

**PRÁCTICA EMPRESARIAL EN LA CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL  
PARA LA DEFENSA DE LA MESETA DE BUCARAMANGA (CDMB),  
ENFOCADA AL ANÁLISIS DE LA CALIDAD DEL AGUA EN LA  
MICROCUENCA DE RÍO DE ORO BAJO.**

**SEBASTIÁN ELÍAS PATIÑO GUTIÉRREZ**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL  
BUCARAMANGA**

**2017**

**PRÁCTICA EMPRESARIAL EN LA CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL  
PARA LA DEFENSA DE LA MESETA DE BUCARAMANGA (CDMB),  
ENFOCADA AL ANÁLISIS DE LA CALIDAD DEL AGUA EN LA  
MICROCUENCA DE RÍO DE ORO BAJO.**

**SEBASTIÁN ELÍAS PATIÑO GUTIÉRREZ**

**Trabajo de Grado para optar al título de  
Ingeniero Civil**

**Director**

**ISABEL CRISTINA DOMÍNGUEZ RIVERA  
Ingeniera Sanitaria, MSc PhD**

**Co-Director**

**Edgar Ricardo Oviedo Ocaña  
Ingeniero Sanitario, MSc PhD**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL  
BUCARAMANGA**

**2017**

## **AGRADECIMIENTOS**

Toda mi gratitud a Dios y a mi familia por estar siempre a mi lado, en especial mi madre y hermana por nunca abandonarme y llenarme de fuerzas cada día. A mis amigos Zuzette, Jonathan, Angélica y Silvia que se han hecho un lugar dentro de mí. A mis directores de proyecto por su asesoría y constante acompañamiento.

Gracias.

***Sebastián Patiño***

## CONTENIDO

	<b>Pág.</b>
INTRODUCCIÓN .....	16
1. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	18
1.1 ZONA DE ESTUDIO .....	18
1.1.1 Puntos de Monitoreo .....	19
1.2 MORFOMETRÍA Y DRENAJE SUPERFICIAL.....	21
1.3 ASPECTOS CLIMÁTICOS .....	22
1.3.1 Precipitación.....	22
1.3.2 Temperatura.....	22
1.3.3 Unidades Climáticas.....	22
1.4 USO DEL SUELO .....	23
1.4.1 Áreas declaradas protegidas.....	23
1.4.2 Tierras agropecuarias .....	23
1.4.3 Bosques .....	23
1.4.4 Suelos urbanos .....	23
2. PROBLEMÁTICA AMBIENTAL.....	25
2.1 CONTAMINACIÓN Y APROVECHAMIENTO DEL AGUA .....	25
2.1.1 Recurso hídrico .....	26
2.1.2 Vertimientos .....	27
2.1.3 Concesiones .....	28
2.2 ÁREAS CON AMENAZA NATURAL .....	30
2.2.1 Procesos erosivos .....	30

2.2.2	Pérdida de biodiversidad.....	30
2.2.3	Desarrollo de asentamientos suburbanos en ecosistemas frágiles.....	31
3.	METODOLOGÍA ANÁLISIS DE DATOS DE CALIDAD DE AGUA.....	32
3.1	MANEJO DE LA INFORMACIÓN.....	32
3.1.1	Descarga de la base de datos SIC.....	32
3.1.2	Manipulación de los datos.....	33
3.1.3	Depuración de la información.....	33
3.2	ANÁLISIS UNIVARIADO.....	36
3.2.1	Estadística descriptiva.....	37
3.2.2	Distribución de frecuencias .....	38
3.3	PROCESAMIENTO DE INFORMACIÓN DE FORMA ESPACIAL .....	38
3.3.1	Estado del agua respecto a normas nacionales e internacionales.....	39
3.3.2	Diagramas de caja por estación.....	39
3.4	PROCESAMIENTO DE INFORMACIÓN DE FORMA TEMPORAL .....	39
3.4.1	Evolución temporal en tramos de interés .....	40
3.4.2	Comparación estadística en época de lluvia y estiaje .....	40
3.4.3	Análisis del Índice de Calidad del Agua (ICA).....	40
3.5	INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	40
4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	41
4.1	ANÁLISIS PRELIMINAR DE LOS DATOS.....	41
4.1.1	ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA.....	41
4.1.2	DISTRIBUCIÓN DE FRECUENCIAS.....	44
4.2	ANÁLISIS ESPACIAL DE INFORMACIÓN DE CALIDAD DE AGUA.....	47
4.2.1	Evaluación de parámetros fisicoquímicos respecto a normas nacionales e internacionales por estación .....	47

4.2.2	Diagramas de caja de variables fisicoquímicas por estación .....	49
4.3	ANÁLISIS TEMPORAL DE INFORMACIÓN DE CALIDAD DE AGUA.....	56
4.3.1	Evolución temporal de variables fisicoquímicas a la entrada y cierre de la microcuenca.....	57
4.3.2	Evolución temporal de variables fisicoquímicas sobre la quebrada La Iglesia .....	61
4.3.3	Análisis comparativo de variables fisicoquímicas en época de lluvia y estiaje .....	65
4.3.4	Evolución temporal del índice de calidad de agua por estación.....	69
5.	CONCLUSIONES .....	73
6.	RECOMENDACIONES .....	75
	REFERENCIAS .....	77
	BIBLIOGRAFIA.....	83
	ANEXOS.....	85

## LISTA DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
Figura 1. Subdivisión de la Cuenca Lebrija.....	18
Figura 2. Ubicación de los puntos de monitoreo sobre MROB. ....	20
Figura 3. Ubicación de vertimientos directos sobre la MROB. ....	28
Figura 4. Concesiones a personas Naturales en MROB. ....	29
Figura 5. Estructura general de la metodología. ....	32
Figura 6. Quebrada La Flora, punto de monitoreo LF-01.....	42
Figura 7. Quebrada El Macho, punto de monitoreo MA-01.....	43
Figura 8. Porcentaje de datos de DBO <sub>5</sub> superiores a 30[mgO <sub>2</sub> /L] en MROB. ....	44
Figura 9. Porcentaje de datos de Oxígeno Disuelto menores a 3[mgO <sub>2</sub> /L] en MROB. ....	44
Figura 10. Histogramas de Nitrógeno Total para las estaciones CS-01, GY-01, DC-01 y CA-01.....	45
Figura 11. Histogramas de Fósforo Total para las estaciones CS-01, GY-01, DC-01 y CA-01.....	46
Figura 12. Evaluación del recurso hídrico respecto a estándares y criterios de calidad del agua.....	49
Figura 13. Diagrama de caja para Caudal (RO-02 – RO-01).....	50
Figura 14. Diagrama de caja para DBO <sub>5</sub> (RO-02 – RO-01).....	51
Figura 15. Diagrama de caja para DQO (RO-02 – RO-01).....	52
Figura 16. Diagrama de caja para Fósforo Total (RO-02 – RO-01). ....	53
Figura 17. Diagrama de caja para Nitrógeno Total (RO-02 – RO-01).....	54
Figura 18. Diagrama de caja para Oxígeno Disuelto (RO-02 – RO-01).....	55
Figura 19. Diagrama de caja para Sólidos Totales (RO-02 – RO-01).....	56
Figura 20. Río de Oro, puntos de monitoreo RO-02 y RO-01.....	57
Figura 21. Evolución temporal de DBO <sub>5</sub> en las estaciones sobre el Río de Oro....	58
Figura 22. Evolución temporal de DQO en las estaciones sobre el Río de Oro.....	59

Figura 23. Evolución temporal de Coliformes Fecales en las estaciones sobre el Rio de Oro.....	60
Figura 24. Evolución temporal de Oxígeno Disuelto en las estaciones sobre el Rio de Oro.....	60
Figura 25. Quebrada La Iglesia, puntos de monitoreo LI-03 y LI-01.....	61
Figura 26. Evolución temporal de DBO <sub>5</sub> en las estaciones sobre la quebrada La Iglesia. ....	62
Figura 27. Evolución temporal de DQO en las estaciones sobre la quebrada La Iglesia. ....	63
Figura 28. Evolución temporal de O.D. en las estaciones sobre la quebrada La Iglesia. ....	64
Figura 29. Evolución temporal de pH en las estaciones sobre la quebrada La Iglesia. ....	64
Figura 30. Evolución del ICA en el punto de monitoreo RO-02 y RO-01. ....	70
Figura 31. Estado general del ICA en el punto de monitoreo RO-02 y RO-01.....	70
Figura 32. Estado del ICA en el punto de monitoreo CS-01. ....	71
Figura 33. Estado del ICA en el punto de monitoreo GY-01.....	71
Figura 34. Estado del ICA en el punto de monitoreo DC-01.....	72
Figura 35. Estado del ICA en el punto de monitoreo LP-01.....	72

## LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Puntos de monitoreo sobre MROB. ....	21
Tabla 2. Características morfométricas de MROB. ....	21
Tabla 3. Principales Parámetros Climáticos de MROB. ....	22
Tabla 4. Uso actual de las tierras en la microcuenca de Río de Oro Bajo. ....	24
Tabla 5. Usuarios de Vertimientos en la Subcuenca de Río de Oro. ....	27
Tabla 6. Usuarios de acuerdo al tipo de vertimiento. ....	27
Tabla 7. Resumen de Concesiones en la microcuenca de Río de Oro Bajo. ....	28
Tabla 8. Usuarios de Concesiones con mayor caudal. ....	29
Tabla 9. Resumen estadístico de un subconjunto de variables de la estación LF-01. ....	41
Tabla 10. Resumen estadístico de un subconjunto de variables de la estación MA-01. ....	42
Tabla 11. Criterios de referencia en uso potencial de agricultura restringida y no restringida. ....	47
Tabla 12. Criterios de referencia en uso potencial de contacto primario y secundario. ....	48
Tabla 13. Criterios de referencia en uso potencial de consumo bajo tratamiento convencional y desinfección. ....	48
Tabla 14. Comparación estadística para DBO <sub>5</sub> en época de lluvia y no lluvia. ....	66
Tabla 15. Comparación estadística para DQO en época de lluvia y no lluvia. ....	66
Tabla 16. Comparación estadística para Fósforo Total en época de lluvia y no lluvia. ....	67
Tabla 17. Comparación estadística para Nitrógeno Total en época de lluvia y no lluvia. ....	67
Tabla 18. Comparación estadística para O.D. en época de lluvia y no lluvia. ....	68

Tabla 19. Comparación estadística para Sólidos Suspendidos en época de lluvia y no lluvia.....69

Tabla 20. Comparación estadística para pH en época de lluvia y no lluvia. ....69

## LISTA DE ANEXOS

ANEXO A. Estándares y criterios de calidad del agua para diferentes usos .....	85
ANEXO B. Parámetros fisicoquímicos objeto de estudio .....	89
ANEXO C. Análisis de estadística descriptiva por puntos de monitoreo.....	91
ANEXO D. Diagrama de cajas y prueba de Grubbs .....	91
ANEXO E. Evolución temporal sobre el Río de Oro, a la entrada y cierre de la microcuenca (RO-02 y RO-01) .....	91
ANEXO F. Evolución temporal sobre un tramo de la quebrada La Iglesia, (LI-03 y LI-01) .....	91
ANEXO G. Comparación estadística de variables fisicoquímicas en época de lluvia y no lluvia.....	91
ANEXO H. Estado del Índice de Calidad del Agua (ICA) sobre la MROB .....	91

## RESUMEN

- TITULO:** PRÁCTICA EMPRESARIAL EN LA CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL PARA LA DEFENSA DE LA MESETA DE BUCARAMANGA, EN FOCADA AL ANÁLISIS DE LA CALIDAD DEL AGUA EN LA MICROCUENCA DE RÍO DE ORO BAJO.\*
- AUTOR:** SEBASTIÁN ELÍAS PATIÑO GUTIÉRREZ\*\*
- PALABRAS CLAVE:** CALIDAD DEL AGUA, MONITOREO HÍDRICO, RÍO DE ORO, CONTAMINACIÓN DEL AGUA.

### DESCRIPCIÓN:

La Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga (CDMB), es la entidad ambiental encargada de administrar y monitorear los recursos naturales renovables en el área de su jurisdicción. Dentro de las actividades que se realizan en la entidad, se encuentra la administración de la red hídrica, conformada por 65 puntos de monitoreo, que registran información de variables fisicoquímicas de relevancia, y variación de niveles y caudales en las principales fuentes hídricas. Este trabajo presenta un análisis de variables fisicoquímicas y microbiológicas, enmarcado en el estudio de calidad del agua en la Microcuenca de Río de Oro bajo (MROB) en Bucaramanga, Colombia. Primeramente, se realizó una exhaustiva depuración de los datos mediante pruebas estadísticas y gráficas, donde se excluyeron datos atípicos. Se comenzó por entender el comportamiento general de los parámetros de estudio, en todas las estaciones, mediante un análisis de estadística descriptiva. En el procesamiento de la información espacial, se revisaron normas nacionales e internacionales para diferentes usos potenciales del agua, evaluando el estado del recurso hídrico en la zona de estudio. Se identificaron tendencias temporales sobre el Río de Oro y la quebrada La Iglesia, así mismo se examinó la capacidad de estas fuentes de asimilar contaminantes. Se evaluaron diferencias estadísticas, entre los parámetros estudiados, en época de lluvia y estiaje. Se estudió el índice de calidad del agua (ICA) y su relación con la disposición de residuos líquidos, así como su cambio en el tiempo, observándose un alto deterioro en la parte baja de microcuenca. Finalmente, se puede concluir que en general la calidad del recurso hídrico en MROB no es buena, asociada a la mala disposición de residuos líquidos domésticos e industriales; aun así el Río de Oro presenta una recuperación al salir de la microcuenca, aunque su estado no es óptimo.

---

\* Trabajo de Grado

\*\* Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ingeniería Civil. Directora: Isabel Cristina Domínguez. Co-Director: Edgar Ricardo Oviedo Ocaña.

## ABSTRAC

**TITLE:** PROFESSIONAL INTERNSHIP IN AUTONOMOUS REGIONAL CORPORATION FOR THE DEFENSE OF THE BUCARAMANGA PLATEAU (CMDB), FOCUSED IN THE ANALYSIS OF WATER QUALITY IN THE MICRO WATERSHED RÍO DE ORO BAJO.\*

**AUTHOR:** SEBASTIÁN ELÍAS PATIÑO GUTIÉRREZ\*\*

**KEY WORDS:** WATER QUALITY, WATER MONITORING, RÍO DE ORO BAJO, WATER CONTAMINATION.

### DESCRIPTION:

The Autonomous Regional Corporation for the Defense of the Bucaramanga Plateau (CMDB) is the environmental agency responsible for managing and monitoring the renewable natural resources in the area of its jurisdiction. As part of its activities, CDMB is responsible for a water network, consisting of 65 monitoring points that record information on relevant physico-chemical variables, water levels and flow in the main water sources. This paper presents an analysis of physico-chemical and microbiological variables, framed in the study of water quality in the micro watershed Río de Oro bajo (MROB), in Bucaramanga, Colombia. First, was made thorough debugging data using statistical and graphic tests, where outliers were excluded. It began to understand the general behavior of the study parameters, in all stations, through an analysis of descriptive statistics. In the processing of spatial information, national and international standards for several potential uses of water were reviewed, evaluating the state of water resource in the study area. Temporal trends were identified on the Río de Oro and the La Iglesia Stream, and the capacity of these sources of assimilate contaminants was examined. Statistical differences between the studied parameters were evaluated in rainy season and dry season. The water quality index (ICA) and its connection with disposal of liquid wastes were studied, as well as its change over time, observing a high deterioration in the lower part of the micro watershed. Finally, it can be concluded that the general quality of water resource in MROB is not good, associated with the poor disposition of domestic and industrial liquid wastes, yet the Río de Oro presents a recovery when leaving the micro watershed, although its state is not optimal.

---

\* Bachelor Thesis

\*\* Faculty of Physico-Mechanical Engineering. School of Civil Engineering. Director: Isabel Cristina Domínguez. Co-Director: Edgar Ricardo Oviedo Ocaña.

## INTRODUCCIÓN

El 28 de julio de 2010, a través de la Resolución 64/292, la Asamblea de la Organización de las Naciones Unidas (ONU) reconoció explícitamente el derecho humano esencial al agua potable y al saneamiento básico, estimulando a la comunidad internacional y a los gobiernos para satisfacer las necesidades humanas básicas [1], y hacer frente a la falta de cobertura universal de estos servicios. En la actualidad, aproximadamente 884 millones de personas carecen de acceso al agua potable y más de 2600 millones de personas no tienen acceso al saneamiento básico [2]. Este panorama demuestra la clara necesidad de monitorear los principales recursos hídricos fuente de abastecimiento de las comunidades.

Colombia registra un atraso en el desarrollo de sistemas de abastecimiento de agua potable, especialmente en zonas rurales, donde el 28% de la población enfrenta condiciones críticas de acceso a fuentes hídricas, obligándolas a consumir agua en condiciones no aptas [3]. Según el Instituto Nacional de Salud (INS), la calidad del agua en el campo colombiano no es la mejor, solo el 15.1% utilizó agua en buenas condiciones para consumo humano, mientras que el 43.6% usó agua baja en tratamiento y el 23.3% utilizó agua cruda, sin ningún tipo de tratamiento, tomada directamente de la fuente [4]. De acuerdo con la Organización Mundial para la Salud (OMS), se han comprobado 25 patógenos transmitidos por agua contaminada, sumándole riesgos por contaminación de agentes tóxicos y metales pesados [5] [6], lo que consecuentemente desencadena problemas de salud pública.

A raíz de los crecientes niveles de degradación de la calidad del recurso hídrico en el país, el Gobierno Nacional en base a estudios de diagnóstico, formuló el Plan Nacional de Manejo de Aguas Residuales Municipales. Este Plan priorizó a los municipios de acuerdo al impacto ambiental generado por los vertimientos sobre las fuentes hídricas receptoras, destacando el Río de Oro, que se ubica entre las diez cuencas más contaminadas del país [7].

La disponibilidad de agua segura es fundamental para el desarrollo de las diferentes actividades del ser humano, es por ello que el constate monitoreo, el registro histórico de la calidad del agua, la vigilancia de variables para la determinación de las condiciones del agua y la implementación de medidas de contingencia, representan una parte crucial en el buen manejo de los recursos hídricos [8]. En el Departamento de Santander, la Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga (CDMB), es la principal autoridad ambiental, y tiene entre sus funciones la ejecución de las políticas, planes, programas y proyectos sobre medio ambiente y recursos naturales renovables, así como el cumplimiento y oportuna aplicación a las

disposiciones legales vigentes [9]. Para la protección de los recursos hídricos, la CDMB cuenta con una red de monitoreo sobre los principales ríos, así como puntos específicos de evaluación afectados por actividades antrópicas. Como parte del trabajo en esta red, se recopila y analiza información sobre la calidad del agua en cuerpos hídricos de interés en el área de jurisdicción y se preparan informes de carácter público sobre el grado de contaminación, basándose en parámetros internacionales establecidos por el National Sanitation Foundation de Estados Unidos para medir Índices de Calidad de Agua (ICA) e Índices de Contaminación (ICO's) [10].

La subcuenca del Río de Oro pertenece al sistema que conforman la cuenca Superior del Río Lebrija, la cual puede dividirse a su vez en el sistema de subcuencas de Río de Oro bajo, Río de Oro medio, Río de Oro alto y Río Frio [11]. Esta práctica empresarial abordó el estudio de la microcuenca del Río de Oro bajo (MROB), afectada por actividades antrópicas, como el mal manejo de los suelos, la deforestación en las partes altas acelera los procesos erosivos y movimiento de masas, lo que se traduce en un aumento de los sedimentos en suspensión y una mayor colmatación de los cauces, potenciando las inundaciones. Así mismo, la calidad del agua en la cuenca presenta un deterioro gradual aguas abajo, debido al vertido de aguas residuales provenientes de porcícolas y avícolas, además de la influencia de vertimientos de la empresa de alcantarillado del municipio de Piedecuesta, lo cual pone en riesgo a las poblaciones que tienen contacto directo con los cuerpos de agua en la parte inferior de la subcuenca del Río de Oro [12]. Por lo tanto, la importancia de esta fuente, así como las diversas presiones a las cuales está sometida, la hacen objeto importante de estudio como parte de una práctica profesional.

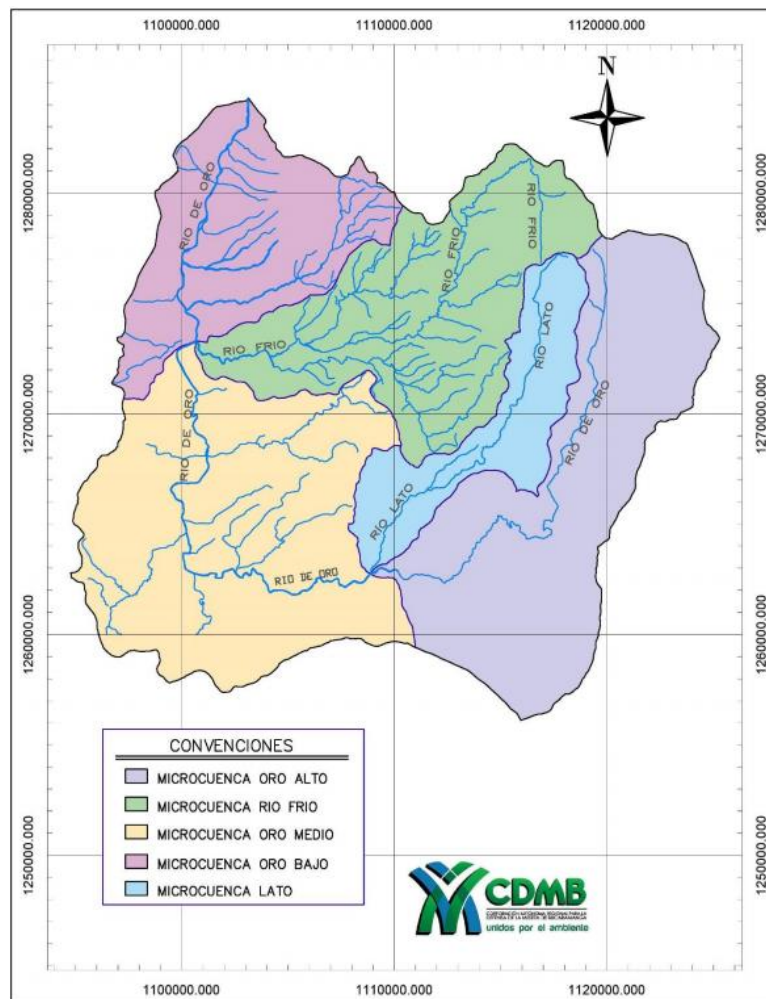
# 1. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

## 1.1 ZONA DE ESTUDIO

La microcuenca de Río de Oro bajo (MROB) comprende un área aproximada de 8,873 hectáreas, las cuales se circunscriben parcialmente al municipio de Girón y a la totalidad del municipio de Bucaramanga. De igual forma, abarca el sector del Macizo de Santander en las veredas de Santa Barbara, Gualilo Alto, San José y 10 de Mayo de Bucaramanga, y las veredas Carrizal, Lagunetas y Bocas de Girón [13].

La microcuenca de Río de Oro bajo, limita al Norte con la Subcuenca del Río Suratá y la microcuenca del Río Tona, afluente del anterior, al Sur con la microcuenca de Río de Oro medio, al Sureste con la microcuenca de Río Frio y al occidente con la Subcuenca de Lebrija alto (Figura 1), siendo las microcuencas de Oro medio y Río Frio afluentes de ésta [13].

Figura 1. Subdivisión de la Cuenca Lebrija.



Fuente. [18]

Esta microcuenca tiene especial interés por ser una de las que presenta mayores índices de contaminación en su efluente principal y tributarios [14], debido en principal medida a la zona industrial, ubicada en la ciudad de Bucaramanga, y en segundo lugar por ser objeto de descarga de las aguas servidas de los municipios en los cuales tiene asiento. La microcuenca de Río de Oro bajo se caracteriza por ser una zona de gran riqueza paisajística por su formación natural, que muestra el abanico aluvial sobre el cual se apoya la ciudad, comúnmente conocido como la Meseta de Bucaramanga [15], y a su alrededor la zona del DMI<sup>1</sup>, siendo la microcuenca con el más alto porcentaje, constituyendo un espacio de amortiguamiento ambiental del área urbana de Bucaramanga [16].

**1.1.1 Puntos de Monitoreo.** El recurso hídrico, dentro del área de jurisdicción de la CDMB, es monitoreado mediante dos redes denominadas básica y específica. La primera, es destinada a la observación de variables del Balance Hídrico (por ejemplo la entrada y salida de flujo superficial, precipitación, evaporación, entre otras) y a sustentar los principios de generalización a zonas con características hidroclimáticas similares que pueden ser de carácter permanente y proporcionan la base para estudios estadísticos. La segunda se utiliza para obtener información que permita describir el comportamiento específico de zonas que cuentan con características anómalas al régimen general o en las cuales es necesaria la administración más detallada del recurso hídrico [17].

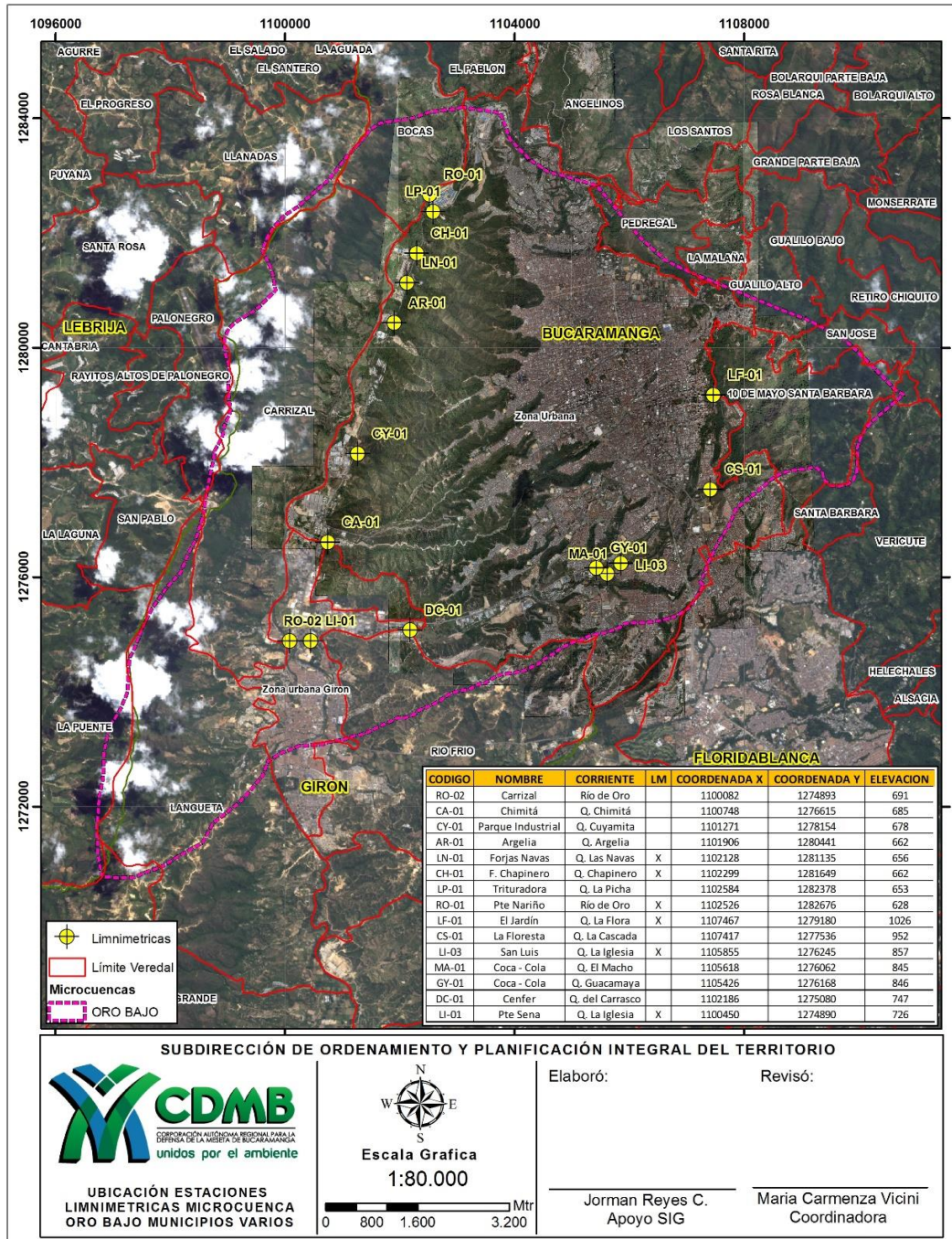
Actualmente, la CDMB cuenta con 65 puntos de monitoreo distribuidos de manera no uniforme dependiendo de las características de la zona, sobre el área de jurisdicción, 44 de los puntos cuentan con regla limnimétrica, pero no todas se encuentran en funcionamiento, menos del 50% de éstas se encuentran en uso, dado el poco mantenimiento o pérdida de las mismas, en consecuencia las medidas de caudal se obtienen únicamente bajo medida directa, método de vadeo, cuando las condiciones del cauce garantizan la seguridad del aforador.

La Subcuenca de Río de Oro tiene 32 puntos de monitoreo. En este estudio, fueron evaluados 15 puntos situados en MROB, de los cuales 2 se ubican sobre el cauce principal (RO-02 y RO-01), a la entrada y cierre de la microcuenca respectivamente. Los 13 puntos restantes se localizan sobre quebradas principales perjudicadas por la contaminación de zonas urbanas, industriales o pecuarias. En la Figura 2 se muestra la distribución espacial de los puntos de monitoreo sobre MROB.

---

<sup>1</sup> Distrito de Manejo Integrado de los Recursos Naturales Renovables. Espacio que se delimita dentro de los criterios de desarrollo sostenible con el objetivo de regular el manejo de los recursos naturales y las actividades económicas que se desarrollan dentro de esta zona.

Figura 2. Ubicación de los puntos de monitoreo sobre MROB.



Fuente. [18]

En la Tabla 1, se muestran características relevantes de los puntos de monitoreo localizados en la microcuenca de Río de Oro Bajo (MROB), relacionados con la fuente, el nombre, código de la estación y datos de localización del lugar donde se extraen las muestras y se toman medidas de cantidad.

