

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCION.....	10
1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.....	11
2. ÁREA DE ESTUDIO.....	13
2.1. ORDENAMIENTO TERRITORIAL SOBRE LA CUENCA.....	13
2.2. CLIMATOLOGIA.....	16
2.2.1. Temperatura.....	17
2.2.2. Precipitación.....	18
2.3. HIDROLOGÍA.....	19
2.4. EDAFOLOGIA.....	21
2.4.1. Uso potencial del suelo.....	22
2.5. DEMOGRAFÍA.....	26
2.6. PROBLEMÁTICA AMBIENTAL.....	26
3. CALIDAD DEL AGUA.....	28
3.1. USOS DEL AGUA.....	29
3.2. CONSUMOS.....	30
3.3. FUENTES DE CONTAMINACIÓN.....	31
3.4. MARCO LEGAL.....	34
4. MODELACIÓN DE OD Y DBO.....	36
4.1. MODELO DE CALIDAD DEL AGUA.....	36
4.2. CALIBRACIÓN DEL MODELO.....	40
5. CONCLUSIONES.....	54
7. BIBLIOGRAFIA.....	56

LISTA DE TABLAS

Pág.

Tabla 1. Poblaciones en la cuenca de la quebrada Gualanday.....	15
Tabla 2. Temperatura Media Mensual	17
Tabla 3. Estaciones Hidroclimatológicas de la Quebrada Gualanday	18
Tabla 4. Precipitación total.....	19
Tabla 5. Oferta Hídrica – Cuenca quebrada Gualanday	21
Tabla 6. Cobertura y usos actuales en la cuenca de la quebrada Gualanday	21
Tabla 7. Distribución espacial del uso del suelo.....	24
Tabla 8. Zonificación de la ocupación y usos del suelo	25
Tabla 9. Poblaciones sobre el área de influencia de la quebrada Gualanday.....	26
Tabla 10. Problemática en el área de influencia de la quebrada Gualanday.	27
Tabla 11. Índices de calidad del agua de la quebrada Gualanday, 2003.	28
Tabla 12. Resultados de la campaña de muestreo sobre la quebrada Gualanday	29
Tabla 13. Usos del agua sobre la quebrada Gualanday	30
Tabla 14. Extracciones en la quebrada Gualanday	30
Tabla 15. Contaminación puntual en la quebrada Gualanday	31
Tabla 16. Normas para el manejo del recurso hídrico en la cuenca.....	34
Tabla 17. Datos meteorológicos usados para la modelación.....	40
Tabla 18. Datos para escenario sin tratamiento.....	40
Tabla 19. Valores de referencia para K_1 y K_2	42
Tabla 20. Datos para escenario con tratamiento primario	46
Tabla 21. Datos para escenario con tratamiento secundario.....	49
Tabla 22. Resultados de la calidad del agua	52

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Ubicación geográfica de la microcuenca Gualanday	13
Figura 2. Municipios sobre el área de influencia de la quebrada Gualanday.	14
Figura 3. Microcuenca de la quebrada Gualanday y sus tributarios	16
Figura 4. Uso potencial del suelo sobre el área de influencia de la quebrada Gualanday.	23
Figura 5. Fuentes de contaminación sobre la cuenca de la quebrada Gualanday.....	32
Figura 6. Perfil Longitudinal de la quebrada Gualanday	41
Figura 7. Perfil de Caudal en la quebrada Gualanday	42
Figura 8. Árbol de la quebrada Gualanday.....	43
Figura 9. Simulación de Oxígeno Disuelto, escenario sin tratamiento.....	44
Figura 10. Simulación de DBO (escenario sin tratamiento).....	45
Figura 11. Árbol de la quebrada Gualanday con 40% de remoción de DBO	47
Figura 12. Simulación de Oxígeno Disuelto con tratamiento primario	48
Figura 13. Simulación de DBO con tratamiento primario.....	48
Figura 14. Árbol de la Quebrada con 80% de remoción de DBO.....	50
Figura 15. Simulación de Oxígeno Disuelto con tratamiento secundario.....	51
Figura 16. Simulación de DBO con tratamiento secundario.....	51
Figura 17. Perfiles de Oxígeno Disuelto según la simulación	53
Figura 18. Perfil de DBO según las simulaciones.....	53

RESUMEN

En Colombia, el porcentaje de cuencas hidrográficas expuestas a vertimientos directos es alto. Estos pueden ser de tipo doméstico o industrial, generando impactos negativos en la calidad del agua, lo que significa modificaciones en los indicadores ambientales.

El principal objetivo de este trabajo, ha sido el uso de herramientas para la simulación de eventos en cuencas hidrográficas que puedan incidir sobre la calidad del agua en la fuente, en tiempos presente y futuro.

La herramienta utilizada, aplicada en el caso particular analizado - la quebrada Gualanday, en el Departamento del Tolima – constituye una modelación matemática denominada QUAL2K, aplicada como técnica para representar los parámetros principales: DBO y OD, indicadores gobernantes de la calidad del agua.

Durante el desarrollo del trabajo, se determinaron las condiciones ambientales existentes en el área de estudio, las cuales influyen y afectan directamente la calidad del agua en la cuenca de la quebrada Gualanday. También se definieron los usos, consumos, fuentes de contaminación y normas legales relacionadas con la calidad del agua, aplicables a la quebrada Gualanday.

Así mismo, se obtuvieron datos de campo y de laboratorio para realizar la modelación, en condiciones actuales, y para remociones de DBO de 40% y 80%, respectivamente, a fin de generar predicciones, a futuro, sobre la efectividad de cada una de las posibles soluciones de tratamiento de aguas residuales.

Este trabajo pretende resaltar, por lo tanto, la importancia que la realización de este tipo de modelaciones de una fuente hídrica, es una herramienta útil para el monitoreo de parámetros que representan su calidad del agua, con el fin de llevar a cabo un control y monitoreo sobre la cuenca y evitar, de esta manera, su deterioro.

INTRODUCCIÓN

La quebrada Gualanday, localizada en la meseta de Ibagué, genera múltiples usos a través de su recorrido. La quebrada ha sido, por décadas, de gran importancia para el desarrollo, no sólo agroindustrial, sino como fuente de abastecimiento de la población de Gualanday, de la industria y de recreación, en la zona.

El presente documento incluye la modelación de OD y DBO, en la quebrada Gualanday, para generar predicciones sobre la efectividad de cada una de las posibles soluciones de tratamiento de aguas residuales.

En el capítulo segundo se resumen las actividades principales involucradas en el manejo del recurso hídrico en la microcuenca Gualanday.

En el capítulo tercero se describen las condiciones ambientales existentes en el área de estudio que afectan e influyen sobre la calidad del agua en la cuenca de la quebrada Gualanday.

En el capítulo cuarto se definen los usos, consumos, fuentes de contaminación y normas legales relacionadas con la calidad del agua en la quebrada Gualanday.

En el capítulo quinto se incluyen los datos de campo y de laboratorio obtenidos para la modelación, en sus condiciones actuales, y para remociones de DBO de 40% y 80%, respectivamente.

Finalmente, en el capítulo sexto se presentan las conclusiones y recomendaciones que se obtienen a partir de las condiciones actuales y de la simulación realizada.

1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

En la actualidad, la microcuenca Gualanday se encuentra sometida a fuertes presiones, debido al mal manejo en el uso del recurso hídrico y a la explotación de los recursos naturales renovables, y no renovables, para beneficio humano, a través de todo su recorrido. Se observa la explotación de material de arrastre, deforestación, inadecuada disposición de residuos y actividades agropecuarias en su cuenca y recorrido, lo cual ocasiona alteraciones no sólo en la calidad del recurso hídrico, si no también en el estado en general de la cuenca.

Las comunidades asentadas en la zona de influencia no conocen su responsabilidad ambiental, lo cual influye en el deterioro, con el paso del tiempo, de los recursos naturales presentes en la cuenca.

En la zona no existe una organización, por parte de sus pobladores, que tenga mecanismos para la recuperación de los sitios deteriorados. Tampoco existe ningún tipo de información sobre el estado de la cuenca y sobre la problemática que existe por el posible deterioro del recurso hídrico. A pesar de todas las potencialidades que posee la región, no se han registrado suficientes publicaciones que proporcionen un conocimiento más amplio del área de estudio, limitando, así, el accionar de los grupos involucrados en el cuidado y manejo de los recursos naturales.

Un manejo integral de la cuenca de la quebrada involucra las comunidades ubicadas en ella, la percepción acerca de su importancia para las tareas socio-productivas que se desarrollan, así como también el reconocer las relaciones existentes entre dichas comunidades y las instituciones involucradas en la gestión de este importante recurso, además de identificar debilidades y fortalezas institucionales en la gestión del agua.

La generación y actualización del ordenamiento territorial, es una necesidad para proponer los planes de acción necesarios para el mejor manejo de la microcuenca.

La importancia de proteger los recursos naturales renovables y no renovables, radica en el papel que deben jugar las instituciones oficiales, las cuales tienen a su cargo la protección de las cuencas y el control ambiental de las mismas.

El diagnóstico sobre el uso del agua es requisito esencial para la creación de estrategias para el manejo del recurso hídrico en la microcuenca Gualanday, Ibagué, Tolima. Para este propósito se requiere realizar necesariamente las siguientes actividades:

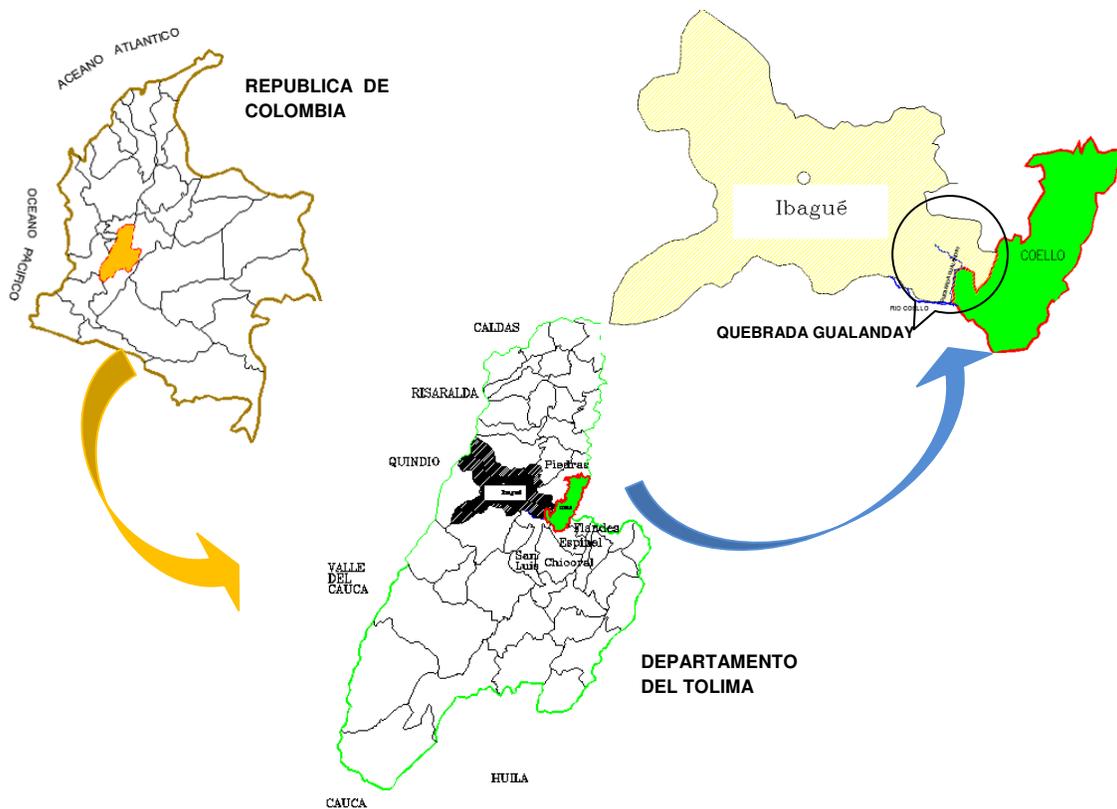
- Recopilación de la información sobre caudales disponibles en la Quebrada Gualanday.
- Análisis de la calidad del agua en la parte alta y baja de la quebrada Gualanday.
- Identificación de las fuentes de contaminación del recurso hídrico.
Inventario de tributarios de la quebrada
- Inventario de efluentes de la quebrada
- Conocimiento del uso y manejo del recurso en la cuenca

2. ÁREA DE ESTUDIO

2.1. ORDENAMIENTO TERRITORIAL SOBRE LA CUENCA

La quebrada Gualanday nace en la meseta de Ibagué, a una altura de 712 msnm. Presenta una dirección, desde su nacimiento, hasta su desembocadura, noroeste-sureste. En su parte inicial recibe el nombre de quebrada Guacarí. La longitud del cauce principal es de aproximadamente 15.5 kms, con una pendiente media de 1,48% y desemboca en la margen izquierda, en el sentido aguas abajo del Río Coello, a una cota aproximada de 479 msnm. La cuenca de la quebrada tiene un área de 3786,8 Ha.

