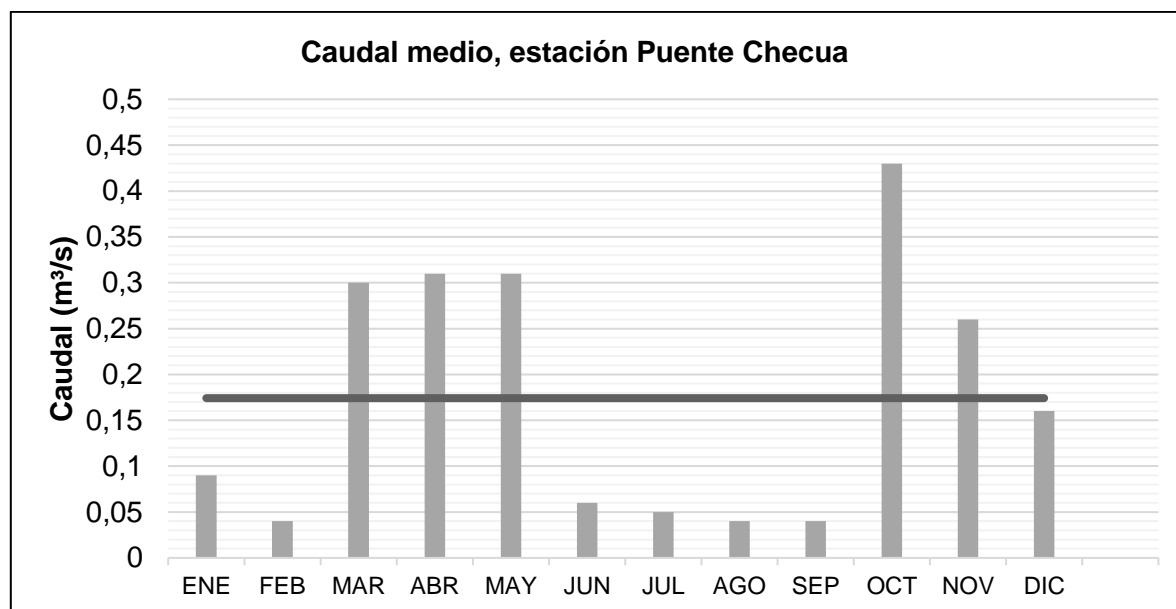
El régimen hidrológico de caudales del río Checua, analizado en el periodo comprendido entre los años 1993-2011, refleja una distribución bimodal, con un período promedio de caudal alto en los meses de marzo a mayo y de octubre a diciembre. El caudal medio es de 0,17 m<sup>3</sup>/s. El caudal máximo anual es de 4,38 m<sup>3</sup>/s y se presenta en el mes de octubre (ver Tabla 3.2.4-9, Tabla 3.2.4-10, y Gráfico 3.2.4-15).

**Tabla 3.2.4-9** Caudales medios (m<sup>3</sup>/s), río Checua, estación Puente Checua

CAUDALES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
MEDIO	0,09	0,04	0,30	0,31	0,31	0,06	0,05	0,04	0,04	0,43	0,26	0,16	0,17
MÁXIMO	0,94	0,23	2,50	2,92	2,45	0,59	0,30	0,18	0,17	4,38	1,54	0,88	4,38
MÍNIMO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

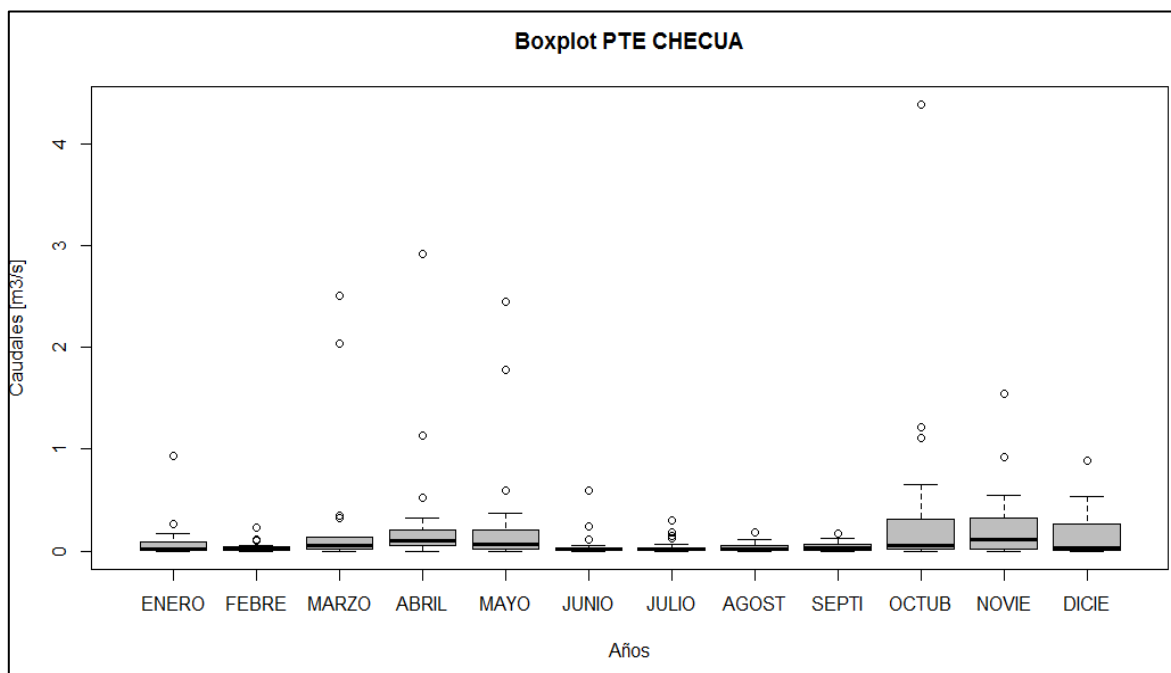
Fuente: CAR, 2014. Adaptado por ACON, Miembro Grupo INERCO, 2014.

**Gráfico 3.2.4-15** Régimen de caudales medios, río Checua, estación Puente Checua



Fuente: CAR, 2014. Adaptado por ACON, Miembro Grupo INERCO, 2014.

**Gráfico 3.2.4-16** Régimen de caudales medios, río Checua, estación Puente Checua (*outliers*)



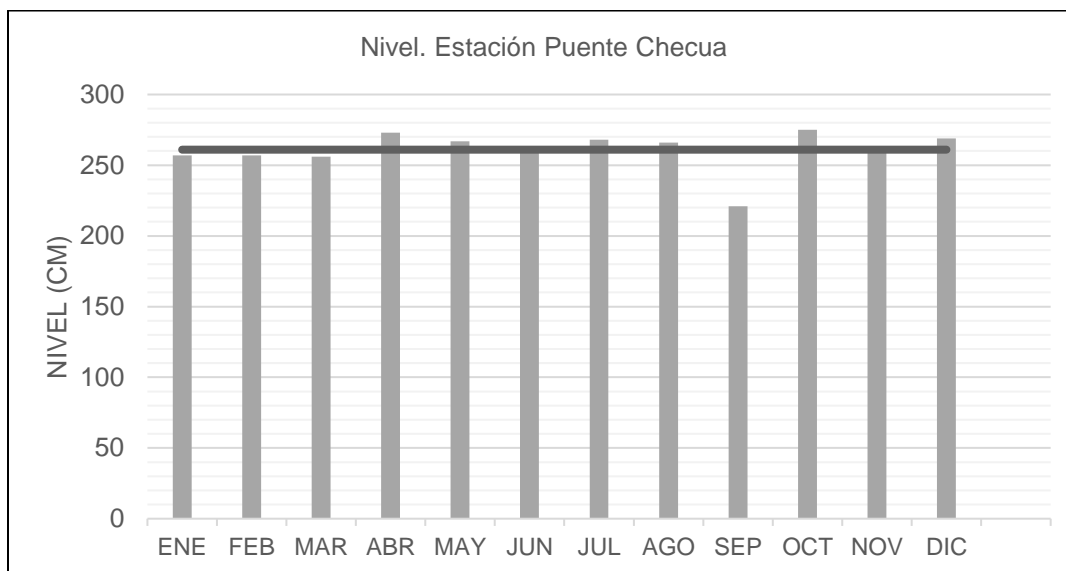
**Fuente:** CAR, 2014. Adaptado por ACON, Miembro Grupo INERCO, 2014.

**Tabla 3.2.4-10** Niveles medios (cm), río Checua, estación Puente Checua

NIVELES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
MEDIO	257	257	256	273	267	261	268	266	221	275	262	269	261
MÁXIMO	288	283	293	348	349	310	300	337	280	296	294	293	349
MÍNIMO	228	245	218	205	217	218	209	209	57	246	213	243	57

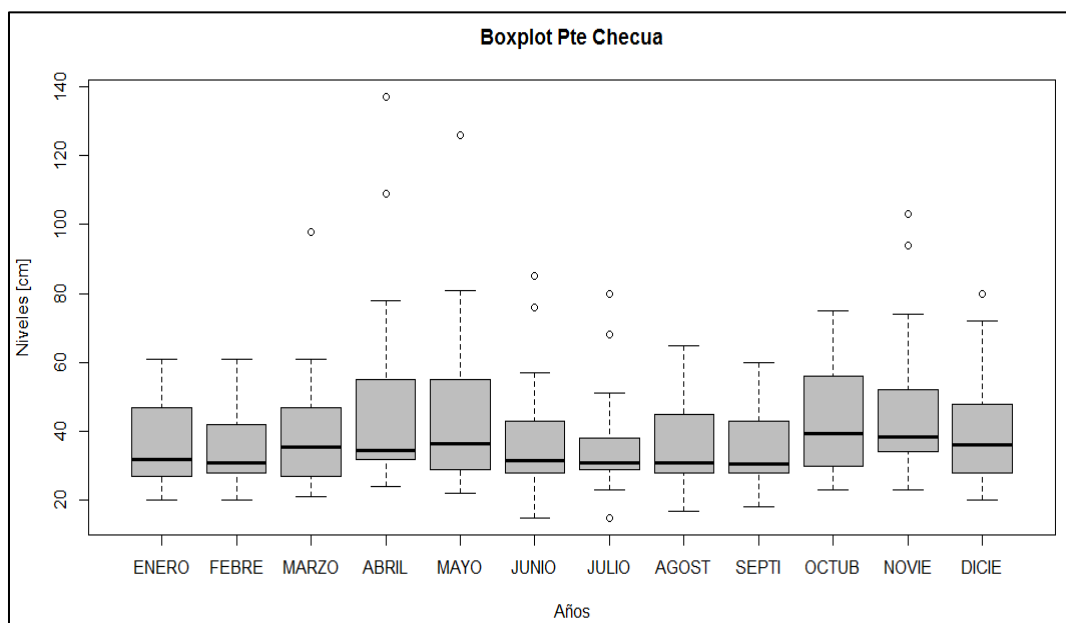
**Fuente:** CAR, 2014. Adaptado por ACON, Miembro Grupo INERCO, 2014.

**Gráfico 3.2.4-17** Régimen de niveles medios, río Checua, estación Puente Checua



**Fuente:** CAR, 2014. Adaptado por ACON, Miembro Grupo INERCO, 2014.

**Gráfico 3.2.4-18** Régimen de niveles medios, río Checua, estación Puente Checua (*outliers*)

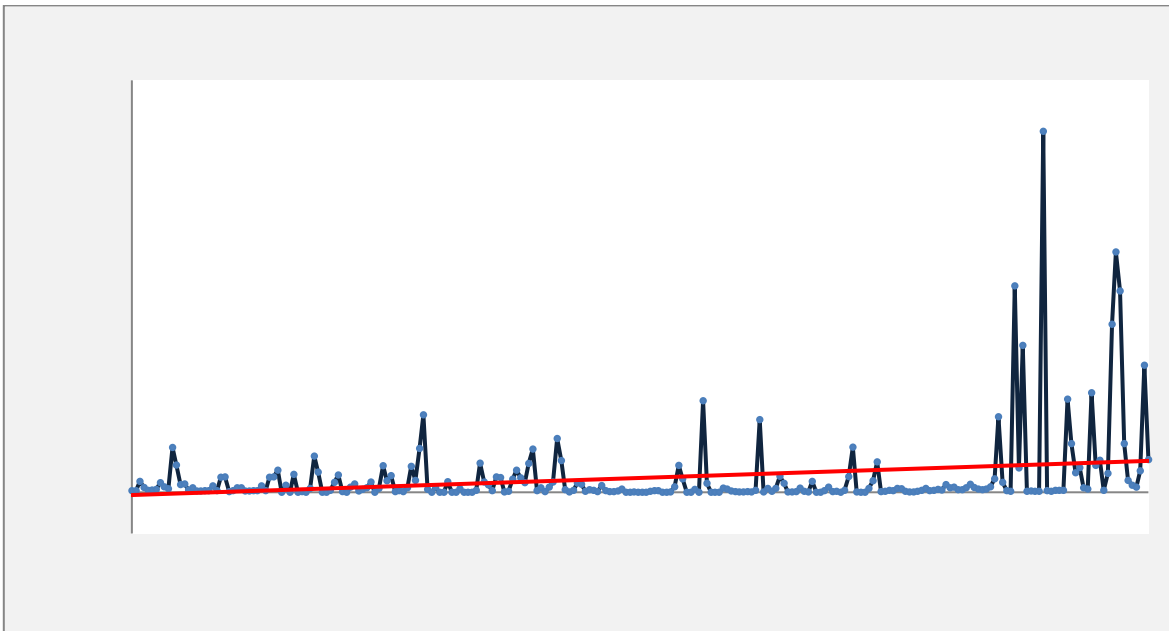


**Fuente:** CAR, 2014. Adaptado por ACON, Miembro Grupo INERCO, 2014.

- **Hidrograma de caudal anual, tendencia de los caudales, río Checua**

En el Gráfico 3.2.4-19 se observa que el caudal ha aumentado a través del tiempo, esto debido posiblemente a la degradación del suelo, lo que implica la pérdida de su capacidad de infiltración y el deterioro de las propiedades físicas. Este proceso se presenta en forma acelerada como consecuencia de prácticas inadecuadas en los sistemas de producción ganadera y del reemplazo de áreas de bosque por pastos, lo que implica mayor escurrimiento de agua lluvia<sup>6</sup>. De otro lado, se observa que en esta cuenca no existe flujo base, por lo tanto, es una corriente efímera y se seca en épocas de verano.

**Gráfico 3.2.4-19** Tendencia de los caudales, río Checua, estación Puente Checua



**Fuente:** CAR, 2014. Adaptado por ACON, Miembro Grupo INERCO, 2014.

- **Curva de duración de caudales, río Checua**

En la Tabla 3.2.4-11 se presentan los registros de los caudales característicos y en el Gráfico 3.2.4-20 se muestran las formas típicas de la curva de duración de los caudales medios. También se puede apreciar el caudal ambiental, que para el río a la altura de la

<sup>6</sup> Rodríguez, Jose y Juan Camargo. Erosión y escorrentía: indicadores de respuesta temprana del suelo a distintas coberturas en la zona cafetera de Colombia. Costa Rica: Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza - CATIE, 2009.

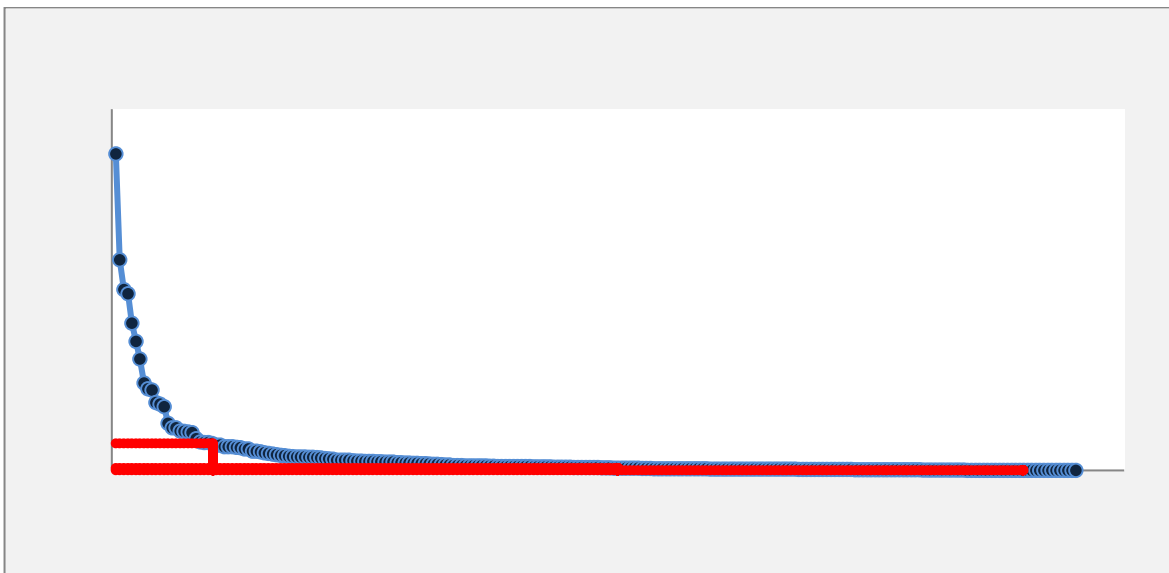
estación Puente Checua es de 0 m<sup>3</sup>/s, lo cual hace suponer que esta corriente se seca en periodos hidrológicos secos.

**Tabla 3.2.4-11** Caudales característicos, río Checua, estación Puente Checua

	Caudales (m <sup>3</sup> /s)
Máximo registro	4,4
Menor registro	0,0
Registro 10%, o caudal de aguas altas	0,371
Registro 50%, o caudal promedio	0,034
Registro del 90%, o caudal base	0,001
Registro del 95%, o caudal ecológico	0

**Fuente:** Datos CAR, 2014. Adaptado por ACON, Miembro Grupo INERCO, 2014.

**Gráfico 3.2.4-20** Curva de duración de caudales, río Checua, estación Puente Checua

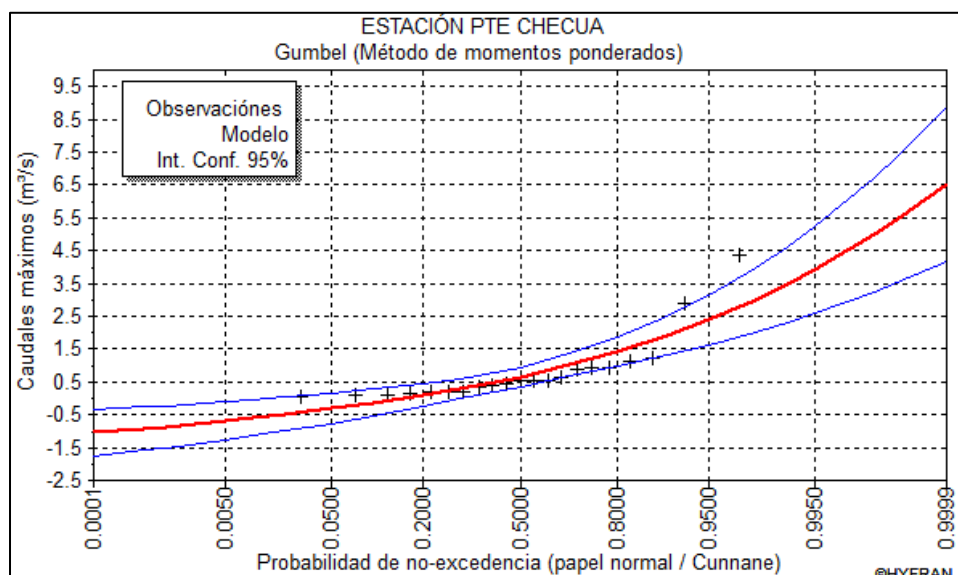


**Fuente:** CAR, 2014. Adaptado por ACON, Miembro Grupo INERCO, 2014.

- **Análisis probabilístico río Checua**

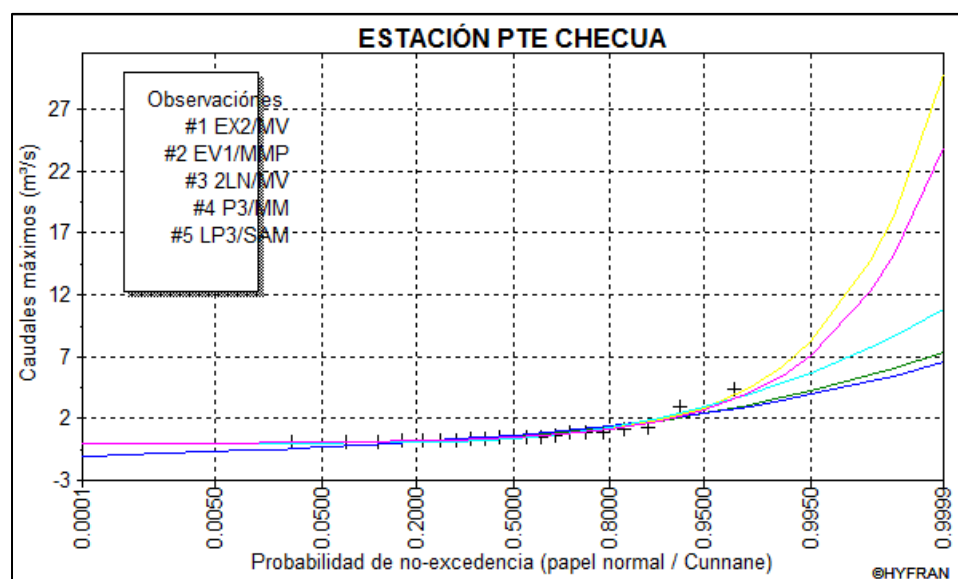
A continuación se presenta en el Gráfico 3.2.4-21 el resultado de la estadística de caudales máximos de las series seleccionadas y en la Tabla 3.2.4-13 y Gráfico 3.2.4-22, los resultados de la distribución que más se ajustó a la tendencia.

**Gráfico 3.2.4-21** Probabilidad de ocurrencia de caudales máximos, estación Puente Checua, río Checua



**Fuente:** Datos CAR, 2014. Adaptado por ACON, Miembro Grupo INERCO, 2014.

**Gráfico 3.2.4-22** Comparación de Probabilidades de ocurrencia de caudales máximos, estación Puente Checua, río Checua.



**Fuente:** CAR, 2014. Adaptado por ACON, Miembro Grupo INERCO, 2014.

**Tabla 3.2.4-12** Estadística descriptiva de la serie de caudales máximos de la estación Puente Checua, río Checua

Variable	Valor
Número de datos	21
Mínimo	0,04
Máximo	4,38
Promedio	0,8
Desviación estándar	1,03
Mediana	0,53
Coeficiente de variación	1,29
Coeficiente de asimetría	2,66
Coeficiente de Curtosis	7,75

**Fuente:** CAR, 2014. Adaptado por ACON, Miembro Grupo INERCO, 2014.

**Tabla 3.2.4-13** Caudales máximos para diferentes periodos de retorno, estación Puente Checua, río Checua

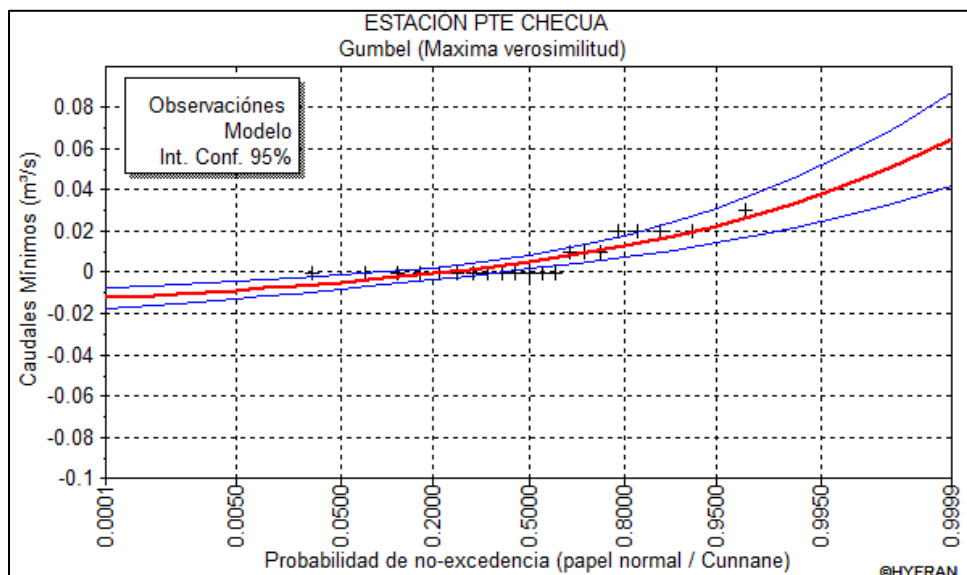
TR	Caudales (m³/s)
100	3,46
50	3
20	2,38
10	1,91
5	1,41
3	1,02
2	0,661

**Fuente:** CAR, 2014. Adaptado por ACON, Miembro Grupo INERCO, 2014.

El análisis de frecuencias de caudales mínimos se muestra en el Gráfico 3.2.4-23, Gráfico 3.2.4-24, demostrando que la distribución Gumbel (método máxima verosimilitud) es la que mejor se ajusta a los datos de la estación.

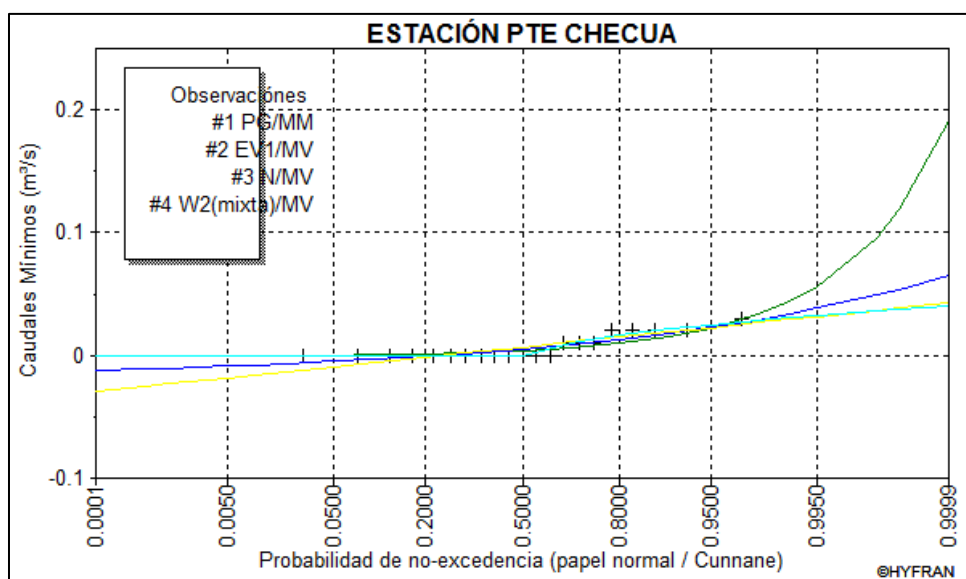


**Gráfico 3.2.4-23** Probabilidad de ocurrencia de caudales mínimos, estación Puente Checua, río Checua



**Fuente:** CAR, 2014. Adaptado por ACON, Miembro Grupo INERCO, 2014.

**Gráfico 3.2.4-24** Comparación Probabilidad de ocurrencia de caudales mínimos, estación Puente Checua, río Checua



**Fuente:** CAR, 2014. Adaptado por ACON, Miembro Grupo INERCO, 2014.

**Tabla 3.2.4-14** Estadística descriptiva de la serie de caudales mínimos, estación Puente Checua, río Checua

Variable	Valor
Número de datos	21,00
Mínimo	0,00
Máximo	0,03
Promedio	0,01
Desviación estándar	0,01
Mediana	0,00
Coeficiente de variación	1,45
Coeficiente de asimetría	1,13
Coeficiente de Curtosis	2,45

**Fuente:** CAR, 2014. Adaptado por ACON, Miembro Grupo INERCO, 2014.

**Tabla 3.2.4-15** Caudales mínimos para diferentes periodos de retorno, estación Puente Checua, río Checua

TR	Caudales (m³/s)
100	0,0
50	0,0
20	0,0
10	0,0
5	0,0
3	0,0
2	0,0

**Fuente:** CAR, 2014. Adaptado por ACON, Miembro Grupo INERCO, 2014.

#### IV Río Teusacá

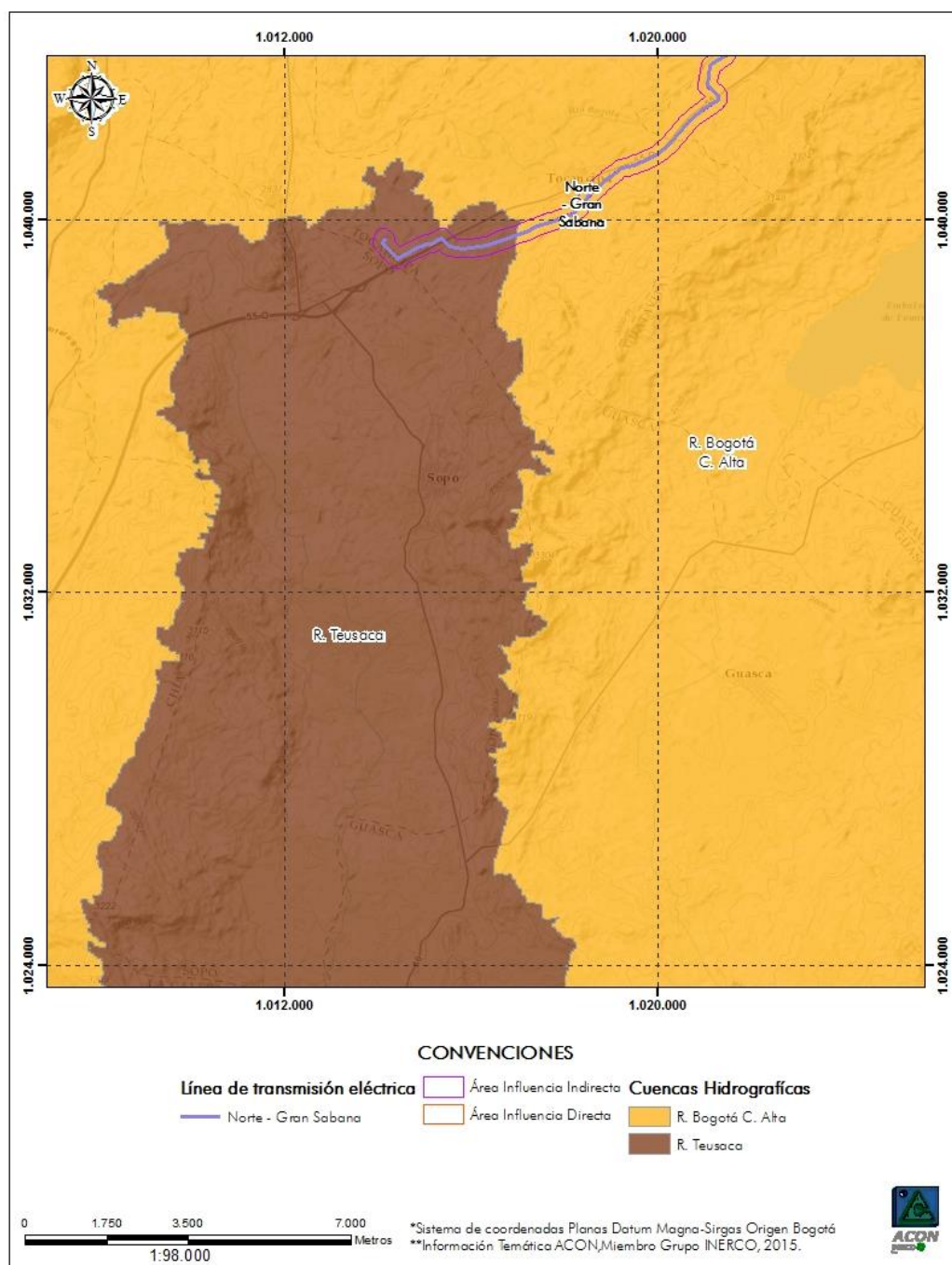
Tiene su nacimiento a una altura cercana a los 3384 m s.n.m., en la laguna el Verjón ubicada en el parque ecológico Matarredonda (municipio de Choachí); corre en dirección Sur-Norte casi paralelo a la ciudad de Bogotá. Los caudales de su cuenca son controlados por el sistema de embalse San Rafael. Su cuenca tiene un área aproximada de 368 km<sup>2</sup> y recorre una longitud aproximada de 45 km, hasta desembocar en el río Bogotá a los 2.548 m s.n.m.

