

**APOYAR LAS ACTIVIDADES DESARROLLADAS POR LA CDMB EN LA RED
DE MONITOREO DE CALIDAD DE AGUA Y PROCESAMIENTO DE
INFORMACION DE LA PARTE ALTA DEL RIO DE ORO.**

DIEGO FERNANDO MORANTES CAMACHO

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
BUCARAMANGA**

2016

**APOYAR LAS ACTIVIDADES DESARROLLADAS POR LA CDMB EN LA RED
DE MONITOREO DE CALIDAD DE AGUA Y PROCESAMIENTO DE
INFORMACION DE LA PARTE ALTA DEL RIO DE ORO.**

DIEGO FERNANDO MORANTES CAMACHO

**Trabajo de Grado en la modalidad de práctica empresarial para optar al título
de Ingeniero Civil**

DIRECTOR

EDGAR RICARDO OVIEDO OCAÑA

Ingeniero Sanitario, MSc., PhD.

TUTOR

MARIA CARMENZA VICINI MARTINEZ

Ingeniera Civil

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMECAÑICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
BUCARAMANGA**

2016

CONTENIDO

	Pag
INTRODUCCION	12
1. OBJETIVOS	14
1.1. OBJETIVO GENERAL	14
1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	14
2. CARACTERISTICAS GENERALES DE LA ZONA DE ESTUDIO	15
2.1. DESCRIPCION DE LA MICROCUENCA.....	15
2.2. CARACTERISTICAS BIOFISICAS DE LA MICROCUENCA.....	18
2.2.1. Geología:.....	18
2.2.2. Unidades climáticas:	18
2.2.3. Perfil microcuena:.....	18
2.2.4. Hidrografía:	19
2.2.5. Uso de tierras:	19
2.2.6. Oferta de agua:	21
2.3. PUNTOS DE MONITOREO.....	22
3. METODOLOGIA.....	24
3.1. ANÁLISIS DE AFOROS HISTÓRICOS	24
3.2. ANÁLISIS TEMPORAL.....	24
3.3. CURVA DE GASTOS	25
3.4. ANALISIS DE CALIDAD DEL AGUA	26
3.4.1. Determinación de los índices:	26
3.4.2. Análisis de parámetros:.....	27
3.4.3. Índice de calidad del agua ICA:.....	27
3.4.4. Índices de contaminación de agua (ICO'S):	29
3.4.5. Procedimiento para obtención de datos planos	32
3.4.6. Comparativos y secuencia de análisis	34
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	35
4.1. CANTIDAD	35
4.1.1. Análisis de aforos históricos:.....	35

4.1.2.	Análisis temporal:	36
4.1.3.	Análisis estadístico:	36
4.1.4.	Concesiones:	40
4.1.5.	Curva de gastos:	41
4.2.	CALIDAD	43
4.2.1.	Comparativo de parámetros:	43
4.2.2.	Análisis del ICA por estación:	45
4.2.3.	Análisis comparativo de estaciones:	51
4.2.4.	Análisis de ICO's:	51
5.	CONCLUSIONES.....	53
6.	RECOMENDACIONES	54
	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	55
	BIBLIOGRAFIA.....	57

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Uso de tierras.....	19
Tabla 2. Oferta de agua.....	21
Tabla 3. Demanda de Agua.....	21
Tabla 4. Oferta y Demanda.....	21
Tabla 5. Índice de escasez.....	22
Tabla 6. Puntos de Monitoreo Microcuenca Río de Oro Alto.....	23
Tabla 7. Parámetros analizados por la CDMB.....	27
Tabla 8. Descriptores para presentar el aplicativo del ICA en la CDMB.....	28
Tabla 9. Parámetros y factores de ponderación w_i	29
Tabla 10. Intervalos de contaminación.....	29
Tabla 11. Calificación índice de contaminación trófica.....	32
Tabla 12. Estadísticos generales del monitoreo.....	36
Tabla 13. Medidas de tendencia en temporada de lluvias.....	38
Tabla 14. Medidas de tendencia en temporada de seca.....	39
Tabla 15. Resumen concesiones de microcuenca.....	40
Tabla 16. Lecturas para la estación RO-06.....	42
Tabla 17. Lecturas para la estación RO-05.....	42
Tabla 18. Lecturas para la estación QG-01.....	43
Tabla 19. Lecturas para la estación SO-01.....	43
Tabla 20. Tendencias medias del ICA estación RO-06.....	45
Tabla 21. Tendencias medias del ICA estación RO-05.....	47
Tabla 22. Tendencias medias del ICA estación QG-01.....	49
Tabla 23. Tendencias medias del ICA estación SO-01.....	50

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Subcuenca Río de Oro.....	16
Figura 2. Red hídrica microcuenca Oro Alto.....	17
Figura 3. Perfil tramo principal Río de Oro Alto.....	18
Figura 4. Uso y Cobertura de suelo microcuenca Oro Alto.....	20
Figura 5. Purgado y recolección de muestras.....	32
Figura 6. Conservación de muestras.....	33
Figura 7. Aforos históricos de la microcuenca.....	35
Figura 8. Aforos en temporadas de lluvias y seca.....	36
Figura 9. Diagrama de cajas y bigotes general.....	37
Figura 10. Diagrama de cajas y bigotes comparativa de temporadas.....	38
Figura 11. Resumen general de las medidas de caudal.....	40
Figura 12. Conseciones naturales Río de Oro Alto.....	41
Figura 13. Comportamiento ICA estación El Rasgón.....	46
Figura 14. Comportamiento ICA estación El Conquistador.....	48
Figura 15. Comportamiento ICA estación BarroBlanco.....	49
Figura 16. Comportamiento ICA estación Villa Paulina.....	49
Figura 17. Comportamiento ICA por estaciones.....	51
Figura 18. Comportamiento ICO's por estaciones.....	52

LISTA DE ANEXOS

ANEXO A. GRAFICAS MENSUALIDAD POR ESTACIONES

ANEXO B. ANÁLISIS DE CAUDALES

ANEXO C. MUESTREO DE AGUA EN LA CDMB

ANEXO D. ANÁLISIS DE TEMPORALIDAD ICA

ANEXO E. ANÁLISIS DE ICA E ICO'S POR ESTACIÓN

ANEXO F. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE PARÁMETROS

ANEXO G. ANÁLISIS DE AFOROS EN LOS MESES DEL AÑO POR ESTACIÓN

ANEXO H. DATOS CRUDOS DE AFOROS POR ESTACIÓN

ANEXO I. DATOS CRUDOS DE PARÁMETROS E ÍNDICES

ANEXO J. GRAFICAS ICA POR ESTACIÓN

**NOTA : LOS ANEXOS CORRESPONDIENTES A ESTE PROYECTO PUEDEN
SER CONSULTADOS EN BIBLIOTECA DE LA UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE
SANTANDER: SALA BASE DE DATOS**

RESUMEN

TÍTULO: APOYAR LAS ACTIVIDADES DESARROLLADAS POR LA CDMB EN LA RED DE MONITOREO DE CALIDAD DE AGUA Y PROCESAMIENTO DE INFORMACION DE LA PARTE ALTA DEL RIO DE ORO.*

AUTOR: DIEGO FERNANDO MORANTES CAMACHO

PALABRAS CLAVE: Río de Oro Alto, cantidad de agua, calidad de agua, monitoreo

DESCRIPCION:

La corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga –CDMB- es el ente ambiental encargado de realizar los procesos de análisis, seguimiento, y gestión del conocimiento ambiental y de recursos naturales renovables, cuenta con una red de monitoreo hidroclimatológica en toda el área de jurisdicción con el propósito de monitorear las corrientes de agua a fin de proteger los ecosistemas y los recursos hídricos. Su desempeño, basado en la excelencia y articulado con los diferentes actores sociales, garantiza la calidad de vida y contribuye efectivamente al desarrollo sostenible.

Con el fin de cumplir estos lineamientos, se realizó un análisis detallado de la información que reposa en la base de datos de la CDMB referente a cantidad (caudales) y calidad del agua en la Microcuenca Río de Oro Alto. Con la información histórica de aforos, lectura de miras y parámetros fisicoquímicos y basándose en la normatividad establecida por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales -IDEAM- se realizaron análisis estadísticos de los parámetros, caracterización del comportamiento hídrico, caracterización de índices de calidad y contaminación. El procesamiento de estos datos, permite ampliar el conocimiento de la evaluación de la cantidad y calidad del recurso hídrico, para poder identificar los problemas asociados a la gestión del recurso hídrico y predecir posibles escenarios en la zona de estudio y como las poblaciones aledañas podrían ser afectadas a futuro.

*Trabajo de Grado

**Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ingeniería Civil. Director: Edgar Ricardo Oviedo Ocaña, Ph.D. Ingeniera Civil. Tutor. Maria Carmenza Vicini Martinez, Ingeniera Civil.

ABSTRACT

TITLE: TITLE: SUPPORT ACTIVITIES BY THE CMDDB IN NETWORK MONITORING WATER QUALITY AND INFORMATION PROCESSING UPTOWN OF RIO DE ORO.

AUTHOR: DIEGO FERNANDO CAMACHO MORANTES **

KEYWORDS: Rio de Oro Alto, water amount, water quality, monitoring

DESCRIPTION:

The Regional Autonomous Corporation for the Defense of Bucaramanga's Plateau –CDMB- is the environmental entity responsible for conducting the analysis processes, monitoring and management of the environmental knowledge as for the renewable natural resources. It counts with a Hydro-climatological monitoring network throughout the jurisdiction area, for the purpose of monitoring water flows in order to protect hydric resources and the ecosystems. Its performance, based on excellence and articulated with the different social actors, guarantees the quality of life and contributes effectively to sustainable development.

In order to fulfill these lineaments, a detailed analysis was made to the information in the CDMB data base concerning the quantity (river level) and quality of the water at High Gold River micro watershed. Statistics analysis of the parameters, characterization of the hydric behavior, indexes of quality and contamination were made using the capacity records, sights readings and physicochemical parameters readings. All tests based on the regulation established by The Institute of Hydrology, Meteorology and Environmental Studies –IDEAM- The processing of these data, allows to expand knowledge of the evaluation of the quantity and quality of water resources, to be able to identify the problems associated with the management of water resources and predict possible scenarios in the study area and nearby populations could be affected in the future.

*Bachelor Thesis

**Faculty of Physical-Mechanical Engineering. School of Civil Engineering. Director: Edgar Ricardo Oviedo Ocaña, Phd. Tutora: Maria Carmenza Vicini Martinez. Ing Civil.

INTRODUCCION

La Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga (CDMB), tiene por objeto la ejecución de las políticas, planes, programas y proyectos sobre medio ambiente y recursos naturales renovables [1]; el área de jurisdicción de la CDMB está conformada por 13 municipios: Rionegro, El Playón, Suratá, Vetas, California, Matanza, Charta, Tona, Bucaramanga, Girón, Floridablanca, Lebrija y Piedecuesta [2].

Uno de los objetivos de la gestión de la CDMB es conservar un medio ambiente sano, por lo cual es necesario que los recursos naturales receptores de los vertimientos, residuos y emisiones de las actividades humanas conserven unas condiciones de cantidad y calidad, que les permitan recibir determinado nivel de contaminantes y tener la capacidad de autodepurarlos. La determinación de la cantidad de contaminantes en el agua, se hace a través de redes de monitoreo en las cuales se registran parámetros fisicoquímicos clave de la calidad del agua e información ambiental asociadas a la ubicación geográfica [3].

El municipio de Piedecuesta se abastece de agua potable proveniente del Río de Oro, es por ello importante analizar el funcionamiento presente y futuro del río para poder mejorar su calidad y evitar riesgos.

La práctica empresarial tuvo como objetivo apoyar la red de monitoreo de calidad y cantidad del agua de la microcuenca Río de Oro Alto, buscando comprender el comportamiento espacio-temporal de los caudales existentes, evaluando la calidad del agua y valorando al relación existente entre calidad y cantidad; Esto se hizo a

partir de la información presente en el Sistema de Información Corporativo (SIC) de la CDMB, registrando, depurando, y analizando los datos históricos del Río de Oro alto.

1. OBJETIVOS

1.1. OBJETIVO GENERAL

Apoyo de la red de monitoreo de calidad de agua en la cuenca de la parte alta del Río de Oro como parte del área de jurisdicción de la CDMB.