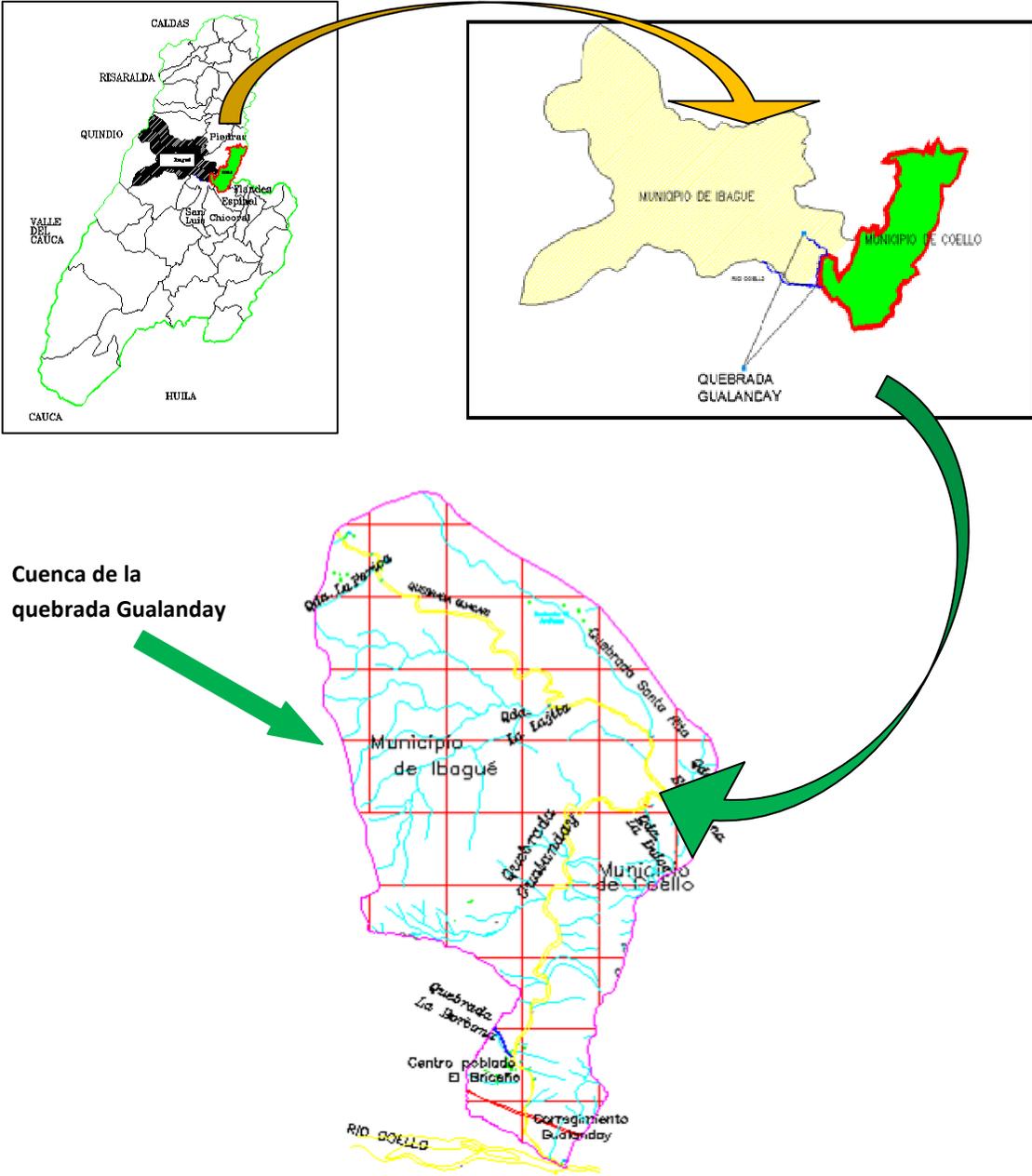
Figura 1. Ubicación geográfica de la microcuenca Gualanday¹



¹ INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTIN CODAZZI. Plano del Departamento del Tolima. Escala 1:10000. Ibagué: IGAC, 2010.

La quebrada Gualanday se encuentra compartida entre los municipios de Ibagué y Coello, tal como se observa en la Figura 2, representando una gran importancia sobre las actividades de estos dos municipios.

Figura 2. Municipios sobre el área de influencia de la quebrada Gualanday.



Inicialmente, se realizó una visita de campo de todo el área de estudio, identificando la quebrada Gualanday y sus afluentes, las poblaciones que se encuentran en el área de influencia en su microcuenca, su población, las actividades productivas, fácilmente reconocibles, tales como la agricultura y la ganadería, los tipos de cultivos existentes, así como los sectores donde se desarrollan dichas actividades, las cuales se resumen en la Tabla 1.

Tabla 1. Poblaciones en la cuenca de la quebrada Gualanday

Nombre de la Cuenca	Municipio	Nombre de la población	Sistema de Agua potable	Sistema de alcantarillado
Quebrada Gualanday	Ibagué	Granja Buenos Aires	No tiene, Cuenta con un pozo profundo que abastece durante dos horas diarias.	Pozo séptico
		Buenos Aires	No tiene El agua para el consumo humano es tomada de los canales de riego Ambafer y Laserna-Sarmiento provenientes del Río Chipalo, que no es potable. Se destaca que el 23.21% de los habitantes del caserío no cuentan con el servicio de agua.	Pozo séptico. La mayoría de los casos es compartido con otros predios.
		Alto de Gualanday	No tiene acueducto (extracción de nacedero con dos tanques de almacenamiento)	Pozo séptico
	Coello	Gualanday	El acueducto de esta población se abastece de la quebrada Gualanday, tiene planta de tratamiento donde se le aplica al agua soda cáustica, sulfato de aluminio y cloro. Actualmente se están replazando estos dos últimos por hidroxiclورو de aluminio, el cual es dosificado a través de una bomba que posee la E.S.P. de Coello	Alcantarillado, el sistema no posee planta de tratamiento de aguas residuales

En la Figura 3 se ilustran los tributarios de la quebrada Gualanday.

Figura 3. Microcuenca de la quebrada Gualanday y sus tributarios²



2.2. CLIMATOLOGIA

No existen registros ni información completos de brillo solar, nubosidad, y recorrido del viento del área de influencia de la quebrada Gualanday.

² US Dept of State Geographer, 2014 Google earth, imagen tomada el 04-06-2012.

2.2.1. Temperatura. La Tabla 2 registra la temperatura media total multianual de la cuenca de la quebrada Gualanday y las temperaturas medias totales de cada una de las estaciones climáticas seleccionadas para el período 1991 - 2009.

Tabla 2. Temperatura Media Mensual

TEMPERATURA MEDIA MENSUAL (°C) - ESTACIONES SUBCUENCA QUEBRADA GUALANDAY 1991 – 2009																		
No.	ESTACION	X	Y	LATITUD	LONGITUD	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Total
1	El Aceituno	892423,9	974372,1	421 N	7503 W	26,1	26,3	26	25,3	25,4	25,8	27,1	26,6	26,1	24,8	25	25,5	25,8
2	Buenos aires	888718,3	970690,3	420 N	7504 W	25,6	25,90	25,5	24,9	24,9	25,3	26,6	26,1	25,6	24,4	24,5	25	25,4
3	Aeropuerto Perales	881332,4	981760,6	425 N	7508 W	24,3	24,60	24,3	23,7	23,8	24,1	25,2	24,7	24,2	23,2	23,4	23,8	24,1
4	Chicoral	897957	959619	413 N	7459 W	27,5	27,8	27,4	26,7	26,7	27,2	26,6	28,1	27,7	26,2	26,3	26,9	27,1
Promedio de la Serie 1991- 2009						25,9	26,2	25,8	25,2	25,2	25,6	26,4	26,4	25,9	24,7	24,8	25,3	25,6

La tabla anterior indica que la temperatura media en la cuenca de la quebrada Gualanday es de 25,6 °C, con variación media entre 24,7° y 26,4° C.³

Los meses más calurosos, en orden descendente, son

Mes	Temperatura media °C
Julio	26.6
Agosto	26.1
Febrero	25.9
Enero	25.6
Septiembre	25.6
Marzo	25.5
Junio	25.3
Diciembre	25
Mayo	25
Abril	25
Noviembre	25
Octubre	25

³ IDEAM, Datos estadísticos, tomados de estaciones metereológicas, Bogotá 2012

En las poblaciones de Buenos Aires, Alto de Gualanday, Briceño y Gualanday, la clasificación climática, según la metodología propuesta por Caldas – Lang, está determinada para el área de estudio por la Provincia climática: Cálido Semiárido (Csa). Esta provincia climática se encuentra a una altura inferior a los 811 msnm y temperaturas mayores a 25 °C. Esta zona se caracteriza por ser apta para los cultivos de arroz, sorgo, algodón, soya, ganadería con especies, tales como el Cebú y Criollo.⁴

2.2.2. Precipitación. Se entiende por precipitación, el agua proveniente del vapor de agua de la atmósfera, depositada en la superficie de la tierra de cualquier forma, como son lluvia, granizo, rocío y nieve. Dado que en Colombia la contribución de las superficies cubiertas de nieves en el potencial hídrico total es despreciable, se considera que el régimen de la escorrentía depende directamente del régimen de precipitaciones.

De acuerdo con la información obtenida en el IDEAM, para la caracterización de la quebrada Gualanday, se seleccionó el período comprendido entre 1991 y 2011. Se identificaron cuatro (4) estaciones climatológicas, pluviométricas e hidrométricas, instaladas en zonas aledañas a la misma. En la Tabla 3, se consignan sus principales características.

Tabla 3. Estaciones Hidroclimatológicas de la Quebrada Gualanday

No.	ESTACION	TIPO DE ESTACION	CODIGO	LATITUD	LONGITUD	ELEVACIÓN m.s.n.m.	MUNICIPIO
1	El Aceituno	PM	21220050	421 N	7503 W	680	IBAGUE
2	Buenos aires	PM	21210200	420 N	7504 W	750	IBAGUE
3	Aeropuerto Perales	SS	21245040	425 N	7508 W	928	IBAGUE
4	Chicoral	CO	21215080	413 N	7459 W	475	ESPINAL
5	Piedras	LG	21227010	432 N	7452 W	350	PIEDRAS

PM: Estación Pluviométrica
CO: Estación Completa

SS: Estación Sinóptica Secundaria
LG: Estación Limnigráfica

⁴ Plan de ordenamiento Territorial, Ibagué 2003, p. 57

En la Tabla 4, se observan los valores totales mensuales de precipitación de cada una de las estaciones seleccionadas correspondientes al período 1991 – 2011.

Tabla 4. Precipitación total

PRECIPITACIÓN MENSUAL (mm) - QUEBRADA GUALANDAY 1991 – 2011																
No.	ESTACION	X	Y	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Agt	Sept	Oct	Nov	Dic	Total anual
1	El Aceituno	892423,9	974372,1	54,3	70,20	114,7	198,5	230,4	109,6	57,2	55,2	151,8	138,7	101,3	72,7	1355
2	Buenos aires	888718,3	970690,3	71,4	67,50	142,7	231,4	218,7	116,4	52,1	49,1	161,2	191	146,4	89,2	1537
3	Aeropuerto Perales	881332,4	981760,6	85,1	110,40	146	227,8	225	111,1	73	64,3	137,8	184	173,6	111,6	1650
Promedio de la Serie 1991- 2011				70,3	82,7	134,5	219,2	224,7	112,4	60,8	56,2	150,3	171,2	140,4	91,2	1.513,8

La Tabla 4 indica que el régimen de lluvias en la zona de influencia de la cuenca es bimodal, presentando dos épocas marcadas de lluvias: en el primer semestre, en los meses de abril y mayo; en el segundo semestre - septiembre y octubre - presentan los picos máximos de precipitación, alternados con dos épocas de baja precipitación (julio-agosto y diciembre-enero). El mes que presenta mayor precipitación, en el primer semestre, es abril (219,2mm); el mes más lluvioso en el segundo semestre, es Octubre, con valores por encima de 171.2 mm.

2.3. HIDROLOGÍA

El desarrollo industrial, agrícola, pecuario y el surgimiento de grandes concentraciones humanas, pusieron de presente la necesidad de aprovechar, de manera más eficiente, el recurso agua. El incremento del uso del agua obliga a tener un conocimiento más profundo del comportamiento hidrológico de las cuencas hidrográficas, con el fin de poderla aprovechar de manera integral en sus diferentes usos.

La quebrada Gualanday es importante para el desarrollo de la zona de influencia donde se encuentra localizada, toda vez que presenta un objetivo multipropósito, abasteciendo a poblaciones para consumo humano, riego para el desarrollo de actividades agropecuarias y para el desarrollo de turístico.

Se considera oferta hídrica, el volumen disponible para satisfacer la demanda generada por las actividades sociales y económicas del sistema. El estimativo de la oferta hídrica tiene como base la dinámica y los procesos que se dan en el ciclo hidrológico, los cuales determinan, en un espacio y un período dado, la disponibilidad del recurso.

Según la resolución 0865 de julio 22 de 2004, en cumplimiento del Artículo 21 del Decreto 155 de 2004, mediante la cual el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial adoptó la metodología establecida por el IDEAM, para el cálculo del índice de escasez para aguas superficiales, el caudal medio anual de la corriente, es la oferta hídrica de esa cuenca.

La oferta hídrica total corresponde al volumen total generado por la unidad de producción hidrográfica (cuenca), sin tener en cuenta factores de reducción. La oferta hídrica neta es la disponibilidad del recurso, de acuerdo con su calidad, y con el volumen mínimo disponible que debe discurrir por los cauces para el sostenimiento de los ecosistemas (caudal ecológico).

En general, el índice de retención del agua en los drenajes de la región es bajo, por la escasa pluviosidad, alta evapotranspiración generada por el clima cálido y seco; además, los cauces principales drenan rocas de origen marino, los cuales, por su composición, proporcionan mayor cantidad de material disuelto que residuos resistentes para formar aluviones; estos factores, sumados a la temporalidad del régimen de lluvias, con su consecuente actividad torrencial, ocasionan muy baja retención de agua en la zona.

El caudal medio es el resultado de las aguas subsuperficiales y subterráneas que alimentan los cauces de una forma lenta y discurren por la red de manera permanente entre lluvia y lluvia. En la Tabla 5 se indican los resultados de la oferta hídrica total superficial, que corresponde a 0,46 m³/s, aproximadamente 460 l/s, caudal suficiente para abastecer una población de 200,000 habitantes.

Tabla 5. Oferta Hídrica – Cuenca quebrada Gualanday

OFERTA HIDRICA - QUEBRADA GUALANDAY						
CUENCA	SUBCUENCA	MICROCUENCA	CAUDAL MEDIO (L/s)	CAUDAL DE REPARTO (m ³ /s)	CAUDAL ECOLOGICO (m ³ /s)	OFERTA HIDRICA NETA (m ³ /s)
RIO COELLO	QUEBRADA GUALANDAY	Q. La lajita	0,07320	0,03486	0,01082	0,05944
		Q. Santa Rita	0,10400	0,05778	0,01537	0,08320
		Q. Santa Ana	0,02200	0,01158	0,00325	0,01364
		Q. Agua Dulce	0,08110	0,04055	0,01198	0,06488
		Q. Barbona	0,19500	0,09750	0,02881	0,14820
		Q. Guacarí	0,11300	0,06278	0,01670	0,09040
TOTAL			0,58830		0,08692	0,45976

2.4. EDAFOLOGIA

En la Tabla 6 se describen las diferentes coberturas y sus respectivos usos en el área de influencia de la quebrada Gualanday.

Tabla 6. Cobertura y usos actuales en la cuenca de la quebrada Gualanday

TIPO DE COBERTURA	DESCRIPCION	USOS
PASTOS	Pastos manejados, pastos naturales, pastos espontáneos o naturales con rastrojos.	Los pastos manejados se localizan en mayoría en las áreas planas. En general tanto los pastos manejados, naturales con rastrojo brindan alta protección al suelo, pero su capacidad productiva se ve bastante disminuida en los periodos secos. Los pastos naturales o espontáneos con rastrojos, son producto del abandono y se encuentran dispersos por toda la zona. Ocupan áreas de topografía plana a fuertemente inclinadas. Se dedican a la ganadería temporal debido a su baja productividad.
BOSQUE	Esta cobertura natural es de gran importancia para la protección del sistema hídrico, de los suelos y de la fauna.	En algunas zonas ha sido destruida y remplazada para realizar actividades agropecuarias.

