

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

SEBASTIÁN ELÍAS PATIÑO GUTIÉRREZ

Estudiante de Ingeniería Civil
Universidad Industrial de Santander
sebastianelias66@yahoo.es
Bucaramanga, Colombia.

RESUMEN

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.

PALABRAS CLAVE: Calidad de agua, monitoreo hídrico, Río de Oro bajo, contaminación del agua.

ABSTRACT

The Autonomous Regional Corporation for the Defense of the Bucaramanga Plateau (CDMB) 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.

KEYWORDS: Water quality, water monitoring, Rio de Oro bajo, water contamination.

1. INTRODUCCIÓN

El 28 de julio de 2010, la Asamblea de la Organización de las Naciones Unidas (ONU) reconoció explícitamente el derecho humano esencial al agua potable y al saneamiento básico [1]. 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]. 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.

El Plan Nacional de Manejo de Aguas Residuales Municipales evaluó el impacto generado por los vertimientos sobre fuentes hídricas receptoras, ubicando al Río de Oro entre las diez subcuencas más contaminadas de Colombia [7].

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 [8]. 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 y se preparan informes de carácter público sobre el grado de contaminación [9] [10].

Esta práctica empresarial abordó el estudio de la microcuenca del Río de Oro bajo (MROB), afectada por actividades antrópicas; la parte alta caracterizada por la deforestación, ocasionando problemas de erosión y la parte media y baja

sujeta a la contaminación por residuos líquidos domésticos e industriales [11], lo que la hace objeto importante de investigación como parte de una práctica profesional. En el documento se encuentra: el análisis general de estadística descriptiva, la evaluación de la calidad del agua respecto a normas nacionales e internacionales, el desarrollo temporal del Río de Oro y quebrada La Iglesia y el análisis del índice de calidad del agua (ICA).

2. ÁREA DE ESTUDIO

La 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 Bárbara, Gualilo Alto, San José y 10 de Mayo de Bucaramanga, y las veredas Carrizal, Lagunetas y Bocas de Girón [12]. El drenaje de parte de la Cuenca Lebrija así como la ubicación de MROB se muestran en la Figura 1.

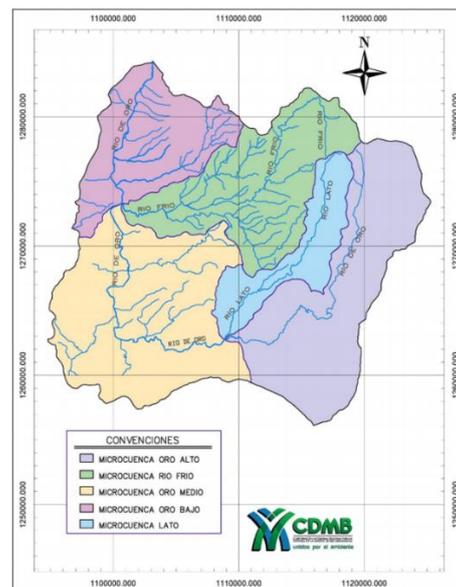


Figura 1. Subdivisión de la Cuenca Lebrija. Fuente. [13]

La MROB presenta los mayores índices de contaminación en la Cuenca Lebrija [14], se caracteriza por la riqueza paisajística, que muestra el abanico aluvial sobre el cual se apoya la ciudad (Meseta de Bucaramanga) [15], y a su alrededor la zona del DMI, siendo la microcuenca con el más alto porcentaje, constituyendo un espacio de amortiguamiento ambiental del área urbana de Bucaramanga [16].

2.1 Puntos de monitoreo

El recurso hídrico es monitoreado mediante dos redes denominadas básica y específica. La primera es destinada a la observación de variables del balance hídrico, la segunda se utiliza para describir el comportamiento específico de zonas que cuentan con características anómalas [17]. 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 deterioradas por la contaminación. En la Figura 2 se muestra la distribución espacial de los puntos de monitoreo sobre la MROB. En el Anexo 1 se incluye una versión ampliada del mapa y se detallan las características de los puntos de monitoreo.

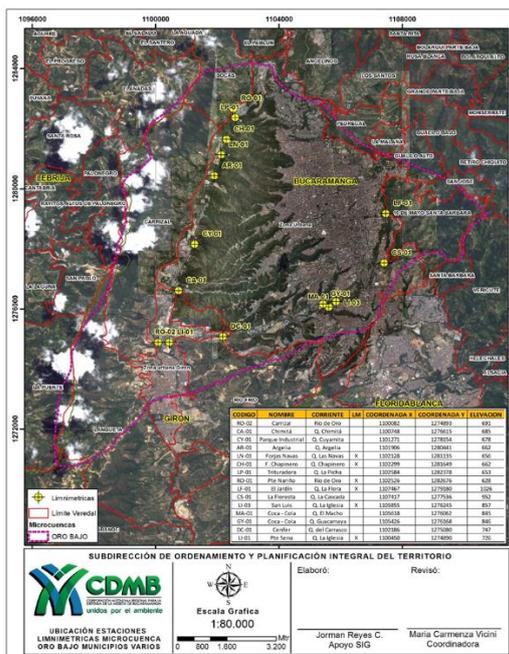


Figura 2. Ubicación de los puntos de monitoreo. Fuente. [13]

2.2 Uso del suelo

En la MROB un alto porcentaje de suelo 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, donde se destaca la zona industrial; además posee las tierras urbanas y suburbanas en expansión. Las actividades agrícolas son mínimas y las pecuarias están orientadas al establecimiento de la avicultura

comercial [12] [18], éstos y otros parámetros del uso del suelo se muestran en el Anexo 2.

2.3 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 MROB tiene una longitud de 12.8 km con pendiente aproximada del 1.8 % [12]. 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. En la Tabla 1 se resumen los principales parámetros de drenaje y forma.

Tabla 1. Características morfométricas.

Parámetro	Valor
Área [Km ²]	88.8
Perímetro [Km]	46.6
Longitud Axial [Km]	14.9
Ancho Promedio [Km]	6
Factor de Forma	0.4
Índice de Compacidad (Kc)	1.4
Mediana de Altitud [msnm]	1214
Longitud del Cauce [Km]	12.8

Adaptado de: [12]

2.3 Aspectos climáticos

El régimen de lluvias es de tipo bimodal. La primera temporada se presenta 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 [20]. En la Tabla 2 se sintetizan los aspectos climáticos de la MROB.

Tabla 2. Características climáticas.

Parámetro	Valor
Precipitación [mm]	130-30
Temperatura Ambiente [°C]	25-21
Brillo Solar [h]	2000
Humedad relativa [%]	76-79
Velocidad del Viento [m/s]	1.8

Adaptado de. [20]

3. PROBLEMÁTICA AMBIENTAL

El Río de Oro es uno de los corredores hídricos más contaminados del país [7] [21] [22]. Es utilizado como vía de evacuación de aguas servidas residenciales e industriales provenientes de los municipios de Piedecuesta, Floridablanca, Girón, Bucaramanga, lixiviados del depósito de residuos sólidos El Carrasco y la zona industrial de Chimitá. [23] [24] [25].

En el área de influencia de la Subcuenca de Río de Oro existen 326 usuarios que generan vertimientos, de los cuales 289 están activos (Tabla 3).

Tabla 3. Usuarios de vertimientos vigentes.

Municipio	Usuarios	Porcentaje
Bucaramanga	175	60.55%
Floridablanca	34	11.76%
Girón	39	13.49%
Piedecuesta	41	14.19%
TOTAL	289	100%

Adaptado de: [18]

Los vertimientos de origen industrial representan más del 75% (Tabla 4), en su mayoría provenientes de procesadoras de alimentos y lavaderos de autos, siendo objeto de regulación especial debido a su toxicidad y efectos biológicos a largo plazo [26]. En el **Anexo 3**, se localizan los puntos de vertimiento sobre MROB.

Tabla 4. 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: [18]

El número de concesiones otorgadas en el área de estudio aparece en la Tabla 5, así mismo en el **Anexo 4** y **Anexo 5**, se sitúan las concesiones a personas naturales y jurídicas, respectivamente.

Tabla 5. Concesiones otorgadas.

Estado	Persona Natural	Persona Jurídica
Vigentes	107	18
Vencidas	28	4
TOTAL	135	22

Adaptado de: [18]

Otro problema en la MROB son los procesos erosivos, la escarpa occidental de la meseta de Bucaramanga tiene una composición geológica de suelos fácilmente degradables al contacto con las lluvias y corrientes superficiales [27]. El Plan General de Control de Erosión (PGCE) resaltó la insuficiencia del alcantarillado por realizar vertimientos sobre la escarpa, aumentando la degradación de los suelos [28] [29].

4. METODOLOGÍA

La metodología para este trabajo se dividió en cinco etapas, con sub-actividades en cada uno (Figura 3), es importante destacar que el detalle de los procedimientos se adjunta como anexo.



Figura 3. Estructura general de la metodología.

4.1 Manejo de la información

Descarga. El manejo de la información en la CDMB se da a través del Sistema de Información Corporativo (SIC). La información de calidad del agua se divide en tres grupos: laboratorio, campo e índices. La plataforma SIC permite la descarga de los datos en un archivo de tipo texto (.txt), que puede ser cargado en programas de computador especializados.

Manipulación. La veracidad de un estudio está directamente relacionada con la calidad de los datos, trabajar con los datos planos implica la presunción de una total certeza de éstos, lo cual en la mayoría de las ocasiones no se cumple. Se aplicó el procedimiento indicado por [30], que se detalla en el **Anexo 6**, para elegir las variables objeto de estudio.

Depuración. Los valores atípicos (*Outliers*) son observaciones que no corresponden con el resto de los valores en el grupo de datos. Existen dos herramientas básicas para el reconocimiento de un valor atípico: las representaciones gráficas y las pruebas estadísticas [31]. Para la identificación de valores atípicos, se aplicaron los siguientes procedimientos: i) Representaciones gráficas: distribución de frecuencias (**Anexo 7**) [32] y diagrama de Box-Plot (**Anexo 8**) [33] [34] y ii) Pruebas estadísticas: Método de Grubbs (**Anexo 9**) [35] [36], detalladas en los anexos.

El dato que como resultado de la depuración, 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 [31].

Cuando hay múltiples valores atípicos en un grupo de datos, la investigación resulta más complicada, pero existen procedimientos de prueba para estos casos [37] [38].

4.2 Análisis Univariado

Existen dos técnicas estadísticas que permiten el análisis de datos: i) la estadística descriptiva, la cual se utiliza para resumir los datos de tal manera que sean más simples de analizar o interpretar y tienen por objeto estimar los parámetros de una población; 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 [39].

Estadística descriptiva. Para el presente estudio, el análisis de estadística descriptiva se realizó para la totalidad de las estaciones ubicadas en MROB, para todos los años de registro, con la finalidad de comprender como se comporta determinada variable de forma general. El análisis involucró el cálculo de medidas de tendencia central, medidas de dispersión y coeficientes adimensionales

Distribución de frecuencias. Es una ordenación tabulada de los datos recopilados en una investigación, de acuerdo a la clase o intervalo a que pertenece y con el número de veces que se repite, se representa con histogramas que permiten ver a grandes rasgos la distribución de los datos [40]. El procedimiento de construcción se detalla en el **Anexo 7**.

4.3 Procesamiento de la información de forma espacial

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 [41] y Decreto 3930 del 2010 [42], 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 [43], y Water Quality Standards Handbook [44]. Se cuenta también con los criterios de calidad para contaminantes prioritarios establecidos por el estado de California (USA) [45]. La norma oficial mexicana especifica su normatividad de acuerdo a su uso potencial en [46] [47]. 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 10** se muestra el resumen de los parámetros críticos de éstas normas, para usos como agricultura, recreación y consumo [39].

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.

4.4 Procesamiento de la información de forma temporal

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 tóxicas.

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.

Análisis 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 fisicoquímicas 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 [30]. 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) [48], igualmente se analizó

su evolución temporal comprendiendo como ha sido el desarrollo y tendencia en el futuro.

4.5 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.

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1 Evaluación global de la calidad

El cálculo de los estadísticos descriptivos y análisis de frecuencias, comprendió el estudio univariado de variables fisicoquímicas y microbiológicas (**Anexo 11**), se realizó con el objetivo de tener una imagen global y evaluar a grandes rasgos la diferencia entre estaciones. En el **Anexo 12** y **Anexo 13** se incluyen todos los resultados, para estadística descriptiva y estudio de frecuencias respectivamente.

De los resultados de estadística descriptiva, la estación LF-01 (quebrada La Flora), punto de monitoreo que se encuentra a mayor altura dentro de MROB, a 1026 m.s.n.m., se esperaba que la calidad del agua fuera optima, no obstante se presentan indicios de contaminación, evidente en la DBO₅ y DQO, que tienen valores superiores a los recomendados 6[mgO₂/L] y 12[mgO₂/L] [49], para sustentar vida acuática. La concentración de O.D. se encuentra en rangos normales, con un promedio superior a 6 [mgO₂/L], a pesar de que en algún momento ha presentado condiciones anóxicas, originado posiblemente por la descarga puntual de aguas residuales domésticas provenientes de asentamientos ilegales, aledañas a la vereda 10 de Mayo Santa Bárbara, que no cuentan con servicio de alcantarillado.