**Tabla 1.** Puntos de monitoreo sobre MROB.

PUNTOS DE MONITOREO MICROCUENCA DE RÍO DE ORO BAJO										
CARACTERÍSTICAS GENERALES						LOCALIZACIÓN				
ID	MUNICIPIO	FUENTE	ESTACIÓN	CÓDIGO ESTACIÓN	AÑO DE CRACIÓN	Cota	COORDENADAS PLANAS (x,y)		COORDENADAS GEOGRÁFICAS (Este,Norte)	
1	Girón	Río de Oro	Palenque	RO - 02	2004	691	1,100,082	1,274,893	73° 10' 17,864" W	7° 4' 51,977" N
2	B/manga	Río de Oro	Puente Nariño	RO - 01	1983	628	1,102,526	1,282,676	73° 8' 57,724" W	7° 9' 5,141" N
3	B/manga	Q. La Flora	El Jardín	LF - 01	2000	1,026	1,107,467	1,279,180	73° 6' 16,954" W	7° 7' 11,022" N
4	B/manga	Q. La Cascada	La Floresta	CS - 01	2000	952	1,107,417	1,277,536	73° 6' 18,696" W	7° 6' 17,518" N
5	B/manga	Q. La Iglesia	San Luis	LI - 03	2000	857	1,105,855	1,276,245	73° 7' 9,678" W	7° 5' 35,604" N
6	B/manga	Q. El Macho	Coca-Cola	MA - 01	2000	845	1,105,618	1,276,062	73° 7' 17,412" W	7° 5' 29,664" N
7	B/manga	Q. La Guacamaya	Coca-Cola	GY - 01	2000	846	1,105,426	1,276,168	73° 7' 23,661" W	7° 5' 33,127" N
8	B/manga	Q. El Carrasco	Cenfer	DC - 01	2000	747	1,102,186	1,275,080	73° 9' 9,299" W	7° 4' 57,928" N
9	Girón	Q. La Iglesia	Puente Sena	LI - 01	1983	726	1,100,450	1,274,890	73° 10' 5,874" W	7° 4' 51,856" N
10	B/manga	Q. Chimita	Chimita	CA - 01	1984	685	1,100,748	1,276,615	73° 9' 56,054" W	7° 5' 47,982" N
11	B/manga	Q. Cuyamita	Parque Industrial (Cuy	CY - 01	2000	678	1,101,271	1,278,154	73° 9' 38,914" W	7° 6' 38,040" N
12	B/manga	Q. Argelia	Argelia	AR - 01	2000	662	1,101,906	1,280,441	73° 9' 18,074" W	7° 7' 52,436" N
13	B/manga	Q. Las Navas	Forjas Navas	LN - 01	2000	656	1,102,128	1,281,135	73° 9' 10,795" W	7° 8' 15,010" N
14	B/manga	Q. Chapinero	Forjas Chapinero	CH - 01	2000	662	1,102,299	1,278,649	73° 9' 5,385" W	7° 6' 54,085" N
15	B/manga	Q. La Picha	Trituradora (La Picha)	LP - 01	2000	653	1,102,584	1,282,379	73° 8' 55,854" W	7° 8' 55,470" N

## 1.2 MORFOMETRÍA Y DRENAJE SUPERFICIAL

Las características físicas de una cuenca tienen una relación estrecha con el comportamiento de los caudales que transitan por ella [19]. El cauce principal en la microcuenca en estudio tiene una longitud de 12.8 km con pendiente aproximada del 1.8 % [13]. En esta sección se localiza el cono de deyección del Río de Oro, pues la corriente discurre por un cauce de baja pendiente y se presentan depósitos de material de arrastre, los cuales son extraídos manual y mecánicamente como insumos de construcción.

Los parámetros de forma y drenaje de MROB se resumen en la Tabla 2.

**Tabla 2.** Características morfométricas de MROB.

Parámetro	Valor
Área (Km <sup>2</sup> )	88.8
Perímetro (Km)	46.6
Longitud Axial (Km)	14.9
Ancho Promedio (Km)	6
Factor de Forma	0.4
Coficiente (Kc)	1.4
Mediana de Altitud (msnm)	1214
Longitud del Cauce (Km)	12.8

Adaptado de: [13]

El Río de Oro en MROB está recargado por el costado occidental hacia el divorcio de aguas con la quebrada La Angula, y su mayor extensión territorial corresponde

a la Meseta de Bucaramanga, la cual es bordeada por el cauce de la quebrada La Iglesia, con nacimientos provenientes del Cerro de Morrórico.

### 1.3 ASPECTOS CLIMÁTICOS

En la Tabla 3 se sintetizan los aspectos climáticos de la MROB, que serán detallados en numerales posteriores.

Tabla 3. Principales Parámetros Climáticos de MROB.

Parámetro	Valor
Precipitación (mm)	130-30
Temp. Ambiente (°C)	25-21
Brillo Solar (h)	2000
Humedad relativa (%)	76-79
Vel. Viento (m/s)	1.8

Adaptado de: [20]

**1.3.1 Precipitación.** El régimen de lluvias en la zona baja de la subcuenca del Río de Oro es de tipo bimodal, es decir, se presentan dos temporadas de lluvia al año: la primera entre los meses de marzo a mayo y la segunda de septiembre a noviembre; durante el resto del año tiene lugar dos periodos secos, intercalados entre los periodos de lluvia: el primero se extiende de diciembre a febrero y el segundo de junio a agosto. Los meses más lluviosos del año son mayo y octubre con precipitaciones mayores de 125 mm para la parte central de la microcuenca. El mes más seco del año es diciembre con precipitaciones inferiores a 70 mm, hacia el Oeste de la MROB [20].

**1.3.2 Temperatura.** La temperatura media anual es de 24.9 °C, tiene temperaturas máximas y mínimas promedio de 26.7 °C y 22.9°C respectivamente, presentándose en los meses entre febrero y marzo las temperaturas más altas y los meses comprendidos entre octubre y diciembre los que registran temperaturas más bajas. Estos fenómenos asociados a aumentos o disminuciones de la insolación, de la nubosidad y la radiación [20].

**1.3.3 Unidades Climáticas.** En MROB predomina sobre su costado occidental el clima cálido semiseco, mientras en el oriental donde se localiza el área urbana de Bucaramanga predomina un clima medio semihúmedo; presentándose los valores más altos de humedad en el extremo oriental de la microcuenca en el sector de la Vereda Santa Bárbara y los valores más bajos en la Vereda Lagunetas, al Suroccidente del área urbana de Girón un clima cálido semiseco [20].

En general la MROB se caracteriza por poco o nada superávit de agua, la agricultura de secano solo es posible durante la temporada de lluvias y se debe disponer de riego durante el periodo vegetativo de los cultivos. Está zona

corresponde al cono de deyección, donde hay muy poca producción de agua y la corriente principal llega a la superficie plana o de poca pendiente [21].

#### **1.4 USO DEL SUELO**

Una gran parte del suelo en MROB corresponde a tierras declaradas protegidas dentro del DMI de Bucaramanga (35%) [16]. Dentro de la zona de estudio se encuentran circunscritas la ciudad de Bucaramanga y parte del municipio de Girón, en la cual se destaca la zona industrial, y posee las tierras urbanas y suburbanas en expansión. Las actividades agrícolas son mínimas y las pecuarias están orientadas al establecimiento de la avicultura comercial [22] [21], éstos y otros parámetros del uso del suelo son resumidos en la Tabla 4.

**1.4.1 Áreas declaradas protegidas.** Corresponde al Distrito de Manejo Integrado de Bucaramanga y se ubica sobre las áreas comprendidas en los sectores bajos de la microcuenca bordeando las escarpas del sector occidental de la Meseta de Bucaramanga que termina en la confluencia con el Río de Oro y que actualmente su cobertura se encuentra en rastrojos y bosques protectores. Comprende un área de 3136.8 [Ha] que corresponde al 35.5% del área total de MROB [13] [21].

**1.4.2 Tierras agropecuarias.** Los cultivos transitorios de hortalizas, maíz, yuca se establecen principalmente en las veredas Santa Bárbara, Retiro Chiquito de Bucaramanga, Lagunetas y Río Frío de Girón. Estos cultivos que se encuentran ubicados en la microcuenca formando mixturas alcanzan una extensión de 453 hectáreas que corresponden al 5.1% del área total.

Los cultivos permanentes y semipermanentes como piña y frutales de maracuyá se establecen principalmente en las veredas Bocas, Carrizal y Lagunetas del municipio de Girón. Estos alcanzan una extensión aproximada de 22 hectáreas que representan el 0.24% del área total de la microcuenca [13] [21].

**1.4.3 Bosques.** Las áreas en Bosque secundarios (968.3 Hectáreas) y rastrojos (670.4 Hectáreas) representan la principal cobertura protectora de la microcuenca que asegura la estabilidad de la Meseta de Bucaramanga siendo un 18.46% del área total de la microcuenca [13] [21].

**1.4.4 Suelos urbanos.** En esta microcuenca se ubica el sector urbano y áreas de expansión urbana del conjunto urbano de la ciudad de Bucaramanga con una extensión aproximada de 3.075.5 Has que corresponde a un importante 34.7% del área total de la microcuenca [13] [21].

**Tabla 4.** Uso actual de las tierras en la microcuenca de Río de Oro Bajo.

COBERTURA Y USOS ACTUAL DE LAS TIERRAS	Microcuenca de Río de Oro Bajo	
	Has	%
<b>BOSQUES Y VEGETACION</b>		
Bosque Natural Secundario	968.3	10.9%
Rastrojos	670.4	7.5%
Bosque plantado	0	0.0%
Matorral	0	0.0%
Pajonales	0	0.0%
Vegetación especial Páramo	0	0.0%
<b>TIERRAS AGROPECUARIAS</b>		
Cultivos Permanentes-cítricos	0	0.0%
Cultivos Semipermanentes (piña)	22	0.2%
Cultivos Semipermanentes (mora, otros)	0	0.0%
Potreros abiertos	254.1	2.9%
Cultivos Mixtos	453	5.1%
Tierras Agropecuaria Mixtas:		
Cultivos-Potreros-Rastrojos	254.1	2.9%
<b>TIERRAS AGROFORESTALES</b>		
Silvoagrícola (café sombrío)	0	0.0%
Silvoagrícola (caña, caracolí)	0	0.0%
<b>TIERRAS ERIALES</b>		
Suelos erosionados	0	0.0%
Material de arrastre	21.2	0.2%
<b>AREAS PROTEGIDAS</b>		
DMI de Bucaramanga	3136.8	35.5%
<b>Suelos Suburbanos</b>		
Zona suburb+Inf.Rur.Nucleada	0	0.0%
<b>Suelos Urbanos</b>		
Zona Urbana y de expansión urb.	3075.5	34.7%
<b>TOTAL</b>	<b>8872.8</b>	<b>100%</b>

Adaptado de: [13], [21]

## **2. PROBLEMÁTICA AMBIENTAL**

Cuando se presenta un desequilibrio entre la oferta ambiental y la demanda de bienes y servicios surgen los problemas socio - ambientales, reflejo de la mala utilización que hace el hombre de la riqueza medio-ambiental que tiene a su disposición, dado el manejo, aprovechamiento y transformación de los recursos naturales renovables de forma irracional, además de los acelerados procesos de contaminación de suelos, aguas y aire, que degradan la cobertura vegetal y que además se ve presionada por la frontera agrícola y urbana que amenazan con apropiarse de las escasas zonas de equilibrio que aún se conservan [23]. El desarrollo poco planificado de los espacios urbanos sitúa los recursos naturales en grave riesgo, los cuerpos de agua que tiene contacto directo con las actividades humanas presentan, en su gran mayoría, serios problemas de contaminación, afectados por vertimientos líquidos derivados de actividades industriales, agrícolas, pecuarias y domésticas, o por residuos sólidos cuya mala disposición afecta principalmente las aguas subterráneas y lixiviados que escurren a fuentes hídricas cercanas, que afectan el ecosistema circundante de cualquier corredor hídrico.

### **2.1 CONTAMINACIÓN Y APROVECHAMIENTO DEL AGUA**

El estado más crítico de contaminación en el Área Metropolitana lo registra el Río de Oro, utilizado como vía de evacuación de aguas servidas residenciales e industriales provenientes de los municipios de Piedecuesta, Floridablanca, Girón, Bucaramanga y de la zona industrial de Chimitá. Del municipio de Piedecuesta recibe las descargas provenientes del sistema de alcantarillado sin ningún tipo de tratamiento previo. De Floridablanca recibe las descargas de parte de sus aguas residuales a través de Río Frío y su Planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR). Del municipio de Bucaramanga recibe descargas de aguas servidas y lixiviados provenientes del basurero El Carrasco a través de la quebrada la Iglesia, y demás corrientes que descienden de la escarpa de la meseta de Bucaramanga. De igual manera el sistema de alcantarillado del municipio de Girón tiene como destino final el Río de Oro, al cual vierte sus aguas residuales sin ningún tipo de tratamiento previo, a lo anterior se suman las aguas residuales industriales que son vertidas directamente en la zona industrial de Chimitá [11] [23] [24]. En conclusión, el río de Oro que debiera ser la principal fuente hídrica de suministro para la población del área metropolitana de Bucaramanga se encuentra reducido hoy a una enorme alcantarilla donde todos los municipios vierten sus residuos líquidos.

En veredas próximas al área metropolitana, las aguas servidas son descargadas directamente en pequeñas quebradas, además se localizan pozos sépticos próximos a corrientes hídricas. Este sistema es manejable en pequeños núcleos de población pero en sectores con densidades considerables como el caso de la

vereda de Acapulco y Chocoma [23] se está afectando el equilibrio del ecosistema circundante. Los cuerpos de agua objeto de ordenación por parte de las entidades ambientales, son censados con el fin de conocer el aprovechamiento dado al recurso hídrico, sea en concesiones o autorización de vertimientos, cumpliendo los planes de saneamiento y manejo ambiental que se han propuesto, como se especifica en lo dispuesto en el Decreto 0303 y el Decreto 1076.

El registro de los ciudadanos o instituciones privadas que pueden tener del agua está bajo el control del SEYCA<sup>2</sup>, subdirección que hace parte de la CDMB, tiene como obligación principal el control de los recursos naturales, ésta concede los permisos y establece las tasas retributivas por los diferentes usos del agua.

**2.1.1 Recurso hídrico.** El Río de Oro ha sido el principal cuerpo receptor de vertimientos líquidos de actividades tanto productivas como domiciliarias, desarrolladas en los municipios de Piedecuesta, Floridablanca, Girón y Bucaramanga, esta mala práctica compromete el ecosistema circundante y disminuye, paralelamente, la oferta hídrica de la zona, convirtiendo en una cloaca el sitio de disposición [25] [26].

Como consecuencia de los altos niveles de contaminación de los principales recursos hídricos del país, el Gobierno Nacional, y los principales organismos ambientales, formularon el Plan Nacional de Manejo de Aguas Residuales Municipales, el cual priorizó a los municipios, de acuerdo al impacto ambiental generado sobre las fuentes hídricas de su jurisdicción [7], entre las cuales, el Río de Oro, se ubica entre las diez cuencas más contaminadas del país [27] [28] [29].

El Plan de Ordenamiento del Recurso Hídrico ha establecido que MROB presenta una de las mayores demandas de agua para consumo industrial [21], agrupando en una pequeña área un número considerable de compañías encargadas del procesamiento de alimentos y distintas producciones que regresan el agua con altas cargas contaminantes. Además, el Río de Oro recibe los vertimientos de aguas residuales domesticas de todas las poblaciones del área metropolitana. En orden de contaminación, el flujo que trae el Río de Oro de la población de Piedecuesta, recibe descargas de: El Río Frío, Quebrada La Iglesia, Quebrada Chimitá, Zona industrial, Quebrada Cuyamita, Quebrada Argelia, Quebrada Las Navas, Quebrada Chapinero y Quebrada La Picha, corrientes de aguas superficiales que descienden de la Escarpa de Bucaramanga transportando vertimientos de alcantarillado de la ciudad de Bucaramanga [24], para finalmente recibir en el sitio Bocas los Río Suratá y Negro.

---

<sup>2</sup> Subdirección de Evaluación y Control Ambiental. Administración encargada de realizar estudios de control y aprovechamiento de recursos naturales, de igual forma conceder permisos y establecer la tasa retributiva por el uso de este bien.

**2.1.2 Vertimientos.** En la base de datos de la CDMB, se encontró 326 usuarios que generan vertimientos en el área de influencia de la Subcuenca de Río de Oro de los cuales 289 están activos (Tabla 5).

**Tabla 5.** Usuarios de Vertimientos en la Subcuenca de Río de Oro.

USUARIOS DE VERTIMIENTOS EN LA SUBCUENCA DE RÍO DE ORO		
Municipio	Usuarios	Porcentaje
Bucaramanga	175	60.55%
Floridablanca	34	11.76%
Girón	39	13.49%
Piedecuesta	41	14.19%
TOTAL	289	100%

Adaptado de: [21]

En MROB se ubican los municipios de Bucaramanga y parte de Girón, es así, que el porcentaje de usuarios que realizan vertimientos es de aproximadamente un 74%, un valor alto concentrado en una pequeña área, lo cual se verá reflejado en la contaminación de los efluentes de esta zona.

**Tabla 6.** Usuarios de acuerdo al tipo de vertimiento.

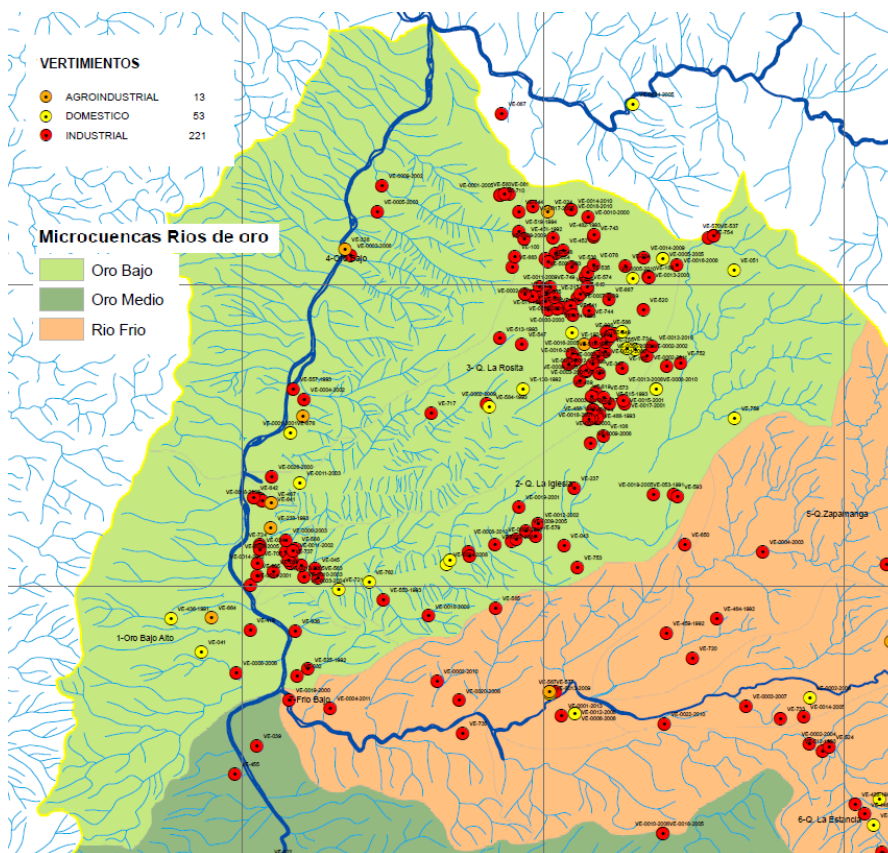
USUARIOS DE ACUERDO AL TIPO DE VERTIMIENTO		
Tipo	Usuarios	Porcentaje
Industria	223	77.16%
Doméstico	53	18.34%
Agroindustrial	13	4.50%
TOTAL	289	100%

Adaptado de: [21]

Los vertimientos de origen industrial representan más de un 75%, a diferencia de las aguas residuales domésticas, que corresponden a menos de un 20% (Tabla 6). Los efluentes industriales contienen con frecuencia sustancias que no se eliminan por un tratamiento convencional, bien por estar en concentraciones elevadas, o bien por su naturaleza química. Muchos de los compuestos orgánicos e inorgánicos que se han identificado en aguas residuales industriales son objeto de regulación debido a su toxicidad a sus efectos biológicos a largo plazo [30].

En la Figura 3 se localizan los vertimientos directos realizados sobre el cauce principal, pequeñas quebradas o alcantarillado metropolitano de la MROB, paralelamente se discriminan por su naturaleza de origen.

**Figura 3.** Ubicación de vertimientos directos sobre la MROB.



Fuente. [18]

**2.1.3 Concesiones.** Se entiende por concesión, el permiso que otorga una autoridad ambiental competente a petición, para obtener el derecho al aprovechamiento de aguas de uso público. El número de concesiones otorgadas en el área de estudio se exponen en la Tabla 7:

**Tabla 7.** Resumen de Concesiones en la microcuenca de Río de Oro Bajo

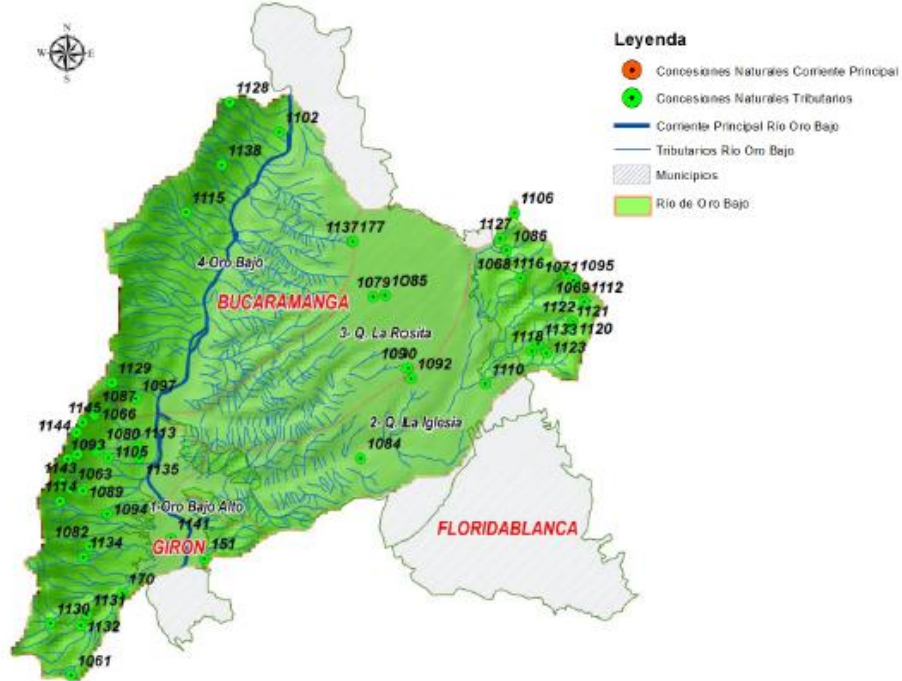
CONCESIONES EN LA MICROCUENCA DE RÍO DE ORO BAJO		
Estado	Persona Natural	Persona Jurídica
Vigentes	107	18
Vencidas	28	4
<b>TOTAL</b>	<b>135</b>	<b>22</b>

Adaptado de: [21]

En la Figura 4 se observa dos grupos con alta densidad de concesiones en la MROB, ubicados en zonas alejadas al área metropolitana. La alta demanda en

estos puntos corresponde a fincas que destinan el agua para labores de riego en época de estiaje, así como para sostenimiento pecuario.

Figura 4. Concesiones a personas Naturales en MROB.



Fuente. [21]

Los permisos que mayor caudal demandan lo encabezan industrias avícolas, en cercanías al área metropolitana. En la Tabla 8 se muestran las principales concesiones por cantidad de caudal autorizado para personas naturales y jurídicas.

Tabla 8. Usuarios de Concesiones con mayor caudal.

USUARIOS DE CONCESIONES CON MAYOR CAUDAL		
Persona Natural	Dirección	Caudal [L/s]
1113	Vereda El Carrizal Finca El Refugio	1.12
1054	Carrera 25 31-48 (Girón)	1.86
Persona Jurídica	Razón Social	Caudal [L/s]
123	Avidesa Mac Pollo S.A.	3
124	Avidesa Mac Pollo S.A.	3
134	Comercializadora Internacional Santandereana de Aceites S.A.	1

Adaptado de: [21]

## **2.2 ÁREAS CON AMENAZA NATURAL**

Los problemas más severos están relacionados con la degradación de la cobertura vegetal, la erosión, los asentamientos humanos y las prácticas agrícolas inapropiadas sobre áreas susceptibles [22]. Al modificar las condiciones de equilibrio en la naturaleza, el hombre provoca cambios que desestabilizan el sistema, ocasionando una redistribución de los elementos [23].

**2.2.1 Procesos erosivos.** La Meseta de Bucaramanga, en la escarpa occidental tiene una altura respecto al valle del Río de Oro de alrededor de 100 metros, que lo delimita y al que fluyen el gran número de drenajes de diferente profundidad, formados principalmente por su composición geológica de suelos fácilmente degradables al contacto con las lluvias y corrientes superficiales provenientes del macizo de Santander que la limita por su costado oriental [31]; esta circunstancia evidenció con el pasar de los años la grave circunstancia que terminaría por destruir la ciudad de no encontrarse la forma de controlarlo.

A partir de lo dispuesto en el Plan General de Control de Erosión (PGCE), se han implementado medidas de control para la erosión de la Meseta, en donde se identificó la insuficiencia en la capacidad del sistema de alcantarillado por realizar vertimientos directos sobre la escarpa, que aumentan considerablemente los procesos de degradación [32]. Se promovieron programas específicos para contrarrestar el deterioro excesivo aumentando la cobertura vegetal en esta zona.

En MROB se presenta grandes extensiones de suelo que exhiben erosión hídrica por condiciones edáficas y climáticas que tornan susceptibles los suelos, se destaca la escarpa occidental de la Meseta de Bucaramanga [33]. Las descargas del alcantarillado de los municipios que se asientan en esta zona, se hacen obligatoriamente con estructuras de vertimiento, disipando la energía, evitando el desgaste y arrastre de la superficie de contacto.

**2.2.2 Pérdida de biodiversidad.** La MROB presenta pérdida de biodiversidad en flora y fauna al estar muy fragmentados los corredores biológicos que pudieran conectar las áreas de reserva forestal de la Escarpa Occidental de la Meseta de Bucaramanga con las áreas boscosas del Río Lebrija o Áreas Boscosas del Subandino y Andino de la Cordillera Oriental. La mayoría de los afluentes no presentan vegetación natural en su recorrido ni en la cabecera de sus nacimientos, en cambio se observan cultivos a gran escala como alrededor de la quebrada la Angula [13].

En su estado actual, el río de Oro es una cuenca que está notoriamente afectada, con escasa vegetación, convertido en un vertedero de desechos de la comunidad, lo cual ha contribuido al deterioro acelerado de su cauce.

**2.2.3 Desarrollo de asentamientos suburbanos en ecosistemas frágiles.** La localización de asentamientos humanos en zonas rurales ambientalmente frágiles, sin la planeación de infraestructura de servicios y saneamiento básico, provocan un fuerte impacto en los ecosistemas naturales, tal es el caso de asentamientos como Acapulco y Bocas donde existe saturación de hoyos negros y letrinas, desequilibrando el ecosistema, y generando focos de contaminación que ponen en riesgo la salud de la población [34] [35]. Estas zonas son áreas de recarga para las corrientes de agua de la parte baja del valle del Río de Oro, y surten los acuíferos existentes en las partes altas. Los asentamientos en estos ecosistemas tan frágiles tienen problemas de suministro de agua, presentan conflictos de sostenibilidad ambiental al agotarse las fuentes hídricas superficiales, contaminarse los suelos y acuíferos del sector.

### 3. METODOLOGÍA ANÁLISIS DE DATOS DE CALIDAD DE AGUA

La metodología de este trabajo se dividió en cinco etapas, con sub-actividades en cada uno (Figura 5), se muestra la estructura general y orden de desarrollo de las actividades en la investigación de calidad del agua en la MROB.

Figura 5. Estructura general de la metodología.



#### 3.1 MANEJO DE LA INFORMACIÓN

**3.1.1 Descarga de la base de datos SIC<sup>3</sup>.** El manejo de la información dentro de la CDMB se da a través del Sistema de Información Corporativo (SIC), en el cual es posible hacer consultas, en este caso, de carácter técnico. La clasificación de la información para calidad del agua se hace dentro del subconjunto de datos llamada Aforos líquidos, dividida en tres grupos principales: laboratorio, campo e índices. Las búsquedas pueden ser filtradas de diferentes formas, destacando, por código de la estación o por año de registro.

La plataforma SIC permite descargar los datos en diferentes extensiones, para su posterior tratamiento. La descarga se hace a través de un archivo de tipo texto (txt), el cual puede ser cargado en programas de computador especializados.

<sup>3</sup> Sistema de Información Corporativo. Herramienta informativa que se compone de un conjunto de elementos administrativos, técnicos y financieros que facilitan el manejo de datos e información dentro de la CDMB.

**3.1.2 Manipulación de los datos.** La calidad de la información proporcionada por un estudio está directamente relacionada con los datos, trabajar con los datos en bruto implica la presunción de una total certeza de éstos, lo cual en la mayoría de las ocasiones no se cumple. Por lo tanto, se aplicó el siguiente procedimiento, recomendado por *Ramírez y Viña* [36], con el fin de hacer una depuración básica de la información:

- I. Si alguna variable presenta pocos datos (inferiores al 70%) respecto al total registrado, la variable se elimina del análisis.
- II. Si alguna variable presenta un registro totalmente discontinuo, en periodos de años diferentes, la variable se elimina del análisis.
- III. Si en alguna variable faltan pocos registros, se obtiene su promedio y se asigna tal valor a los datos faltantes; con esta acción, la variabilidad de los datos no se verá afectada.
- IV. Si en alguna estación faltan muchos registros de datos fisicoquímicos, la estación se elimina del análisis.

Adicionalmente, fueron descartadas algunas variables:

- I. Las que no se consideren pertinentes al estudio.
- II. Variables que fuesen derivadas de otras variables.
- III. Variables que no demuestren variabilidad en sus registros.
- IV. Variables compuestas, es decir, que son calculadas a partir de otras.

**3.1.3 Depuración de la información.** La identificación de los valores atípicos (*Outliers*), es un problema arduo en el análisis de datos. Un valor inconsistente es una observación que no parece corresponder con el resto de los valores en el grupo de datos, es decir, que la observación no proviene de la misma distribución del resto de la muestra [37]. Existen dos herramientas básicas para el reconocimiento de un valor atípico, que son las representaciones gráficas y las pruebas estadísticas. En este caso los métodos aplicados fueron los siguientes:

- Representaciones gráficas: distribución de frecuencias y el diagrama de Box-Plot.
- Pruebas estadísticas: Método de Grubbs.

Las pruebas estadísticas se utilizan para identificar valores atípicos, no para retirarlos del grupo de datos. Técnicamente, una observación no debe retirarse a menos que una investigación halle una causa probable para justificar esta acción [37].