Tabla 6. (Continuación)

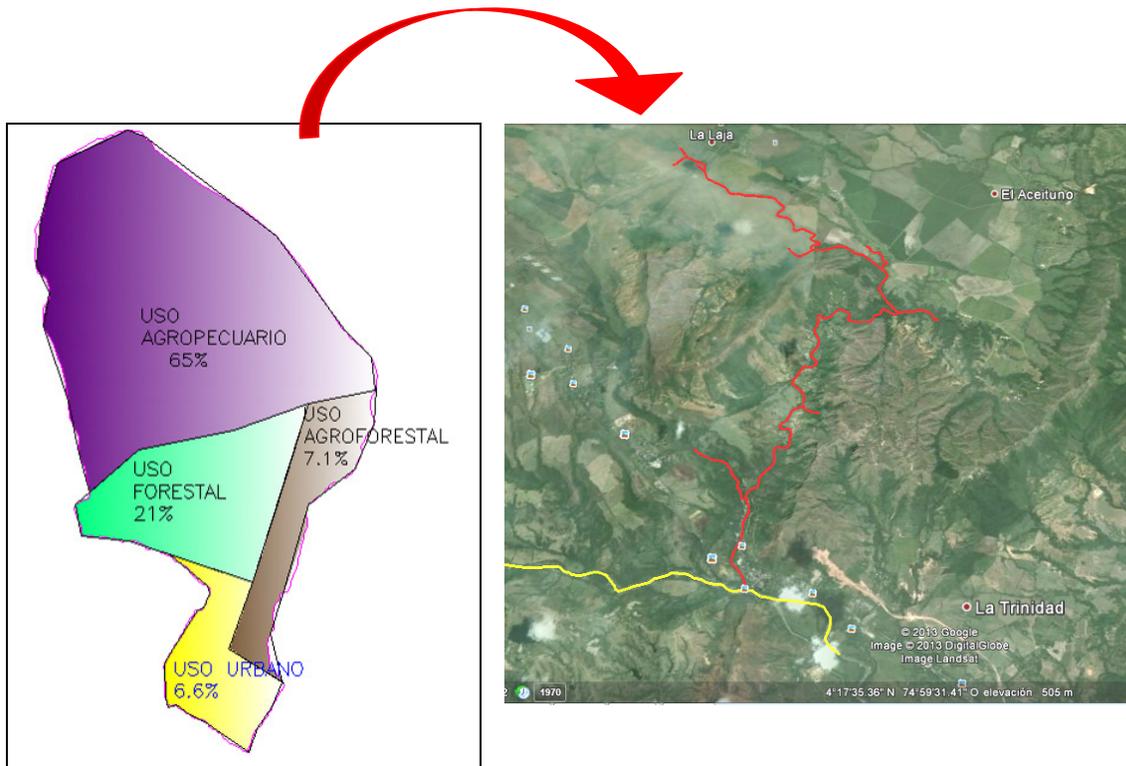
TIPO DE COBERTURA	DESCRIPCION	USOS
VEGETACION NATURAL ARBUSTIVA	Rastrojos: Están representados por una vegetación arbustiva de porte bajo, producto del abandono de los terrenos o el resultado de prácticas inadecuadas del suelo.	Algunos rastrojos son producto de las condiciones biofísicas del territorio que no han permitido el desarrollo de los suelos. Se distribuyen por todo el territorio y se deben dedicar a la regeneración del medio.
	Cultivos: Representados en cultivo de arroz, algodón, sorgo, yuca, maíz, maní y plátano, yuca y frutales.	Se localizan en áreas planas y su uso principal es el de producción agrícola.
SIN COBERTURA	Se presentan afloramientos rocosos y alta pedregosidad que no permiten ningún desarrollo de la vegetación	Tierras eriales y afloramientos rocosos, Son aquellas áreas que actualmente se encuentran improductivas por su alta pendiente y su origen geológico, así como las originadas por la acción antrópica que no permiten uso agropecuario.

2.4.1. Uso potencial del suelo. La delimitación de unidades homogéneas, en cuanto a aptitud de uso, es el resultado del cruce de las variables biofísicas, zonas de vida (interacción de los parámetros de temperatura, precipitación y E.T.P), pendiente superficial y suelo (textura y profundidad efectiva). Dichas unidades se clasifican en las siguientes grandes categorías de uso, a saber.⁵

- **Uso Agropecuario:** Cultivo limpio (CL), Cultivo semilimpio (SL), Cultivo denso (CD).
- **Agroforestal :** Silvo agrícola (SA)
- **Uso Forestal:** Bosque protector (Bp), Bosque protector productor (Bpp).
- **Uso Urbano:** Áreas destinadas a usos urbanos, que cuentan con infraestructura vial, servicios públicos básicos, haciendo posible su desarrollo urbanístico y construcción

⁵ Caracterización del centro poblado de Buenos Aires, Granja de Buenos Aires, Alto de Gualanday y Briceño. Memorias, Ibagué 2005, p 59

Figura 4. Uso potencial del suelo sobre el área de influencia de la quebrada Gualanday



Fuente: Google Earth 2013, Cartografía municipio del Tolima, escala 1:10000

Las condiciones reales del medio permiten al suelo sustentar un uso de carácter agropecuario. Ello, sustentado en la inminente necesidad de lograr, en forma permanente, una oferta hídrica adecuada (regulación del régimen de los caudales) y, de paso, dar cumplimiento a lo ordenado por el código de los recursos naturales, en cuanto a la definición de zonas de protección de ríos y/o quebradas.

En la Tabla 7 se encuentra la distribución espacial de los usos del suelo sobre el área de influencia de la quebrada Gualanday, donde se observa que predomina el uso agropecuario en el área de influencia.

Tabla 7. Distribución espacial del uso del suelo

CATEGORÍA DE USO	UNIDAD	DESCRIPCION DE LA CATEGORIA	DESCRIPCION DE LA UNIDAD	TOTAL	
				Has	%
AGROPECUARIA	Cultivo Limpio (CL)	Su unidad dominante el cultivo limpio (CL)Referida a los usos en los cuales los suelos no presentan limitaciones para el desarrollo de la actividad agrícola y/o pecuaria	Unidad homogénea donde los cultivos que la conforman requieren laboreo y remoción frecuente del suelo, con un periodo vegetativo menor a un año	1100	29,05
	Cultivo Semilimpio (SL)		Unidad homogénea donde el tipo de cultivos que la conforman, sin requerir una remoción frecuente y continuada del suelo, con una labranza, recolección o pastoreo por largos periodos vegetativos (Cultivos perennes), dejan desprovisto al suelo de una cobertura vegetal protectora entre plantas o en periodos estacionales	138,12	3,65
	Cultivo Denso (Cd)		Unidad homogénea donde el tipo de cultivos que la conforman, sin requerir de una remoción frecuente y continuada, no deja desprovisto el suelo de una cobertura vegetal protectora aún entre plantas, a excepción de periodos breves y poco frecuentes	1223,7	32,3
AGROFORESTAL	Silvo Agrícola (SA)	Referidas a los usos que armonizan los cultivos agrícolas, forestales y pastoriles, en pro de alcanzar la sostenibilidad de la base natural y la máxima productividad por unidad de superficie.	Unidad homogénea conformada por la mezcla de cultivos agrícolas y forestales, que permiten la siembra, labranza y recolección de la cosecha, junto con la remoción frecuente y continuada del suelo, dejándolo en algunos sectores desprovistos de cobertura vegetal y en otros con vegetación permanente (árboles).	276,24	7,3
FORESTAL	Bosque protector (Bp)	Referido a aquellos usos, en los cuales los suelos presentan limitaciones para el desarrollo de actividades agrícolas y/o pecuarias, dado básicamente su considerable susceptibilidad a la erosión	Unidad homogénea conformada en su gran mayoría por vegetación leñosa de tipo arbóreo y/o arbustivo, cuya distinción y/o arreglo natural conforma un sistema multiestrato, el cual para fines de conservación de la base natural, no permiten la remoción del suelo, ni de la vegetación en ningún periodo de tiempo	439,72	11,61
	Bosque protector – productor (Bpp).		Unidad homogénea conformada por vegetación de tipo arbóreo, la que sin requerir de remoción continua y frecuente del suelo, lo pueden dejar desprovisto de árboles en áreas pequeñas y por periodos relativamente breves (explotación selectiva)	356,2	9,41
URBANO	Zona Urbana (Zu)	Área urbana	Constituyen el suelo urbano las áreas destinadas a usos urbanos I, que cuentan con la infraestructura vial, los servicios públicos básicos, haciendo posible su desarrollo urbanístico y construcción, según sea el caso	251,3	6,6
TOTAL				3786,8	100,0

2.4.2. Suelo urbano. El suelo urbano se define como el área donde se encuentran los centros poblados El Briceño y Gualanday, los cuales se caracterizan por poseer infraestructura vial, servicios públicos de acueducto y alcantarillado, redes primarias de energía y equipamientos básicos. Sin embargo, los centros poblados de Buenos Aires, Granja Buenos Aires y Alto de Gualanday, tienen influencia sobre la cuenca de la quebrada Gualanday, por estar localizados sobre los tributarios de ésta. La ocupación del suelo urbano se incluye en la Tabla 8.

Tabla 8. Zonificación de la ocupación y usos del suelo

ZON.	UNIDAD	DESCRIPCIÓN DE ZONA	USO	DESCRIPCION DE USO
Z R	Zona Residencial	Área que se caracteriza porque el uso principal es el residencial, solo permitirá los usos compatibles con la vivienda como sectores de comercio y servicios localizados y diseñados para este fin.	Uso principal	Residencial.
			Uso compatible	Comercial de bajo impacto ambiental y urbanístico.
			Uso condicionado	Comercial Grupo II que no tienen un moderado impacto ambiental y urbanístico.
			Uso prohibido	Comercio de Grupo III que tienen alto impacto ambiental y urbanístico.
Z A M	Zona de Actividad Múltiple.	Áreas donde se desarrollan diversas actividades comerciales, económicas, residenciales y de servicios.	Uso principal	Residencial, comercial de bajo impacto ambiental y urbanístico.
			Uso compatible	Comercial Grupo II que tienen un moderado impacto ambiental y urbanístico.
			Uso condicionado	Comercio de Grupo III.
			Uso prohibido	Industrial de impacto alto.
Z A I	Zona de Actividad Institucional	Son aquellas áreas destinadas a usos cuyo objetivo es servir de soporte a las actividades de las personas, satisfaciendo las necesidades básicas. Ver anexo 15 Mapa de Zonificación y Usos del Suelo Urbano	Uso principal	Institucional.
			Uso compatible	Ninguno
			Uso condicionado	Comercial estacionario.
			Uso prohibido	Residencial e industrial.
Z A R	Zona de Actividad Recreacion al.	Son aquellas áreas destinadas a la recreación y satisfacción de la población.	Uso principal	recreación activa y pasiva
			Uso compatible	deportiva
			Uso condicionado	comercial estacionario
			Uso prohibido	residencial, comercial e industrial
Z P	Zona de Protección	Son áreas que deben ser protegidos porque corresponden a zonas de aislamiento y de protección	Uso principal	Protección.
			Uso compatible	Recreación pasiva
			Uso condicionado	Comercio estacionario
			Uso prohibido	Industrial
Z I	Zona Industrial	Esta zona se establece dentro del perímetro del centro poblado Buenos Aires, Granja Buenos Aires y Alto de Gualanday, que esta localizado a ambos lados de la vía que conduce a Bogotá "Vía Panamericana" con un uso industrial hasta de alto impacto con la condición de que los usos permitidos, deberán cumplir con los requerimientos sobre calidad de aire, niveles de contaminación, emisiones contaminantes y de ruido contenidas en las normas ambientales vigentes.	Uso principal	Industrial.
			Uso compatible	ninguno
			Uso condicionado	Comercial estacionario.
			Uso prohibido	Residencial y comercial.

2.5. DEMOGRAFÍA

Aunque únicamente las poblaciones de Gualanday y El Briceño se encuentran localizadas sobre la cuenca de la quebrada Gualanday, se incluyen las poblaciones relacionadas en la Tabla 9, teniendo en cuenta que pueden afectar en el futuro la calidad del agua, por estar localizadas sobre el área de influencia indirecta, en cercanías de los tributarios Barbona y Perica. De acuerdo con el POT de Ibagué, estas poblaciones tienen área de expansión, lo cual, al incrementarse la población, se pueden presentar descargas, o vertimientos, que disminuyan la calidad del agua de la quebrada Gualanday.

Tabla 9. Poblaciones sobre el área de influencia de la quebrada Gualanday

NOMBRE DE LA POBLACION	AREA TOTAL (Ha)	No. de Hab. (año 2011)	No. de Hab. (año 2021)
Corregimiento Gualanday	1114,39	260	320
Centro Poblado Buenos Aires	8177	214	360
Centro Poblado Granja Buenos Aires	203,73	176	232
Centro Poblado Alto de Gualanday	344,57	600	630
Centro Poblado El Briceño	1468,2	163	100

2.6. PROBLEMÁTICA AMBIENTAL

En la Tabla 10, se resumen las problemáticas ambientales que se presentan en las diferentes poblaciones que se encuentran ubicadas sobre el área de influencia de la quebrada Gualanday.

Tabla 10. Problemática en el área de influencia de la quebrada Gualanday.

Centro poblado El Briceño	Centro poblado Gualanday	Granja Buenos Aires Alto de Gualanday	Centro poblado Alto de Gualanday	
<p>Se presenta disposición de residuos sólido en el cauce de la quebrada y algunos vertimientos directos de residuos domésticos.</p>	<p>Es notable la disposición de residuos sólido en el cauce de la quebrada y algunos vertimientos directos de residuos domésticos.</p>	<p>En el sector de Alto de Gualanday se encuentra La Granja Avícola Buenos Aires productora de aves de corral, huevos y concentrados que presenta un pozo séptico para el manejo de las aguas residuales y los residuos generados por esta industria, que requiere que se realice un seguimiento al plan de manejo aprobado por la autoridad ambiental regional</p>	<p>Se realiza sacrificio de ganado bovino en una residencia ubicada en la Urbanización Tovar y Delgado, sin las medidas de salubridad, higiénicas y sanitarias mínimas; sin ningún control por parte de los entes públicos encargados de este fin.</p>	<p>Se presenta una amenaza de inundación producida por la quebrada La Barbona y El Cabuyo aunque la amenaza no es de tipo alto, se debe respetar el área de influencia de dicha quebrada.</p>

3. CALIDAD DEL AGUA

La calidad del agua está definida por su composición química y por sus características físicas, adquiridas a través de procesos naturales y antropogénicos que limitan o perjudican su uso.

El estudio realizado en la cuenca del río Coello para el año 2003, determinó los índices de calidad del agua, consignados en la Tabla 11, para la quebrada Gualanday.

Tabla 11. Índices de calidad del agua de la quebrada Gualanday, 2003⁶.

PARÁMETRO	VALOR	SIGNIFICADO	CALIDAD
ICOMI	0,59	Índice de Contaminación por Mineralización	Contaminación media
ICOMO	0,55	Índice de Contaminación por Materia Orgánica	Contaminación media
ICOSUS	0,69	Índice de Contaminación por sólidos suspendidos	Contaminación media- alta

Los valores de la Tabla 11 indicaban que la quebrada, para el año 2003, presentaba una calidad de agua regularmente buena.

⁶CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL TOLIMA. Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca Hidrográfica Mayor del Río Coello. Ibagué Tolima, 2003. p, 661

En la Tabla 12 se incluyen los resultados obtenidos de la campaña de muestreo, para el presente estudio.