**Fotografía 3.2.4-10** Embalse San Rafael en el municipio de La Calera, obra hidráulica que controla los caudales del río Teusacá en su cuenca alta



**Fuente:** <http://www.panoramio.com/>. Adaptado por ACON, Miembro Grupo INERCO, 2014.

**Figura 3.2.4-7 Cuenca río Teusacá**



**Fuente:** IGAC, 2012. Adaptado por ACON, Miembro Grupo INERCO, 2015.

El embalse se localiza en el municipio de La Calera, cuenca alta del río Teusacá, a 12 km de Bogotá. Este se construyó con el fin de suministrar agua a gran parte del norte de la capital y a sus municipios cercanos como La Calera, Sopó y Guasca. Además cuenta con una comunicación con otras obra hidráulicas (represas menores), con el fin de garantizar el continuo suministro de agua. Tiene unas dimensiones de 59,6 m de altura y una longitud de 680,36 m, con una capacidad de 71 millones de m<sup>3</sup> y alberga un área de 371 ha. El embalse consta de un dique auxiliar localizado al norte del embalse y es una estructura con una altura de 15,5 m, longitud de 282 m y un volumen de relleno de 80 mil m<sup>3</sup> y su función es la de cerrar una depresión topográfica en esa zona del embalse. Dentro de sus principales efluentes se encuentran las quebradas Aposentos, La Socha, San Rafael, Las Lajitas, Barro, del Carrizal, El León, Turín, De Furias, Chusacá, El Verjón, La Zapata, La Belemita, Aguas Claras.

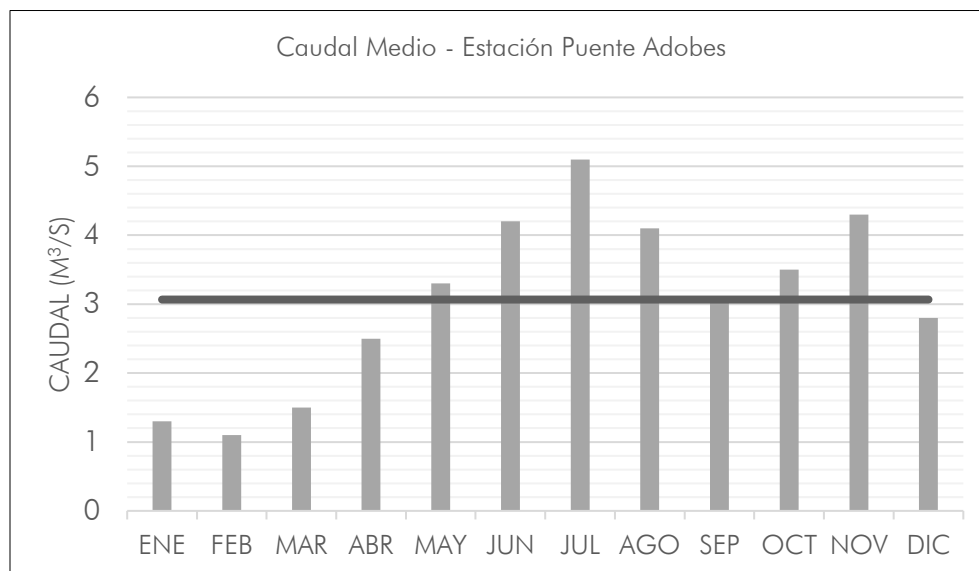
El régimen hidrológico de caudales del río Teusacá es de distribución bimodal, es decir, dos periodos de gran caudal en los meses de mayo a julio y de octubre a diciembre. El caudal medio es de 3,1 m<sup>3</sup>/s. El caudal máximo anual es de 13,6 m<sup>3</sup>/s y se presenta en el mes de noviembre (ver Tabla 3.2.4-16 y Gráfico 3.2.4-25).

**Tabla 3.2.4-16** Caudales medios (m<sup>3</sup>/s), río Teusacá, estación Puente Adobes

CAUDALES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
MEDIO	1,3	1,1	1,5	2,5	3,3	4,2	5,1	4,1	3,1	3,5	4,3	2,8	3,1
MÁXIMO	3,5	3,8	6,5	5,4	8,1	11,3	10,8	9,4	8,8	8,5	13,6	7,9	13,6
MÍNIMO	0,0	0,1	0,2	0,2	0,8	0,6	0,8	0,4	0,7	0,3	0,8	0,6	0,0

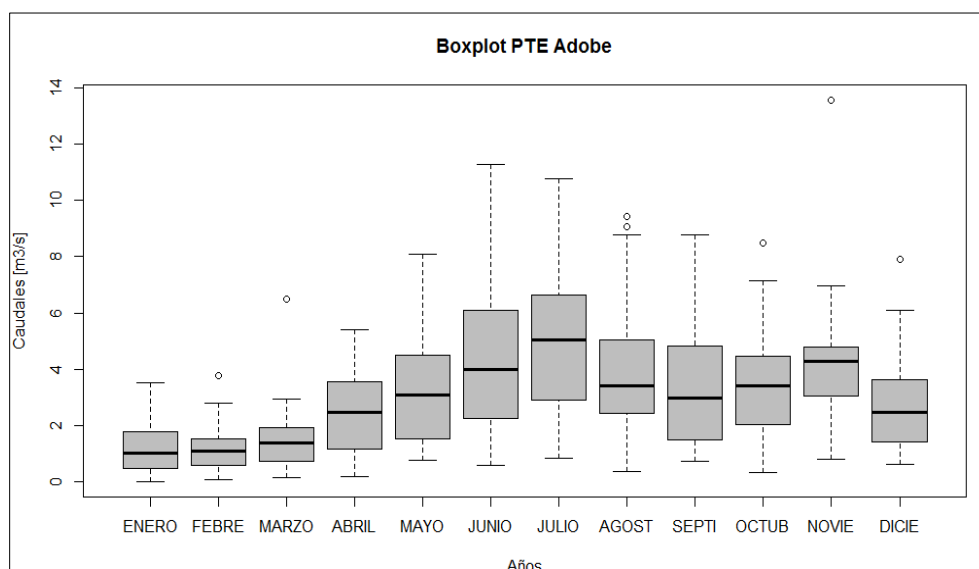
**Fuente:** CAR, 2014. Adaptado por ACON, Miembro Grupo INERCO, 2014.

**Gráfico 3.2.4-25** Régimen de caudales medios, río Teusacá, estación Puente Adobes



Fuente: CAR, 2014. Adaptado por ACON, Miembro Grupo INERCO, 2014.

**Gráfico 3.2.4-26** Régimen de caudales medios, río Teusacá, estación Puente Adobes (*outliers*)



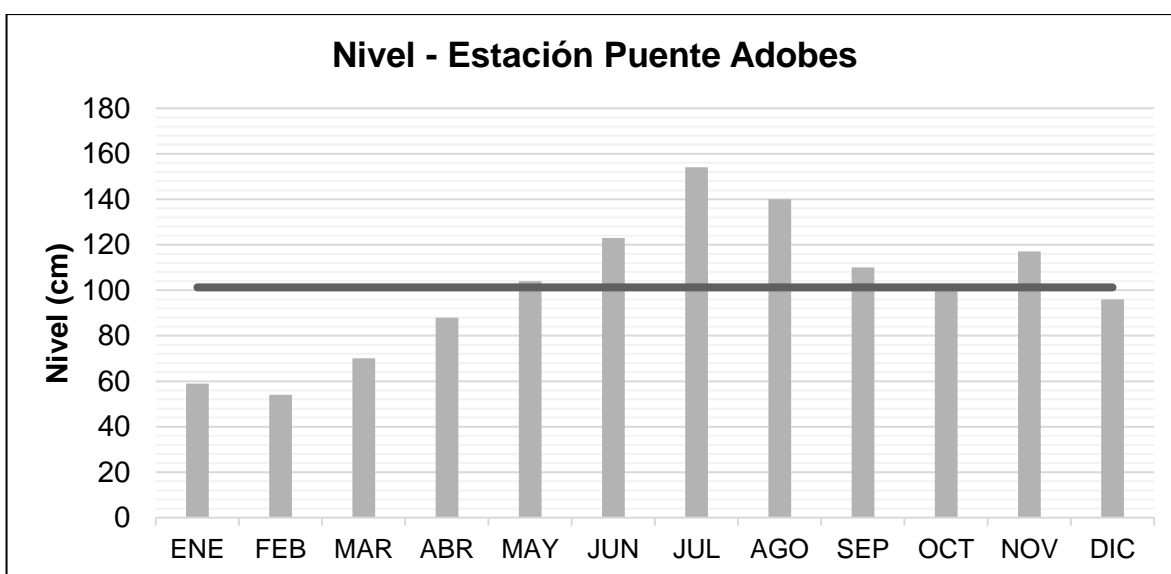
Fuente: CAR, 2014. Adaptado por ACON, Miembro Grupo INERCO, 2014.

**Tabla 3.2.4-17** Niveles medios (cm) río Teusacá estación Puente Adobes

NIVELES	EN	FE	MA	AB	MA	JU	JU	AG	SE	OC	NO	DI	ANUA
MEDIO	59	54	70	88	104	123	154	140	110	100	117	96	101
MÁXIMO	140	147	232	170	208	323	244	244	271	207	212	173	323
MÍNIMO	14	21	19	23	30	14	72	60	19	10	19	20	10

Fuente: CAR, 2014. Adaptado por ACON, Miembro Grupo INERCO, 2014.

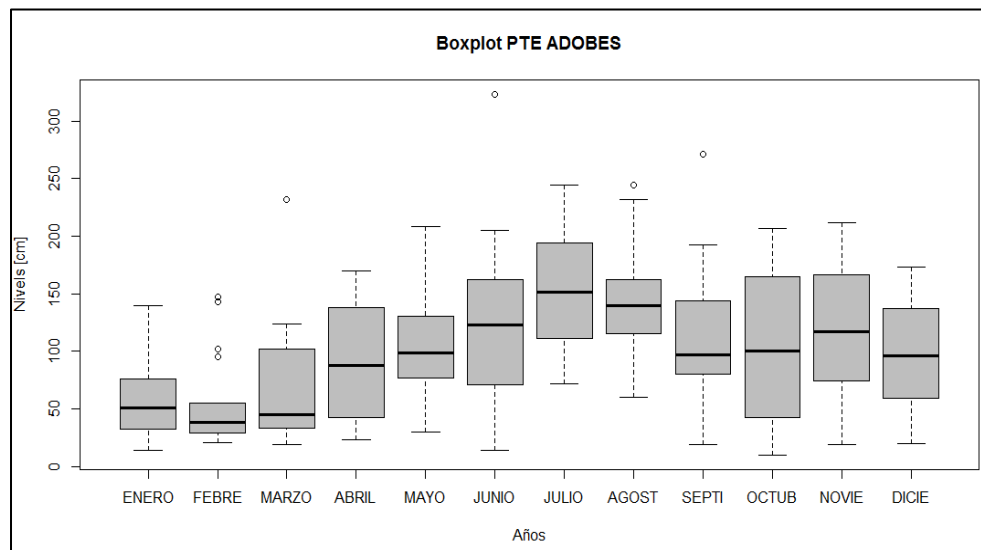
**Gráfico 3.2.4-27** Régimen de niveles medios, río Teusacá, estación Puente Adobes



Fuente: CAR, 2014. Adaptado por ACON, Miembro Grupo INERCO, 2014.



**Gráfico 3.2.4-28** Régimen de niveles medios, río Teusacá, estación Puente Adobes (*outliers*)

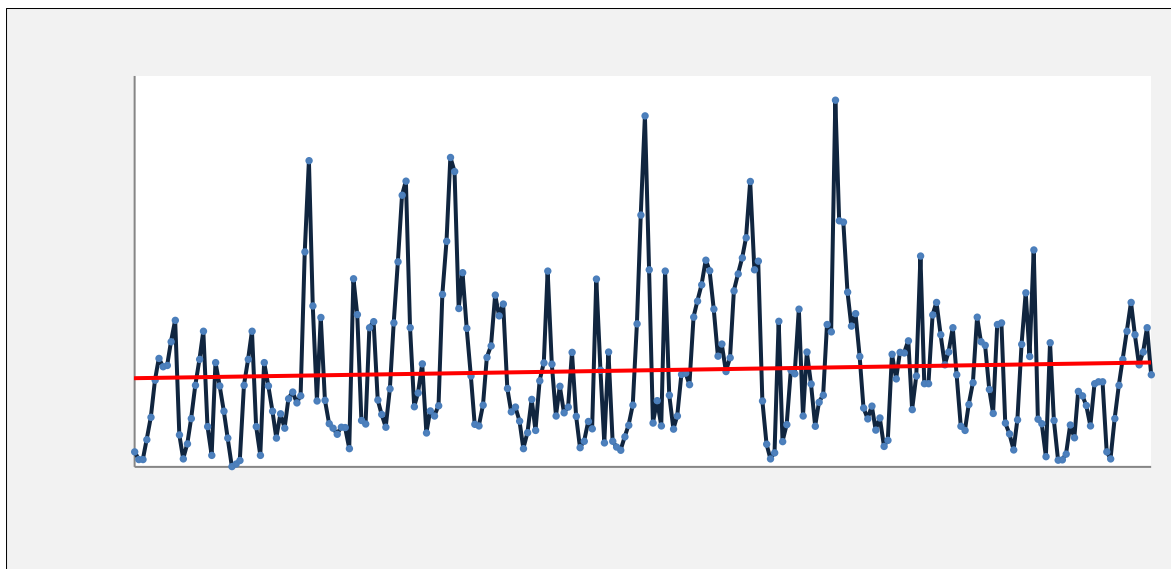


Fuente: CAR, 2014. Adaptado por ACON, Miembro Grupo INERCO, 2014.

- Hidrograma de caudal anual, tendencia de los caudales río Teusacá**

En el Gráfico 3.2.4-29 se muestra el hidrograma anual de caudales medios mensuales multianuales para el río Teusacá, destacando una tendencia constante, lo cual indica que la relación de oferta y demanda de la corriente no presenta deficiencias hídricas, pese al control que ejerce el embalse San Rafael en su cuenca. De otro lado, se aprecia que en esta cuenca existe flujo base, por lo tanto, es una corriente perene y no seca en periodos hidrológicos secos.

**Gráfico 3.2.4-29** Tendencia de los caudales, río Teusacá, estación Puente Adobes



Fuente: CAR, 2014. Adaptado por ACON, Miembro Grupo INERCO, 2014.

- **Curva de duración de caudales, río Teusacá**

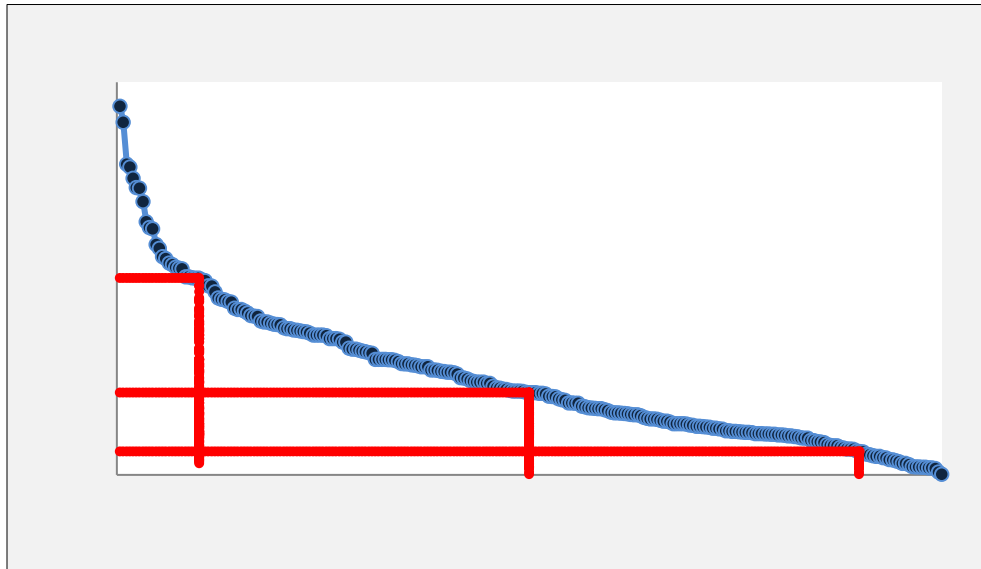
En la Tabla 3.2.4-18 se presentan los registros de los caudales característicos y en el Gráfico 3.2.4-30 se muestran las formas típicas de la curva de duración. También se puede apreciar el caudal ambiental, que para el río Teusacá a la altura de la estación Puente Adobes es de 0,36 m³/s.

**Tabla 3.2.4-18** Caudales característicos, río Teusacá, estación Puente Adobes

	Registro Caudales (m³/s)
Máximo registro	11,3
Menor registro	0,0
Registro 10%, o caudal de aguas altas	6,01
Registro 50%, o caudal promedio	2,51
Registro del 90%, o caudal base	0,72
Registro del 95%, o caudal ecológico	0,36

Fuente: CAR, 2014. Adaptado por ACON, Miembro Grupo INERCO, 2014.

**Gráfico 3.2.4-30** Curva de duración de caudales, río Teusacá estación, Puente Adobes

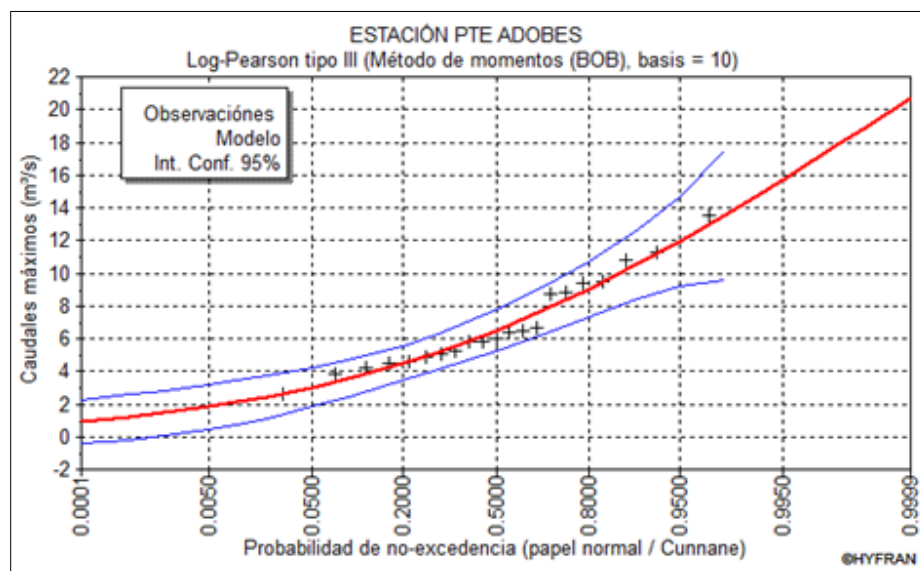


**Fuente:** CAR, 2014. Adaptado por ACON, Miembro Grupo INERCO, 2014.

- **Análisis probabilístico Río Teusacá**

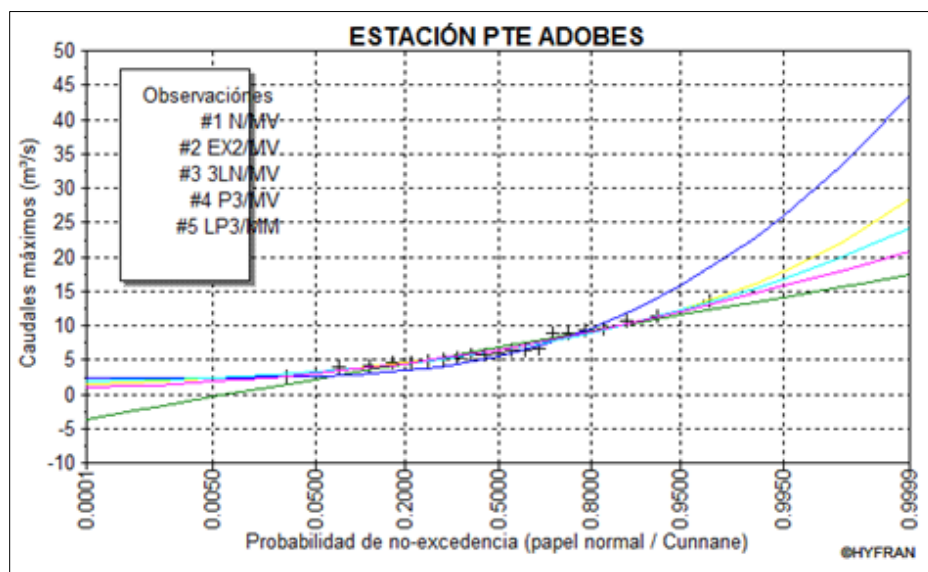
A continuación se presentan en la Tabla 3.2.4-19 los resultados de la estadística de caudales máximos de las series seleccionadas y en el Gráfico 3.2.4-31 y en Gráfico 3.2.4-32 la los resultados de la distribución que más se ajustó a la tendencia.

**Gráfico 3.2.4-31** Probabilidad de ocurrencia de caudales máximos, río Teusacá, estación Puente Adobes



**Fuente:** CAR, 2014. Adaptado por ACON, Miembro Grupo INERCO, 2014.

**Gráfico 3.2.4-32** Comparación probabilidad de ocurrencia de caudales máximos, río Teusacá, estación Puente Adobes



**Fuente:** CAR, 2014. Adaptado por ACON, Miembro Grupo INERCO, 2014.

**Tabla 3.2.4-19** Estadística descriptiva de la serie de caudales máximos, río Teusacá, estación Puente Adobes

Variable	Valor
Número de datos	21
Mínimo	2,62
Máximo	13,6
Promedio	6,86
Desviación estándar	2,81
Mediana	6,02
Coeficiente de variación	0,410
Coeficiente de asimetría	0,807
Coeficiente de Curtosis	2,49

**Fuente:** CAR, 2014. Adaptado por ACON, Miembro Grupo INERCO, 2014.

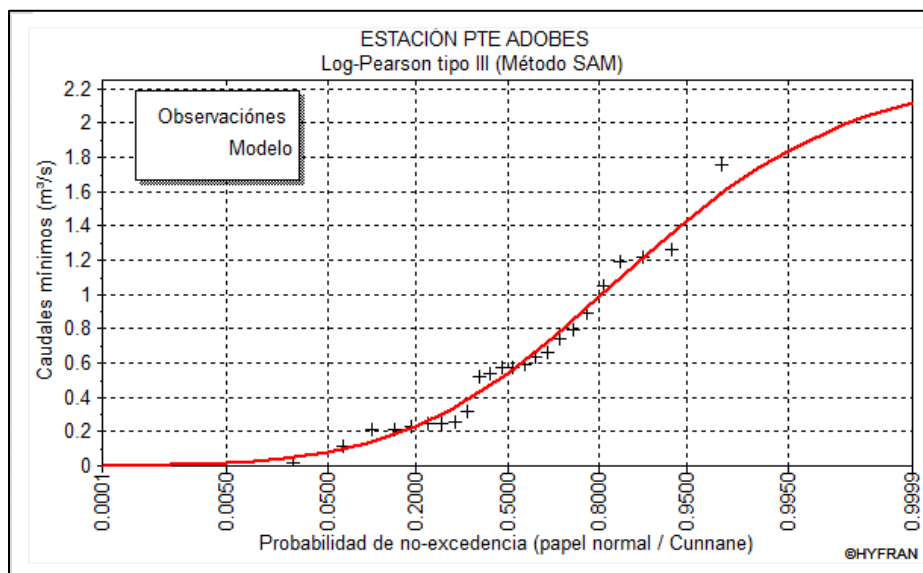
**Tabla 3.2.4-20** Caudales máximos para diferentes periodos de retorno, río Teusacá, estación Puente Adobes

TR	Caudales (m <sup>3</sup> /s)
100	14,7
50	13,6
20	11,9
10	10,6
5	9,04
3	7,74
2	6,50

**Fuente:** CAR, 2014. Adaptado por ACON, Miembro Grupo INERCO, 2014.

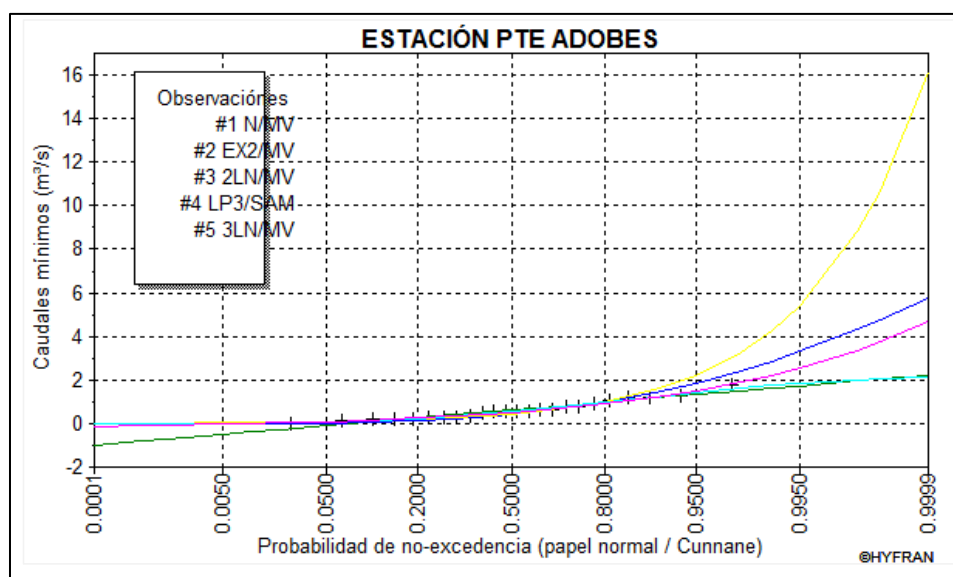
El análisis de frecuencias de caudales mínimos, ha demostrado que la distribución Log Pearson Tipo 3 (método de SAM) es la que mejor se ajusta a los datos de la estación (ver el Gráfico 3.2.4-33, Gráfico 3.2.4-34 y la Tabla 3.2.4-21).

**Gráfico 3.2.4-33** Probabilidad de ocurrencia de caudales mínimos, río Teusacá, estación Puente Adobes



Fuente: CAR, 2014. Adaptado por ACON, Miembro Grupo INERCO, 2014.

**Gráfico 3.2.4-34** Comparación Probabilidad de ocurrencia de caudales mínimos, río Teusacá, estación Puente Adobes



Fuente: CAR, 2014. Adaptado por ACON, Miembro Grupo INERCO, 2014.

**Tabla 3.2.4-21** Estadística descriptiva de la serie de caudales mínimos, río Teusacá, estación Puente Adobes

Variable	Valor
Número de datos	24
Mínimo	0,02
Máximo	1,76
Promedio	0,62
Desviación estándar	0,43
Mediana	0,57
Coeficiente de variación	0,70
Coeficiente de asimetría	0,90
Coeficiente de Curtosis	2,93

Fuente: CAR, 2014. Adaptado por ACON, Miembro Grupo INERCO, 2014.

**Tabla 3.2.4-22** Caudales mínimos para diferentes periodos de retorno, río Teusacá, estación Puente Adobes

TR	Caudales (m³/s)
100	0,02
50	0,04
20	0,07
10	0,13
5	0,22
3	0,32
2	0,53

Fuente: CAR, 2014. Adaptado por ACON, Miembro Grupo INERCO, 2014.