Cuando hay múltiples valores atípicos en un grupo de datos, la investigación resulta más complicada, pero existen procedimientos de prueba para estos casos. El problema radica en que un valor atípico puede enmascarar otro valor atípico en

una prueba de un valor único, es por esto que la combinación de ambas metodologías permite identificar múltiples valores que no correspondan a la misma distribución de la muestra [38] [39].

**3.1.3.1 Distribución de frecuencias.** La distribución de frecuencias es una representación en forma de tabla o gráfica en la que se organizan los datos en clases, es decir, en grupos de valores que describen una característica de los datos, revelando patrones en la información analizada [40].

Para la construcción de una distribución de frecuencias, el procedimiento recomendado según *R. Levin & D. Rubin* [40] es:

- I. Determinar el número de clases: en primer lugar, es necesario determinar el número total de intervalos de clase, en este punto no existe una regla general para calcular dicho valor, pero éste depende de la cantidad de datos de la muestra, es así que el número de intervalos de clase se calculó de la siguiente forma:

$$\begin{aligned} &\text{Para muestras de gran cantidad de datos } NI = \sqrt{N} \\ &\text{Para muestras de cantidad de datos moderada}^4 NI = 1 + 3.3\text{Log}(N) \end{aligned}$$

Donde el número de intervalos de clase ( $NI$ ) es el valor redondeado al entero más próximo y  $N$  representa el número de datos de la muestra.

- II. Determinar el ancho del intervalo de clase: el rango total se divide en clases iguales, esto es, el ancho del intervalo, tomado desde el principio de una clase hasta el principio del siguiente, debe ser el mismo para todas.

$$h = \frac{\text{Rango}}{NI}$$

- III. Clasificar los datos puntuales en clases y contar el número de observaciones que hay en cada una: cada dato puntual entra al menos en una clase y ningún dato puntual entra en más de una clase. En consecuencia, las clases son completamente incluyentes y mutuamente excluyentes.
- IV. Ilustrar los datos en un diagrama: se grafica en el eje de las ordenadas, en forma de barras, el valor de la frecuencia, y en el eje de las abscisas los intervalos de clase, creando así el histograma del análisis de frecuencia.

Los patrones que describen los datos, son visualizados en el histograma, con éste fue posible determinar comportamientos que no describan ningún tipo de tendencia y que posiblemente sean consecuencia de un valor atípico, que

---

<sup>4</sup> Regla de Sturges, propuesta por Herbert Sturges en 1926.

ocasionen una distribución de frecuencias alterada y por ende una gráfica totalmente anormal sin ningún tipo de pauta.

**3.1.3.2 Diagrama de Box-Plot.** El diagrama de caja es una presentación visual que describe al mismo tiempo varias características importantes de un conjunto de datos, tales como el centro, la dispersión, la simetría o asimetría y la identificación de observaciones atípicas, fue creado por Tukey en 1977, en cuya construcción se utilizan cinco medidas descriptivas [41]. Este diagrama representa los tres cuartiles, y los valores mínimo y máximo de los datos sobre un rectángulo (caja), alineado horizontal o verticalmente.

La construcción de un diagrama de caja según G. León [42] se describe a continuación:

- I. El rectángulo delimita el rango intercuartílico con la arista izquierda (o inferior) ubicada en el primer cuartil Q1, y la arista derecha (o superior) en el tercer cuartil Q3.
- II. Se dibuja una línea a través del rectángulo en la posición que corresponde al segundo cuartil (que es igual al percentil 50 o a la mediana).
- III. De cualquiera de las aristas del rectángulo se extiende una línea, o bigote, que va hacia los valores extremos (valor mínimo y valor máximo). Estas son observaciones que se encuentran entre cero y 1.5 veces el rango intercuartílico a partir de las aristas del rectángulo.
- IV. Las observaciones que están entre 1.5 y 3 veces el rango intercuartílico a partir de las aristas del rectángulo reciben el nombre de valores atípicos. Las observaciones que están más allá de tres veces el rango intercuartílico a partir de las aristas del rectángulo se conocen como valores atípicos extremos.

A partir de los resultados fue posible hacer varias interpretaciones de los datos, la simetría, el sesgo y la dispersión de la muestra explicados a través de la forma del Box-Plot, paralelamente se observó la desproporción, o disparidad, de los valores entre estaciones de igual forma se visualizó los valores atípicos extremos, que se analizan en detalle con el fin de conocer su naturaleza, buscando depurar la información con mayor precisión.

**3.1.3.3 Prueba de Grubbs.** Esta prueba, también denominada método ESD<sup>5</sup>, fue desarrollada por Frank E. Grubbs en el año de 1969 [43]. Es uno de los métodos más utilizados para detectar valores atípicos en un conjunto de datos univariante, basado en el supuesto de normalidad de los datos, utilizando la prueba de Student. Su aplicación se restringe a la detección de un único valor y a la aproximación a una distribución normal en la variable de análisis.

El procedimiento de la prueba de Grubbs se resume a continuación [44] [39]:

- I. Ordenar los datos ascendentemente  $X_1 < X_2 < X_3 < \dots < X_n$
- II. Decidir si  $X_1$  o  $X_n$  es, posiblemente, un valor sospechoso.
- III. Calcular el promedio  $\bar{X}$  y la desviación estándar  $S$  del conjunto de datos.
- IV. Se calcula  $T$  si se considera sospechoso el primer valor o el último valor.

$$\text{Sí } X_1 \text{ es sospechoso } T = \frac{\bar{X} - X_1}{S}$$

$$\text{Sí } X_n \text{ es sospechoso } T = \frac{X_n - \bar{X}}{S}$$

- V. Escoger el nivel de confianza para la prueba y calcular  $T$  y compararlo con el valor correspondiente de acuerdo con una tabla de valores críticos. Si el valor de  $T$  es mayor que el valor crítico, se dice que el dato es un valor extremo.

El dato, que como resultado de la prueba, se infiere que es inconsistente no puede ser desechado sin un exhaustivo análisis, que determine de forma concluyente que no hace parte del conjunto de datos de análisis. Es por esto que la corrección del error fue realizada analizando en conjunto los parámetros fisicoquímicos del día de la toma de la muestra, resaltando la inconsistencia de este frente a otros con los cuales está directamente relacionado; la liberación de contaminantes puntuales puede ocasionar el ascenso o descenso abrupto de ciertas variables, que pueden parecer valores aberrantes respecto al histórico, es así que este análisis fue fundamental para no descartar valores que corresponden a contaminación puntual y que contribuyen en el análisis de la fuente hídrica.

## 3.2 ANÁLISIS UNIVARIADO

En la mayoría de las ocasiones cuando se pretende evaluar la calidad de un curso de agua, se encuentra con la dificultad de tener un número apreciable de variables fisicoquímicas, las cuales en ocasiones señalan comportamientos distintos o antagónicos. El problema es aún más notable, cuando no se trata de un único cuerpo de agua, sino se refiere a un grupo de estaciones que se monitorean periódicamente y que aportan un inmenso volumen de información [36].

---

<sup>5</sup> Extreme Studentized Deviate, por sus siglas en español, Desviación Extrema de Student.

Existen dos técnicas estadísticas que permiten el análisis de datos que son: i) la estadística descriptiva la cual se utiliza para resumir los datos de tal manera que sean más simples de analizar o interpretar; y ii) la inferencia estadística que permite resolver preguntas, con un grado de confianza, respecto al estado de parámetros críticos en la fuente de análisis.

**3.2.1 Estadística descriptiva.** Es importante anotar que las muestras de agua o de biota tomadas para hacer estudios de calidad del agua son solamente fracción de todo el ambiente; las series de datos que se analizan deben ser consideradas como datos muestrales de una población infinita que no puede ser analizada. Por lo tanto, en calidad del agua, los datos son valores muestrales (estadísticos) que tiene que por objeto estimar los parámetros de una población [45].

Para el presente estudio, el análisis univariado se realizó para la totalidad de las estaciones así como para todos los años de registro, con la finalidad de comprender cuál es el comportamiento de determinada variable de forma general. El análisis involucró el cálculo de medidas de tendencia central, medidas de dispersión y distribución de frecuencias, como se describe a continuación.

**3.2.1.1 Medidas de tendencia central.** Los estadísticos utilizados en este estudio para localizar el centro de una distribución fueron: la media, la mediana y la moda. La media está definida como la suma de los valores individuales ( $x_i$ ) de la serie dividida en el número de datos.

$$\bar{x} = \sum_{i=1}^n \frac{x_i}{n}$$

La media puede verse como el valor promedio en el caso de una serie finita de datos o el centro de gravedad de una distribución. Sin embargo, una de las interpretaciones más importantes aplicables al caso de diagnóstico de aguas es cuando la media denota o se tiene la notación del valor esperado de una variable aleatoria [45].

La mediana es el valor localizado en la mitad de la serie cuando esta se ordena desde el valor más bajo hasta el más alto. Cuando la serie tiene un número par de datos, la mediana generalmente se toma como el promedio de los dos valores centrales. Se conoce también como el percentil 50 o segundo cuartil.

La moda corresponde al valor que más se repite.

Los cuartiles son los tres valores de la variable que dividen a un conjunto de datos ordenados en cuatro partes iguales:  $Q_1$ ,  $Q_2$  y  $Q_3$  y determinan los valores correspondientes al 25%, al 50% y a 75% de los datos. Nótese que  $Q_2$  coincide con la mediana.

**3.2.1.2 Medidas de dispersión.** Como medidas de dispersión, fueron determinados: el rango, la desviación estándar, los rangos intercuartiles y el coeficiente de variación.

El rango se define como la diferencia entre el valor máximo y el valor mínimo de la muestra.

$$\text{Rango} = \text{Valor más alto} - \text{Valor más bajo}$$

Es importante reconocer que el rango está influenciado por los valores extremos y que pueden fluctuar ampliamente cuando se tienen muestras pequeñas. Por esta razón los estadísticos han propuesto la desviación estándar (s) como otra manera de determinar el grado de variabilidad de la distribución de una serie de datos, que se define como la raíz cuadrada de la diferencia al cuadrado de los valores individuales ( $x_i$ ) y la media de la muestra ( $\bar{x}$ ), dividido entre el número de datos (n) menos uno.

$$s = \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{(x_i - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

Otro estimador de la variabilidad es el rango intercuartil, el cual se determina como la diferencia entre el valor al 75% y el valor al 25%.

EL coeficiente de variación (cv) es la relación entre la desviación estándar y la media y es una medida de la variabilidad relativa de los datos sin importar la magnitud de los valores de la variable.

**3.2.2 Distribución de frecuencias.** Es una ordenación tabulada de los datos recopilados en una investigación o estudio, de acuerdo a la clase o intervalo a que pertenece y con el número de veces que se repite. Una distribución de frecuencias se representa por medio de tablas de frecuencia y gráficas o histogramas que permiten ver a grandes rasgos el comportamiento de los datos [46]. El procedimiento de construcción de una tabla de distribución de frecuencias se detalló en el numeral 3.1.3.1.

### **3.3 PROCESAMIENTO DE INFORMACIÓN DE FORMA ESPACIAL**

Los resultados que son clasificados de acuerdo al posicionamiento de la estación, son interpretados como análisis espacial, son diferentes los resultados mostrados, con el objetivo de comparar las variaciones en la calidad del agua a lo largo de MROB.

**3.3.1 Estado del agua respecto a normas nacionales e internacionales.** Se comparó el estado del agua en la MROB respecto a normas nacionales e internacionales. En normativa nacional el Decreto 1076 del 2015 [47] y Decreto 3930 del 2010 [48], fija los usos del agua y respectivos criterios de calidad. En normas internacionales, un referente mundial es la Agencia de Protección Ambiental (EPA), que define los criterios admisibles para diferentes usos del agua en Quality Criteria for Water [49], y Water Quality Standards Handbook [50]. Se cuenta también con los criterios de calidad para contaminantes prioritarios establecidos por el estado de California (USA) [51]. La norma oficial mexicana especifica su normatividad de acuerdo a su uso potencial en [52] [53]. Para lo cual se elaboró un mapa donde se muestra mediante un código de colores los porcentajes de datos de calidad del agua que cumplen con los criterios establecidos en las normas para usos potenciales como la agricultura y recreación en todas las estaciones objeto de estudio.

En el **Anexo A** se muestra el resumen de los parámetros críticos de éstas normas, para usos como agricultura, recreación y consumo [45].

**3.3.2 Diagramas de caja por estación.** El diagrama de caja es una presentación visual que describe al mismo tiempo varias características importantes de un conjunto de datos. Se elaboraron con todos los registros para comparar el estado de los puntos de monitoreo, paralelamente se estudió la dispersión de los datos y analizó el efecto que los vertimientos directos tienen sobre la variabilidad de los parámetros estudiados.

Los lugares con mayores problemas de contaminación, son detallados y analizados con el fin de encontrar razones que justifiquen, en base a parámetros fisicoquímicos, el origen de ésta, soportado en informes sobre el recurso hídrico realizados por la CDMB.

### **3.4 PROCESAMIENTO DE INFORMACIÓN DE FORMA TEMPORAL**

La evolución en el tiempo del curso de agua, es una parte fundamental en el análisis de calidad, ésta permite visualizar el comportamiento de las variables fisicoquímicas de forma histórica en un punto de monitoreo; lamentablemente el diseño de muestreo que la CDMB ha implementado desde su origen, no permite la realización de análisis convencionales, en los cuales se estudia los fenómenos que afectan la polución del efluente, debido a que las muestras son puntuales y no detallan los cambios que esta puede presentar en lapsos de tiempo corto, es decir, son tomadas en diferentes meses dependiendo del rendimiento de los aforadores.

**3.4.1 Evolución temporal en tramos de interés.** Consistió en comparar las concentraciones de variables seleccionadas en puntos de monitoreo que comparten correspondencia espacial y temporal, en el periodo comprendido entre 2004-2015, sobre el Río de Oro (RO-02 y RO-01) y la quebrada La Iglesia (LI-01 y LI-03). De esta forma, se pudo estudiar si la MROB y la quebrada La Iglesia, están asimilando la contaminación (auto-depuración), de que son objeto, o si por el contrario se está bio-acumulando llegando a condiciones toxicas.

**3.4.2 Comparación estadística en época de lluvia y estiaje.** El contraste de las variables fisicoquímicas en época de lluvia y no lluvia, permitió estudiar el comportamiento de éstas influenciados por fenómenos atmosféricos, relacionados con el régimen de precipitación. El estudio de estadísticos de referencia como la media, la desviación estándar, error estándar de la media, intervalo de confianza y prueba de normalidad posibilitan la comparación entre estas dos épocas y establecen si estadísticamente existe una diferencia significativa. Así mismo, se pudo establecer si se presenta contaminación difusa, de origen agrícola, en la MROB ocasionada por el arrastre nutrientes presentes en el suelo.

**3.4.3 Análisis del Índice de Calidad del Agua (ICA).** Parten del supuesto de generalidad respecto a la condición de los cursos hídricos y definen con base en el estado del conocimiento de los efectos que las variables fisicoquímicos producen sobre las comunidades bióticas. Éstos no tienen en cuenta la condición natural del afluente y en que magnitud varía un parámetro a causa de un vertimiento, simplemente definen que una determinada concentración es buena, regular o mala, independiente del tipo de cauce [36]. Se evaluó el estado del recurso hídrico sobre MROB, en base al ICA adoptado por la CDMB a partir de la CETESB (Compañía Ambiental del Estado de São Paulo) [54], igualmente se analizó su evolución temporal comprendiendo como ha sido el desarrollo y tendencia en el futuro.

### **3.5 INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS**

Los resultados presentados no pueden ser tomados como concluyentes dada la poca homogeneidad en el registro de los datos de calidad de agua que la CDMB tiene en sus bases de datos. Sin embargo, es posible inferir el estado de la microcuenca tomando variables que son críticas en la calidad de agua del efluente.

## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1 ANÁLISIS PRELIMINAR DE LOS DATOS

**4.1.1 ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA.** El análisis de estadística descriptiva se hizo con el objetivo de tener una imagen global de las variables fisicoquímicas (Anexo B) y poder observar a grandes rasgos las diferencias entre éstas. La Tabla 9 y Tabla 10 muestran el resumen estadístico para la estaciones LF-01, sobre la quebrada La Flora, y MA-01, ubicada sobre la quebrada El Macho, para un subconjunto de variables.

**Tabla 9.** Resumen estadístico de un subconjunto de variables de la estación LF-01.

Tipo	Parametros	Caudal	DBO5	DQO	P.Total	N.Total	O.D	Sól.Susp	Sól.Totales	Temp.Agua	pH
Unidades		[m3/s]	[mgO2/l]	[mgO2/l]	[mgP/l]	[mgN/l]	[mgO2/l]	[mg/l]	[mg/l]	[C]	[pH]
Generales	<b>N</b>	73	98	69	98	67	98	98	98	98	98
	<b>Max</b>	0.328	264.000	492.000	17.600	78.290	8.560	33810	35040	23.400	8.620
	<b>Min</b>	0.002	1.300	15.000	0.060	1.240	0.000	2.000	2.180	17.000	6.440
Medidas de tendencia central	<b>Media</b>	0.040	29.344	99.258	1.224	9.677	6.407	917.097	1138.318	19.956	7.878
	<b>Mediana</b>	0.019	11.000	56.000	0.640	5.390	6.805	28.500	239.000	20.300	7.880
	<b>Moda</b>	0.017	11.000	56.000	0.790	5.390	7.600	8.000	228.000	18.000	7.800
	<b>Q1</b>	0.011	6.225	31.000	0.323	3.560	6.100	11.625	183.500	19.000	7.700
	<b>Q3</b>	0.037	22.825	96.000	1.348	10.044	7.600	179.000	411.500	21.000	8.148
	<b>IQR</b>	0.026	16.600	65.000	1.025	6.484	1.500	167.375	228.000	2.000	0.448
C. Variación	<b>Rango</b>	0.326	262.700	477.000	17.540	77.050	8.560	3.38E+04	3.50E+04	6.400	2.180
	<b>Varianza</b>	0.003	2381.407	12707.131	4.686	141.621	2.952	1.66E+07	1.77E+07	2.348	0.144
	<b>D.E.</b>	0.057	48.800	112.726	2.165	11.900	1.718	4079.705	4203.180	1.532	0.380
C. Adimensionales	<b>C.V.</b>	1.430	1.663	1.136	1.769	1.230	0.268	4.448	3.692	0.077	0.048
	<b>C.A.</b>	3.059	3.034	1.992	5.663	3.549	-1.778	6.590	6.591	-0.238	-0.795
	<b>Curiosis</b>	10.392	9.507	3.253	37.949	16.616	3.209	47.733	47.768	-0.355	1.574

\* *P.Total*: fósforo total, *N.Total*: nitrógeno total, *OD*: oxígeno disuelto, *Sól.Susp*: sólidos suspendidos. *Sól.Totales*: sólidos totales. *Q1*: primer cuartil, *Q2*: segundo cuartil, *IQR*: rango intercuartílico, *D.E.*: desviación estándar, *C.V.*: coeficiente de variación, *C.A.*: coeficiente de asimetría.

La estación LF-01 (Figura 6), es el punto de monitoreo que se encuentra a mayor altura dentro de la MROB, a 1026 m.s.n.m., en cercanías a éste se encuentra la vereda 10 de Mayo Santa Bárbara, con algunos asentamientos humanos. Se esperaría que la calidad del agua fuera optima dado el poco contacto con agentes antrópicos, no obstante esta presenta valores de DBO<sub>5</sub> y DQO superiores, para sostener vida acuática ( $6[mgO_2/L]$  y  $12[mgO_2/L]$ ) [55], el valor de O.D. está en rangos normales, con un valor promedio superior a  $6[mgO_2/L]$ , a pesar de que en algún momento ha presentado condiciones anóxicas, originado posiblemente por la descarga de aguas residuales domésticas de asentamientos ilegales que no cuentan con servicio de alcantarillado, corroborado con la concentración de Coliformes Fecales, (**Anexo C**).

Figura 6. Quebrada La Flora, punto de monitoreo LF-01.



Fuente. [18]

La quebrada El Macho (MA-01), aledaño a la fábrica de Coca-Cola, en la ciudad de Bucaramanga, tiene un comportamiento estadístico general de las principales variables como se muestra en la Tabla 10.

Tabla 10. Resumen estadístico de un subconjunto de variables de la estación MA-01.

Tipo	Parametros	Caudal	DBO5	DQO	P.Total	N.Total	O.D	Sól.Susp	Sól.Totales	Temp.Agua	pH
Unidades		[m3/s]	[mgO2/l]	[mgO2/l]	[mgP/l]	[mgN/l]	[mgO2/l]	[mg/l]	[mg/l]	[C]	[pH]
Generales	N	74	98	70	97	67	98	97	97	98	98
	Max	0.085	905.000	2001.000	10.300	57.507	7.300	1070.000	2002.000	27.700	8.210
	Min	0.001	4.200	25.000	0.270	4.625	0.000	3.000	136.000	21.000	6.600
Medidas de tendencia central	Media	0.031	121.257	275.491	4.449	29.937	2.017	113.773	456.093	24.281	7.507
	Mediana	0.025	108.000	237.500	4.640	28.300	1.555	88.000	436.000	24.450	7.500
	Moda	0.069	106.000	31.000	4.500	22.200	0.000	68.000	390.000	22.000	7.500
	Q1	0.012	47.000	112.500	2.735	20.332	0.000	52.000	358.000	23.000	7.410
	Q3	0.048	168.750	393.250	5.670	41.054	3.463	140.000	542.000	25.300	7.600
	IQR	0.036	121.750	280.750	2.935	20.722	3.463	88.000	184.000	2.300	0.190
Coef. Variación	Rango	0.084	900.800	1976.000	10.030	52.882	7.300	1067.000	1866.000	6.700	1.610
	Varianza	0.000	11816.960	70964.587	5.320	186.277	4.085	15227.662	45863.085	2.202	0.047
	D.E.	0.022	108.706	266.392	2.306	13.648	2.021	123.400	214.157	1.484	0.216
Coef. Adimensionales	C.V.	0.723	0.896	0.967	0.518	0.456	1.002	1.085	0.470	0.061	0.029
	C.A.	0.498	3.912	4.050	0.195	0.181	0.746	5.096	3.936	-0.092	-0.491
	Curtosis	-0.838	27.057	25.086	-0.270	-0.854	-0.511	37.431	27.622	-0.356	3.575

\* P.Total: fósforo total, N.Total: nitrógeno total, OD: oxígeno disuelto, Sól.Susp:sólidos suspendidos. Sól.Totales: sólidos totales. Q1: primer cuartil, Q2: segundo cuartil, IQR: rango intercuartílico, D.E.: desviación estándar, C.V.: coeficiente de variación, C.A.: coeficiente de asimetría.

La contaminación es un poco más acentuada en este punto, al ver que variables de referencia (DBO<sub>5</sub>, DQO, O.D., Fósforo Total, entre otras) son peores en comparación con el punto de monitoreo LF-01, como consecuencia de la contaminación del agua al atravesar urbes que provocan el deterioro de la calidad del agua en general [56]. La disposición directa de aguas residuales o industriales es algo común, a pesar de ser ilegal, en los afluentes que atraviesan los municipios de Bucaramanga y Girón, sobre la quebrada El Macho se observa esta problemática (Figura 7).

Figura 7. Quebrada El Macho, punto de monitoreo MA-01.

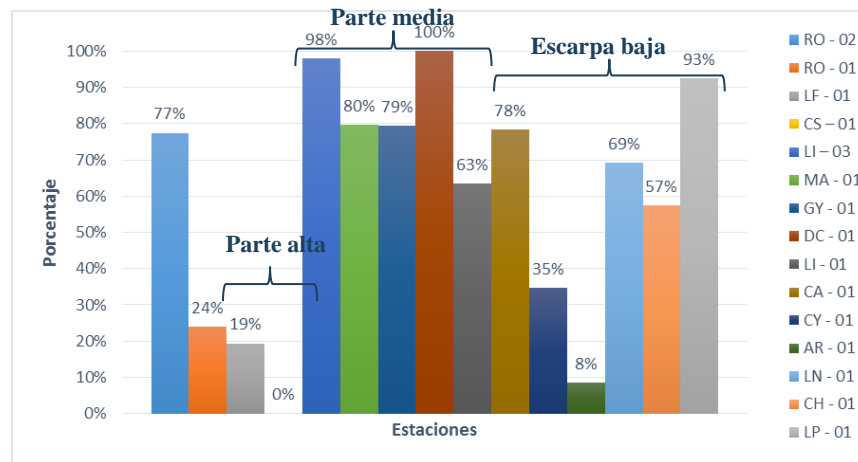


Fuente. [18]

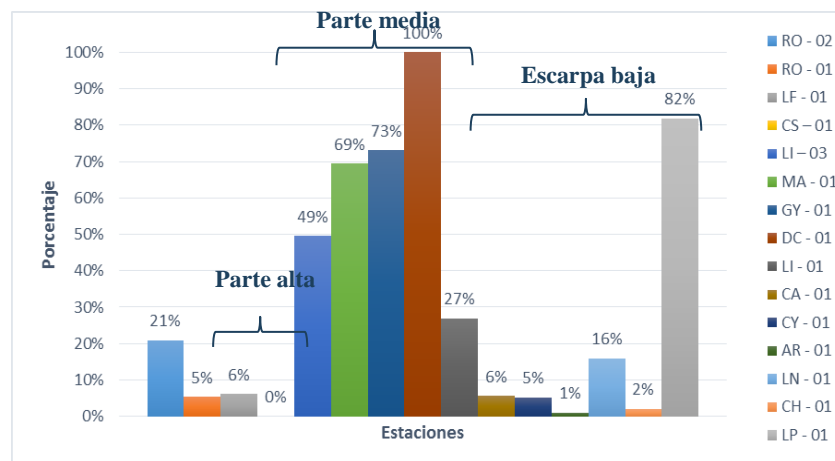
Los resúmenes estadísticos para las 15 estaciones de monitoreo sobre la MROB y todas las variables fisicoquímicas analizadas, se encuentran en el **Anexo C**.

Se sintetiza el estado global de MROB que presentan concentraciones de DBO<sub>5</sub> superiores a 30 [ $mgO_2/L$ ] (Figura 8) y Oxígeno Disuelto inferiores a 3 [ $mgO_2/L$ ] (Figura 9). Se evidencia que a medida que se desciende por la microcuenca la contaminación es un poco más acentuada, es así que la quebrada El Macho (MA-01), localizada en la parte media en variables de referencia como DBO<sub>5</sub>, DQO, O.D., Fósforo Total, entre otras son peores en comparación con el punto de monitoreo LF-01, a causa de los afluentes que descienden de la parte alta y atraviesan zonas pobladas provocando el deterioro de la calidad del agua en general [34] [56] [57].

**Figura 8.** Porcentaje de datos de DBO5 superiores a 30[mgO2/L] en MROB.



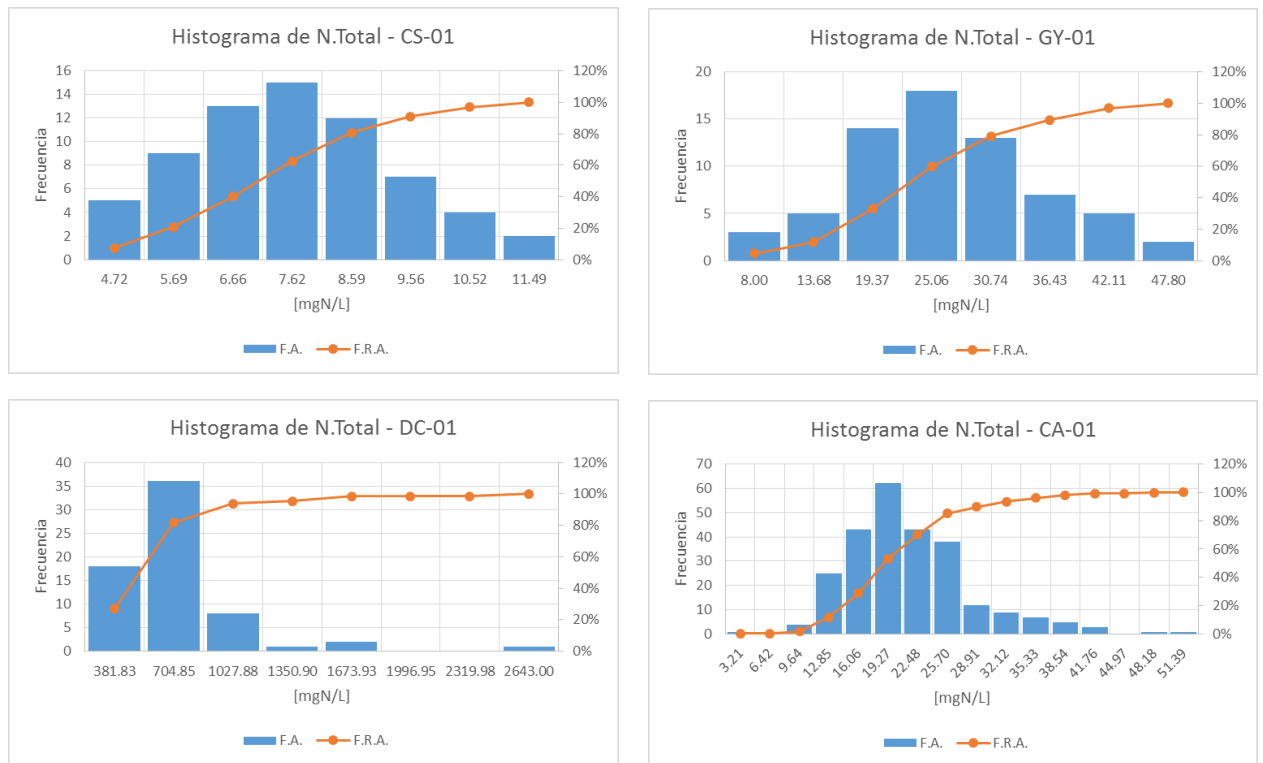
**Figura 9.** Porcentaje de datos de Oxígeno Disuelto menores a 3[mgO2/L] en MROB.



## 4.1.2 DISTRIBUCIÓN DE FRECUENCIAS

**4.1.2.1 Nitrógeno Total.** Los histogramas mostrados para los puntos de monitoreo CS-01, GY-01, DC-01 y CA-01, ubicados en la parte media de MROB, permitieron evaluar paralelamente dos aspectos de la variable: i) analizar la distribución del parámetro y ii) estudiar los valores extremos. Es importante resaltar que este análisis se realizó en todas las estaciones y parámetros estudiados, se encuentran en el Anexo C.

**Figura 10.** Histogramas de Nitrógeno Total para las estaciones CS-01, GY-01, DC-01 y CA-01.



\* F.A.: frecuencia absoluta, F.R.A.: frecuencia relativa acumulada.