1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Evaluar el comportamiento (temporal y espacial) de los caudales existentes en la cuenca del Río de Oro, con información disponible en las bases de datos de la CDMB.
- Evaluar la calidad del agua en la cuenca del Río de Oro y su relación con la cantidad de agua existente, teniendo en cuenta el comportamiento temporal de ésta.
- Participar en la preparación de informes de la Red de Monitoreo de la Calidad del Agua en la cuenca del Río de Oro.

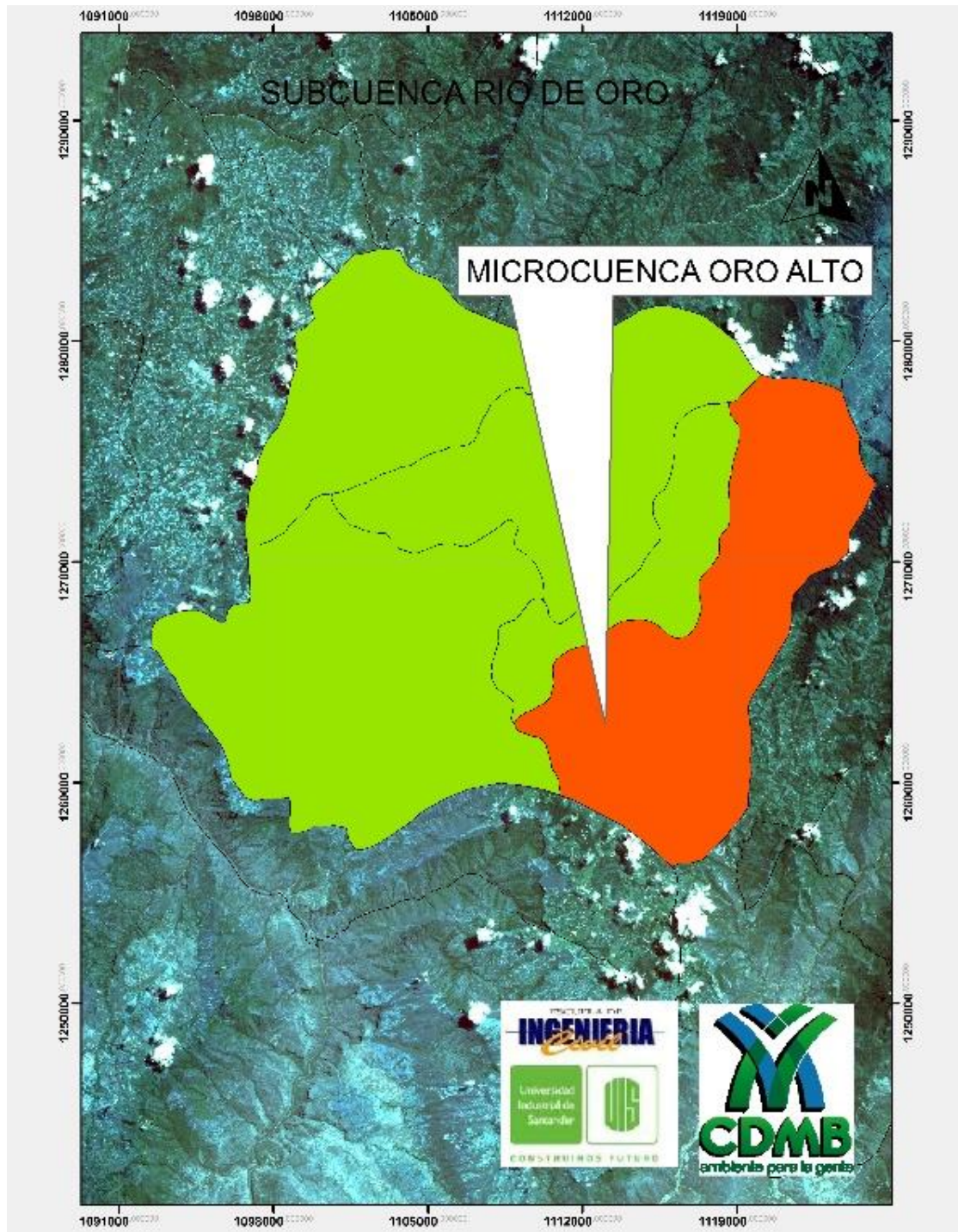
2. CARACTERISTICAS GENERALES DE LA ZONA DE ESTUDIO

2.1. DESCRIPCION DE LA MICROCUENCA

El área de estudio abarca la microcuenca del Río de Oro Alto presente en el municipio de Piedecuesta. El río de Oro nace a una altura de 3500 msnm con aportes de cauces conocidos como La Máquina, Cola de pato y La Lejía entre otros. Sobresale como punto de referencia (divisoria de aguas) el sitio conocido como El Picacho, localizado en el kilómetro 50 de la vía Bucaramanga – Pamplona y desemboca en la confluencia con el río Lato e inicios de la microcuenca Oro medio, luego de recorrer aproximadamente 28.47 Km, cruzando el municipio de Piedecuesta de Norte a Suroeste. La microcuenca río de Oro Alto se encuentra localizada al suroriente del área de jurisdicción de la CDMB en el Departamento de Santander, con una extensión aproximada de 14.274 hectáreas sobre la Cordillera Occidental. En la figura 1 se muestra la localización de la microcuenca dentro de la Subcuenca Río de Oro.

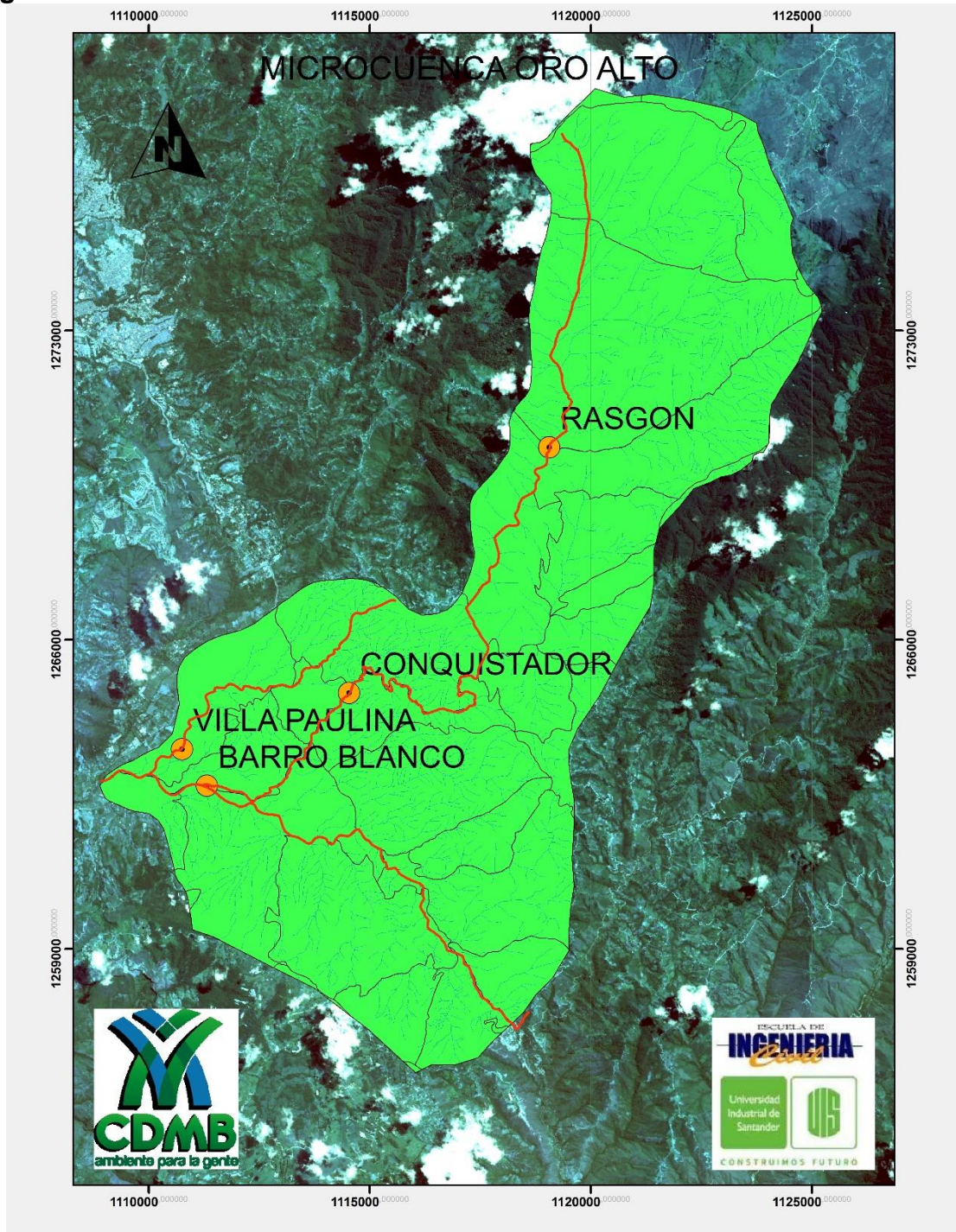
La Figura 1 se muestra la localización de la microcuenca dentro de la Subcuenca Río de Oro

Figura 1. Subcuenca Río de Oro



En la Figura 2 se presenta la microcuenca Oro Alto con sus drenajes y los cuatro puntos de monitoreo de cantidad y calidad del agua.

Figura 2. Red hídrica microcuenca Oro Alto



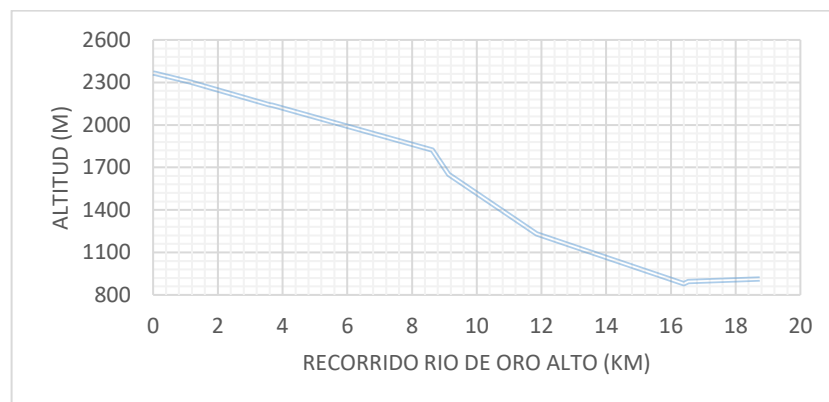
2.2. CARACTERISTICAS BIOFISICAS DE LA MICROCUENCA

2.2.1. Geología: En la microcuenca se presentan rocas Ígneo - metamórficas y sedimentarias con edades que van desde el Precámbrico hasta el Terciario. Estas unidades de roca se encuentran cubiertas parcialmente por depósitos cuaternarios de origen diverso [4].

2.2.2. Unidades climáticas: En la microcuenca Oro Alto se presentan climas que varían desde: Muy Frío Moderadamente Húmedo hasta Templado Semihúmedo; presentándose los valores más altos de humedad en la parte media alta de la microcuenca (Muy Frío y Frío Moderadamente Húmedo); esta área se caracteriza por poca deficiencia de agua. La parte baja que corresponde al canal de desagüe del cauce principal del Río de Oro y su área aferente, se caracteriza por presentar tramos de conducción de poca producción y alta demanda de agua, con concentraciones más bajas de humedad (Clima templado Semihúmedo). [5]

2.2.3. Perfil microcuenca: La gran variación de climas de la microcuenca puede evidenciarse debido al cambio de su terreno, al estar ubicada sobre la cordillera Occidental, sus laderas son empinadas teniendo paisajes muy amplios. En el Figura 1 se muestra el perfil del tramo principal del Río de Oro en la microcuenca.

Figura 3: Perfil tramo principal Río de Oro Alto.



2.2.4. Hidrografía: El Río Oro Alto eje central hidrológico de la Subcuenca Río de Oro y la raíz del nacimiento del río Oro en la parte alta de la microcuenca, en su recorrido recibe las aguas limpias y frescas del bosque regulador de la reserva del Rasgón ecosistema de alta montaña, con potencial para el desarrollo de la piscicultura manejada en tanques de trucha arcoíris, aguas abajo se produce la captación para el acueducto del municipio de Piedecuesta. La microcuenca Oro Alto tiene como afluentes principales: la Quebrada El Rasgón, la Quebrada Sevilla y la Quebrada Grande o Pilas. [4]

2.2.5. Uso de tierras: En la Tabla 1 se presentan la distribución de tierras para la microcuenca Oro Alto y los usos de suelo de la misma.