Tabla 12. Resultados de la campaña de muestreo sobre la quebrada Gualanday

Parámetro	Descarga La Miel	Quebrada La Perica	Captación Hacienda El Aceituno	Quebrada La Lajita	Quebrada Santa Rita	Quebrada Santa Ana	Quebrada Agua Dulce	Acueducto Gualanday	Quebrada Barbona	Descarga El Briceño	El Puente (extracciones)	Intervalos	Valores de referencia RAS 2000 ⁵ -Fuente aceptable
PH promedio	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,67	8,5	8	7,6	7,6 a 8,5	6,0-8,5
OD mg/L	4,5	6,9	6	6,7	7,9	5,4	6,3	5,8	5,3	3	5,5	3 a 7,9	>4
DBO ₅ mg/L	80	45	40	17	8	40	10	36	65	55	15	8 a 80	<1,5
Coliformes totales (NMP/100 mL)	270	281	230	192	196	189	183	166	175	190	201	166 a 281	0-50
Turbiedad UNT	2,5	2,8	2,8	3	2,5	1,9	2	2,3	2,4	2,5	2,6	1,9 a 3	<2

De acuerdo con los valores relacionados en la Tabla 12, se observa que, en términos de pH, la fuente se clasifica como *aceptable*; el OD es aceptable, con excepción de la descarga El Briceño ($3 < 4$). En términos de DBO, la concentración contaminante más alta ocurre en las descargas de La Miel, quebrada Barbona y descarga El Briceño; la fuente se clasifica como muy deficiente ($DBO > 4$); en coliformes, se clasifica como una fuente regular (50 - 500) y en turbiedades como una fuente regular (2 - 40). Lo anterior indica que el agua de la quebrada Gualanday es apta para consumo humano, previo tratamiento convencional, más desinfección.

3.1. USOS DEL AGUA

Las diferentes actividades que se desarrollan sobre la cuenca de la quebrada Gualanday, representan un alto impacto a futuro en la cuenca, teniendo en cuenta que los caudales requeridos para cada actividad constituyen un elemento

primordial para su desarrollo. En la Tabla 13, se describen las actividades que se desarrollan a lo largo del recorrido de la cuenca.

Tabla 13. Usos del agua sobre la quebrada Gualanday

Tipo de uso	Localización	Porcentaje de Distribución según área de la cuenca
Riego - agroindustria	K0+7	50
Ganadería y agricultura	K7 - 10	25
Consumo humano	K9	10
Recreación	K12	10
Otros	K12	5

3.2. CONSUMOS

En la Tabla 14 se encuentran relacionadas las extracciones de la quebrada Gualanday, identificadas en campo.

Tabla 14. Extracciones en la quebrada Gualanday

Nombre de la cuenca	Extracción identificada	Caudal extraído (L/s)
Quebrada Gualanday	Hacienda El Aceituno	26
	Acueducto Gualanday	25
	Extracción temporal	4

3.3. FUENTES DE CONTAMINACIÓN

Existen dos tipos de procesos contaminantes en las aguas: los puntuales, que afectan zonas muy localizadas, y los difusos, que provocan contaminación dispersa en zonas amplias, en las cuales no es fácil identificar un foco principal.

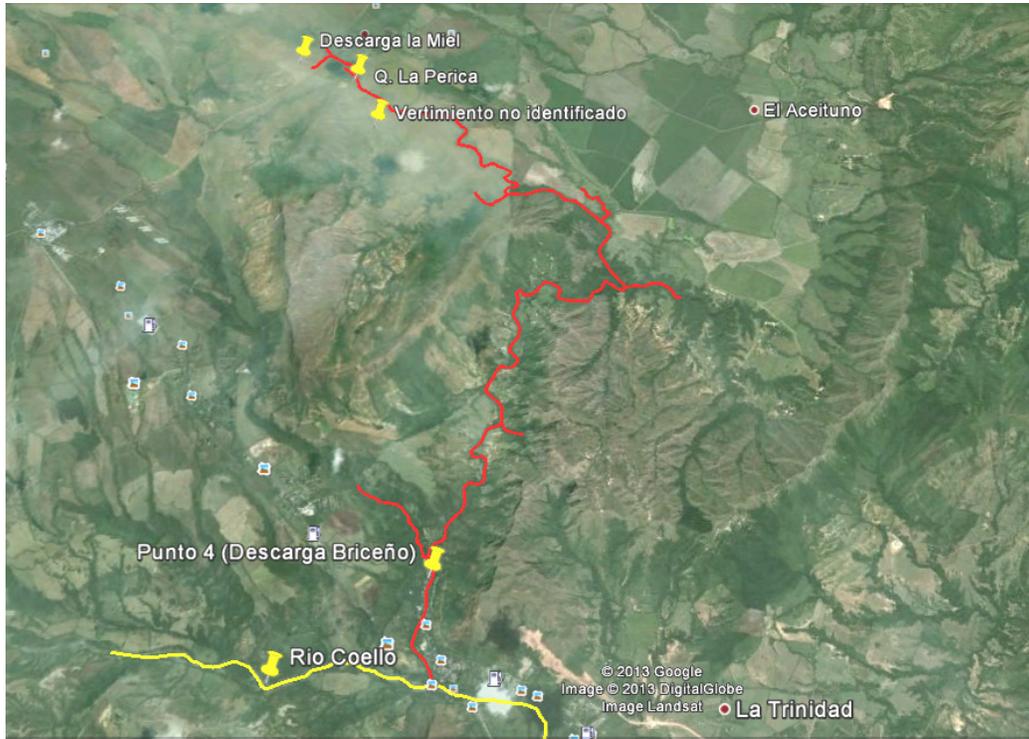
En el área de estudio de la cuenca, se logró identificar algunos sitios de contaminación puntual, los cuales se indican en la siguiente tabla.

Tabla 15. Contaminación puntual en la quebrada Gualanday

LOCALIZACIÓN	VALOR DBO (mg/L)	TIPO DE CARGA
Descarga La Miel	80	Puntual
Quebrada La Perica	45	Puntual
Quebrada La Barbona	65	Puntual
Descarga El Briceño	55	Puntual

En la Figura 5 se presentan los puntos de contaminación, identificados en el recorrido realizado en el área de la microcuenca Gualanday.

Figura 5. Fuentes de contaminación sobre la cuenca de la quebrada Gualanday



Existen, diferentes tipos de descargas contaminantes del agua, entre las cuales se destacan instalaciones de tuberías domésticas, adaptadas por los mismos habitantes, que caen directamente en la quebrada Gualanday.

Otro tipo de descargas, en zona poblada de la microcuenca, es la originada por los tanques sépticos utilizados en el centro poblado El Briceño.

El lavado de ropa, por parte de los habitantes de la vereda El Briceño, es una fuente importante de contaminación, a saber, aguas residuales con detergentes. En algunos casos, también se realiza lavado de vehículos, las cuales, aunque no se realiza con frecuencia, sí genera contaminación difusa en la quebrada.

La contaminación por residuos sólidos se produce en diferentes puntos de la microcuenca, tanto en la quebrada Gualanday, como en las quebradas Santa Ana, Lajitas y Barbona. Los tipos de residuos depositados en estas fuentes son principalmente plásticos, procedentes de las actividades de uso y consumo de la población urbana y rural. Se observan, también, residuos procedentes de las actividades agroindustriales, a lo largo del recorrido de la fuente, realizado para el presente estudio.

En la parte baja de la microcuenca, la presencia de pozos de agua corriente constituye un atractivo turístico para propios y extraños; constantemente, habitantes, no sólo de la ciudad de Ibagué, sino de otras ciudades, realizan paseos a este sitio, donde la gran mayoría de los visitantes dejan gran cantidad de residuos sólidos tanto en las cercanías del sitio, como en la fuente. Es importante destacar que en la quebrada Gualanday se encuentra el mayor volumen de disposición de basuras. La cercanía de viviendas a la orilla de sus aguas, contribuye con la contaminación, debida a la disposición de residuos sólidos. Los malos olores, junto con la propagación de mosquitos, son claros indicadores de la descomposición de los residuos orgánicos en el centro poblado El Briceño.

La contaminación difusa es mucho más difícil de controlar, ya que sus fuentes no son siempre fáciles de detectar, y puede ir intensificándose lenta e inexorablemente, hasta cubrir grandes extensiones. Los principales problemas están probablemente relacionados con la contaminación de tipo difuso. Entre sus causas más importantes, está el uso excesivo de fertilizantes y plaguicidas en la agricultura.

Por otra parte, la ganadería constituye asimismo, una actividad que se desarrolla a lo largo de la cuenca, principalmente en la parte media, lo cual ha repercutido en el cambio de bosque, a potreros. Igualmente, debido a la existencia de abrevaderos de ganado, los animales, a su paso, alteran no sólo las propiedades físicas del suelo, sino también la calidad del agua, a razón de la esorrentía de los residuos orgánicos; en algunos casos, se observó que el ganado es desplazado hasta áreas cercanas de la quebrada Gualanday, convirtiéndose en un área afectada por el depósito de los residuos y por la pérdida de compactación del suelo.

Los agroquímicos pueden ser de dos tipos: fertilizantes, los cuales agregan los nutrientes necesarios al suelo para mejorar las producciones, y plaguicidas, utilizados para controlar, o eliminar, plagas que causan enfermedades que

interfieren en la producción agrícola, los cuales son de alta toxicidad, no sólo para su foco de efecto, sino para la salud humana y el medio ambiente. Se trata de sustancias de alta persistencia, incluso después de su aplicación, donde, debido a la luz, temperatura y efectos del agua y el aire, sufren procesos de degradación, generando sustancias con características de mayor toxicidad que las sustancias originales. Además, poseen un alto poder de disolución en el agua, por lo que, al ser descargadas al cuerpo de agua, se dispersan fácilmente aguas abajo, afectando la calidad del recurso. En la microcuenca de la quebrada Gualanday, el uso de estos productos se ha constituido como primordial, para disminuir el riesgo de plagas en los cultivos.

3.4. MARCO LEGAL

En la tabla 16 se relacionan las diferentes normas establecidas para el manejo del recurso hídrico en la cuenca de la quebrada Gualanday.

Tabla 16. Normas para el manejo del recurso hídrico en la cuenca

NORMA	TITULO
Resolución 2115 del 22 de junio de 2007	Por medio de la cual se señalan características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano. Documento emitido por los Ministerios de la protección social y de ambiente, vivienda y desarrollo territorial.
Decreto 1575 de mayo 9 de 2007	De las resoluciones reglamentarias para establecer los parámetros que debe cumplir el agua que sea destinada a consumo humano. Documento emitido por la Presidencia de la Republica.
Acuerdo 009 de junio 25 de 2003	Por el cual se adopta el Esquema de Ordenamiento Territorial del Municipio de Coello Tolima. Aprobado por el Concejo Municipal de Coello
Acuerdo 116 de 2000	Por medio del cual se adopta el Plan de Ordenamiento Territorial del Municipio de Ibagué. Concejo Municipal de Ibagué
Resolución 1096 del 17 de noviembre de 2000	Por el cual de adopta el Reglamento Técnico para el sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS. Ministerio de desarrollo Económico
Resolución número 687 de Mayo 8 de 1998	En concordancia con la ley 373 de 1997 sobre programa de uso eficiente y ahorro de agua. Documento emitido por la Corporación Autónoma Regional CORTOLIMA
Decreto 879 del 13 Mayo de 1998	Disposiciones Referentes al Ordenamiento Territorial del Territorio Municipal y Distrital y a los Planes de Ordenamiento Territorial .Documento emitido por la Corporación Autónoma Regional CORTOLIMA
Resolución No. 1080 DE 1998	Determinantes Ambientales para los Planes de Ordenamiento Territorial Municipal, documento emitido por la Corporación Autónoma Regional CORTOLIMA.

Tabla 16. (Continuación)

NORMA	TITULO
Ley 388 de julio 18 de 1997	Sobre la ordenación del territorio en sus diferentes clases de suelo como son urbano, suelo urbano de protección, suelo de expansión, y suelo rural de protección, Documento emitido por el Congreso de la Republica
Ley 373 de junio 6 de 1997	Programa para el uso eficiente y ahorro del agua. Establecimiento de consumos básicos y máximos Incentivos tarifarios y Campañas educativas. Documento emitido por el Congreso de la Republica
La Ley 152 del 15 de julio de 1994	Mediante el cual se establece la Ley Orgánica del Plan de desarrollo, Capítulo X, artículo 41, Se describe el marco general para el desarrollo y ordenamiento territorial.
Ley 99 de 22 de diciembre de 1993	Crea el Ministerio del medio ambiente y en sus artículos 31, numerales 5, 23, 29, 31 y 68, establece los lineamientos del Ordenamiento Territorial. Artículo 111, Sobre destinación del 1% del presupuesto municipal para la compra de predios para la protección de los nacimientos de agua. Documento del Congreso de la Republica
Ley 79 de 1986	Por el cual se provee a la conservación del agua. Artículo 1. Declárense áreas de reserva forestal protectora, para la conservación y preservación del agua los siguientes: Todos los bosques y la vegetación natural existente en una franja no inferior a 100m de ancho, paralelas las líneas de marcas máximas, a cada lado de los cauces de los ríos, quebradas arroyos, sean permanentes o no y alrededor de los lagos, lagunas, o depósitos de aguas que abastezcan acueductos rurales y urbanos, o estén destinados al consumo humano, agrícola, ganadero, o para usos de interés social. Todos los bosques y la vegetación natural, existente en el territorio nacional, que se encuentren sobre la cota de los 3000 m.s.n.m. Documento emitido por el Congreso de la Republica
Decreto 1594 de junio 26 de 1984	Por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 9 de 1979, así como el Capítulo II del Título VI -Parte III- Libro II y el Título III de la Parte III -Libro I- del Decreto - Ley 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos. Todos los vertimientos deben contar con sistemas de tratamiento de aguas residuales que garanticen, dependiendo del uso de la corriente superficial, los criterios de calidad establecidos. Infiltración de los residuos líquidos. Aplicación de agroquímicos, Sectores en las fuentes donde se prohíbe vertimientos, Prohibiciones referentes al uso de sustancias toxicas, Autorización de vertimientos. Emitido por el Presidente de la Republica
Decreto 2857 de octubre 13 de 1981	Ordenación de cuencas, emitido por la presidencia de la Republica
Decreto 1449 de junio 27 de 1977	De protección a los nacimientos de aguas, emitido por la Presidencia dela Republica
Decreto 2811 de diciembre 18 de 1974	Código nacional de los Recursos Naturales. Este código tiene por finalidad buscar la preservación y restauración del ambiente y la conservación, mejoramiento y utilización racional de los recursos naturales renovables, según criterios de equidad que aseguren el desarrollo armónico del hombre y dichos recursos, la disponibilidad permanente de éstos y la máxima participación social, para beneficio de la salud y el bienestar de los presentes y futuros habitantes del territorio nacional. Emitido por la Presidencia de la Republica
Decreto 2568 de diciembre 18 de 1974	De las zonas de protección de rondas, Documento emitido por la Presidencia de la Republica

De las normas relacionadas en la Tabla 16, para la quebrada Gualanday aplican, principalmente, los documentos emitidos por la Corporación Autónoma Regional del Tolima - Cortolima, a saber, Resolución 687, Decreto 879 y Resolución 1080, entre otras normas relacionadas.