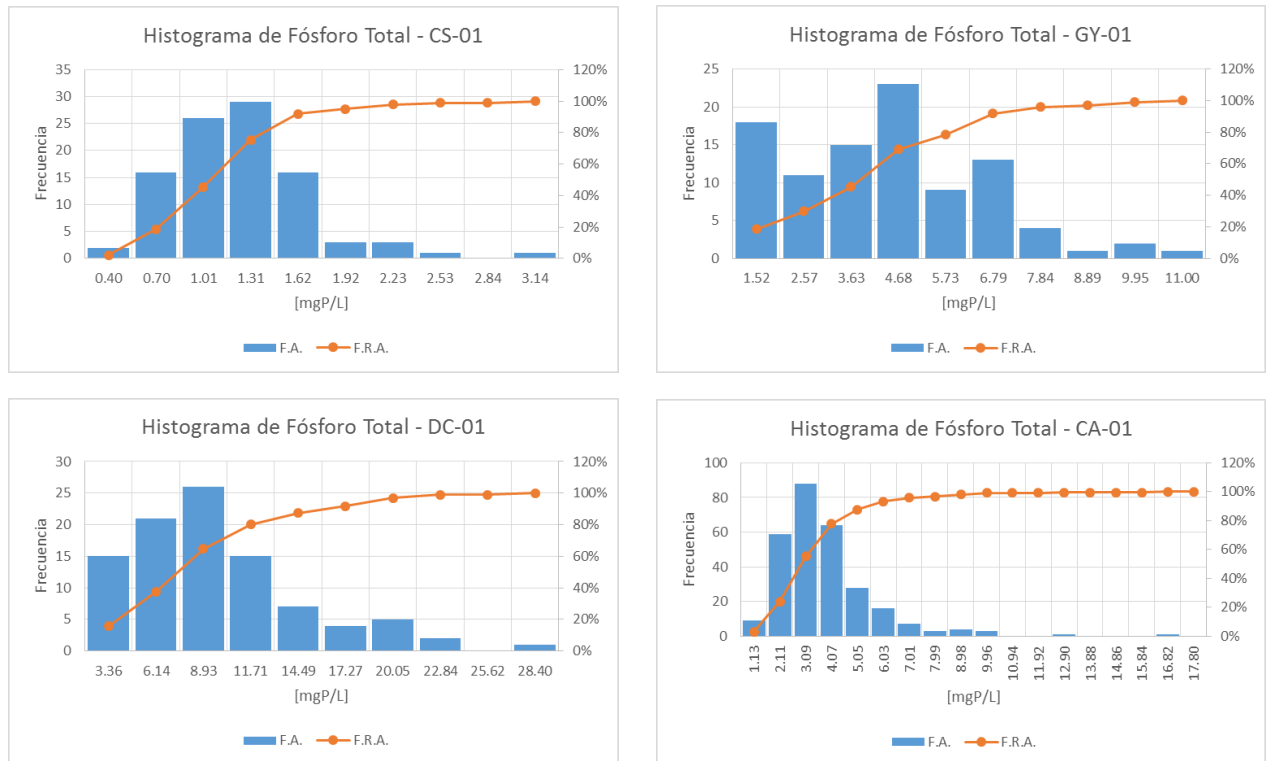
En un primer vistazo se observa que la estación DC-01, sobre la quebrada El Carrasco, tiene concentraciones de Nitrógeno Total muy por encima del promedio general, la principal causa de este deterioro abrupto posiblemente es la proximidad que existe con el sitio de disposición de residuos sólidos El Carrasco; la descomposición de la materia orgánica origina lixiviados con altas cargas contaminantes que probablemente provocan las condiciones tóxicas de este efluente. Los nutrientes presentes en el agua, principalmente el nitrógeno, tienen especial importancia dada las consecuencias ambientales y sanitarias. Un alto contenido de nutrientes provoca un aumento de la acidez, eutrofización y toxicidad de los sistemas acuáticos, que afectan la sobrevivencia, crecimiento y capacidad reproductiva de algunos animales [58].

Así mismo, se pudo investigar valores extremos que aparentemente no pertenecen a la distribución, los puntos de monitoreo CS-01, GY-01 y CA-01, presentan distribuciones normales, sin ningún valor que la altere. No obstante, la estación DC-01 presenta un valor muy superior que se sale de la distribución (2643 [mgN/L]), dato que fue analizado en conjunto con el resto de parámetros fisicoquímicos del día de la toma de la muestra, del cual se concluyó que fue originado por una descarga puntual y no un error de origen humano.

**4.1.2.2 Fósforo Total.** La contaminación por nutrientes está estrechamente relacionada, el efecto que produce, la eutrofización, tiene graves consecuencias sobre el ecosistema [58]. En los puntos de monitoreo LI-03, MA-01, GY-01, LI-01, CA-01, CY-01, LN-01, CH-01 y LP-01 la concentración de Fósforo no sobrepasa el límite para mantener vida acuática (10 [mgP/L]) [55], sin embargo, en combinación con otros elementos como el Nitrógeno pueden afectar la cadena trófica y aumentar la entropía del ecosistema, de igual forma trae problemas de olor y colmatación, así como el crecimiento exponencial de algas y generación de condiciones anóxicas en las fuentes hídricas [59].

En la Figura 11 se muestran los histogramas de Fósforo Total para las estaciones CS-01, GY-01, DC-01 y CA-01, en las cuales se observa la distribución de frecuencia de este parámetro.

**Figura 11.** Histogramas de Fósforo Total para las estaciones CS-01, GY-01, DC-01 y CA-01.



\* F.A.: frecuencia absoluta, F.R.A.: frecuencia relativa acumulada.

Los histogramas para todas las variables de los puntos de monitoreo estudiados en MROB pueden ser encontrados en el **Anexo C**.

## 4.2 ANÁLISIS ESPACIAL DE INFORMACIÓN DE CALIDAD DE AGUA

**4.2.1 Evaluación de parámetros fisicoquímicos respecto a normas nacionales e internacionales por estación.** La apreciación de los parámetros fisicoquímicos comparados respecto a normas nacionales e internacionales, permite resaltar el cumplimiento de la reglamentación ambiental dispuesta hasta el momento, con el objeto de comparar el estado de la calidad del agua de acuerdo a éstas, a lo largo de MROB.

La normativa nacional vigente se detalla en el Decreto 1076 del 2015 [47], en la sección 9, disposiciones transitorias, en la cual el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible fija mediante resolución los usos del agua, criterios de calidad, normas de vertimiento a los cuerpos de agua y el Protocolo de Monitoreo de los Vertimientos en Aguas Superficiales y Subterráneas. El Decreto 3930 del 2010 [48], en el Capítulo XI, disposiciones finales, se dan los preceptos generales en la reglamentación de los usos del agua y normas de vertimiento.

En normas internacionales, un referente es la EPA<sup>6</sup>, que define los criterios admisibles para diferentes usos del agua en una extensa lista de parámetros en Quality Criteria for Water [49], reconocido también como The Gold Book, y en Water Quality Standards Handbook [50]. Se cuenta también con los criterios de calidad para contaminantes prioritarios establecidos por el estado de California en Estados Unidos [51], dentro de los programas liderados por la EPA, en respuesta a la Ley de Aguas Limpias (Clean Water Act). La norma oficial mexicana fundamenta su reglamento de acuerdo a los criterios ecológicos de calidad del agua, y especifica su normatividad de acuerdo a su uso potencial [52] [53].

Los límites bajo los cuales se comparó el estado del agua se exhiben en las Tablas 11-13, para usos respectivos de agricultura, recreación y consumo humano, en éstas se enuncia el máximo valor propuesto a partir de las normas de comparación, los estándares y criterios encontrados en la literatura para los diferentes usos potenciales.

**Tabla 11.** Criterios de referencia en uso potencial de agricultura restringida y no restringida.

Agricultura restringida		Agricultura no restringida	
PH	4.5-9	PH	4.5-9
DBO5 [mgO2/L]	<30	DBO5 [mgO2/L]	<10
Sól.Susp[mg/L]	<30	C.Fecales[NMP/100mL]	<1000
C.Fecales[NMP/100mL]	<1000	C.Totales[NMP/100mL]	<5000
C.Totales[NMP/100mL]	<5000	Sól. Filtrables[mg/L]	<5000
Sól. Filtrables[mg/L]	<5000	O.D [mgO2/L]	>2

<sup>6</sup> Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos, por sus siglas en inglés EPA.

**Tabla 12.** Criterios de referencia en uso potencial de contacto primario y secundario.

Contacto Primario		Contacto Secundario	
PH	5-9	PH	5-9
DBO5 [mgO2/L]	<30	DBO5 [mgO2/L]	<20
Turbiedad[NTU]	<15	Turbiedad[NTU]	<10
Sól.Susp[mg/L]	<500	C.Fecales[NMP/100mL]	<200
C.Fecales[NMP/100mL]	<200	C.Totales[NMP/100mL]	<1000
C.Totales[NMP/100mL]	<5000	O.D [mgO2/L]	>6
O.D [mgO2/L]	>6	Temp.Agua [°C]	20-30

**Tabla 13.** Criterios de referencia en uso potencial de consumo bajo tratamiento convencional y desinfección.

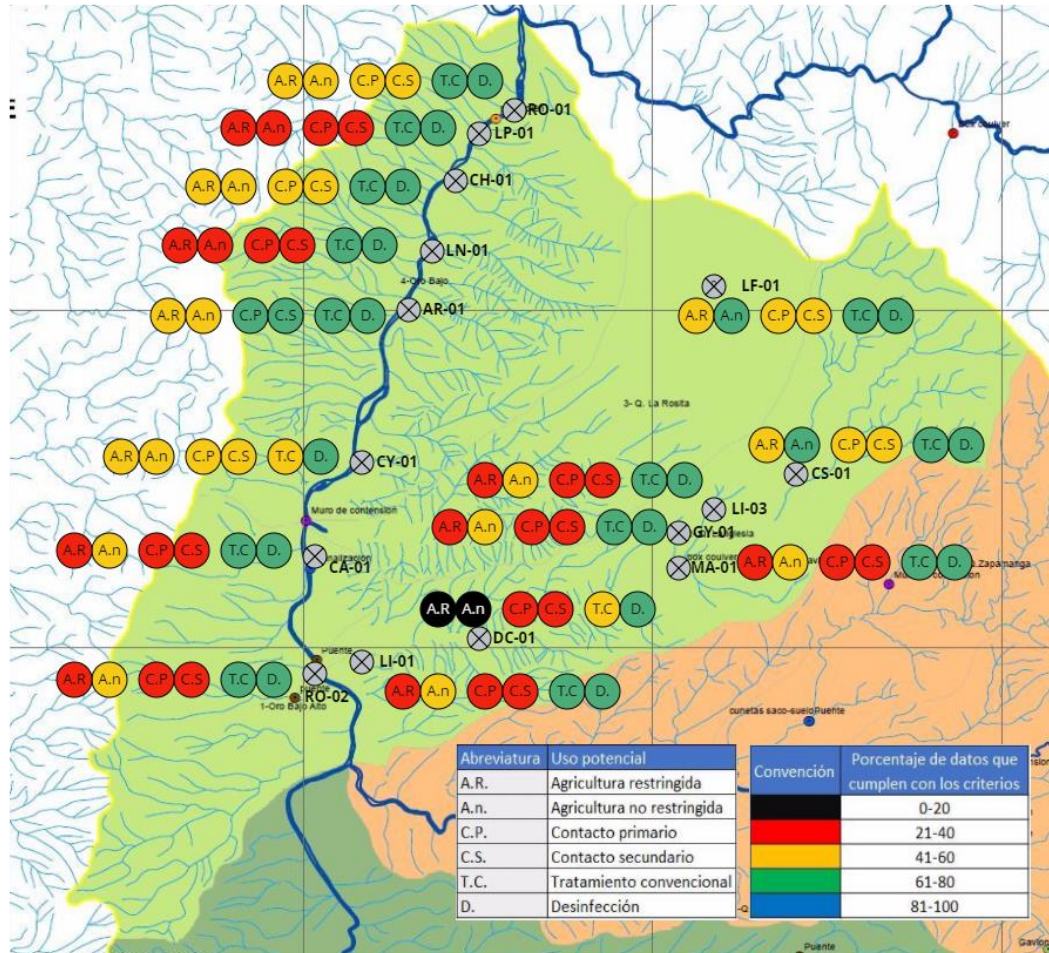
Consumo Humano y doméstico (T. convencional)		Consumo Humano y doméstico (Desinfección)	
PH	5-9	PH	6.5-8.5
Turbiedad[NTU]	190	Turbiedad[NTU]	190
C.Fecales[NMP/100mL]	2000	C.Fecales[NMP/100mL]	1000
C.Totales[NMP/100mL]	20000	Nitratos[mgN/L]	10
Nitratos[mgN/L]	10	Nitritos[mgN/L]	1
Nitritos[mgN/L]	1		

En la Figura 12 se sintetiza la evaluación del recurso hídrico respecto a estándares y criterios de calidad del agua nacionales e internacionales. Se puede afirmar que los resultados obtenidos están influenciados por la ubicación de los puntos de vertimiento, estaciones de monitoreo como LI-03, GY-01 y MA-01, localizados dentro del área metropolitana, reciben las descargas de industrias localizadas aguas arriba, dando como resultado un deterioro del agua e imposibilitando su uso para los fines estudiados, descendiendo por la microcuenca esta tendencia mantiene, resaltando la estación DC-01, que presenta valores inferiores al 20% en el cumplimiento de criterios de calidad de agua. Así mismo, los puntos de monitoreo ubicados antes de la confluencia con el Río de Oro, sobre la escarpa de Bucaramanga (LP-01, LN-01 y CA-01), no son aptos para los usos estudiados, con porcentaje de valores que cumplen con la norma de entre 21%-40% (Figura 12), influenciado por desechos de origen doméstico e industrial, conducidos por el alcantarillado hasta la escarpa, donde son descargados descendiendo por ésta hasta confluir con el Río de Oro [31] [32] [33].

Usos potenciales como agricultura restringida y no restringida, contacto primario y secundario, tienen porcentajes de datos que cumplen con los criterios inferiores al 60% en toda la microcuenca, así mismo, el destino de agua para consumo humano y doméstico con tratamiento convencional presenta valores en general entre 61% y 80%, de igual forma con tratamiento de desinfección, es importante resaltar que los parámetros que no fueron cumplidos en ninguna de los puntos de monitoreo son Coliformes fecales y Coliformes totales, presentado valores en

órdenes de millones, es por ello que no se obtuvieron porcentajes óptimos, superiores al 80%, en ninguna de las estaciones estudiadas.

Figura 12. Evaluación del recurso hídrico respecto a estándares y criterios de calidad del agua.



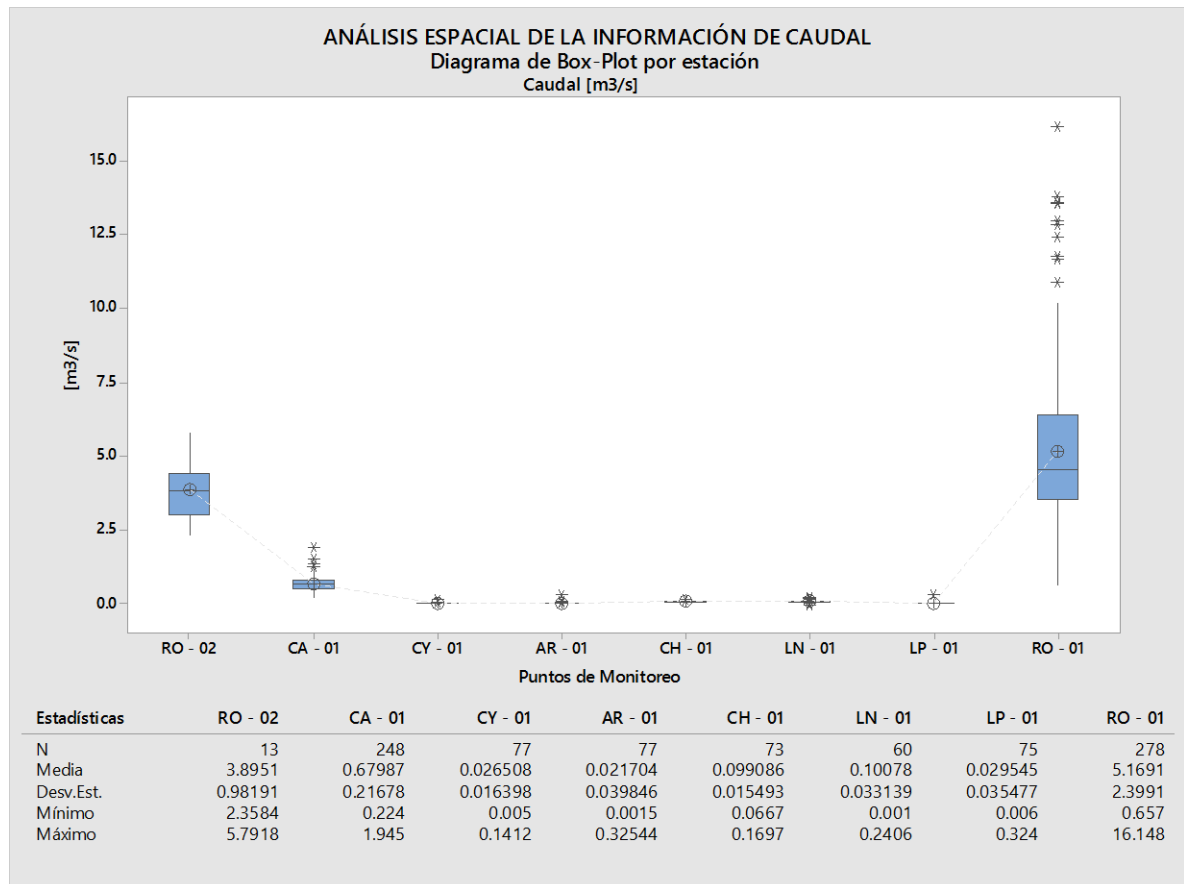
Adaptado de: [18]

**4.2.2 Diagramas de caja de variables fisicoquímicas por estación.** El diagrama de caja o Box-Plot, resume varios estadísticos dentro de una gráfica sencilla de entender, a continuación se muestra este gráfico para un subconjunto de variables de interés. Las ilustraciones que se muestran, representan una sección de la microcuenca, los puntos de monitoreo representados están ordenados de forma descendente en altura, RO-02 (691 m.s.n.m.) y RO-01 (628 m.s.n.m.) son los puntos extremos de esta sección. Es importante resaltar que las estaciones anteriormente mencionadas se encuentran sobre el Río de Oro, a la entrada y cierre de la microcuenca, los puntos restantes se localizan sobre afluentes del mismo. La totalidad de las gráficas para las variables fisicoquímicas y puntos de monitoreo estudiados se encuentran en el **Anexo E**.

A continuación se discute el comportamiento de las variables seleccionadas: Caudal, DBO<sub>5</sub>, DQO, Fósforo total, Nitrógeno Total, Oxígeno disuelto y Sólidos totales. En rojo se delimita el valor crítico para aguas frescas con el fin de mantener vida acuática [55].

**4.2.2.1 Caudal.** La información de caudal para puntos como RO-02 no es confiable, únicamente tiene registrados 13 datos en 12 años de funcionamiento, aun así el diagrama de caja para este punto no tiene valores atípicos y su rango intercuartílico no presenta gran variación (Figura 13).

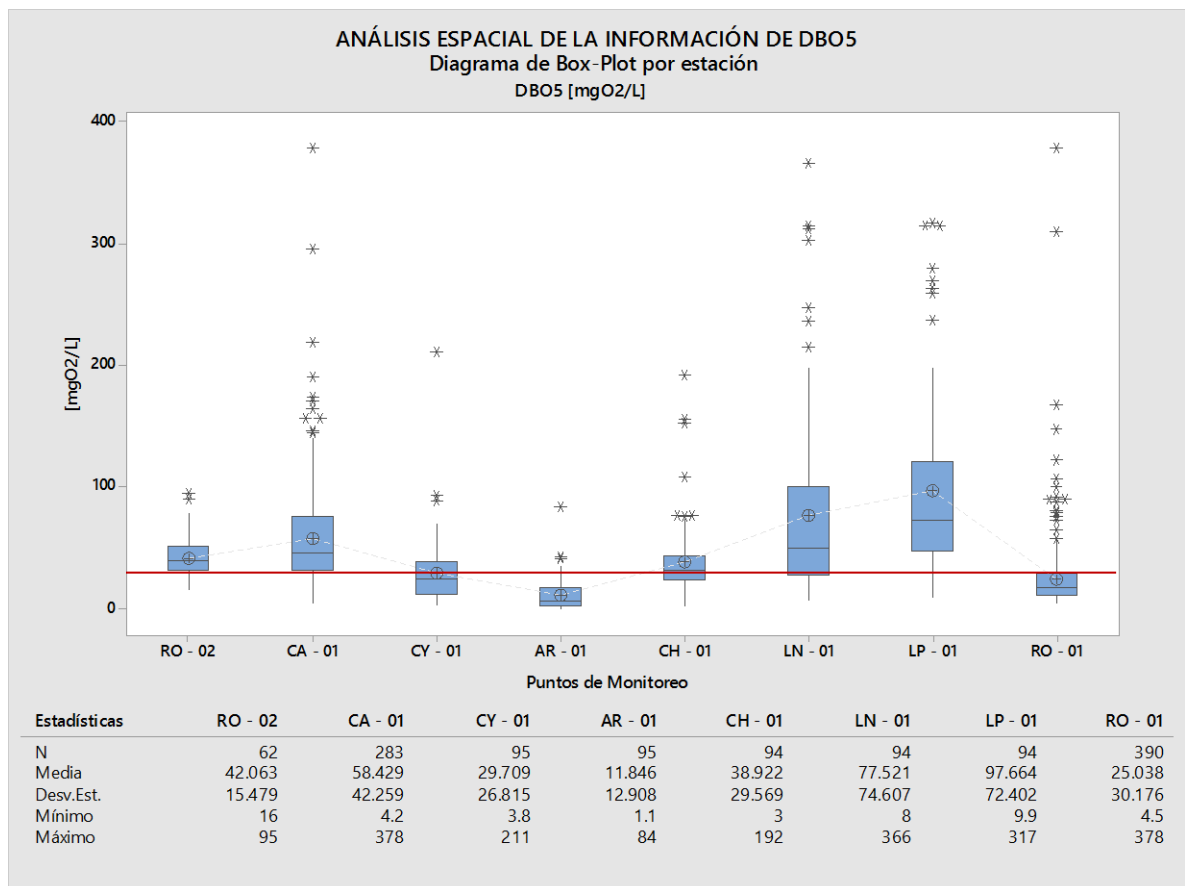
Figura 13. Diagrama de caja para Caudal (RO-02 – RO-01).



En esta sección los caudales que tienen las corrientes afluentes tienen su máximo en el punto de monitoreo CA-01, ubicado sobre la quebrada Chimitá, así mismo es posible notar el aumento del caudal a la entrada y cierre de la microcuenca, en un promedio de 1.28 [m<sup>3</sup>/s]. Por otro lado, los caudales de las afluentes no superan en promedio los 0.1 [m<sup>3</sup>/s], provocando los altos valores de concentración de variables indicadoras de contaminación, al tener poca capacidad atenuadora.

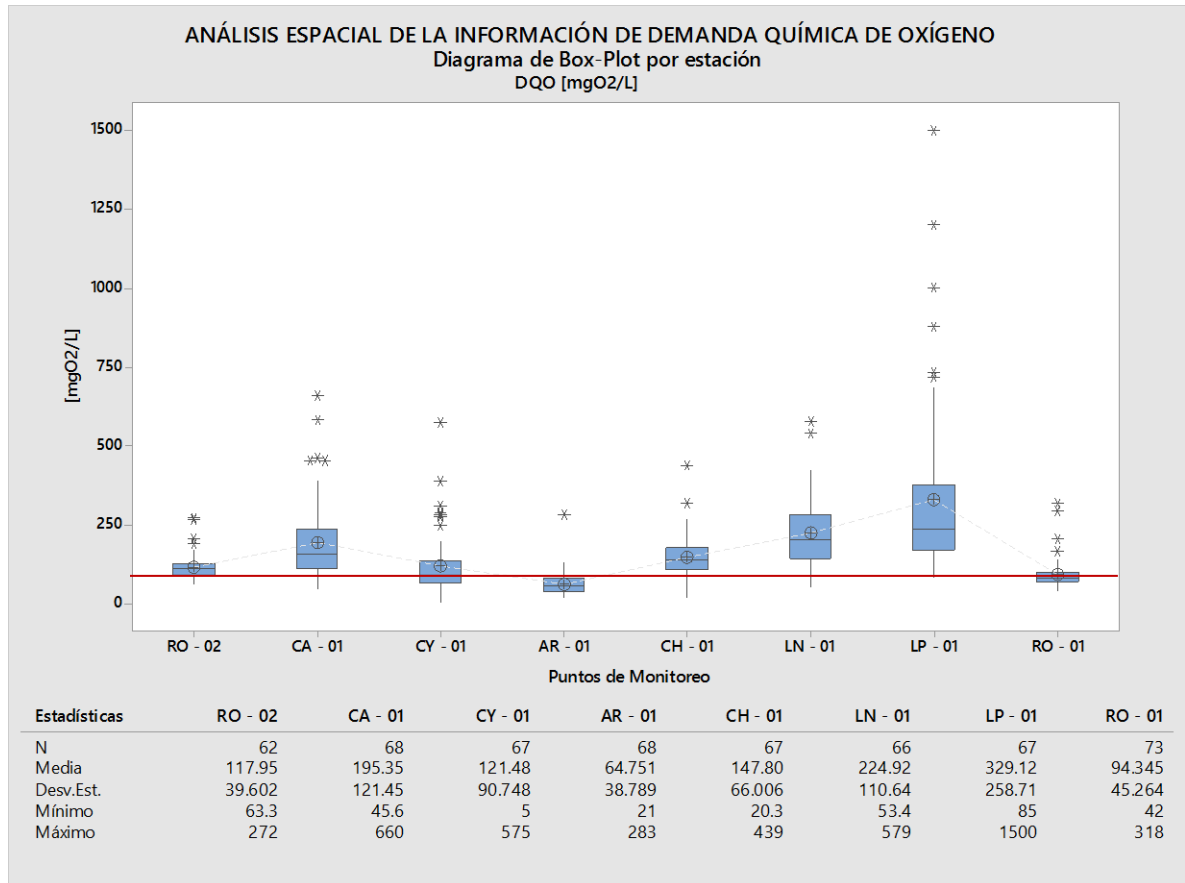
**4.2.2.2 DBO<sub>5</sub>.** El punto con mayor DBO<sub>5</sub> es DC-01, sobre la quebrada El Carrasco, con una media de 3807.1 [mgO<sub>2</sub>/L] y un máximo de 16200 [mgO<sub>2</sub>/L], esta estación puede ser consultada con mayor detalle en el Anexo E. En el tramo mostrado (Figura 14), hay una concentración de DBO<sub>5</sub> considerable en quebradas antes del cierre de la microcuenca (LN-01 y LP-01), los caudales de estos afluentes son bajos por lo que la dilución en la confluencia con el Río de Oro baja considerablemente este parámetro (concentración promedio de DBO<sub>5</sub> en RO-01 de 25.04 [mgO<sub>2</sub>/L]), de igual forma ocurre con quebradas en la parte alta de la microcuenca que entregan sus aguas en cercanías al punto RO-02.

Figura 14. Diagrama de caja para DBO<sub>5</sub> (RO-02 – RO-01).



**4.2.2.3 DQO.** Tiene una estrecha relación con la DBO<sub>5</sub>, así pues el punto de mayor contaminación sigue siendo DC-01 (ver Anexo E), de igual forma se puede observar el poder de recuperación del Río de Oro a pesar de las altas cargas contaminantes que se realizan sobre éste, saliendo de la microcuenca con un valor de 94.34 [mgO<sub>2</sub>/L], en promedio, cuando es objeto de descargas de 6150.5, 249.83, 275.49, 235.03 y 329.12 [mgO<sub>2</sub>/L], de las quebradas Carrasco, Guacamaya, El Macho, La Iglesia y La Picha respectivamente.

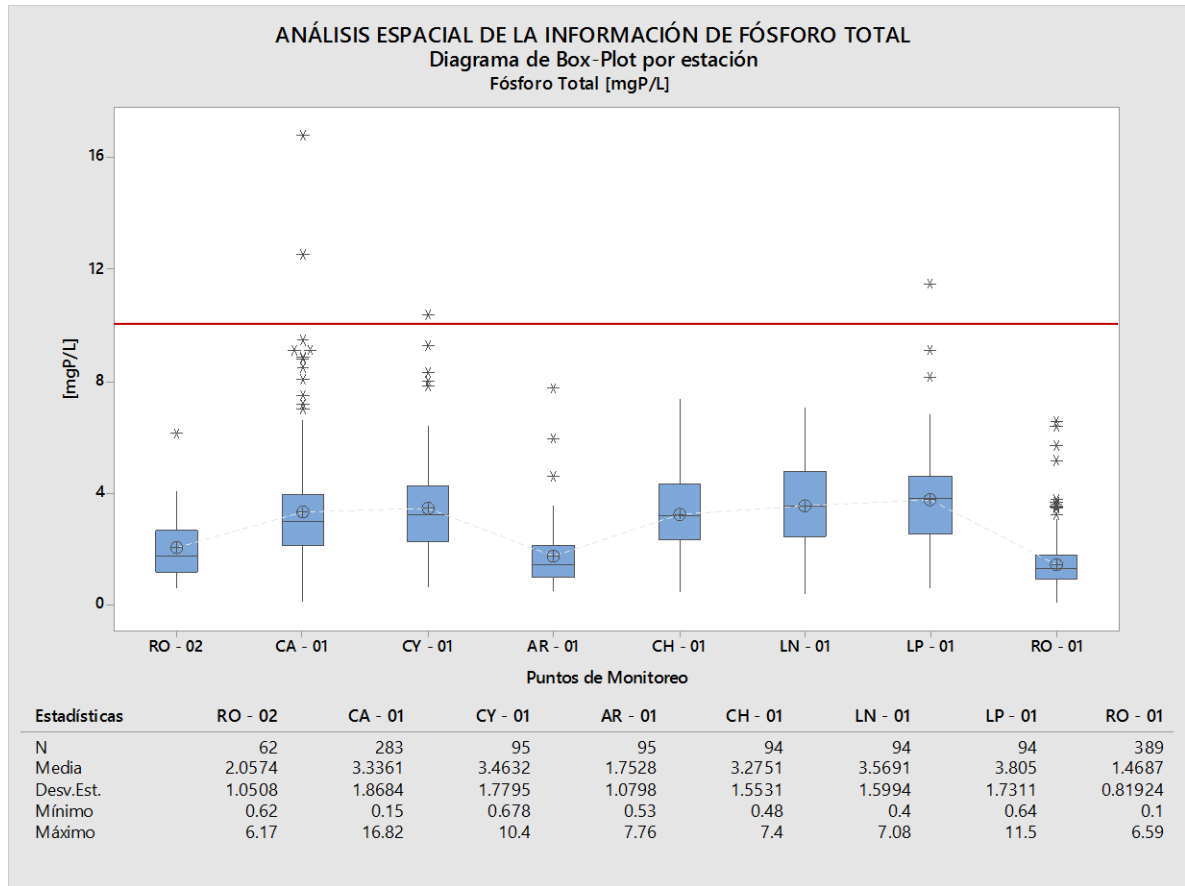
Figura 15. Diagrama de caja para DQO (RO-02 – RO-01).