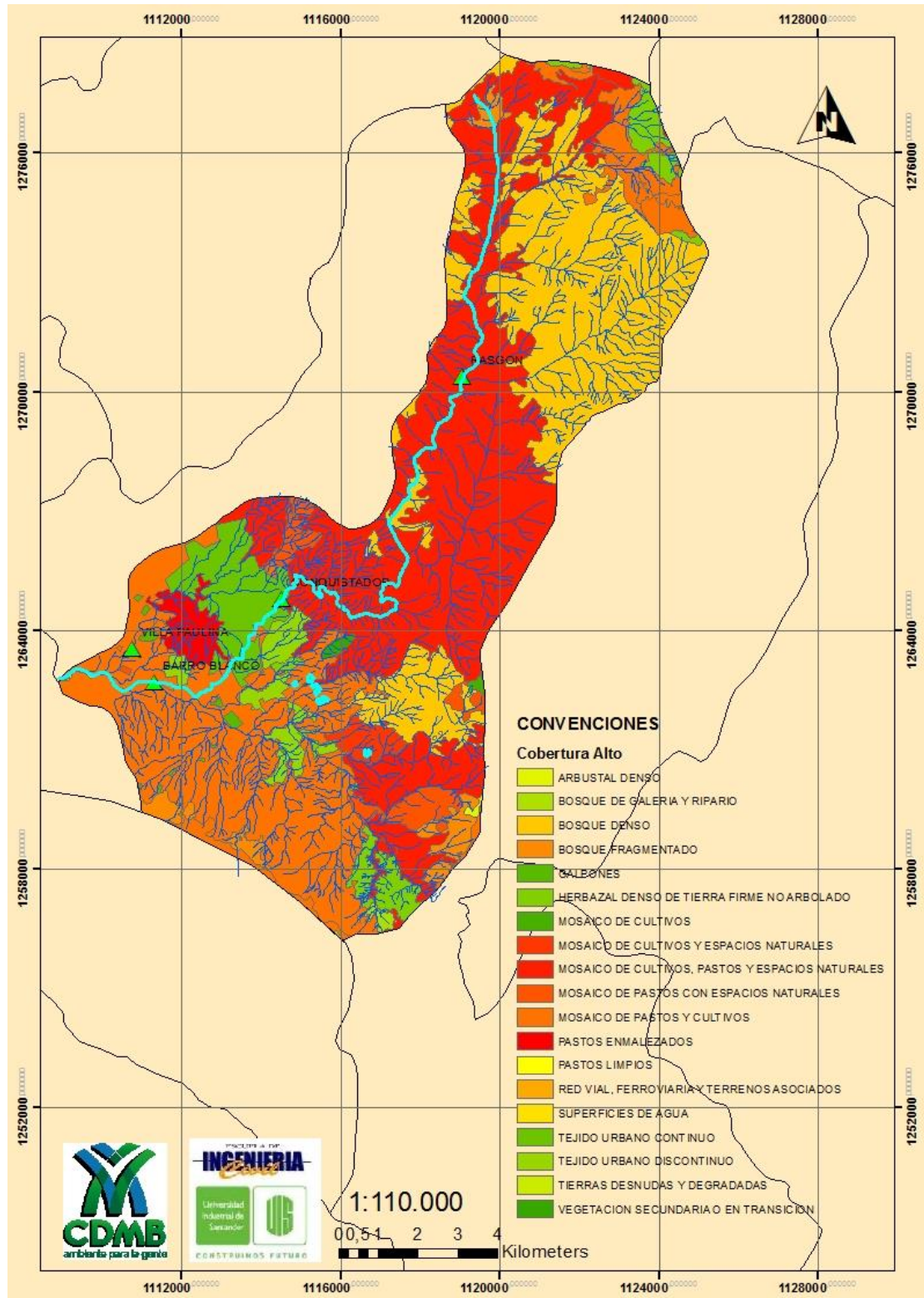
Tabla 1. Uso de Tierras

COBERTURA Y USO DE TIERRAS	HECTAREAS
BOSQUES Y VEGETACION	9042,2
TIERRAS AGROPECUARIAS	4701
TIERRAS AGROFORESTALES	105,6
TIERRAS ERIALES	16,2
AREAS PROTEGIDAS	0
SUELOS URBANOS	443,4
TOTAL	14308,4

Fuente: Plan de ordenamiento y manejo ambiental de la Subcuenca Río de Oro.

En la Figura 4 se muestra la cobertura y uso de suelos más detallado para el año 2010.

Figura 4. Uso y cobertura de Suelo Microcuenca Oro Alto



2.2.6. Oferta de agua: Con base en el rendimiento Hídrico de cada unidad determinada en las distintas Microcuencas, se determinaron los rendimientos totales para cada una de ellas, obteniendo un total de rendimiento para la Subcuenca de 5,379 L/s, lo cual representa una oferta total de 169,6 millones de metros cúbicos, siendo la Microcuenca Oro Alto la que mayor aporte hace a la subcuenca con 34% del total, es decir 58 millones de Metros cúbicos. [5]

En las Tablas 2,3 y 4 se muestra la oferta y demanda de agua en la microcuenca oro alto establecidos en el Plan de ordenamiento y manejo ambiental Subcuenca Río de Oro en el año 2014.

Tabla 2. Oferta de Agua

MICROCUENCA	AREA (Has)	RENDIMINETO HIDRICO L/s/Km ²	RENDIMIENTO HIDRICO TOTAL L/s	OFERTA TOTAL m ³	%	OFERTA NETA (50% Calidad y Caudal)
ORO ALTO	14.309	12,86	1.840	58.026.240	34,21	29.013.120

Fuente: Plan de ordenamiento del recurso hídrico microcuenca río de oro alto, CDMB 2014 [4]

Tabla 3. Demanda de Agua

MICROCUENCA	CONSUMO DOMESTICO (m ³)		CONSUMO PECUARIO (m ³)			CONSUMO AGRICOLA	TOTAL CONSUMO (m ³)
	DUD	CONCESION	BOVINO	AVICOLA	PORCINO		
ORO ALTO	471.463	11.826.000	100.726	297.621	646	-----	12.696.556

Fuente: Plan de ordenamiento del recurso hídrico microcuenca río de oro alto, CDMB 2014 [4]

Tabla 4. Oferta y demanda

MICROCUENCA	OFERTA TOTAL (m ³ /año)	OFERTA HIDRICA NETA (m ³ /año)	DEMANDA HIDRICA TOTAL (m ³ /año)
ORO ALTO	58.026.240	29.013.120	12.696.556

Fuente: Plan de ordenamiento del recurso hídrico microcuenca río de oro alto, CDMB 2014 [4]

Tabla 5. Índice de escasez

MICROCUCENCA	OFERTA TOTAL (m ³ /año)	OFERTA HÍDRICA NETA (m ³ /año)	DEMANDA HÍDRICA TOTAL (m ³ /año)	ÍNDICE DE ESCASEZ %	CATEGORÍA DEL ÍNDICE
ORO ALTO	58.026.240	29.013.120	12.696.556	43,76	Alto>40

Fuente: Plan de ordenamiento del recurso hídrico microcuenca río de oro alto, CDMB 2014 [4]

2.3. PUNTOS DE MONITOREO

La CDMB cuenta con 65 puntos de monitoreo del agua en su jurisdicción, de los cuales solamente 44 puntos tienen regla limnométrica, pero no todas en funcionamiento, se puede decir que la mitad de las estaciones de cantidad no están activas, se realiza el aforo pero no se toma lectura de mira debido al deterioro de las existentes, las cuales no permiten una medición veraz o, simplemente ya no existen las miras en los puntos de monitoreo.

El Río de Oro tiene en toda la Subcuenca 32 puntos de monitoreo, de los cuales en la microcuenca Oro Alto (objeto del estudio) presenta 4 puntos de monitoreo, dos sobre el cauce principal del río (RO-06 y RO-05), los otros dos sobre sus principales afluentes (QG-y SO-01), estos en la parte baja de la microcuenca. Ver Figura 2.

En la Tabla 6 se muestran las características principales de los cuatro puntos de monitoreo dentro de la microcuenca. Debería haber por lo menos otros dos puntos, uno al final de la microcuenca Oro Alto e inicios de Oro medio, y uno entre los puntos RO-06 y RO-05 en el punto de la toma de aguas para el Acueducto de Piedecuesta; esto por recomendaciones hechas por el IDEAM en el Plan de ordenamiento río oro y sus tributarios ríos frío y lato. CDMB. 2014.

Tabla 6. Puntos de monitoreo microcuenca Río de Oro Alto

CUADRO DE RESUMEN PUNTOS DE MONITOREO						TIPO DE ESTACIÓN		AÑO DE CREACIÓN	LOCALIZACIÓN			
SUBCUENCA MONITOREADA			RIO DE ORO			OBSERVACIONES			REFERENCIA	COTA [m]	COORDENADAS	
Nº	CÓDIGO	NOMBRE	MICRO-CUENCA	CORRIENTE	MUNICIPIO	CANTIDAD (LIMNIMETRO)	CALIDAD				ESTE	NORTE
1	RO-06	El Rasgón	Oro Alto	Río de Oro	Piedecuesta	Funcionando	Funcionando	1982	Vereda Cristales Piedecuesta	2141	1.119.062	1.270.358
2	RO-05	Conquistador	Oro Alto	Río de Oro	Piedecuesta	No Funciona	Funcionando	1997	Entrada al Municipio de Piedecuesta	1053	1.114.531	1.264.794
3	QG-01	BarroBlanco	Oro Alto	Q. la Grande	Piedecuesta	No Funciona	Funcionando	1997	Antes de la Confluencia con el Rio de Oro	909	1.111.312	1.262.692
4	SO-01	Villa Paulina	Oro Alto	Q. Soratoque	Piedecuesta	No Funciona	Funcionando	1997	Antes de la Confluencia con el Rio de Oro	910	1.110.752	1.263.519

3. METODOLOGIA

En esta sección se describe el desarrollo de cada una de las actividades planteadas en la práctica profesional para dar cumplimiento a los objetivos específicos de la misma.

3.1. ANÁLISIS DE AFOROS HISTÓRICOS

La CDMB realiza aforos en la microcuenca del Río de Oro alto desde el año 1982 en el punto de monitoreo RO-06 y en los puntos RO-05, QG-01 y SO-01 se realizan periódicamente desde 1997, con frecuencia variable debido a trámites internos en la CDMB.

En los primeros años de la red de monitoreo de la CDMB se realizaban aforos en todos los meses del año, a mediados de 2005 se instauró solo para el segundo semestre del año, manteniendo de esta forma el análisis tanto para temporada de lluvias como para la temporada seca del año.

La cartera de campo reportada por los técnicos encargados de realizar los aforos, es entregada a la dependencia encargada de alimentar el SIC (sistema de información corporativo), del cual se puede obtener toda la información pertinente de interés de la CDMB. La información procesada en este proyecto corresponde a esta base de datos.

3.2. ANÁLISIS TEMPORAL

Colombia se encuentra espacialmente localizada sobre la línea ecuatorial, en plena zona tórrida, por lo tanto presenta un comportamiento bimodal de temporada de lluvias y seca determinada de la siguiente manera:

- Temporada de lluvias: periodo de Marzo a Mayo y periodo de Septiembre a Noviembre.
- Temporada seca: Periodo de Diciembre a Febrero y periodo de Junio a Agosto.

Se consideró esta información para el análisis de la información. Inicialmente, se realizó una depuración de los datos, analizando aquellos que presentaron valores atípicos en el conjunto de datos reportados. Estos datos inconsistentes pueden estar relacionados con aforos no realizados de forma correcta, datos mal insertados al sistema de información, manipulación incorrecta de la cartera de campo.

Los datos depurados se graficaron y se muestran en el Anexo A, de allí se pudo determinar los meses con caudales máximos, mínimos, y la media. En el Anexo B se muestran los Gráficos generales para cada estación con las medias de tendencia histórica. De estos Gráficos se pudo inferir cuales son los que presentan mayor media en los aforos, es decir mayor caudal.