En la Figura 4, se sintetiza el estado global de MROB que presentan concentraciones de Oxígeno Disuelto inferiores a 3 [mgO₂/L], 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 DBO₅, 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

atravesan urbes provocando el deterioro de la calidad del agua en general [50] [51] [52]. 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.

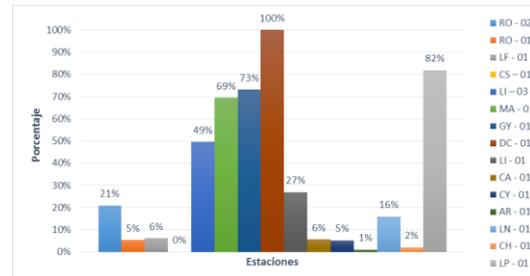


Figura 4. Porcentaje de datos de Oxígeno Disuelto menores a 3[mgO₂/L] en MROB.

A partir del análisis de distribución de frecuencias (**Anexo 13**), se encontraron anomalías en parámetros como Nitrógeno Total y Fósforo Total. Para el caso del Nitrógeno Total en la quebrada El Carrasco (DC-01), se encontraron concentraciones de Nitrógeno Total muy por encima del promedio general (Figura 5), la principal causa de este deterioro abrupto posiblemente es la proximidad que existe con el sitio de disposición de residuos sólidos El Carrasco que puede presentar vertimientos no continuos. Los nutrientes presentes en el agua, principalmente el nitrógeno, tiene consecuencias ambientales y sanitarias en el recurso hídrico como aumento de la acidez, eutrofización y toxicidad de los sistemas acuáticos, que afectan la sobrevivencia de algunos animales [53].

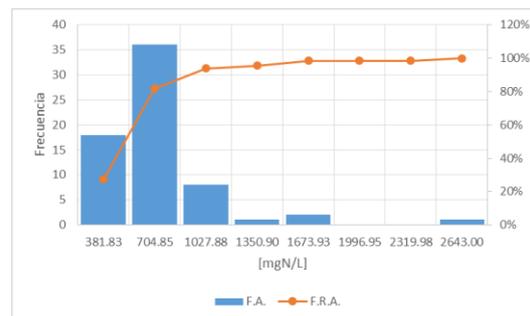


Figura 5. Histograma de Nitrógeno Total (DC-01)
*F.A.: frecuencia absoluta, F.R.A.: frecuencia relativa absoluta.

Así mismo, la distribución de frecuencias permitió encontrar valores extremos que aparentemente no pertenecen a la distribución. Por ejemplo, para el caso del Nitrógeno Total, los puntos de monitoreo CS-01, GY-01 y CA-01, presentan distribuciones normales, sin ningún valor que cambie abruptamente la distribución.

No obstante, la estación DC-01 presenta un valor 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 con una alta carga contaminante.

La contaminación por nutrientes produce la eutrofización de los afluentes y tiene graves consecuencias sobre el ecosistema. 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]) [49], sin embargo, en combinación con otros elementos como el Nitrógeno pueden afectar la cadena trófica y aumentar la entropía del ecosistema, desencadenan problemas de olor y colmatación, así como el crecimiento exponencial de algas [54].

5.2 Comportamiento espacial de la calidad del agua

El estado del recurso hídrico en los diferentes puntos de monitoreo se estableció y comparó con estándares de calidad para diferentes usos. En el **Anexo 16** se sintetizan los criterios empleados como referencia para comparar la calidad del agua en la MROB, para usos como agricultura, recreación y consumo humano.

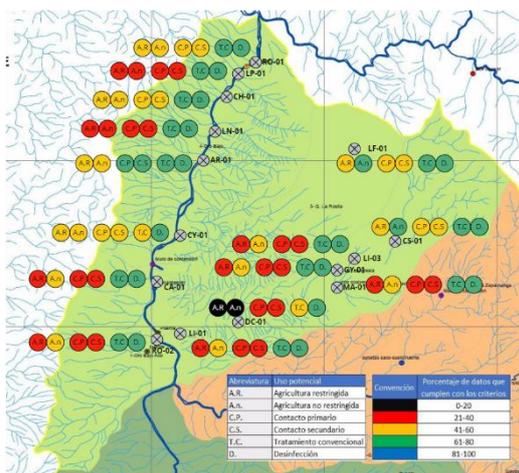


Figura 6. Evaluación del recurso hídrico respecto a estándares y criterios de calidad del agua.

La calidad del agua en MROB está influenciada por la localización de los vertimientos (Figura 6), puntos de monitoreo como LI-03, GY-01 y MA-01, ubicados dentro del área metropolitana, reciben residuos líquidos domésticos e industriales de asentamientos aguas arriba,

generando un deterioro del agua e imposibilitando su uso para los fines estudiados, descendiendo por la microcuenca esta tendencia se acentúa. Menos de un 20% de los datos de la estación DC-01 (quebrada El Carrasco) cumplen con los criterios de calidad de agua estudiados. Así mismo, los puntos de monitoreo ubicados sobre la escarpa de Bucaramanga antes de la confluencia con el Río de Oro (LP-01, LN-01 y CA-01), no son aptos para los usos analizados, con porcentaje de valores que cumplen con la norma de entre 21%-40%, criterios que son influenciados por desechos de origen doméstico o industrial, procedentes de la ciudad de Bucaramanga y conducidos por el alcantarillado hasta la escarpa, donde son descargados en afluentes del Río de Oro [27] [28] [29].

En general, usos potenciales como agricultura restringida y no restringida, contacto primario y secundario, tienen porcentajes de datos que cumplen con los criterios inferiores al 60%, 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. Valores de Coliformes fecales y totales no cumplieron con los estándares estudiados, presentado valores en orden de millones, evidenciando la masiva contaminación por aguas residuales domésticas en toda la microcuenca.

5.2.1 Comportamiento de los parámetros de calidad respecto al gradiente de la cuenca

El comportamiento de un subconjunto de variables del estudio fue establecido para una sección de la microcuenca. En las Figuras 7-10 aparecen los puntos de monitoreo 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, a la entrada y cierre de la microcuenca respectivamente, sobre el Río de Oro. Los puntos de monitoreo intermedios son afluentes que descienden de la escarpa.

A continuación se discute el comportamiento de un subconjunto de variables seleccionadas, en rojo se delimita el valor crítico para aguas frescas con el fin de mantener vida acuática [49]. Las gráficas con todas las variables analizadas se encuentran en el **Anexo 15**.

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. 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. Es posible notar un aumento del caudal a la entrada y cierre de la microcuenca, en promedio de $1.28 [m^3/s]$. Por otro lado, los caudales de las afluentes no superan en promedio los $0.1 [m^3/s]$, provocando los altos valores de concentración de variables indicadoras de contaminación, al no poder diluir éstos (Figura 7).

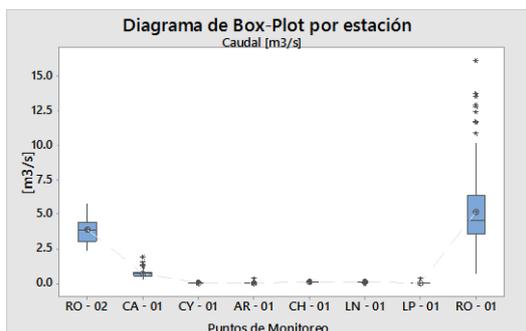


Figura 7. Diagrama de caja para Caudal.

DBO₅. El punto con mayor demanda bioquímica de oxígeno es DC-01, sobre la quebrada El Carrasco, con una media de $3807.1 [mgO_2/L]$ y un máximo de $16200 [mgO_2/L]$. En el tramo mostrado (Figura 8), hay una concentración de DBO₅ 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 DBO₅ en RO-01 de $25.04 [mgO_2/L]$), de igual forma ocurre con quebradas en la parte alta de la microcuenca que entregan sus aguas en cercanías al punto RO-02.

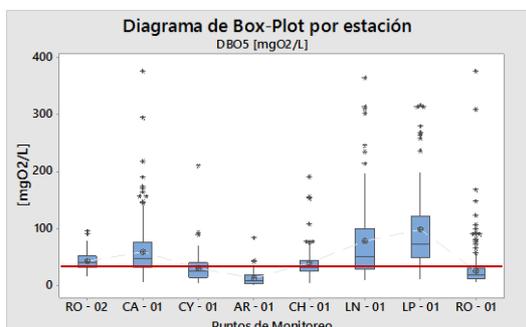


Figura 8. Diagrama de caja para DBO₅.

DQO. Tiene una estrecha relación con la demanda bioquímica de oxígeno, así pues el punto de mayor contaminación sigue siendo DC-01. Se puede observar el poder de recuperación del Río de Oro teniendo una diferencia a la

entrada y cierre en DQO de $23.66 [mgO_2/L]$, en promedio, cuando es objeto de descargas de $6150.5, 235.03, 249.83, 275.49$ y $329.1 [mgO_2/L]$, de la quebrada Carrasco afluente de La Iglesia, y otras como La Guacamaya, El Macho y La Picha respectivamente (Figura 9).

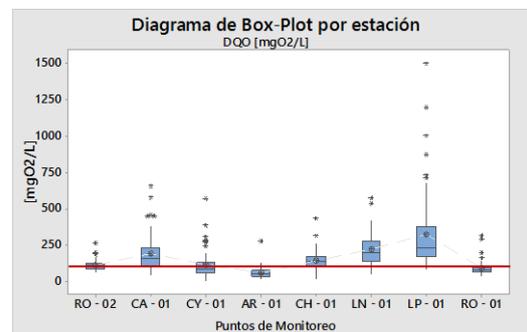


Figura 9. Diagrama de caja para DQO.

Fósforo total. A pesar de que la concentración promedio de Fósforo Total en todas las estaciones no excede $10 [mgP/L]$, límite para mantener vida acuática [49], 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 [54]. En estaciones como CA-01, CY-01, LP-01, LF-01 y DC-01, se tienen registros donde se supera el límite recomendado, su origen puede deberse a descomposición de materia orgánica, contaminación difusa por agricultura o vertidos industriales fosfatados.

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. El suelo agrícola en MROB, el principal origen de enriquecimiento de estos dos compuestos, solo representa el 11%, 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.

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 MROB, 13 de las 15 estaciones monitoreadas han presentado condiciones anóxicas en algún momento. Estos bajos niveles de oxígeno podrían haber ocasionado la desaparición de la vida acuática dado que esta requiere de forma constante mínimo $5 [mgO_2/L]$

[55]. Paralelamente, los bajos niveles de oxígeno afectan indicadores, no solo bioquímicos, también estéticos como olor, claridad y sabor [56]. En la mayoría de las estaciones mostradas (Figura 10), 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 [mgO₂/L], caso del punto de monitoreo RO-01.

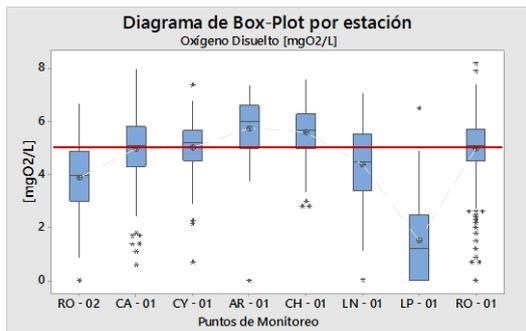


Figura 10. Diagrama de caja para OD.

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, sin embargo, tiene valores aceptables, lo que podría ser un indicio de la capacidad auto-depuradora del Río de Oro. Aun así, tiene un número considerable de datos menores a 2 mgO₂/L.

Sólidos totales. La variabilidad en la concentración de sólidos totales depende del tipo de suelo y el régimen de lluvias de la zona [57]. 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.

5.3 Análisis temporal de la calidad del agua

A continuación se describe el comportamiento para un subconjunto de variables de interés seleccionadas para el Río de Oro y la quebrada La Iglesia. En el Anexo 16 y Anexo 17 se observa en detalle las gráficas para el Río de Oro (RO-02 y RO1) y quebrada La Iglesia (LI-03 y LI-01), respectivamente.

5.3.1 Evolución temporal quebrada La Iglesia

El Área Metropolitana de Bucaramanga cuenta desde el punto de vista sanitario con dos sectores claramente diferenciados [25]:

- 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, 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.

Las ciudades asentadas 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 [58].

DBO₅. En términos generales, se observa un descenso de la concentración de DBO₅ en un promedio de 47 [mgO₂/L], entre las estaciones LI-03 y LI-01 (aguas arriba y aguas abajo, respectivamente), de forma anual este comportamiento se mantiene, teniendo la estación de aguas abajo un menor contenido de materia orgánica. Sin embargo, hay registros de DBO₅ muy superiores (965 [mgO₂/L]), en la estación LI-01, debido posiblemente al vertido de lixiviados del Carrasco [59]. En el lapso 2003-2009, se presenta un ascenso constante de los niveles de DBO₅ en ambas estaciones, con un descenso en 2010-2011, para luego retomar niveles superiores (Figura 11).