Las descargas puntuales se presentan como valores extremos en la parte superior de los diagramas de caja, superando en hasta cuatro veces el promedio (Figura 15), en todas las estaciones es posible observar estos valores que en un principio lucen como datos aberrantes, pero con un exhaustivo análisis del conjunto de variables fisicoquímicas del día de la toma de la muestra, se concluye que son consecuencia de alguna alteración externa o descarga puntual.

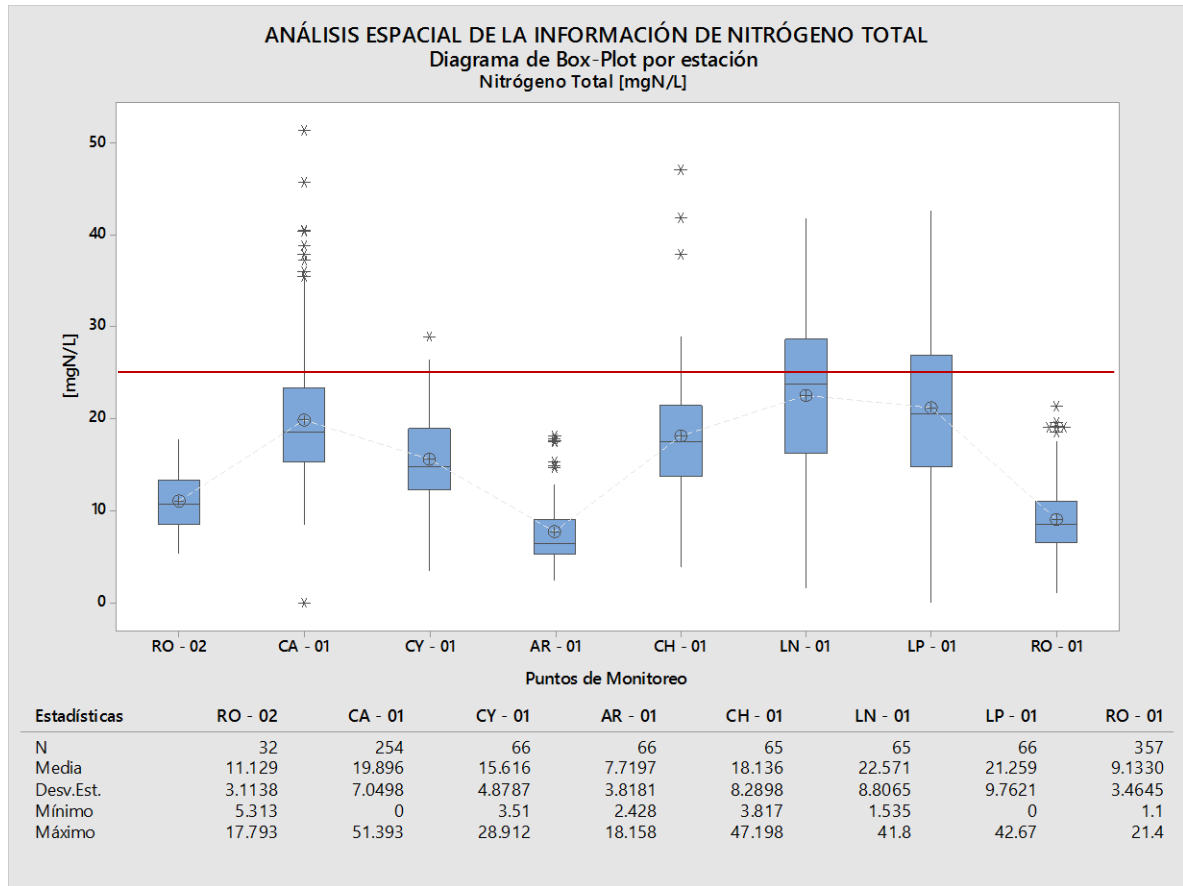
**4.2.2.4 Fósforo total.** A pesar de que la concentración promedio de Fósforo Total en todas las estaciones está por debajo de las recomendaciones que establece la norma para este parámetro ( 10 [mgP/L] ) [55], el efecto en combinación con otros nutrientes como Potasio, Nitrógeno, Magnesio y otros productos orgánicos, puede biomagnificar el grado de contaminación, que en casos extremos puede producir la eutrofización del curso de agua, así como daños a los ecosistemas circundantes al llegar a concentraciones tóxicas [59]. En estaciones como CA-01, CY-01, LP-01, LF-01 y DC-01, se tienen registros donde se supera el límite recomendado (Figura 16), su origen puede deberse a descomposición de materia orgánica, contaminación difusa por agricultura o vertidos industriales fosfatados.

Figura 16. Diagrama de caja para Fósforo Total (RO-02 – RO-01).



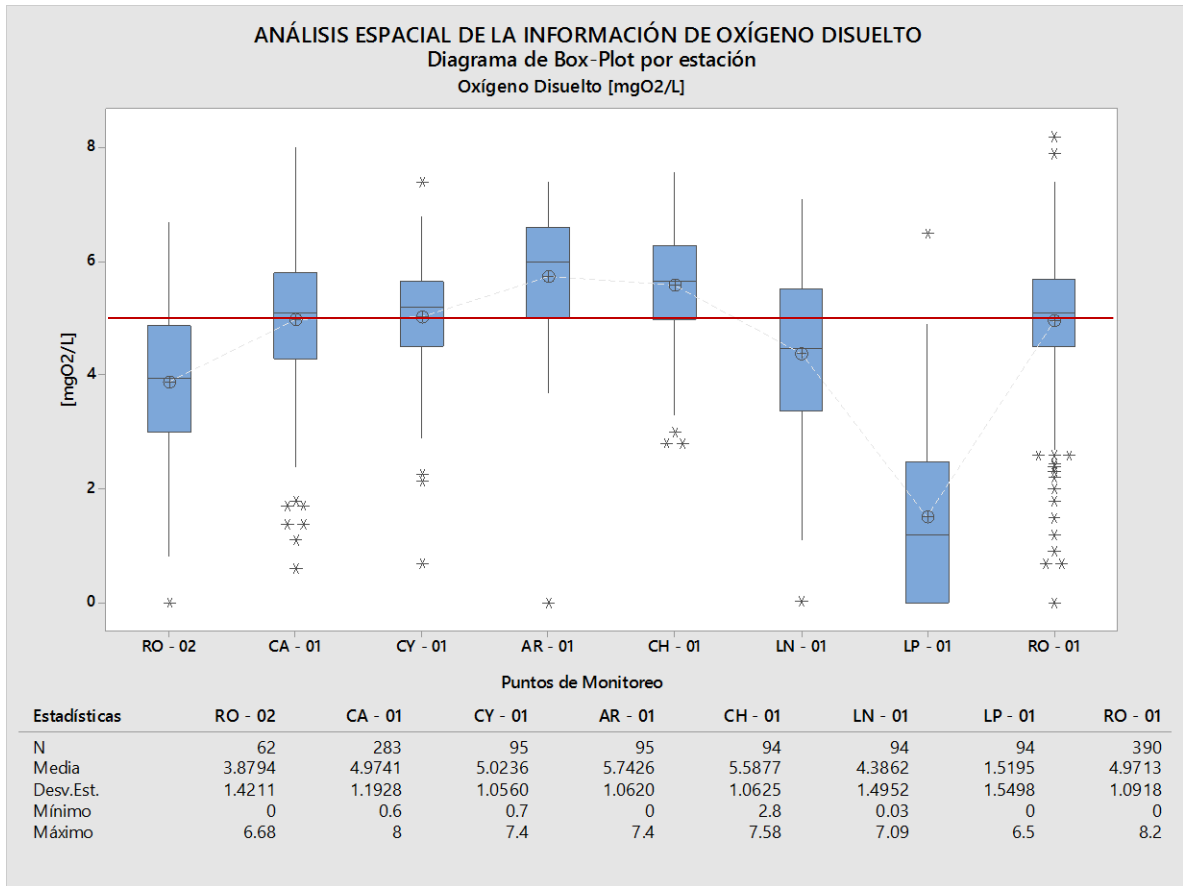
**4.2.2.5 Nitrógeno total.** Existe un patrón de contaminación por nutrientes, algunas fuentes presentan elevadas concentraciones de Nitrógeno así como de Fósforo, puntos de monitoreo como CA-01, CH-01, LN-01, LP-01, LI-03, GY-01, MA-01 y DC-01, comparten elevados valores de estos dos parámetros. La polución de origen agrícola en MROB, una de los principales orígenes de enriquecimiento de estos dos compuestos, solo representa el 11% del suelo en esta zona, de manera que la contaminación difusa agrícola podría no ser la fuente principal, siendo posiblemente los desechos industriales y domésticos el origen de la contaminación.

Figura 17. Diagrama de caja para Nitrógeno Total (RO-02 – RO-01).



**4.2.2.6 Oxígeno disuelto.** Es un indicador de calidad de agua muy importante, las bajas concentraciones de éste advierten sobre la mala calidad del recurso hídrico. En la microcuenca de Río de Oro (MROB) bajo, 13 de las 15 estaciones monitoreadas han llegado a tener condiciones anóxicas en algún momento, lo que significa que su nivel de oxígeno disuelto ha sido 0 [mgO<sub>2</sub>/L] o muy próximo a éste (ver Anexo E). Estos bajos niveles de oxígeno podrían haber ocasionado la desaparición de la vida acuática dado que esta requiere de forma constante mínimo 5 [mgO<sub>2</sub>/L] [60]. Paralelamente, los bajos niveles de oxígeno afectan indicadores, no solo bioquímicos, también estéticos como olor, claridad y sabor [61].

**Figura 18.** Diagrama de caja para Oxígeno Disuelto (RO-02 – RO-01).

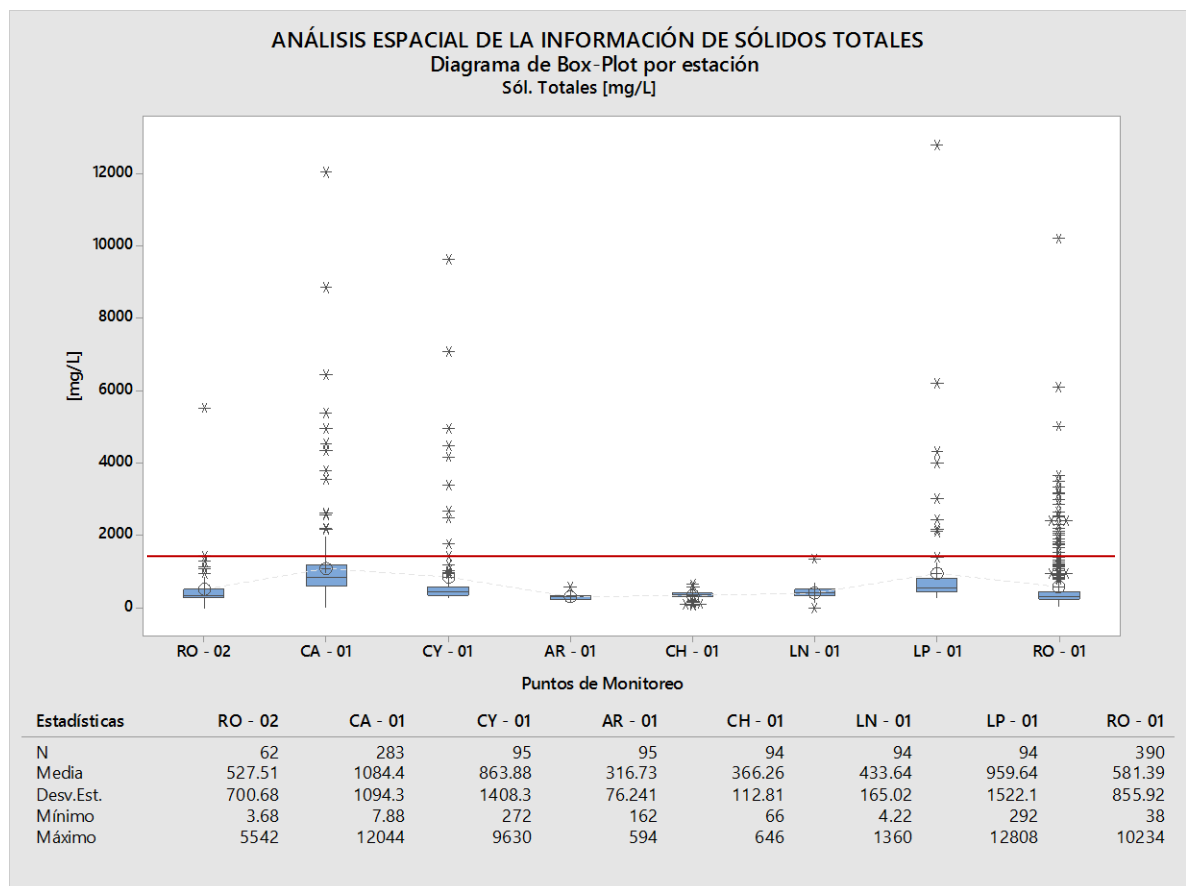


Es de destacar que en la mayoría de las estaciones mostradas en la Figura 18, la caja del diagrama se encuentra en rangos de concentración de oxígeno disuelto aceptables, no obstante presenta un número considerable de datos por debajo de 3 [mgO<sub>2</sub>/L], caso del punto de monitoreo RO-01 (cierre de la microcuenca). Se esperaría que la concentración de oxígeno disuelto descendiera abruptamente en el punto RO-01, dado la gran cantidad de contaminantes que se vierten en quebradas afluentes (ver **Anexo E**). Por lo tanto, esto podría ser un indicio de una importante capacidad auto-depuradora del Río de Oro. Sin embargo, han existido ocasiones donde las cargas contaminantes sobrepasan su capacidad y es llevado a condiciones deplorables, como se evidencia en los valores extremos inferiores.

**4.2.2.7 Sólidos Totales.** Hacen alusión a la materia suspendida o disuelta que se encuentra en un medio acuoso, este parámetro puede afectar adversamente la calidad del cuerpo de agua o un afluente de varias formas. El límite establecido para el agua potable en los Estados Unidos es de 500 mg/L [62].

La variabilidad de la concentración de sólidos totales depende del tipo de suelo y el régimen de lluvias de la zona [63]. La alta concentración de sólidos totales en MROB puede presentarse debido a la existencia de suelo con zonas de alta denudacionalidad, lo que sumado con lluvias de una intensidad moderada provoca la erosión de la superficie del terreno, arrastrando material particulado hasta los cursos de agua. En la Figura 19 se observa la dispersión de los datos hacia extremos superiores, que podría ser consecuencia de la degradación de laderas susceptibles a la erosión, lo cual ha sido un problema que ha afectado a la meseta de Bucaramanga por un largo periodo de tiempo.

Figura 19. Diagrama de caja para Sólidos Totales (RO-02 – RO-01).



### 4.3 ANÁLISIS TEMPORAL DE INFORMACIÓN DE CALIDAD DE AGUA

El estudio de las variables a través del tiempo permite saber si un ecosistema se está recuperando, o contrariamente, los tensores están siendo asimilados adecuadamente por éste (disolución, dispersión, mezcla, descomposición, biodegradación, oxidación u otros) [36]. Así mismo, su implementación puede darse para observar la recuperación de ecosistemas deteriorados. Los programas

de monitoreo pueden llevarse a cabo para valorar planes de manejo ambiental, para evaluar efectos ambientales, o como resultado del seguimiento continuo a procesos industriales [64].

Contaminantes vertidos al medio incluso dentro de los límites permisibles, pueden alcanzar niveles de toxicidad crónica o aguda. Esta situación produce por lo tanto un progresivo deterioro biótico y abiótico, que puede pasarse desapercibido por encontrarse el vertimiento dentro de las normas ambientales [65]. El cotejo de resultados en el tiempo, permite delinear no sólo la magnitud de los cambios ocurridos, sino la trayectoria experimentada por el ecosistema [36].

**4.3.1 Evolución temporal de variables fisicoquímicas a la entrada y cierre de la microcuenca.** La microcuenca de Río de Oro bajo posee dos puntos de monitoreo a la entrada y salida de ésta (RO-02 y RO-01), los cuales tienen relación temporal y espacial, dado que las muestras son tomadas el mismo día para ambas estaciones sobre el Río de Oro, en la Figura 20 se muestran éstas respectivamente.

Figura 20. Río de Oro, puntos de monitoreo RO-02 y RO-01.



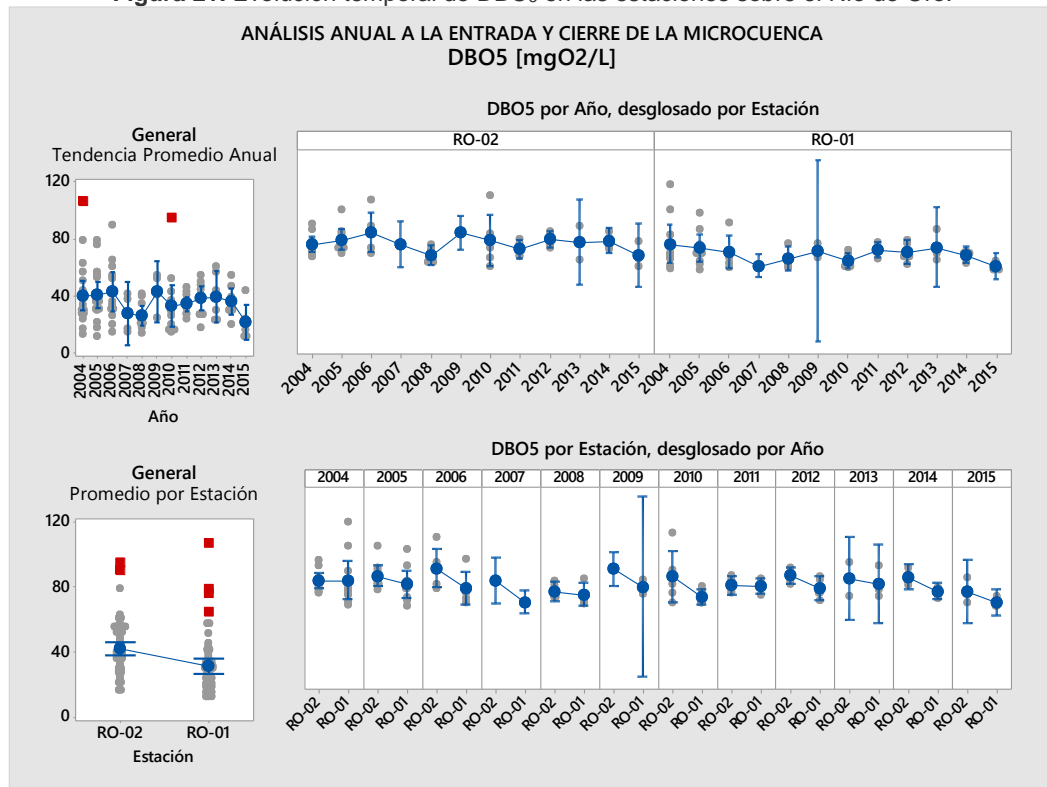
Fuente. [18]

La totalidad de las quebradas que recorren MROB se encuentran en un estado no óptimo al recibir desechos líquidos de los municipios de Bucaramanga y Girón, el daño que el Río de Oro trae consigo de aguas arriba también representa una carga contaminante importante, a pesar de esto se observa la aptitud de asimilar tóxicos y la capacidad auto-depuradora que posee, sin embargo las condiciones del río no siguen siendo las mejores.

La evolución temporal de todas las variables fisicoquímicas a la entrada y cierre de la microcuenca se encuentran en el **Anexo F**. A continuación se describe el comportamiento para un subconjunto de variables de interés seleccionadas.

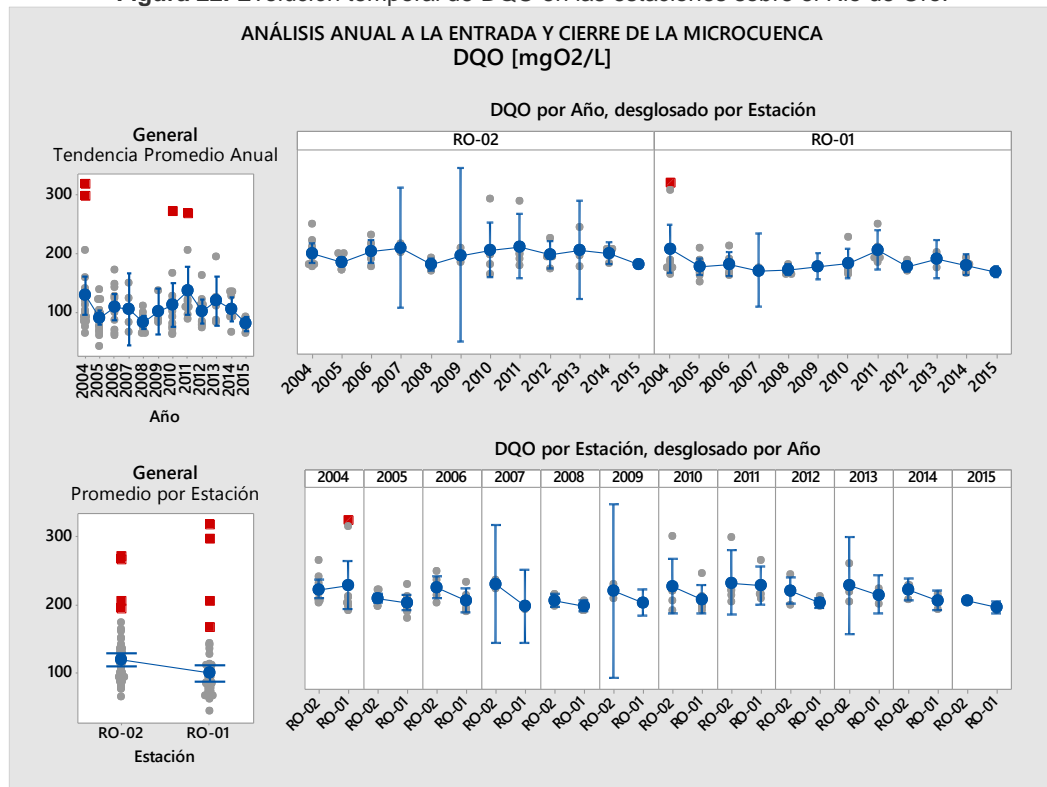
**4.3.1.1 DBO<sub>5</sub>.** En forma general, la DBO<sub>5</sub>, entre ambas estaciones, tiende a descender en promedio, en el desglose anual (Figura 21), se puede apreciar este comportamiento detalladamente. La tendencia del parámetro es a mantener un valor constante entre 35 – 45 [mgO<sub>2</sub>/L] y 20 – 30 [mgO<sub>2</sub>/L], para los puntos de monitoreo RO-02 y RO-01 respectivamente, no se observa una pauta general que indique que el parámetro aumente o disminuya en el futuro, su comportamiento tiende a ser estable sin mayores cambios. Las concentraciones encontradas muestran una fuente hídrica con altos niveles de contaminación por materia orgánica biodegradable.

**Figura 21.** Evolución temporal de DBO<sub>5</sub> en las estaciones sobre el Río de Oro.



**4.3.1.2 DQO.** De forma similar, la DQO tiende a descender a la entrada y cierre de la microcuenca como sucede con la DBO<sub>5</sub>, en todos los años a excepción del 2004 esta tendencia se mantiene (Figura 22). No se aprecia una pauta que indique deterioro o recuperación del curso de agua a través del tiempo, el parámetro tiende a mantener un valor más o menos constante, con valores mínimos en 2007 y 2008. Los valores en los cuales suele oscilar son 90 – 130 [mgO<sub>2</sub>/L] y 70 – 100 [mgO<sub>2</sub>/L] para RO-02 y RO-01 respectivamente. Las concentraciones encontradas muestran alto nivel de contaminación por materia orgánica biodegradable y no biodegradable, que restringen los usos.

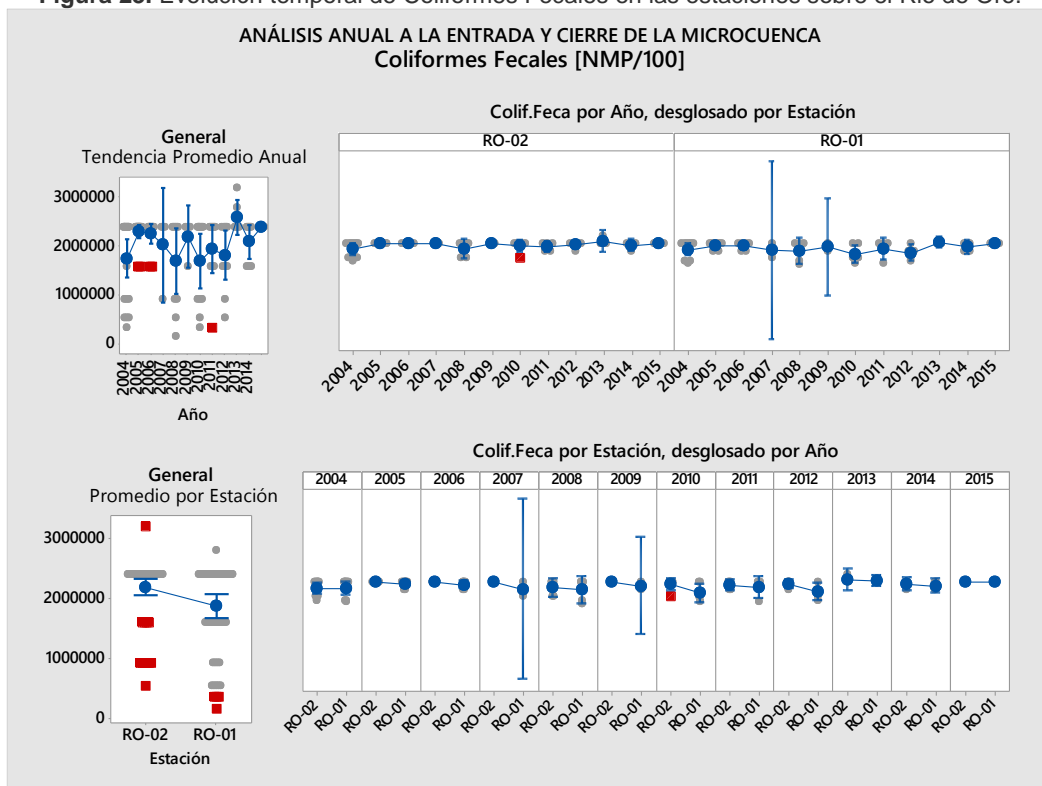
**Figura 22.** Evolución temporal de DQO en las estaciones sobre el Rio de Oro.



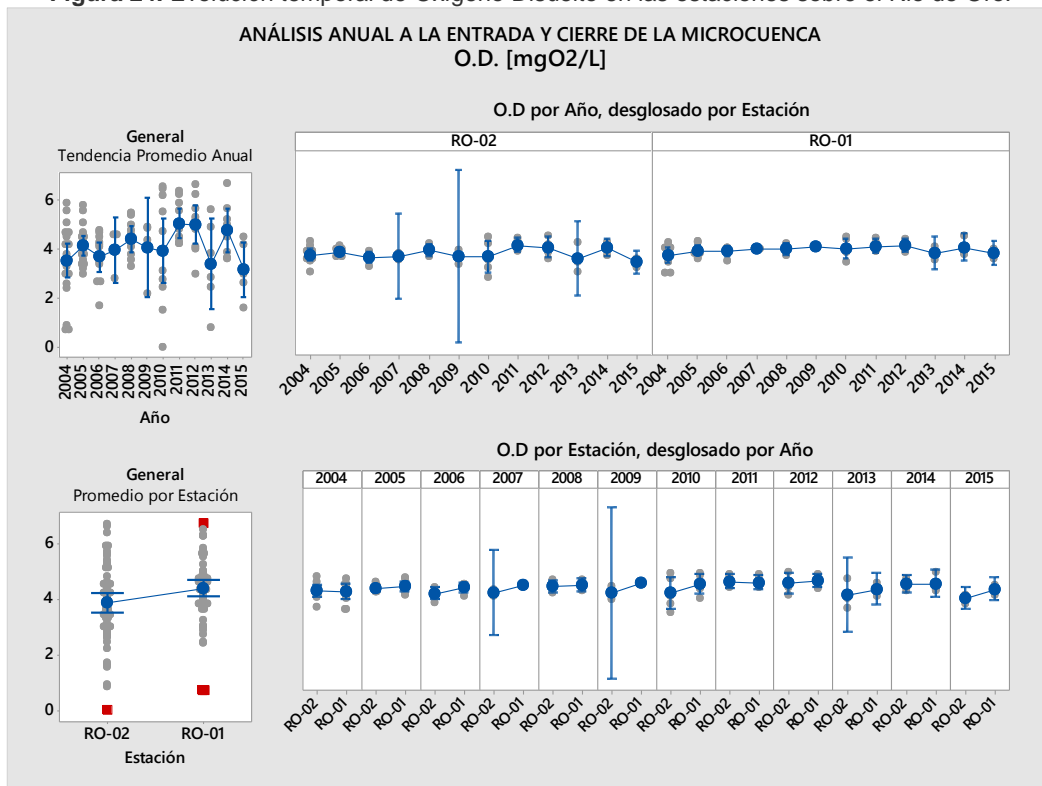
**4.3.1.3 Coliformes fecales.** La concentración de coliformes fecales se encuentra muy por encima del valor recomendado por norma ( $< 1000$  [NMP/100mL]) [48] [66], la mediana de este parámetro se encuentra en  $2.4(10^6)$  y  $4.6(10^5)$  [NMP/100mL], para RO-02 y RO-01. La alta concentración de este parámetro tiene una estrecha relación con la disposición aguas residuales domésticas en MROB, destacando el alto valor que presenta a la entrada de la microcuenca, donde se localiza aguas arriba los municipios de Floridablanca y Piedecuesta. Anualmente se observa que la variación de este parámetro es prácticamente nula (Figura 23).