Con esta clasificación se buscó establecer rangos de caudales máximos y mínimos para las temporadas descritas, y utilizando Figuras de cajas y bigotes, mostrar finalmente la distribución de la información recolectada.

3.3. CURVA DE GASTOS

La curva de gastos de una estación hidrométrica es la expresión gráfica de la relación existente entre niveles del agua y los caudales de la corriente, generalmente en régimen permanente. Esta relación se puede determinar una vez se hayan obtenido aforos suficientes que representen toda la gama de variación de los niveles de la corriente de agua.

La curva es aproximadamente parabólica, cuando su representación está en coordenadas lineales y con tendencia a recta cuando las coordenadas son logarítmicas; sin embargo, su forma puede presentar algunas irregularidades si la sección transversal es irregular, es decir, cuando las características geométricas de éstas son inestables al cambio de las condiciones climáticas de la zona [6].

El tipo de ecuación que generalmente representa la relación nivel-caudal es del prototipo exponencial, la cual se expresa de la siguiente manera:

$Q = a * (H - H_0)^b$, donde

Q = Caudal

H = Nivel del agua

H₀ = Nivel, al cual el caudal es igual a cero

a y b = Son las constantes de la fórmula.

3.4. ANALISIS DE CALIDAD DEL AGUA

La calidad del agua puede determinarse por diversos factores de afectación, el principal índice para poder determinarla, es el Índice de Calidad del Agua (ICA), además de otros como lo son: Índice de contaminación por mineralización (ICOMI), índice de contaminación por sólidos suspendidos (ICOSUS), Índice de contaminación por materia orgánica (ICOMO), índice de contaminación trófico (ICOTRO).

3.4.1. Determinación de los índices: Para determinar el índice de calidad del agua, y los índices de contaminación, se debe tener en cuenta los parámetros monitoreados por la CDMB y cuáles de ellos son necesarios para el cálculo de dichos índices.

En la Tabla 7 se muestran los parámetros que se pueden encontrar en el SIC para determinar la calidad del agua.

Tabla 7. Parámetros analizados por la CDMB

PARAMETROS			
O.D [mg/l]	Cianuro CN- [mg/l CN-]	DBO5 [mgO2/l]	Mercurio [ug Hg/l]
T. Agua [°C]	CN-libre [mg/l CN-]	DQO [mgO2/l]	Nitratos [mgN/l]
T. Ambiente [°C]	CN- Total [mg/l CN-]	Detergentes [m/l MABS]	Nitritos [mgN/l]
Conductividad. (μs/cm)	Colif.Fecales [NMP/100]	Dureza [mg/l]	N.Amoniacal [mgN/l]
pH	Colif.Totales [NMP/100]	Fósforo Total [mgP/l]	N.Orgánico [mgN/l]
Aceites-Grasas [mg/l]	Sól.Susp [mg/l]	Sól.Totales [mg/l]	N.Total [mgN/l]
Alcalinidad [mg/l]	Sól.S- Volátiles [mg/l]	Sól.T- Volátiles [mg/l]	N.Kjeldalh [mgN/l]
Turbiedad [NTU]	Lectura Mira [m]	Caudal [l/s]	Otras Observaciones

3.4.2. Análisis de parámetros: Todos los parámetros tomados en campo y analizados en el laboratorio son importantes y muestran que pasa en la microcuenca de diferentes formas, para mostrar de manera más eficiente cada parámetro se hacen relaciones entre ellos para verificar su confiabilidad y arrojar conclusiones adicionales al análisis.

Los parámetros se relacionan así:

- Fósforo (P) y Nitrógeno (N)
- Caudal, Sólidos Suspendidos y Turbiedad
- DBO₅ y Oxígeno Disuelto
- Coliformes Fecales Y DBO₅

3.4.3. Índice de calidad del agua ICA: Este índice reduce varios parámetros fisicoquímicos generales del cuerpo de agua, a un valor numérico, con el cual según

estándares internacionales se puede deducir las posibilidades o limitaciones del uso de esta misma.

La CDMB maneja unos descriptores diferentes al IDEAM pero sus valores numéricos permanecen igual, solo será un cambio de nomenclatura por la información guardada en los registros históricos del sistema de Información de la Corporación, la nomenclatura utilizada por la CDMB se muestra en la tabla 9.

Tabla 8. Descriptores para presentar el aplicativo del ICA en la CDMB

DESCRIPTORES IDEAM	DESCRIPTORES CDMB	VALOR NUMERICO
MUY MALA	PESIMA	0-25
MALA	INADECUADA	25-50
REGULAR	DUDOSA	51-70
ACEPTABLE	BUENA	71-90
BUENA	OPTIMA	91-100

Fuente: tomada de informe anual de calidad del agua Diciembre 2015 CDMB, modificada por el autor

Para la determinación del ICA se tiene en cuenta la siguiente ecuación:

$$I.C.A. = \prod_{i=1}^n C_i^{w_i}$$

Dónde:

I.C.A.: Índice de Calidad del Agua, un número entre 0 y 100, adimensional.

C_i: Calidad del iésimo parámetro, un número entre 0 y 100, obtenido del respectivo Figura de calidad, en función de su concentración o medida.

W_i: Valor ponderado correspondiente al iésimo parámetro, atribuido en función de la importancia de ese parámetro para la conformación global de la calidad, un número entre 0 y 1. La sumatoria de valores w_i es igual a 1.

En la Tabla 10 se presentan los parámetros y factores de ponderación w_i establecidos en la CDMB para el cálculo del ICA.

Tabla 9. Parámetros y factores de ponderación w_i

Parámetro	Factor de Ponderación
Oxígeno Disuelto	0,17
Demanda Bioquímica de Oxígeno DBO ₅	0,1
Nitrógeno Total	0,1
Fósforo Total	0,1
Sólidos Totales	0,08
Turbiedad	0,08
Coliformes Fecales	0,15
pH	0,12
Temperatura	0,1

3.4.4. Índices de contaminación de agua (ICO'S): Los índices de contaminación (ICO) constituyen una herramienta poderosa de fácil determinación, que prestan gran utilidad en la caracterización de la calidad de las aguas continentales, tarea que realizan con mayor objetividad y claridad que los tradicionales índices de calidad (ICA). Los ICO's se dividen en ICOMI, ICOMO, ICOSUS e ICOTRO según los parámetros analizados a profundidad, en la tabla 11 se muestra la calificación para los ICO's excepto el ICOTRO que tiene una calificación diferente.

Tabla 10. Intervalos de Contaminación

Clasificación	Intervalo
Ninguna	0-0,2
Baja	0,2-0,4
Media	0,4-0,6
Alta	0,6-0,8
Muy Alta	0,8-1

Fuente: Informe Anual de Calidad de agua 2015.

3.4.4.1. Índice de contaminación por minerales (ICOMI): Agrupa la conductividad que expresa contenido de sólidos disueltos en la corriente del cuerpo de agua, dureza que se basa en la concentración de cationes de calcio y magnesio y alcalinidad que se expresa a través del contenido de los aniones de carbono y bicarbonato [7]. El ICOMI es el valor promedio de los índices de cada una de las tres variables elegidas, las cuales se definen en un rango de 0 a 1; índices próximos a cero reflejan muy baja contaminación por mineralización e índices cercanos a 1, lo contrario.

$$ICOMI = 1/3(IC_{conduct.} + ID_{dureza} + IA_{alcalinidad})$$

Dónde:

$$IC_{conduct.} = -3.26 + 1.34 \log(Conduct. [\mu scm])$$

Las conductividades mayores a 270 [μ s/cm] tienen un índice de conductividad igual a 1.

$$ID_{dureza} = -9.09 + 4.4 \log(Dureza [mg/l])$$

Durezas mayores a 110 mg/l tienen un I Dureza = 1;

Durezas menores a 30 mg/l tienen un I Dureza = 0.

$$IA_{alcalinidad} = -0.24 + 0.005 \log(Alcalinidad [mg/l])$$

Alcalinidad mayor a 250 [mg/l] tiene un I Alcalinidad = 1;

Alcalinidad menor a 50 [mg/l] tiene un I Alcalinidad = 0.

3.4.4.2. Índice de contaminación por materia orgánica (ICOMO): Se obtiene a través de la demanda bioquímica de Oxígeno (DBO5), Coliformes totales y porcentaje de saturación de oxígeno [7]

Se define entre un rango de 0 a 1 donde el aumento desde el valor más bajo se relaciona con el aumento de contaminación en el cuerpo del agua

$$ICOMO=1/3(IDBO+IColif.Totales+IOxigeno\%)$$

Dónde:

$$IDBO=-0.05+0.7\log(DBO[mgl])$$

DBO mayores a 30 [mg/l] tienen IDBO = 1;

DBO menores a 2 [mg/l] tienen IDBO= 0.

$$IColif.Totales=-1.44+0.56\log(Colif.Totales[NMP100ml])$$

Colif.Totales mayores a 20.000 [NMP/100ml] tienen I Colif.Totales = 1;

Colif.Totales menores a 500 [NMP/100ml] tienen I Colif.Totales =0

$$IOxigeno\%=1-0.01(Oxigeno\%)$$

Oxigeno% mayores a 100 tienen un índice de oxígeno de 0.

3.4.4.3. Índice de contaminación por sólidos suspendidos (ICOSUS): Este índice trabaja con la concentración de sólidos suspendidos que se definen como partículas sólidas orgánicas o inorgánicas que se mantienen en suspensión en una solución [8]

$$ICOSUS=-0.02+0.003(Sol.Suspendidos[mgl])$$

Sólidos Suspendidos mayores a 340 [mg/l] tienen ICOSUS = 1,

Sólidos Suspendidos menores a 10 [mg/l] tienen ICOSUS = 0.

3.4.4.4. Índice de contaminación trófico (ICOTRO): Se calcula sobre la base de la concentración de Fosforo Total en mg/l El fósforo, como el nitrógenos, es nutriente esencial para la vida. Su exceso en el agua provoca eutrofización. El fósforo total incluye distintos compuestos como diversos ortofosfatos, polifosfatos y fósforo orgánico. La determinación se hace convirtiendo todos ellos en ortofosfatos que son los que se determinan por análisis químico El ICOTRO se fundamenta en la concentración del fósforo total. A diferencia de los índices anteriores, en los cuales se determina un valor particular entre 0 y 1, la concentración del fósforo total define por sí misma una categoría discreta, la cual se muestra en la tabla 12.

Tabla 11. Calificación Índice de Contaminación Trófica (ICOTRO)

Clasificación	Intervalo
Oligotrófico	<0,01 [mg/l]
Mesotrófico	0,01-0,02 [mg/l]
Eutrófico	0,02-1 [mg/l]
Hipereutrófico	>1 [mg/l]

Fuente: Estudio Nacional del Agua

3.4.5. Procedimiento para obtención de datos planos: Para la obtención de los parámetros evaluados por la CDMB es necesario obtener el recurso físico el cual se va a analizar, a continuación se menciona el proceso para la obtención de las muestras y procedimiento que lleva para la obtención de los datos planos con los cuales se puede llevar a cabo los objetivos de la práctica.

- Toma y preservación de las muestras según procedimientos establecidos por la CDMB, este procedimiento se ilustra en el video del anexo C.

Figura 5. Purgado y recolección de muestras.



En la Figura 5 se muestra el purgado de los recipientes, para luego recolectar las muestras en dichos recipientes.

Una vez se obtiene la muestra, se realiza el proceso de conservación, adicionando ácido nítrico y ácido sulfúrico (según el tipo de muestra) y llevándose a una cava de enfriamiento, en la cual permanecerán las muestras hasta que sean entregadas en laboratorio.

Figura 6. Conservación de muestras.



- Una vez las muestras son llevadas al laboratorio, los técnicos realizan los ensayos pertinentes para poder entregar el informe a SOPIT (Subdirección de Ordenamiento y Planificación del Territorio) de los parámetros evaluados.
- Una vez el informe es entregado a la CDMB ya sea de un laboratorio externo o en años anteriores por el laboratorio de la misma Corporación, un técnico se encarga de alimentar el SIC, el cual con su programación interna, arroja los índices y muestra los parámetros evaluados en campo y laboratorio.

Todos estos procedimientos están de acuerdo al Protocolo para el monitoreo y seguimiento del agua. IDEAM. 2007

3.4.6. Comparativos y secuencia de análisis: Los datos descargados del SIC son depurados, retirando datos extraños, no sin despreciarlos porque estos datos pueden mostrar características o sucesos no permanentes en al microcuenca, sin embargo para análisis generales se toman los datos con tendencias establecidas por las mediciones históricas.