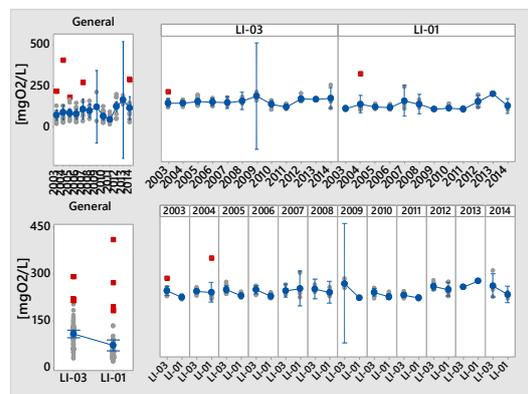


Figura 11. Evolución temporal DBO5 (LI-03 y LI-03).

DQO. De forma similar, se observa un descenso general en los niveles de DQO entre las estaciones estudiadas, de aproximadamente $25 [mgO_2/L]$. Anualmente, se mantiene este comportamiento a excepción de años como 2007 y 2013 (Figura 12). 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 ($903 [mgO_2/L]$), ocasionados posiblemente por el vertido de aguas altamente contaminadas del Carrasco.

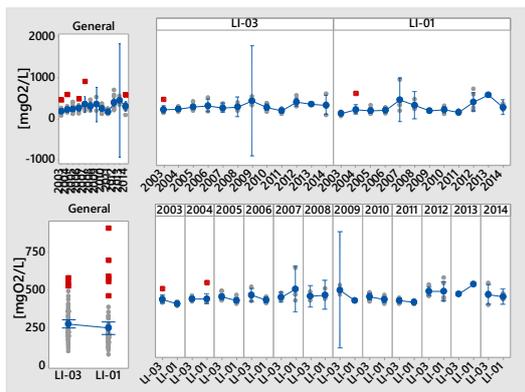


Figura 12. Evolución temporal DQO (LI-03 y LI-01).

Oxígeno disuelto. En este tramo, la quebrada La Iglesia tiene una leve recuperación de Oxígeno Disuelto, en aproximadamente $0.7 [mgO_2/L]$. 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 13). 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.

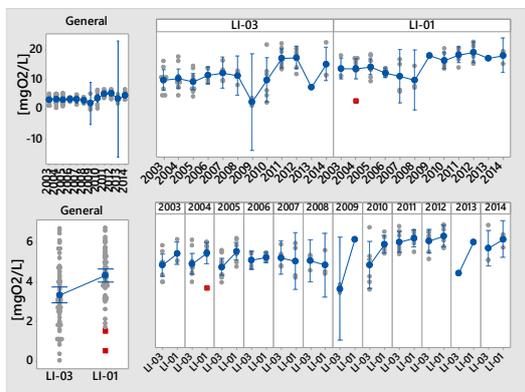


Figura 13. Evolución temporal OD (LI-03 y LI-01).

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 14). 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.

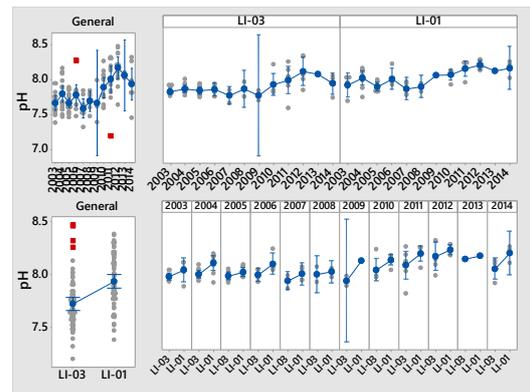


Figura 14. Evolución temporal pH (LI-03 y LI-01).

5.3.2 Evolución temporal del Río de Oro.

A pesar de ser utilizado como vía de evacuación de aguas servidas residenciales e industriales provenientes de los municipios de Piedecuesta, Floridablanca, Girón, Bucaramanga, lixiviados del depósito de residuos sólidos El Carrasco y la zona industrial de Chimitá [23] [24] [25], se observa la aptitud de la MROB de asimilar tensores y una capacidad auto-depuradora, aun así las condiciones del río en general no son buenas. A continuación se discute el comportamiento de algunas variables de interés para esta fuente.

DBO5. En general, el valor promedio de este parámetro disminuye al salir de MROB, en el desglose anual a excepción del año 2011 se mantiene esta pauta. La tendencia es a mantener un valor constante entre $35 - 45 [mgO_2/L]$ y $20 - 30 [mgO_2/L]$, 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 (Figura 15). Las concentraciones encontradas muestran una fuente hídrica con altos niveles de contaminación por materia orgánica biodegradable.

DQO. De forma similar, la demanda química de oxígeno tiende a descender a la salida de la microcuenca, a excepción del 2004, año en que se aprecia un ligero ascenso. No se observa una

pauta que indique deterioro o recuperación del curso de agua a través del tiempo. El parámetro tiende a mantener un valor constante, con valores mínimos en 2007 y 2008. Los valores entre los cuales suele oscilar son $90 - 130 [mgO_2/L]$ y $70 - 100 [mgO_2/L]$ para RO-02 y RO-01 (Figura 16). Las concentraciones encontradas muestran alto nivel de contaminación por materia orgánica biodegradable y no biodegradable, que restringen los usos de la fuente hídrica.

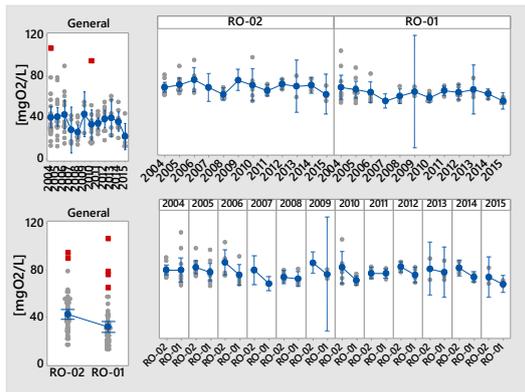


Figura 15. Evolución temporal DBO₅ (RO-02 y RO-01).

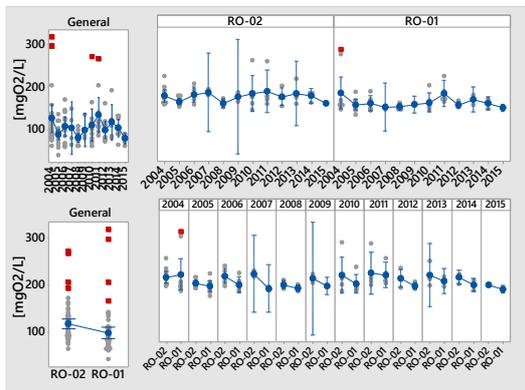


Figura 16. Evolución temporal DQO (RO-02 y RO-01)

Coliformes fecales. La concentración de coliformes fecales se encuentra muy por encima de valores recomendados para uso agrícola ($< 1000 [NMP/100mL]$ [42] [60]). La mediana de este parámetro se encuentra entre $2.4(10^6)$ y $4.6(10^5) [NMP/100mL]$, para RO-02 y RO-01 respectivamente (Figura 17). Este deterioro puede estar asociado a la contaminación por aguas residuales domésticas. En promedio se observa que anualmente la variación a la entrada y salida de la microcuenca de Coliformes fecales es prácticamente nula, posiblemente debido a la disposición paulatina de aguas residuales domésticas por parte del acueducto sobre la escarpa de Bucaramanga en gran parte del trayecto del Río de Oro.

Oxígeno disuelto. En promedio existe un ligero aumento del oxígeno disuelto al cierre de la microcuenca ($\approx 1.1 [mgO_2/L]$), aún así en ambas estaciones la concentración de este parámetro se encuentra por debajo del valor recomendado ($5 [mgO_2/L]$) [55] para sostener vida acuática. Se presenta una leve tendencia de aumento en el tiempo, alcanzando valores aceptables en años posteriores al 2011, no obstante se encuentran abruptos descensos en años como 2013 y 2015 (Figura 18), por lo cual no es posible afirmar con precisión alguna pauta en años posteriores.

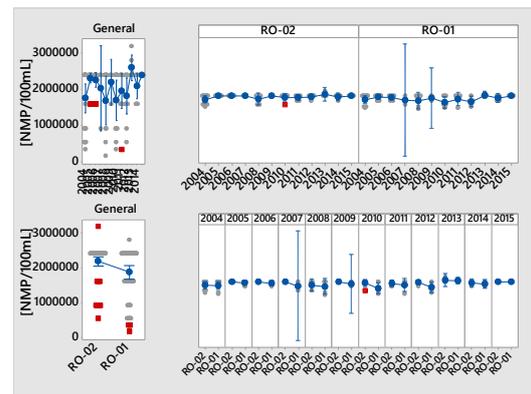


Figura 17. Evolución temporal Coliformes fecales (RO-02 y RO-01).

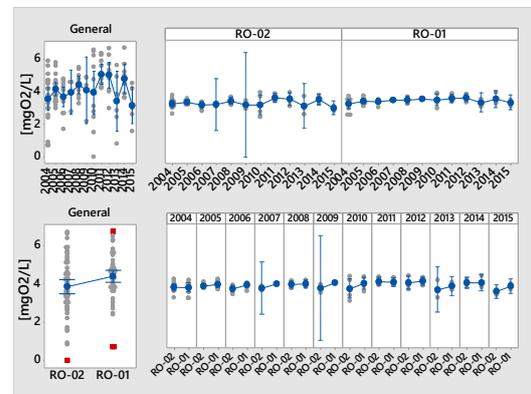


Figura 18. Evolución temporal OD (RO-02 y RO-01).

5.3.3 Comparación estadística entre época de lluvia y estiaje.

Contrario a lo esperado, las principales variables indicadoras de calidad de agua (DBO₅, DQO, sólidos suspendidos y O.D.) presentan condiciones ligeramente peores en época de lluvia que de no lluvia, con aproximadamente un 75%, esto se visualiza en las Figuras 19-24. Por tanto, no se puede comprobar efectos de dilución o aumento de niveles de oxígeno que incrementen 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, también puede estar asociada al arrastre por escorrentía de contaminantes presentes en el suelo asociados a actividades antrópicas que tienen lugar en la MROB, para comprender éstos fenómenos asociados al régimen de precipitación es necesario realizar estudios en mayor detalle.

Las tablas donde se evidencia la comparación de un subconjunto de variables fisicoquímicas de interés, en época de lluvia y estiaje se encuentra en el **Anexo 18**. La media se grafica para tener una imagen general de la diferencia entre ambas épocas (**Anexo 19**), sin embargo, se excluye la estación DC-01 en parámetros como DBO₅, DQO y nitrógeno total ya que por cuestión de escala no permite la visualización.

DBO₅. Un 93% de las estaciones presentan un comportamiento opuesto al esperado, en las que se evidencia un aumento de DBO₅ en época de lluvia (Figura 19); 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, para la mayoría de las estaciones, comprobando así una mejor consistencia entre los muestreos realizados en esta época, contrariamente a lo mostrado en época de 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.

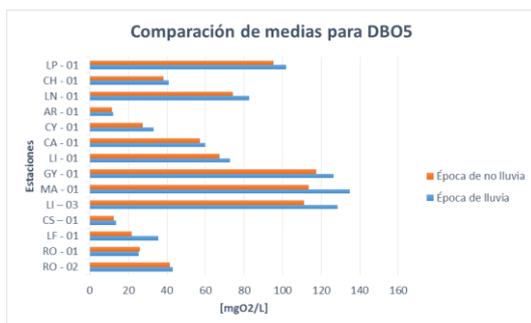


Figura 19. Contraste de medias para DBO₅.

DQO. De forma similar que con la DBO₅, la DQO presenta concentraciones superiores en un número considerable de estaciones (80%) en época de lluvia (Figura 20). De igual forma, se tiene que la desviación estándar es más alta en esta temporada, por lo cual 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).

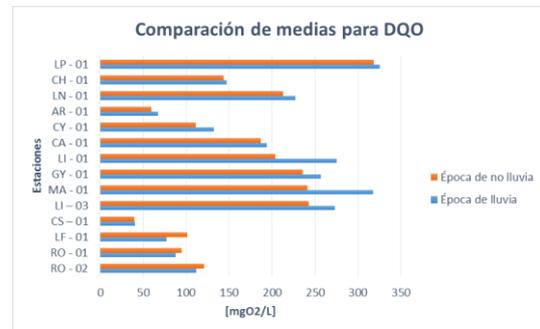


Figura 20. Contraste de medias para DQO.

Fósforo total. En época de lluvia, la concentración de fósforo total es ligeramente superior que en temporada de no lluvia, en un 53% de las estaciones (Figura 21), los intervalos de confianza presentan ésta misma pauta, aunque los rangos calculados son casi los mismos, paralelamente se observa que las muestras tomadas en época de no lluvia son más dispersas al presentar valores de desviación estándar superiores. En general, se puede afirmar que no existe una diferencia estadística significativa que permita asegurar que existe una contaminación por Fósforo proveniente de suelos agrícolas, transportados por la escorrentía.

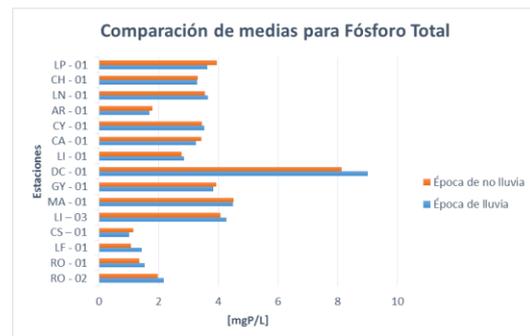


Figura 21. Contraste de medias para Fósforo total.