**4.3.1.4 Oxígeno disuelto.** En promedio existe un ligero aumento de oxígeno disuelto a la entrada y cierre de la microcuenca ( $\approx 0.5$ [mgO<sub>2</sub>/L]), aún así en ambas estaciones la concentración de este parámetro se encuentra por debajo del valor recomendado ( $5$ [mgO<sub>2</sub>/L]) [60], para sostener vida acuática. Se presenta una leve tendencia de aumento en el tiempo, alcanzando valores óptimos en años posteriores al 2011, no obstante se encuentran abruptos descensos en años como 2013 y 2015 (Figura 24), por lo cual no es posible afirmar con precisión alguna pauta en años posteriores.

**Figura 23.** Evolución temporal de Coliformes Fecales en las estaciones sobre el Río de Oro.



**Figura 24.** Evolución temporal de Oxígeno Disuelto en las estaciones sobre el Río de Oro.



**4.3.2 Evolución temporal de variables fisicoquímicas sobre la quebrada La Iglesia.** El Área Metropolitana de Bucaramanga cuenta desde el punto de vista sanitario con dos sectores claramente diferenciados [24]:

- Primer sector conformado por las partes Norte y Centro de la meseta de Bucaramanga que posee un plan maestro de alcantarillado y un aislamiento físico adecuado con respecto a los puntos de entrega de emisarios finales.
- Segundo sector conformado por la zona sur de Bucaramanga y que territorialmente se refiere al municipio de Floridablanca en donde se desarrolla el Plan de Saneamiento ambiental, cuyo vertimiento sanitario es la Quebrada la Iglesia, a lo largo de la cual se crea un conflicto sanitario y ambiental, entre los cauces altamente contaminados y la población adyacente, creando altos riesgos en la salud pública de la población.

Los entes urbanos asentados en la Meseta de Bucaramanga poseen una red completa de colectores urbanos los cuales descargan sin ningún tratamiento sobre las quebradas que forman la vertiente de la quebrada La Iglesia o sobre ésta directamente, impidiendo su recuperación en un sector considerable dentro del área urbana [67]. En la Figura 25 se muestran los puntos de monitoreo LI-03 y LI-01, ubicados aguas arriba y aguas abajo respectivamente, sobre la quebrada La Iglesia. La evolución temporal de todas las variables fisicoquímicas sobre la quebrada La Iglesia se encuentra en el **Anexo G**.

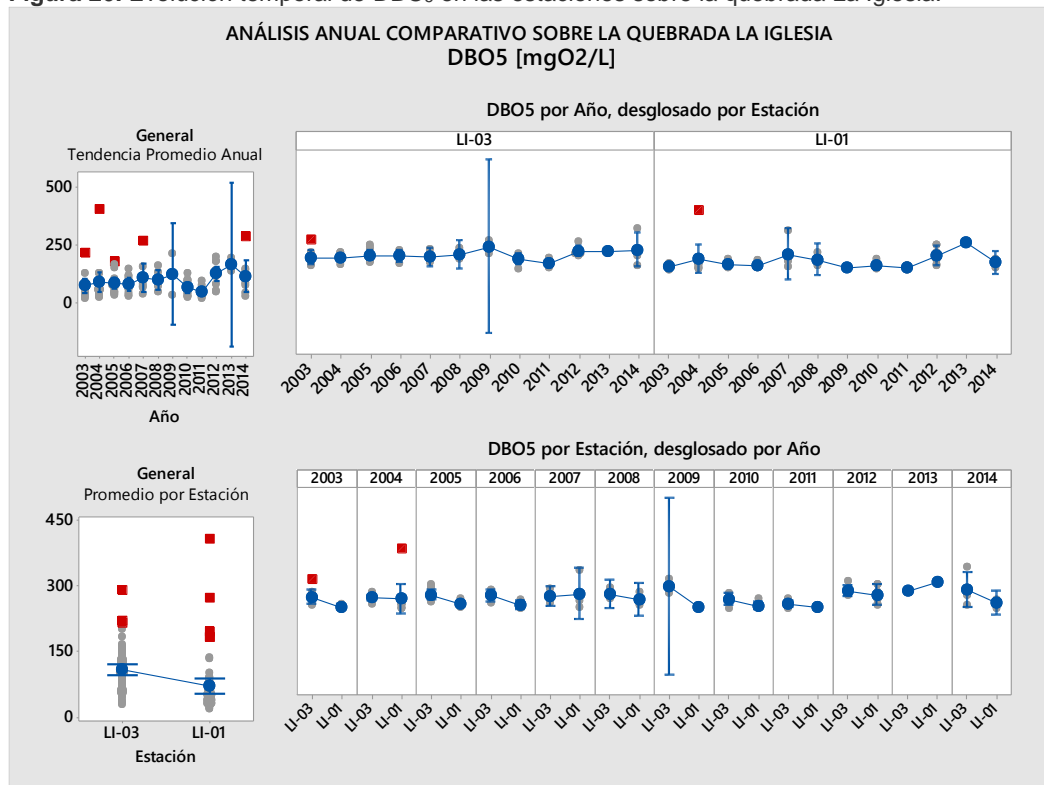
Figura 25. Quebrada La Iglesia, puntos de monitoreo LI-03 y LI-01.



Fuente. [18]

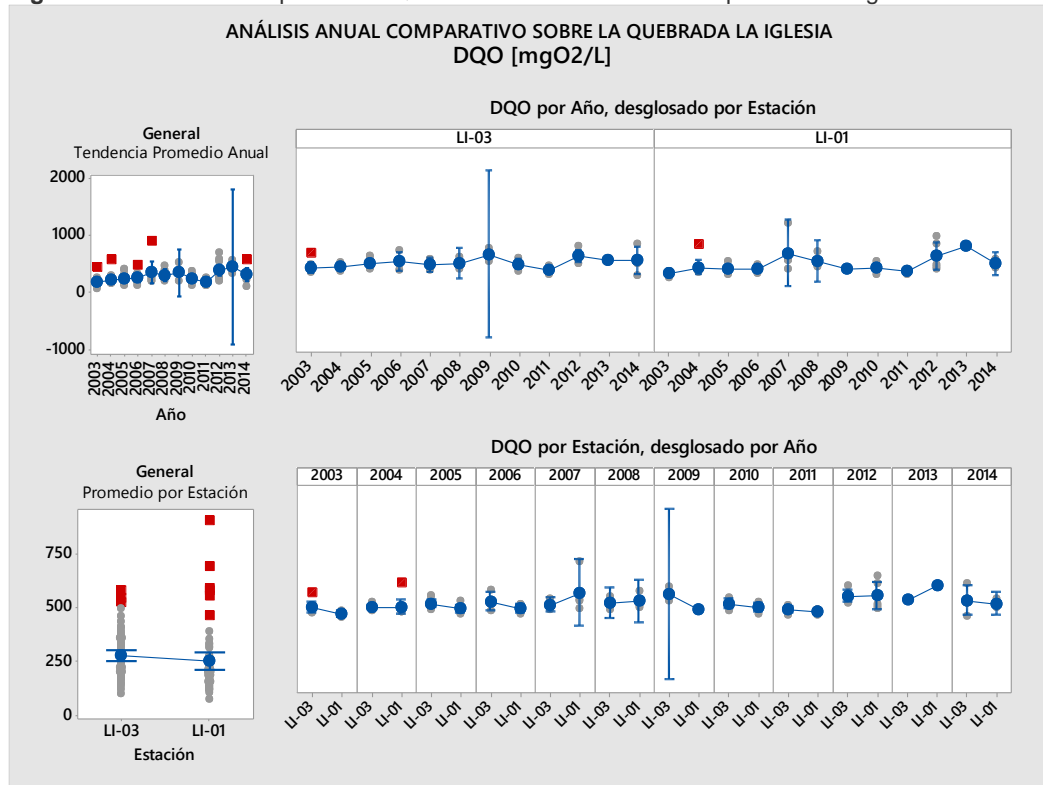
**4.3.2.1 DBO<sub>5</sub>.** En términos generales, se observa un descenso de la concentración de DBO<sub>5</sub> en un promedio de 47 [mgO<sub>2</sub>/L], entre las estaciones LI-03 y LI-01, de forma anual este comportamiento se mantiene, teniendo la estación de aguas abajo un menor contenido de materia orgánica (Figura 26), sin embargo, hay registros de DBO<sub>5</sub> muy superiores (965 [mgO<sub>2</sub>/L]), en la estación LI-01, debido posiblemente al vertido de lixiviados del Carrasco [68]. En el lapso 2003-2009, se presenta un ascenso constante de los niveles de DBO<sub>5</sub> en ambas estaciones, con un descenso en 2010-2011, para luego retomar niveles superiores a los registrados.

Figura 26. Evolución temporal de DBO<sub>5</sub> en las estaciones sobre la quebrada La Iglesia.



**4.3.2.2 DQO.** De forma similar, se observa un descenso general en los niveles de DQO entre las estaciones estudiadas, de aproximadamente 25 [mgO<sub>2</sub>/L], anualmente se mantiene este comportamiento a excepción de años como 2007 y 2013 (Figura 27). Se presenta un ascenso constante en el lapso de tiempo 2003-2009, seguido de dos años de descenso, donde posteriormente se retoman concentraciones superiores. En la estación aguas abajo se presentan registros muy superiores (903 [mgO<sub>2</sub>/L]), ocasionados posiblemente por el vertido de aguas altamente contaminadas del Carrasco.

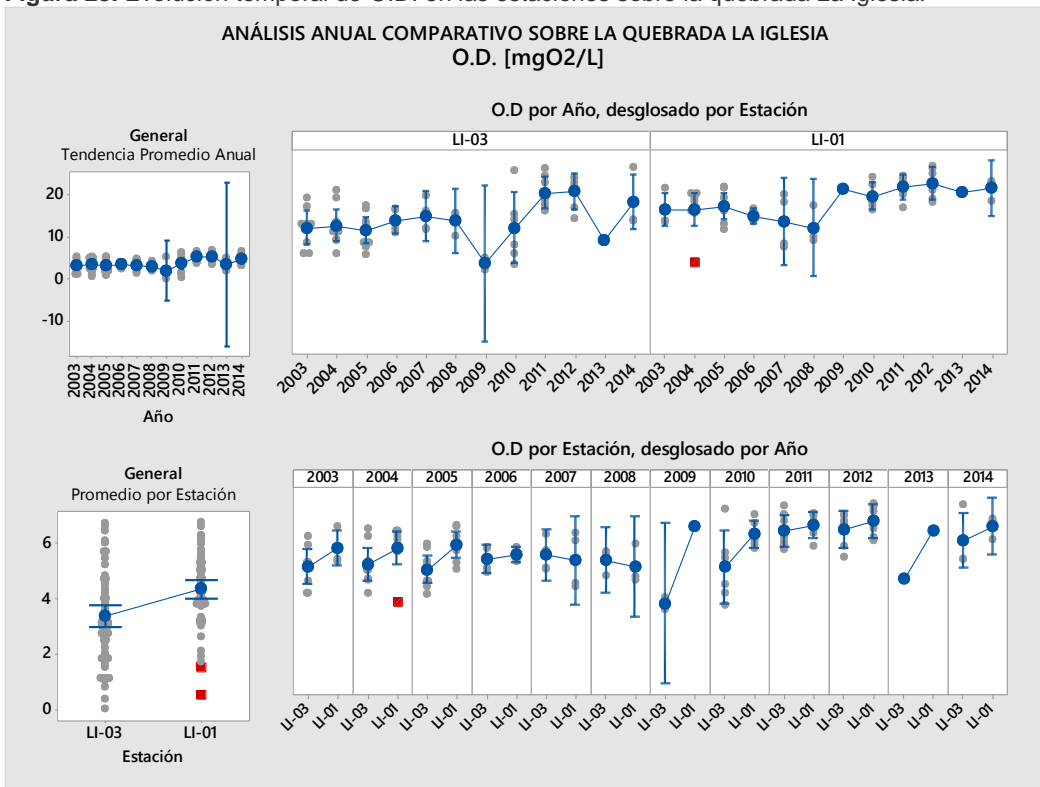
**Figura 27.** Evolución temporal de DQO en las estaciones sobre la quebrada La Iglesia.



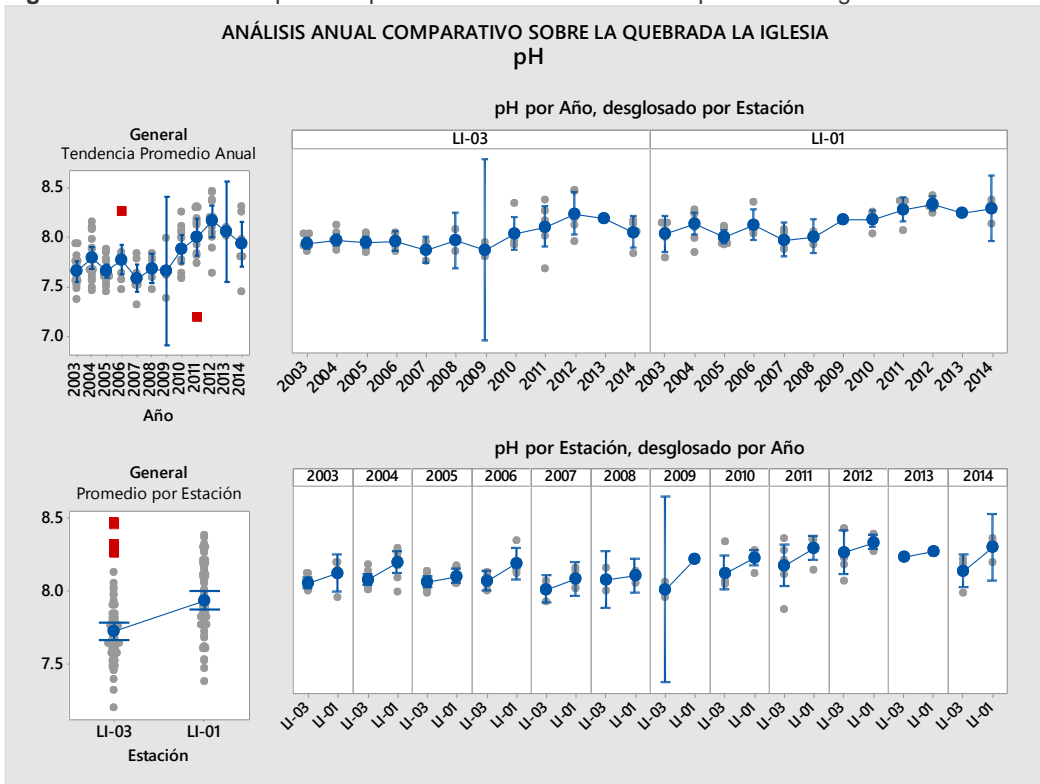
**4.3.2.3 Oxígeno disuelto.** En este tramo, la quebrada La Iglesia tiene una leve recuperación de oxígeno disuelto, en aproximadamente 0.7 [mgO<sub>2</sub>/L]. En el año 2009 se visualiza una reducción significativa en la concentración de este parámetro, en donde es superior a años anteriores y se mantiene constante (Figura 28), sin embargo, para la estación LI-03 (aguas arriba), la variación para este año es muy grande y no es posible afirmar esto con total certeza. Este efluente es claramente uno de los más contaminados en el área metropolitana, por años ha recibido aguas residuales domésticas e industriales al atravesar los entes urbanos, su cercanía con poblaciones representa un problema de salud pública, que sin la intervención adecuada, puede traer graves consecuencias en años posteriores.

**4.3.2.4 pH.** Se aprecia un aumento en el pH entre las estaciones ubicadas sobre la quebrada La Iglesia (LI-03 y LI-01), con un valor aproximado de 0.3, de forma anual esta tendencia se mantiene para todos los años (Figura 29). El comportamiento del parámetro presenta dos lapsos, el primero comprendido entre los años 2003-2009, permanece dentro de un rango constante (7.6 – 7.8), el segundo marcado por un ascenso constante hasta llegar a un máximo promedio de 8.1 en el año 2012, presentando una descenso en años posteriores.

**Figura 28.** Evolución temporal de O.D. en las estaciones sobre la quebrada La Iglesia.



**Figura 29.** Evolución temporal de pH en las estaciones sobre la quebrada La Iglesia.



**4.3.3 Análisis comparativo de variables fisicoquímicas en época de lluvia y estiaje.** El contraste de las variables fisicoquímicas en época de lluvia y no lluvia, permite estudiar el comportamiento de éstas influenciados por fenómenos atmosféricos, relacionados con el régimen de precipitación. El estudio de estadísticos de referencia como la media, la desviación estándar, intervalo de confianza de una muestra y prueba de normalidad posibilitan la comparación entre estas dos épocas.

En síntesis, contrario a lo esperado, las principales variables indicadoras de calidad de agua (DBO<sub>5</sub>, DQO, sólidos suspendidos y O.D.) presentan condiciones ligeramente peores en época de lluvia que de no lluvia, cerca de un 75% de los datos. No se puede comprobar efectos de dilución o incremento en la concentración de oxígeno que aumente la capacidad de degradar materia orgánica (autodepuración) en época de lluvia. Es posible que los datos estén influenciados por los periodos de recolección de las muestras, ya que las actividades de campo se empiezan a ejecutar hacia principios de marzo, luego del primer periodo seco del año, y se culminan a mediados de diciembre, lo cual representa una pérdida de cerca de un 75% de datos para el primer periodo de estiaje, sumándole las descargas de contaminantes puntuales que pueden tener mayor frecuencia en ciertos periodos del año, alterando la química natural del cauce. La totalidad de la comparación de variables fisicoquímicas en época de lluvia y estiaje se encuentran en el **Anexo H**.

**4.3.3.1 DBO<sub>5</sub>.** Un 93% de las estaciones presentan un comportamiento opuesto al esperado, en las que se evidencia un aumento de la DBO<sub>5</sub> en época de lluvia (Tabla 14), es posible que el arrastre de materia orgánica, nutrientes en suelos agrícolas y fenómenos de erosión provoquen esta respuesta; en variables posteriores como Nitrógeno y Fósforo, se examina el posible efecto de la contaminación difusa proveniente de cultivos, y en Sólidos totales asociados a procesos erosivos.

El error estándar de la media es menor en temporada de no lluvia (Tabla 14), para la mayoría de las estaciones, comprobando así una mejor consistencia entre los muestreos realizados en esta época, contrariamente a lo mostrado en época lluvia, cuyo valor es superior, posiblemente atribuido al sesgo en los periodos de recolección de las muestras, los cuales son superiores en época de lluvia.

**4.3.3.2 DQO.** De forma similar que con la DBO<sub>5</sub>, la DQO presenta concentraciones superiores en un número considerable de estaciones (80%) en época de lluvia, de igual forma se tiene que la desviación estándar es más alta en esta temporada (Tabla 15), por lo cual consecuentemente los muestreos para este periodo de tiempo presentan gran variabilidad.

De acuerdo a este parámetro la fuente menos contaminada para ambos regímenes de lluvia es CS-01, ubicada sobre la quebrada La Cascada, en la parte alta de la microcuenca, contrariamente el afluente más contaminado se encuentra sobre la quebrada El Carrasco (DC-01), que es receptor de los lixiviados generados en el depósito de residuos sólidos del área metropolitana (El Carrasco).

**Tabla 14.** Comparación estadística para DBO<sub>5</sub> en época de lluvia y no lluvia.

Estación	EPOCA DE LLUVIA					EPOCA DE NO LLUVIA						
	Media	D.E.	EE de $\mu$	IC de 95% (Inf-Sup)	V.P.	Media	D.E.	EE de $\mu$	IC de 95% (Inf-Sup)	V.P.		
RO - 02	43.042	11.514	2.350	38.180	47.903	0.502	41.430	17.895	2.942	35.463	47.396	0.005
RO - 01	25.366	33.550	2.453	20.526	30.206	<0.005	26.029	34.209	2.401	21.295	30.764	<0.005
LF - 01	35.524	58.859	9.548	16.177	54.870	<0.005	21.641	34.382	4.476	12.681	30.601	<0.005
CS - 01	13.701	6.865	1.114	11.444	15.957	0.505	12.402	5.215	0.685	11.030	13.773	0.366
LI - 03	128.605	67.914	11.017	106.282	150.928	<0.005	111.017	59.671	7.703	95.602	126.431	<0.005
MA - 01	134.832	145.817	23.655	86.903	182.761	<0.005	113.519	77.179	10.048	93.406	133.632	0.052
GY - 01	126.471	81.152	13.165	99.797	153.145	<0.005	117.505	76.964	10.106	97.268	137.742	0.129
DC - 01	4654.162	3780.726	621.547	3393.605	5914.719	<0.005	3298.614	2888.462	382.586	2532.202	4065.026	<0.005
LI - 01	72.565	84.871	7.278	58.172	86.958	<0.005	67.354	94.935	7.577	52.388	82.320	<0.005
CA - 01	59.839	46.151	3.972	51.983	67.695	<0.005	57.197	38.607	3.184	50.904	63.491	<0.005
CY - 01	33.108	36.049	5.700	21.578	44.637	<0.005	27.428	17.378	2.365	22.684	32.171	<0.005
AR - 01	12.095	12.438	1.967	8.117	16.073	<0.005	11.474	13.399	1.823	7.817	15.131	<0.005
LN - 01	82.650	83.837	13.256	55.838	109.462	<0.005	74.321	68.033	9.345	55.568	93.073	<0.005
CH - 01	40.935	36.352	5.748	29.309	52.561	<0.005	38.057	23.359	3.209	31.618	44.495	<0.005
LP - 01	101.872	79.514	12.732	76.096	127.647	<0.005	95.137	68.053	9.261	76.562	113.712	<0.005

**Tabla 15.** Comparación estadística para DQO en época de lluvia y no lluvia.

Estación	EPOCA DE LLUVIA					EPOCA DE NO LLUVIA						
	Media	D.E.	EE de $\mu$	IC de 95% (Inf-Sup)	V.P.	Media	D.E.	EE de $\mu$	IC de 95% (Inf-Sup)	V.P.		
RO - 02	111.708	27.837	5.682	99.954	123.463	0.152	121.273	45.877	7.542	105.977	136.569	<0.005
RO - 01	87.890	44.988	8.080	71.389	104.392	<0.005	94.650	48.925	7.376	79.775	109.525	<0.005
LF - 01	76.988	74.491	14.609	46.901	107.076	<0.005	100.889	121.531	18.321	63.940	137.837	<0.005
CS - 01	40.427	17.020	3.338	33.552	47.302	0.087	39.969	16.462	2.482	34.964	44.974	<0.005
LI - 03	272.808	120.647	23.661	224.077	321.538	<0.005	242.596	116.652	17.015	208.345	276.846	0.919
MA - 01	317.588	374.358	73.418	166.382	468.795	<0.005	241.136	180.589	26.921	186.881	295.391	<0.005
GY - 01	256.850	172.213	33.774	187.292	326.408	<0.005	235.843	165.100	24.890	185.648	286.038	<0.005
DC - 01	7767.680	5200.456	1040.091	5621.037	9914.323	<0.005	5007.962	2902.189	442.580	4114.801	5901.124	0.153
LI - 01	275.417	176.377	36.003	200.939	349.894	<0.005	203.783	131.595	19.403	164.704	242.861	<0.005
CA - 01	193.724	108.970	20.235	152.274	235.174	<0.005	187.015	134.938	21.074	144.423	229.606	<0.005
CY - 01	132.007	116.340	21.986	86.895	177.119	<0.005	110.993	69.067	10.920	88.904	133.081	<0.005
AR - 01	67.600	35.289	6.553	54.177	81.023	0.116	59.668	43.191	6.829	45.854	73.481	<0.005
LN - 01	227.345	124.917	23.196	179.829	274.861	<0.005	213.089	110.137	17.867	176.888	249.290	0.064
CH - 01	147.176	78.475	14.572	117.326	177.026	<0.005	143.623	61.729	9.885	123.613	163.633	0.322
LP - 01	325.607	234.419	44.301	234.709	416.505	<0.005	318.375	283.190	44.776	227.806	408.944	<0.005

\* D.E.: desviación estándar, EE de  $\mu$ : error estándar de la media, IC de 95% (Inf-Sup): intervalo de confianza (inferior-superior), V.P.: Valor P en prueba de normalidad.

**4.3.3.3 Fósforo total.** En época de lluvia, la concentración de fósforo total es ligeramente superior que en temporada de no lluvia, en un 53%. Paralelamente se observa que la muestras tomadas en época de no lluvia son más dispersas al presentar valores de desviación estándar superiores (Tabla 16).

En general, se puede afirmar que no existe una diferencia estadística significativa que permita asegurar que existe una contaminación de fósforo proveniente de suelos agrícolas, transportados por la escorrentía.

**4.3.3.4 Nitrógeno total.** Análogamente al comportamiento presentado por el parámetro de Fósforo total, el Nitrógeno total tiene mayores concentraciones en temporada de lluvia, en 73% de las estaciones, las muestras que exhiben mayor variabilidad son las de época de estiaje. Este parámetro es el que tiene mayor número de estaciones cuyos datos se ajusten a una distribución normal (Tabla 17). De igual forma no es posible asegurar que el origen de la contaminación provenga por el arrastre de nutrientes presentes en suelos agrícolas, originados por contaminación difusa.

**Tabla 16.** Comparación estadística para Fósforo Total en época de lluvia y no lluvia.

Estación	EPOCA DE LLUVIA					EPOCA DE NO LLUVIA						
	Media	D.E.	EE de $\mu$	IC de 95% (Inf-Sup)	V.P	Media	D.E.	EE de $\mu$	IC de 95% (Inf-Sup)	V.P		
RO - 02	2.165	0.935	0.191	1.770	2.560	<0.005	1.981	1.139	0.187	1.601	2.361	<0.005
RO - 01	1.542	0.728	0.053	1.437	1.647	<0.005	1.349	0.796	0.056	1.238	1.459	<0.005
LF - 01	1.432	2.832	0.459	0.501	2.363	<0.005	1.076	1.631	0.212	0.651	1.501	<0.005
CS - 01	1.007	0.348	0.056	0.893	1.121	0.054	1.151	0.504	0.066	1.019	1.284	<0.005
LI - 03	4.274	1.369	0.222	3.824	4.723	0.135	4.077	1.711	0.221	3.635	4.519	0.242
MA - 01	4.484	2.069	0.336	3.804	5.164	0.742	4.517	2.444	0.324	3.868	5.165	0.081
GY - 01	3.839	2.217	0.360	3.110	4.567	0.133	3.934	2.287	0.300	3.332	4.535	0.138
DC - 01	9.011	5.582	0.918	7.150	10.873	<0.005	8.133	5.165	0.684	6.762	9.503	<0.005
LI - 01	2.861	1.667	0.143	2.578	3.144	<0.005	2.773	1.669	0.133	2.510	3.036	<0.005
CA - 01	3.246	1.560	0.134	2.981	3.512	<0.005	3.433	2.112	0.174	3.089	3.777	<0.005
CY - 01	3.539	1.825	0.289	2.955	4.123	<0.005	3.447	1.753	0.239	2.969	3.926	<0.005
AR - 01	1.700	0.810	0.128	1.441	1.960	<0.005	1.796	1.257	0.171	1.452	2.139	<0.005
LN - 01	3.658	1.644	0.260	3.132	4.183	0.204	3.553	1.550	0.213	3.126	3.980	0.426
CH - 01	3.301	1.510	0.239	2.818	3.784	0.484	3.307	1.568	0.215	2.875	3.739	0.668
LP - 01	3.622	1.425	0.228	3.160	4.084	0.448	3.960	1.930	0.263	3.433	4.486	<0.005

**Tabla 17.** Comparación estadística para Nitrógeno Total en época de lluvia y no lluvia.

Estación	EPOCA DE LLUVIA					EPOCA DE NO LLUVIA						
	Media	D.E.	EE de $\mu$	IC de 95% (Inf-Sup)	V.P	Media	D.E.	EE de $\mu$	IC de 95% (Inf-Sup)	V.P		
RO - 02	11.465	2.799	0.748	9.848	13.081	0.687	10.868	3.395	0.800	9.179	12.556	0.586
RO - 01	9.517	3.640	0.275	8.974	10.060	<0.005	8.588	3.251	0.241	8.113	9.064	<0.005
LF - 01	11.493	15.335	2.848	5.660	17.327	<0.005	7.637	7.438	1.223	5.157	10.117	<0.005
CS - 01	6.914	1.673	0.311	6.278	7.550	0.922	7.357	1.660	0.273	6.804	7.910	0.954
LI - 03	27.785	7.427	1.379	24.960	30.610	<0.005	27.309	7.979	1.312	24.649	29.970	0.054
MA - 01	30.073	13.760	2.555	24.839	35.307	0.216	30.292	13.640	2.242	25.744	34.840	0.706
GY - 01	25.087	10.577	1.964	21.063	29.110	0.088	22.137	8.515	1.400	19.298	24.976	0.916
DC - 01	914.843	351.784	66.481	778.435	1051.251	<0.005	796.198	534.265	89.044	615.429	976.968	<0.005
LI - 01	20.204	8.798	0.784	18.653	21.755	<0.005	19.948	9.064	0.780	18.405	21.491	<0.005
CA - 01	19.997	7.188	0.648	18.714	21.280	<0.005	19.823	6.966	0.611	18.615	21.032	<0.005
CY - 01	16.296	5.418	1.024	14.195	18.397	0.097	15.245	4.435	0.729	13.767	16.724	0.289
AR - 01	7.434	3.778	0.714	5.969	8.899	<0.005	7.729	3.732	0.614	6.485	8.973	<0.005
LN - 01	21.929	8.850	1.673	18.497	25.360	0.339	23.006	8.984	1.497	19.966	26.046	0.957
CH - 01	18.853	10.191	1.926	14.901	22.804	<0.005	17.976	6.266	1.044	15.856	20.096	0.357
LP - 01	22.927	9.238	1.746	19.345	26.509	0.216	20.308	10.065	1.655	16.952	23.664	0.524

\*D.E.: desviación estándar, EE de  $\mu$ : error estándar de la media, IC de 95% (Inf-Sup): intervalo de confianza (inferior-superior), V.P.: Valor P en prueba de normalidad.

**4.3.3.5 Oxígeno Disuelto.** La concentración de oxígeno disuelto está por debajo de los valores recomendados (5 [mgO<sub>2</sub>/L]) [60], para sostener vida acuática, en ambas épocas de lluvia, cerca de un 73% de las estaciones no cumplen con este requisito, siendo la temporada de lluvia la que tiene menores concentraciones, sin embargo, la diferencia en promedio entre ambos tiempos de precipitación es de 0.25 [mgO<sub>2</sub>/L], como se ve en Tabla 18, lo cual no representa una diferencia significativa, no obstante, esta variable es muy susceptible a agentes externos que puedan afectar la concentración del mismo.