3.4.6.1. Análisis del ICA: Cada punto de monitoreo tiene unos datos históricos de los índices ya mencionados, el ICA es analizado por la CDMB desde que se comenzó a tener registros de monitoreo, por tanto se tienen suficientes datos para obtener un análisis confiable. Para cada punto de monitoreo se realizaron gráficas para poder determinar el comportamiento histórico del ICA y con ello poder determinar si la calidad del agua en la corriente a variado o no; además tener en cuenta las condiciones por las cuales podría haber un cambio. Además se realizó un análisis de las tendencias medias para poder establecer un rango de valores y posibles causas del comportamiento de cada punto de monitoreo.

3.4.6.1.1. Análisis del ICA temporal: Se realizó un comparativo del ICA tanto en temporada de lluvias como en temporada seca, para poder establecer una relación y saber si la calidad varía con respecto a estas temporadas. Este análisis se encuentra presente en el Anexo D.

3.4.6.2. Análisis de ICO's: El IDEAM no tiene como prioridad estos índices, pero la CDMB tiene un gran avance; desde el año 2010 son medidos, no solo para tener un índice más, sino para poder determinar con más exactitud cuál es el problema presente en cada cuerpo de agua; sin embargo debido a que en los últimos años por problemas internos no se pueden realizar los muestreos necesarios; no es posible realizar un análisis temporal de los ICO's.

Se muestra el comportamiento con las medias de tendencia y adicionalmente graficas que muestran cuales puntos están en mejores condiciones de

contaminación, esto para el ICOMI, ICOMO e ICOSUS que tienen la misma escala gráfica. El ICOTRO se menciona de manera general ya que no tiene mucho impacto en la zona de estudio

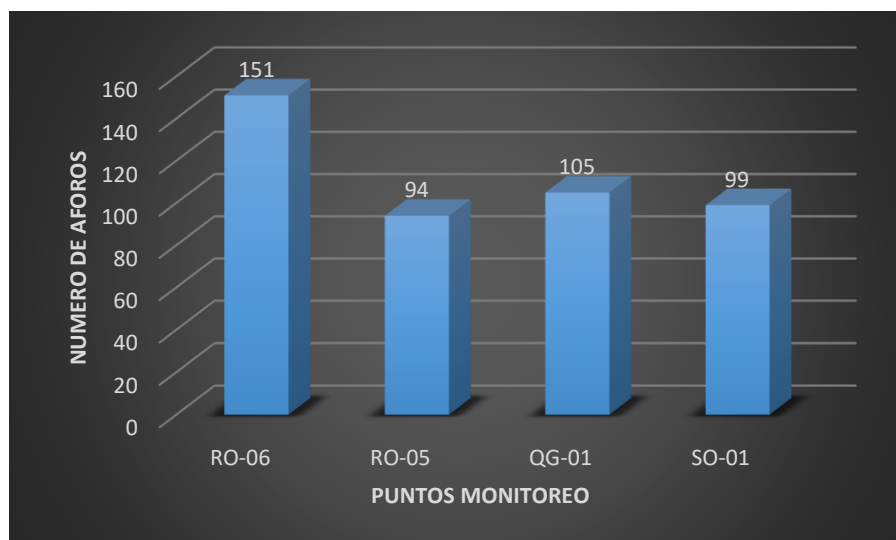
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados del análisis de datos se presentaran en dos partes, la primera mostrando la parte de cantidad de agua (aforos, lectura de reglas limnometricas) y en la segunda lo correspondiente a calidad del Agua (ICA, ICO's y otros análisis).

4.1. CANTIDAD

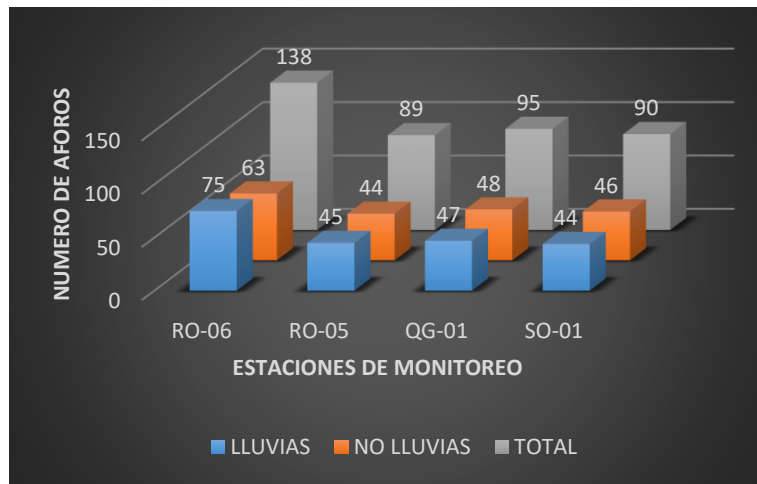
4.1.1. Análisis de aforos históricos: En el Figura 7 muestra la cantidad total de aforos históricos en los cuatro puntos de monitoreo de interés, se evidencia la mayor cantidad de aforos en la estación RO-06 por su antigüedad, en las estaciones RO-05, QG-01y SO-01 se presentan valores muy parecidos de aforos.

Figura 7. Aforos históricos de la microcuenca.



4.1.2. Análisis temporal: Teniendo en cuenta la bimodalidad en Colombia se dividen los datos depurados en temporada de lluvias y no lluvias por meses, se presenta en el Figura 8, la cantidad total de aforos tomados para el análisis y la cantidad de los mismos en las temporadas del año.

Figura 8. Aforos en temporada de lluvias y seca.



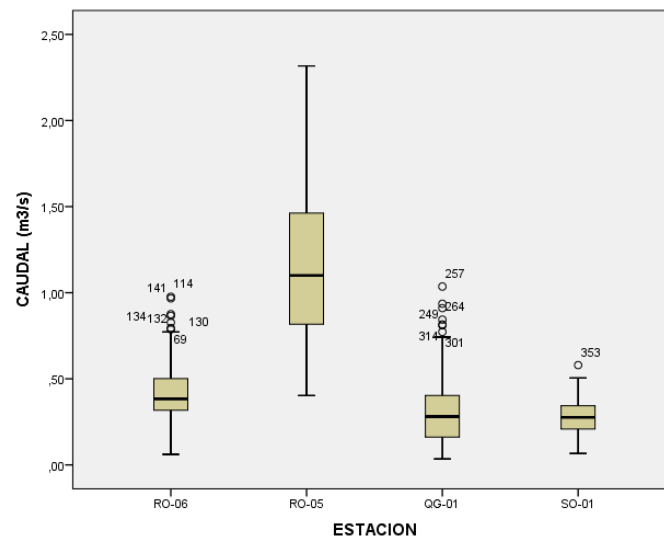
4.1.3. Análisis estadístico: En la Tabla 14 se muestran los valores de tendencia central y dispersión de todos los datos históricos de aforos para los cuatro puntos de monitoreo dentro de la microcuenca, se da notoriedad de su crecimiento al transcurrir su recorrido, en los puntos ubicados en el cauce principal del Rio de Oro, y unos aportes considerables de las dos quebradas monitoreadas.

Tabla 12. Estadísticos Generales del monitoreo.

CAUDALES GENERALES DE LA MICROCUENCA (m ³ /s)						
	MEDIA	MEDIANA	MINIMO	MAXIMO	DESVIACION ESTANDAR	COEFICIENTE DE VARIACION
RO-06	0,4258	0,3831	0,1760	0,9766	0,1589	0,3620
RO-05	1,1587	1,1000	0,4037	2,3166	0,4694	0,4051
QG-01	0,3125	0,2808	0,0349	1,0357	0,2150	0,6880
SO-01	0,2785	0,2760	0,0667	0,5795	0,0937	0,3363

En el Figura 9 se muestra que las estaciones RO-06, QG-01 y SO-01 se presentan valores atipicos maximos, y el 50% de sus datos se encuentran por encima de la mediana, al igual que en la estacion RO-05. La gran cantidad de valores atipicos muestran un comportamiento de maximos extremos en algunas temporadas, asociados a los meses lluviosos (como se observa en el Figura 10); además, es posible que estén relacionados con una temporada lluviosa extrema que se presentó en el año 2010.

Figura 9. Diagrama de cajas y bigotes general



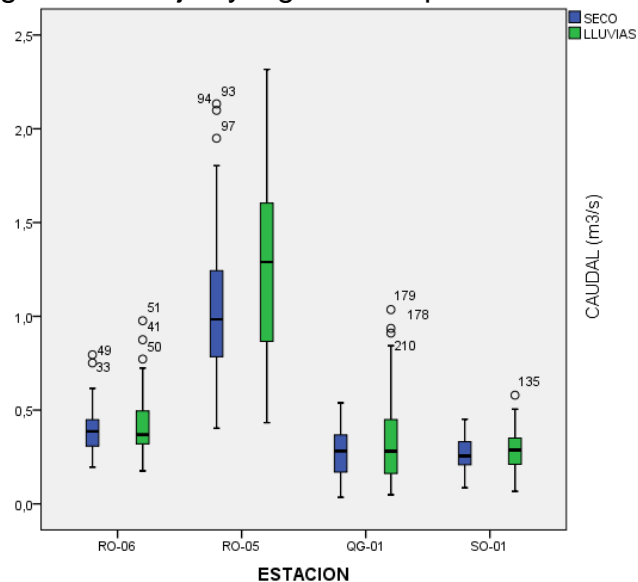
La temporada de lluvias tiene mayores datos atípicos, esto debido posiblemente a crecidas de los cauces monitoreados por grandes precipitaciones, además del hecho de que en el tiempo de lluvias muchas de las concesiones de agua para uso agropecuario no son utilizadas, aumentando así los caudales presentes en los monitoreos. Además el significativo aumento en el caudal entre las estaciones RO-06 y RO-05 puede estar relacionado a la distancia entre a las estaciones (11.97 Km aproximadamente), en los cuales confluyen más de 60 pequeños afluentes y captaciones.

Tabla 13: Medidas de tendencias en temporada de lluvias

ESTACION	LLUVIAS (m3/s)					
	MEDIA	MINIMO	MAXIMO	MEDIANA	DESV. ESTANDAR	COEFICIENTE DE VARIACION
RO-06	0,4417	0,176	0,9766	0,3752	0,1667	0,3773
RO-05	1,2407	0,4326	2,3166	1,2802	0,5025	0,4050
QG-01	0,3590	0,0485	1,0357	0,2808	0,2641	0,7355
SO-01	0,2894	0,0667	0,5795	0,2872	0,1011	0,3494

La mayoría de valores atípicos en el Figura 9 se presentan en el punto QG-01, es una pequeña quebrada pero recoge la mayoría de afluentes de la zona baja de la microcuenca; en temporada de lluvias, todos estos afluentes incrementan su caudal, aumentando directamente el caudal de la Quebrada la Grande donde se encuentra ubicado este punto. Aunque el incremento de caudal no es muy representativo, es importante para hacer un análisis de diseño de alguna estructura hidráulica a futuro en la zona.

Figura 10. Diagrama de cajas y bigotes comparativo de temporadas



Los caudales en las temporadas de no lluvias o secas, son más estables, esto se puede corroborar en la Tabla 16 con un coeficiente de variación menor al de la temporada de lluvias, mostrando valores con menos variaciones, aunque se presentan valores atípicos, estos pueden presentarse por el extraño cambio climático presente en los últimos años, además por poco gasto de agua en la microcuenca (Cultivos finalizados, pastizales en buen estado, entre otros).