4. MODELACIÓN DE OD Y DBO

4.1. MODELO DE CALIDAD DEL AGUA

El objetivo principal en el desarrollo de un modelo de calidad del agua es encontrar una herramienta que tenga la capacidad de representar correctamente el comportamiento de los componentes hidrológicos y la calidad del agua en una corriente.

El modelo QUAL2K⁷ es un modelo que representa y predice la calidad de agua en una corriente. Se presenta como un modelo unidimensional, con mezcla completa, tanto vertical, como lateralmente. Se puede modelar una corriente principal, con sus tributarios y, aunque supone flujo permanente, tiene la posibilidad de trabajar como un modelo dinámico.

Modela el flujo de la corriente principal y sus tributarios, la DBO (tanto rápida, como lenta), la temperatura, el oxígeno disuelto, algas, como clorofila, nitrógeno, amoníaco, nitritos, nitratos, fósforo, pH, coliformes y demanda biológica de oxígeno. Tiene la posibilidad de simular la variación de calor y de la calidad de agua a lo largo del día. Es aplicable a condiciones anaerobias.

El modelo tiene en cuenta las características hidráulicas de la corriente de agua, para lo cual permite opciones: características de vertedero, curvas de velocidad y profundidad contra caudal en la sección transversal, o la ecuación de Manning.

La corriente de agua se divide en tramos de características similares, tanto hidráulicas, meteorológicas como ambientales, que permitan suponer constantes las tasas de desoxigenación y de reaireación para cada tramo.

⁷ Programa informático de la ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, [Citado en 21-04-2014].
Disponible en Internet: <<http://epa.gov/athens/wwwqtsc/html/qual2k.html>>

El modelo se calibra con mediciones de los parámetros a modelar, y la suposición, o determinación, de las constantes, y, variando la calidad del agua en las descargas a la corriente, se pueden modelar diferentes escenarios de tratamiento, estudiando así su impacto sobre la calidad de la corriente.

Las descargas al río pueden ser puntuales o dispersas: caso último para el cual son modeladas como una carga puntual.

Se describen, a continuación, algunos de las ventajas que ofrece el modelo:

- Corrige la tasa de descomposición de la materia orgánica bajo condiciones anaeróbicas. Se considera que bajo estas condiciones, la tasa de descomposición es igual a una tasa igual a la tasa de reaireación superficial, y el déficit de oxígeno existente se iguala al oxígeno de saturación.
- Corrige, de igual forma, la tasa de nitrificación bajo niveles de oxígeno disuelto muy bajos en el agua.
- Modela completamente el crecimiento de plantas flotantes y de plantas radiculadas fijas. Para esta modelación, tiene en cuenta los niveles de nutrientes en el agua, temperatura e intensidad de luz.
- Se modela el proceso de interacción agua – sedimento, en forma explícita. A diferencia del modelo QUAL2E, al cual se le suministra el valor de la demanda de oxígeno de los sedimentos, el modelo QUAL2K la incluye como una variable interna para cálculo. Esta es una ventaja en la modelación de corrientes en estado anaerobio.

Para determinar la capacidad de asimilación de una corriente, se debe tener en cuenta su habilidad para mantener las concentraciones de oxígeno disuelto. Estas concentraciones son controladas por la reaireación atmosférica, la fotosíntesis, la respiración de animales y plantas, la demanda de oxígeno de los sedimentos, la demanda bioquímica de oxígeno, el proceso de nitrificación, la salinidad y la temperatura. El modelo QUAL2K incluye la mayor cantidad de relaciones posibles entre los factores mencionados anteriormente, y su efecto sobre el oxígeno disuelto de la corriente. Este modelo incorpora los coliformes como un factor no conservativo y supone que este factor es independiente de los demás factores.

Cuando existe oxígeno disuelto en el agua, el ciclo del nitrógeno se compone de una serie de pasos, desde nitrógeno orgánico, a amoníaco, a nitrito, y a nitrato.

El modelo QUAL2K supone una reacción de primer orden para modelar la DBO en la corriente. También tiene en cuenta remoción adicional de DBO por sedimentación. En cuanto al oxígeno disuelto, se considera que está dado por la capacidad de reaireación de la corriente. Esta capacidad de reaireación está dada por los procesos de advección y dispersión, y por las fuentes y sumideros de los procesos internos, tales como la fotosíntesis y el oxígeno disuelto de las entradas que suman OD al sistema, y la oxidación de la materia orgánica, los procesos nitrogenaceos, la demanda béntica de los sedimentos y la respiración de las algas, que restan OD al sistema.

La temperatura del agua se modela mediante la realización de un balance de calor en cada elemento computacional (de igual longitud) en el que se encuentra dividido cada tramo. Se tienen en cuenta las entradas y las pérdidas, así como el intercambio de calor entre la superficie del agua y la atmosfera.

El modelo QUAL2K opera mediante el programa Excel; el libro de Excel se conforma de varias hojas electrónicas donde se deben especificar los datos de la corriente a modelar. Es necesario especificar las condiciones iniciales aguas arriba, la hidráulica de cada tramo, las condiciones meteorológicas, las diferentes fuentes distribuidas y puntuales que existan a lo largo del tramo, y las tasas a las que se desarrollan los procesos. La interfase es amigable, pero es necesario tener un buen conocimiento de los factores que intervienen en los procesos que se generan en el agua, a fin de lograr una modelación confiable de su calidad.

El modelo exige que se haga una diferenciación en el tipo de demanda biológica de oxígeno que se introduce. Es necesario diferenciar entre materia orgánica particulada, carbono de descomposición rápida (excretas) y carbono de descomposición lenta (grasas y aceites).

Para efectos de la modelación, el carbono de descomposición lenta (Low C) es igual al valor de la Demanda Química de Oxígeno - DQO_{total} - menos la DBO_5 , o

carbono de descomposición rápida (Fast C). La materia orgánica particulada se modela mediante la variable POM, y es igual a la DBO₅ menos la DBO soluble.

Además de los datos de calidad medidos en campo, el modelo también exige que se ingresen valores para los parámetros de calidad y las constantes de degradación a 20° C, las constantes de corrección por temperatura, constantes estequiométricas y parámetros meteorológicos. Estos parámetros de calidad son calibrados con los datos de campo que se tengan.

Para modelar en el QUAL2K, la quebrada Gualanday se dividió en tres tramos principales, a su vez, cada uno de éstos, fue dividido en segmentos de 500 m.

Teniendo en cuenta los valores que se deben ingresar al modelo, se realizó una campaña de muestreo sobre la quebrada Gualanday. Los datos se tomaron de los resultados en campo, de laboratorio, de resultados publicados por la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Coello, y de otros documentos de referencia.

Cuando no fue posible tener datos de mediciones reales, éstos se estimaron a partir de las poblaciones que producen vertimientos, utilizando, para ello, las dotaciones y cargas per cápita, de acuerdo con las recomendaciones de la literatura especializada, datos supuestos utilizados en la modelación.

Para los datos de los escenarios futuros, en los cuales se suponen remociones de 40% y 80% en la DBO, éstos se estimaron a partir de datos de población proyectada, a partir de los planes de ordenamiento, de los municipios que se encuentran localizados sobre la cuenca de la quebrada Gualanday.

La modelación de la calidad del agua sobre la quebrada Gualanday, se realizó sólo para los parámetros de DBO y OD, en condiciones de flujo permanente unidimensional.

- **Datos meteorológicos.** Los datos meteorológicos, obtenidos de los registros del IDEAM, se indican en la Tabla 17.

Tabla 17. Datos meteorológicos usados para la modelación

FACTOR METEOROLÓGICO	VALOR
Temperatura del Aire	28°C
Temperatura punto de rocío	6°C
Velocidad del viento	10 km/hr
Nubosidad	10%
Fracción de oscuridad	5%

4.2. CALIBRACIÓN DEL MODELO

Escenario sin tratamiento

Los valores utilizados para la calibración del modelo, corresponden a la situación actual de la fuente. Las mediciones en campo se realizaron en tiempo seco, suponiendo que el escenario para estos casos, es el más crítico, teniendo en cuenta que se presentan niveles bajos de caudal.

Los caudales de la fuente, de los tributarios y extracciones, se relacionan en la Tabla 18. En la Figura 6 se ilustra el perfil longitudinal de la quebrada Gualanday.

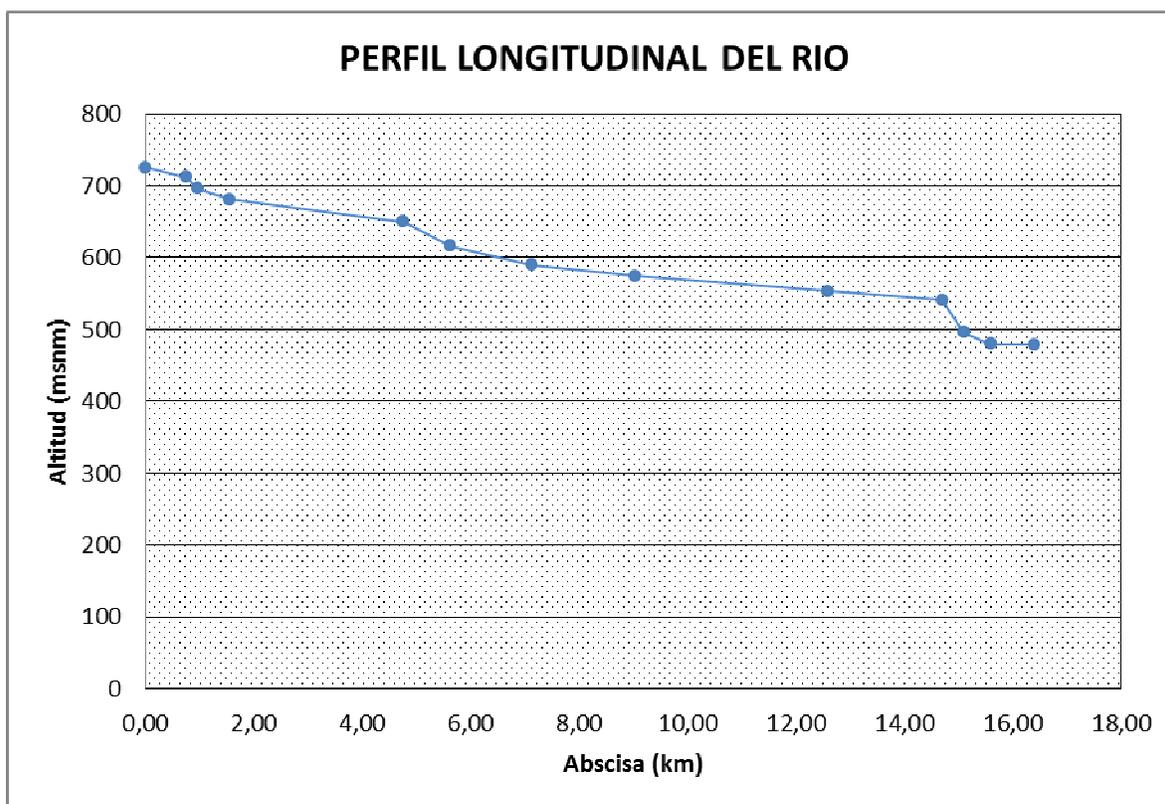
Tabla 18. Datos para escenario sin tratamiento

No	Nombre de Estación	Localización		Distancia (km)	Abscisa (km)	Altitud (msnm)	Q. Afluente (m ³ /s)	Q. de la Quebrada (m ³ /s)	OD (mg/L)	DBO (mg/L)	TEMP. °C	pH	V. de flujo (m/s)
		Norte	Este										
1	Descarga La Miel	973131	892266	0,756	14,830	712	0,005	0,108	4,50	80	23,0	7,6	0,40
2	Q. La Perica	973221	892241	0,200	14,630	696	0,028	0,136	6,9	45	23,2	7,6	0,40
3	Captación Hacienda. El Aceituno	973095	892399	0,600	14,030	681	-0,026	0,110	6,0	40	23,4	7,6	0,40
4	La Lajita	971498	894358	3,200	10,830	650	0,003	0,113	6,7	17	25,0	7,6	0,41
5	Q. Santa Rita	971088	895663	0,870	9,960	616	0,104	0,217	7,9	8	25,0	7,6	0,41
6	Q. Santa Ana	970229	895959	1,500	8,460	590	0,022	0,239	5,4	40	25,7	7,6	0,41
7	Q. Agua dulce	970169	895648	1,900	6,560	575	0,032	0,272	6,3	10	23,3	7,6	0,41

Tabla. 8 (Continuación)

No	Nombre de Estación	Localización		Distancia (km)	Abscisa (km)	Altitud (msnm)	Q. Afluente (m ³ /s)	Q. de la Quebrada (m ³ /s)	OD (mg/L)	DBO (mg/L)	TEMP. °C	pH	V. de flujo (m/s)
		Norte	Este										
8	Acueducto Gualanday	969514	894683	3,554	3,006	553	-0,025	0,247	5,8	36	25,0	7,6	0,42
9	Q. Barbona	966665	893789	2,100	0,906	541	0,085	0,331	5,3	65	25,3	8,5	0,42
10	Descarga el Briceño	966265	893813	0,400	0,506	496	0,005	0,336	3,0	55	24,8	8,0	0,42
11	EL Puente (extracciones)	965646	893725	0,506	0,000	480	-0,004	0,332	5,50	15	25,0	7,6	0,42

Figura 6. Perfil Longitudinal de la quebrada Gualanday



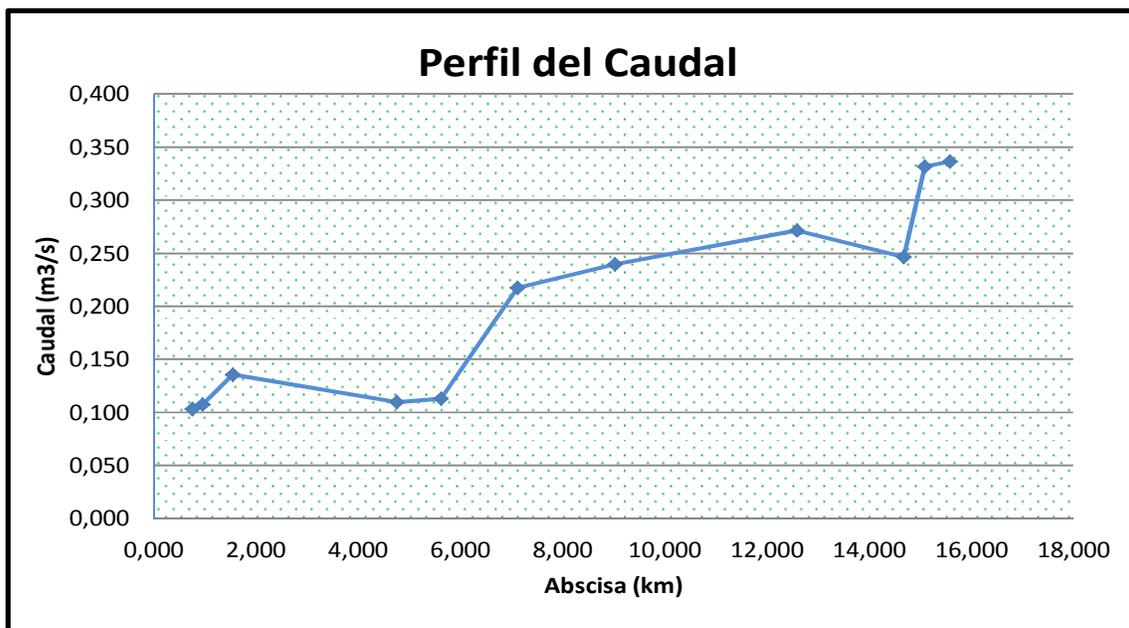
Las constantes K_1 y K_2 de desoxigenación y reaireación, respectivamente, corresponden a una corriente de velocidad moderada. La Tabla 19 muestra valores de referencia para las constantes.