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 (Figura 22), las muestras que exhiben mayor variabilidad son de época de estiaje. Este parámetro es el que tiene mayor número de estaciones cuyos datos se ajustan a una distribución normal. 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.

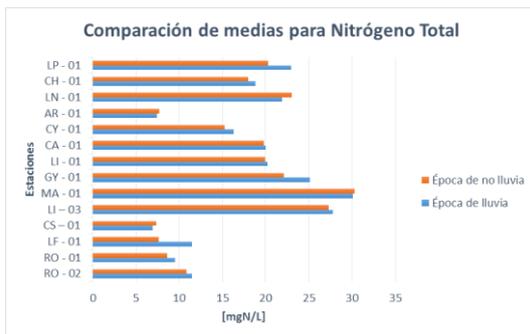


Figura 22. Contraste de medias para Nitrógeno total.

Oxígeno disuelto. Un 73% de las estaciones presentan una concentración de oxígeno disuelto por debajo de los valores recomendados ($5 [mgO_2/L]$) [55] (Figura 23), para sostener vida acuática, en ambas épocas de lluvia, siendo la temporada de lluvia la que presenta peores condiciones. Sin embargo, la diferencia en promedio entre ambos tiempos de precipitación es de $0.25 [mgO_2/L]$, lo cual no representa una diferencia significativa, no obstante, esta variable es muy susceptible a agentes externos que puedan afectar la concentración del mismo.

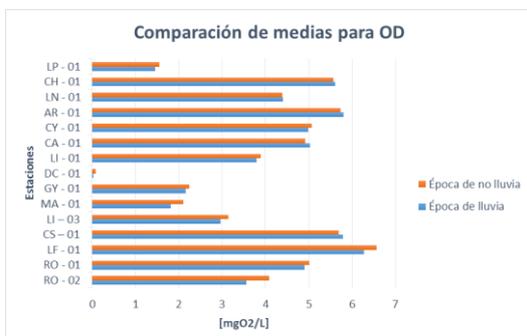


Figura 23. Contraste de medias para OD.

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 (Figura 24), posiblemente originado por el enriquecimiento con sales inorgánicas de zonas geológicas con alta solubilidad. 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 ($< 500 [mg/L]$) [61], para ambas temporadas.

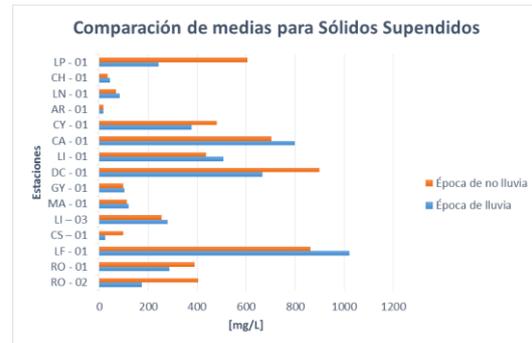


Figura 24. Contraste de medias para Sólidos suspendidos.

5.3.4 Análisis ICA.

Los puntos de monitoreo 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, no presenta en ningún momento estados bueno u óptimo. La tendencia del ICA es a permanecer en condición inadecuada sin indicio de mejorar (Figura 25 y Figura 26).

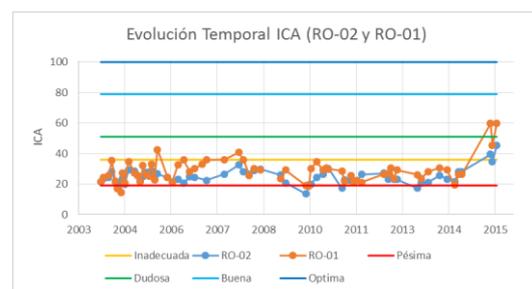


Figura 25. Evolución del ICA (RO-02 y RO-01).

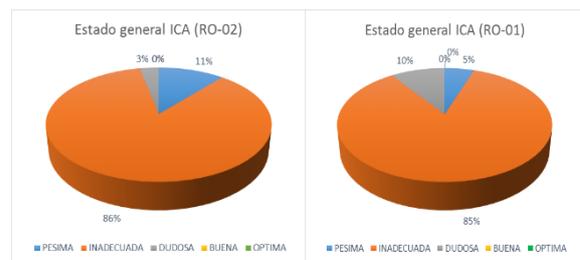


Figura 26. Estado general del ICA (RO-02).

Estaciones que se encuentran en la parte alta de MROB, predomina el carácter dudoso del agua, con cerca o más de un 50% (Anexo 20), en la Figura 27, la evolución temporal muestra una tendencia a permanecer en este estado sin mostrar tendencia a mejorar.

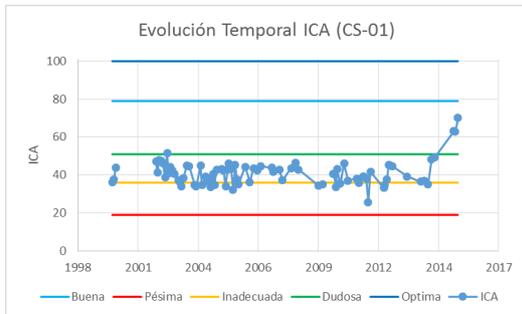


Figura 27. Evolución del ICA (CS-01).

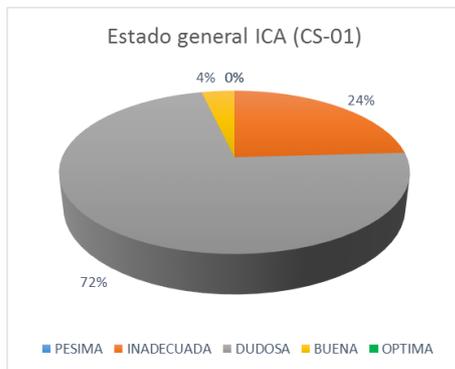


Figura 28. Estado general del ICA (CS-01).

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, presenta cerca un 60% de estado pésimo (Figura 30), ocasionado probablemente por las aguas residuales domésticas e industriales que capta a su paso, no obstante tiene un 2% de calificativo bueno, 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 29). Sin embargo, es evidente que la densidad de datos en los últimos años ha disminuido por ende el resultado no es concluyente.

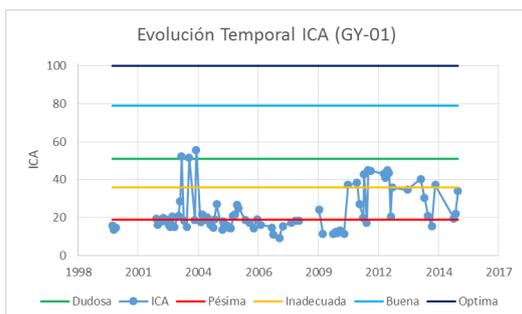


Figura 29. Evolución del ICA (GY-01).

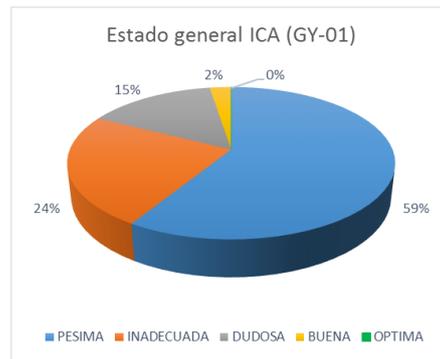


Figura 30. Estado general del ICA (GY-01).

Estaciones con un alto grado de contaminación como DC-01 y LP-01, entre otras (Anexo 20), reflejan este estado en el índice de calidad del agua, para la primera en cuestión, tiene la condición de pésimo un 99% del tiempo (Figura 32), 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 31).

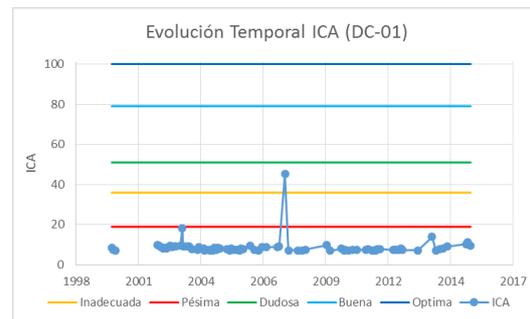


Figura 31. Evolución del ICA (DC-01).

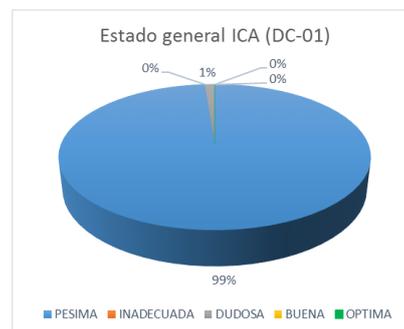


Figura 32. Estado general del ICA (DC-01).

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%) (Figura 34), 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 33).

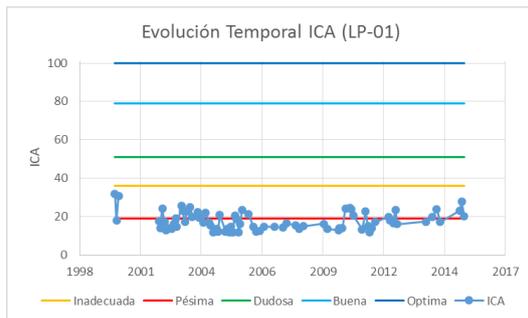


Figura 33. Evolución del ICA (LP-01).

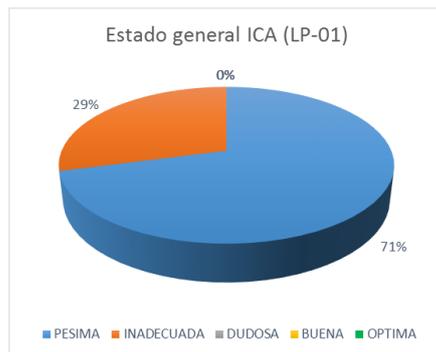


Figura 34. Estado general del ICA (LP-01).

6. CONCLUSIONES

El estudio de la calidad del agua de MROB, 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 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 evidencias 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, cuyas concentraciones de DBO₅, DQO, Sólidos Suspendedos 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 DBO₅, 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 tóxicos 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 vierten 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 DBO₅, 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 tienen 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.

7. 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 tres falencias principales:
 - 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.

8. AGRADECIMIENTOS

El autor reconoce agradecimientos a la directora de proyecto Isabel Cristina Domínguez Rivera, PhD y al codirector Ricardo Oviedo Ocaña, PhD., por su acompañamiento, asesoría y formación brindada durante el desarrollo de la práctica empresarial y la elaboración de este documento. De igual forma, el apoyo brindado por María Carmenza Vicini, Ing. MSc, y técnicos de la Subdirección de Ordenamiento y Planificación Integral del Territorial de la CDMB, por formar parte integral del desarrollo de la pasantía.