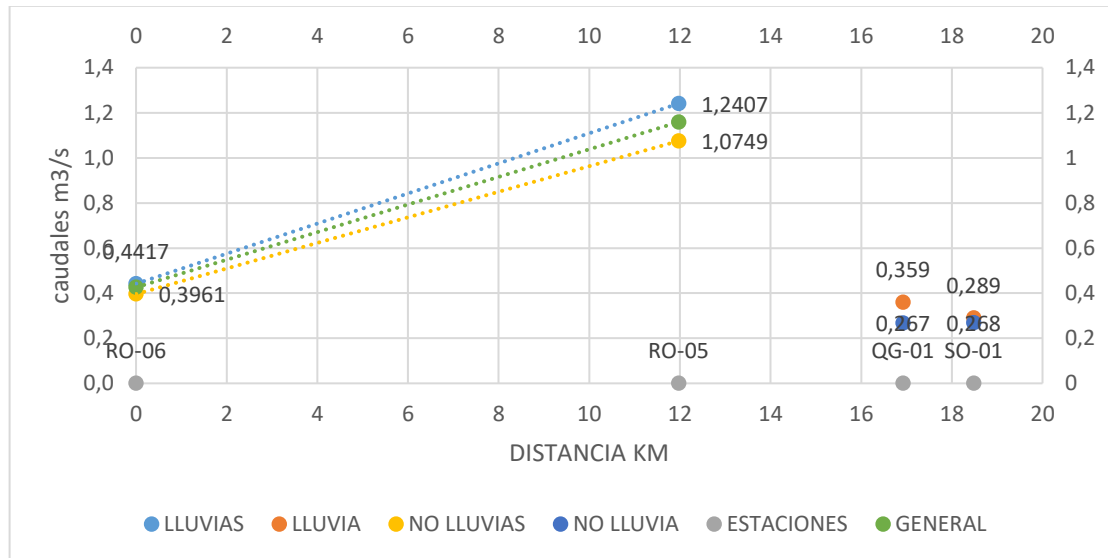
En la tabla 16 y la Figura 10 se presenta de forma visual los valores para la temporada seca, mostrando una desviación estándar baja, indicando así que el cambio histórico de los caudales no ha sido muy variado, se maneja entre unos valores representativos muy normales para la sección del cauce y las condiciones climáticas de la zona, los puntos SO-01 y QG-01 por ser unas quebradas en la parte baja de la microcuenca recogen vertimientos y algunos pequeños afluentes, por lo cual no es muy representativa su diferencia con respecto a la temporada de lluvias.

Tabla 14: medidas de tendencias en temporada seca

ESTACION	NO LLUVIAS (m3/s)					
	MEDIA	MINIMO	MAXIMO	MEDIANA	DESV. ESTANDAR	COEFICIENTE DE VARIACION
RO-06	0,3961	0,1957	0,7951	0,3868	0,1178	0,2975
RO-05	1,0749	0,4037	2,1329	0,9843	0,4223	0,3929
QG-01	0,2670	0,0349	0,5382	0,2787	0,1412	0,5288
SO-01	0,2681	0,0862	0,4514	0,2697	0,0857	0,3198

El Figura 11 muestra el comportamiento general de la microcuenca (puntos de monitoreo) y se puede determinar un leve incremento para los meses de lluvia, además de unos considerables afluentes. Sería de gran ayuda para el futuro establecer un punto de monitoreo a la salida de la microcuenca para poder determinar el impacto de los dos afluentes principales (Quebrada la Grande Y Quebrada Soratoque) y como entrega el recurso a la Microcuenca Oro medio.

Figura 11. Resumen general de las medidas de caudal.



4.1.4. Concesiones: En la microcuenca se presentan más de 450 concesiones de agua, ubicadas en su mayoría en la parte baja de la misma. En la Tabla 17 se muestra un resumen de los usos más importantes de las concesiones.

Tabla 15: resumen concesiones de microcuenca

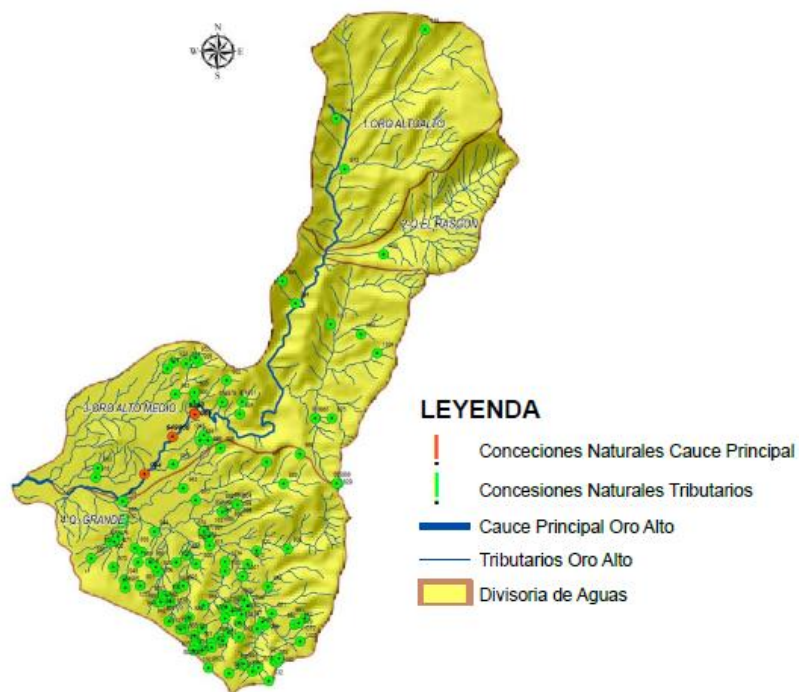
CAUDAL (L/S)	USO DE AGUA
862,4	CONSUMO HUMANO
141,2	ABREVADERO
118,7	RIEGO
37,5	SACRIFICIO DE AVES
50,4	PISCICULTURA
83,5	USO INDUSTRIAL
1293,7	TOTAL

Las concesiones en su mayoría son para consumo humano, los más representativos son el Acueducto de Piedecuesta (Piedecuestana de Servicios Públicos) a la cual se le otorgan 647 L/s y RUITOQUE S.A. E.S.P. concesiona 200 L/s, el complemento de las concesiones se agrupan en pequeños agricultores, empresas y demás.

Este total es un aproximado, la CDMB registra los valores pedidos por los usuarios de la microcuenca, pero pueden haber aun muchos que toman el agua ilícitamente sin conocimiento de la Corporación, aumentando así el consumo de agua presente en la microcuenca.

En la Figura 12 se muestran las concesiones naturales del Río de Oro Alto.

Figura 12. Concesiones Naturales Río de Oro Alto



Fuente: .Plan de ordenamiento río oro y sus tributarios ríos frío y lato

4.1.5. Curva de gastos: Durante el año 2015 en la microcuenca en los 4 puntos de monitoreo se realizaron 5 aforos, datos suficientes para realizar una curva de calibración, pero el solo aforo no es suficiente, se necesita una lectura de la mira limnimetrica y verificar la confiabilidad del dato obtenido de la mira.

Tabla 16: lecturas para la estación RO-06

RO-06		
Fecha Realización	Nivel Medio[m]	Caudal[m3/s]
11/08/2015	0,38	0,2502
31/08/2015	0,38	0,5084
22/09/2015	0,38	0,4821
28/10/2015	0,46	0,5918
01/12/2015		0,5667

Los datos de la mira con respecto al caudal no son confiables y veraces, el caudal aumenta pero la lectura de la regla limnimetrica se mantiene en el mismo punto. Esto indica irregularidades en la sección, siendo no permanente; errores en la lectura de la regla limnimetrica o daño de la regla, con lo cual no permite una lectura adecuada.

Lo cual permite inferir que los datos tomados en el punto de monitoreo RO-06 no son confiables para la construcción de la curva de calibración.

Tabla 17: lecturas para la estación RO-05

RO-05		
Fecha Realización	Nivel Medio[m]	Caudal[m3/s]
11/08/2015	0,89	0,43910
31/08/2015		0,49870
22/09/2015		0,55310
28/10/2015		0,70330
06/11/2015		0,56700

Tabla 18: lecturas para la estación QG-01

QG-01		
Fecha Realización	Nivel Medio[m]	Caudal[m ³ /s]
18/08/2015	0,36	0,104
31/08/2015		0,0611
22/09/2015		0,0485
06/11/2015		0,0505
01/12/2015		0,0567

Tabla 19: lecturas para la estación SO-01

SO-01		
Fecha Realización	Nivel Medio[m]	Caudal[m ³ /s]
02/07/2015	0,2	0,2227
11/08/2015	0,17	0,1029
31/08/2015		0,0862
22/09/2015		0,1114
06/11/2015		0,0667

En los puntos de monitoreo RO-05, QG-01 y SO-01 no se cuentan con lecturas suficientes de la mira, por lo tanto no se puede realizar la curva de calibración para estos puntos.

4.2. CALIDAD

4.2.1. Comparativo de parámetros: Cada parámetro monitoreado por si solo puede arrojar evidencias de lo que sucede en la microcuenca, y afirmar o negar a que se debe la contaminación de las aguas en la misma o cual sea su estado.

4.2.1.1. Fósforo y Nitratos: Estos parámetros provienen principalmente de fertilizantes agrícolas, desechos de animales y residuos domésticos o industriales; los nitratos se encuentran en baja cantidad con respecto a los estándares establecidos por la OMS para consumo humano en los cuatro puntos de monitoreo, mientras que el Fosforo se encuentra en valores muy elevados para el punto SO-01 con respecto de los otros puntos de monitoreo, es por ello en este punto el ICOTRO presenta una clasificación de hipereutrofico, el mayor para este Índice, mostrando así que este es el punto más contaminado. Aclarando dudas que es por residuos industriales ya que en la zona no se presentan muchos cultivos ni ganadería.

4.2.1.2. Caudal, Sólidos suspendidos y Turbiedad: Se presume que la turbiedad aumente mientras aumenta el caudal, llevando consigo material de arrastre de la cuenca y así aumentando también los sólidos suspendidos en el agua, estos tres parámetros son directamente proporcionales. Aunque en tres de los cuatro puntos exceptuando el RO-06 presentan valores atípicos en temporada seca, lo cual indica una posible descarga de algún vertimiento que no se encuentra registros de la CDMB y el cual incrementa en gran modo la contaminación de las corrientes.

4.2.1.3. DBO₅ y Oxígeno Disuelto: Estos dos parámetros van de la mano con la cantidad de materia orgánica presente en la fuente, y el recorrido que hacen desde el punto de descarga hasta el punto donde se monitorea la corriente.

Los puntos RO-06 y QG-01 presentan valores bajos, mientras que el punto RO-05 maneja una media baja, pero presenta valores muy altos en varias ocasiones, lo cual nos indica nuevamente una descarga que no se puede registrar en todos los monitoreos al ser estos puntuales. El punto SO-01 presenta valores de DBO₅ muy elevados, tanto así para considerarse como un agua residual.

4.2.1.4. Coliformes Fecales y DBO₅: Según los registros de los cuatro puntos de monitoreo Los Coliformes Fecales son el principal agente contaminante del agua de la microcuenca, presentando valores altos en todas las estaciones pero acentuándose en el punto SO-01.

Toda la información de los parámetros y sus tendencias medias se encuentran en el anexo F.

4.2.2. Análisis del ICA por estación: Las cuatro puntos establecidos en la red de monitoreo muestran características muy diferentes en cuanto a calidad, esto se debe a su localización y el área de afectación al que pertenecen, a continuación se describe más al detalle cada una de ellas.

4.2.2.1. RO-06 El Rasgón: En la Tabla 22 se muestran los valores de tendencia media para el punto de monitoreo RO-06, con una calidad de agua Buena; A pesar de ser el primer punto de monitoreo en la microcuenca, no presenta una calidad óptima de su agua, esto se debe a que aguas arriba del punto de monitoreo existen potreros con ganado vacuno, además como se ve en la Figura 3, la zona que rodea el punto son cultivos y pastizales los cuales implican una pequeña contaminación del recurso hídrico.