Tabla 19. Valores de referencia para K_1 y K_2

Tipo de río	K_1 (d^{-1})	K_2 (d^{-1})	V (m/s)	Profundidad (m)
Muy lento	0,03 – 0,08	0,05 – 0,1	0,03 – 0,2	3-6
Velocidad baja	0,05 – 0,7	0,1 – 1,0	0,03 – 0,2	0,9 - 3
Velocidad moderada	0,5 – 2,5	1 - 5	0,2 – 0,6	0,6 – 1,5
Rápidos	0,2 – 3,3	1 – 10	0,6 – 1,8	0,6 – 3,0

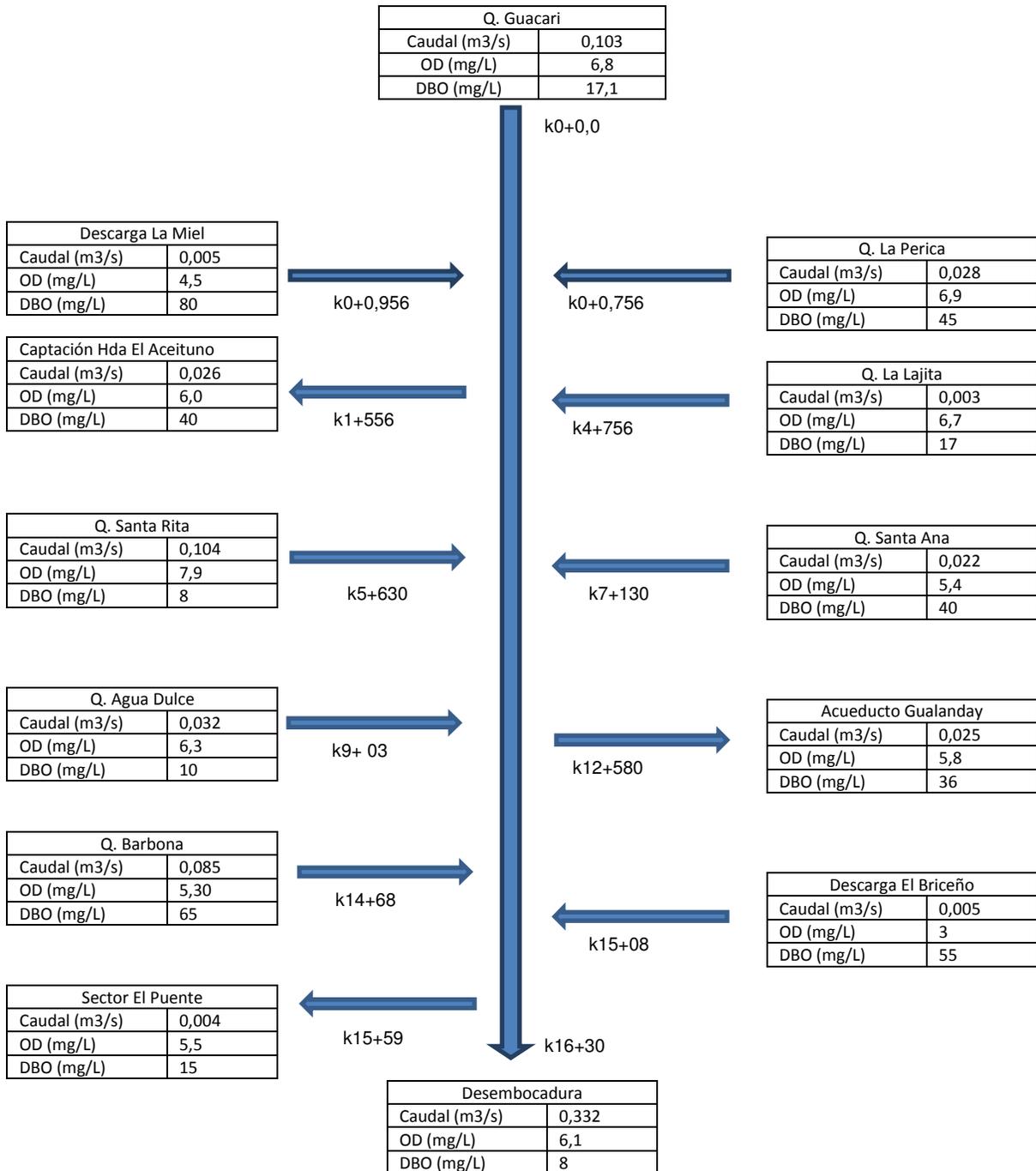
El perfil de caudales obtenidos, utilizados para la calibración del modelo, y las simulaciones planteadas, se ilustran en la Figura 7.

Figura 7. Perfil de Caudal en la quebrada Gualanday



En la Figura 8, se ilustran las entradas y salidas que se identificaron en recorridos realizados en la fuente, desde su desembocadura, hasta la cabecera. Estos datos fueron utilizados para realizar la modelación.

Figura 8. Árbol de la quebrada Gualanday

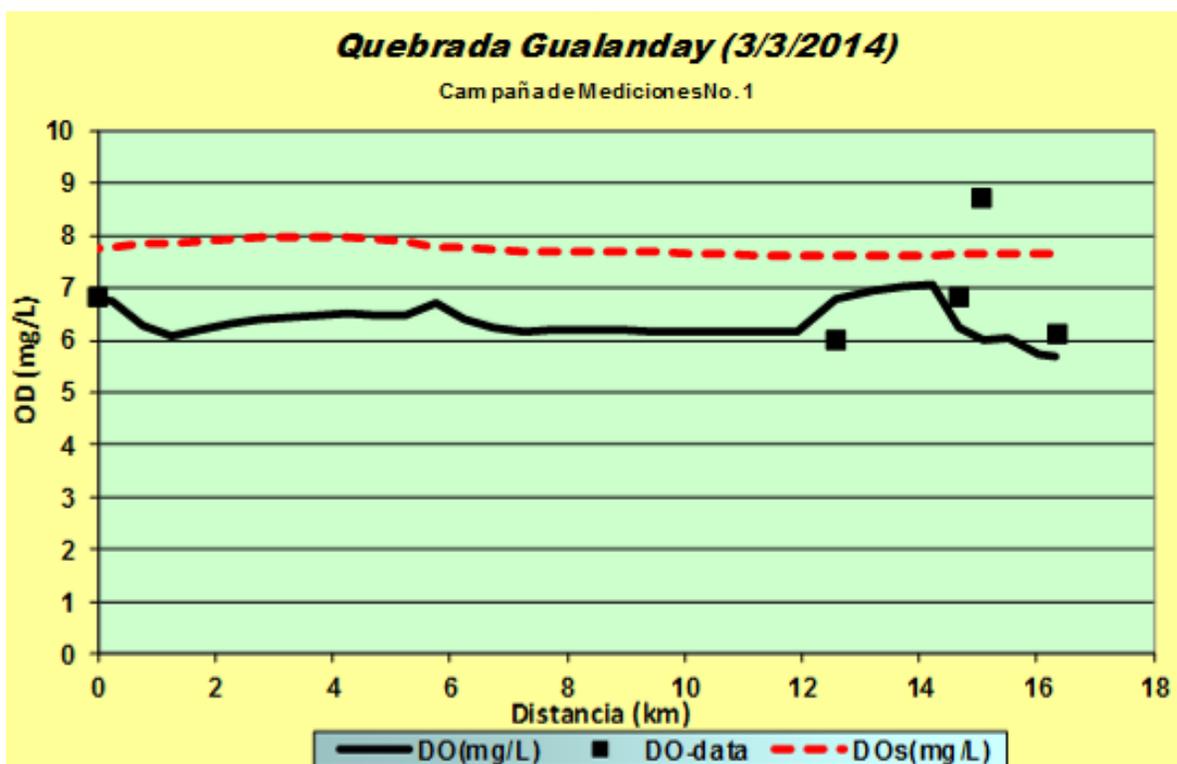


Simulación de Oxígeno Disuelto

Con los datos obtenidos en campo y en el laboratorio, se realizó la modelación de la calidad de la fuente de la quebrada Gualanday.

En la Figura 9, se observa la simulación del oxígeno disuelto para la situación actual de la fuente y calibración del modelo.

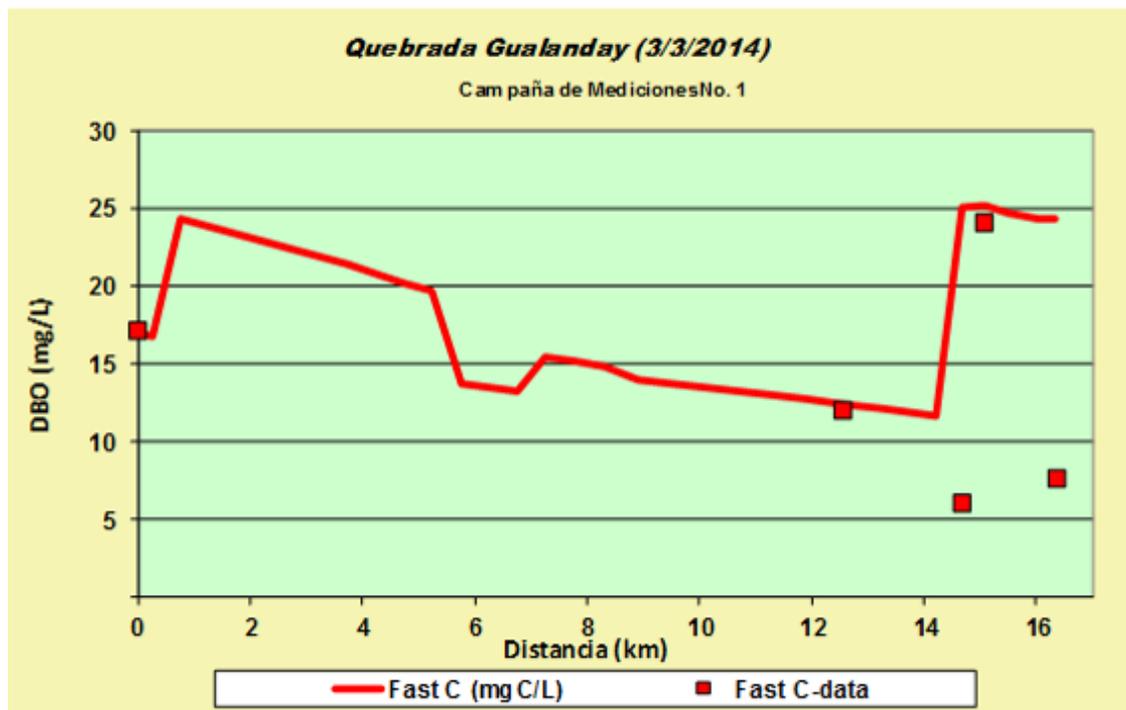
Figura 9. Simulación de Oxígeno Disuelto, escenario sin tratamiento



Simulación de DBO

De igual manera se realiza la modelación para DBO, de acuerdo con los valores obtenidos en campo y laboratorio. En la Figura 10, se observa la gráfica de los valores obtenidos.

Figura 10. Simulación de DBO (escenario sin tratamiento)



Los valores obtenidos para las constantes de desoxigenación y reaireación en la calibración son: $K_1 = 0,14/d$; $K_2 = 0,81/d$; respectivamente.

Escenario con tratamiento primario

Se modela con una remoción de carga orgánica de 40%, suponiendo las mismas condiciones iniciales para oxígeno disuelto.

Tabla 20. Datos para escenario con tratamiento primario

No.	Nombre de Estación	Localización		Distancia (km)	Abscisa (km)	Altitud (msnm)	Q. Afluente (m ³ /s)	Q. de la Quebrada (m ³ /s)	OD (mg/L)	DBO (mg/L)	TEMP. °C	pH
		Norte	Este									
1	Descarga La Miel	973131	892266	0,756	14,830	712	0,005	0,108	4,50	48,0	23,0	7,6
2	Q. La Perica	973221	892241	0,200	14,630	696	0,028	0,136	6,9	27	23,2	7,6
3	Captación Hacienda. El Aceituno	973095	892399	0,600	14,030	681	-0,026	0,110	6,0	24	23,4	7,6
4	La Lajita	971498	894358	3,200	10,830	650	0,003	0,113	6,7	10	25,0	7,6
5	Q. Santa Rita	971088	895663	0,870	9,960	616	0,104	0,217	7,9	5	25,0	7,6
6	Q. Santa Ana	970229	895959	1,500	8,460	590	0,022	0,239	5,4	24	25,7	7,6
7	Q. Agua dulce	970169	895648	1,900	6,560	575	0,032	0,272	6,3	6	23,3	7,6
8	Acueducto Gualanday	969514	894683	3,554	3,006	553	-0,025	0,247	5,8	22	25,0	7,67
9	Q. Barbona	966665	893789	2,100	0,906	541	0,085	0,331	5,3	39	25,3	8,5
10	Descarga el Briceño	966265	893813	0,400	0,506	496	0,005	0,336	3,0	33	24,8	8,0
11	EL Puente (extracciones)	965646	893725	0,506	0,000	480	-0,004	0,332	5,5	9	25,0	7,6

Las constantes K1 y K2 de desoxigenación y reaireación, respectivamente, se suponen son las mismas del escenario anterior.