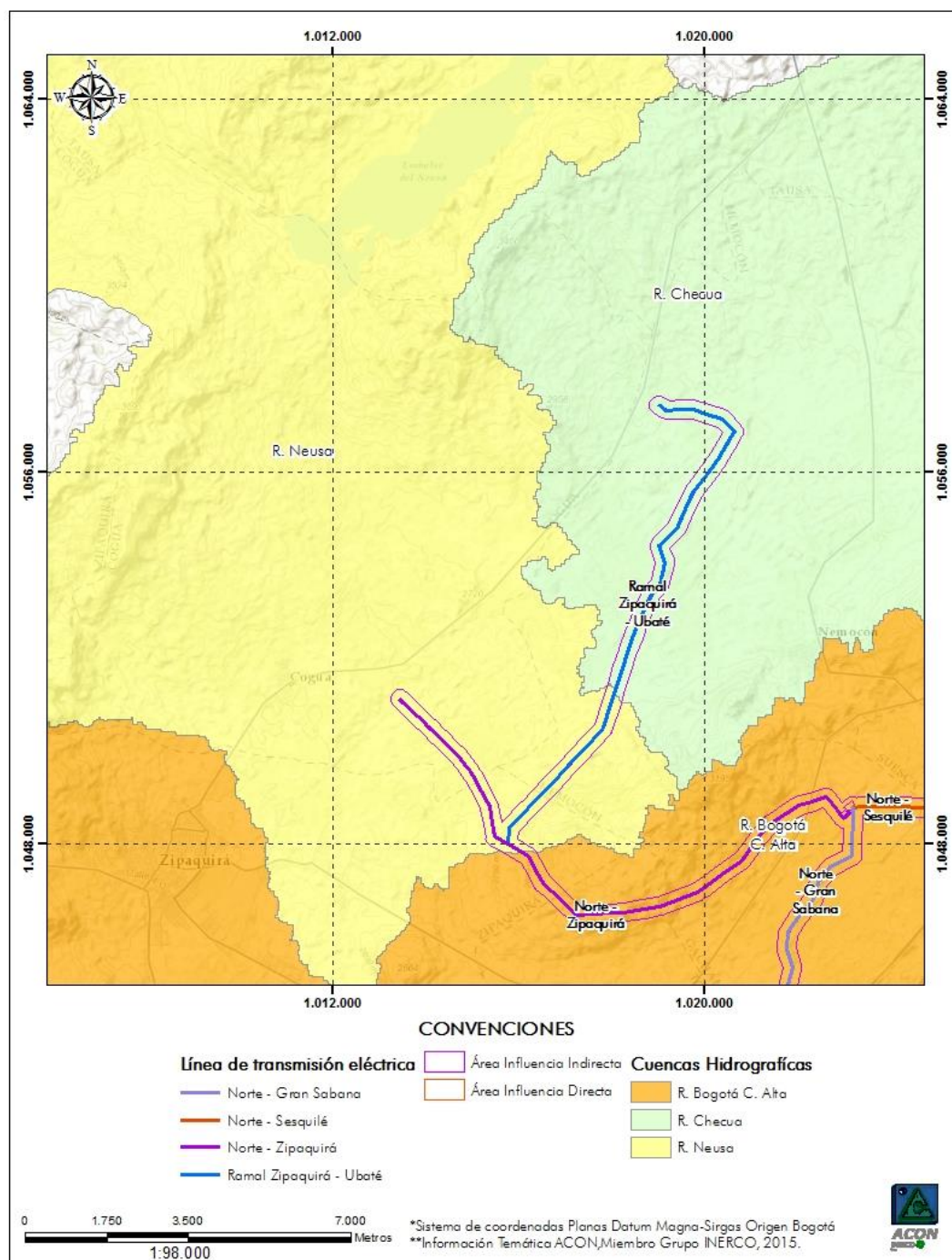
## V Río Neusa

El río Neusa nace en el Páramo de Guerrero a los 3.634 m s.n.m., está conformada por los ríos Cubillos (río Salitre y Guandoque) que alimenta el embalse Neusa y el río Checua el cual desemboca finalmente en el río Bogotá.

Fisiográficamente se caracteriza por poseer relieve fuertemente ondulado a fuertemente quebrado y escarpado, se encuentra afectado por la erosión de tipo geológica presente principalmente en las zonas de montaña. La erosión de tipo antrópicas se debe a la deforestación, el uso del suelo para cultivos y las actividades mineras.



**Figura 3.2.4-8 Cuenca del río Neusa**



**Fuente:** CAR, 2014. Adaptado por ACON, Miembro Grupo INERCO, 2015.

El régimen hidrológico del río Neusa es bimodal con el periodo de aguas altas entre los meses de febrero a mayo y entre agosto y octubre, mayo es el mes que reporta caudales máximos de hasta 6,2 m<sup>3</sup>/s y enero el mes de más bajo caudal con hasta 0,1 m<sup>3</sup>/s. El caudal medio anual del río es de 1,1 m<sup>3</sup>/s a la altura de la estación Puente Carretera (ver Tabla 3.2.4-23).

**Tabla 3.2.4-23** Caudales medios (m<sup>3</sup>/s) río Neusa estación Puente Carretera

CAUDALE	EN	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JU	AGO	SE	OCT	NOV	DIC	ANUA
MEDIO	0,8	1,2	1,5	1,3	1,2	1,0	0,9	1,2	1,3	1,0	0,9	0,8	1,1
MAXIM	2,4	3,0	3,6	4,9	6,2	3,9	2,8	3,9	4,1	3,7	2,8	2,6	6,2
MINIM	0,1	0,1	0,3	0,4	0,4	0,3	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1

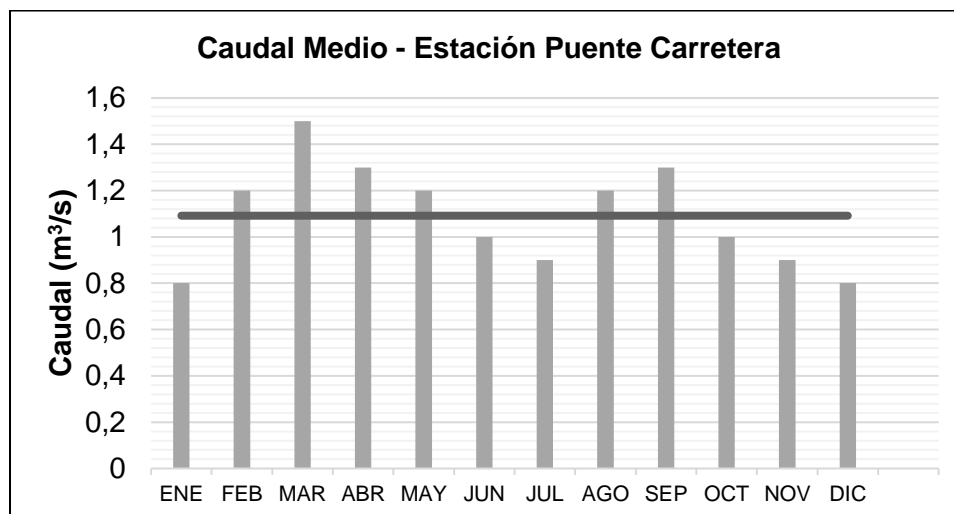
**Fuente:** CAR, 2014. Adaptado por ACON, Miembro Grupo INERCO, 2014.

**Fotografía 3.2.4-11** Represa del Neusa en el municipio de Tausa, obra hidráulica que controla los caudales del río NEUSA en su cuenca alta



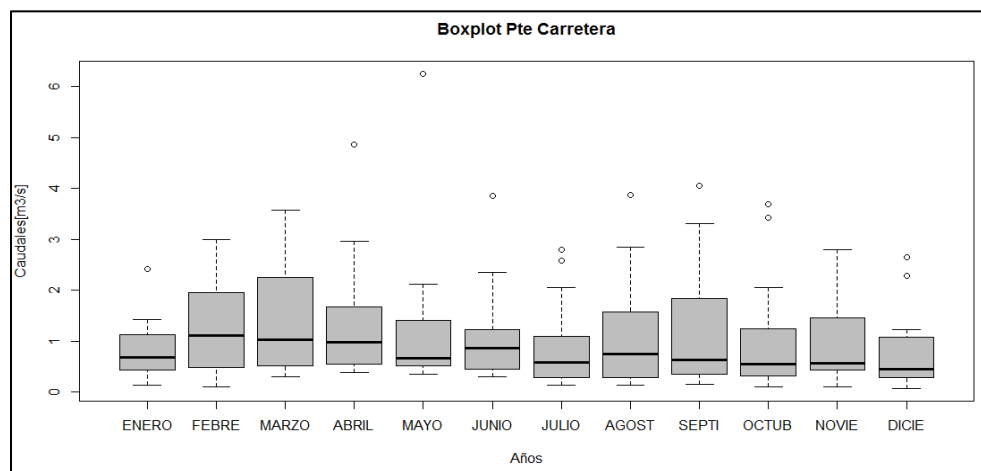
**Fuente:** ACON, Miembro Grupo INERCO, 2014.

**Gráfico 3.2.4-35** Régimen de caudales medios, río Neusa, estación Puente Carretera



Fuente: CAR, 2014. Adaptado por ACON, Miembro Grupo INERCO, 2014.

**Gráfico 3.2.4-36** Régimen de caudales medios, río Neusa, estación Puente Carretera (*outliers*)



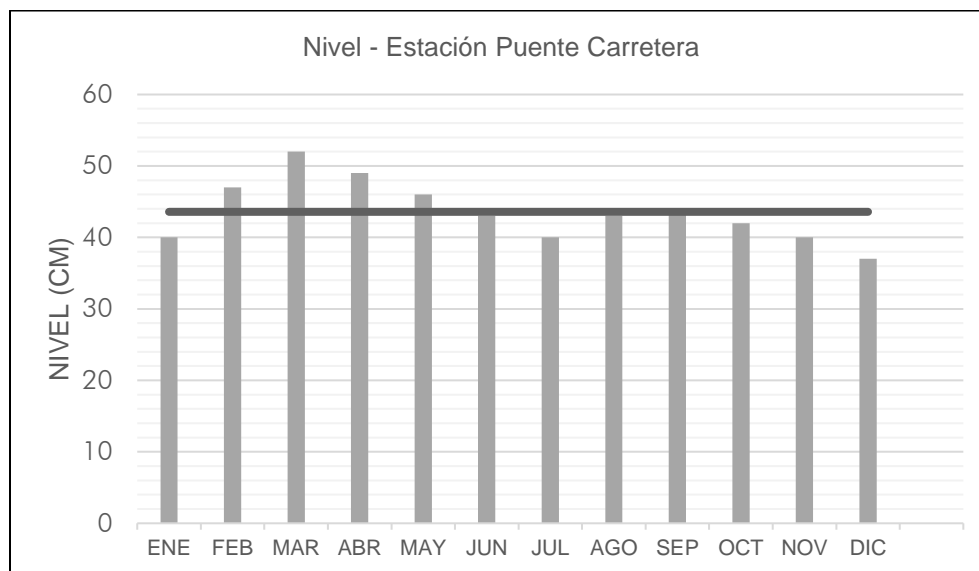
Fuente: CAR, 2014. Adaptado por ACON, Miembro Grupo INERCO, 2014.

**Tabla 3.2.4-24** Niveles medios (cm), río Neusa, estación Puente Carretera

NIVELES (cm)	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
MEDIO	40	47	52	49	46	43	40	43	44	42	40	37	44
MÁXIMO	63	82	89	84	94	77	69	86	94	80	67	61	94
MÍNIMO	18	17	26	27	26	24	21	21	19	17	17	15	15

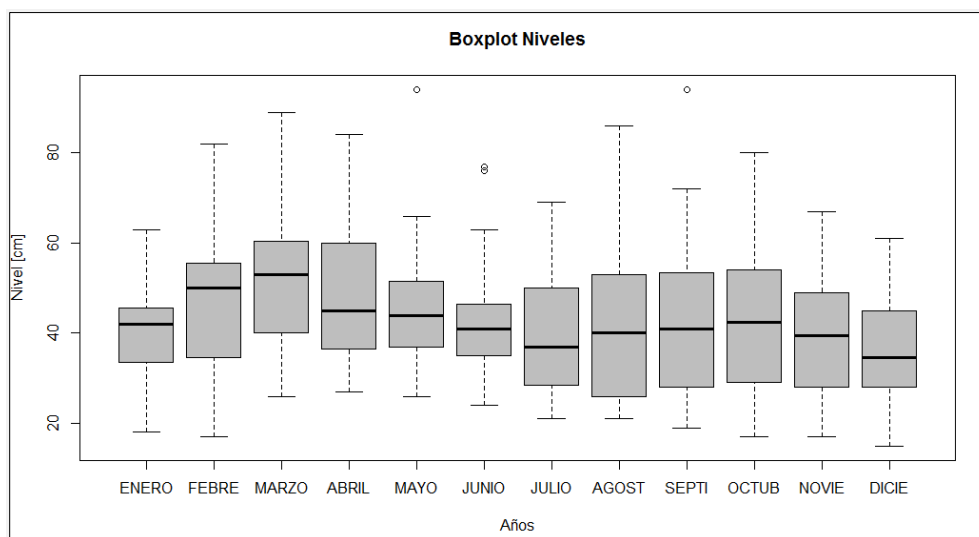
Fuente: CAR, 2014. Adaptado por ACON, Miembro Grupo INERCO, 2014.

**Gráfico 3.2.4-37 Régimen de niveles medios, río Neusa, estación Puente Carretera**



**Fuente:** CAR, 2014. Adaptado por ACON, Miembro Grupo INERCO, 2014.

**Gráfico 3.2.4-38 Régimen de niveles medios, río Neusa, estación Puente Carretera (outliers)**

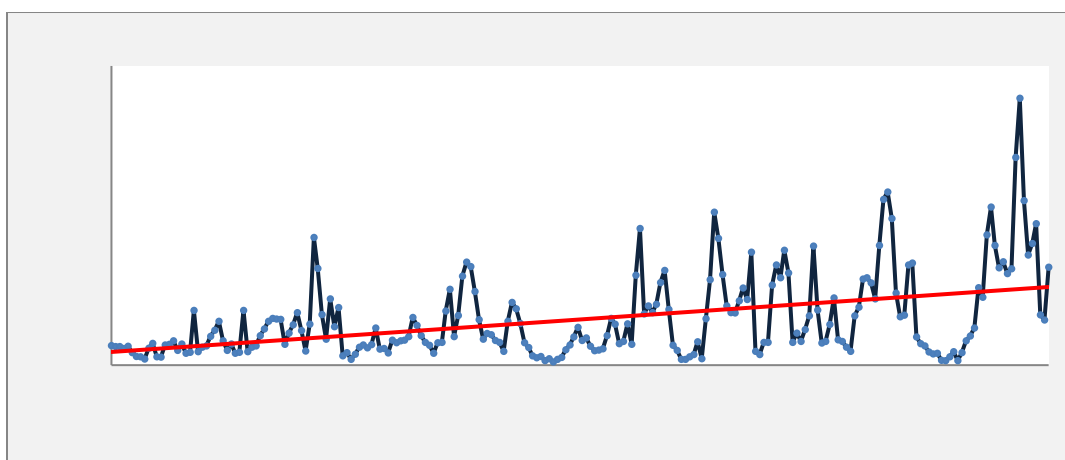


**Fuente:** CAR, 2014. Adaptado por ACON, Miembro Grupo INERCO, 2014.

- **Hidrograma de caudal anual, tendencia de los caudales río Neusa**

En Gráfico 3.2.4-39 se aprecia el hidrograma anual de la gráfica caudal vs tiempo, el cual indica una tendencia de los caudales al ascenso a largo plazo, ocasionado por compactación de los suelos con lo que se reduce la infiltración y se incrementa el escurrimiento superficial.

**Gráfico 3.2.4-39** Tendencia de los caudales, río Neusa, estación Puente Carretera



**Fuente:** CAR, 2014. Adaptado por ACON, Miembro Grupo INERCO, 2014.

- **Curva de duración de caudales, río Neusa**

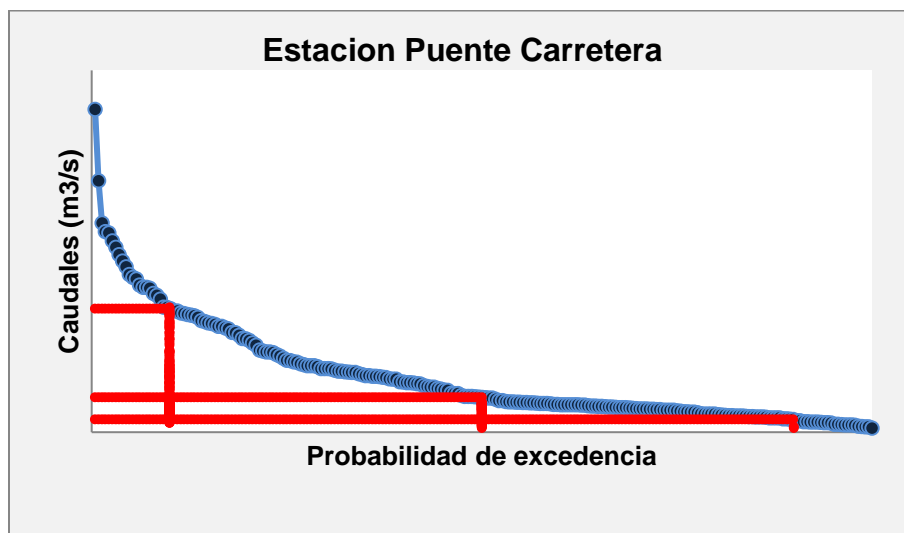
En la Tabla 3.2.4-25 se presentan los registros de los caudales característicos y en el Gráfico 3.2.4-40 se muestran las formas típicas de la curva de duración de los caudales medios. También se puede observar el caudal ambiental, que para el río Neusa a la altura de la estación Puente Carretera es de 0,17 m³/s.

**Tabla 3.2.4-25** Caudales característicos río Neusa estación Puente Carretera

	Registros caudales (m³/s)
Máximo registro	6,2
Menor registro	0,1
Registro 10%, o caudal de aguas altas	2,39
Registro 50%, o caudal promedio	0,673
Registro del 90%, o caudal base	0,248
Registro del 95%, o caudal ecológico	0,177

**Fuente:** CAR, 2014. Adaptado por ACON, Miembro Grupo INERCO, 2014.

**Gráfico 3.2.4-40** Curva de duración de caudales río Neusa estación Puente Carretera



Fuente: CAR, 2014. Adaptado por ACON, Miembro Grupo INERCO, 2014.

- Análisis probabilístico río Neusa**

A continuación se presentan en la Tabla 3.2.4-26 los resultados de la estadística de caudales máximos de las series seleccionadas y en la Tabla 3.2.4-27 y Gráfico 3.2.4-41 los resultados de la distribución que más se ajustó a la tendencia.

**Tabla 3.2.4-26** Estadística descriptiva de la serie de caudales máximos, río Neusa, estación Puente Carretera

Variable	Valor
Número de datos	19
Mínimo	0,52
Máximo	6,25
Promedio	2,44
Desviación estándar	1,37
Mediana	2,39
Coeficiente de variación	0,563
Coeficiente de asimetría	1,06
Coeficiente de Curtosis	3,73

Fuente: CAR, 2014. Adaptado por ACON, Miembro Grupo INERCO, 2014.

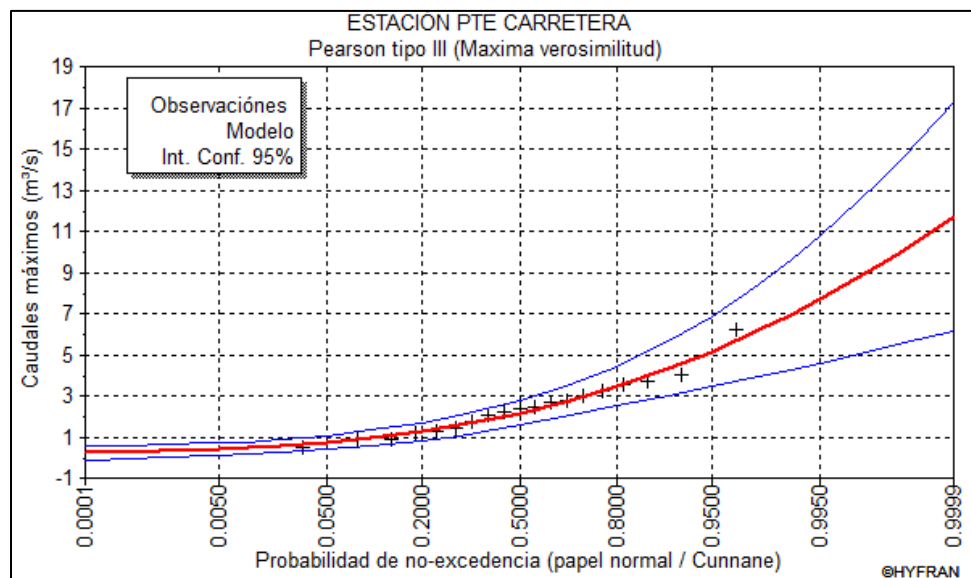


**Tabla 3.2.4-27** Caudales máximos para diferentes periodos de retorno, río Neusa, estación Puente Carretera

TR	Caudales (m <sup>3</sup> /s)
100	6,94
50	6,18
20	5,14
10	4,33
5	3,46
3	2,79
2	2,15

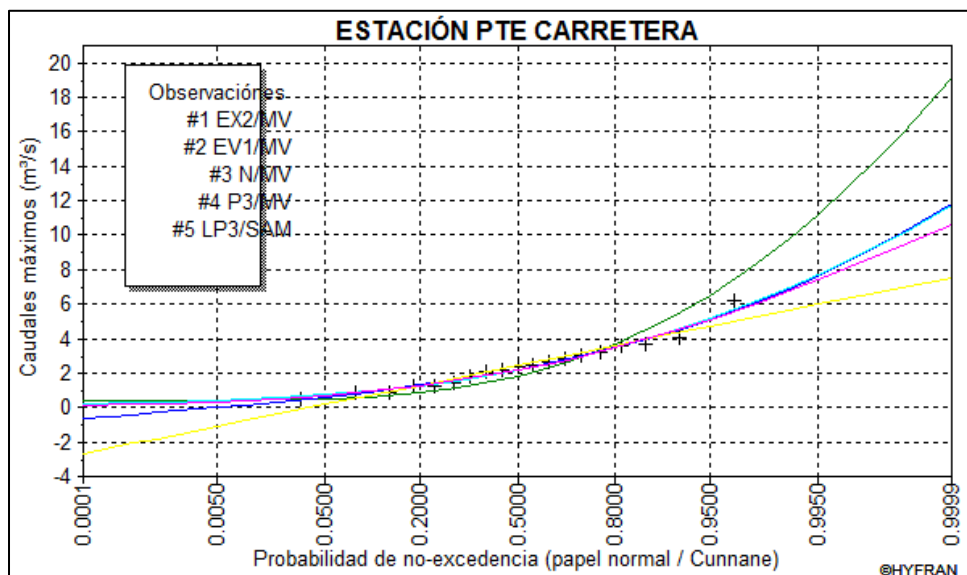
**Fuente:** CAR, 2014. Adaptado por ACON, Miembro Grupo INERCO, 2014.

**Gráfico 3.2.4-41** Probabilidad de ocurrencia de caudales máximos, río Neusa, estación Puente Carretera



**Fuente:** CAR, 2014. Adaptado por ACON, Miembro Grupo INERCO, 2014.

**Gráfico 3.2.4-42** Comparación probabilidad de ocurrencia de caudales máximos, río Neusa, estación Puente Carretera



**Fuente:** CAR, 2014. Adaptado por ACON, Miembro Grupo INERCO, 2014.

El análisis de frecuencias de caudales mínimos, ha demostrado que la distribución Log Pearson Tipo 3 (método de SAM) es la que mejor se ajusta a los datos de la estación (ver la Tabla 3.2.4-28, Tabla 3.2.4-29 y Gráfico 3.2.4-43).

**Tabla 3.2.4-28** Estadística descriptiva de la serie de caudales mínimos, río Neusa, estación Puente Carretera

Variable	Valor
Número de datos	19
Mínimo	0,08
Máximo	1,14
Promedio	0,38
Desviación estándar	0,34
Mediana	0,28
Coefficiente de variación	0,90
Coefficiente de asimetría	1,51
Coefficiente de Curtosis	3,15

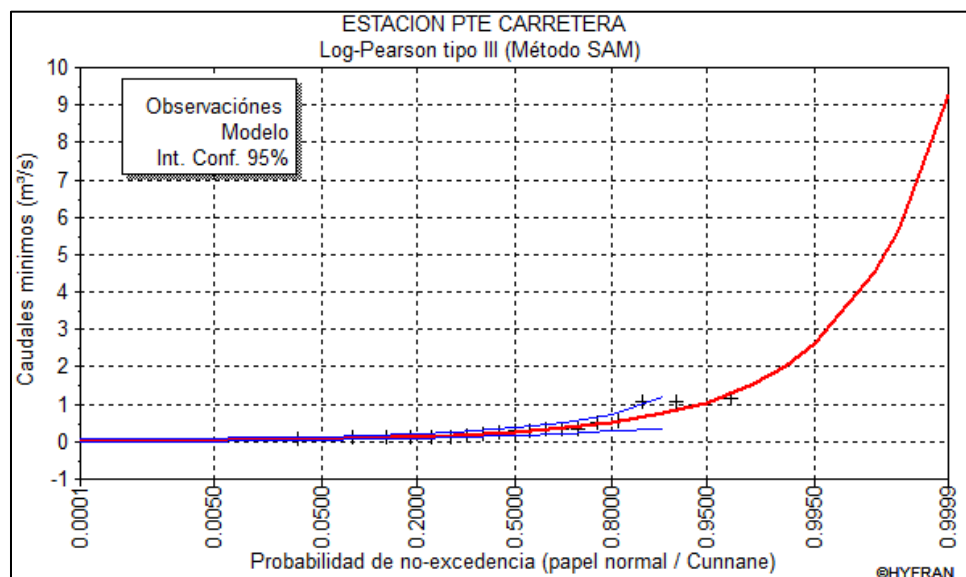
**Fuente:** CAR, 2014. Adaptado por ACON, Miembro Grupo INERCO, 2014.

**Tabla 3.2.4-29** Caudales mínimos para diferentes periodos de retorno, río Neusa, estación Puente Carretera

TR	Caudales (m <sup>3</sup> /s)
100	0.05
50	0.06
20	0.08
10	0.10
5	0.14
3	0.17
2	0.26

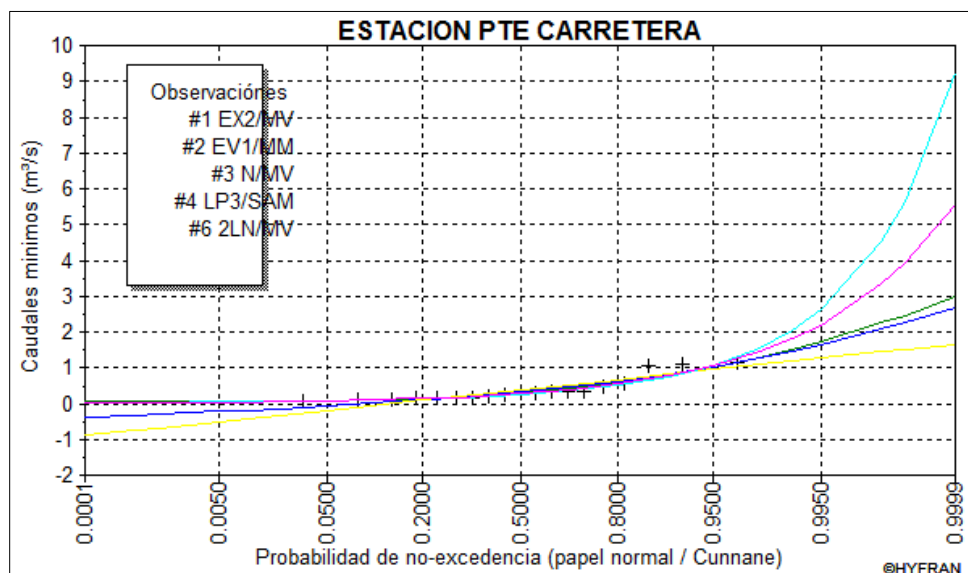
**Fuente:** CAR, 2014. Adaptado por ACON, Miembro Grupo INERCO, 2014.

**Gráfico 3.2.4-43** Probabilidad de ocurrencia de caudales mínimos, río Neusa, estación Puente Carretera



**Fuente:** CAR, 2014. Adaptado por ACON, Miembro Grupo INERCO, 2014.

**Gráfico 3.2.4-44** Comparación probabilidad de ocurrencia de caudales mínimos, río Neusa, estación Puente Carretera



**Fuente:** CAR, 2014. Adaptado por ACON, Miembro Grupo INERCO, 2014.

### 3.2.4.2 Área de Influencia Directa (AID)

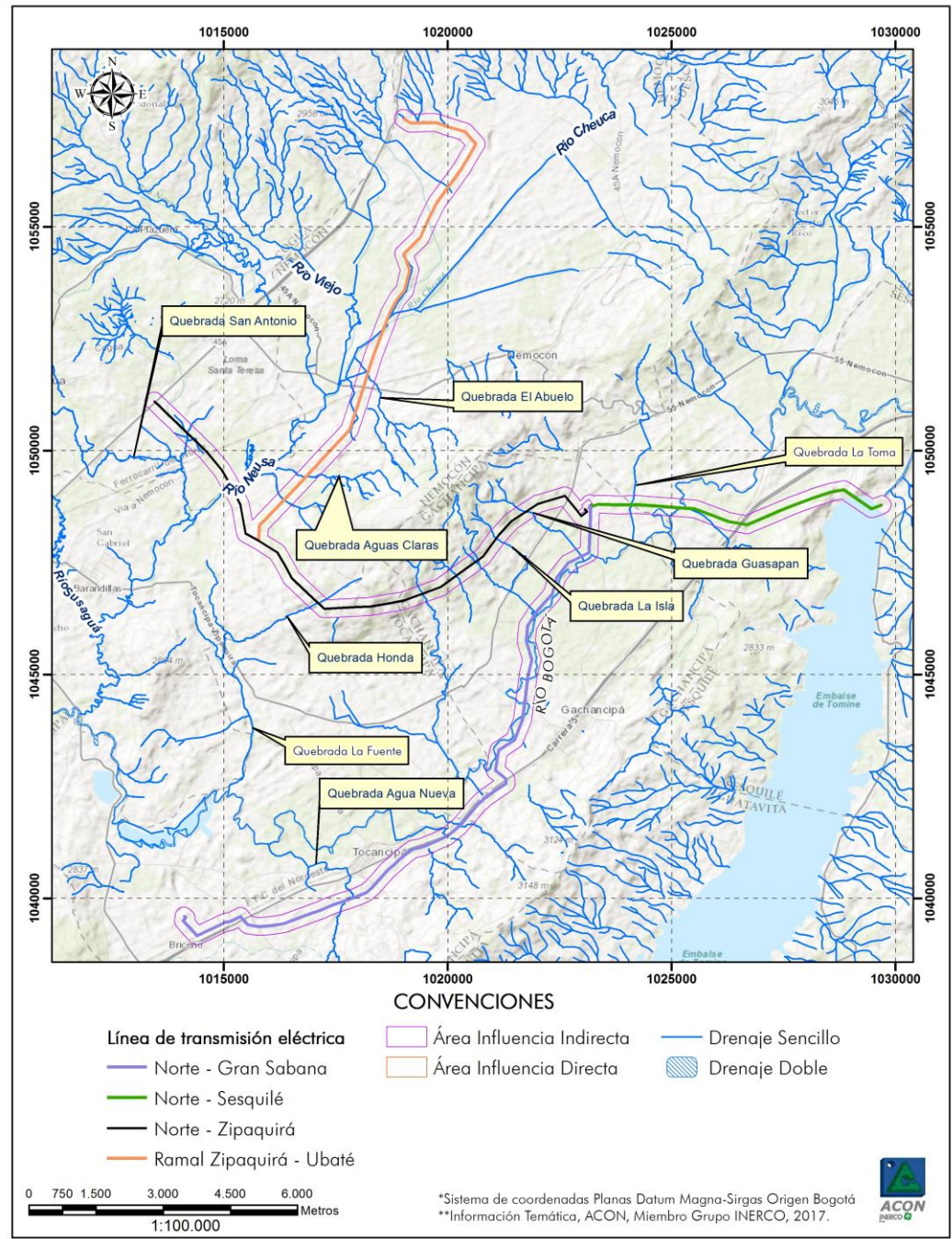
Para la delimitación del área de influencia directa se seleccionó una franja de 15 metros a lado y lado del eje de las líneas de transmisión y el área de intervención, donde será construida la subestación, zonas en la cual se considera la afectación al recurso por las actividades de construcción, operación y mantenimiento del proyecto debido a la eventual generación de residuos líquidos.