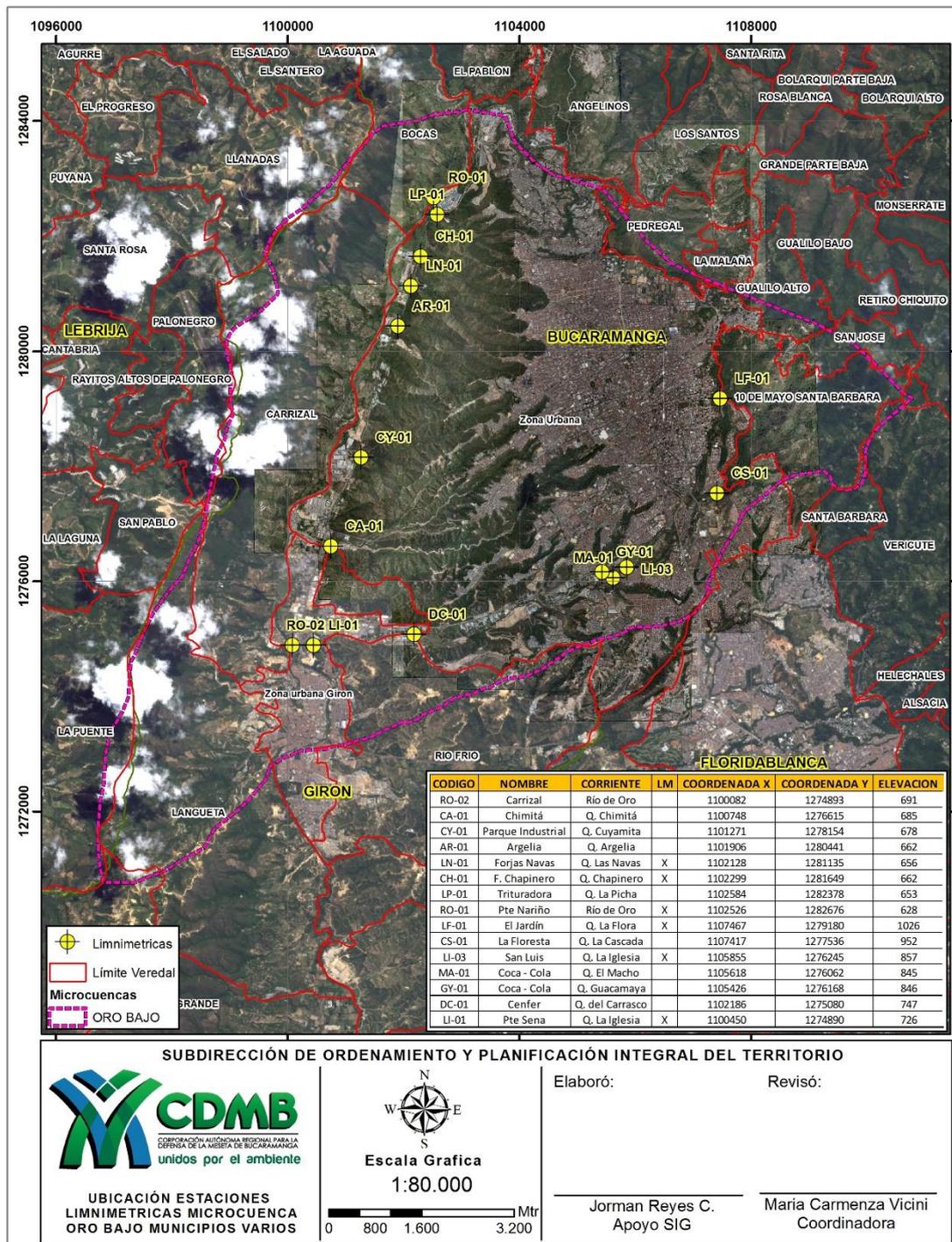
9. REFERENCIAS

- [1] Organización de las Naciones Unidas, «Calidad del agua», ONU, 25 Octubre 2014. [En línea]. Disponible en: <http://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/quality.shtml>. [Último acceso: 18 Julio 2016].
- [2] Organización Mundial de la Salud, «Agua saneamiento y salud (ASS),» OMS, [En línea]. Disponible en: 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] Organización Mundial de la Salud, «Enfermedades relacionadas con el agua,» OMS, [En línea]. Disponible en: http://www.who.int/water_sanitation_health/diseases/es/. [Último acceso: 18 Julio 2016].
- [6] M. A. Mondcada y C. Víctor, «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] 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].
- [9] L. C. Orjuela, G. Saldarriaga, M. García y H. Wilches, «Calidad del agua superficial en Colombia,» IDEAM, Bogotá, 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, «Problemática del Río de Oro,» CDMB, Bucaramanga, 2014.
- [12] Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga, «Plan de Ordenación y Manejo Ambiental Subcuenca Río de Oro,» CDMB, Bucaramanga, 2007.
- [13] Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga, «Medios electrónicos internos,» CDMB, Bucaramanga, 2010.
- [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.cdmb.gov.co>. [Último acceso: 20 Marzo 2017].
- [18] «Plan de Ordenamiento Río Oro y sus tributarios Ríos Frío y Lato,» CDMB, Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, Bucaramanga, 2014.
- [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] E. A. Rueda, «Rio de Oro sigue siendo otra "cloaca" del área metropolitana,» *Vanguardia*, 04 Julio 2013.
- [22] I. A. Pérez, «El Rio de Oro sigue agonizando por su alta contaminación,» *Vanguardia*, 17 Agosto 2014.
- [23] Alcaldía de Girón, «Plan de Desarrollo de San Juan de Girón,» Girón, 2005.
- [24] Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga, «Plan de ordenamiento y manejo ambiental de la subcuenca del Rio de Oro,» CDMB, Bucaramanga, 2015.
- [25] Empresa Pública de Alcantarillado de Santander, «Plan de Saneamiento y Manejo de Vertimientos,» EMPAS, Bucaramanga, 2007.
- [26] 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.
- [27] Empresa Pública de Alcantarillado de Santander, «Plan Estratégico de Gestión de EMPAS S.A.,» EMPAS, Bucaramanga, 2011.
- [28] Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga, «Plan General de Control de Erosión,» CDMB, Bucaramanga, 1969.
- [29] 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.
- [30] A. Ramírez González y G. Viña Vizcano, Limnología Colombiana Aportes a su Conocimiento y Estadísticas de Análisis, Bogotá: Fundación Universidad Jorge Tadeo Lozano, 1998.
- [31] T. Murphy y A. T. Lau, «Handling of atypical values,» ASTM International, USA, 2008.
- [32] R. Levin y D. Rubin, Estadística para Administración y Economía, México: Pearson Education, 2004.
- [33] J. W. Tukey, Exploratory Data Analysis, London: Addison-Wesley, 1977.
- [34] G. León, Apuntes de Métodos Estadísticos I, Mérida, Venezuela: Universidad de los Andes, 2013.
- [35] F. E. Grubbs, «Procedures for Detecting Outlying Observations in Samples,» Technometrics, Maryland, 1969.
- [36] J. K. Taylor y C. Cihon, Statistical Techniques for Data Analysis, New York: Chapman & Hall, 2004.
- [37] M. A. Balmón, Guía Práctica de Análisis de Datos, España: Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera, 2006.
- [38] I. A. Uribe, «Guía Metodológica para la Selección de Técnicas de Depuración de Datos,» Universidad Nacional de Colombia, Medellín, 2010.
- [39] C. Sierra, Calidad del Agua: evaluación y diagnóstico, Medellín: Universidad de Medellín, 2011.
- [40] S. Fernández, M. Cordero y A. Córdoba, Estadística Descriptiva, Madrid: ESIC, 2002.
- [41] República de Colombia, Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible, Decreto 1076, 2015.
- [42] República de Colombia, Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, Decreto 3930, 2010.
- [43] United States Environmental Protection Agency, «Quality Criteria for Water,» EPA, Washington D.C., 1986.
- [44] United States Environmental Protection Agency, «Water Quality Standards Handbook,» EPA, Washington D.C., 1994.
- [45] 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.
- [46] 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.
- [47] Estados Unidos Mexicanos, Secretaría 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.
- [48] Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, «Relatoria Qualidades das Águas Superficiais no Estado de São Paulo,» CETESB, São Paulo, Brasil, 2014.
- [49] 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.
- [50] E. K. Ardila, «Cerca de 40 construcciones invaden quebrada ‘El Macho’ de Bucaramanga,» *Vanguardia*, 06 Noviembre 2016.
- [51] J. C. Chío, «Hay 236 asentamientos en Bucaramanga que requieren atención urgente,» *Vanguardia*, 23 Febrero 2015.
- [52] V. P. Gonzáles, «Asentamientos ilegales inmersos en la zona rural de Bucaramanga,» *Periódico 15*, 24 Marzo 2017.
- [53] 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.
- [54] R. A. Torinos, «Triple Enlace Química,» 27 Septiembre 2012. [En línea]. Disponible en: <https://triplenlace.com>. [Último acceso: 9 Abril 2017].
- [55] Lenntech, «¿Por qué es importante el oxígeno disuelto en el agua?,» [En línea]. Disponible en: www.lenntech.com. [Último acceso: 10 Abril 2017].
- [56] CIMCOOL, «¿Por qué es importante del oxígeno disuelto?,» Milacron, México, 2004.
- [57] C. Escobar y G. Duque, *Geotecnia para el Trópico Andino*, Manizales: Universidad Nacional de Colombia, 2016.
- [58] Bayona Aparicio Ingenieros & Cicico Ltda, «Plan General de Saneamiento de la Quebrada La Iglesia,» CDMB, Bucaramanga, 1991.
- [59] E. A. Rueda, «EL Carrasco estaría contaminando las fuentes hídricas,» *Vanguardia*, 07 Marzo 2016.
- [60] *República de Colombia, Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible, Decreto 0303*, 2012.
- [61] F. Fuentes y A. Massol-Deyá, «Manual de Laboratorios Ecología de Microorganismos,» Universidad de Puerto Rico, Puerto Rico, 2002.
- [62] Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga, «Recursos digitales internos,» CDMB, Bucaramanga, 2017.

ANEXO 1: Localización de puntos de monitoreo y Características generales sobre la Microcuenca de Río de Oro bajo



Fuente: (CDMB, 2017)¹

¹ Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga, «Recursos digitales internos,» CDMB, Bucaramanga, 2017.

PUNTOS DE MONITOREO MICROCEUNCA DE RÍO DE ORO BAJO										
CARACTERÍSTICAS GENERALES						LOCALIZACIÓN				
ID	MUNICIPIO	FUENTE	ESTACIÓN	CÓDIGO ESTACIÓN	AÑO DE GRACIÓN	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	Bucaramanga	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	Bucaramanga	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	Bucaramanga	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	Bucaramanga	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	Bucaramanga	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	Bucaramanga	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	Bucaramanga	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	Bucaramanga	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	Bucaramanga	Q. Chimita	Chimitá	CA - 01	1984	685	1,100,748	1,276,615	73° 9' 56,054"" W	7° 5' 47,982"" N
11	Bucaramanga	Q. Cuyamita	Parque Industrial (Cuyamita)	CY - 01	2000	678	1,101,271	1,278,154	73° 9' 38,914"" W	7° 6' 38,040"" N
12	Bucaramanga	Q. Argelia	Argelia	AR - 01	2000	662	1,101,906	1,280,441	73° 9' 18,074"" W	7° 7' 52,436"" N
13	Bucaramanga	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	Bucaramanga	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	Bucaramanga	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

Fuente. Autor.

ANEXO 2: Cobertura y uso actual del suelo sobre la Microcuenca de Río de Oro bajo

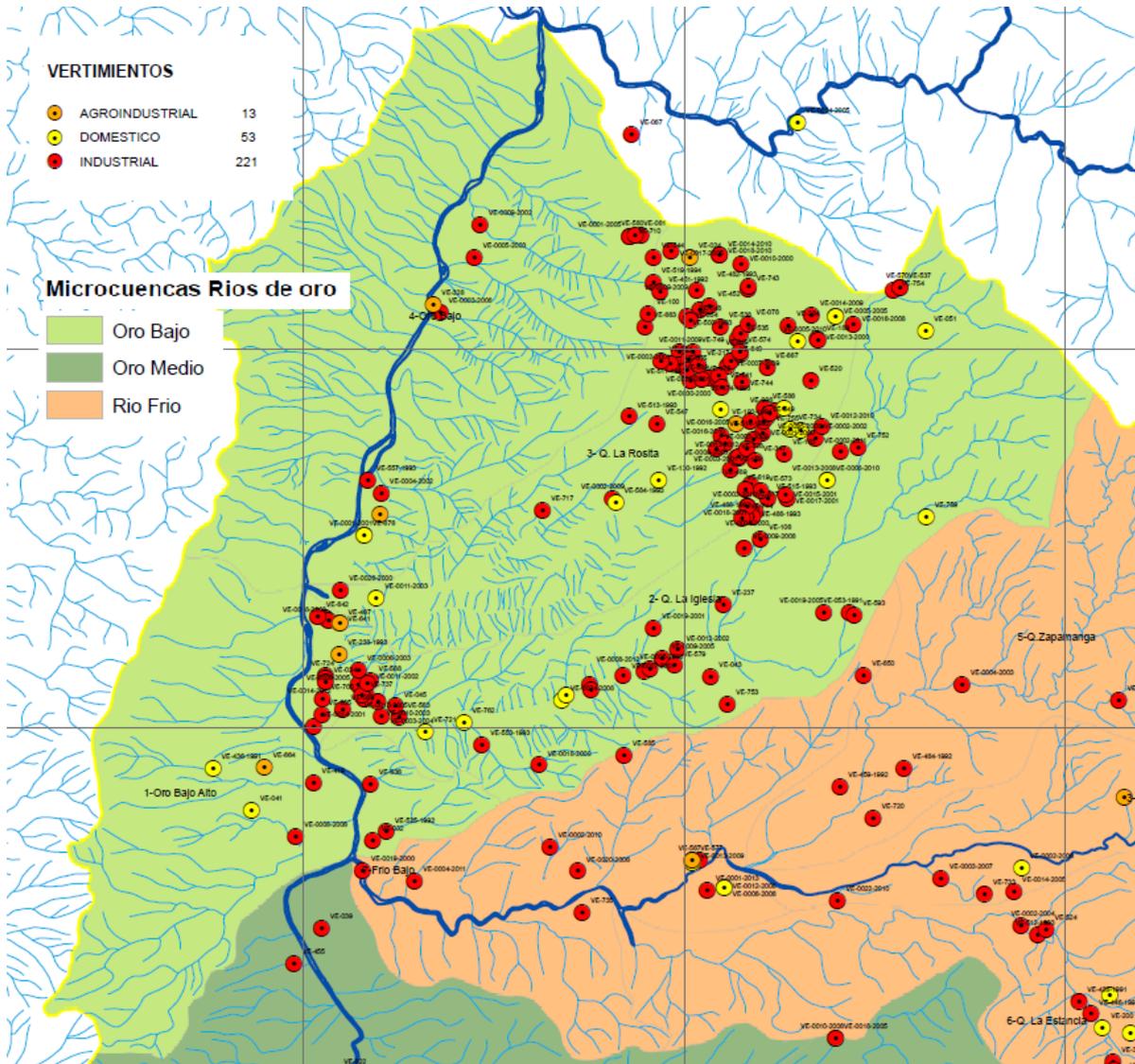
COBERTURA Y USOS ACTUAL DE LAS TIERRAS	Microcuenca de Río de Oro Bajo	
	[Has]	%
BOSQUES Y VEGETACIÓN		
Bosque Natural Secundario	968.3	10.9%
Rastrojos	670.4	7.5%
Bosque plantado	0	0.0%
Matorral	0	0.0%
Pajonales	0	0.0%
Vegetación especial Páramo	0	0.0%
TIERRAS AGROPECUARIAS		
Cultivos Permanentes-cítricos	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%
TIERRAS AGROFORESTALES		
Silvo-agrícola (café sombrío)	0	0.0%
Silvo-agrícola (caña, caracolí)	0	0.0%
TIERRAS ERIALES		
Suelos erosionados	0	0.0%
Material de arrastre	21.2	0.2%
AREAS PROTEGIDAS		
DMI de Bucaramanga	3136.8	35.5%
Suelos Suburbanos		
Zona sub.urb+Inf.Rur.Nucleada	0	0.0%
Suelos Urbanos		
Zona Urbana y de expansión urb.	3075.5	34.7%
TOTAL	8872.8	100%

Adaptado de: (CDMB, 2007)², (CDMB, 2014)³

² «Plan de Ordenación y Manejo Ambiental Subcuenca Río de Oro,» Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga, Bucaramanga, 2007.