Figura 11. Árbol de la quebrada Gualanday con 40% de remoción de DBO

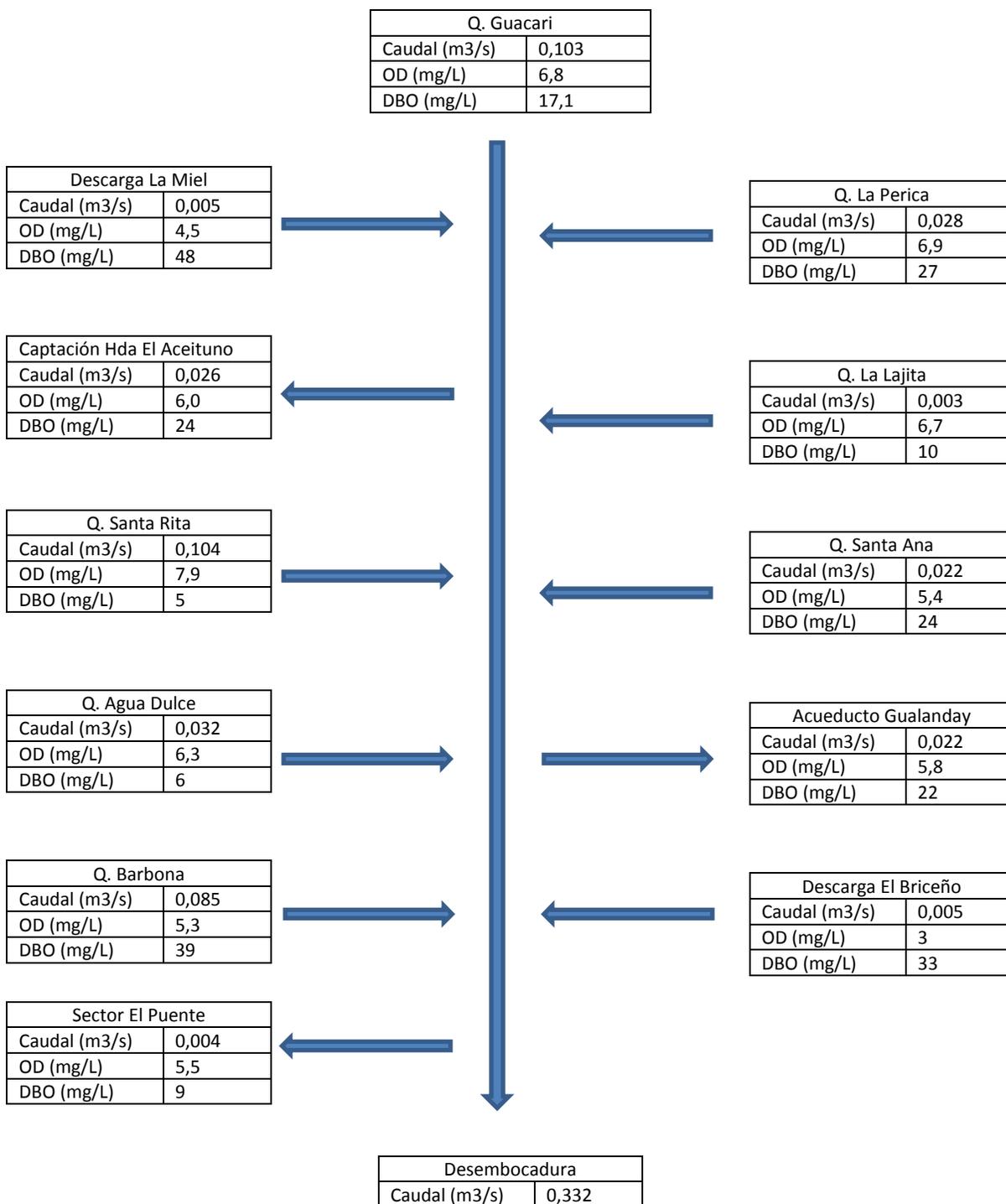


Figura 12. Simulación de Oxígeno Disuelto con tratamiento primario

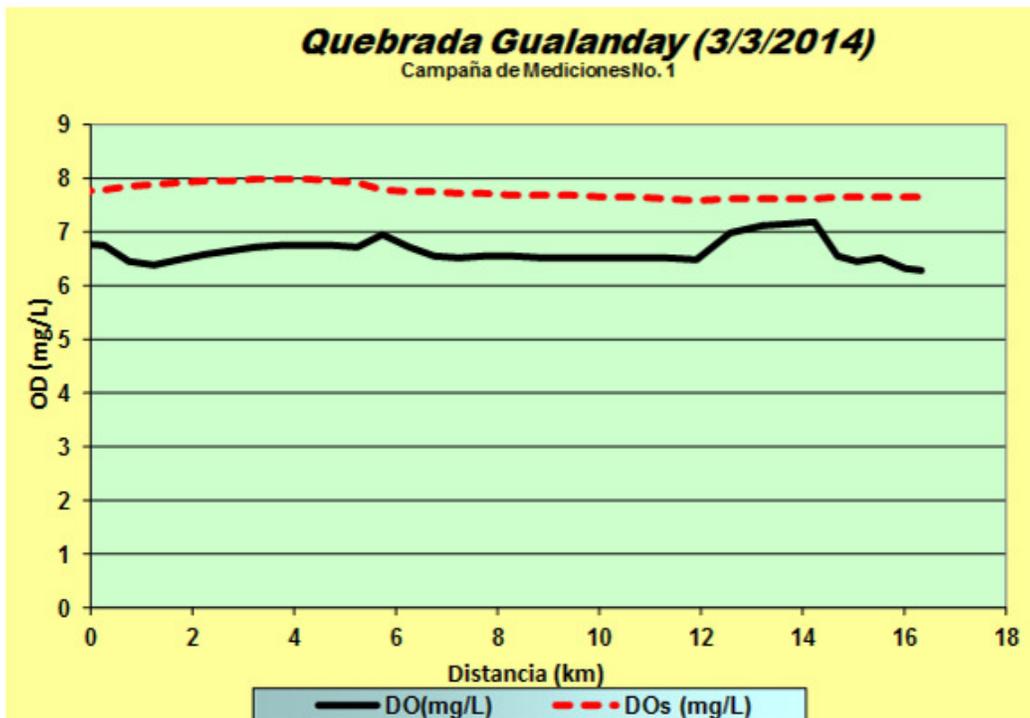
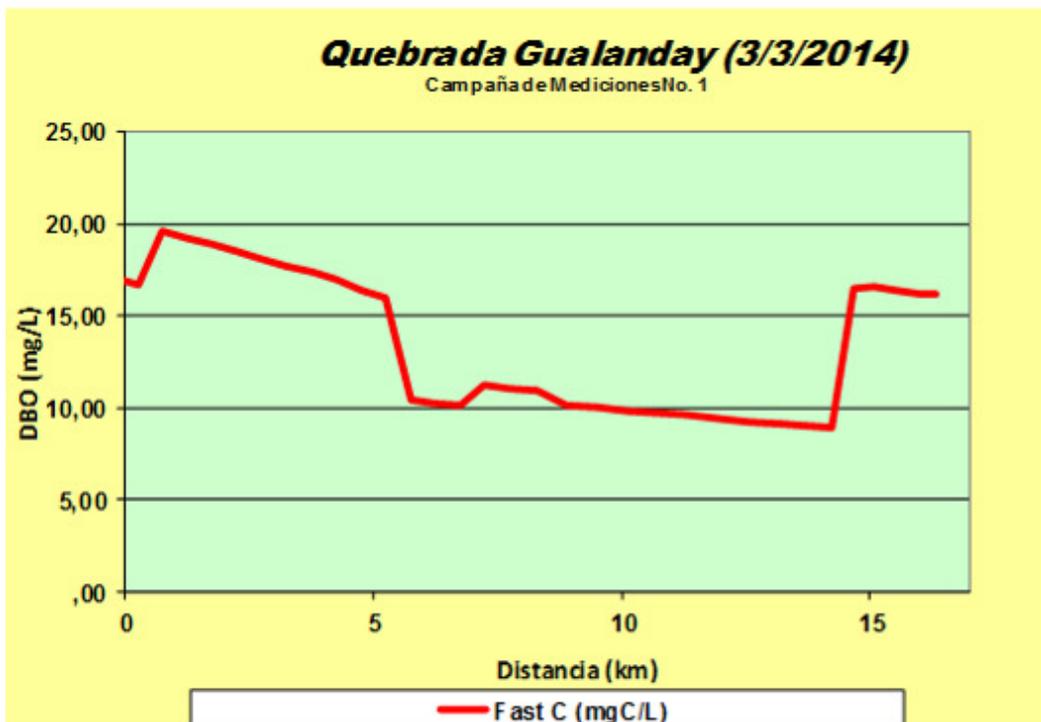


Figura 13. Simulación de DBO con tratamiento primario



Escenario con tratamiento secundario

Se modela con una remoción de carga orgánica de 80% y se suponen las mismas condiciones iniciales para oxígeno disuelto.

Tabla 21. Datos para escenario con tratamiento secundario

No.	Nombre de Estación	Localización		Distancia (km)	Abscisa (km)	Altitud (msnm)	Q. Afluente (m ³ /s)	Q. de la Quebrada (m ³ /s)	OD (mg/L)	DBO (mg/L)	TEMP. °C	pH
		Norte	Este									
1	Descarga La Miel	973131	892266	0,756	14,830	712	0,005	0,108	6,0	16	23,0	7,6
2	Q. La Perica	973221	892241	0,200	14,630	696	0,028	0,136	6,9	9	23,2	7,6
3	Captación Hacienda. El Aceituno	973095	892399	0,600	14,030	681	-0,026	0,110	6,0	8	23,4	7,6
4	La Lajita	971498	894358	3,200	10,830	650	0,003	0,113	6,7	3	25,0	7,6
5	Q. Santa Rita	971088	895663	0,870	9,960	616	0,104	0,217	7,9	2	25,0	7,6
6	Q. Santa Ana	970229	895959	1,500	8,460	590	0,022	0,239	5,4	8	25,7	7,6
7	Q. Agua dulce	970169	895648	1,900	6,560	575	0,032	0,272	6,3	2	23,3	7,6
8	Acueducto Gualanday	969514	894683	3,554	3,006	553	-0,025	0,247	5,8	7	25,0	7,67
9	Q. Barbona	966665	893789	2,100	0,906	541	0,085	0,331	5,3	13	25,3	8,5
10	Descarga el Briceño	966265	893813	0,400	0,506	496	0,005	0,336	3,0	11	24,8	8,0
11	EL Puente (extracciones)	965646	893725	0,506	0,000	480	-0,004	0,332	5,5	3	25,0	7,6