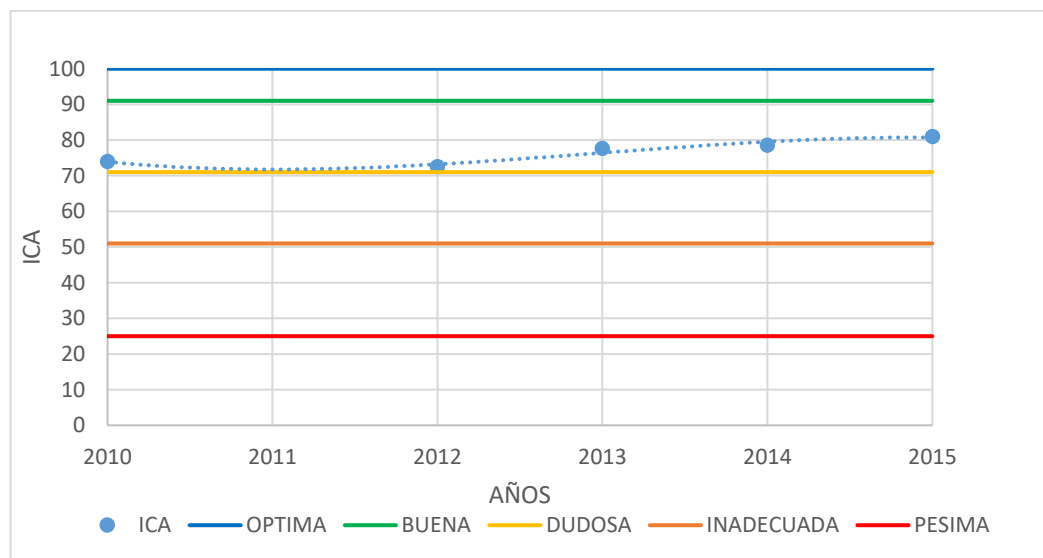
Tabla 20: Tendencias Medias del ICA estación RO-06

RO-06	ICA
MEDIA	76,87
MAXIMO	84,693
MINIMO	70,683
DESV,ESTANDAR	5,1486
COEF,VARIACION	0,0670

Observando los parámetros analizados en laboratorio se puede ver que los Coliformes Fecales para este punto en algunas ocasiones son altos, esto implica también un descenso en la calidad de agua. Estos coliformes vienen del ganado vacuno y posiblemente de los mismos pobladores de la zona que descargan sus aguas domésticas al río o a sus afluentes. Se observa algo de contaminación por materia orgánica (DQO) y algo de turbiedad que puede ratificar algo de intervención antrópica en la zona.

En el Figura 13 se muestra el comportamiento histórico del punto de monitoreo El Rasgón. Cada línea indica el máximo tope para cada calificación del ICA. Además los Figuras del ICA se detallan con mayor claridad en el anexo J.

Figura 13. Comportamiento ICA estación El Rasgón



El comportamiento histórico para este punto siempre mantenido en una condición de calidad buena.

4.2.2.2. RO-05 El Conquistador: El punto conocido como El Conquistador es afectado por aguas domesticas de viviendas aledañas al río, además se presenta porcicultura, la cual no es manejada con el control adecuado y los residuos de esta

práctica de alguna u otra forma son descargados al río o a sus afluentes, contaminando el agua de la microcuenca.

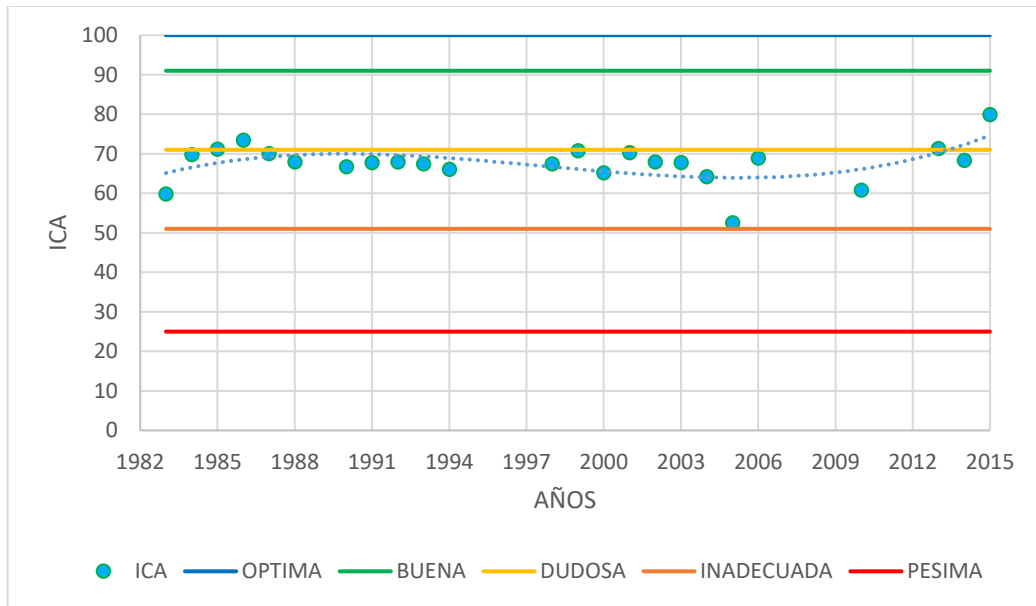
En la Tabla 23 se pueden evidenciar las tendencias medias del ICA para este punto de monitoreo, en estas se pueden identificar cambios bruscos en su valor, con un mínimo aproximado de 35 hasta un máximo de 82. En general el valor máximo podría tomarse como un valor relativamente normal; pero el mínimo se debe a monitoreos en los cuales los parámetros evaluados por la CDMB presentan valores sumamente altos en temporadas de invierno, como lo son la Turbiedad, Sólidos Suspendidos, y Coliformes Fecales posiblemente asociado al arrastre de sedimentos y mayor drenaje de efluentes con presencia de contaminantes difusos o puntuales. Se observan altos valores de nitrógeno y fósforo.

Tabla 21: Tendencias Medias del ICA estación RO-05

RO-05	ICA
MEDIA	67,387
MAXIMO	82,096
MINIMO	35,349
DESV,ESTANDAR	7,924
COEF,VARIACION	0,118

En el Figura 14 se muestra el comportamiento general del ICA por años para el punto de monitoreo El Conquistador, muestra un valor estable desde el comienzo de sus monitoreos entre dudosa y en algunos años subiendo a buena, se espera se tomen medidas para que el agua de la microcuenca y este punto vaya mejorando ya que se había convertido en un lugar propicio para que los habitantes del sector botaran sus basuras y fueran a consumir sustancias alucinógenas.

Figura 14. Comportamiento ICA estación El Conquistador



4.2.2.3. QG-01 BarroBlanco: Este punto ubicado en la parte baja de la microcuenca recoge las aguas de la parte sur-oriental de la misma. Pasando por zonas de Pastizales y cultivos, los cuales son el mayor aportante de contaminación, junto a pequeñas porquerizas y ganado vacuno. Los Coliformes Fecales para este punto son altos, siendo el principal parámetro contaminante en la microcuenca, perteneciente a pequeños asentamientos y al ganado de la zona, la quebrada pasa por zonas descubiertas, no tiene un cerramiento el cual permita proteger la Quebrada, se ve reflejada mucha contaminación por acción antrópica y un poco de turbiedad en temporadas de lluvias.

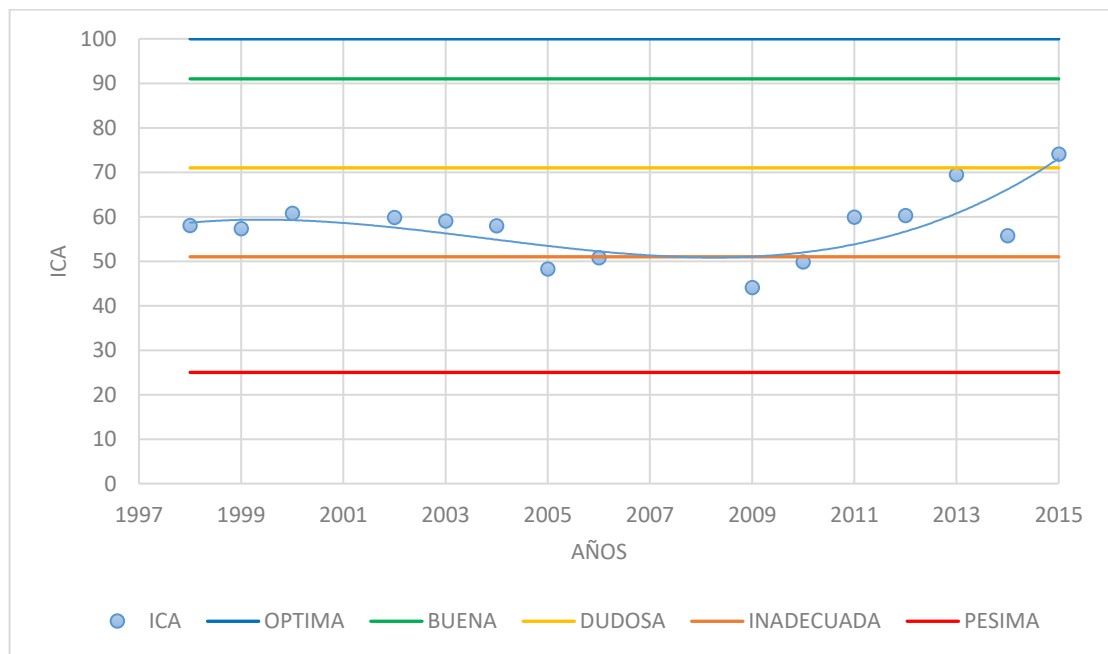
En la Tabla 24 se presentan las medias de tendencia del ICA para la estación BarroBlanco, una pequeña quebrada pero de gran importancia. Cabe resaltar que está quebrada antiguamente aportaba más caudal a la microcuenca en general pero por desvíos de canales para cultivos su caudal disminuyo.

Tabla 22: Tendencias Medias del ICA estación QG-01

QG-01	ICA
MEDIA	57,571
MAXIMO	79,877
MINIMO	34,199
DESV,ESTANDAR	8,292
COEF,VARIACION	0,144

En el Figura 15 se muestra el comportamiento histórico para este punto, se puede ver que en los últimos años el ICA mejoro.

Figura 15. Comportamiento ICA estación BarroBlanco



4.2.2.4. Villa Paulina: Este es el punto más crítico de toda la microcuenca. Presenta valores del Ica pésimos desde el año 1994, aunque su calidad nunca ha estado en buenos estándares, desde esas fechas se agravó. Este punto de monitoreo es principalmente afectado por la planta de sacrificio de aves de Distraves, la cual arrojaba todos sus desperdicios directamente a la Quebrada

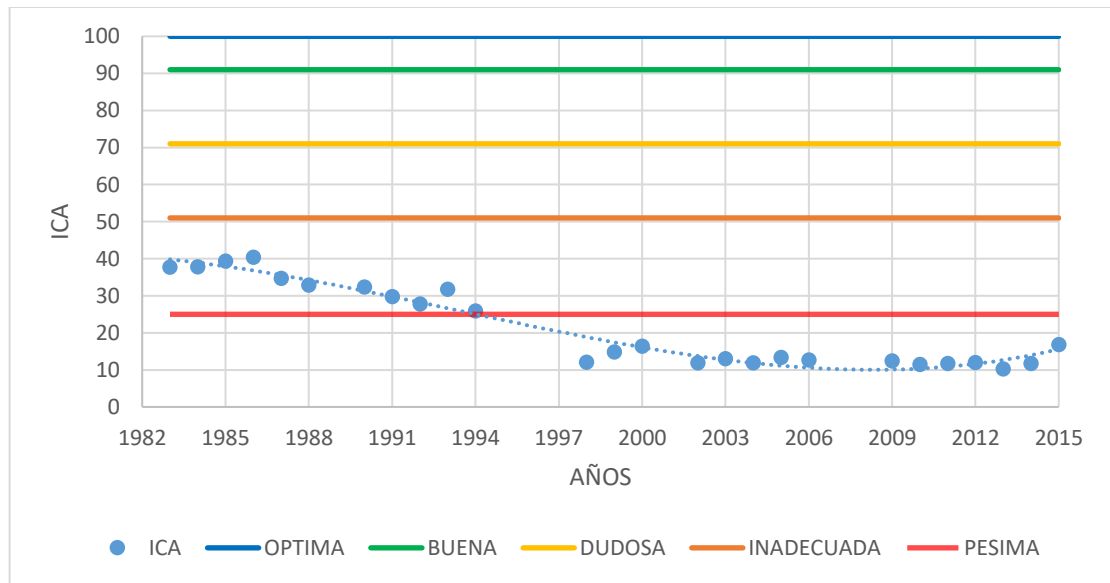
Soratoque. En la Tabla 25 y Figura 16 se muestra el comportamiento tendencial que a tenido este punto de monitoreo con el transcurrir de los años.