**Tabla 18.** Comparación estadística para O.D. en época de lluvia y no lluvia.

Estación	EPOCA DE LLUVIA					EPOCA DE NO LLUVIA						
	Media	D.E.	EE de $\mu$	IC de 95% (Inf-Sup)	V.P	Media	D.E.	EE de $\mu$	IC de 95% (Inf-Sup)	V.P		
RO - 02	3.557	1.296	0.265	3.010	4.105	0.497	4.082	1.495	0.246	3.583	4.580	0.815
RO - 01	4.895	1.130	0.083	4.732	5.058	<0.005	5.011	1.083	0.076	4.861	5.161	<0.005
LF - 01	6.278	1.735	0.281	5.708	6.848	<0.005	6.569	1.612	0.210	6.149	6.989	<0.005
CS - 01	5.788	0.638	0.104	5.578	5.998	0.902	5.693	0.904	0.119	5.456	5.931	0.314
LI - 03	2.958	1.217	0.197	2.558	3.358	0.100	3.149	1.726	0.223	2.703	3.595	<0.005
MA - 01	1.821	1.701	0.276	1.262	2.380	<0.005	2.100	2.199	0.286	1.527	2.674	<0.005
GY - 01	2.159	1.682	0.273	1.607	2.712	<0.005	2.244	1.901	0.250	1.744	2.744	<0.005
DC - 01	0.027	0.093	0.015	0.000	0.058	<0.005	0.080	0.247	0.033	0.014	0.145	<0.005
LI - 01	3.800	1.827	0.157	3.490	4.110	<0.005	3.890	1.788	0.143	3.608	4.172	<0.005
CA - 01	5.022	1.237	0.106	4.812	5.233	<0.005	4.921	1.153	0.095	4.734	5.109	<0.005
CY - 01	4.985	1.096	0.173	4.634	5.336	<0.005	5.062	1.042	0.142	4.777	5.346	<0.005
AR - 01	5.800	0.949	0.150	5.497	6.104	<0.005	5.727	1.138	0.155	5.416	6.037	<0.005
LN - 01	4.406	1.601	0.253	3.894	4.918	0.301	4.390	1.435	0.197	3.994	4.785	0.314
CH - 01	5.603	1.220	0.193	5.213	5.993	<0.005	5.570	0.949	0.130	5.309	5.832	0.779
LP - 01	1.452	1.590	0.255	0.937	1.968	<0.005	1.554	1.545	0.210	1.132	1.975	<0.005

**4.3.3.6 Sólidos Suspendidos.** Es interesante observar como la estación con mayores concentraciones en sólidos suspendidos, en época de lluvia, no es la quebrada El Carrasco (DC-01), sino el punto de monitoreo LF-01, sobre la quebrada La Flora, ubicado en la parte alta de la MROB, que sobrepasa por casi el doble en promedio a DC-01, por otro lado, en temporada de estiaje, la media entre estas dos estaciones no difiere en mucho. Un 73% de los puntos de monitoreo cumplen con los valores recomendados por la norma (< 500 [mg/L]) [62], para ambas temporadas (Tabla 19).

**4.3.3.7 pH.** Es el parámetro con mayor consistencia en sus registros, presentando valores de desviación estándar y error estándar de la media mínimos, para ambas épocas de lluvia. Se destaca el punto de monitoreo DC-01, con una media de 8.244 y 8.341, para época de lluvia y estiaje respectivamente (Tabla 20), un valor muy alto, ocasionado posiblemente por los líquidos alcalinos derivados de los residuos del depósito de basuras. No existe una diferencia estadística significativa, que permita afirmar que hay variaciones del pH en temporada de lluvia y no lluvia.

**Tabla 19.** Comparación estadística para Sólidos Suspendedos en época de lluvia y no lluvia.

Estación	EPOCA DE LLUVIA					EPOCA DE NO LLUVIA						
	Media	D.E.	EE de $\mu$	IC de 95% (Inf-Sup)	V.P	Media	D.E.	EE de $\mu$	IC de 95% (Inf-Sup)	V.P		
RO - 02	174.708	232.626	47.485	76.479	272.938	<0.005	403.432	849.376	139.637	120.236	686.629	<0.005
RO - 01	287.770	811.302	59.328	170.727	404.813	<0.005	390.065	709.667	50.307	290.859	489.272	<0.005
LF - 01	1020.895	5470.000	887.351	-777.049	2818.839	<0.005	862.653	2954.464	384.638	92.716	1632.591	<0.005
CS - 01	25.634	34.089	5.530	14.429	36.839	<0.005	99.117	458.021	60.141	-21.313	219.548	<0.005
LI - 03	278.237	513.797	83.349	109.356	447.118	<0.005	254.667	228.764	29.533	195.571	313.763	<0.005
MA - 01	119.092	171.582	27.834	62.695	175.490	<0.005	112.070	80.158	10.617	90.801	133.339	<0.005
GY - 01	104.171	71.399	11.582	80.703	127.639	0.110	99.279	64.929	8.526	82.207	116.352	0.117
DC - 01	667.027	919.370	151.144	360.494	973.560	<0.005	898.127	2338.434	315.314	265.960	1530.294	<0.005
LI - 01	508.044	1347.179	115.520	279.582	736.506	<0.005	436.541	620.016	49.483	338.799	534.284	<0.005
CA - 01	797.681	1190.653	102.475	595.003	1000.358	<0.005	704.472	806.299	66.502	573.040	835.904	<0.005
CY - 01	376.744	758.421	121.444	130.892	622.595	<0.005	479.519	1216.243	165.510	147.548	811.489	<0.005
AR - 01	17.750	27.198	4.300	9.052	26.448	<0.005	16.228	20.642	2.809	10.594	21.862	<0.005
LN - 01	83.707	136.456	21.576	40.066	127.348	<0.005	67.491	61.550	8.455	50.525	84.456	<0.005
CH - 01	45.175	51.366	8.122	28.747	61.603	<0.005	34.626	26.380	3.624	27.355	41.898	<0.005
LP - 01	243.385	508.940	81.496	78.405	408.364	<0.005	605.755	1882.216	258.542	86.952	1124.558	<0.005

**Tabla 20.** Comparación estadística para pH en época de lluvia y no lluvia.

Estación	EPOCA DE LLUVIA					EPOCA DE NO LLUVIA						
	Media	D.E.	EE de $\mu$	IC de 95% (Inf-Sup)	V.P	Media	D.E.	EE de $\mu$	IC de 95% (Inf-Sup)	V.P		
RO - 02	7.527	0.134	0.027	7.470	7.584	0.782	7.550	0.167	0.027	7.494	7.606	0.437
RO - 01	7.442	0.312	0.023	7.397	7.487	<0.005	7.414	0.300	0.021	7.372	7.455	<0.005
LF - 01	7.836	0.322	0.052	7.730	7.942	0.223	7.909	0.415	0.054	7.800	8.017	<0.005
CS - 01	7.879	0.231	0.038	7.803	7.955	<0.005	7.869	0.164	0.021	7.826	7.912	<0.005
LI - 03	7.593	0.240	0.039	7.514	7.672	0.106	7.689	0.296	0.038	7.612	7.765	<0.005
MA - 01	7.496	0.239	0.039	7.417	7.574	<0.005	7.510	0.201	0.026	7.458	7.563	<0.005
GY - 01	7.461	0.188	0.031	7.399	7.523	0.206	7.455	0.180	0.024	7.407	7.502	0.078
DC - 01	8.244	0.349	0.057	8.128	8.361	<0.005	8.341	0.235	0.031	8.279	8.404	<0.005
LI - 01	7.662	0.313	0.027	7.609	7.715	0.090	7.687	0.341	0.027	7.633	7.741	0.096
CA - 01	7.724	0.263	0.023	7.679	7.769	<0.005	7.702	0.278	0.023	7.656	7.747	<0.005
CY - 01	7.817	0.220	0.035	7.747	7.888	<0.005	7.837	0.161	0.022	7.793	7.881	<0.005
AR - 01	7.790	0.186	0.029	7.731	7.849	0.527	7.738	0.192	0.026	7.686	7.791	<0.005
LN - 01	7.725	0.291	0.046	7.632	7.818	0.099	7.687	0.265	0.036	7.614	7.760	0.332
CH - 01	7.792	0.222	0.035	7.721	7.863	0.118	7.778	0.221	0.030	7.717	7.838	0.052
LP - 01	7.533	0.216	0.035	7.463	7.603	0.326	7.485	0.205	0.028	7.429	7.541	0.051

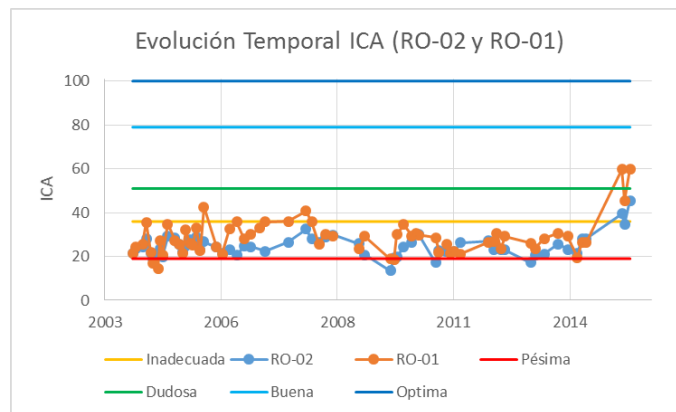
\* \* D.E.: desviación estándar, EE de  $\mu$ : error estándar de la media, IC de 95% (Inf-Sup): intervalo de confianza (inferior-superior), V.P.: Valor P en prueba de normalidad.

**4.3.4 Evolución temporal del índice de calidad de agua por estación.** Los ICA, y las legislaciones ambientales, parten del supuesto de generalidad respecto a la condición de los cursos hídricos y definen con base en el estado del conocimiento de los efectos que las variables fisicoquímicos producen sobre las comunidades bióticas o por los usos potenciales del agua, en base a registros de valoración de los mismos, es decir, que éstos no tienen en cuenta la condición natural del afluente y en que magnitud varía un parámetro a causa de un vertimiento, simplemente definen que una determinada concentración es buena, regular o mala independientemente de que se presente en un arroyo montaña o en un río próximo a su desembocadura [36].

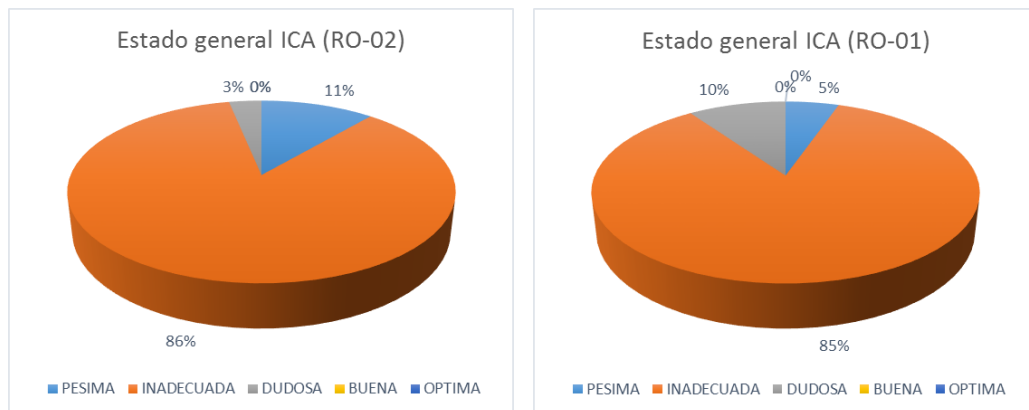
Los puntos de monitoreo que están ubicados sobre el Río de Oro (RO-02 y RO-01), según el índice de calidad del agua tienen como predominante el estado

inadecuado, con más del 80% de este valor desde el inicio de funcionamiento de las estaciones, el punto de monitoreo aguas abajo (RO-01) presenta un 6% menos de condición pésima en comparación con el punto ubicado aguas arriba (RO-02) (Figura 31), no presenta en ningún momento estados bueno u óptimo. La tendencia del ICA es a permanecer en condición inadecuada sin indicio de mejorar en el futuro para ambas estaciones, en general la estación RO-02 presenta mejores condiciones de calidad de agua en base a este índice que la estación RO-01 (Figura 30).

**Figura 30.** Evolución del ICA en el punto de monitoreo RO-02 y RO-01.

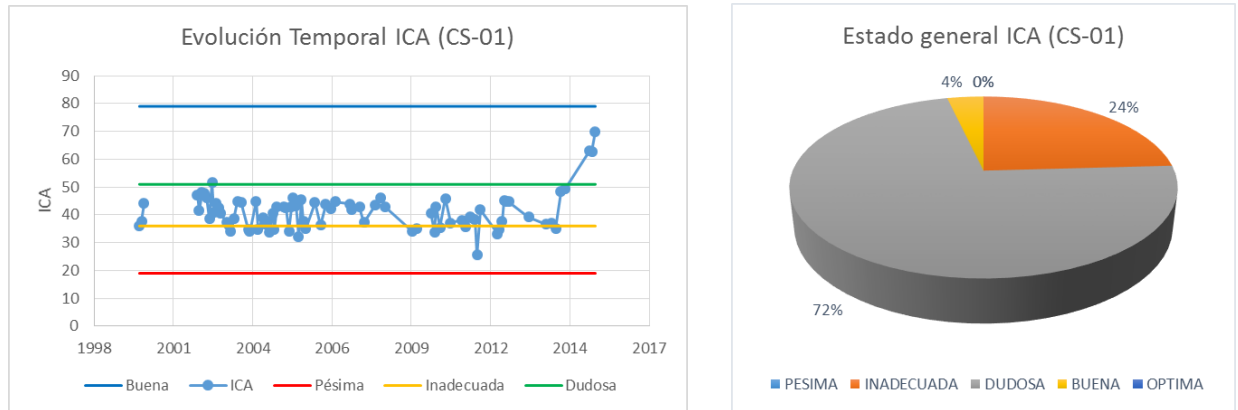


**Figura 31.** Estado general del ICA en el punto de monitoreo RO-02 y RO-01.



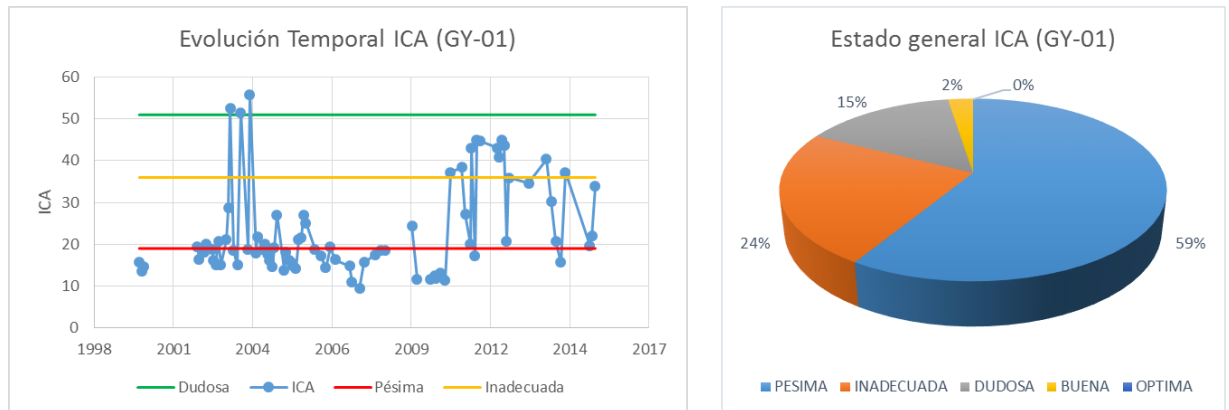
Estaciones que se encuentran en la parte alta de la microcuenca de Río de Oro bajo (MROB), predomina el carácter dudoso del agua. En la estación CS-01 más de un 70% de los monitores son clasificados en este estado como se observa en la Figura 32, la evolución temporal muestra una tendencia a permanecer en este calificativo sin tendencia a mejorar. La calidad del agua según el ICA para estaciones ubicadas en la parte alta de la microcuenca se encuentra en un rango aceptable.

**Figura 32.** Estado del ICA en el punto de monitoreo CS-01.



El punto de monitoreo GY-01, sobre la quebrada La Guacamaya, dentro del área metropolitana de Bucaramanga, esquematiza el estado de los efluentes que atraviesan las urbes y están ubicados en la parte media de la microcuenca, presenta cerca un 60% de estado pésimo, ocasionado probablemente por las aguas residuales domesticas e industriales que capta a su paso, no obstante tiene un 2% de calificativo bueno, en registros presentados en el año 2003. Se observa una mejora general en el ICA a partir del 2010, pasando de un estado pésimo a inadecuado-dudoso (Figura 33), sin embargo, es evidente que la densidad de datos en los últimos años ha disminuido por ende el resultado no es concluyente.

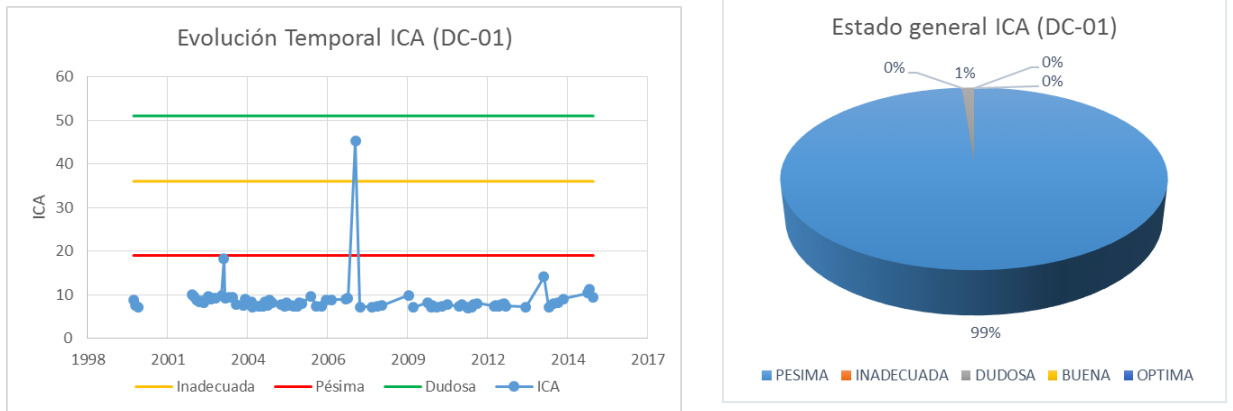
**Figura 33.** Estado del ICA en el punto de monitoreo GY-01.



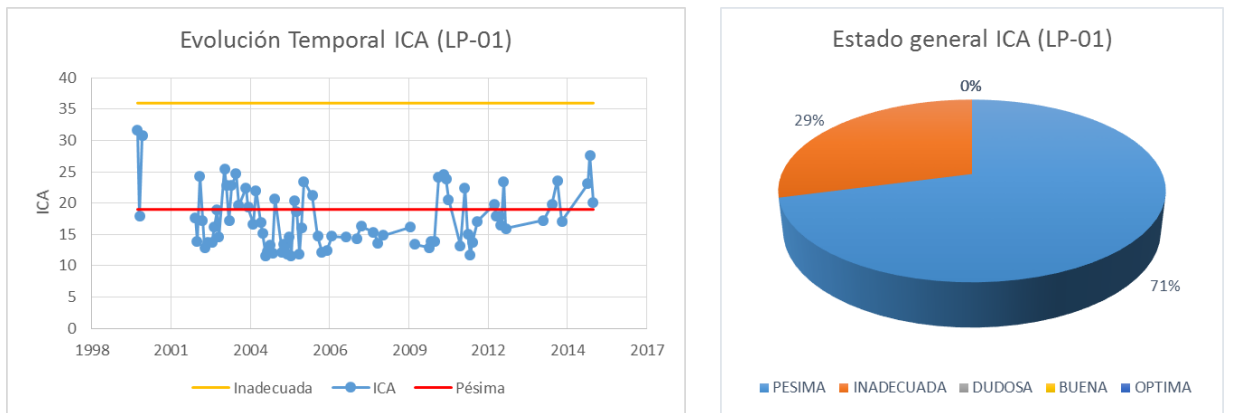
Estaciones con un alto grado de contaminación como DC-01 y LP-01, entre otras (ver **Anexo I**), reflejan este estado en el índice de calidad del agua. Para la primera en cuestión, tiene la condición de pésimo un 99% del tiempo, anteriormente se había hecho énfasis en este punto, que se encuentra sobre la quebrada El Carrasco, objeto de desecho de lixiviados del depósito de residuos sólidos del área metropolitana, la evolución del índice no muestra una tendencia a mejorar en el futuro (Figura 34). La quebrada La Picha (LP-01), ubicada al norte

de la microcuenca, presenta de igual forma altos niveles de contaminación, su estado general es pésimo (71%), no tiene atributo de dudoso o bueno, su tendencia permanece constante entre este estado pésimo e inadecuado sin ningún patrón que indique una mejora en el futuro.

**Figura 34.** Estado del ICA en el punto de monitoreo DC-01.



**Figura 35.** Estado del ICA en el punto de monitoreo LP-01.



## 5. CONCLUSIONES

El estudio de la calidad del agua de la microcuenca de Río de Oro bajo, en el marco temporal y espacial, permite concluir que:

- En términos generales, los puntos de monitoreo que presentan menores impactos de contaminación son LF-01, CS-01, AR-01 y CH-01, localizados sobre las quebradas La Flora, La Cascada, Argelia y Chapinero, respectivamente, sin embargo, presentan claros indicios de contaminación por aguas residuales domésticas, con valores de Coliformes Fecales y Totales de  $2.4 (10^6) [NMP/100mL]$ , este hecho se repite en la totalidad de las fuentes monitoreadas sobre la microcuenca de Río de Oro bajo, resaltando el grave impacto que tiene la disposición final de residuos líquidos del área metropolitana sobre los recursos hídricos de la zona.
- Las fuentes que presentan mayores huellas de contaminación son las quebradas El Carrasco, La Picha, Guacamaya y El Macho, con códigos, DC-01, LP-01, GY-01 y MA-01, respectivamente, en las cuales se ha presentado en varias ocasiones de sus registros condiciones anóxicas, se destaca la estación DC-01, cuyos concentraciones de  $DBO_5$ , DQO, Sólidos Suspendidos y pH sobrepasan por mucho los valores recomendados por la norma, ocasionado por el escurrimiento de lixiviados provenientes del depósito de residuos sólidos del área metropolitana. Los puntos de monitoreo como GY-01, MA-01 y LI-03, ubicados sobre suelo urbano, derivan su problema de contaminación en principal medida a la proximidad que tienen con industrias.
- La calidad del agua en comparación con normas nacionales e internacionales presenta considerables deficiencias, usos potenciales para la agricultura restringida y no restringida presenta porcentajes de datos, que cumplen con los criterios, inferiores al 60% en todas las estaciones, y en algunos casos por debajo de 20% (DC-01), de forma similar, la utilización del agua para fines recreativos de contacto primario o secundario, tiene en promedio 60% o menos de datos que pasan los estándares.
- El Río de Oro tiene una recuperación general en términos de calidad de agua, parámetros relevantes como  $DBO_5$ , DQO y Nitrógeno total tienen un descenso promedio en su concentración en el transcurso por la microcuenca de  $17 [mgO_2/L]$ ,  $24 [mgO_2/L]$  y  $2 [mgN/L]$  respectivamente, paralelamente el oxígeno disuelto tiene un aumento promedio de  $1.1 [mgO_2/L]$ , la capacidad para asimilar tensesores y de auto-depuración de este importante corredor hídrico es evidente, más aun cuando los

principales afluentes que desembocan en éste, traen consigo altas cargas contaminantes, provocadas por los residuos líquidos domésticos e industriales provenientes de Bucaramanga y parte de Girón.

- La quebrada La Iglesia es el curso de agua sobre el cual se vierte los residuos líquidos provenientes de la zona sur de Bucaramanga, este importante corredor hídrico, entre los puntos de monitoreo LI-03 y LI-01, tiene una mejora en el estado de su agua, un descenso promedio de 47 [ $mgO_2/L$ ], 25 [ $mgO_2/L$ ] y 0.3 [ $pH$ ], en DBO<sub>5</sub>, DQO y pH respectivamente, y una recuperación de oxígeno disuelto de 0.7 [ $mgO_2/L$ ], a pesar de esto la condición general no es óptima y es una de las quebradas en peor estado.
- No se puede afirmar que existe una diferencia estadística significativa que permita concluir que los principales parámetros indicadores de calidad del agua están influenciados por fenómenos atmosféricos relacionados con el régimen de precipitación. El arrastre de materia orgánica e inorgánica, nutrientes y sólidos presentes en el suelo pueden afectar la calidad del agua en época de lluvia, sin embargo solo un estudio en mayor detalle de estos fenómenos podría responder estas preguntas.
- El índice de calidad del agua a la entrada y cierre de la microcuenca (RO-02 y RO-01), tiene como predominante el estado inadecuado (>80%), no presenta estados bueno u óptimo en ningún momento de su historia y su evolución temporal tiende a permanecer en condición inadecuada sin ninguna pauta de mejora en el futuro. Afluentes ubicados en la parte alta de la microcuenca tiene como común denominador el estado dudoso con cerca o más del 50% de este calificativo, a medida que se desciende, el estado dominante pasa a ser pésimo, en puntos como GY-01, MA-01 y LI-03, localizados en la parte media de la microcuenca, teniendo más de un 50% en esta condición.

## 6. RECOMENDACIONES

Las recomendaciones enunciadas a continuación, tienen por objeto mejorar los procesos desarrollados en la CDMB con el fin de obtener resultados de mayor calidad, todo esto percibido en el marco de la realización de la práctica empresarial:

- El sistema de información corporativo (SIC), en las bases de datos de cantidad y calidad del agua presenta en rasgos generales tres falencias:
  - i. Fragmentación: los datos de una misma estación se encuentran en dos bases de datos con años de registro distintos, esto debido al cambio de nombre de la estación o a la actualización con el código en reciente uso.
  - ii. Compilación: durante una revisión más exhaustiva se pudo notar que datos de cantidad de agua (caudal), no están registrados de forma paralela en la base de datos de calidad para una misma estación.
  - iii. Separador decimal: durante la descarga de bases de datos de calidad de agua, algunos valores son bajados con separador decimal punto en tanto que otros con coma, no siendo uniforme, y provocando errores en los cálculos.
- El monitoreo de fuentes hídricas superficiales, presenta un sesgo en la recolección de los datos, de forma anual el calendario de seguimiento, no incluye el primer periodo estiaje por cuestiones administrativas y se soluciona aumentando la frecuencia en periodos de lluvia, este desbalance en la recolección de las muestras de campo provoca que no se pueda seguir un control del régimen bimodal en los afluentes en cuestión de calidad y cantidad.
- Se recomienda realizar muestreos integrados y compuestos en el Río de Oro y afluentes principales, con el objeto de estudiar de forma detallada la asimilación de tensores del curso de agua, así mismo evaluar fenómenos fisicoquímicos que estén ocurriendo por la descarga constante de residuos líquidos.
- Se debe realizar lectura de niveles mínimo en dos ocasiones al día, así mismo generar las respectivas curvas de calibración para estos puntos, información que permita tener registros de caudales diarios, de gran importancia en la determinación de cargas contaminantes y el estudio de cantidad de agua presente en la microcuenca.

- Los rangos fijados para la calificación de una corriente superficial en el índice de calidad del agua (ICA), por parte de la CDMB, difieren de los establecidos por el IDEAM, los cuales son más estrictos. La modificación de los criterios por parte de la CDMB, no permite tener una idea clara del estado real del afluente, en base a este índice, además que no posibilita la comparación de corredores hídricos de su jurisdicción con otros del país. Por ende se sugiere ajustarse a las recomendaciones del IDEAM.

## REFERENCIAS

- [1] «Calidad del agua,» ONU, 25 Octubre 2014. [En línea]. Disponible en: <http://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/quality.shtml>. [Último acceso: 2016 Julio 18].
- [2] «Agua saneamiento y salud (ASS),» Organización Mundial de la Salud, [En línea]. Disponible en: [http://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/mdg1/es/](http://www.who.int/water_sanitation_health/mdg1/es/). [Último acceso: 18 Julio 2016].
- [3] C. Á. Jiménez, «¿Cómo es el avance en la cobertura de acueducto en Colombia?,» *El Tiempo*, 24 Marzo 2015.
- [4] Ministerio de Salud y Protección Social, «Informe Nacional de la Calidad del agua para Consumo Humano con Base en IRCA,» Subdirección de Salud Ambiental, Bogotá, 2014.
- [5] «Enfermedades relacionadas con el agua,» Organización Mundial de la Salud, [En línea]. Disponible en: [http://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/diseases/es/](http://www.who.int/water_sanitation_health/diseases/es/). [Último acceso: 18 Julio 2016].
- [6] M. A. Mondcada y C. Victor, «Riesgo de enfermedades transmitidas por el agua en zonas rurales,» Red Iberoamericana de Potabilización y Depuración del Agua, Buenos Aires, Argentina, 2001.
- [7] Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, «Plan Nacional de Manejo de Aguas Residuales Municipales en Colombia,» Departamento de Nacional de Planeación, Bogotá D.C., 2004.
- [8] L. C. Orjuela, G. Saldarriaga, M. García y H. Wilches, «Calidad del agua superficial en Colombia,» IDEAM, Bogotá, 2016.
- [9] Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga, «Funciones,» CDMB, [En línea]. Disponible en: <http://www.cdmb.gov.co/web/funciones>. [Último acceso: 18 Julio 2016].
- [10] M. C. Carvajal, «Plan de acción "Unidos por el ambiente",» Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga, Bucaramanga, 2016.
- [11] Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga, «Plan de ordenamiento y manejo ambiental de la subcuenca

del Río de Oro,» CDMB, Bucaramanga, 2015.

- [12] Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga, «Problemática del Río de Oro,» CDMB, Bucaramanga, 2014.
- [13] Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga, «Plan de Ordenación y Manejo Ambiental Subcuenca Río de Oro,» CDMB, Bucaramanga, 2007.
- [14] Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga, «Informe Anual de la Red de Monitoreo de Calidad de Agua,» CDMB, Bucaramanga, 2015.
- [15] G. Oviedo Chávez, R. Torres, A. Martínez, G. Camargo, M. Giedelmann, M. Daniel y M. Julián, «Riqueza natural de Santander para el mundo,» Universidad Autónoma de Bucaramanga, Bucaramanga, 2014.
- [16] Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga, «Áreas Protegidas en la Jurisdicción de la CDMB (Santander, Colombia),» CDMB, Bucaramanga, 2011.
- [17] Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga, «CDMB,» 21 Marzo 2017. [En línea]. Disponible en: <http://www.cdm.gov.co>. [Último acceso: 20 Marzo 2017].
- [18] Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga, «Medios electrónicos internos,» CDMB, Bucaramanga, 2010.
- [19] B. L. Cardona, «Conceptos básicos de morfometría de cuencas hidrográficas,» Universidad de San Carlos de Guatemala, San Carlos, 2013.
- [20] Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga, «Informe Anual Red Hidroclimatológica,» CDMB, Bucaramanga, 2014.
- [21] «Plan de Ordenamiento Río Oro y sus tributarios Ríos Frío y Lato,» CDMB, Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, Bucaramanga, 2014.
- [22] Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga, «Plan de Ordenación y Manejo Ambiental Subcuenca Río de Oro,» CDMB, Bucaramanga, 2007.
- [23] Alcaldía de Girón, «Plan de Desarrollo de San Juan de Girón,» Girón, 2005.