A continuación, se describen los principales cuerpos hídricos que cruzan el área de intervención.

#### A Identificación redes de drenaje

La Figura 3.2.4-9 ilustra los drenajes presentes en el área de influencia del proyecto. Como corrientes principales se destaca el río Bogotá, que corre paralelo al corredor Gran Sabana y el río Neusa, cerca al Ramal Zipaquirá-Ubaté, los cuales se describieron en el acápite 3.2.4.1 Área de influencia indirecta. Adicional a los previamente mencionados, se destaca la presencia de varias quebradas, como Agua Nueva (corredor Norte-Gran Sabana), Guasapan, La Isla, Honda, San Antonio (Corredor Norte-Zipaquirá), Aguas Claras y El Abuelo (corredor Ramal Zipaquirá-Ubaté).

**Figura 3.2.4-9 Drenajes área de influencia del proyecto**



**Fuente:** ACON, Miembro Grupo INERCO, 2015.



## I Sistemas lóticos

El río Bogotá es la principal corriente o sistema lótico por el cual se proyecta el trazado, específicamente en los corredores Norte-Sesquilé y Norte-Gran Sabana, en el corredor Norte Zipaquirá y Ramal se encuentran el río Neusa y el río Checua. Otras corrientes identificadas son los canales de riego, la quebrada Guasapán, en el Corredor Norte-Zipaquirá y la quebrada Aguas Claras en el Corredor Norte – Gran Sabana. En la Tabla 3.2.4-30, se presenta el registro fotográfico de los cuerpos identificados en campo y que se encuentran en el AID del proyecto, se resalta que el trazado no estima intervención en ninguno de los cuerpos de agua por donde se tienden las líneas de transmisión.

**Tabla 3.2.4-30** Inventario de sistemas loticos en el área de influencia directa



Registro fotográfico	Descripción
<p><b>Fotografía 3.2.4-12</b> Canal de riego 1</p>  <p><b>Fuente:</b> ACON, Miembro Grupo INERCO, 2014.</p>	<p><b>Departamento:</b> Cundinamarca  <b>Municipio:</b> Gachancipá  <b>Vereda:</b> San José  <b>Nombre del cuerpo de agua:</b> Canal de riego 1  <b>Coordenadas</b>  <b>Norte:</b> 1048986  <b>Este:</b> 1023108  <b>Existen cultivos cercanos a la fuente:</b> Si  <b>Existe modificación del cauce:</b> Canal artificial  <b>De acuerdo con la población es:</b> Intermitente  <b>Rastros o presencia de animales:</b> No.  <b>Tipo de vegetación alrededor de la fuente:</b>  Árboles, Pastizales  <b>Color del agua:</b> Turbia  <b>Estado del tiempo:</b> Soleado  <b>Material de fondo:</b> Lodos  <b>Captaciones:</b> Si, se evidencian captaciones por parte de usuarios para uso agrícola.  <b>Vertimientos:</b> No</p>

 <p>INGENIERÍA &amp; DISEÑO S. A.</p>	 <p>Codensa</p>	 <p>Enel</p>	<p><b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL</b>  <b>Capítulo 3. Caracterización del área de influencia del proyecto</b>  CONTRATO 5700004954</p>
Codensa es una empresa del Grupo Enel			

Registro fotográfico	Descripción
<p><b>Fotografía 3.2.4-13</b> Canal de riego 2</p>  <p><b>Fuente:</b> ACON, Miembro Grupo INERCO, 2014.</p>	<p><b>Departamento:</b> Cundinamarca  <b>Municipio:</b> Sesquilé  <b>Vereda:</b> Boíta  <b>Nombre del cuerpo de agua:</b> Canal de riego 2  <b>Coordenadas</b>  <b>Norte:</b> 1048910  <b>Este:</b> 1025670  <b>Tipo de Propiedad:</b> Privada  <b>Existen cultivos cercanos a la fuente:</b> Si  <b>Existe modificación del cauce:</b> Canal artificial  <b>Temporalidad de la corriente:</b> Permanente  <b>Rastros o presencia de animales:</b> No.  <b>Tipo de vegetación alrededor de la fuente:</b> Pastizales  <b>Color del agua:</b> Turbia  <b>Estado del tiempo:</b> Soleado  <b>Material de fondo:</b> Lodos  <b>Captaciones:</b> Si, para uso doméstico (riego de pastos) y consumo de ganado.  <b>Vertimientos:</b> No</p>
<p><b>Fotografía 3.2.4 9</b> Río Bogotá (1)</p>  <p><b>Fuente:</b> ACON, Miembro Grupo INERCO, 2014.</p>	<p><b>Departamento:</b> Cundinamarca  <b>Municipio:</b> Gachancipá  <b>Vereda:</b> San Martín  <b>Nombre del cuerpo de agua:</b> río Bogotá  <b>Coordenadas</b>  <b>Norte:</b> 1044278  <b>Este:</b> 1021838  <b>Tipo de propiedad:</b> Municipal, sobre vía terciaria  <b>Existen cultivos cercanos a la fuente:</b> No  <b>Existe modificación del cauce:</b> Obra, puente.  <b>Temporalidad de la corriente:</b> Permanente  <b>Rastros o presencia de animales:</b> Si.  <b>Tipo de vegetación alrededor de la fuente:</b> Pastizales  <b>Color del agua:</b> Turbia  <b>Estado del tiempo:</b> Nublado  <b>Material de fondo:</b> Lodos  <b>Captaciones:</b> Si, para uso doméstico (riego de pastos) y consumo de ganado, mediante el uso de motobombas.  <b>Vertimientos:</b> Si. Indirectos (aguas debajo de los puntos de captación), por actividades agrícolas a lo largo de la cuenca  <b>Generador:</b> PTAR de Gachancipá  <b>Tipo:</b> Aguas residuales tratadas</p>



 <p>INGENIERÍA &amp; DISEÑO S. A.</p>			<p><b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL</b></p> <p><b>Capítulo 3. Caracterización del área de influencia del proyecto</b></p> <p>CONTRATO 5700004954</p>
Codensa es una empresa del Grupo Enel			

Registro fotográfico	Descripción
<p><b>Fotografía 3.2.4-14 Río Bogotá (2)</b></p>  <p><b>Fuente:</b> ACON, Miembro Grupo INERCO, 2014.</p>	<p><b>Departamento:</b> Cundinamarca  <b>Municipio:</b> Gachancipá  <b>Vereda:</b> San José  <b>Nombre del cuerpo de agua:</b> río Bogotá  <b>Coordenadas</b>  <b>Norte:</b> 1045709  <b>Este:</b> 1021841  <b>Tipo de propiedad:</b> Privada  <b>Existen cultivos cercanos a la fuente:</b> No, pastos.  <b>Temporalidad de la corriente:</b> Permanente  <b>Rastros o presencia de animales:</b> Si, excretas.  <b>Tipo de vegetación alrededor de la fuente:</b> Pastizales, arbustos, arboles.  <b>Color del agua:</b> Turbia  <b>Estado del tiempo:</b> Nublado  <b>Material de fondo:</b> Lodos  <b>Captaciones:</b> Si, para uso industrial en los sistemas de riego.  <b>Vertimientos:</b> Si.  <b>Generador:</b> Finca agropecuaria.  <b>Tipo:</b> Aguas residuales domésticas.</p>
<p><b>Fotografía 3.2.4-15 Río Bogotá (3)</b></p>  <p><b>Fuente:</b> ACON, Miembro Grupo INERCO, 2014.</p>	<p><b>Departamento:</b> Cundinamarca  <b>Municipio:</b> Sesquilé  <b>Vereda:</b> Boíta  <b>Nombre del cuerpo de agua:</b> río Bogotá  <b>Coordenadas</b>  <b>Norte:</b> 1049262  <b>Este:</b> 1025198  <b>Tipo de propiedad:</b> Municipal, vía terciaria.  <b>Existen cultivos cercanos a la fuente:</b> No, pastos.  <b>Obras sobre a corriente:</b> Puente  <b>Temporalidad de la corriente:</b> Permanente  <b>Rastros o presencia de animales:</b> No.  <b>Tipo de vegetación alrededor de la fuente:</b> Pastizales, arbustos, arboles.  <b>Color del agua:</b> Turbia  <b>Estado del tiempo:</b> Soleado.  <b>Material de fondo:</b> Lodos  <b>Captaciones:</b> Si, aguas arriba.  <b>Vertimientos:</b> No</p>

 <p>INGENIERÍA &amp; DISEÑO S. A.</p>			<p><b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL</b></p> <p><b>Capítulo 3. Caracterización del área de influencia del proyecto</b></p> <p>CONTRATO 5700004954</p>
Codensa es una empresa del Grupo Enel			

Registro fotográfico	Descripción
<p><b>Fotografía 3.2.4-16</b> Quebrada Guasapán</p>  <p><b>Fuente:</b> ACON, Miembro Grupo INERCO, 2014.</p>	<p><b>Departamento:</b> Cundinamarca  <b>Municipio:</b> Gachancipá  <b>Vereda:</b> San José  <b>Nombre del cuerpo de agua:</b> Quebrada Guasapán  <b>Coordenadas</b>  <b>Norte:</b> 1048289  <b>Este:</b> 1022175  <b>Ancho:</b> 3 m  <b>Tipo de propiedad:</b> Municipal, vía terciaria.  <b>Existen cultivos cercanos a la fuente:</b> No, pastos.  <b>Obras sobre a corriente:</b> Puente  <b>Temporalidad de la corriente:</b> Intermitente  <b>Rastros o presencia de animales:</b> Si, excretas  <b>Tipo de vegetación alrededor de la fuente:</b> Arbustos, arboles.  <b>Color del agua:</b> Turbia  <b>Estado del tiempo:</b> Soleado.  <b>Material de fondo:</b> Arenas.  <b>Captaciones:</b> No.  <b>Vertimientos:</b> Si.  <b>Generador:</b> Ladrillera.  <b>Tipo:</b> sedimentos por escorrentía.</p>
<p><b>Fotografía 3.2.4-17</b> Quebrada Agua Nueva</p>  <p><b>Fuente:</b> Google Earth, 2017.</p>	<p><b>Departamento:</b> Cundinamarca  <b>Municipio:</b> Tocancipá  <b>Vereda:</b> Casco urbano  <b>Nombre del cuerpo de agua:</b> Quebrada Agua Nueva  <b>Coordenadas</b>  <b>Norte:</b> 1039888,362  <b>Este:</b> 1017701,768  <b>Tipo de propiedad:</b> Municipal, vía terciaria.  <b>Existen cultivos cercanos a la fuente:</b> No, pastos.  <b>Obras sobre a corriente:</b> Box-culvert  <b>Temporalidad de la corriente:</b> Intermitente  <b>Tipo de vegetación alrededor de la fuente:</b> Arbustos, arboles.</p>
<p><b>Fotografía 3.2.4-18</b> Quebrada NN 1</p>  <p><b>Fuente:</b> Google Earth, 2017.</p>	<p><b>Departamento:</b> Cundinamarca  <b>Municipio:</b> Tocancipá  <b>Vereda:</b> Casco Urbano  <b>Nombre del cuerpo de agua:</b> Quebrada NN 1  <b>Coordenadas</b>  <b>Norte:</b> 1041236,825  <b>Este:</b> 1019583,983  <b>Tipo de propiedad:</b> Municipal, vía terciaria.  <b>Existen cultivos cercanos a la fuente:</b> No, pastos.  <b>Obras sobre a corriente:</b> Box-culvert  <b>Temporalidad de la corriente:</b> Intermitente  <b>Tipo de vegetación alrededor de la fuente:</b> Pastos, arboles.</p>

 <p>INGENIERÍA &amp; DISEÑO S.A.</p>	 <p>Codensa es una empresa del Grupo Enel</p>		<p><b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL</b>  <b>Capítulo 3. Caracterización del área de influencia del proyecto</b>  CONTRATO 5700004954</p>
---	--	---	---

Registro fotográfico	Descripción
<p><b>Fotografía 3.2.4-19 Quebrada NN 2</b></p>  <p><b>Fuente:</b> Google Earth, 2017.</p>	<p><b>Departamento:</b> Cundinamarca  <b>Municipio:</b> Tocancipá  <b>Vereda:</b> Casco Urbano  <b>Nombre del cuerpo de agua:</b> Quebrada NN 2  <b>Coordenadas</b>  <b>Norte:</b> 1041637,201  <b>Este:</b> 1020270,184  <b>Tipo de propiedad:</b> Municipal, vía terciaria.  <b>Existen cultivos cercanos a la fuente:</b> No, pastos.  <b>Obras sobre a corriente:</b> Box-culvert  <b>Temporalidad de la corriente:</b> Intermitente  <b>Rastros o presencia de animales:</b> No  <b>Tipo de vegetación alrededor de la fuente:</b> Pastos, arboles.</p>

\*El registro fotográfico fue tomado en cercanías a la interceptación de la línea eléctrica.

**Fuente:** ACON, Miembro Grupo INERCO, 2014.

## II Sistemas lénticos

Dentro de la red de represas de la cuenca alta del río Bogotá se encuentra el embalse de Tominé (ver **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**), ubicado dentro de los límites de los municipios de Sesquilé y Guatavita; este suministra agua al río Bogotá, para abastecer las diferentes demandas ambientales, de acueducto, agropecuarias y de generación de energía. Dicho embalse hace parte del sistema hídrico de la sabana de Bogotá junto con los embalses del Sisga y Neusa (ver Fotografía 3.2.4-2). Tiene una longitud de 18 km de largo por 4 km ancho y 50 m en promedio de profundidad, con capacidad para 690.000.000 m<sup>3</sup> de agua, por lo que se ha convertido en una reserva de vital importancia para el sector<sup>7</sup>.

<sup>7</sup> Emgesa. Plan de manejo ambiental. [En Línea] [citado el 22, julio, 2015]. Disponible en internet: <http://www.eeb.com.co/responsabilidad-global/gestion-sostenible/embalse-de-tomine>



 <p>INGENIERÍA &amp; DISEÑO S. A.</p>	 <p>Codensa es una empresa del Grupo Enel</p>		<p><b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL</b>  <b>Capítulo 3. Caracterización del área de influencia del proyecto</b>  CONTRATO 5700004954</p>
--	--	---	---

**Fotografía 3.2.4-20** Embalse Tominé localizado en la parte alta de la cuenca del río Bogotá y en el sector oriental del proyecto



**Fuente:** ACON, Miembro Grupo INERCO, 2014.

A continuación, se describen **otros** cuerpos lénticos de agua identificados (por medio de visitas de campo e información secundaria) en cada uno de los cruces del trazado de los corredores por donde se proyecta la línea eléctrica (ver Tabla 3.2.4-31).

**Tabla 3.2.4-31** Inventario de sistemas lenticos en el área de influencia directa

Registro fotográfico	Descripción
<p><b>Fotografía 3.2.4-21</b> Sistema léntico lago NN6</p>  <p><b>Fuente:</b> Google Earth, 2017.</p>	<p><b>Departamento:</b> Cundinamarca  <b>Municipio:</b> Tocancipá  <b>Vereda:</b> Casco Urbano  <b>Nombre del cuerpo de agua:</b> Lago NN6  <b>Coordenadas</b>  <b>Norte:</b> 1040056,551  <b>Este:</b> 1017989,121  <b>Tipo de sistema:</b> Jagüey.  <b>Tipo de propiedad donde se encuentra la fuente:</b> Privada  <b>Temporalidad del cuerpo de agua:</b> Permanente.  <b>Tipo de vegetación circundante:</b> Pastizales.</p>
<p><b>Fotografía 3.2.4-22</b> Sistema léntico lago NN7</p>	<p><b>Departamento:</b> Cundinamarca  <b>Municipio:</b> Nemocón  <b>Vereda:</b> Agua Clara  <b>Nombre del cuerpo de agua:</b> Lago NN7  <b>Coordenadas</b>  <b>Norte:</b> 1050854,938  <b>Este:</b> 1017940,349  <b>Tipo de sistema:</b> Jagüey.  <b>Tipo de propiedad donde se encuentra la fuente:</b> Privada</p>

 <p>INGENIERÍA &amp; DISEÑO S. A.</p>	 <p>Codensa es una empresa del Grupo Enel</p>		<p><b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL</b>  <b>Capítulo 3. Caracterización del área de influencia del proyecto</b>  CONTRATO 5700004954</p>
--	--	---	---

Registro fotográfico	Descripción
 <p>Fuente: Google Earth, 2017.</p>	<p><b>Temporalidad del cuerpo de agua:</b> Permanente.  <b>Tipo de vegetación circundante:</b> Pastizales.</p>
<p><b>Fotografía 3.2.4-23 Sistema léntico lago NN8</b></p>  <p>Fuente: Google Earth, 2017.</p>	<p><b>Departamento:</b> Cundinamarca  <b>Municipio:</b> Nemocón  <b>Nombre del cuerpo de agua:</b> Lago NN8  <b>Coordenadas</b>  <b>Norte:</b> 1057149,72  <b>Este:</b> 1020323,747  <b>Tipo de sistema:</b> Jagüey.  <b>Tipo de propiedad donde se encuentra la fuente:</b> Privada  <b>Temporalidad del cuerpo de agua:</b> Permanente.  <b>Tipo de vegetación circundante:</b> Pastizales.</p>
<p><b>Fotografía 3.2.4-24 Sistema léntico lago NN9</b></p>  <p>Fuente: Google Earth, 2017.</p>	<p><b>Departamento:</b> Cundinamarca  <b>Municipio:</b> Nemocón  <b>Nombre del cuerpo de agua:</b> Lago NN9  <b>Coordenadas</b>  <b>Norte:</b> 1057281,578  <b>Este:</b> 1020046,17  <b>Tipo de sistema:</b> Jagüey.  <b>Tipo de propiedad donde se encuentra la fuente:</b> Privada  <b>Temporalidad del cuerpo de agua:</b> Permanente.  <b>Tipo de vegetación circundante:</b> Pastizales.</p>

Fuente: ACON, Miembro Grupo INERCO, 2014.

## B Inventario de fuentes contaminantes

Según lo reportado por la CAR (ver Anexo 3-4 Permisos de vertimientos) en el área de estudio se registran siete (7) usuarios con permiso de vertimientos de agua residual doméstica y/o agua residual industrial, los cuales se describen en la Tabla 3.2.4-32.

**Tabla 3.2.4-32** Permisos de vertimientos otorgados

Actividad económica	Tipo de vertimiento	Medio receptor	Coordenadas*		Tipo de agua
			Norte	Este	
Construcción de edificaciones	Puntual directo	Río Susagua	1046595	1011803	Residual doméstica
Explotación agrícola y pecuaria	---	Quebrada del Padre Otero	1011508	10150633	Residual
Zona franca	Puntual directo	Río Bogotá	1041169	1013086	Residual doméstica e industrial
Zona franca	Puntual directo	La Porquera	1046766	1025568	Residual doméstica e industrial
Embotelladora Coca-Cola	Puntual directo	Río Bogotá	1043847	1011801	Residual industrial
Explotación de arcilla	Puntual indirecto	Pozo sedimentador	1059458	1021827	Residual industrial
Extracción de madera	Puntual indirecto	La Porquera	1046261	1025464	Residual doméstica

\*Coordenadas MAGNA-SIRGAS Origen Bogotá

**Fuente:** Adaptado de “CAR, 2015” por ACON, Miembro Grupo INERCO, 2015.

## C Red hidrográfica

Como se mencionó anteriormente el proyecto se encuentra dentro de la dinámica fluvial del río Bogotá. A nivel más local, se ubica en la cuenca alta desde su nacimiento en Villapinzón, el cual presenta una dirección de flujo predominante en sentido NE-SW.

### I Cuenca del río Bogotá

La cuenca del río Bogotá se encuentra localizada en el departamento de Cundinamarca y junto con los ríos Sumapaz, Magdalena, Negro, Minero, Suárez, Blanco, Gacheta y Machetá, conforma el grupo de corrientes de segundo orden del departamento. Tiene una superficie total de 589.143 ha que corresponden a cerca del 32% del total de la superficie departamental. Limita en su extremo norte con el Departamento de Boyacá, en el extremo

sur con el Departamento del Tolima, al occidente con los municipios de Bituima, Guayabal de Siquima, Albán, Sasaima, La Vega, San Francisco, Supatá y Pacho, finalmente al oriente con los municipios de Chipaque, Choachi, Nilo, Silvania, Tibacuy y Ubaque.<sup>8</sup>

El río Bogotá constituye la corriente principal de la cuenca, recorriendo desde su nacimiento a los 3.300 m s.n.m. en el municipio de Villapinzón, subcuenca río Alto Bogotá, hasta su desembocadura al río Magdalena a los 280 m s.n.m. en el municipio de Girardot subcuenca Río Bajo Bogotá Apulo-Girardot, un total de 308 km.

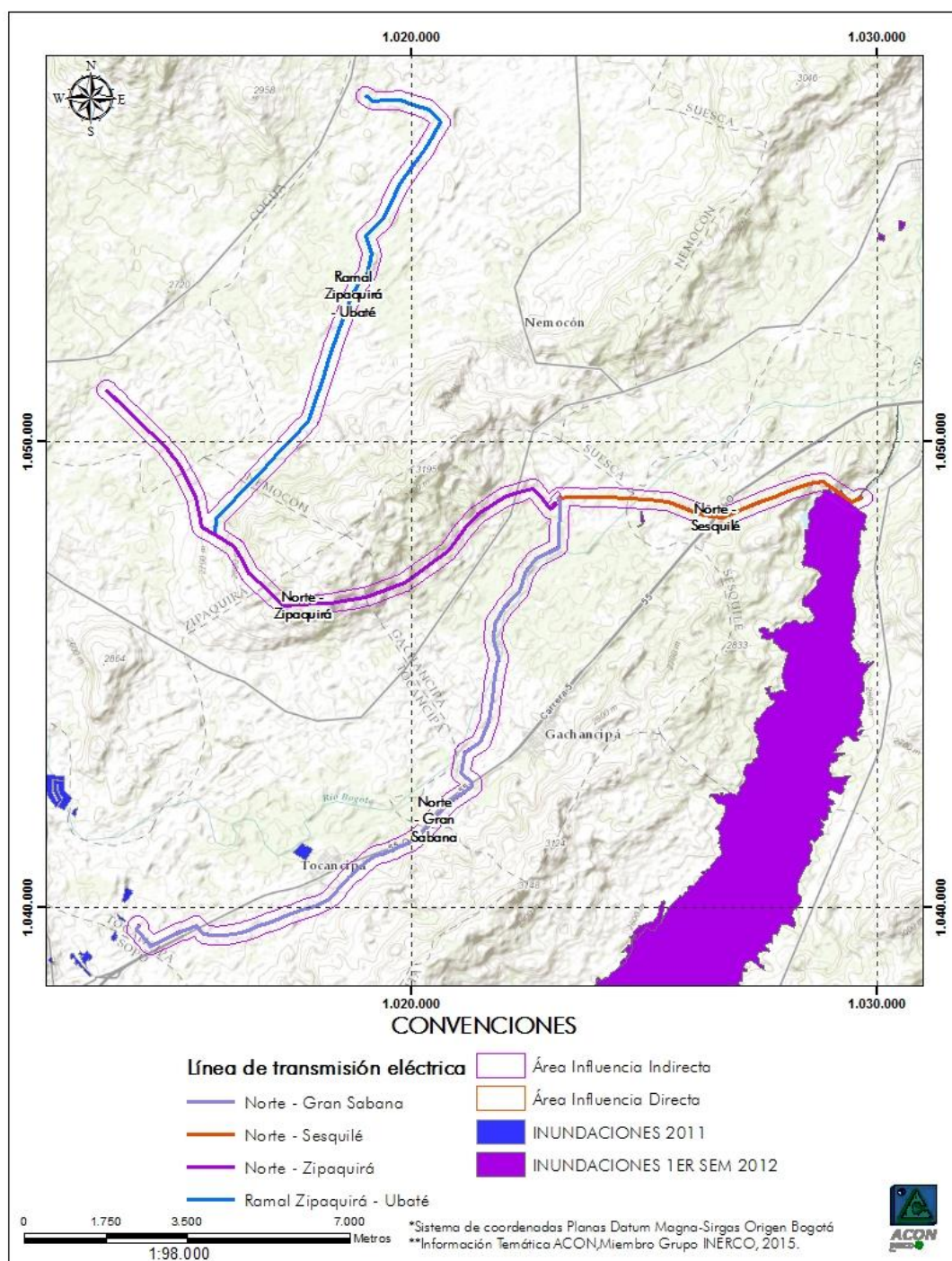
El 30% de la cuenca se caracteriza por presentar un relieve fuertemente ondulado a fuertemente quebrado, con pendientes entre 12 y 25 %; le sigue en importancia el relieve fuertemente quebrado con pendientes entre 25 y 50%. Estas condiciones de relieve y pendiente se presentan de forma general en toda la cuenca, con excepción del área comúnmente denominada como sabana y en la parte baja de la cuenca, donde predominan las pendientes entre 0 y 7 % y los relieves planos, ligeramente plano, ligeramente inclinado y ligeramente ondulado.

En la Figura 3.2.4-10 se pueden observar los eventos de inundación ocurridos entre el segundo semestre del año 2011 y el primer semestre del año 2012 en las zonas cercanas al proyecto por la ocurrencia del fenómeno de La Niña. Se destaca que cerca de la línea Zipaquirá-Ubaté el evento de 2012 se presenció en el Embalse de Tominé en las cercanías del municipio de Guatavita. Las zonas de inundación del 2011 se ubicaron en los municipios de Zipaquirá y Cajicá, cerca del Corredor Norte-Zipaquirá.

<sup>8</sup> Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca- CAR, Plan de Ordenamiento y Manejo de la Cuenca del río Bogotá, Bogotá, 2006.



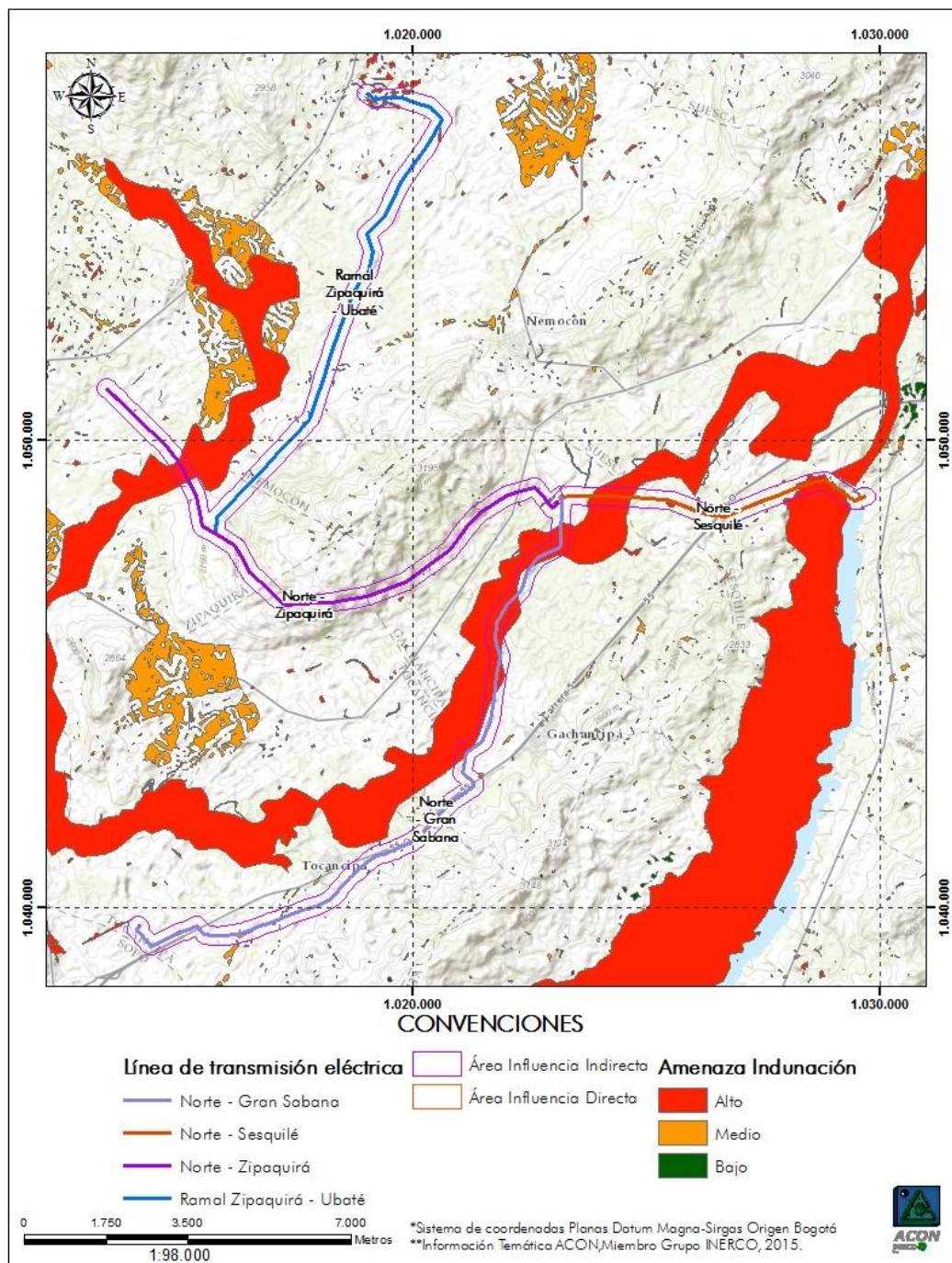
**Figura 3.2.4-10** Eventos de inundación 2011-2012



**Fuente:** ICDE, 2012. Adaptado por ACON, Miembro Grupo INERCO, 2015.

En la Figura 3.2.4-11 se ilustra la amenaza de inundación, en la ronda de los ríos identificados y el Embalse de Tominé es donde la amenaza es alta. En los municipios de Zipaquirá, Tocancipá y Cogua, existen polígonos con amenaza media como se aprecia en color amarillo.

**Figura 3.2.4-11 Amenaza de inundación**



**Fuente:** CAR, 2014. Adaptado por ACON, Miembro Grupo INERCO, 2015.



## **D Inventario de pozos, aljibes y manantiales**

El inventario de puntos de agua subterránea incluye aljibes y manantiales presentes en el área de estudio y que pueden ser susceptibles a contaminación en el área de estudio por la ejecución del proyecto. Los puntos de agua inventariados se detallan en el numeral 3.2.5.2D Inventario de puntos de agua subterránea.