Tabla 23: Tendencias Medias del ICA estación SO-01

SO-01	ICA
MEDIA	24,583
MAXIMO	52,152
MINIMO	7,646
DESV,ESTANDAR	12,268
COEF,VARIACION	0,499

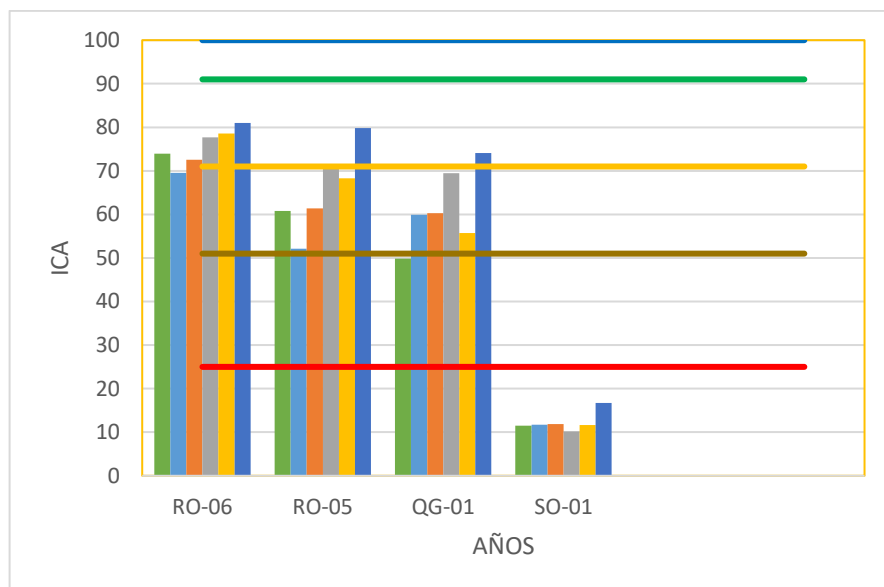
En este punto los valores de la mayoría de los parámetros monitoreados son muy altos, explicando directamente porque la calidad del agua es pésima. Se espera para el año en curso la calidad del agua para este punto de monitoreo mejore considerablemente; por motivo de la canalización de las aguas residuales de la planta de sacrificio, llevándolas directamente a la PTAR de Río Frio.

Figura 16. Comportamiento ICA estación Villa Paulina



4.2.3. Análisis comparativo de estaciones: En el Figura 17 se muestra como a variado el ICA desde el 2010 para los cuatro puntos de monitoreo; es evidente un comportamiento similar en los tres primeros puntos y una Calidad mucho más deteriorada para la cuarta estación por los motivos mencionados anteriormente. Se espera poder mejorar la calidad del cuarto punto de monitoreo, con el objetivo de tener una agua de Calidad estable para toda la microcuenca y generar un buen ambiente para todos los seres vivientes de la misma.

Figura 17. Comparativos ICA por estaciones

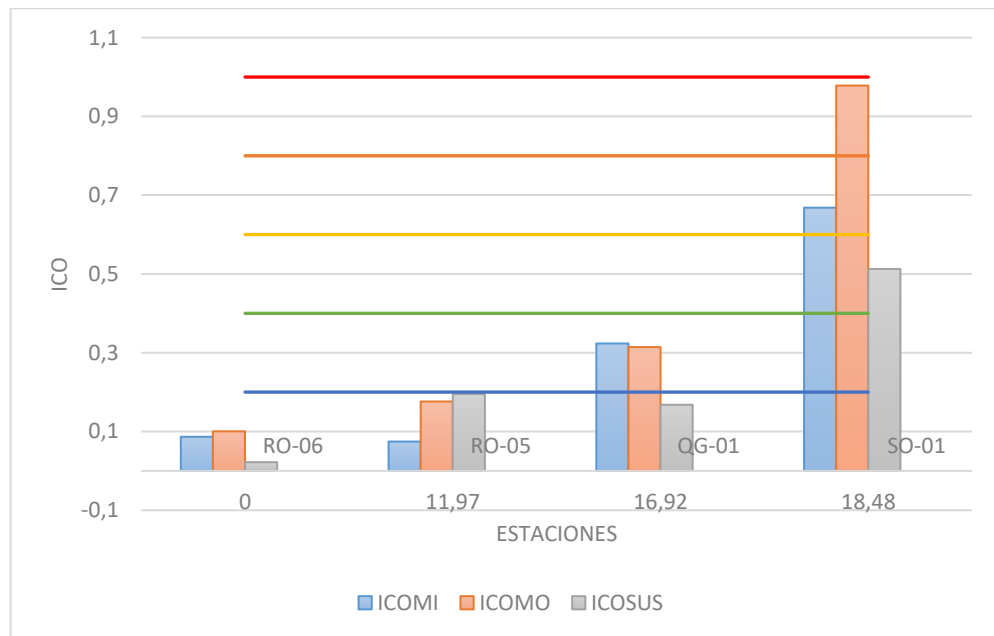


4.2.4. Análisis de ICO's: Como se mencionó anteriormente los ICO's permiten inferir el tipo de contaminación que está afectando la calidad del agua. En los puntos sobre el cauce del río principal, la afectación de los ICO's es de ninguna, mientras que en las quebradas aumenta un poco siendo muy fuerte para el Punto SO-01, El ICOMO se muestra superior, esto por las aguas residuales de la Plata de Sacrificio de Aves.

La sangre tiene una carga orgánica muy elevada, es por ellos que el sacrificio de aves y su posterior descarga de aguas residuales incorpora gran cantidad de DQO al agua de la Q. Soratoque aumentando el ICOMO del punto SO-01.

La conductividad, Alcalinidad y Dureza van de la mano, así que si estos datos entre si son elevados producirán un ICOMI elevado, la conductividad, alcalinidad y dureza tienen que ver con el arrastre de materiales o lixiviados, llevando sales como calcio y manganeso. El punto SO-01 presenta un ICOMI elevado debido al lavado en el sacrificio de las aves los cuales aumentan estos tres parámetros además el arrastre propio del cauce de la quebrada.

Figura 18. Comparativos ICO's por estaciones



Los análisis estadísticos del ICA e ICO's se encuentran presente en el anexo E, mostrando máxima, media, mínimo y las gráficas pertinentes.

5. CONCLUSIONES

- A pesar de contarse con aforos periodicos, no se cuenta con medidas de niveles para esos aforos, por lo tanto no es posible realizar las curvas de calibracion.
- Los Análisis de caudales se realizaron a partir de los datos de aforos puntuales con el fin de obtener unas tendencias historicas de los caudales en la microcuenca.
- La calidad del agua desciende a medida que transcurre el recorrido del río, además se ven muy afectadas las zonas bajas de la microcuenca porque ellas reciben todas las aguas domiciliarias de la misma.
- El punto de monitoreo SO-01 merece ser observado detenidamente, a pesar de ser una pequeña quebrada aporta gran cantidad de carga contaminante al cauce principal del Río de Oro

6. RECOMENDACIONES

- Se recomienda establecer por lo menos dos nuevos puntos de monitoreo; uno en el punto de la concesión de agua para el acueducto de Piedecuesta, y uno a la terminación de la microcuenca para poder establecer caudales y calidad del agua que se entrega.
- Se recomienda hacer los trámites necesarios para poder realizar monitoreos más frecuentes y con ello poder establecer un seguimiento más completo en las dos temporadas del año.
- Se recomienda realizar muestreos mixtos o compuestos con el fin de identificar la razón de los valores extremos provenientes de algún tipo de vertimiento, además de ser mucho más confiables a la hora de dar un análisis.
- Se recomienda instalar reglas limnimétricas en los puntos faltantes o reacondicionar las existentes, además de contratar observadores que estén monitoreando las reglas para poder obtener una información confiable para la realización de curva de gastos y cota de inundaciones.

7. UNIVERSIDAD DE PAMPLONA, Índices de calidad (ICAs) y de Contaminación (ICOs) del agua de importancia mundial. UNIPAMPLONA. Capitulo 3. 78p. [En línea] Recuperado en 2016-06-17. disponible en: http://www.unipamplona.edu.co/unipamplona/portallG/home_10/recursos/general/pag_contenido/libros/06082010/icatest_capitulo3.pdf
8. MAKRO CONSTRUCCIONES LTDA, Determinación y evaluación de índices de contaminación (ICO's) en cuerpos de agua. Cañas Arias, Juan Sebastián. 15p. . [En línea] Recuperado en 2016-08-25. disponible en: <http://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/10654/10901/1/articulo%20final.pdf>
9. A. RAMÍREZ, A R. RESTREPO, y G. VIÑA, Cuatro índices de contaminación para caracterización de aguas continentales. Formulaciones y aplicación. 21p. [En línea] Recuperado en 2016-09-02. disponible en: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0122-53831997000100009
10. INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES DE COLOMBIA. Estudio nacional del agua. IDEAM. 2010. Capitulo 6. 52p. [En línea] Recuperado en 2016-05-12. disponible en: <http://caracoli.cdm.gov.co/cai/rhc/docs/ARCHIVOS/ENA2010Cap6.pdf>
11. CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL PARA LA DEFENSA DE LA MESETA DE BUCARAMANGA. Informe anual de calidad del agua. CDMB. 2015. 42p. [En línea] Recuperado en 2016-09-23. disponible en: <http://caracoli.cdm.gov.co/cai/rhc/docs/INFORMES/Informe%20Anual%20de%20Calidad%20del%20Agua%20Dic%202015.pdf>

BIBLIOGRAFIA

A RAMÍREZ, A R. RESTREPO, y G. VIÑA, Cuatro índices de contaminación para caracterización de aguas continentales. Formulaciones y aplicación. 21p. [En línea] Recuperado en 2016-09-02. disponible en: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0122-53831997000100009

CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL PARA LA DEFENSA DE LA MESETA DE BUCARAMANGA. Plan de Ordenamiento del Recurso Hídrico microcuenca Río de Oro Alto. CDMB. 2010. 122p. [En línea] disponible en: http://caracoli.cdmb.gov.co/cai/rhc/docs/PORH/PORH_Río_Oro_Alto.pdf

CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL PARA LA DEFENSA DE LA MESETA DE BUCARAMANGA. Informe anual de calidad del agua. CDMB. 2015.42p. [En línea] Recuperado en 2016-09-23. disponible en: <http://caracoli.cdmb.gov.co/cai/rhc/docs/INFORMES/Informe%20Anual%20de%20Calidad%20del%20Agua%20Dic%202015.pdf>

CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL PARA LA DEFENSA DE LA MESETA DE BUCARAMANGA. Plan de ordenamiento río oro y sus tributarios ríos frío y lato. CDMB. 2014. 609p.

CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL PARA LA DEFENSA DE LA MESETA DE BUCARAMANGA [En línea] Recuperado en 2016-03-11. disponible en: [<http://www.cdmb.gov.co/web/asi-es-la-cdmb/funciones>]

CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL PARA LA DEFENSA DE LA MESETA DE BUCARAMANGA [En línea] Recuperado en 2016-03-18. disponible en: [<http://www.cdmb.gov.co/web/asi-es-la-cdmb/area-de-jurisdiccion>]

CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL PARA LA DEFENSA DE LA MESETA DE BUCARAMANGA [En línea] Recuperado en 2016-03-25. disponible en: [http://www.cdmb.gov.co/web/gestion-institucional/informes/calidad-ambiental]

INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES DE COLOMBIA. Estudio nacional del agua. IDEAM. 2010. Capitulo 6. 52p. [En línea] Recuperado en 2016-05-12. disponible en: http://caracoli.cdmb.gov.co/cai/rhc/docs/ARCHIVOS/ENA2010Cap6.pdf

INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES DE COLOMBIA. Protocolo para el monitoreo y seguimiento del agua. IDEAM. 2007. 162p. [En línea] Recuperado en 2016-07-21. disponible en: http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/021172/Protocoloparaelmonitoreoyseguimientodelagua.pdf

MAKRO CONSTRUCCIONES LTDA, Determinación y evaluación de índices de contaminación (ICO's) en cuerpos de agua. Cañas Arias, Juan Sebastián. 15p. . [En línea] Recuperado en 2016-08-25. disponible en: http://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/10654/10901/1/articulo%20final.pdf

UNIVERSIDAD DE PAMPLONA, Índices de calidad (ICAs) y de Contaminación (ICOs) del agua de importancia mundial. UNIPAMPLONA. Capitulo 3. 78p. [En línea] Recuperado en 2016-06-17. disponible en: http://www.unipamplona.edu.co/unipamplona/portallG/home_10/recursos/general/pag_contenido/libros/06082010/icatest_capitulo3.pdf