Figura 14. Árbol de la Quebrada con 80% de remoción de DBO

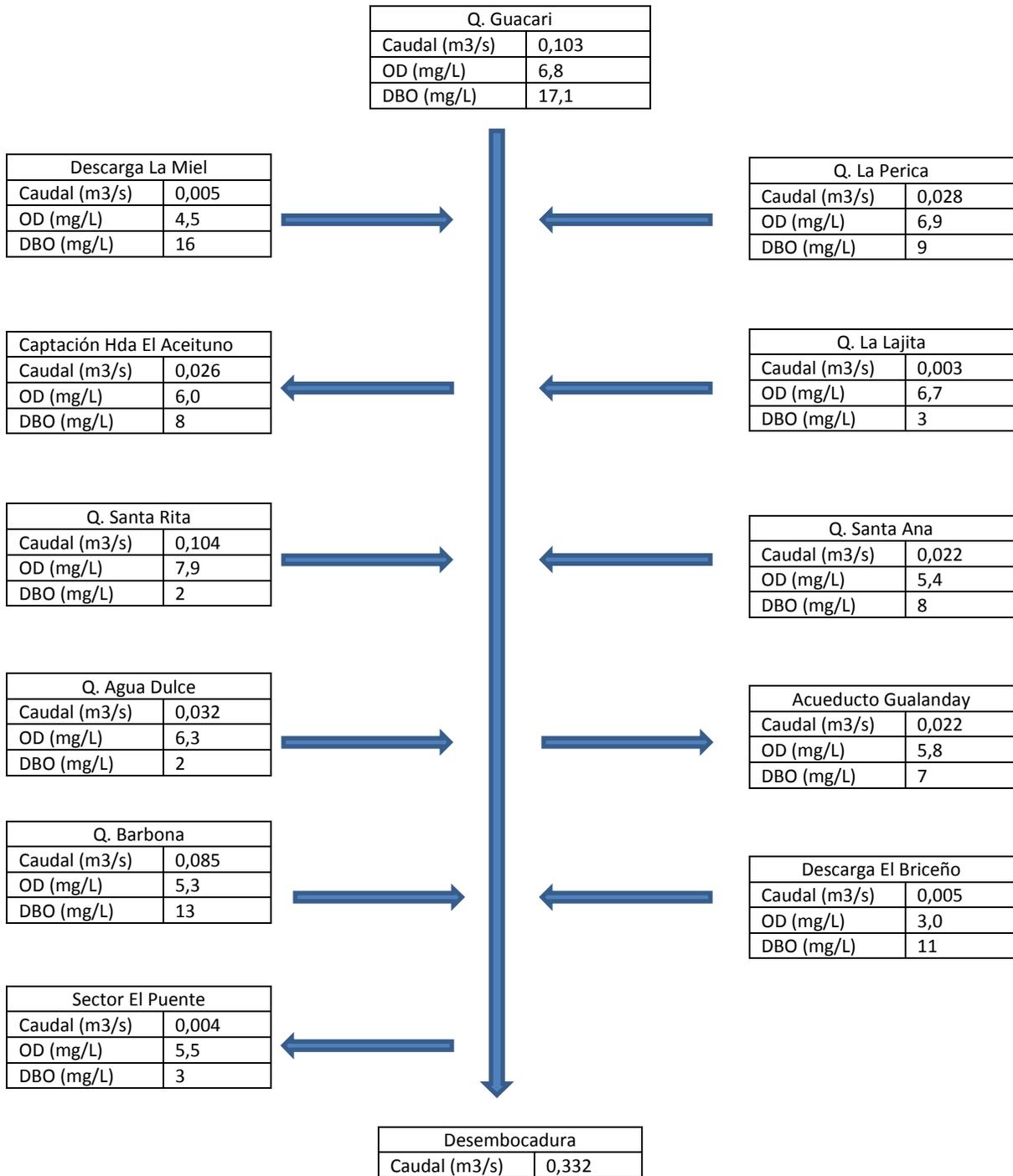


Figura 15. Simulación de Oxígeno Disuelto con tratamiento secundario

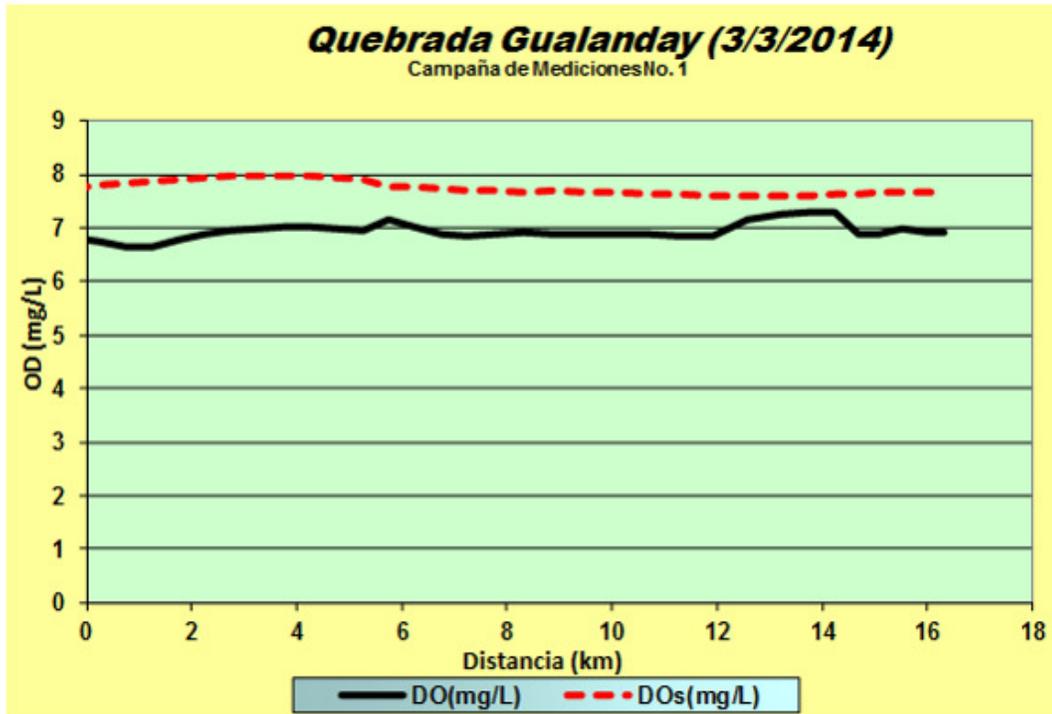
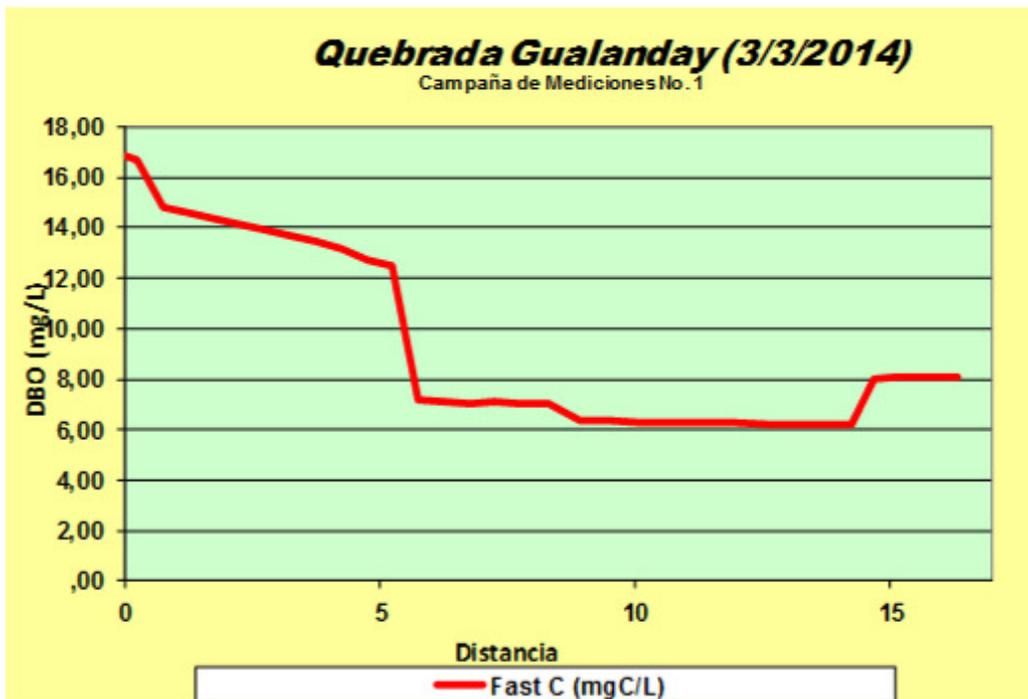


Figura 16. Simulación de DBO con tratamiento secundario



RESULTADOS

Tal como se observa en el perfil (Figura 6), las condiciones de la quebrada corresponden a una pendiente de 1,6%, pendiente relativamente baja.

El caudal de la quebrada se incrementa, desde su nacimiento (0,103 m³/s) localizado en el sector de Buenos Aires, conocido como la meseta de Ibagué, hasta su desembocadura en el río Coello (0,332 m³/s), por el aporte que generan los diferentes tributarios: Santa Rita, La Dulce, Santana y La Lajita. Sin embargo, se presentan disminuciones del caudal en dos puntos de la quebrada: la primera, en la captación que tiene la Hacienda El Aceituno - predio de gran extensión - dedicada a la actividad agroindustrial; la segunda, en la obra de captación del acueducto para el corregimiento de Gualanday, localizado en el municipio de Coello.

En la Tabla 22 se presentan los resultados de las simulaciones realizadas y en las Figura 17 y 18, se ilustran gráficamente dichos resultados.

Tabla 22. Resultados de la calidad del agua

ESTACION	Abscisa (km)	Q (m ³ /s)	CONDICION ACTUAL		CON TRATAMIENTO PRIMARIO		CON TRATAMIENTO SECUNDARIO	
			OD (mg/L)	DBO (mg/L)	OD (mg/L)	DBO (mg/L)	OD (mg/L)	DBO (mg/L)
Cabecera	0,000	0,103	6,8	17	6,8	17	6,8	17
Descarga La Miel	0,756	0,005	6,26	16,7	6,4	16,7	6,6	16,7
Quebrada La Perica	0,956	0,028	6,09	24,2	6,3	20	6,5	15
Captación Hacienda El Aceituno	1,556	-0,026	6,05	23,5	6,6	20	6,7	14,5
Quebrada La Lajita	4,756	0,003	6,5	20,2	6,7	16,5	7	13
Quebrada Santa Rita	5,626	0,104	6,7	14	6,7	10	7,1	7
Quebrada Santa Ana	7,126	0,022	6,2	15	6,5	11	6,8	7
Quebrada Agua Dulce	9,026	0,032	6,3	14	6,5	10	6,8	6,4
Acueducto Gualanday	12,58	-0,025	6,8	12	7	9	7,2	6,2
Quebrada Barbona	14,68	0,085	6,3	25	6,5	16,5	6,8	8
Descarga El Briceño	15,08	0,005	5,9	24	6,4	16,6	6,8	8
El Puente (extracciones)	15,59	-0,004	6,02	25	6,5	16	7	8
Desembocadura	16,32	0,332	5,6	24	6,3	16	6,9	8

Figura 17. Perfiles de Oxígeno Disuelto según la simulación

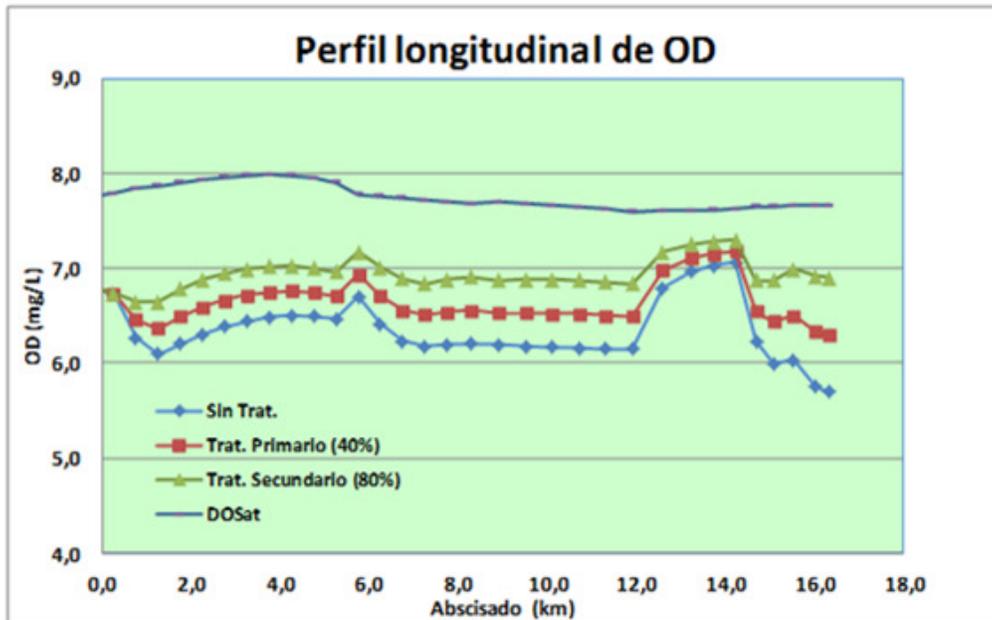
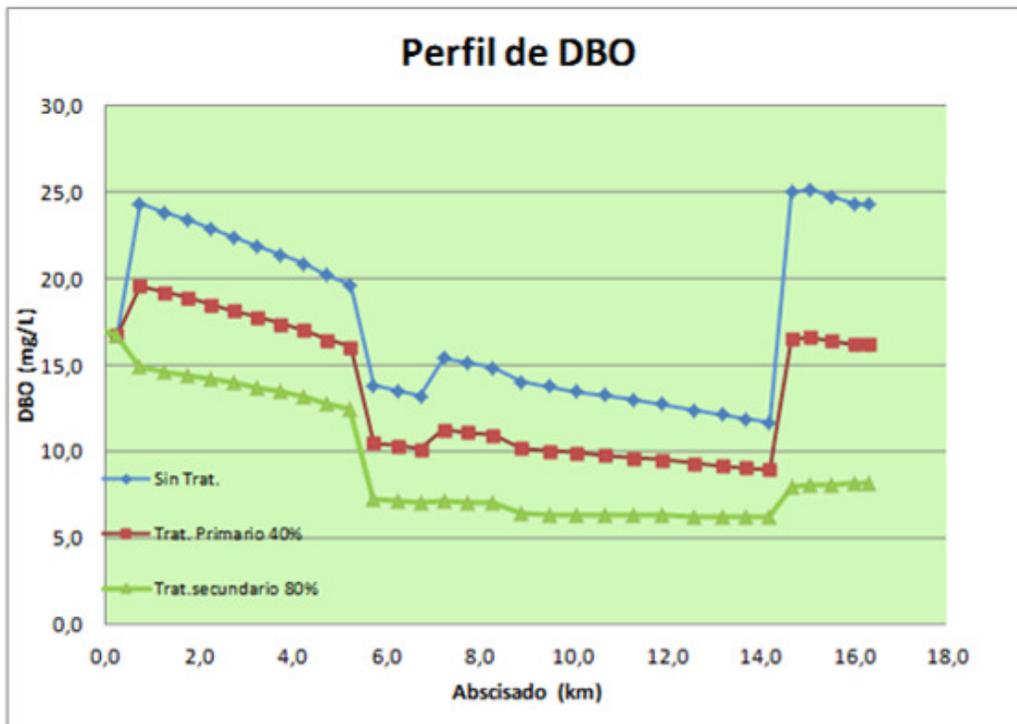


Figura 18. Perfil de DBO según las simulaciones



5. CONCLUSIONES

- Las cargas contaminantes en términos de DBO más altas, provienen de las descargas La Miel, y de las quebradas Barbona, El Briceño y La Perica.
- Los usos principales del agua en la cuenca Gualanday, corresponden a riego-agroindustria y ganadería-agricultura, con 50% y 20%, respectivamente.
- En las condiciones actuales, la quebrada Gualanday exhibe OD entre 5,6 mg/l y 6,8 mg/l, y DBO entre 12 mg/l y 25 mg/l.
- El tratamiento primario de los principales afluentes de la quebrada Gualanday, permitiría elevar el nivel de OD en la desembocadura de 5,6 mg/l a 6,3 mg/l.
- El tratamiento secundario de los principales afluentes de la quebrada Gualanday, permitiría elevar los niveles de OD, en la desembocadura de 5,6 mg/l a 6,9 mg/l.
- El tratamiento primario de los principales afluentes de la quebrada Gualanday, permitiría reducir la DBO, en la desembocadura, de 24 mg/l a 16 mg/l.
- El tratamiento secundario de los principales afluentes de la quebrada Gualanday, permitiría reducir la DBO, en la desembocadura, de 24 mg/l a 8 mg/l.
- La quebrada Gualanday, en términos de calidad de agua (pH, DBO, OD, CT y turbiedad), se clasifica como agua apta para consumo humano, previo tratamiento convencional, más desinfección.

- Se hace necesario validar, en campañas futuras de muestreo, los resultados de las simulaciones realizadas.
- Se recomienda establecer un control apropiado de la disposición de residuos sólidos en las zonas de atracción turística de la cuenca Gualanday, así como de las disposiciones individuales, provenientes de tuberías domesticas, tanques sépticos y actividades de lavado de ropa, realizadas por los habitantes de las riberas de la quebrada Gualanday.

6. BIBLIOGRAFIA

CONCEJO MUNICIPAL, PLAN DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL DE IBAGUÉ. Alcaldía Municipal de Ibagué Tolima, 2005. p 49, 52-58

CONCEJO MUNICIPAL, ESQUEMA DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL DE COELLO. Alcaldía Municipal de Coello Tolima, 2003. p 28, 4-49, 72

CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL TOLIMA. Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca Hidrográfica Mayor del Río Coello. Ibagué Tolima, 2003.

DEPARTAMENTO ADMINISTRATIVO DE PLANEACIÓN MUNICIPAL, Grupo de Ordenamiento Territorial. Caracterización del centro poblado de Buenos Aires, Granja de Buenos Aires, Alto de Gualanday y Briceño. Memorias, Ibagué Tolima. 2005, p 36, 43, 45, 49, 51, 84

INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTIN CODAZZI. Plano del Departamento del Tolima. Escala 1:10000. Ibagué: IGAC, 2010. 1 Plano: col 118 x 70 cm.

INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES DE COLOMBIA. Guía técnico científica para la ordenación y manejo de cuencas hidrográficas en Colombia, Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. [Citado en 10-09-2013]. Disponible en Internet: <http://www.ideam.gov.co/files/lmg_1412200691621.pdf>

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TECNICAS Y CERTIFICACION. Trabajos escritos: presentación y referencias bibliográficas. Sexta actualización. Bogotá: ICONTEC, 2008 110 p.

INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES. Datos estadísticos, tomados de estaciones meteorológicas localizadas en el Departamento del Tolima. Septiembre de 2012.

MINISTERIO DE DESARROLLO ECONÓMICO. Resolución 1096 (17, noviembre, 2000). Por la cual se adopta el Reglamento Técnico para el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS. Bogotá, D.C. 2000. p A.54 a A.56

QUAL2K para Windows, 2008. Versión 5.1, programa informático de la ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, [Citado en 21-04-2014]. Disponible en Internet: <<http://epa.gov/athens/wwqtsc/html/qual2k.html>>

ROMERO ROJAS, Jairo Alberto. Tratamiento de Aguas Residuales, Teoría y Principios de Diseño. Bogotá, p 134, 960-986

US DEPT OF STATE GEOGRAPHER, 2014 Google earth. [Citado en 04-06-2012]. Disponible en internet: [http: <www.google.es/.../earth/index.html>](http://www.google.es/.../earth/index.html)