## **E Régimen hidrológico y caudales máximos, medios y mínimos mensuales de las fuentes a intervenir.**

Dentro del Área de Influencia Directa se encuentran tanto los sistemas lóticos del numeral 3.2.4.1A, como los listados en la Tabla 3.2.4-30. Para los ríos, la descripción del régimen hidrológico se encuentra en el numeral 3.2.4.1F Identificación del régimen hidrológico y caudales característicos de las principales corrientes. En el caso de las quebradas y demás corrientes de agua, de acuerdo al listado de estaciones hidrometeorológicas de la CAR y el IDEAM no se registran estaciones ni limnimétricas ni limnigráficas sobre estas corrientes que permitan tener un registro histórico de caudales.

Por otro lado, es necesario tener en cuenta que la infraestructura del proyecto no generará afectación directa a ninguna fuente de agua por lo que la caracterización de régimen hidrológico de otras corrientes, diferentes a los ríos del Área de Influencia Indirecta, no se presenta en este numeral.

## **F Vulnerabilidad a la contaminación de los acuíferos**

La vulnerabilidad intrínseca de los acuíferos a la contaminación se presenta en el numeral 3.2.5 “Hidrogeología”, acápite 3.2.5.3 “Vulnerabilidad intrínseca de los acuíferos a la contaminación”.

## **G Unidades hidrogeológicas**

Esta información se relaciona en el numeral 3.2.5 “Hidrogeología”, acápite 3.2.5.2 “Caracterización de unidades hidrogeológicas locales”.

## **H Caracterización físico-química, bacteriológica e hidrobiológica de las fuentes hídricas susceptibles de intervención**

Para el análisis de calidad de agua se tuvo en cuenta tres cuerpos de agua superficial: el río Bogotá, el río Neusa y el río Checua, puesto que estas son las corrientes hídricas de

mayor importancia que atraviesan por la zona de intervención. El monitoreo fue realizado por el laboratorio Corporación Integral del Medio Ambiente (CIMA) acreditado por el IDEAM. Para el muestreo, se tomaron los límites de calidad de agua establecidos en el Decreto 1594/84 en sus artículos 38 (límite consumo humano con tratamiento), 39 (límite consumo humano con desinfección), 40 (límite uso agrícola), 41 (límite uso pecuario), 42 (fines recreativos contacto primario) y 43 (fines recreativos contacto secundario). Ver Anexo 3-5. Resultados laboratorio

## I Sitios de muestreo

La ubicación de los puntos de muestreo se estableció con el fin de determinar las condiciones actuales de calidad de las corrientes hídricas cercanas a la zona de intervención. En total se caracterizaron cuatro puntos, dos sobre el río Bogotá, uno sobre el río Neusa y otro sobre el río Checua.

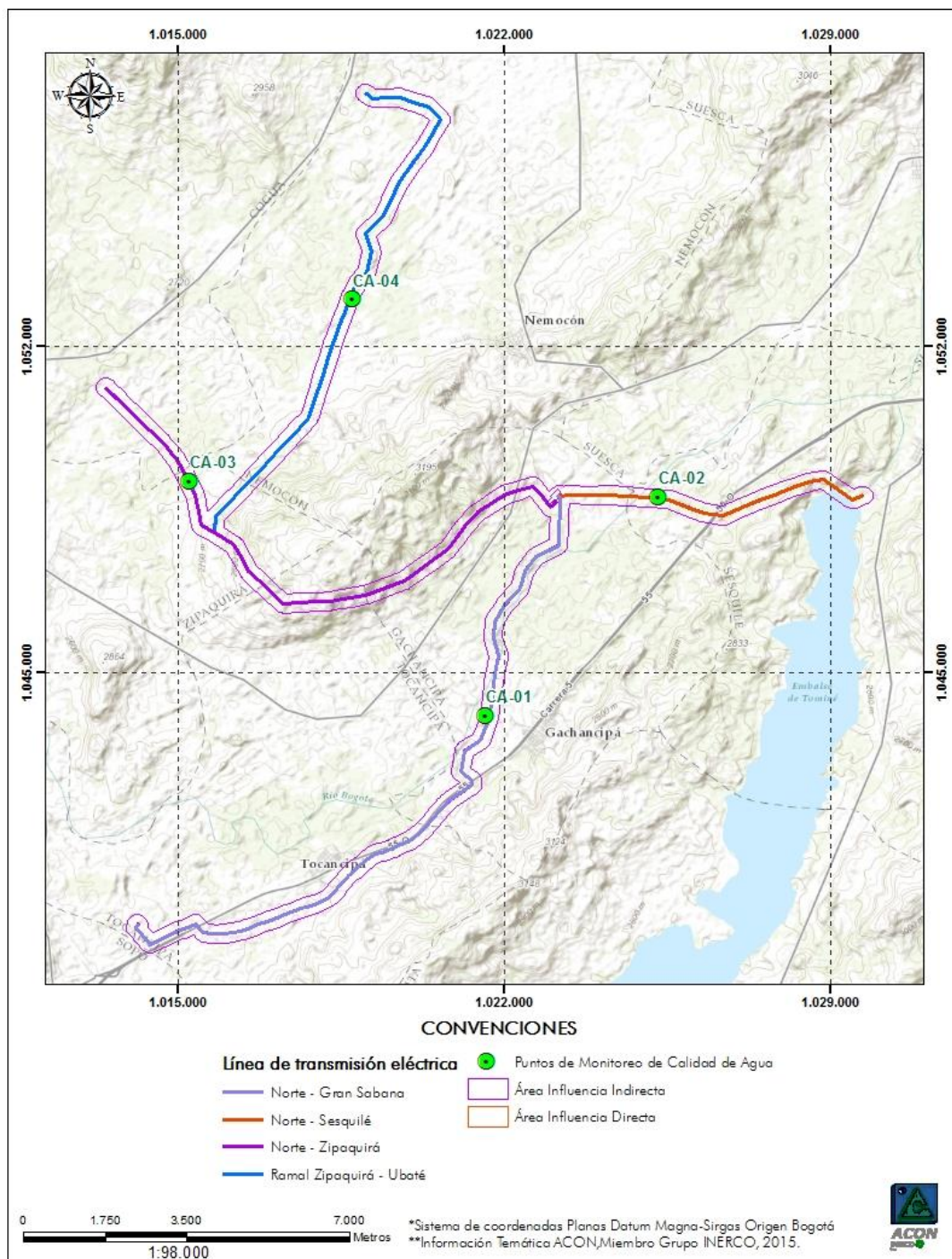
En la Tabla 3.2.4-33 se listan las coordenadas de los puntos de medición y la notación del mismo. En la Figura 3.2.4-12 se muestra la ubicación de los puntos, respecto al área de intervención del proyecto.

**Tabla 3.2.4-33** Puntos de monitoreo de calidad de agua

Punto	Nombre del Punto	ID	Tipo de Monitoreo	Coordenadas Geográficas	
				Norte	Este
1	Río Bogotá – Gachancipá	CA-01	Agua superficial	4°59'40,13"	73°52'57,31"
2	Río Bogotá – Sesquilé	CA-02	Agua superficial	5°2'13,99"	73°50'56,99"
3	Río Neusa	CA-03	Agua superficial	5°2'24,32"	73°56'23,67"
4	Río Checua	CA-04	Agua superficial	5°4'31,27"	73°54'30,34"

**Fuente:** Corporación Integral del Medio Ambiente, CIMA. Adaptado por: ACON, Miembro Grupo INERCO, 2014.

**Figura 3.2.4-12** Ubicación de los puntos de monitoreo de calidad del agua



Fuente: ACON, Miembro Grupo INERCO, 2015.

## I Metodología

Los monitoreos puntuales se realizaron en una jornada el 11 de diciembre de 2014. De acuerdo con el informe entregado por el laboratorio acreditado Corporación Integral del Medio Ambiente (CIMA) (ver Anexo 3-5 Resultados laboratorio), a continuación se presenta la metodología planteada para la realización de los muestreos y el análisis del laboratorio, se aclara que los parámetros que están resaltados se miden in situ.

**Tabla 3.2.4-34** Métodos utilizados en el análisis de laboratorio de calidad de agua

Parámetro	Unidad de medida	Método Analítico
Temperatura	°C	SM 2550 B
pH	Unidades de pH	SM 4500 H+B
Oxígeno disuelto	mg/L	SM 4500 O C
Sólidos disueltos	mg/L	SM: 2540 C EPA: 160,1
Sólidos sedimentables	mL/L	SM 2540 F
Conductividad	µS/cm	SM 2510 B
Acidez total	mg/L	SM 2310 B
Alcalinidad total	mg/L	SM 2320 B
Arsénico	mg/L	SM 3030 E EM 3113 B
Bicarbonatos	mg/L	SM 2320 B
Cadmio	mg/L	SM 3030 E SM 3111 B
Calcio	mg/L	SM 3111 D
Carbono orgánico total	mg/L	SM 5310 C
Cloruros	mg/L	SM 4500 – CIB
Coliformes fecales	NMP/100mL	SM 9221 E
Coliformes totales	NMP/100mL	SM 9223 B
DBO5	mg/L	SM 5210 B SM 4500 – OG
DQO	mg/L	SM 5220 D
Fenoles totales	mg/L	SM 5530 B SM 5530 D
Fosfatos	mg/L	SM 4500 – PE
Fósforo inorgánico	mg/L	SM 4500 – PB SM 4500 – PE
Fósforo orgánico	mg/L	SM 4500 – PB SM 4500 – PE
Grasas y aceites	mg/L	SM 5520 C
Hidrocarburos totales	mg/L	SM 5520 C SM 5520 F
Hierro total	mg/L	SM 3030 E SM 3111 B
Magnesio	mg/L	SM 3111 B
Mercurio	mg/L	SM 3112 B



Parámetro	Unidad de medida	Método Analítico
Nitratos	mg/L	SM 4500 – NO <sub>3</sub> B
Nitritos	mg/L	SM 4500 – NO <sub>2</sub> B
Nitrógeno amoniacal	mg/L	SM 4500 – NH <sub>3</sub> B SM 4500 – NH <sub>3</sub> C
Olor	-	Organoléptica
Pesticidas organoclorados	mg/L	EPA 80181 AYB SM 6630 BYC
Pesticidas organofosforados	mg/L	EPA 8141 B SM 3510 C
Plomo	mg/L	SM 3030 E SM 3111 B
Potasio	mg/L	SM 3111 B
Sabor	-	Organoléptica
Selenio	mg/L	SM 3030 E SM 3113 B
Sodio	mg/L	SM 3111 B
Sólidos suspendidos totales	mg/L	SM 2540 D
Sólidos totales	mg/L	SM 2540 B
Sulfatos	mg/L	SM 4500 – SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> E
Tensoactivos	mg/L	SM 5540 C
Turbiedad	NTU	SM 2130 B

**Fuente:** Corporación Integral del Medio Ambiente, CIMA. Adaptado por ACON, Miembro Grupo INERCO, 2014.

**Tabla 3.2.4-35** Requerimientos de manipulación para la preservación de las muestras

Análisis	Preservación	Tiempo máximo de conservación	Envase	Cantidad mínima (mL)
Temperatura	Inmediato	Inmediato	P, V	NA
pH	Inmediato	Inmediato	P, V	50
Conductividad	Refrigerar	7 días	P, V	500
Sólidos Sedimentables	Refrigerar	7 días	P, V	1000
Oxígeno Disuelto	Fijación	8 h	V	200
DBO <sub>5</sub>	Refrigerar	48 h	P, V	1000
DQO	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> pH<2 Refrigerar	28 días	V	100
Sólidos Suspendidos totales	Refrigerar	7 días	P, V	200
Sólidos totales	Refrigerar	7 días	P, V	200
Bicarbonatos	Refrigerar	14 días	P, V	1000
Cadmio	HNO <sub>3</sub> pH<2	6 meses	P, V	1000

Análisis	Preservación	Tiempo máximo de conservación	Envase	Cantidad mínima (mL)
	Refrigerar			
Cloruros	Ninguno	28 días	P, V	200
Fosfatos	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> pH<2 Refrigerar	1 mes	V	2000
Fósforo Inorgánico	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> pH<2 Refrigerar	1 mes	V	2000
Fósforo Orgánico	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> pH<2 Refrigerar	1 mes	V	2000
Magnesio	HNO <sub>3</sub> pH<2 Refrigerar	6 meses	P, V	1000
Nitratos	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> pH<2 Refrigerar	48 h	P, V	100
Nitritos	Refrigerar	48 h	P, V	100
Nitrógeno Amoniacal	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> pH<2 Refrigerar	28 días	P	500
Plomo	HNO <sub>3</sub> pH<2 Refrigerar	6 meses	P, V	1000
Sodio	HNO <sub>3</sub> pH<2 Refrigerar	6 meses	P, V	1000
Grasas y Aceites	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> o HCl pH<2 Refrigerar	28 días	V	1000
Coliformes Fecales	0,2 mL Tiosulfato 3% Refrigerar	12 h	P, V	200
Coliformes Totales	0,2 mL Tiosulfato 3% Refrigerar	12 h	P, V	200
Turbidez	Refrigerar a oscuridad	48 h	P, V	100
Acidez	Refrigerar	14 días	P, V	100
Alcalinidad	Refrigerar	14 días	P, V	200

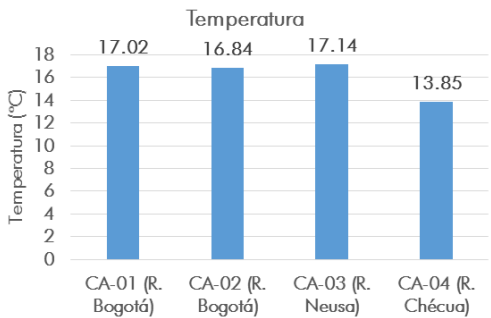
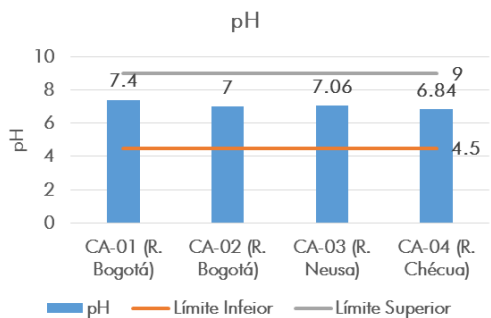
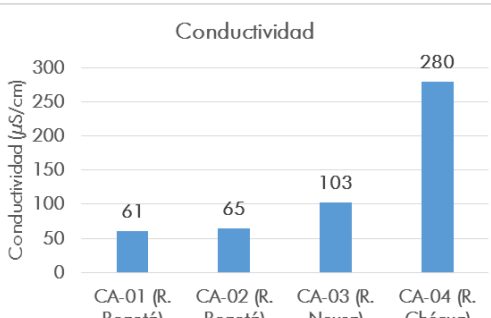
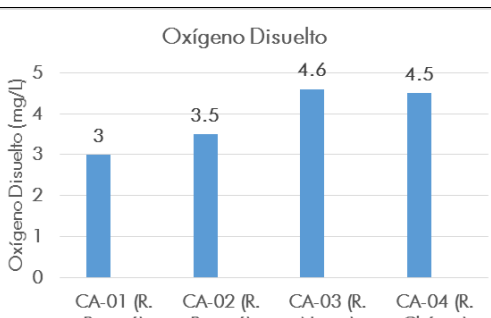
\*P: Plástico; V: vidrio

**Fuente:** Corporación Integral del Medio Ambiente, CIMA. Adaptado por ACON, Miembro Grupo INERCO, 2014.

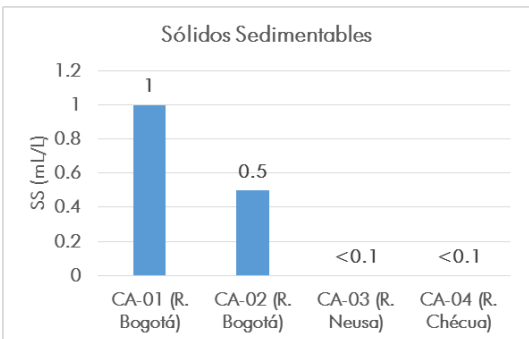
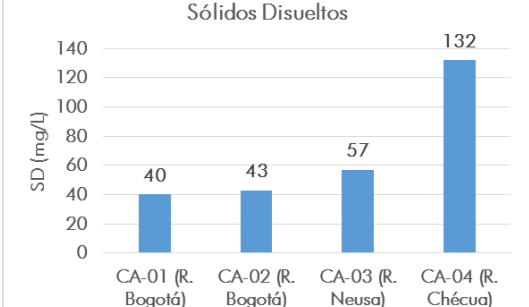
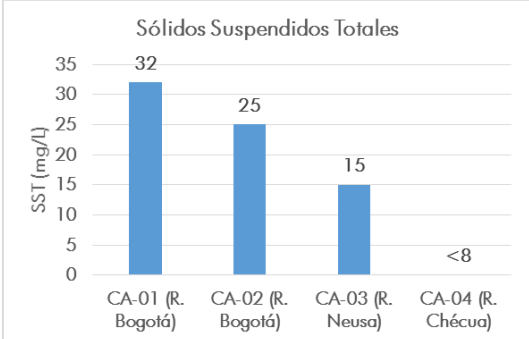
## J Resultados de monitoreos

Los resultados obtenidos para el monitoreo de los cuerpos de agua superficial se presentan en la Tabla 3.2.4-36 los datos son representados en gráficos de barras con el fin de comprender mejor los resultados al realizar una comparación entre cada punto.

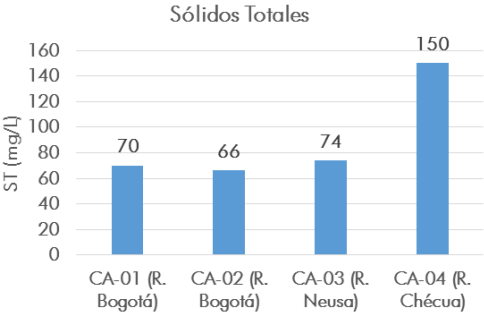
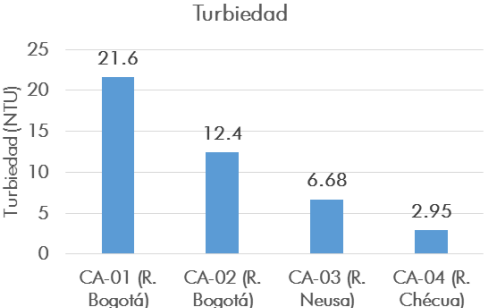
**Tabla 3.2.4-36 Resultados de los monitoreos**

Parámetro	Resultados Gráficos	Análisis										
Temperatura	 <table><caption>Temperatura</caption><thead><tr><th>Punto</th><th>Temperatura (°C)</th></tr></thead><tbody><tr><td>CA-01 (R. Bogotá)</td><td>17.02</td></tr><tr><td>CA-02 (R. Bogotá)</td><td>16.84</td></tr><tr><td>CA-03 (R. Neusa)</td><td>17.14</td></tr><tr><td>CA-04 (R. Chécua)</td><td>13.85</td></tr></tbody></table>	Punto	Temperatura (°C)	CA-01 (R. Bogotá)	17.02	CA-02 (R. Bogotá)	16.84	CA-03 (R. Neusa)	17.14	CA-04 (R. Chécua)	13.85	Se presenta una variación de temperatura entre ambos puntos del río Bogotá (17,02° y 16,84°) causada por la diferente hora del día en que se realizaron los monitoreos; sin embargo, los valores corresponden a un aproximado de la temperatura media de la zona.
Punto	Temperatura (°C)											
CA-01 (R. Bogotá)	17.02											
CA-02 (R. Bogotá)	16.84											
CA-03 (R. Neusa)	17.14											
CA-04 (R. Chécua)	13.85											
pH	 <table><caption>pH</caption><thead><tr><th>Punto</th><th>pH</th></tr></thead><tbody><tr><td>CA-01 (R. Bogotá)</td><td>7.4</td></tr><tr><td>CA-02 (R. Bogotá)</td><td>7</td></tr><tr><td>CA-03 (R. Neusa)</td><td>7.06</td></tr><tr><td>CA-04 (R. Chécua)</td><td>6.84</td></tr></tbody></table> <p>■ pH    — Límite Inferior    — Límite Superior</p>	Punto	pH	CA-01 (R. Bogotá)	7.4	CA-02 (R. Bogotá)	7	CA-03 (R. Neusa)	7.06	CA-04 (R. Chécua)	6.84	El valor de pH no varía considerablemente entre los puntos analizados (7,4 – 7 – 7,06 y 6,84) y se mantiene por debajo de los límites máximos, y por encima del límite mínimo, establecidos para cualquier uso.
Punto	pH											
CA-01 (R. Bogotá)	7.4											
CA-02 (R. Bogotá)	7											
CA-03 (R. Neusa)	7.06											
CA-04 (R. Chécua)	6.84											
Conductividad	 <table><caption>Conductividad</caption><thead><tr><th>Punto</th><th>Conductividad (µS/cm)</th></tr></thead><tbody><tr><td>CA-01 (R. Bogotá)</td><td>61</td></tr><tr><td>CA-02 (R. Bogotá)</td><td>65</td></tr><tr><td>CA-03 (R. Neusa)</td><td>103</td></tr><tr><td>CA-04 (R. Chécua)</td><td>280</td></tr></tbody></table>	Punto	Conductividad (µS/cm)	CA-01 (R. Bogotá)	61	CA-02 (R. Bogotá)	65	CA-03 (R. Neusa)	103	CA-04 (R. Chécua)	280	En cuanto al río Bogotá, el valor del parámetro no varía significativamente entre los dos puntos de medición (61µS/cm. y 65µS/cm). En los ríos Neusa (103µS/cm) y Chécua (280µS/cm) este parámetro es considerablemente superior en comparación con los puntos anteriores, esto corresponde a una mayor concentración de sólidos y sales.
Punto	Conductividad (µS/cm)											
CA-01 (R. Bogotá)	61											
CA-02 (R. Bogotá)	65											
CA-03 (R. Neusa)	103											
CA-04 (R. Chécua)	280											
Oxígeno disuelto	 <table><caption>Oxígeno Disuelto</caption><thead><tr><th>Punto</th><th>Oxígeno Disuelto (mg/L)</th></tr></thead><tbody><tr><td>CA-01 (R. Bogotá)</td><td>3</td></tr><tr><td>CA-02 (R. Bogotá)</td><td>3.5</td></tr><tr><td>CA-03 (R. Neusa)</td><td>4.6</td></tr><tr><td>CA-04 (R. Chécua)</td><td>4.5</td></tr></tbody></table>	Punto	Oxígeno Disuelto (mg/L)	CA-01 (R. Bogotá)	3	CA-02 (R. Bogotá)	3.5	CA-03 (R. Neusa)	4.6	CA-04 (R. Chécua)	4.5	De acuerdo con los valores reportados en cada uno de los puntos, se puede decir que las corrientes tienen una alta velocidad por lo que no ocurre sedimentación de material (lo que se confirma con los resultados de sólidos sedimentables). En el río Bogotá, la concentración tiende
Punto	Oxígeno Disuelto (mg/L)											
CA-01 (R. Bogotá)	3											
CA-02 (R. Bogotá)	3.5											
CA-03 (R. Neusa)	4.6											
CA-04 (R. Chécua)	4.5											

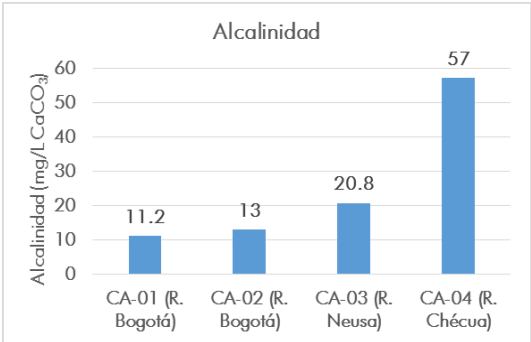
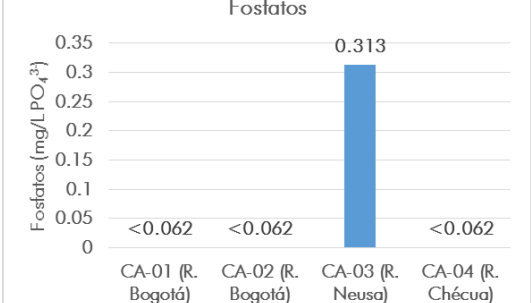
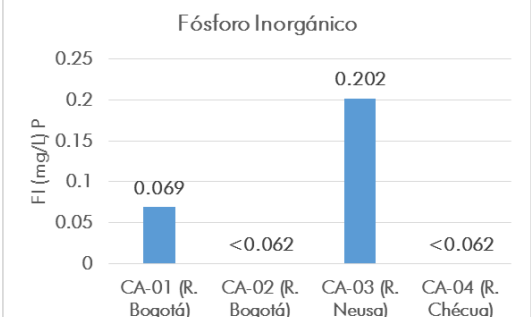
 <p>INGENIERÍA &amp; DISEÑO S. A.</p>	  <p>Codensa es una empresa del Grupo Enel</p>	<p><b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL</b></p> <p><b>Capítulo 3. Caracterización del área de influencia del proyecto</b></p> <p>CONTRATO 5700004954</p>
--	--	---

Parámetro	Resultados Gráficos	Análisis										
		permanecer constante (3-3,5 mg/L).										
Sólidos sedimentables	 <table><caption>Sólidos Sedimentables</caption><thead><tr><th>Lugar</th><th>SS (mL/L)</th></tr></thead><tbody><tr><td>CA-01 (R. Bogotá)</td><td>1</td></tr><tr><td>CA-02 (R. Bogotá)</td><td>0.5</td></tr><tr><td>CA-03 (R. Neusa)</td><td>&lt;0.1</td></tr><tr><td>CA-04 (R. Chécua)</td><td>&lt;0.1</td></tr></tbody></table>	Lugar	SS (mL/L)	CA-01 (R. Bogotá)	1	CA-02 (R. Bogotá)	0.5	CA-03 (R. Neusa)	<0.1	CA-04 (R. Chécua)	<0.1	En los ríos Neusa y Checua el valor de este parámetro es menor que los límites de detección del equipo de análisis utilizado, mientras que para el río Bogotá los valores son pequeños, esto resulta en algo positivo, puesto que se puede afirmar que no existe una concentración alta de partículas que pueda provocar que el agua se estanque y genere olores ofensivos.
Lugar	SS (mL/L)											
CA-01 (R. Bogotá)	1											
CA-02 (R. Bogotá)	0.5											
CA-03 (R. Neusa)	<0.1											
CA-04 (R. Chécua)	<0.1											
Sólidos disueltos	 <table><caption>Sólidos Disueltos</caption><thead><tr><th>Lugar</th><th>SD (mg/L)</th></tr></thead><tbody><tr><td>CA-01 (R. Bogotá)</td><td>40</td></tr><tr><td>CA-02 (R. Bogotá)</td><td>43</td></tr><tr><td>CA-03 (R. Neusa)</td><td>57</td></tr><tr><td>CA-04 (R. Chécua)</td><td>132</td></tr></tbody></table>	Lugar	SD (mg/L)	CA-01 (R. Bogotá)	40	CA-02 (R. Bogotá)	43	CA-03 (R. Neusa)	57	CA-04 (R. Chécua)	132	El río Checua es el que presenta mayor valor en este parámetro (132 mg/L), mientras que en los puntos sobre el río Bogotá se mantiene aproximadamente constante (40- 43 mg/L). Este parámetro se relaciona con la turbidez
Lugar	SD (mg/L)											
CA-01 (R. Bogotá)	40											
CA-02 (R. Bogotá)	43											
CA-03 (R. Neusa)	57											
CA-04 (R. Chécua)	132											
Sólidos Suspendidos Totales	 <table><caption>Sólidos Suspendidos Totales</caption><thead><tr><th>Lugar</th><th>SST (mg/L)</th></tr></thead><tbody><tr><td>CA-01 (R. Bogotá)</td><td>32</td></tr><tr><td>CA-02 (R. Bogotá)</td><td>25</td></tr><tr><td>CA-03 (R. Neusa)</td><td>15</td></tr><tr><td>CA-04 (R. Chécua)</td><td>&lt;8</td></tr></tbody></table>	Lugar	SST (mg/L)	CA-01 (R. Bogotá)	32	CA-02 (R. Bogotá)	25	CA-03 (R. Neusa)	15	CA-04 (R. Chécua)	<8	Los valores en el río Bogotá no varían considerablemente (32-25 mg/L), sin embargo son los que tienen mayor magnitud de este parámetro, lo que indica que una gran cantidad de sólidos tienen un diámetro de partícula grande y pueden ser removidos mediante medios mecánicos. En el río Checua la concentración no superó el límite de detección del equipo de análisis utilizado (<8 mg/L). Este parámetro se asocia con la turbidez del agua.
Lugar	SST (mg/L)											
CA-01 (R. Bogotá)	32											
CA-02 (R. Bogotá)	25											
CA-03 (R. Neusa)	15											
CA-04 (R. Chécua)	<8											

 <p>INGENIERÍA &amp; DISEÑO S. A.</p>	  <p>Codensa es una empresa del Grupo Enel</p>	<p><b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL</b>  <b>Capítulo 3. Caracterización del área de influencia del proyecto</b>  CONTRATO 5700004954</p>
--	--	---