³ «Plan de Ordenamiento Río Oro y sus tributarios Ríos Frío y Lato,» CDMB, Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, Bucaramanga, 2014.

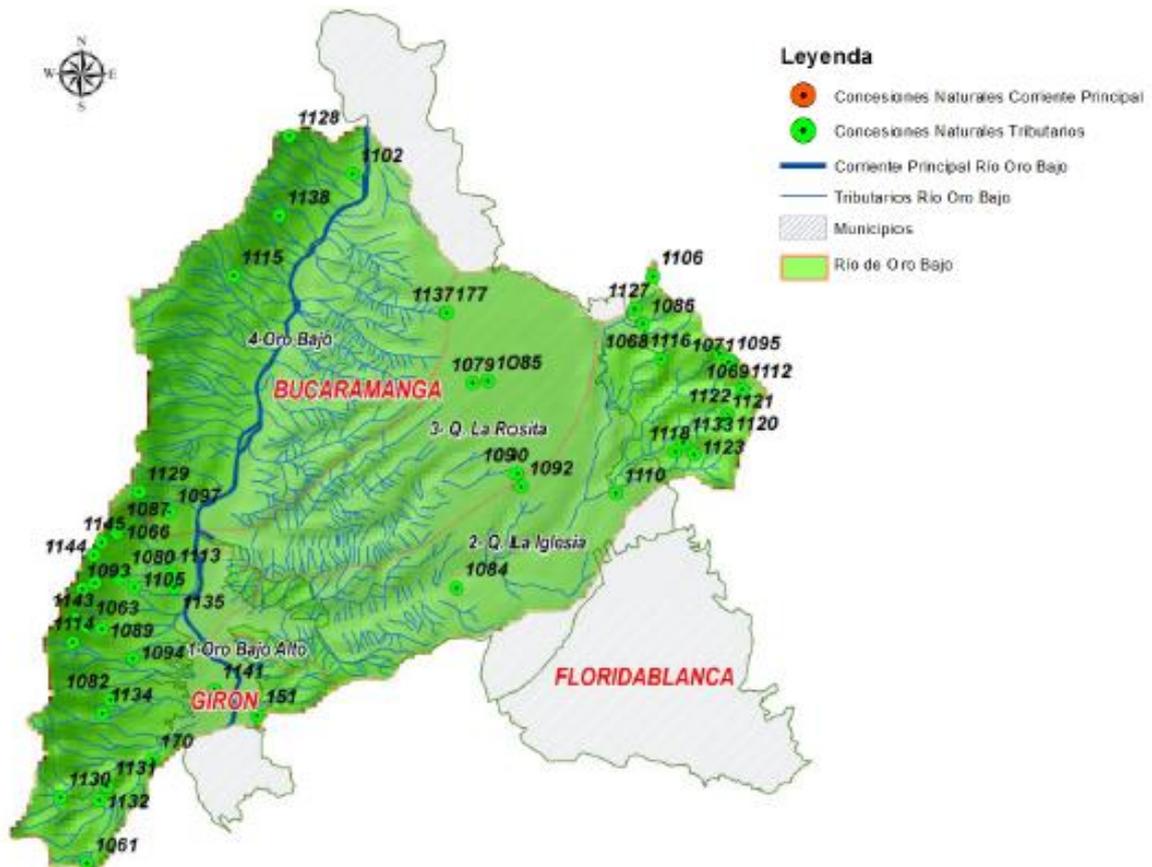
ANEXO 3: Localización de vertimientos directos sobre la Microcuenca de Río de Oro bajo.



Fuente: (CDMB, 2017) ⁴

⁴ Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga, «Recursos digitales internos,» CDMB, Bucaramanga, 2017.

ANEXO 4: Concesiones a personas naturales en la Microcuenca de Río de Oro bajo.



Fuente: (CDMB. 2014) ⁵

⁵ «Plan de Ordenamiento Río Oro y sus tributarios Ríos Frío y Lato,» CDMB, Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, Bucaramanga, 2014.

ANEXO 5: Concesiones a personas jurídicas sobre la corriente principal Río de Oro y sus tributarios Frío y Lato.



Leyenda Concesiones Jurídica otorgadas en las corrientes principales de Río de Oro y sus tributarios ríos Lato y Frío

Rangos caudales (l/s)	Oro Alto	Oro Medio	Oro Bajo	Frio	Lato	TOTAL
< 0,1	5	1	2	1	4	13
0,1 - 0,5	2	2	1	5	6	16
0,5 - 1	0	0	0	1	1	2
1 - 5	0	0	0	1	0	1
5 - 10	1	0	0	0	0	1
10 - 50	0	0	0	0	2	2
50 - 100	0	0	0	0	1	1
100 - 200	0	0	0	0	1	1
> 500	1	0	0	0	0	1
TOTAL	9	3	3	8	15	

Fuente: (CDBM, 2014) ⁶

⁶ «Plan de Ordenamiento Río Oro y sus tributarios Ríos Frío y Lato,» CDBM, Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, Bucaramanga, 2014.

ANEXO 6: Manipulación de la información.

El procedimiento establecido por (Ramírez & Viña, 1988)⁷ para elegir las variables objeto de estudio se enuncia a continuación:

- 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.

⁷ A. Ramírez González y G. Viña Vizcano, Limnología Colombiana Aportes a su Conocimiento y Estadísticas de Análisis, Bogotá: Fundación Universidad Jorge Tadeo Lozano, 1998.

ANEXO 7: Procedimiento para la construcción de una distribución de frecuencias.

El proceso recomendado por (Levin & Rubin, 2004)⁸ para la construcción de una distribución de frecuencias 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:

$$\begin{aligned} \text{Para muestras de gran cantidad de datos } NI &= \sqrt{N} \\ \text{Para muestras de cantidad de datos moderada}^9 NI &= 1 + 3.3\text{Log}(N) \end{aligned}$$

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.

⁸ R. Levin y D. Rubin, Estadística para Administración y Economía, México: Pearson Education, 2004.

⁹ Regla de Sturges, propuesta por Herbert Sturges en 1926.

ANEXO 8: Procedimiento para la construcción de un diagrama de caja.

La construcción de un diagrama de caja (Box-Plot), por (Tukey, 1977)¹⁰ y (León, 2013)¹¹, 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.

¹⁰ J. W. Tukey, *Exploratory Data Analysis*, London: Addison-Wesley, 1977.

¹¹ G. León, *Apuntes de Métodos Estadísticos I*, Mérida, Venezuela: Universidad de los Andes, 2013.

ANEXO 9: Procedimiento para la aplicación de la Prueba de Grubbs.

El procedimiento para la aplicación de la Prueba de Grubbs según (Taylor & Cihon, 2004)¹² y (Uribe, 2010)¹³ se describe a continuación:

- 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.

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

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

- 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.

¹² J. K. Taylor y C. Cihon, *Statistical Techniques for Data Analysis*, New York: Chapman & Hall, 2004.

¹³ A. Uribe, «Guía Metodológica para la Selección de Técnicas de Depuración de Datos,» Universidad Nacional de Colombia, Medellín, 2010.

ANEXO 10: Estandartes y criterios de calidad de agua para diferentes usos.

Usos potenciales para agricultura (C. Sierra, 2011.)¹⁴:

AGRICULTURA RESTRINGIDA					
Parámetro	EPA	California	México	Decreto 1594*	Valor propuesto Máximo
PH	6-9	-	5-10	4.5-9	5-9
DBO5 [mgO ₂ /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 ₃) [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 ₂ /L]					>2
DBO5 [mgO ₂ /L]	<10	-	-	-	X
Turbiedad [NTU]	2	2	-	-	X
SS [mg/L]	-	X	-	-	X
Coliformes Fecales [NPM/100mL]	No detectable	-	<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.

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.

¹⁴ C. Sierra, Calidad del Agua: evaluación y diagnóstico, Medellín: Universidad de Medellín, 2011.

Usos potenciales para la recreación (C. Sierra, 2011.)¹⁵:

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 ₂ /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.

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 ₂ /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.

¹⁵ C. Sierra, Calidad del Agua: evaluación y diagnóstico, Medellín: Universidad de Medellín, 2011.

Criterios nacionales para consumo humano y domestico con tratamiento convencional y desinfección (Decreto 1076, 2015)¹⁶ y (Decreto 3930, 2010)¹⁷. 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 Poli-clorados	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 ₄	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 Poli-clorados	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 ₄	400
Tensoactivos	mg/L	0.5
Turbidez	UJT	10
Coliformes fecales	NMP	1000

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

¹⁶ República de Colombia, Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible, Decreto 1076, 2015.

¹⁷ República de Colombia, Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, Decreto 3930, 2010.

ANEXO 11: Parámetros fisicoquímicos objeto de estudio.

A partir del procedimiento recomendado por (Ramírez & Viña, 1998)¹⁸ 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		

PORCENTAJE DE DATOS ALMACENADOS																			
ID	FUENTE	ESTACIÓN	CÓDIGO ESTACIÓN	Aceites-Grasas	Alcalinidad	Caudal	Cianuro CN-	CN- Libre	CN- Total	Colif.Fecales	Colif.Totales	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.

¹⁸ A. Ramírez González y G. Viña Vizcano, Limnología Colombiana Aportes a su Conocimiento y Estadísticas de Análisis, Bogotá: Fundación Universidad Jorge Tadeo Lozano, 1998.

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

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%	✔99%	✘ 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 12: Resumen estadístico de un subconjunto de variables de la estación LF-01.

Nota. Los resúmenes estadísticos para todas las estaciones se encuentran en formato digital bajo el nombre de **Anexo 12**.

Tipo	Parámetros	Caudal	DBO5	DQO	P.Total	N.Total	O.D	Sól.Susp	Sól.Totales	Temp.Agua	pH
Unidades		[m ³ /s]	[mgO ₂ /l]	[mgO ₂ /l]	[mgP/l]	[mgN/l]	[mgO ₂ /l]	[mg/l]	[mg/l]	[°C]	[pH]
Generales	N	73	98	69	98	67	98	98	98	98	98
	Max	0.328	264.000	492.000	17.600	78.290	8.560	33810	35040	23.400	8.620
	Min	0.002	1.300	15.000	0.060	1.240	0.000	2.000	2.180	17.000	6.440
Medidas de tendencia central	Media	0.040	29.344	99.258	1.224	9.677	6.407	917.097	1138.318	19.956	7.878
	Mediana	0.019	11.000	56.000	0.640	5.390	6.805	28.500	239.000	20.300	7.880
	Moda	0.017	11.000	56.000	0.790	5.390	7.600	8.000	228.000	18.000	7.800
	Q1	0.011	6.225	31.000	0.323	3.560	6.100	11.625	183.500	19.000	7.700
	Q3	0.037	22.825	96.000	1.348	10.044	7.600	179.000	411.500	21.000	8.148
	IQR	0.026	16.600	65.000	1.025	6.484	1.500	167.375	228.000	2.000	0.448
Coeficiente Variación	Rango	0.326	262.700	477.000	17.540	77.050	8.560	3.38E+04	3.50E+04	6.400	2.180
	Varianza	0.003	2381.407	12707.131	4.686	141.621	2.952	1.66E+07	1.77E+07	2.348	0.144
	D.E.	0.057	48.800	112.726	2.165	11.900	1.718	4079.705	4203.180	1.532	0.380
Coeficiente Adimensionales	C.V.	1.430	1.663	1.136	1.769	1.230	0.268	4.448	3.692	0.077	0.048
	C.A.	3.059	3.034	1.992	5.663	3.549	-1.778	6.590	6.591	-0.238	-0.795
	Curtosis	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