- [24] Empresa Pública de Alcantarillado de Santander, «Plan de Saneamiento y Manejo de Vertimientos,» EMPAS, Bucaramanga, 2007.
- [25] E. A. Rueda, «Rio de Oro sigue siendo otra "cloaca" del área metropolitana,» *Vanguardia*, 04 Julio 2013.
- [26] I. A. Pérez, «El Rio de Oro sigue agonizando por su alta contaminación,» *Vanguardia*, 17 Agosto 2014.
- [27] Radio Nacional de Colombia, «Será recuperado el Rio de Oro, uno de los 10 más contaminados del país,» *Radio Nacional de Colombia*, 26 Agosto 2016.
- [28] Caracol Radio, «Revelan el listado de ríos más sucios de Colombia,» *Caracol Radio*, 15 Septiembre 2014.
- [29] El Tiempo, «Colombia quiere sacar de la 'agonía' a diez ríos críticos,» *El Tiempo*, 8 Mayo 2015.
- [30] A. Fernández, P. Letón, R. Rosal, M. Dorado, S. Villar y J. Sanz, Tratamiento Avanzado de Aguas Residuales Industriales, Madrid: Dirección General de Universidades e Investigación, 2006.
- [31] Empresa Pública de Alcantarillado de Santander, «Plan Estratégico de Gestión de EMPAS S.A.,» EMPAS, Bucaramanga, 2011.
- [32] Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga, «Plan General de Control de Erosión,» CDMB, Bucaramanga, 1969.
- [33] Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga, «Plan General para el Control de la Erosión en el Municipio de Bucaramanga Departamento de Santander,» Coordinación de Gestión del Riesgo, Bucaramanga, 2008.
- [34] J. C. Chío, «Hay 236 asentamientos en Bucaramanga que requieren atención urgente,» *Vanguardia*, 23 Febrero 2015.
- [35] V. P. Gonzáles, «Asentamientos ilegales inmersos en la zona rural de Bucaramanga,» *Periódico 15*, 24 Marzo 2017.
- [36] A. Ramírez González y G. Viña Vizcano, Limnología Colombiana Aportes a su Conocimiento y Estadísticas de Análisis, Bogotá: Fundación Universidad Jorge Tadeo Lozano, 1998.

- [37] T. Murphy y A. T. Lau, «Handling of atypical values,» ASTM International, USA, 2008.
- [38] M. A. Balmón, Guía Práctica de Análisis de Datos, España: Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera, 2006.
- [39] I. A. Uribe, «Guía Metodológica para la Selección de Técnicas de Depuración de Datos,» Universidad Nacional de Colombia, Medellín, 2010.
- [40] R. Levin y D. Rubin, Estadística para Administración y Economía, México: Pearson Education, 2004.
- [41] J. W. Tukey, Exploratory Data Analysis, London: Addison-Wesley, 1977.
- [42] G. León, Apuntes de Métodos Estadísticos I, Mérida, Venezuela: Universidad de los Andes, 2013.
- [43] F. E. Grubbs, «Procedures for Detecting Outlying Observations in Samples,» Technometrics, Maryland, 1969.
- [44] J. K. Taylor y C. Cihon, Statistical Techniques for Data Analysis, New York: Chapman & Hall, 2004.
- [45] C. Sierra, Calidad del Agua: evaluación y diagnóstico, Medellín: Universidad de Medellín, 2011.
- [46] S. Fernández, M. Cordero y A. Córdoba, Estadística Descriptiva, Madrid: ESIC, 2002.
- [47] *República de Colombia, Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible, Decreto 1076, 2015.*
- [48] *República de Colombia, Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, Decreto 3930, 2010.*
- [49] United States Environmental Protection Agency, «Quality Criteria for Water,» EPA, Washington D.C., 1986.
- [50] United States Environmental Protection Agency, «Water Quality Standards Handbook,» EPA, Washington D.C., 1994.
- [51] United States Environmental Protection Agency, «Water Quality Standards: Establishment of Numeric Criteria for Priority Toxic Pollutants for the State of California (California Toxics Rule),» EPA, Washington D.C., 2000.

- [52] Estados Unidos Mexicanos, Secretaría de Salud, «Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994, "Salud ambiental, agua para uso y consumo humano- límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización",» México, D.F., 1994.
- [53] Estados Unidos Mexicanos, Secretaria de Medio Ambiente, «Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEMARNAT-1996, "Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en descargas de aguas residuales y bienes nacionales",» México, D.F., 1996.
- [54] Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, «Relatoria Qualidades das Águas Superficiais no Estado de São Paulo,» CETESB, São Paulo, Brasil, 2014.
- [55] U. Enderlein, P. Williams y R. Enderlein, «Requisitos de la calidad del agua,» de *Control de la contaminación del agua*, Perú, Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias Ambientales, 1999.
- [56] E. K. Ardila, «Cerca de 40 construcciones invaden quebrada 'El Macho' de Bucaramanga,» *Vanguardia*, 06 Noviembre 2016.
- [57] Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga, «Recursos digitales internos,» CDMB, Bucaramanga, 2017.
- [58] G. Cardenas Calvachi y I. Sánchez Ortiz, «Nitrógeno en aguas residuales: orígenes, efectos y mecanismos de remoción para preservar el,» *Universidad y salud*, vol. 15, 2013.
- [59] R. A. Torinos, «Triple Enlace Química,» 27 Septiembre 2012. [En línea]. Disponible en: <https://triplenlace.com>. [Último acceso: 9 Abril 2017].
- [60] Lenntech, «¿Por qué es importante el oxígeno disuelto en el agua?,» [En línea]. Disponible en: [www.lenntech.com](http://www.lenntech.com). [Último acceso: 10 Abril 2017].
- [61] CIMCOOL, «¿Por qué es importante el oxígeno disuelto?,» Milacron, México, 2004.
- [62] F. Fuentes y A. Massol-Deyá, «Manual de Laboratorios Ecología de Microorganismos,» Universidad de Puerto Rico, Puerto Rico, 2002.
- [63] C. Escobar Potes y G. Duque Escobar, *Geotecnia para el Trópico Andino, Manizales: Universidad Nacional de Colombia*, 2016.
- [64] L. E. Barba, *Conceptos básicos de la contaminación del agua y parámetros de*

medición, Santiago de Cali: Universidad del Valle, 2002.

[65] L. Echarri, Población, ecología y ambiente, España: Universidad de Navarra, 2007.

[66] *República de Colombia, Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible, Decreto 0303*, 2012.

[67] Bayona Aparicio Ingenieros & Cicico Ltda, «Plan General de Saneamiento de la Quebrada La Iglesia,» CDMB, Bucaramanga, 1991.

[68] E. A. Rueda, «EL Carrasco estaría contaminando las fuentes hídricas,» *Vanguardia*, 07 Marzo 2016.

## BIBLIOGRAFIA

A. RAMÍREZ GONZÁLEZ Y G. VIÑA VIZCANO, Limnología Colombiana Aportes a su Conocimiento y Estadísticas de Análisis, Bogotá: Fundación Universidad Jorge Tadeo Lozano, 1998.

ALCALDÍA DE GIRÓN, «Plan de Desarrollo de San Juan de Girón,» Girón, 2005.

C. SIERRA, Calidad del Agua: evaluación y diagnóstico, Medellín: Universidad de Medellín, 2011.

CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL PARA LA DEFENSA DE LA MESETA DE BUCARAMANGA, «Informe Anual de la Red de Monitoreo de Calidad de Agua,» CDMB, Bucaramanga, 2015.

-----, «Plan de ordenamiento y manejo ambiental de la subcuenca del Río de Oro,» CDMB, Bucaramanga, 2015.

-----, «Problemática del Río de Oro,» CDMB, Bucaramanga, 2014.

-----, «Plan de Ordenación y Manejo Ambiental Subcuenca Río de Oro,» CDMB, Bucaramanga, 2007.

-----, «Plan de Ordenamiento Río Oro y sus tributarios Ríos Frío y Lato,» CDMB, Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, Bucaramanga, 2014.

-----, «Plan de Ordenación y Manejo Ambiental Subcuenca Río de Oro,» CDMB, Bucaramanga, 2007.

EMPRESA PÚBLICA DE ALCANTARILLADO DE SANTANDER, «Plan de Saneamiento y Manejo de Vertimientos,» EMPAS, Bucaramanga, 2007.

G. LEÓN, Apuntes de Métodos Estadísticos I, Mérida, Venezuela: Universidad de los Andes, 2013.

I. A. URIBE, «Guía Metodológica para la Selección de Técnicas de Depuración de Datos,» Universidad Nacional de Colombia, Medellín, 2010.

J. K. TAYLOR Y C. CIHON, Statistical Techniques for Data Analysis, New York: Chapman & Hall, 2004.

L. C. ORJUELA, G. SALDARRIAGA, M. GARCÍA Y H. WILCHES, «Calidad del agua superficial en Colombia,» IDEAM, Bogotá, 2016.

L. E. BARBA, Conceptos básicos de la contaminación del agua y parámetros de medición, Santiago de Cali: Universidad del Valle, 2002.

MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL, «Plan Nacional de Manejo de Aguas Residuales Municipales en Colombia,» Departamento de Nacional de Planeación, Bogotá D.C., 2004.

MINITAB INC., «Getting Started Minitab 17,» 2016.

R. LEVIN Y D. RUBIN, Estadística para Administración y Economía, México: Pearson Education, 2004.

U. ENDERLEIN, P. WILLIAMS Y R. ENDERLEIN, «Requisitos de la calidad del agua,» de Control de la contaminación del agua, Perú, Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias Ambientales, 1999.

## ANEXOS

### ANEXO A. Estandares y criterios de calidad del agua para diferentes usos.

Usos potenciales para agricultura (C. Sierra, 2011.)<sup>7</sup>:

AGRICULTURA RESTRINGIDA					
Parámetro	EPA	California	México	Decreto 1594*	Valor propuesto Máximo
PH	6-9	-	5-10	4.5-9	5-9
DBO5 [mgO <sub>2</sub> /L]	≤30	-	-	-	X
Turbiedad [NTU]	-	X	-	-	X
SS [mg/L]	≤30	-	-	-	X
Coliformes Fecales [NPM/100mL]	≤200	-	<1000	<1000	<1000
Huevos Helminto	-	X	5	-	X
Cloro Residual [mg/L]	1	-	-	-	X
Grasas y aceites[mg/L]	-	X	15	-	X
Coliformes Totales [NPM/100mL]	-	-	X	<5000	<5000
Materia Flotante	-	X	Ausente	-	X
Alcalinidad(CaCO <sub>3</sub> ) [mg/L]				600	X
Sólidos disueltos [mg/L]				5000	5000

-. La referencia no menciona el parámetro.

X: No se considera un parámetro relevante en esta referencia.

EPA: Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos.

\* El Decreto 1594 solo establece normas agrícolas, pero con fines comparativos, se considera los mismos para los diferentes tipos de usos, suponiendo que son los de las condiciones más estrictas.

AGRICULTURA NO RESTRINGIDA					
Parámetro	EPA	California	México	Decreto 1594*	Valor propuesto Máximo
PH	6-9	-	5-10	4.5-9	5-9
OD [mgO <sub>2</sub> /L]					>2
DBO5 [mgO <sub>2</sub> /L]	<10	-	-	-	X
Turbiedad [NTU]	2	2	-	-	X
SS [mg/L]	-	X	-	-	X
Coliformes Fecales [NPM/100mL]	N.D.	-	<1000	<1000	<1000
Huevos Helminto	-	X	1	-	1
Cloro Residual [mg/L]	<1	-	-	-	X
Grasas y aceites[mg/L]	-	X	15	-	X
Coliformes Totales [NPM/100mL]	-	2200 (M) - 2300(μ)	X	<5000	<5000
Materia Flotante	-	X	Ausente	-	X
Sólidos disueltos [mg/L]					5000

-. La referencia no menciona el parámetro, M: mediana, μ: media.

X: No se considera un parámetro relevante en esta referencia. ND: no detectable.

EPA: Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos.

\* El Decreto 1594 solo establece normas agrícolas, pero con fines comparativos, se considera los mismos para los diferentes tipos de usos, suponiendo que son los de las condiciones más estrictas.

<sup>7</sup> C. Sierra, Calidad del Agua: evaluación y diagnóstico, Medellín: Universidad de Medellín, 2011.

Usos potenciales para la recreación (C. Sierra, 2011.)<sup>8</sup>:

CONTACTO PRIMARIO (SIN RESTRICCIONES)					
Parámetro	EPA	California	México	Decreto 1594*	Valor propuesto Máximo
PH	-	-	6.5-8.3	5-9	5-9
Coliformes Fecales [NPM/100mL]	<200	-	-	-	X
Turbiedad [NTU]	-	-	15	-	X
Coliformes Totales [NPM/100mL]	-	2,2 (M)	<5000	<5000	<5000**
DBO5 [mgO <sub>2</sub> /L]	<30	-	<100	-	X
SS [mg/L]	<30	-	<500	-	X
Cloro Residual [mg/L]	<1	-	<0.2	-	X
OD de saturación	X	X	X	70%	X
Tensoactivos [mg/L]	X	X	X	<0.5	<0.5
Película de grasa y material flotante	X	X	X	No visible	No visible
Sustancias toxicas	X	X	X	No permitidas	No permitidas
N y P en proporción que no eutrofiquen	X	X	X	Baja	Baja

-: La referencia no menciona el parámetro, M: mediana

X: No se considera un parámetro relevante en esta referencia.

EPA: Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos.

\* El Decreto 1594 solo establece normas agrícolas, pero con fines comparativos, se considera los mismos para los diferentes tipos de usos, suponiendo que son los de las condiciones más estrictas.

<sup>8</sup> C. Sierra, Calidad del Agua: evaluación y diagnóstico, Medellín: Universidad de Medellín, 2011.

CONTACTO SECUNDARIO (CON RESTRICCIONES)					
Parámetro	EPA	California	México	Decreto 1594*	Valor propuesto Máximo
PH	6-9	-	6.5-8.3	5-9	5-9
Coliformes Fecales [NPM/100mL]	No detectable	-	-	<200	<200
Turbiedad [NTU]	<2	<2	<10	-	X
Coliformes Totales [NPM/100mL]	-	2,2(M) - 2,3(μ)	<1000	<1000	<1000
DBO5 [mgO <sub>2</sub> /L]	<10	-	<20	-	20
Cloro Residual [mg/L]	<1	-	<0.2	-	X
Compuestos fenólicos [mg/L]	X	X	X	<0.002	X
OD de saturación	X	X	X	<70%	X
Tensoactivos [mg/L]	X	X	X	<0.5	X
Películas de grasa y material flotante	X	X	X	No visible	No visible
Sustancias toxicas	X	X	X	No permitidas	No permitidas
N y P en proporción que no eutrofiquen	X	X	X	Baja	Baja

-: La referencia no menciona el parámetro, M: mediana

X: No se considera un parámetro relevante en esta referencia.

\* El Decreto 1594 solo establece normas agrícolas, pero con fines comparativos, se considera los mismos para los diferentes tipos de usos, suponiendo que son los de las condiciones más estrictas.

Criterios nacionales para consumo humano y domestico con tratamiento convencional y desinfección (Decreto 1076, 2015)<sup>9</sup> y (Decreto 3930, 2010)<sup>10</sup>. En lo dispuesto en estas normas no se especifica qué tipo de métodos se requieren para la potabilización del agua con tratamiento convencional o desinfección.

Tratamiento convencional y criterios de calidad para consumo humano y doméstico		
Referencia	Expresada como	Valor [mg/L]*
Amoniaco	N	1
Arsénico	As	0.05
Bario	Ba	1
Cadmio	Cd	0.01
Cianuro	CN-	0.2
Cinc	Zn	15
Cloruros	Cl-	250
Cobre	Cu	1
Color	Color Real	75 unidades
Compuestos fenólicos	Fenol	0.002
Cromo	Cr+5	0.05
Difenil Policlorados	mg/L	No detectable
Mercurio	Hg	0.002
Nitratos	N	10
Nitritos	N	1
Ph	Unidades	5-9
Plata	Ag	0.05
Plomo	Pb	0.05
Selenio	Se	0.01
Sulfatos	SO <sub>4</sub>	400
Tensoactivos	mg/L	0.5
Turbidez	UJT	10
Coliformes totales	NMP	20000
Coliformes fecales	NMP	2000

Desinfección y criterios para consumo humano y doméstico		
Referencia	Expresada como	Valor [mg/L]*
Amoniaco	N	1
Arsénico	As	0.05
Bario	Ba	1
Cadmio	Cd	0.01
Cianuro	CN-	0.2
Cinc	Zn	15
Cloruros	Cl-	250
Cobre	Cu	1
Color	Color Real	20 unidades
Compuestos fenólicos	Fenol	0.002
Cromo	Cr+5	0.05
Difenil Policlorados	mg/L	No detectable
Mercurio	Hg	0.002
Nitratos	N	10
Nitritos	N	1
Ph	Unidades	6.5-8.5
Plata	Ag	0.05
Plomo	Pb	0.05
Selenio	Se	0.01
Sulfatos	SO <sub>4</sub>	400
Tensoactivos	mg/L	0.5
Turbidez	UJT	10
Coliformes fecales	NMP	1000

\* Concentración en mg/L a menos que se especifique lo contrario.

<sup>9</sup> República de Colombia, Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible, Decreto 1076, 2015.

<sup>10</sup> República de Colombia, Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, Decreto 3930, 2010.

## ANEXO B. Parámetros fisicoquímicos objeto de estudio.

A partir del procedimiento recomendado por (Ramírez & Viña, 1998)<sup>11</sup> se seleccionaron las siguientes variables:

- Variables fisicoquímicas con densidades de datos registrados inferiores a 39% no se seleccionaron para el estudio.
- Variables fisicoquímicas con densidades de datos registrados entre 40%-69%, con continuidad en sus registros, fueron seleccionadas para el estudio, de no ser así fueron rechazadas.
- Variables fisicoquímicas con densidades de datos registrados superiores al 70%, fueron seleccionadas para el estudio.
- Una variable se considera no relevante cuando no aporta información sobre el estado de calidad de la microcuenca.

Condición de la variable	Convenciones	
Rechazada	✘ 0%	✘ 39%
Inspeccionada	⚠ 40%	⚠ 69%
Aceptada	✔ 70%	✔ 100%
No relevante		

---

<sup>11</sup> A. Ramírez González y G. Viña Vizcano, Limnología Colombiana Aportes a su Conocimiento y Estadísticas de Análisis, Bogotá: Fundación Universidad Jorge Tadeo Lozano, 1998.

PORCENTAJE DE DATOS ALMACENADOS																				
ID	FUENTE	ESTACIÓN	CÓDIGO ESTACIÓN	Aceites-Grasas	Alcalinidad	Caudal	Cianuro CN-	CN- Libre	CN- Total	Colif.Fecales	Colif.Total	Conductividad	DBO5	DQO	Detergentes	Dureza	Fósforo Total	Lectura Mira	Mercurio	
1	Río de Oro	Carrizal	RO - 02	✗ 3%	✗ 32%	✗ 21%	✗ 3%	✗ 0%	✗ 0%	✓ 100%	✓ 100%	! 48%	✓ 100%	✓ 100%	✗ 6%	✗ 32%	✓ 100%	✗ 0%	✗ 3%	
2	Río de Oro	Puente Nariño	RO - 01	✗ 2%	✗ 6%	! 66%	✗ 1%	✗ 0%	✗ 0%	✓ 100%	! 42%	✗ 10%	✓ 100%	✗ 25%	✗ 11%	✗ 6%	✓ 100%	✗ 0%	✗ 1%	
3	Q. La Flora	El Jardín	LF - 01	! 49%	✗ 21%	✓ 74%	✗ 0%	✗ 0%	✗ 0%	✓ 100%	✓ 100%	✗ 31%	✓ 100%	✓ 71%	✗ 0%	✗ 21%	✓ 100%	✗ 0%	✗ 0%	
4	Q. La Cascada	La Floresta	CS - 01	✗ 0%	✗ 21%	✓ 78%	✗ 0%	✗ 0%	✗ 0%	✓ 100%	✓ 100%	✗ 31%	✓ 100%	✓ 71%	✗ 0%	✗ 21%	✓ 100%	✗ 0%	✗ 0%	
5	Q. La Iglesia	San Luis	LI - 03	✗ 1%	✗ 21%	✓ 80%	✗ 0%	✗ 0%	✗ 0%	✓ 100%	✓ 100%	✗ 32%	✓ 100%	✓ 73%	✗ 1%	✗ 21%	✓ 100%	✗ 0%	✗ 1%	
6	Q. El Macho	Coca-Cola	MA - 01	✗ 0%	✗ 20%	✓ 76%	✗ 0%	✗ 0%	✗ 0%	✓ 99%	✓ 98%	✗ 32%	✓ 100%	✓ 71%	✗ 1%	✗ 20%	✓ 99%	✗ 0%	✗ 0%	
7	Q. La Guacamaya	Coca-Cola	GY - 01	✗ 0%	✗ 21%	! 66%	✗ 0%	✗ 0%	✗ 0%	✓ 100%	✓ 100%	✗ 31%	✓ 100%	✓ 72%	✗ 2%	✗ 21%	✓ 100%	✗ 0%	✗ 1%	
8	Q El Carrasco	Cenfer	DC - 01	✗ 0%	✗ 21%	! 65%	✗ 0%	✗ 0%	✗ 0%	✓ 100%	✓ 100%	! 52%	✓ 100%	✓ 71%	✗ 1%	✗ 21%	✓ 100%	✗ 0%	✗ 0%	
9	Q. La Iglesia	Puente Sena	LI - 01	✗ 1%	✗ 10%	✓ 84%	✗ 1%	✗ 0%	✗ 0%	✓ 100%	! 57%	✗ 15%	✓ 100%	✗ 32%	✗ 12%	✗ 10%	✓ 100%	✗ 0%	✗ 1%	
10	Q. Chimita	Chimitá	CA - 01	✗ 1%	✗ 8%	✓ 84%	✗ 0%	✗ 0%	✗ 0%	✓ 100%	! 55%	✗ 13%	✓ 100%	✗ 32%	✗ 13%	✗ 8%	✓ 100%	✗ 0%	✗ 0%	
11	Q. Cuyamita	Parque Industrial	CY - 01	✗ 0%	✗ 19%	✓ 81%	✗ 0%	✗ 0%	✗ 0%	✓ 100%	✓ 100%	✗ 31%	✓ 100%	✓ 71%	✗ 1%	✗ 19%	✓ 100%	✗ 0%	✗ 0%	
12	Q. Argelia	Argelia	AR - 01	✗ 0%	✗ 19%	✓ 81%	✗ 0%	✗ 0%	✗ 0%	✓ 100%	✓ 100%	✗ 31%	✓ 100%	✓ 72%	✗ 1%	✗ 19%	✓ 100%	✗ 0%	✗ 0%	
13	Q. Las Navas	Forjas Navas	LN - 01	✗ 39%	✗ 19%	! 64%	✗ 0%	✗ 0%	✗ 0%	✓ 100%	✓ 100%	✗ 31%	✓ 100%	✓ 70%	✗ 0%	✗ 19%	✓ 100%	✗ 1%	✗ 0%	
14	Q. Chapinero	Forjas Chapinero	CH - 01	✗ 1%	✗ 19%	✓ 78%	✗ 0%	✗ 0%	✗ 0%	✓ 100%	✓ 99%	✗ 31%	✓ 100%	✓ 71%	✗ 0%	✗ 19%	✓ 100%	✗ 0%	✗ 0%	
15	Q. La Picha	La Picha	LP - 01	✗ 1%	✗ 18%	✓ 80%	✗ 0%	✗ 0%	✗ 0%	✓ 100%	✓ 99%	✗ 30%	✓ 100%	✓ 71%	✗ 1%	✗ 18%	✓ 100%	✗ 0%	✗ 0%	
		Promedio		✗ 7%	✗ 18%	✓ 72%	✗ 0%	✗ 0%	✗ 0%	✓ 100%	✓ 90%	✗ 30%	✓ 100%	! 65%	✗ 3%	✗ 18%	✓ 100%	✗ 0%	✗ 0%	

\* Q: quebrada.

PORCENTAJE DE DATOS ALMACENADOS																				
ID	FUENTE	ESTACIÓN	CÓDIGO ESTACIÓN	Nitratos	Nitritos	N.Amoniacal	N.Orgánico	N.Total	N.Kjeldahl	O.D	Sól.Susp	Sól.S-Volátiles	Sól.Totales	Sól.T-Volátiles	Temp.Agua	Temp.Amb	Temp.Equi	Turbiedad	pH	
1	Río de Oro	Carrizal	RO - 02	✓ 100%	✓ 100%	! 40%	✗ 0%	! 52%	✓ 100%	✓ 100%	✓ 100%	! 55%	✓ 100%	✗ 2%	✓ 100%	✓ 100%	✓ 100%	✓ 100%	✓ 100%	
2	Río de Oro	Puente Nariño	RO - 01	✓ 100%	✓ 100%	✓ 85%	✓ 77%	✓ 89%	✗ 27%	✓ 100%	✓ 99%	✓ 75%	✓ 100%	! 59%	✓ 100%	✓ 100%	✓ 100%	✓ 100%	✓ 100%	
3	Q. La Flora	El Jardín	LF - 01	✓ 100%	✓ 100%	! 53%	✗ 29%	✓ 69%	✓ 82%	✓ 100%	✓ 100%	✓ 68%	✓ 100%	✗ 0%	✓ 100%	✓ 99%	✓ 100%	✓ 100%	✓ 100%	
4	Q. La Cascada	La Floresta	CS - 01	✓ 100%	✓ 100%	! 53%	✗ 29%	✓ 69%	✓ 82%	✓ 100%	✓ 100%	✓ 67%	✓ 100%	✗ 0%	✓ 100%	✓ 100%	✓ 100%	✓ 100%	✓ 100%	
5	Q. La Iglesia	San Luis	LI - 03	✓ 100%	✓ 100%	! 53%	✗ 28%	✓ 68%	✓ 83%	✓ 100%	✓ 100%	✓ 68%	✓ 100%	✗ 0%	✓ 100%	✓ 100%	✓ 100%	✓ 100%	✓ 100%	
6	Q. El Macho	Coca-Cola	MA - 01	✓ 100%	✓ 100%	! 52%	✗ 29%	✓ 68%	✓ 83%	✓ 100%	✓ 99%	✓ 68%	✓ 100%	✗ 0%	✓ 100%	✓ 100%	✓ 100%	✓ 100%	✓ 100%	
7	Q. La Guacamaya	Coca-Cola	GY - 01	✓ 100%	✓ 100%	! 53%	✗ 29%	✓ 69%	✓ 82%	✓ 100%	✓ 100%	✓ 69%	✓ 100%	✗ 0%	✓ 100%	✓ 100%	✓ 100%	✓ 100%	✓ 100%	
8	Q El Carrasco	Cenfer	DC - 01	✓ 98%	✓ 98%	! 53%	✗ 29%	✓ 69%	✓ 82%	✓ 100%	✓ 98%	✓ 68%	✓ 100%	✗ 1%	✓ 100%	✓ 100%	✓ 98%	✓ 100%	✓ 100%	
9	Q. La Iglesia	Puente Sena	LI - 01	✓ 100%	✓ 100%	✓ 80%	✓ 69%	✓ 85%	! 36%	✓ 100%	✓ 100%	✓ 74%	✓ 100%	! 44%	✓ 100%	✓ 100%	✓ 100%	✓ 100%	✓ 100%	
10	Q. Chimita	Chimitá	CA - 01	✓ 100%	✓ 100%	✓ 79%	✓ 68%	✓ 87%	! 37%	✓ 100%	✓ 100%	✓ 75%	✓ 100%	! 43%	✓ 100%	✓ 100%	✓ 100%	✓ 100%	✓ 100%	
11	Q. Cuyamita	Parque Industrial	CY - 01	✓ 100%	✓ 100%	! 54%	✗ 28%	✓ 69%	✓ 82%	✓ 100%	✓ 99%	✓ 69%	✓ 100%	✗ 0%	✓ 100%	✓ 99%	✓ 100%	✓ 100%	✓ 100%	
12	Q. Argelia	Argelia	AR - 01	✓ 100%	✓ 100%	! 54%	✗ 28%	✓ 69%	✓ 82%	✓ 100%	✓ 100%	✓ 67%	✓ 100%	✗ 0%	✓ 100%	✓ 100%	✓ 100%	✓ 100%	✓ 100%	
13	Q. Las Navas	Forjas Navas	LN - 01	✓ 100%	✓ 100%	! 54%	✗ 29%	✓ 69%	✓ 82%	✓ 100%	✓ 100%	✓ 69%	✓ 100%	✗ 0%	✓ 100%	✓ 100%	✓ 100%	✓ 100%	✓ 100%	
14	Q. Chapinero	Forjas Chapinero	CH - 01	✓ 100%	✓ 100%	! 53%	✗ 29%	✓ 69%	✓ 82%	✓ 100%	✓ 100%	✓ 69%	✓ 100%	✗ 0%	✓ 100%	✓ 100%	✓ 100%	✓ 100%	✓ 100%	
15	Q. La Picha	La Picha	LP - 01	✓ 100%	✓ 100%	! 53%	✗ 28%	✓ 70%	✓ 82%	✓ 100%	✓ 99%	✓ 69%	✓ 100%	✗ 0%	✓ 99%	✓ 98%	✓ 100%	✓ 100%	✓ 100%	
		Promedio		✓ 100%	✓ 100%	! 58%	✗ 35%	✓ 71%	✓ 74%	✓ 100%	✓ 100%	! 69%	✓ 100%	✗ 10%	✓ 100%	✓ 100%	✓ 100%	✓ 100%	✓ 100%	

\* Q: quebrada

**ANEXO C. Análisis de estadística descriptiva por puntos de monitoreo.**

Recurso disponible en formato digital.

**ANEXO D. Diagrama de cajas y prueba de Grubbs.**

Recurso disponible en formato digital.

**ANEXO E. Evolución temporal sobre el Río de Oro, a la entrada y cierre de la microcuenca (RO-02 y RO-01).**

Recurso disponible en formato digital.

**ANEXO F. Evolución temporal sobre un tramo de la quebrada La Iglesia, (LI-03 y LI-01).**

Recurso disponible en formato digital.

**ANEXO G. Comparación estadística de variables fisicoquímicas en época de lluvia y no lluvia.**

Recurso disponible en formato digital.

**ANEXO H. Estado del Índice de Calidad del Agua (ICA) sobre la MROB.**

Recurso disponible en formato digital.