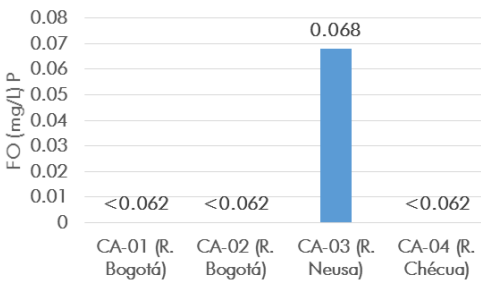
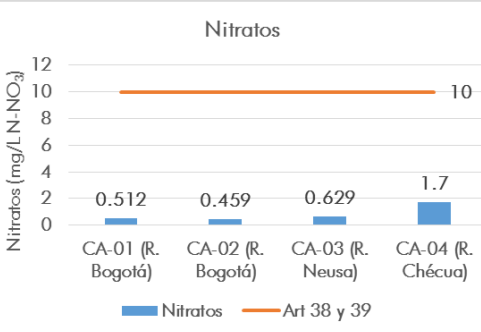
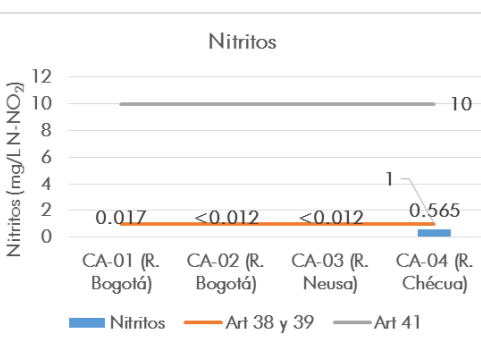
Parámetro	Resultados Gráficos	Análisis										
Sólidos totales	<div><p>Sólidos Totales</p><table><thead><tr><th>Punto</th><th>ST (mg/L)</th></tr></thead><tbody><tr><td>CA-01 (R. Bogotá)</td><td>70</td></tr><tr><td>CA-02 (R. Bogotá)</td><td>66</td></tr><tr><td>CA-03 (R. Neusa)</td><td>74</td></tr><tr><td>CA-04 (R. Chécua)</td><td>150</td></tr></tbody></table></div>	Punto	ST (mg/L)	CA-01 (R. Bogotá)	70	CA-02 (R. Bogotá)	66	CA-03 (R. Neusa)	74	CA-04 (R. Chécua)	150	El río Checua es el que tiene mayor valor de este parámetro (150 mg/L), en comparación a los otros puntos (Bogotá: 70-66 mg/L y Neusa: 74 mg/L), esta tendencia coincide con el valor de la conductividad y con los resultados de los parámetros anteriores.
Punto	ST (mg/L)											
CA-01 (R. Bogotá)	70											
CA-02 (R. Bogotá)	66											
CA-03 (R. Neusa)	74											
CA-04 (R. Chécua)	150											
Turbiedad	<div><p>Turbiedad</p><table><thead><tr><th>Punto</th><th>Turbiedad (NTU)</th></tr></thead><tbody><tr><td>CA-01 (R. Bogotá)</td><td>21.6</td></tr><tr><td>CA-02 (R. Bogotá)</td><td>12.4</td></tr><tr><td>CA-03 (R. Neusa)</td><td>6.68</td></tr><tr><td>CA-04 (R. Chécua)</td><td>2.95</td></tr></tbody></table></div>	Punto	Turbiedad (NTU)	CA-01 (R. Bogotá)	21.6	CA-02 (R. Bogotá)	12.4	CA-03 (R. Neusa)	6.68	CA-04 (R. Chécua)	2.95	Como se observó previamente en los resultados de sólidos sedimentables y suspendidos, el río Bogotá es el que presenta mayor turbiedad, en comparación con los otros ríos.
Punto	Turbiedad (NTU)											
CA-01 (R. Bogotá)	21.6											
CA-02 (R. Bogotá)	12.4											
CA-03 (R. Neusa)	6.68											
CA-04 (R. Chécua)	2.95											
Sabor	ACEPTABLE, para todos los puntos											
Olor												
DQO	<20 mg/L O <sub>2</sub> , para todos los puntos	Las concentraciones se encuentran por debajo del límite de detección de los equipos utilizados para el análisis para los cuatro puntos monitoreados, lo que resulta algo positivo, puesto que se destaca que no hay presencia de cargas contaminantes de origen doméstico e industrial.										
DBO <sub>5</sub>	<5 mg/L O <sub>2</sub> , para todos los puntos											

 <p>INGENIERÍA &amp; DISEÑO S. A.</p>	  <p>Codensa es una empresa del Grupo Enel</p>	<p><b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL</b>  <b>Capítulo 3. Caracterización del área de influencia del proyecto</b>  CONTRATO 5700004954</p>
--	--	---

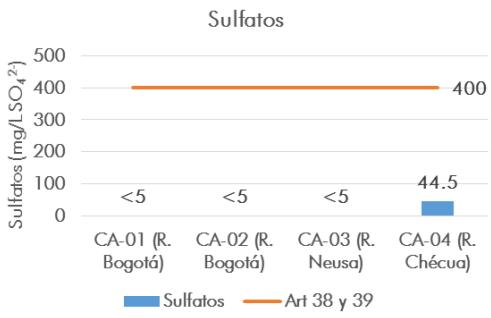
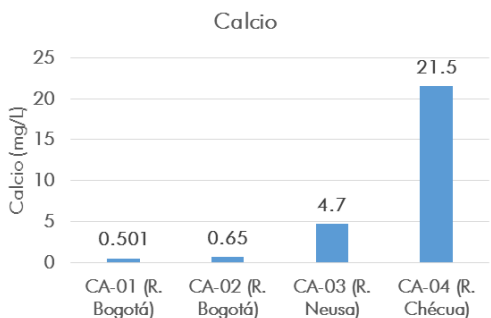
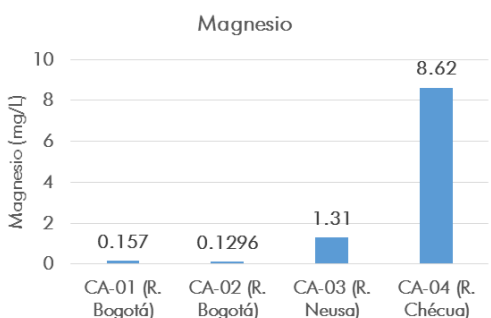
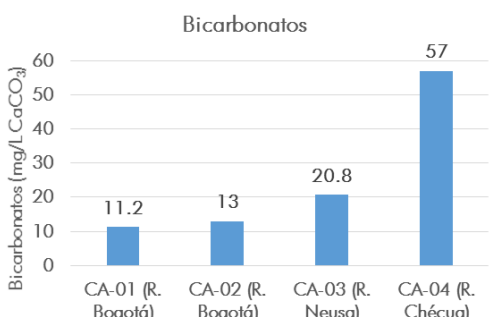
Parámetro	Resultados Gráficos	Análisis
Alcalinidad total	<div><p>Alcalinidad</p></div>	<p>Este parámetro tiene un comportamiento constante en el río Bogotá, encontrándose alrededor de los 12 mg/L. El río Checua es el que presenta mayor concentración.</p>
Acidez total	<p>&lt;2 CaCO<sub>3</sub>, para todos los puntos</p>	<p>El valor de este parámetro se encuentra por debajo de los límites de detección de la técnica analítica empleada. Este parámetro está relacionado con la medida de pH. Los puntos tienen un pH muy similar por lo que no debería existir una variación significativa de este parámetro.</p>
Fosfatos	<div><p>Fosfatos</p></div>	<p>La concentración de fosfatos es superior para el río Neusa, esto se atribuye a la contaminación de la actividad agrícola por el uso de fertilizantes.</p>
Fósforo inorgánico	<div><p>Fósforo Inorgánico</p></div>	<p>En general, en los puntos sobre el río Bogotá y el río Checua no se reportan valores de estos parámetros puesto que se encuentran por debajo del límite de detección de las técnicas de laboratorio (excepto en el fósforo orgánico para el río Bogotá)</p>

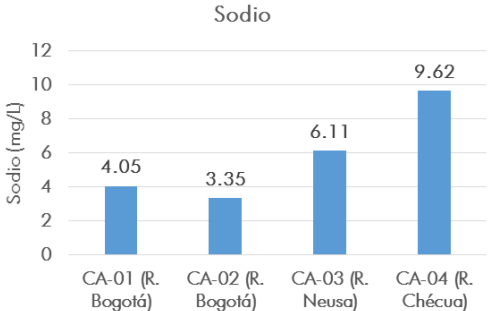
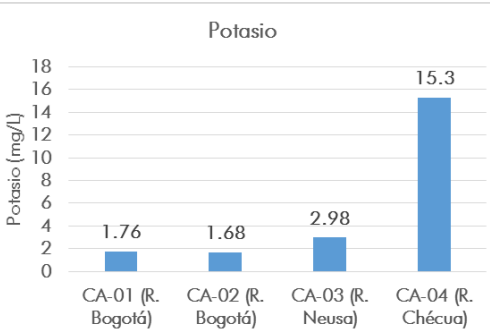
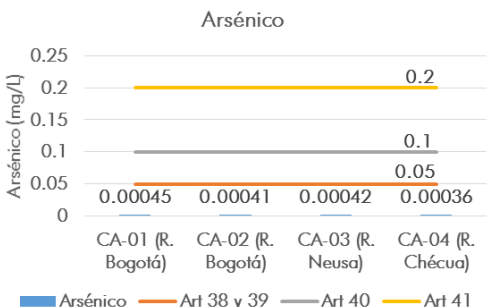
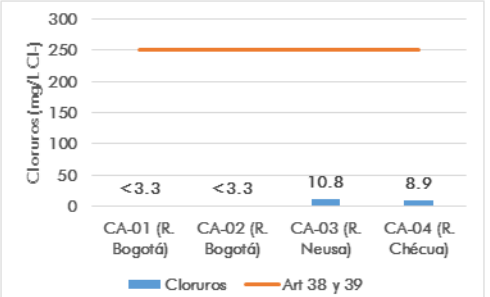
 <p>INGENIERÍA &amp; DISEÑO S. A.</p>	 <p>Codensa</p>	 <p>Enel</p>	<p><b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL</b></p> <p><b>Capítulo 3. Caracterización del área de influencia del proyecto</b></p> <p>CONTRATO 5700004954</p>
--	--	---	---

Codensa es una empresa del Grupo Enel

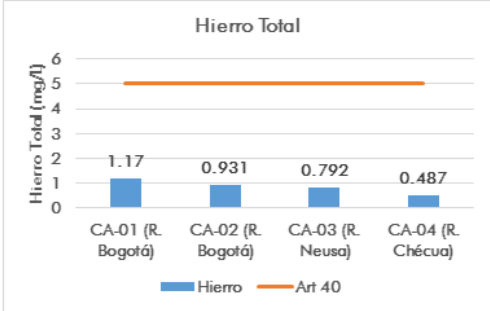
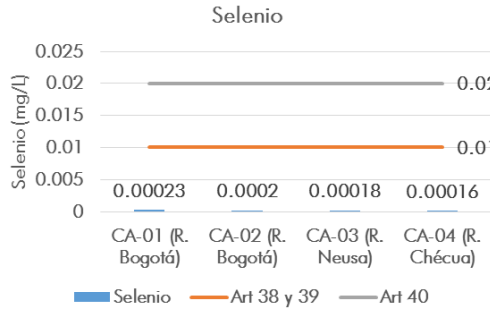
Parámetro	Resultados Gráficos	Análisis										
Fósforo orgánico	<p>Fósforo Orgánico</p>  <table><thead><tr><th>Punto</th><th>FO (mg/L) P</th></tr></thead><tbody><tr><td>CA-01 (R. Bogotá)</td><td>&lt;0.062</td></tr><tr><td>CA-02 (R. Bogotá)</td><td>&lt;0.062</td></tr><tr><td>CA-03 (R. Neusa)</td><td>0.068</td></tr><tr><td>CA-04 (R. Chécua)</td><td>&lt;0.062</td></tr></tbody></table>	Punto	FO (mg/L) P	CA-01 (R. Bogotá)	<0.062	CA-02 (R. Bogotá)	<0.062	CA-03 (R. Neusa)	0.068	CA-04 (R. Chécua)	<0.062	
Punto	FO (mg/L) P											
CA-01 (R. Bogotá)	<0.062											
CA-02 (R. Bogotá)	<0.062											
CA-03 (R. Neusa)	0.068											
CA-04 (R. Chécua)	<0.062											
Nitratos	<p>Nitratos</p>  <table><thead><tr><th>Punto</th><th>Nitratos (mg/L N-NO<sub>3</sub>)</th></tr></thead><tbody><tr><td>CA-01 (R. Bogotá)</td><td>0.512</td></tr><tr><td>CA-02 (R. Bogotá)</td><td>0.459</td></tr><tr><td>CA-03 (R. Neusa)</td><td>0.629</td></tr><tr><td>CA-04 (R. Chécua)</td><td>1.7</td></tr></tbody></table>	Punto	Nitratos (mg/L N-NO <sub>3</sub> )	CA-01 (R. Bogotá)	0.512	CA-02 (R. Bogotá)	0.459	CA-03 (R. Neusa)	0.629	CA-04 (R. Chécua)	1.7	<p>Se observa que el río Checua es el que presenta mayor contaminación de este parámetro, sin embargo su valor es muy bajo, por lo que se puede afirmar que en general no existe un aporte significativo de contaminación por fertilizantes y descargas domésticas.</p> <p>En todos los puntos se cumple con el límite establecido en el decreto.</p>
Punto	Nitratos (mg/L N-NO <sub>3</sub> )											
CA-01 (R. Bogotá)	0.512											
CA-02 (R. Bogotá)	0.459											
CA-03 (R. Neusa)	0.629											
CA-04 (R. Chécua)	1.7											
Nitritos	<p>Nitritos</p>  <table><thead><tr><th>Punto</th><th>Nitritos (mg/L N-NO<sub>2</sub>)</th></tr></thead><tbody><tr><td>CA-01 (R. Bogotá)</td><td>0.017</td></tr><tr><td>CA-02 (R. Bogotá)</td><td>&lt;0.012</td></tr><tr><td>CA-03 (R. Neusa)</td><td>&lt;0.012</td></tr><tr><td>CA-04 (R. Chécua)</td><td>0.565</td></tr></tbody></table>	Punto	Nitritos (mg/L N-NO <sub>2</sub> )	CA-01 (R. Bogotá)	0.017	CA-02 (R. Bogotá)	<0.012	CA-03 (R. Neusa)	<0.012	CA-04 (R. Chécua)	0.565	<p>El valor de este parámetro solo fue detectado en el río Chécua, y su valor (0,565 mg/L) se encuentra por debajo de los límites establecidos en el decreto, el comportamiento de este parámetro coincide con el de los nitratos, y también puede estar asociado a la actividad agrícola de la región.</p>
Punto	Nitritos (mg/L N-NO <sub>2</sub> )											
CA-01 (R. Bogotá)	0.017											
CA-02 (R. Bogotá)	<0.012											
CA-03 (R. Neusa)	<0.012											
CA-04 (R. Chécua)	0.565											
Nitrógeno amoniacal	<1 mg/L N-NH <sub>3</sub> , para todos los puntos	<p>El valor de este parámetro se encuentra por debajo del límite de detección de la técnica analítica. Con este resultado se puede afirmar que no hay descomposición</p>										



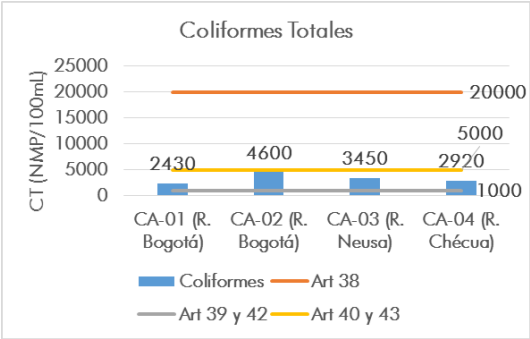
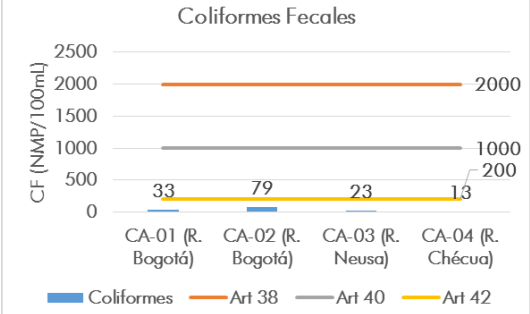
Parámetro	Resultados Gráficos	Análisis										
		de compuestos nitrogenados en las corrientes.										
Sulfatos	 <table><caption>Sulfatos (mg/L SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>)</caption><thead><tr><th>Ubicación</th><th>Concentración</th></tr></thead><tbody><tr><td>CA-01 (R. Bogotá)</td><td>&lt;5</td></tr><tr><td>CA-02 (R. Bogotá)</td><td>&lt;5</td></tr><tr><td>CA-03 (R. Neusa)</td><td>&lt;5</td></tr><tr><td>CA-04 (R. Chécua)</td><td>44.5</td></tr></tbody></table>	Ubicación	Concentración	CA-01 (R. Bogotá)	<5	CA-02 (R. Bogotá)	<5	CA-03 (R. Neusa)	<5	CA-04 (R. Chécua)	44.5	El contenido de sulfatos solo fue detectado en el río Checua, esta concentración puede estar asociada a la actividad ganadera.
Ubicación	Concentración											
CA-01 (R. Bogotá)	<5											
CA-02 (R. Bogotá)	<5											
CA-03 (R. Neusa)	<5											
CA-04 (R. Chécua)	44.5											
Calcio	 <table><caption>Calcio (mg/L)</caption><thead><tr><th>Ubicación</th><th>Concentración</th></tr></thead><tbody><tr><td>CA-01 (R. Bogotá)</td><td>0.501</td></tr><tr><td>CA-02 (R. Bogotá)</td><td>0.65</td></tr><tr><td>CA-03 (R. Neusa)</td><td>4.7</td></tr><tr><td>CA-04 (R. Chécua)</td><td>21.5</td></tr></tbody></table>	Ubicación	Concentración	CA-01 (R. Bogotá)	0.501	CA-02 (R. Bogotá)	0.65	CA-03 (R. Neusa)	4.7	CA-04 (R. Chécua)	21.5	Estos tres parámetros son sales responsables de la dureza en el agua, y se observa que en todos los puntos se presenta la misma tendencia, en la cual el río Checua es el que presenta mayores valores. Aunque no se determinó el parámetro de dureza, por el comportamiento observado se puede afirmar que al agua de este río es más dura y puede presentar incrustaciones de calcio.
Ubicación	Concentración											
CA-01 (R. Bogotá)	0.501											
CA-02 (R. Bogotá)	0.65											
CA-03 (R. Neusa)	4.7											
CA-04 (R. Chécua)	21.5											
Magnesio	 <table><caption>Magnesio (mg/L)</caption><thead><tr><th>Ubicación</th><th>Concentración</th></tr></thead><tbody><tr><td>CA-01 (R. Bogotá)</td><td>0.157</td></tr><tr><td>CA-02 (R. Bogotá)</td><td>0.1296</td></tr><tr><td>CA-03 (R. Neusa)</td><td>1.31</td></tr><tr><td>CA-04 (R. Chécua)</td><td>8.62</td></tr></tbody></table>	Ubicación	Concentración	CA-01 (R. Bogotá)	0.157	CA-02 (R. Bogotá)	0.1296	CA-03 (R. Neusa)	1.31	CA-04 (R. Chécua)	8.62	
Ubicación	Concentración											
CA-01 (R. Bogotá)	0.157											
CA-02 (R. Bogotá)	0.1296											
CA-03 (R. Neusa)	1.31											
CA-04 (R. Chécua)	8.62											
Bicarbonatos	 <table><caption>Bicarbonatos (mg/L CaCO<sub>3</sub>)</caption><thead><tr><th>Ubicación</th><th>Concentración</th></tr></thead><tbody><tr><td>CA-01 (R. Bogotá)</td><td>11.2</td></tr><tr><td>CA-02 (R. Bogotá)</td><td>13</td></tr><tr><td>CA-03 (R. Neusa)</td><td>20.8</td></tr><tr><td>CA-04 (R. Chécua)</td><td>57</td></tr></tbody></table>	Ubicación	Concentración	CA-01 (R. Bogotá)	11.2	CA-02 (R. Bogotá)	13	CA-03 (R. Neusa)	20.8	CA-04 (R. Chécua)	57	
Ubicación	Concentración											
CA-01 (R. Bogotá)	11.2											
CA-02 (R. Bogotá)	13											
CA-03 (R. Neusa)	20.8											
CA-04 (R. Chécua)	57											

Parámetro	Resultados Gráficos	Análisis
Sodio		<p>El origen de estos dos compuestos (sodio y potasio) puede asociarse con vertimientos industriales y la composición del agua subterránea.</p> <p>En el río Bogotá, para ambos parámetros el comportamiento es constante, encontrándose el sodio alrededor de 4 mg/L y el potasio a 1,7 mg/L.</p>
Potasio		
Arsénico		<p>En todos los puntos se determinó una cantidad de arsénico que se encuentra por debajo de los límites máximos establecidos en el decreto. El valor encontrado en las corrientes puede deberse al uso de plaguicidas.</p>
Cloruros		<p>La concentración de estos parámetros fue detectada en los ríos Neusa (10,8 mg/L) y Chécua (8,9 mg/L). Su presencia se puede atribuir principalmente al arrastre de sedimentos proveniente de minas. Se observa que el valor obtenido en dichos puntos no supera el límite de uso establecido en la norma en los artículos 38 y 39 establecido por el Decreto 1594</p>

	  <p>Codensa es una empresa del Grupo Enel</p>	<p><b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL</b></p> <p><b>Capítulo 3. Caracterización del área de influencia del proyecto</b></p> <p>CONTRATO 5700004954</p>
---	--	---

Parámetro	Resultados Gráficos	Análisis
Hierro total		<p>El río Bogotá es el que presenta mayor valor de este parámetro, principalmente puede estar asociado a vertimientos industriales.</p> <p>En el gráfico se observa que los valores obtenidos en los cuatro puntos de muestreo no superan lo establecido por el Decreto 1594 en el Artículo 40</p>
Selenio		<p>Este contaminante se cuantificó en todos los puntos, sin embargo su valor es pequeño comparado con los límites establecidos en el decreto. La presencia de este parámetro puede deberse a vertimientos industriales.</p>
Cadmio	<0,01 mg/L, para todos los puntos	<p>Los valores de estos parámetros no fueron cuantificados puesto que se encuentran por debajo del límite de detección de las técnicas usadas para su análisis. Estos resultados indican que no se registran aportes significativos de vertimientos provenientes de actividades industriales.</p>
Carbono orgánico total	<3 mg/L, para todos los puntos	
Mercurio	<0,0019 mg/L, para todos los puntos	
Plomo	<0,05 mg/L, para todos los puntos	
Grasas y aceites	<0,67 mg/L, para todos los puntos	
Tensoactivos	<0,15 mg/L LAS, para todos los puntos	
Hidrocarburos totales	<0,67 mg/L, para todos los puntos	
Fenoles totales	<0,002 mg/L, para todos los puntos	
Pesticidas Organoclorados	<0,0000002 mg/L, para todos los puntos	

 <p>INGENIERÍA &amp; DISEÑO S.A.</p>	 <p>Codensa es una empresa del Grupo Enel</p>		<p><b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL</b>  <b>Capítulo 3. Caracterización del área de influencia del proyecto</b>  CONTRATO 5700004954</p>
---	--	---	---

Parámetro	Resultados Gráficos	Análisis
Pesticidas organofosforados	<0,00002 mg/L, para todos los puntos	
Coliformes totales		<p>La concentración de Coliformes totales entre los puntos del río Bogotá varía, siendo el punto CA-02 el que presenta mayor contaminación por materia orgánica. Esto puede ser ocasionado por la actividad ganadera que se desarrolla en las cercanías de la corriente. Se observa que el valor obtenido en el análisis es superior al límite de uso de los Artículos 39 y 42, por lo tanto el agua de las corrientes de estudio no es apta para consumo sin un tratamiento previo.</p>
Coliformes fecales		<p>La concentración de Coliformes fecales como se observa en la gráfica no supera el límite de uso de en ninguno de los artículos</p>

**Fuente:** Corporación Integral del Medio Ambiente, CIMA. Adaptado por ACON, Miembro Grupo INERCO, 2014.

De acuerdo con los resultados obtenidos, se puede apreciar que el río Chécua es el que tiene menor calidad, puesto que presentó altas concentraciones en la mayoría de los parámetros. Teniendo en cuenta que la principal actividad de la región es la agricultura, los resultados de los parámetros son consistentes considerando los vertimientos provocados por esta actividad. El río Bogotá, como se mostró previamente tiene un mayor caudal que las otras corrientes, por lo que posee mayor capacidad de dilución, y por esta razón se observa que la cuantificación de algunos parámetros disminuye entre los dos puntos evaluados.

## K Índices de calidad de agua

Los índices de calidad de agua permiten identificar las condiciones en las cuales se encuentra el cuerpo de agua objeto de análisis a partir de los valores monitoreados durante la caracterización y permiten identificar el posible impacto de algunos parámetros. A partir de los resultados obtenidos en los monitoreos para agua superficial, se calcularon los índices correspondientes a ICOSUS, ICOMO e ICOTRO. El índice ICOMI no fue calculado ya que los parámetros necesarios para su determinación no fueron tenidos en cuenta en el análisis de laboratorio. La caracterización de los índices de contaminación está dada de acuerdo con la escala que se muestra en la Tabla 3.2.4-37:

**Tabla 3.2.4-37** Relación del valor del índice obtenido con el índice de contaminación

Índice	Contaminación
0,0 a 0,2	Ninguna
0,2 a 0,4	Baja
0,4 a 0,6	Media
0,6 a 0,8	Alta
0,8 a 1,0	Muy Alta

**Fuente:** Corporación Integral del Medio Ambiente, CIMA. Adaptado por ACON, Miembro Grupo INERCO, 2014.

En la Tabla 3.2.4-38 se listan los resultados de los valores de los índices obtenidos para los cuatro puntos de monitoreo sobre el drenaje estudiado.

**Tabla 3.2.4-38** Resultados de los índices de contaminación ICO

Parámetro	CA-01	Significado	CA-02	Significado	CA-03	Significado	CA-04	Significado
ICOMO	0,536	Media	0,571	Media	0,51	Media	0,508	Media
ICOSUS	0,08	Ninguna	0,06	Ninguna	0,03	Ninguna	0,00	Ninguna
ICOTRO	0.069	Oligotrófico	<0.062*	Oligotrófico	0.27	Eutrófico	<0.062*	Oligotrófico

\*El valor reportado está por debajo del límite de detección

**Fuente:** Corporación Integral del Medio Ambiente, CIMA. Adaptado por ACON, Miembro Grupo INERCO, 2014.

El índice ICOMO refleja un grado medio de contaminación en los puntos de monitoreo por materia orgánica, lo que es consistente por los resultados de la carga de Coliformes teniendo en cuenta la actividad económica de la zona. En el caso del índice ICOSUS no se presentó contaminación por la baja concentración de los sólidos cuantificada en la corriente. Por otra parte el índice ICOTRO refleja que no se presentó contaminación por fosforo exceptuando el punto CA-03 del río Neusa, lo que puede reflejar la presencia de algas o plantas acuáticas en estos cuerpos de agua.

### 3.2.5 Hidrogeología

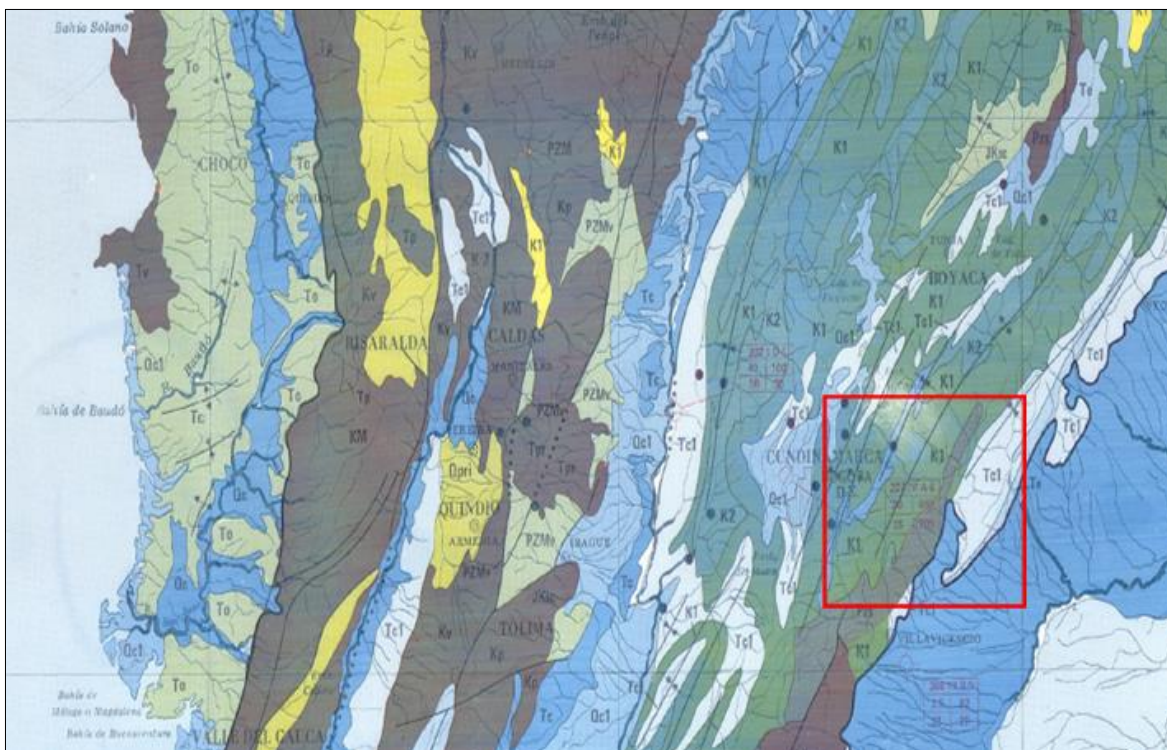
#### 3.2.5.1 Hidrogeología regional, Área de Influencia Indirecta (AII)

La Sabana de Bogotá se encuentra ubicada en la región hidrogeológica Andina; provincia que comprende el sistema montañoso centro occidental del país conformado por las cordilleras Occidental, Central y en este estudio particularmente la Cordillera Oriental. En la zona como ya ha sido mencionado se registran principalmente rocas sedimentarias tanto de ambiente marino como continentales con variadas características que permiten el desarrollo de acuíferos locales de extensión variable que presentan porosidad primaria y secundaria por fracturamiento en los que se encuentra agua de buena calidad; es así como los pozos que se ubican en el sector Norte de la Sabana de Bogotá que captan agua de las formaciones cretácicas producen entre 20 y 100 l/s.

Como generalidad en la zona, el Grupo Villeta, confinante, subyace toda la región. En el núcleo de varios de los numerosos sinclinales de este sector de la Cordillera Oriental, se encuentran las formaciones Guaduas y Bogotá, igualmente confinantes. Sobre estas formaciones se encuentran rocas consolidadas con porosidad secundaria, por fracturamiento que corresponden a los miembros de la formación Guadalupe, la formación Cacho y la formación Regadera (Figura 3.2.5-1).