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

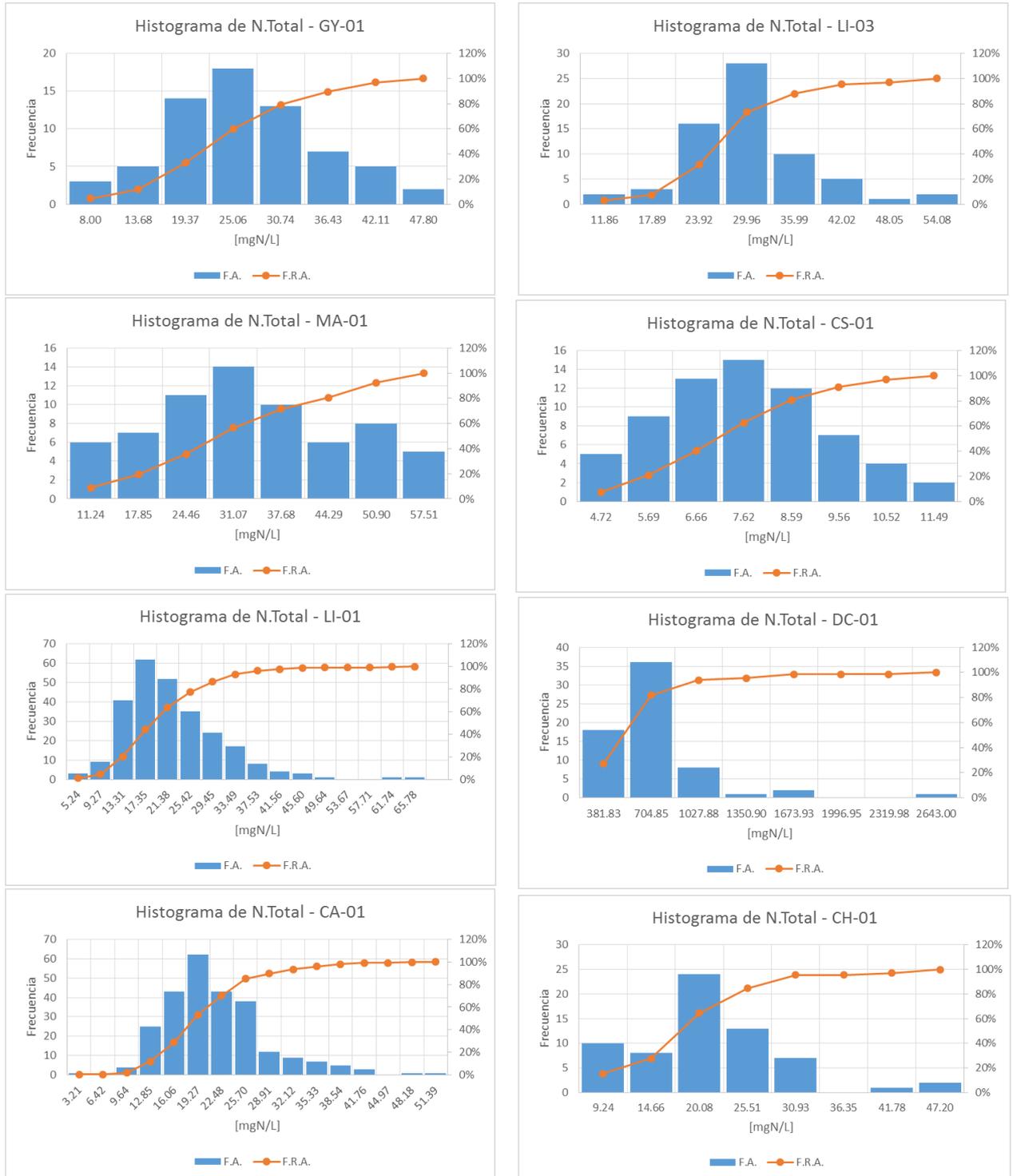
Nota. Los resúmenes estadísticos para todas las estaciones se encuentra en formato digital bajo el nombre de **Anexo 12.**

Tipo	Parámetros	Caudal	DBO5	DQO	P.Total	N.Total	O.D	Sól.Susp	Sól.Totales	Temp.Agua	pH
Unidades		[m ³ /s]	[mgO ₂ /l]	[mgO ₂ /l]	[mgP/l]	[mgN/l]	[mgO ₂ /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
Coeficiente 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
Coeficiente 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

ANEXO 13: Histogramas de Nitrógeno Total para las estaciones CS-01, GY-01, DC-01, LI-03, MA-01, DC-01, LI-01, CA-01 y CH-01.

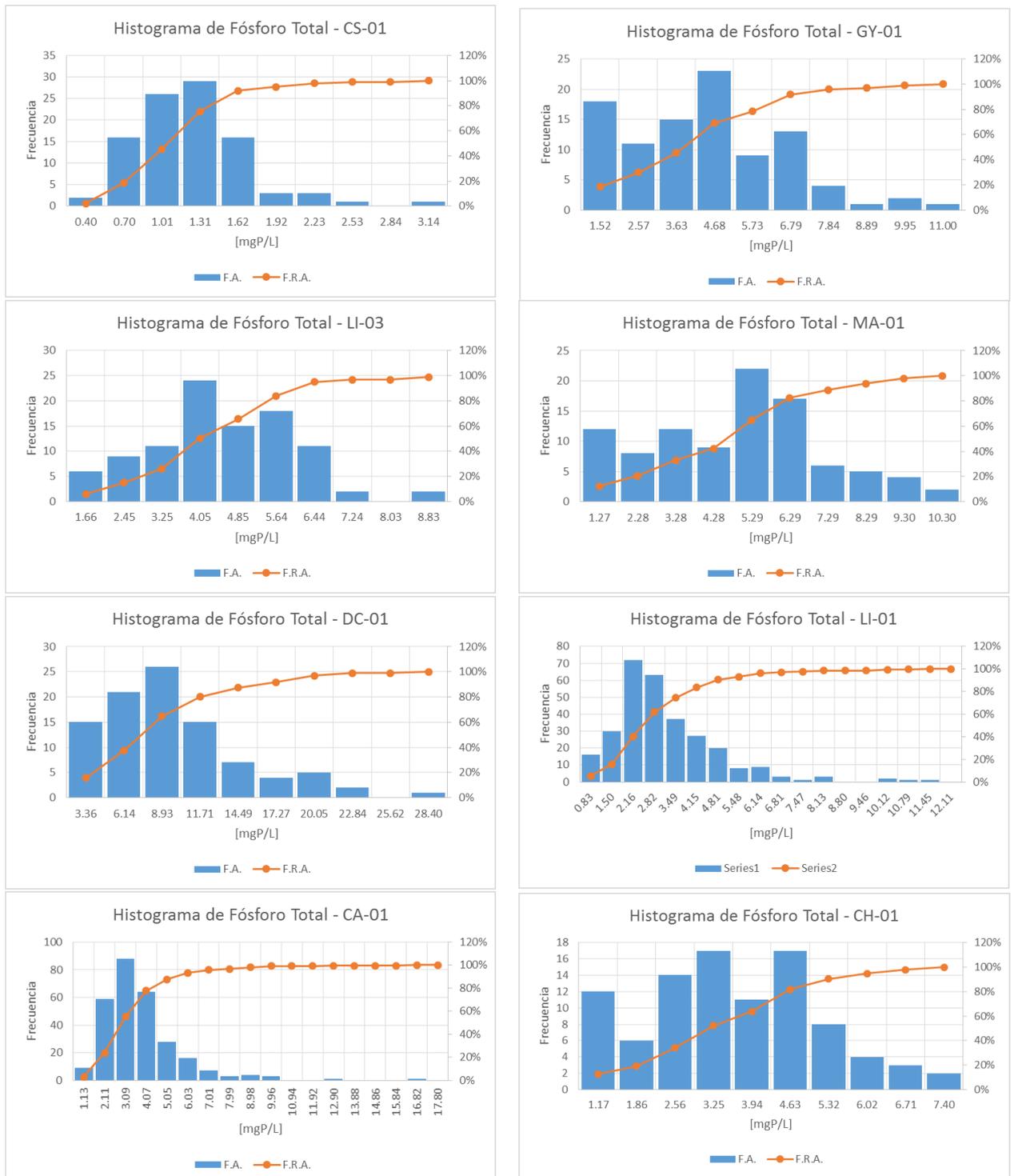
Nota. Los histogramas para todos los parámetros y estaciones se encuentran en formato digital bajo el nombre de **Anexo 12**.



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

Histogramas de Fósforo Total para las estaciones CS-01, GY-01, DC-01, LI-03, MA-01, DC-01, LI-01, CA-01 y CH-01.

Nota. Los histogramas para todos los parámetros y estaciones se encuentran en formato digital bajo el nombre de **Anexo 12**.



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

ANEXO 14: Parámetros y valores criterios de referencia para diferentes usos del agua.

Según lo recomendado por (C. Sierra, 2011.)¹⁹, a continuación se enuncian los criterios máximos para diferentes usos del agua:

- Uso agrícola:

AGRICULTURA NO RESTRINGIDA	
PH	4.5-9
DBO5 [mgO ₂ /L]	<10
Coliformes Fecales[NMP/100mL]	<1000
Coliformes Totales[NMP/100mL]	<5000
Sólidos Filtrables[mg/L]	<5000
O.D [mgO ₂ /L]	>2

AGRICULTURA RESTRINGIDA	
PH	4.5-9
DBO5 [mgO ₂ /L]	<30
Sólidos Suspendidos [mg/L]	<30
Coliformes Fecales[NMP/100mL]	<1000
Coliformes Totales[NMP/100mL]	<5000
Sólidos Filtrables[mg/L]	<5000

- Recreación:

CONTACTO PRIMARIO	
PH	5-9
DBO5 [mgO ₂ /L]	<30
Turbiedad[NTU]	<15
Sólidos Suspendidos[mg/L]	<500
Coliformes Fecales[NMP/100mL]	<200
Coliformes Totales[NMP/100mL]	<5000
O.D [mgO ₂ /L]	>6

CONTACTO SECUNDARIO	
PH	5-9
DBO5 [mgO ₂ /L]	<20
Turbiedad[NTU]	<10
Coliformes Fecales[NMP/100mL]	<200
Coliformes Totales[NMP/100mL]	<1000
O.D [mgO ₂ /L]	>6
Temperatura del Agua [°C]	20-30

De acuerdo a normatividad nacional (Decreto 1076, 2015)²⁰ y (Decreto 3930, 2010)²¹, se presentan los valores críticos para los siguientes usos:

- Consumo humano y doméstico bajo tratamiento:

CONSUMO HUMANO Y DOMÉSTICO (T. CONVENCIONAL)	
PH	5-9
Turbiedad[NTU]	190
Coliformes Fecales[NMP/100mL]	2000
Coliformes Totales[NMP/100mL]	20000
Nitratos[mgN/L]	10
Nitritos[mgN/L]	1

CONSUMO HUMANO Y DOMÉSTICO (DESINFECCIÓN)	
PH	6.5-8.5
Turbiedad[NTU]	190
Coliformes Fecales[NMP/100mL]	1000
Nitratos[mgN/L]	10
Nitritos[mgN/L]	1

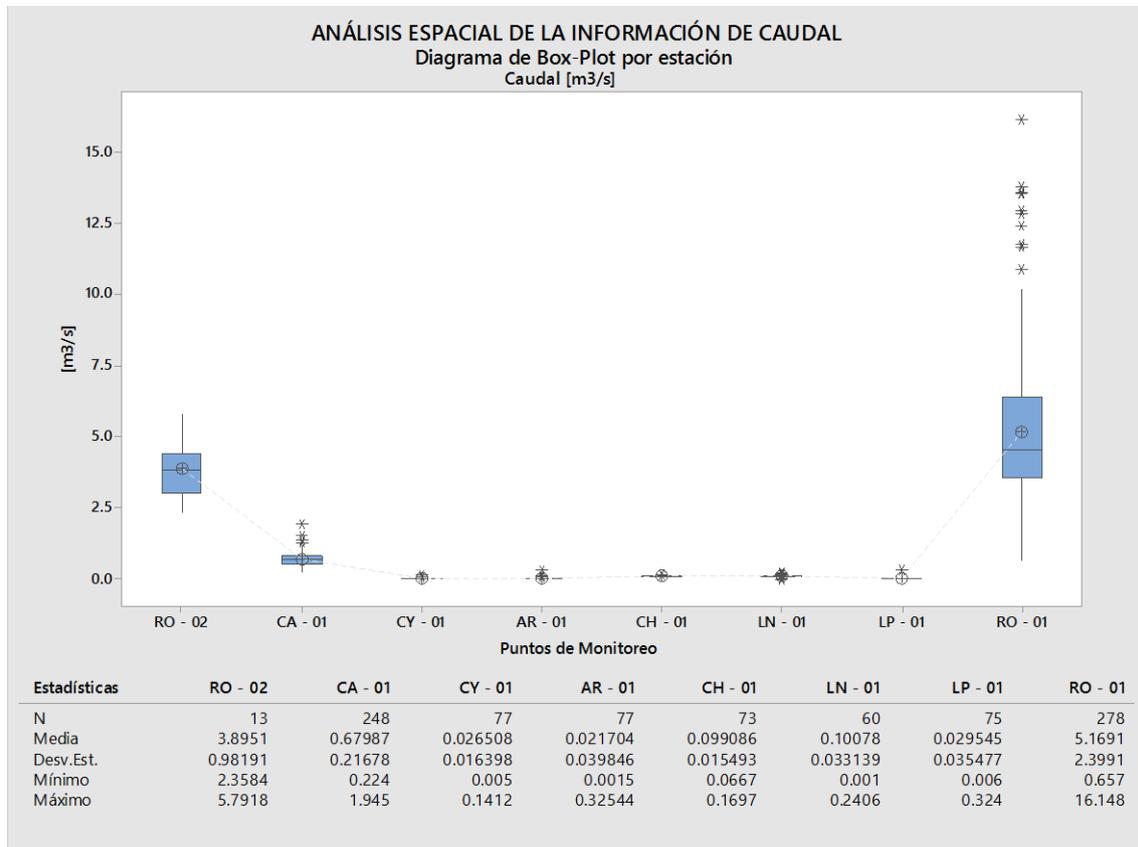
¹⁹ C. Sierra, Calidad del Agua: evaluación y diagnóstico, Medellín: Universidad de Medellín, 2011.