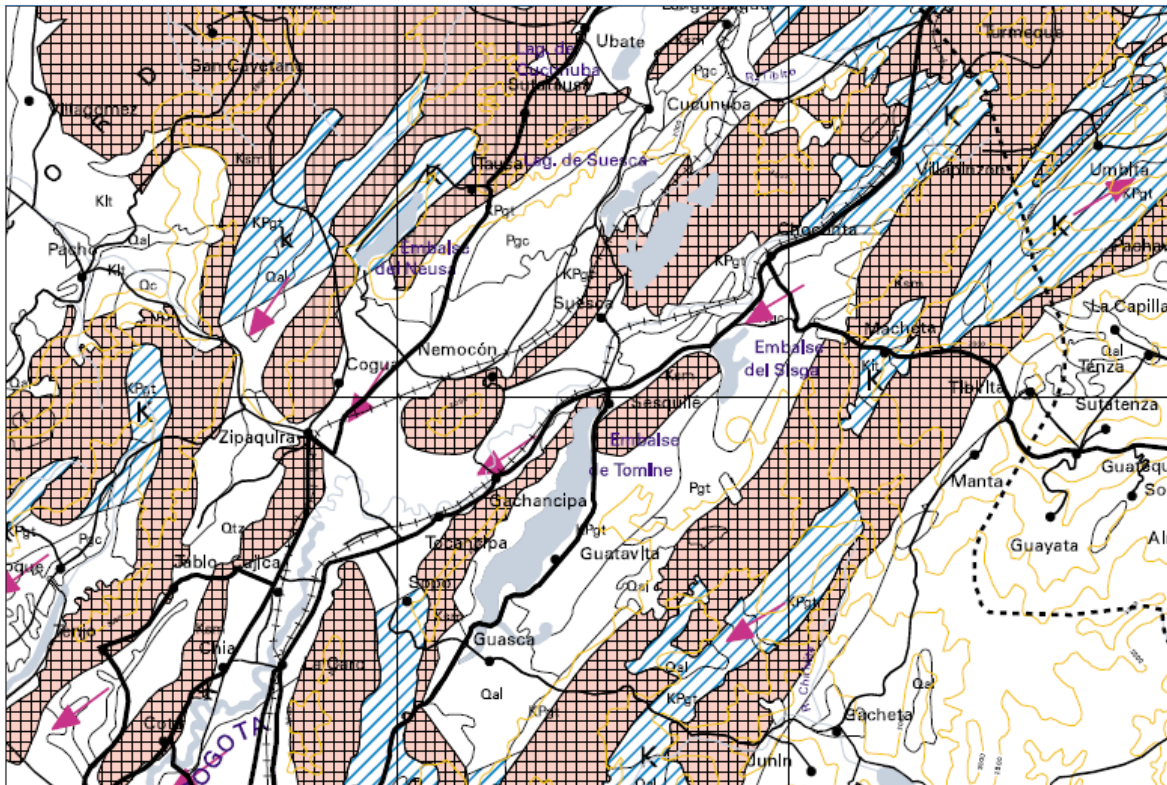
**Figura 3.2.5-1** Localización del área de estudio (recuadro en rojo), unidades hidrogeológicas generales



**Fuente:** Mapa de Regiones Hidrogeológicas INGEOMINAS (2000). Adaptado por ACON –Miembro Grupo INERCO, 2014.

En la zona de estudio y de acuerdo con el mapa hidrogeológico se localizan zonas de recarga constituidas por formaciones sedimentarias de mediana capacidad de infiltración. Además de la presencia de abundantes cuerpos de agua, principalmente embalses como los de Tominé, Sisga, Neusa y lagunas como la de Suesca; se registran regiones acuíferas con buenas posibilidades de explotación de agua subterránea. En la Figura 3.2.5-2 se indican las unidades hidrogeológicas de la zona de estudio, donde las flechas representan la dirección del flujo subterráneo regional.

**Figura 3.2.5-2** Mapa Hidrogeológico de la Plancha 5-09 (1:500.000), se observan unidades hidrogeológicas de la zona de estudio

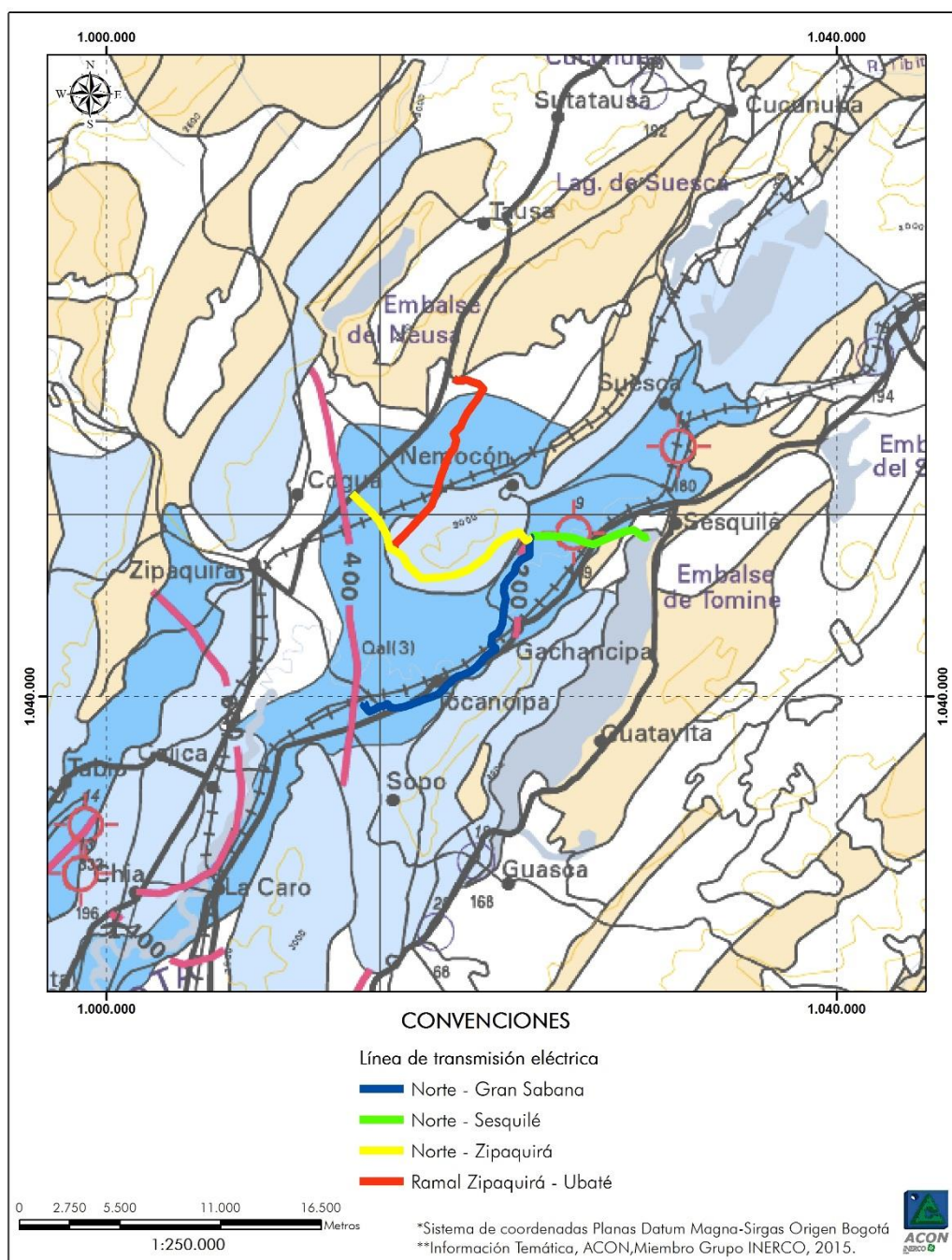


**Fuente:** Adaptado de “Atlas de aguas subterráneas de Colombia INGEOMINAS, 2000” por ACON, Miembro Grupo INERCO, 2014.

De acuerdo con el Mapa de Tipos Geoquímicos de Aguas Subterráneas e Isolíneas de Ingeominas 2000, en la zona de estudio predomina el agua bicarbonatada con enriquecimiento en Sodio ( $\text{HCO}_3\text{-Na}$ ). En la región que genera un corredor entre Sopo, Tocancipá y Gachancipá predominan las aguas bicarbonatadas con enriquecimiento en Calcio ( $\text{HCO}_3\text{-Ca}$ ). Los sectores que presentan color blanco corresponden a zonas donde no se cuenta con información (Figura 3.2.5-3).



**Figura 3.2.5-3** Mapa de Tipos Geoquímicos de Aguas Subterráneas e isolíneas de la Plancha 5-09 (1:500.000)

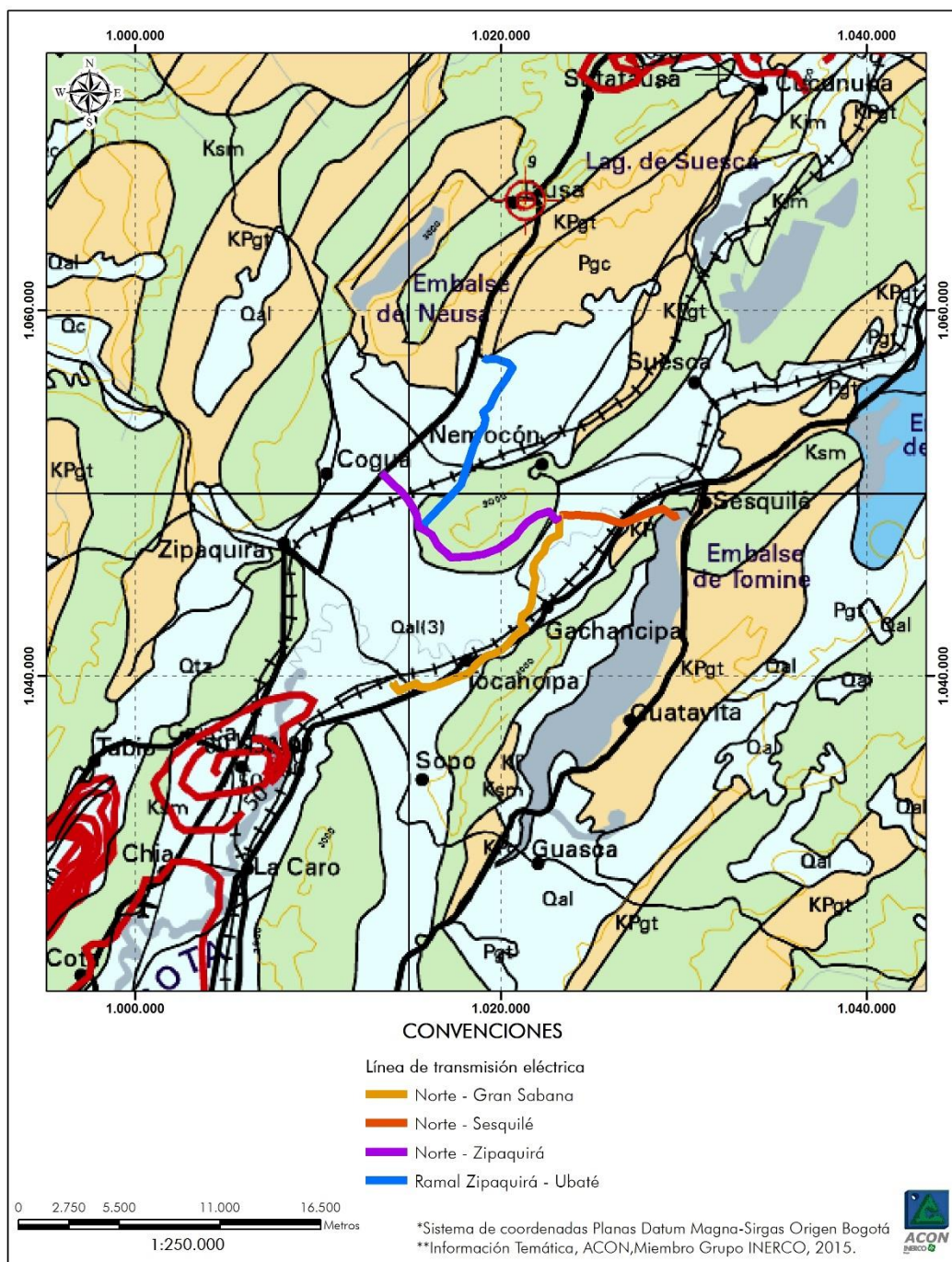


**Fuente:** Atlas de aguas subterráneas de Colombia INGEOMINAS, 2000. Adaptado por ACON, Miembro Grupo INERCO, 2015.

De acuerdo con el mapa de características geoeléctricas en la zona de estudio se encuentran acuíferos de mediana productividad, capacidad específica entre 1.0 y 2.0 l/s/m; estos sistemas acuíferos son discontinuos de extensión regional conformados por rocas sedimentarias clásticas depositadas en ambiente marino y transicional; estos acuíferos son generalmente confinados y presenta agua recomendable para cualquier uso.

En algunas zonas de menor extensión se localizan acuíferos con muy baja productividad y capacidad específica promedio menor de 0.005 l/s/m, estas zonas se constituyen por rocas sedimentarias poco consolidadas que en ocasiones almacenan agua que requiere tratamiento para su consumo (Figura 3.2.5-4).

**Figura 3.2.5-4** Mapa de Características Geoeléctricas de la Plancha 5-09 (1:500.000)



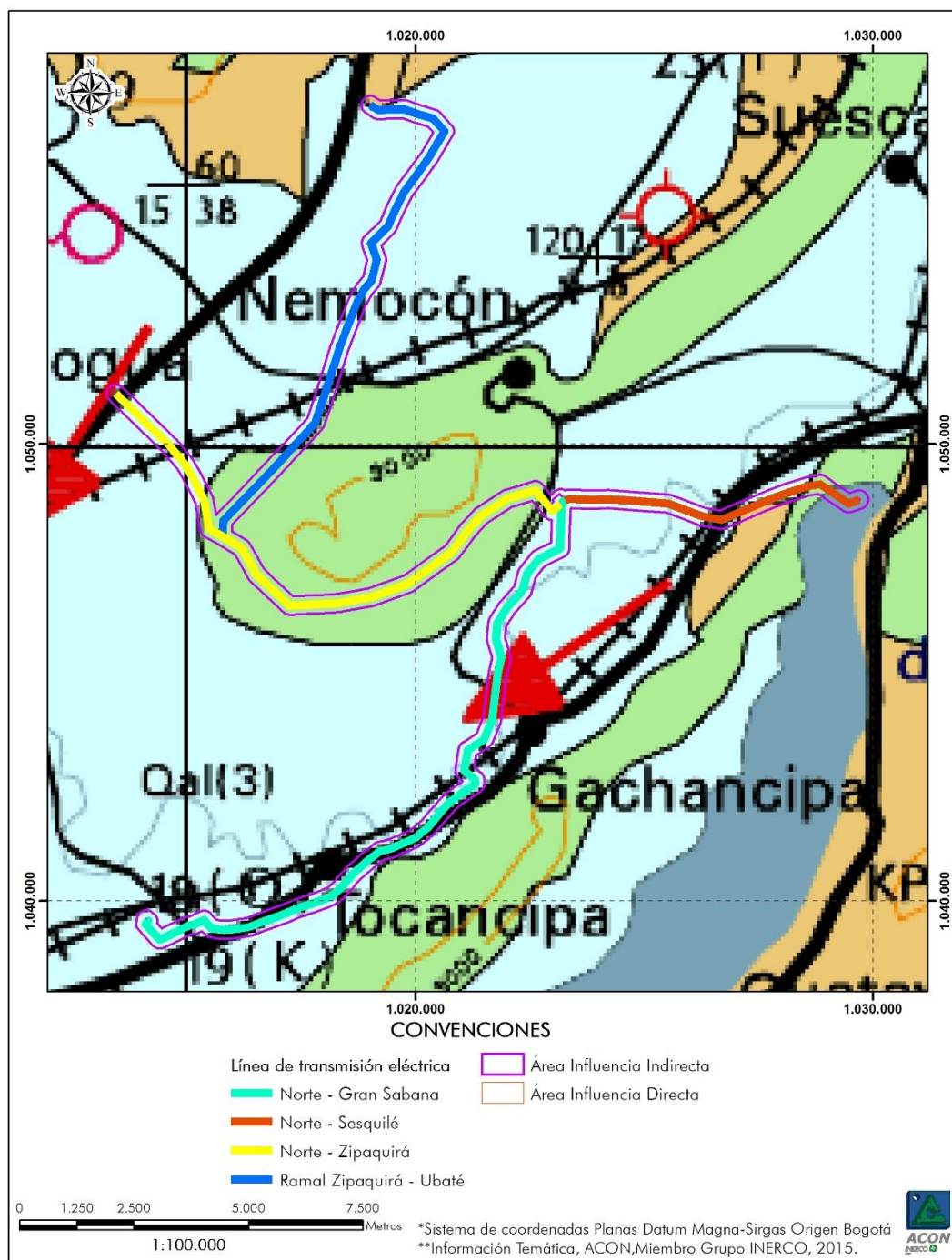
**Fuente:** Atlas de aguas subterráneas de Colombia INGEOMINAS, 2000. Adaptado por ACON, Miembro Grupo INERCO, 2015.

De acuerdo con la información suministrada en el mapa de unidades hidrogeológicas, se presentan sistemas acuíferos discontinuos de extensión local confinados por sedimentos cuaternarios no consolidados que desarrollan acuíferos libres y localmente confinados; unidades hidrogeológicas con estas características son depósitos aluviales de la cordillera oriental, de los valles de Ubaté (Figura 3.2.5-5 y Figura 3.2.5-6).

Otro tipo de acuíferos son de baja productividad y se desarrollan en rocas sedimentarias de origen continental y marino; bajo estas características se denomina formaciones Hidrogeológicas como la formación Regadera, formación Bogotá, formación Guaduas y la formación Simijaca.



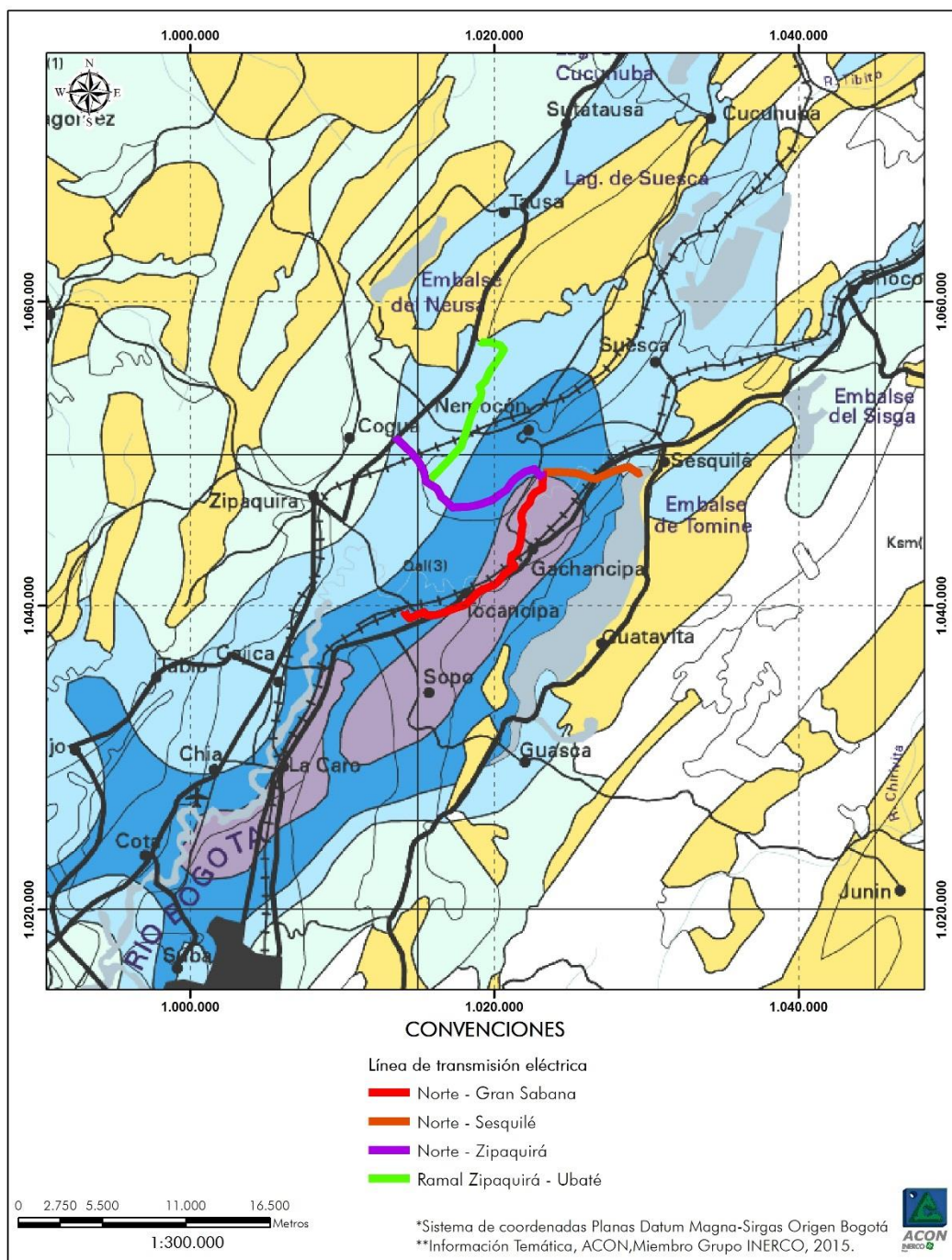
**Figura 3.2.5-5** Mapa de Unidades Hidrogeológicas de la Plancha 5-09 (1:500.000)



**Fuente:** Atlas de aguas subterráneas de Colombia INGEOMINAS 2000. Adaptado por ACON, Miembro Grupo INERCO, 2014.



**Figura 3.2.5-7 Mapa Profundidad de la Tabla de Agua de la Plancha 5-09 (1:500.000)**



**Fuente:** Atlas de aguas subterráneas de Colombia INGEOMINAS 2000. Adaptado por ACON, Miembro Grupo INERCO, 2015.



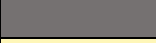


Aunque en general el Grupo Villeta se constituye primordialmente por arcillolitas laminadas, este funciona como unidad confinante sin descartar que localmente puede ser un buen acuífero en zonas de alto fracturamiento como ocurre en el municipio de Tenjo, en el cual los pozos extraen agua de la formación Chipaque que se encuentra a una profundidad entre 730 y 1.000 metros<sup>9</sup>

La formación Guadalupe es un acuífero confinado con porosidad secundaria de unos 700 metros de espesor, compuesto por areniscas, arcillolitas, limolitas y liditas, materiales en los que la circulación de agua ocurre en zonas angostas de alto fracturamiento. La transmisividad varía entre 50 y 750 m<sup>2</sup>/d y el rendimiento de pozos individuales entre 10 y 150 lps (Figura 3.2.5-8, las convenciones de esta figura se presentan en la Tabla 3.2.5-1).

La formación Guaduas, compuesta por arcillolitas, areniscas y mantos de carbón, en rasgos generales es una unidad confinante. Sin embargo, las areniscas y mantos de carbón en algunos casos pueden ser acuíferos<sup>10</sup>

La formación Tirata que conforma un relleno fluvio-lacustre es una unidad semiconsolidada de alta y moderada permeabilidad compuesta por gravas, arenas, limos, arcillas y turbas, en la que se encuentran acuíferos libres, acuíferos colgados, acuíferos confinados, capas semiconfinantes y capas confinantes. En la formación Tirata la transmisividad varía entre 10 y 350 m<sup>2</sup>/d y el rendimiento de pozos individuales entre 3.5 y 20 lps. Esta formación tiene la recarga a partir de infiltración directa en los bordes de la Sabana donde aflora. Son los acuíferos asociados a la formación Tirata los que proveen un gran porcentaje del agua utilizada tanto en los cultivos de flores como en las industrias.

**Tabla 3.2.5-1** Descripción de convenciones del mapa de condición del acuífero

Color	Condición del acuífero
	Libre (No confinado)
	Semiconfinado
	Bogotá D.C.
	Sedimentos y rocas con limitados recursos e aguas subterráneas
	Cuerpos de agua

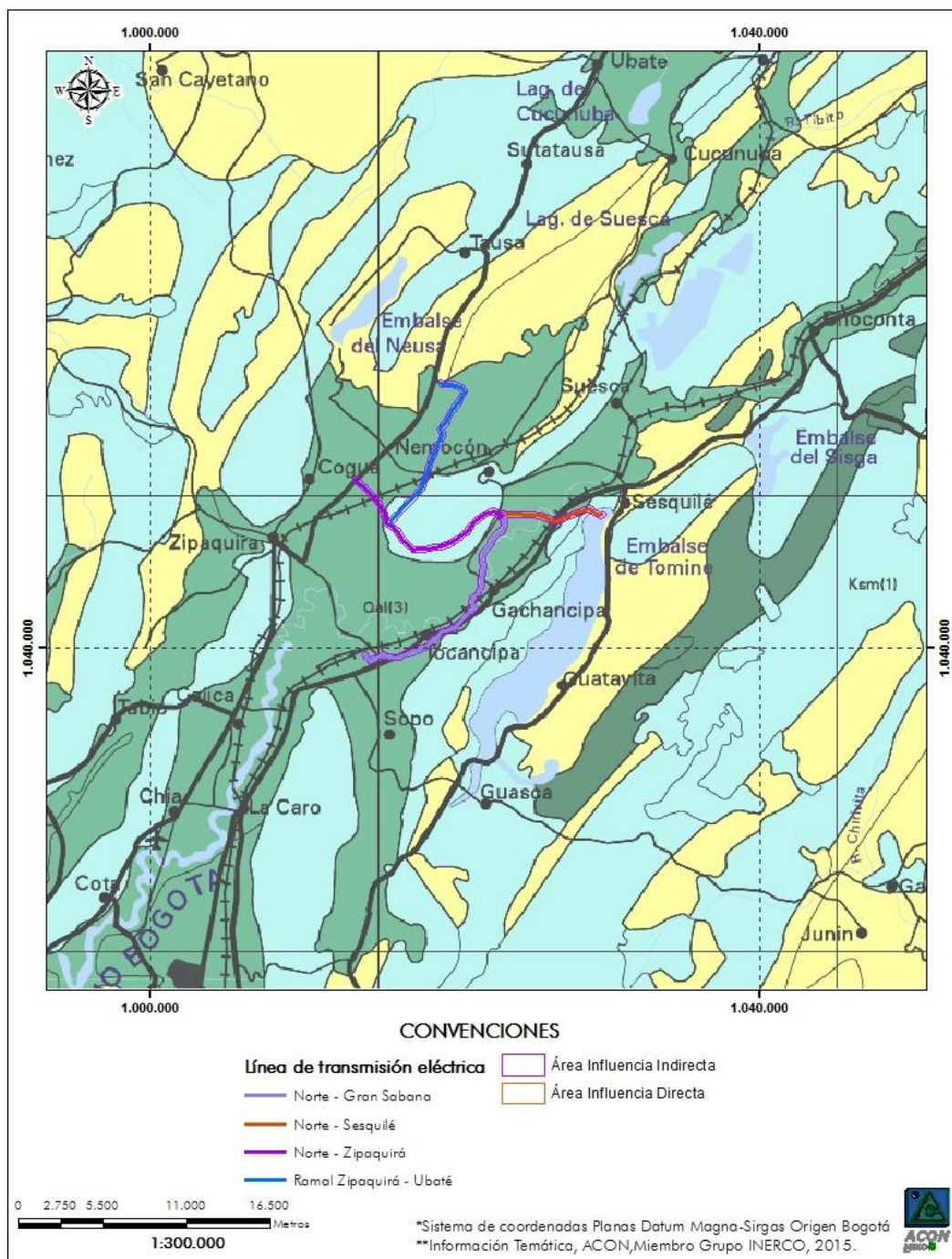
**Fuente:** *Ibíd.* Adaptado por ACON, Miembro Grupo INERCO, 2015.

<sup>9</sup> MEDINA, L. Informe Final de Geología Para el Pozo Exploratorio Chitasugá-I, Informe inédito de ECOPETROL. 1981.

<sup>10</sup> FANDIÑO, E. Investigación para agua subterránea y perforación de un pozo para SUIZER S.A. en Facativá, Cundinamarca. Informe inédito de A. LOBO-GUERRERO Y CIA. LTDA. Para SUIZER S.A. 1975.



**Figura 3.2.5-8** Mapa de Condición del Acuífero de la Plancha 5-09 (1:500.000)



**Fuente:** Atlas de aguas subterráneas de Colombia INGEOMINAS 2000. Adaptado por ACON, Miembro Grupo INERCO, 2014.

### 3.2.5.2 Caracterización de unidades hidrogeológicas locales, Área de Influencia Directa

A partir del reconocimiento de campo, de la evaluación de información geológica, geotécnica, geomorfológica, hidrogeológica, pedológica e hidráulica adquirida en el presente trabajo, se hizo una caracterización de las unidades geológicas existentes en la zona de estudio, desde el punto de vista de su capacidad para almacenar y permitir el flujo de agua subterránea, con el fin de identificar la presencia de acuíferos de acuerdo con su potencial y diferenciarlos de las unidades impermeables.

La caracterización de las unidades geológicas se hizo clasificándolas en tres grupos a saber<sup>11</sup>:

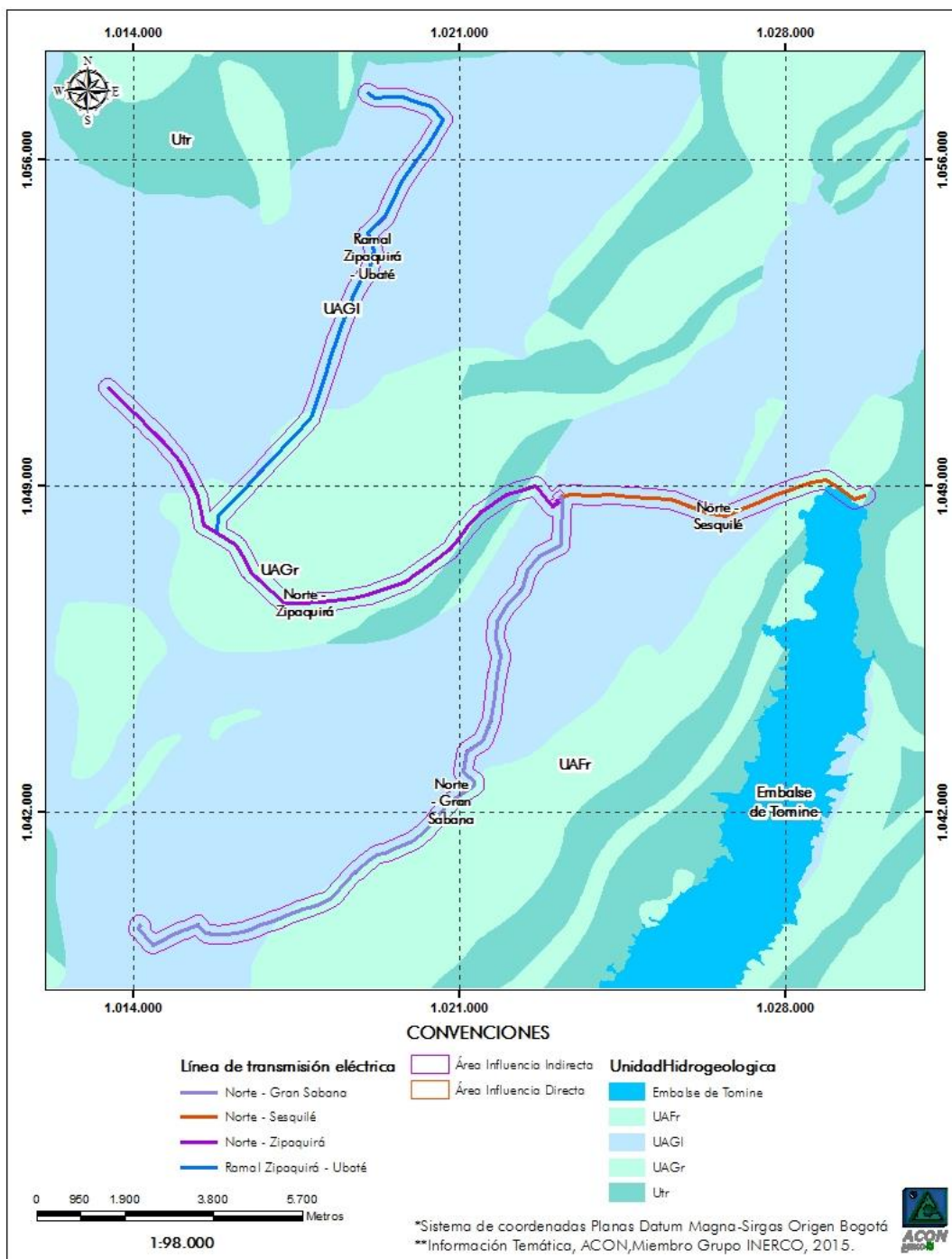
- *Acuífero*: Unidad geológica capaz de almacenar agua y transmitirla, con buenas condiciones de permeabilidad y porosidad.
- *Acuícieres*: Son rocas de muy baja permeabilidad que almacenan agua pero no permiten el flujo de ella en cantidades significativas. El término acuitardo se aplica para rocas que almacenan agua, pero solo permiten el movimiento de agua subterránea en cantidades muy pequeñas, consideradas despreciables. En este estudio se utilizará el término Acuitardo.
- *Acuífugas*: Son rocas impermeables que no almacenan ni permiten el flujo de agua subterránea.

Las principales unidades en las que se pueden dividir el área desde el punto de vista hidrogeológico se describen a continuación (Figura 3.2.5-9 y Mapa 3-12 Hidrogeológico).

<sup>11</sup> Ingeniería Geológica, Luis I. Gonzales de Vallejo, Pearson, 2002.



**Figura 3.2.5-9 Configuración hidrogeológica regional**



**Fuente:** ACON, Miembro Grupo INERCO, 2015.

## **A Sedimentos y rocas con flujo esencialmente granular UAG**

### **I Acuífero de la Formación Labor y Tierna (K2t) UAGr**

Se trata de un acuífero constituido por areniscas de grano fino posee media a alta productividad, se halla hacia la parte oriental y occidental del área de estudio, constituye un área de recarga directa.

### **II Acuífero depósitos recientes (aluvial reciente, antiguo y coluvial) UAGI**

En la mayor parte del área, los depósitos poseen matriz arcillosa y se clasifican como acuíferos de baja a muy baja productividad. Pueden abastecer aljibes con poco consumo. Constituye una zona de descarga potencial.

## **B Rocas con flujo a través de zonas de alteración o de fracturas**

### **I Acuífero Formación Plaeners (K2p) UAFr**

Liditas con intercalaciones de arcillolitas y ocasionalmente areniscas, se considera como un acuífero local de baja producción con agua de no muy buena calidad. Constituye un área de recarga directa.

### **II Acuífero Formación Cacho (E1c) UAFr**

El fracturamiento de los niveles de areniscas permite que conformen un acuífero de mediana a buena productividad y constituye un área de recarga directa.

## **C Acuitados**

### **I Acuitardo Formación Bogotá (T1b) Utr**

Los niveles de arcillolitas son impermeables, permitiendo el confinamiento de los niveles de areniscas de la formación Cacho. Constituyen zonas de captación superficial predominante.

### **II Acuitardo Formación Conejo (K2c) Utr**

Shales grises oscuros que se comportan como materiales impermeables y constituyen zonas de captación superficial predominante.

## **D Inventario de puntos de agua subterránea**

En el trabajo de campo, se inventariaron los puntos de agua subterránea presentes en el área de estudio los cuales se presentan en la Tabla 3.2.5-2.

**Tabla 3.2.5-2** Inventario de puntos de agua subterránea

TIPO_PUNTO	COOR_X	COOR_Y	COTA
Manantial	1016555	1045414	2597
Manantial	1014609	1048501	2583
Manantial	1015411	1048912	2580
Manantial	1019116	1046333	2725
Aljibe	1015104	1048849	2576
Aljibe	1016712	1049521	2600
Manantial	1016782	1050382	2579

**Fuente:** ACON, Miembro Grupo INERCO, 2014.

Ver Anexo 3-6 Inventario de puntos de agua subterránea

## I Manantiales

Se inventariaron cinco (5) manantiales, en los cuales se presenta uso ocasional para ganadería y doméstico. En la finca Niña se registró un tanque construido para almacenamiento y transporte del agua. Los manantiales encontrados en el área de estudio se clasifican bajo la siguiente condición:

- **Manantiales Perennes:** Corresponden a los puntos de agua subterránea en los cuales se observó flujo de agua que emanaba, estos se encontraron principalmente en la formación Arenisca Tierna (Fotografía 3.2.5-1).

**Fotografía 3.2.5-1** Manantial Perenne en la formación Arenisca Labor y tierna (Peldar)



**Fuente:** ACON, Miembro Grupo INERCO, 2014.

## II Aljibes

Se identificaron dos (2) aljibes que sirven como fuente de agua agropecuaria en zonas donde la cobertura de acueducto público es nula, asimilar ser jagüeyes, aunque se encuentran cortando el nivel freático por tal razón se les dio la denominación de aljibes (Fotografía 3.2.5-2).

**Fotografía 3.2.5-2.** Aljibe, presente en el área de estudio



**Fuente:** ACON, Miembro Grupo INERCO, 2014.

### 3.2.5.3 Vulnerabilidad intrínseca de los acuíferos a la contaminación

El término “vulnerabilidad a la contaminación de un acuífero” es usado para presentar las características intrínsecas que determinan la sensibilidad del mismo a ser adversamente afectado por una carga contaminante<sup>12</sup>. El contexto general de vulnerabilidad de los acuíferos se evalúa de acuerdo con el método GOD, mientras que el contexto local de vulnerabilidad de los acuíferos se evalúa de acuerdo con el método DRASTIC.

#### A Vulnerabilidad de los acuíferos (método GOD)

La vulnerabilidad del acuífero está sujeta a la inaccesibilidad de la zona saturada, en un sentido hidráulico, al potencial de la misma de recibir y almacenar contaminantes y a la capacidad de atenuación de los estratos que suprayacen a la zona saturada del acuífero como resultado de su retención física y reacción química con contaminantes. Estas características se relacionan directamente con la clase, disolución, concentración y forma (líquido, gaseoso, sólido) como llega la carga contaminante subsuelo.

La relación de estos factores va a determinar el tiempo de residencia del contaminante, en la zona no saturada, así como también el tiempo de llegada del mismo a la zona saturada y el grado de atenuación y retención que esta zona puede tener.

El método GOD se basa en la asignación de índices entre 0 y 1 a tres (3) variables, que son las que nominan el acrónimo: G: *ground water occurrence*. Tipo de acuífero o modo de confinamiento u ocurrencia del agua subterránea. O: *overall aquifer class*. Litología de la zona no saturada. Se evalúa teniendo en cuenta el grado de consolidación y las características litológicas y como consecuencia, de forma indirecta y relativa, la porosidad, permeabilidad y contenido o retención específica de humedad de la zona no saturada. D: *depth to groundwater*. Profundidad del agua subterránea o del acuífero.

La metodología da un puntaje a cada variable que oscila entre 0 y 1 de acuerdo con su capacidad de atenuación. Una vez valorado cada parámetro se calcula el índice de vulnerabilidad total multiplicando los valores asignados a cada parámetro, obteniéndose valores de 0 a 1, donde un índice cero “0” indica una vulnerabilidad despreciable y un índice “1” una vulnerabilidad extrema a la contaminación.

<sup>12</sup> FOSTER, S. Groundwater Pollution Risk Assessment: A Methodology Using Available Data. S.I. Pan American Center for Sanitary Engineering and Environmental Sciences, 1987.



En la Tabla 3.2.5-3 se muestra el resumen del análisis de la vulnerabilidad de los acuíferos, que se obtuvo siguiendo los parámetros del método GOD como se describe en la (Figura 3.2.5-10).

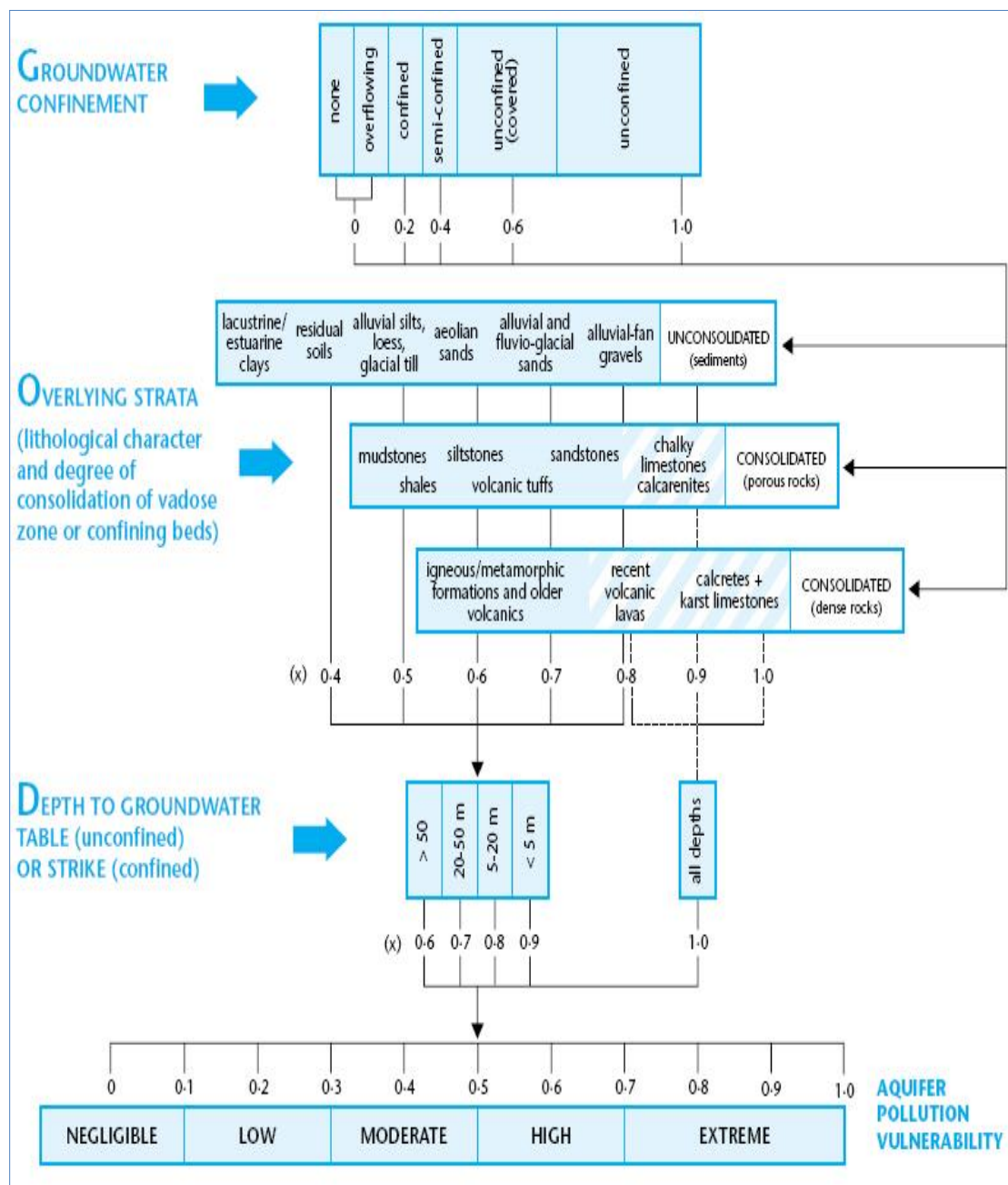
**Tabla 3.2.5-3** Análisis de la vulnerabilidad de los acuíferos

Unidad Hidrogeológica		"G"	"O"	"D"	Puntuación	Vulnerabilidad
Sedimentos y rocas con flujo esencialmente granular	Acuífero Formación Labor y Tierna – K2t -	Inconfinado	Areniscas de grano fino (0,75)	< 5 m	0,675	ALTA
		-1		(0.9)		
	Acuífero Depósitos resientes (Fluvio-Lacustres y coluviones)	Libre	Lacustre, arcillas y limos	<5m	0.360	MODERADA
		(1.0)	-0,4	(0.9)		
	Acuífero Formación Tirata (N2t)	Libre	Gravas y arenas	<5m	0.675	ALTA
		(1.0)	(0.75)	(0.9)		
	Acuífero Formación Plaeners – K2p-	Semiconfinado a confinado	Liditas con intercalaciones de arcillolitas y ocasionalmente areniscas	20-50 m	0,182	BAJA
		(0.4)	-0,65	(0.7)		
	Acuífero Formación Cacho – E1c -	Libre a semiconfinado - cubierto	Areniscas	5-20 m	0,32	MODERADA
		(0.5)	-0,8	(0.8)		
Acuitardos	Formación Bogotá – T1b -	Confinado	Arcillolitas	> 50 m	0.060	DESPRECIABLE
		(0.2)	(0.5)	(0.6)		
	Formación Conejo – K2c -	Confinado	Shales grises oscuros	> 50 m	0.060	DESPRECIABLE
		(0.2)	(0.5)	(0.6)		
	Formación Guaduas - K2p1g-	Confinado	Limolitas, arcillolitas y esporádicos bancos de carbón	> 50 m	0.072	DESPRECIABLE
		(0.2)	(0.6)	(0.6)		

**Fuente:** ACON, Miembro Grupo INERCO, 2014.



**Figura 3.2.5-10** Diagrama para la estimación de la vulnerabilidad de los acuíferos por el método GOD



**Fuente:** Foster, 1988. Adaptado por ACON, Miembro Grupo INERCO, 2014.

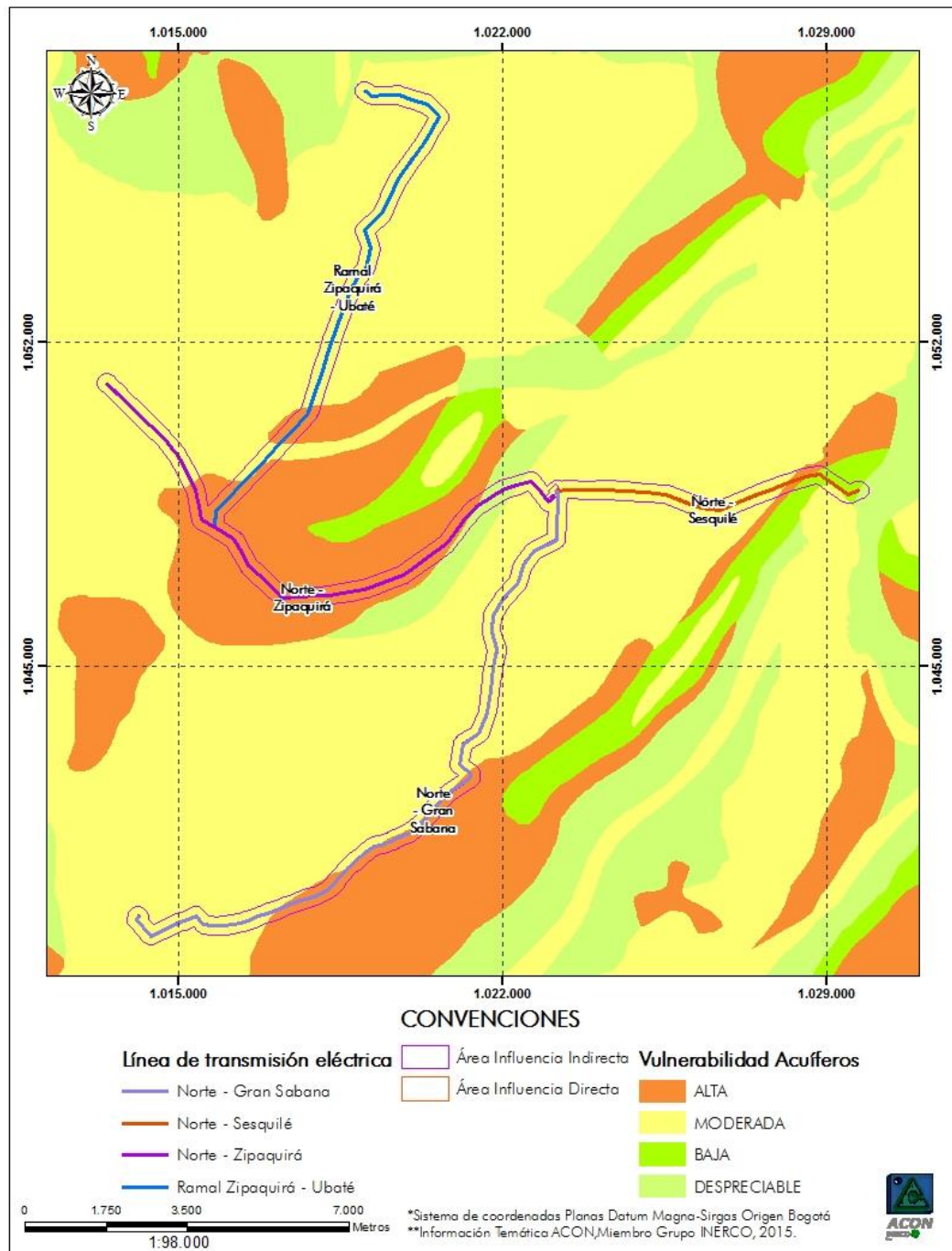
De acuerdo con los resultados, las unidades correspondientes al Acuífero de la Formación Cacho –E1c– y Acuífero de Depósitos resientes (Fluvio-Lacustres y coluviones) presenta una Vulnerabilidad Moderada, es decir, acuíferos vulnerables a contaminación relativamente móviles y/o persistentes o bien, a eventos de contaminación continuos causados durante largos periodos de tiempo.

Por otro lado, las unidades de acuíferos regionales caracterizados por las formaciones Plaeners (K2p), en la zona de estudio presentan un grado de Vulnerabilidad Bajo, donde los acuíferos de dichas zonas son vulnerables a contaminantes conservativos cuando son descargados o lixiviados de manera amplia y continua, durante largos períodos de tiempo. La formación Labor y Tierna (K2t) y Tirata (N2t), presentan una vulnerabilidad alta corresponde a acuíferos vulnerables a contaminantes.

Así mismo, las unidades de acuitardos representan grado de vulnerabilidad despreciable, es decir, en estas unidades las capas confinantes representan un obstáculo que dificulta en alto grado (sin que esto signifique imposible) un flujo significativo de los contaminantes hacia el acuífero.

Finalmente, se puede afirmar que la valoración de los parámetros a emplear en la metodología propuesta se realiza con toda la información disponible y los conocimientos hidrogeológicos adquiridos del medio, teniendo en cuenta que la vulnerabilidad es un proceso dinámico e iterativo, estrechamente relacionado con la actividad susceptible de producir una afección y el riesgo dependerá de la propia acción y de las medidas preventivas a tomar. En la medida que se obtengan nuevos datos del medio, se podrá detallar el resultado de la evaluación de la vulnerabilidad intrínseca de los acuíferos en el área. En la Figura 3.2.5-11 se muestra la configuración local de la vulnerabilidad intrínseca de los acuíferos en el área de estudio.

**Figura 3.2.5-11** Vulnerabilidad intrínseca de los acuíferos en el área de estudio



**Fuente:** ACON, Miembro Grupo INERCO, 2015.

### 3.2.5.4 Zonas de recarga y descarga

#### A Zonas de recarga

En el área de estudio se definieron dos zonas de recarga:

- Zonas de recarga directa: Son zonas con pendientes ligera a fuertemente escarpadas, en donde se recargan directamente los acuíferos a través de aguas lluvia, coinciden con las áreas de afloramientos de las formaciones acuíferas como las unidades Cacho, Arenisca tierna, Plaeners y Arenisca dura y su litología predominante es arenosa.
- Zonas de recarga indirecta: Corresponden a zonas en donde los materiales poseen una permeabilidad moderada (areno-arcillosa) y cuyas pendientes son suaves a planas. En el área de estudio las unidades que caracterizan esta zona corresponden a las Formaciones Guaduas, Conejo y Bogotá.

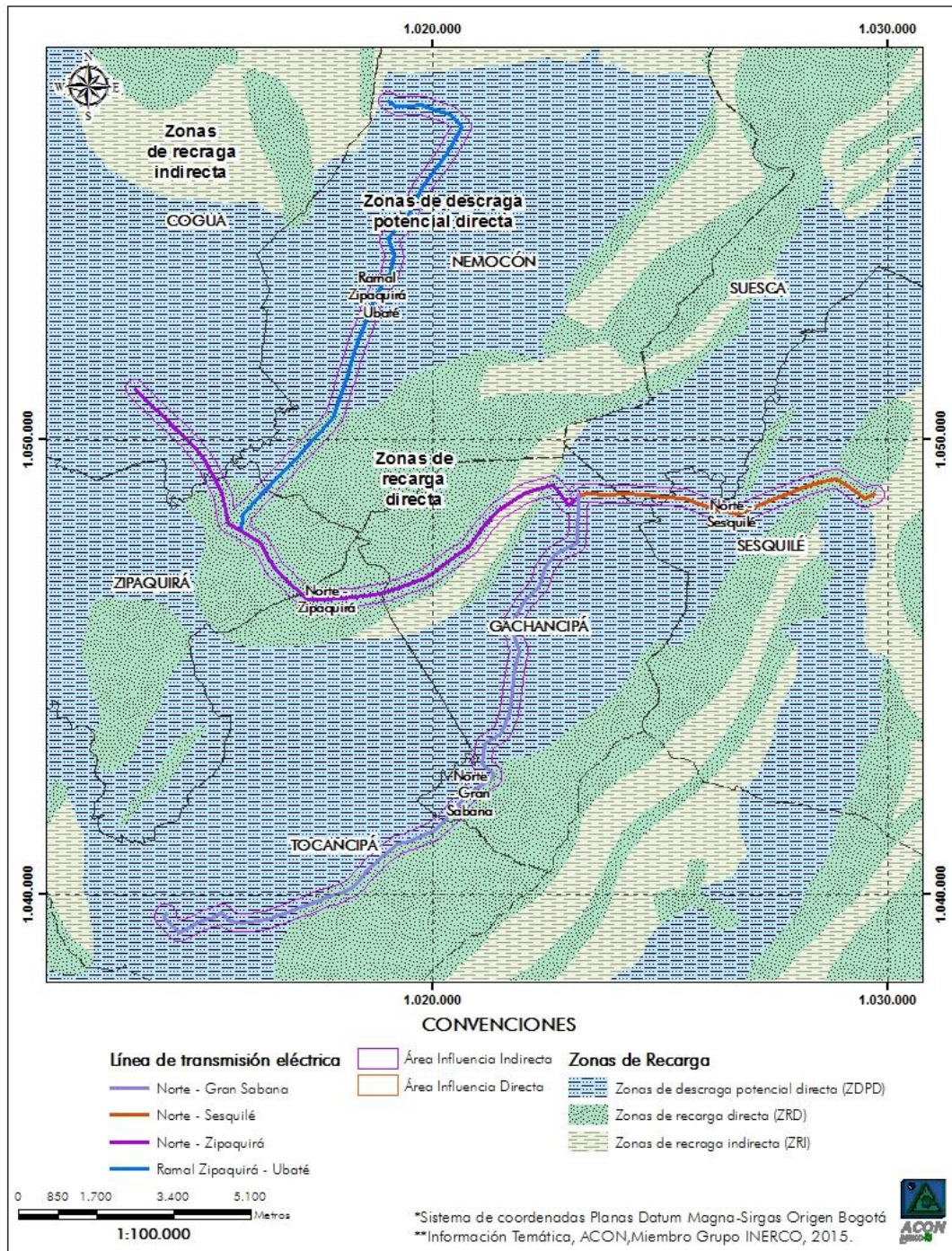
#### B Zonas de Descarga potencialmente directa

La descarga de estos acuíferos libres y semiconfinados se hace hacia superficie (aquellos que están por encima del nivel más bajo del terreno) originando los cauces menores y alimentando los aljibes y manantiales que sirven de abastecimiento de agua a los moradores de la región. En periodos de verano estos acuíferos descargan sobre los cauces mayores, contribuyendo a mantener los caudales mínimos que se presentan en esta época. Las unidades que configuran esta zona en el área de estudio mantienen una topografía plana y corresponden a los depósitos cuaternarios y cuya litología es areno-arcillosa.

En la Figura 3.2.5-12 se presentan las zonas de recarga y descarga que configuran localmente el área de estudio.



**Figura 3.2.5-12 Zonas de recarga y descarga en el área de estudio**



**Fuente:** ACON, Miembro Grupo INERCO, 2015.

### 3.2.6 Geotecnia

#### 3.2.6.1 Caracterización geotécnica zona de estudio

El análisis geotécnico realizado para el área de estudio está orientado básicamente a la caracterización de materiales y su susceptibilidad a fenómenos de remoción en masa, para así establecer un modelo geológico-geotécnico que permita la caracterización del área de estudio.

#### 3.2.6.2 Modelo geológico-geotécnico

En la zona objeto de estudio no se identifica la ocurrencia de procesos morfodinámicos que puedan comprometer la integridad del área de influencia directa.

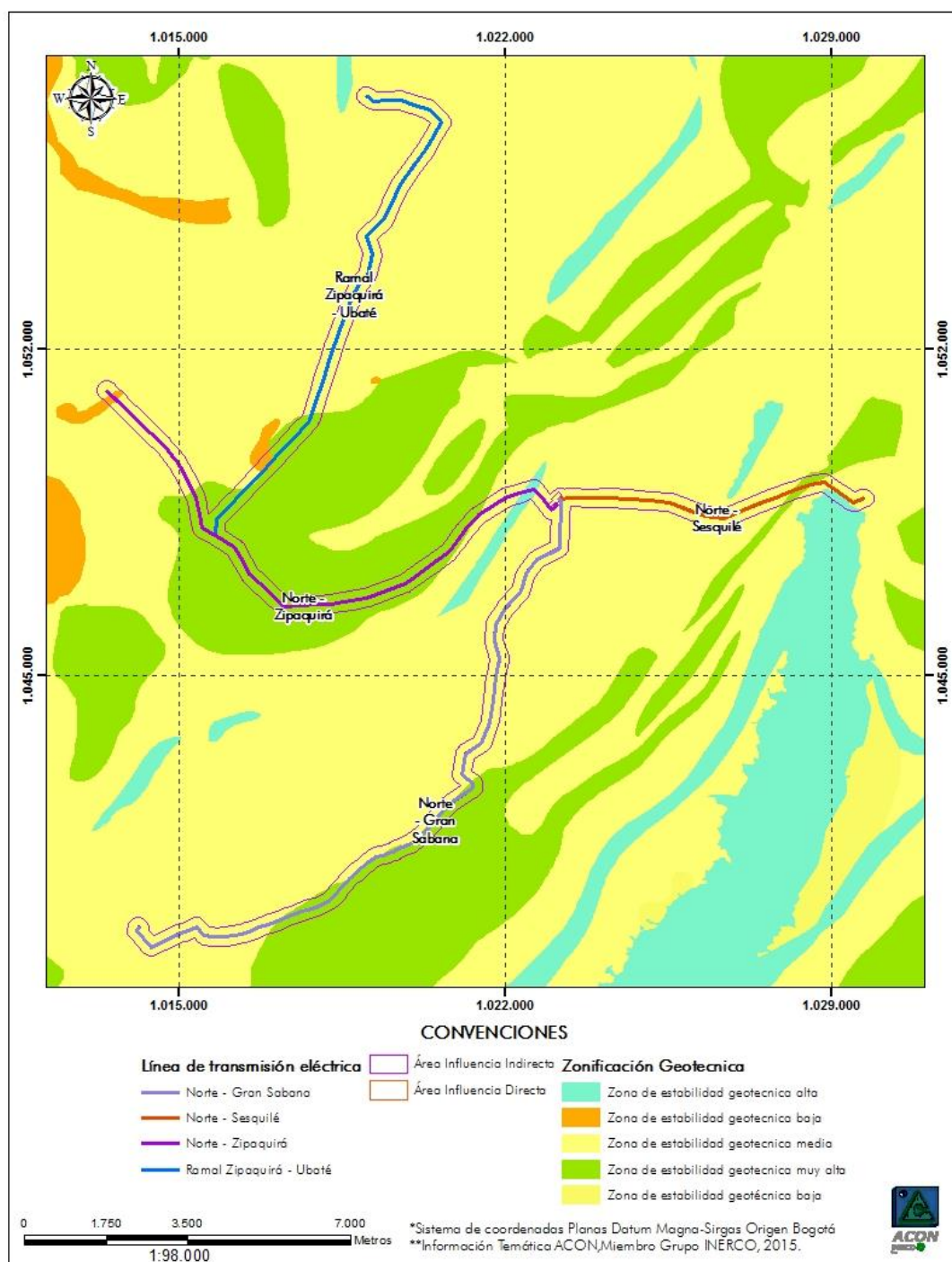
No obstante, en la región se pueden presentar procesos morfodinámicos por susceptibilidad de los materiales a los agentes de intemperismo que pueden en el tiempo deteriorar las condiciones geomecánicas del material y evolucionar a deslizamientos de mayor complejidad geotécnica. En sectores carentes de cobertura vegetal, existe un alta susceptibilidad a que se presenten procesos erosivos, causando el lavado y arrastre particulado y por lo tanto la generación de condiciones de inestabilidad o por degradación progresiva del suelo.

#### 3.2.6.3 Zonas geotécnicamente homogéneas

En la Figura 3.2.6-1 se presenta la zonificación por susceptibilidad a procesos de remoción en masa para la zona de estudio. De acuerdo con la delimitación de la zona, se presentan sectores puntuales con susceptibilidad alta en los depósitos de ladera y materiales de la formación Tilatá, la mayor parte de la zona presenta susceptibilidad media caracterizada por las formaciones Plaeners, Bogotá, Conejo, Guaduas y depósitos aluviales recientes. (Ver Mapa 3-13 Zonificación geotécnica).



**Figura 3.2.6-1 Mapa de Susceptibilidad geotécnica**



**Fuente:** ACON, Miembro Grupo INERCO, 2015.