²⁰ República de Colombia, Ministerio de ambiente y Desarrollo Sostenible, Decreto 1076, 2015.

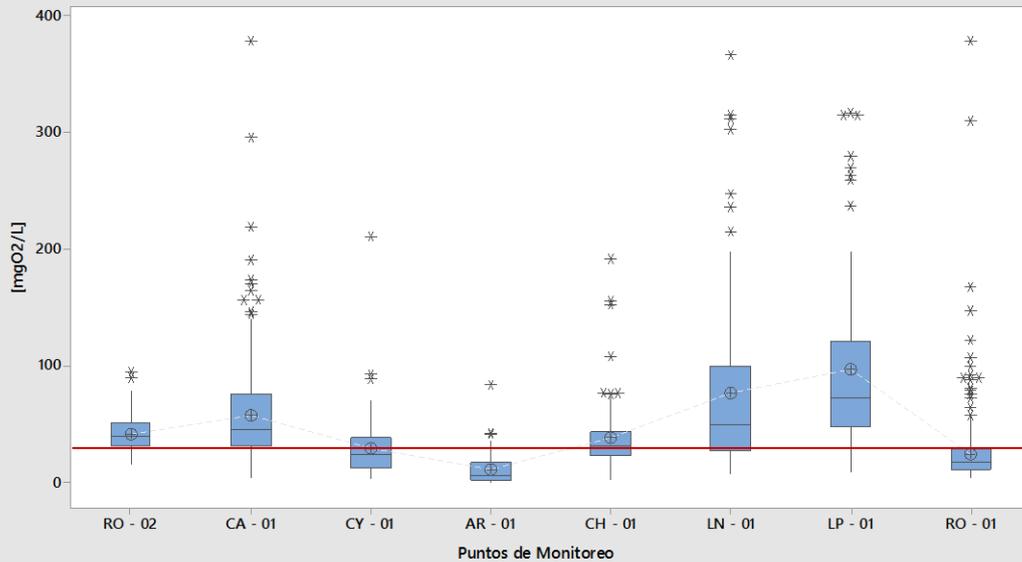
²¹ República de Colombia, Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, Decreto 3930, 2010.

ANEXO 15: Diagrama de caja para un subconjunto de variables de interés.

Nota. Los diagramas de caja para todas las variables fisicoquímicas objeto de análisis se encuentran en formato digital bajo el nombre de **Anexo 15**.



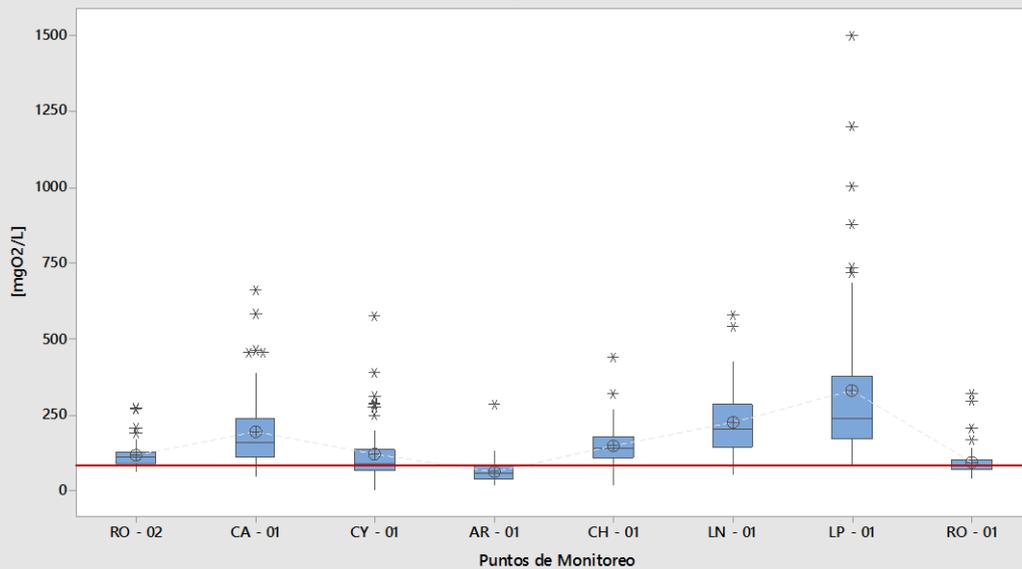
ANÁLISIS ESPACIAL DE LA INFORMACIÓN DE DBO5
Diagrama de Box-Plot por estación
DBO5 [mgO2/L]



Estadísticas	RO - 02	CA - 01	CY - 01	AR - 01	CH - 01	LN - 01	LP - 01	RO - 01
N	62	283	95	95	94	94	94	390
Media	42.063	58.429	29.709	11.846	38.922	77.521	97.664	25.038
Desv.Est.	15.479	42.259	26.815	12.908	29.569	74.607	72.402	30.176
Mínimo	16	4.2	3.8	1.1	3	8	9.9	4.5
Máximo	95	378	211	84	192	366	317	378

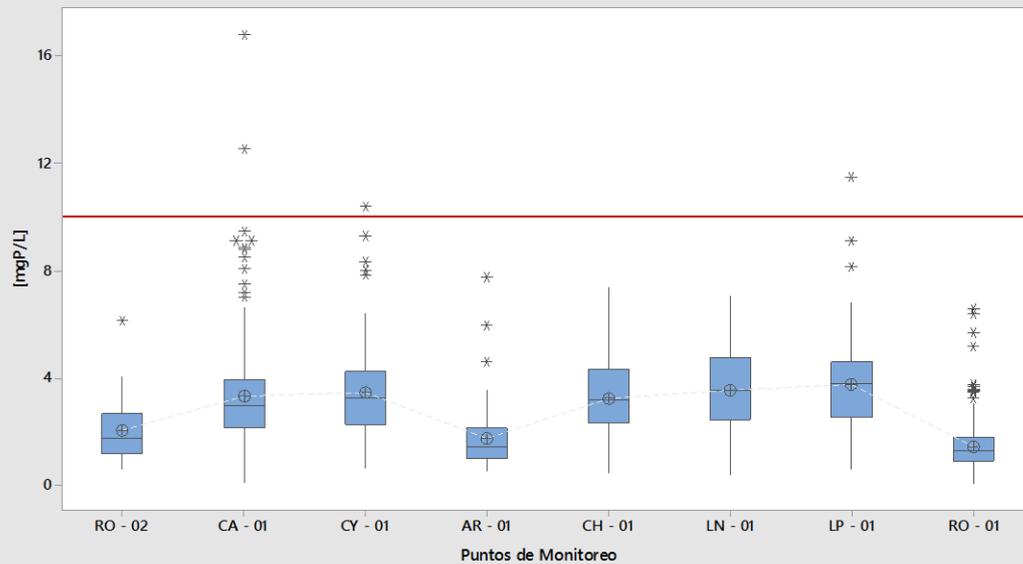
*

ANÁLISIS ESPACIAL DE LA INFORMACIÓN DE DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO
Diagrama de Box-Plot por estación
DQO [mgO2/L]



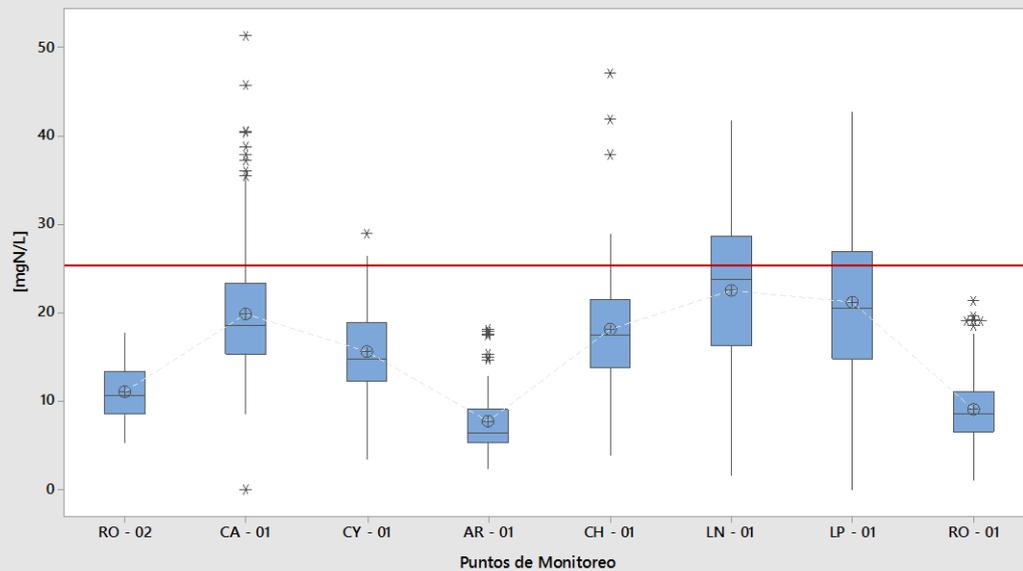
Estadísticas	RO - 02	CA - 01	CY - 01	AR - 01	CH - 01	LN - 01	LP - 01	RO - 01
N	62	68	67	68	67	66	67	73
Media	117.95	195.35	121.48	64.751	147.80	224.92	329.12	94.345
Desv.Est.	39.602	121.45	90.748	38.789	66.006	110.64	258.71	45.264
Mínimo	63.3	45.6	5	21	20.3	53.4	85	42
Máximo	272	660	575	283	439	579	1500	318

ANÁLISIS ESPACIAL DE LA INFORMACIÓN DE FÓSFORO TOTAL
 Diagrama de Box-Plot por estación
 Fósforo Total [mgP/L]



Estadísticas	RO - 02	CA - 01	CY - 01	AR - 01	CH - 01	LN - 01	LP - 01	RO - 01
N	62	283	95	95	94	94	94	389
Media	2.0574	3.3361	3.4632	1.7528	3.2751	3.5691	3.805	1.4687
Desv.Est.	1.0508	1.8684	1.7795	1.0798	1.5531	1.5994	1.7311	0.81924
Mínimo	0.62	0.15	0.678	0.53	0.48	0.4	0.64	0.1
Máximo	6.17	16.82	10.4	7.76	7.4	7.08	11.5	6.59

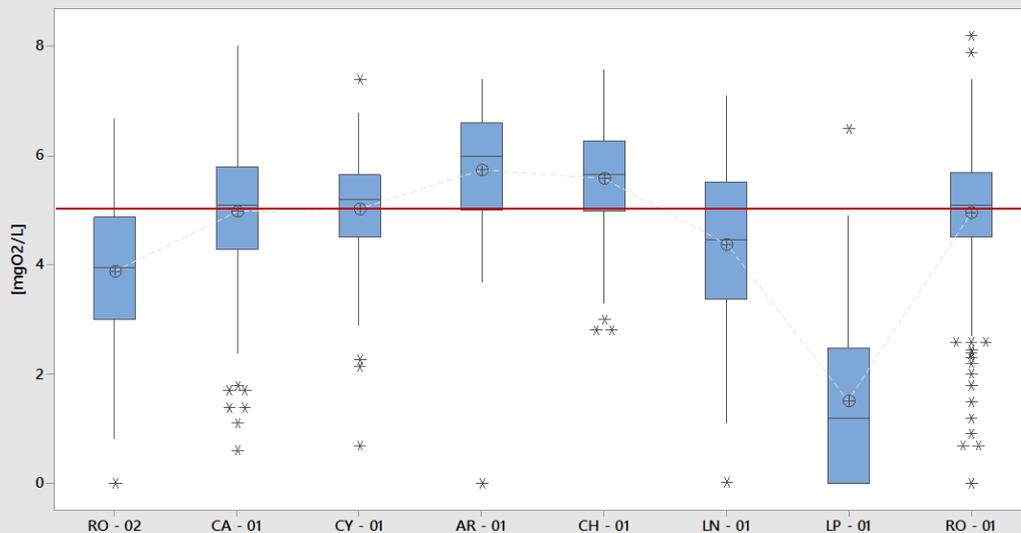
ANÁLISIS ESPACIAL DE LA INFORMACIÓN DE NITRÓGENO TOTAL
 Diagrama de Box-Plot por estación
 Nitrógeno Total [mgN/L]



Estadísticas	RO - 02	CA - 01	CY - 01	AR - 01	CH - 01	LN - 01	LP - 01	RO - 01
N	32	254	66	66	65	65	66	357
Media	11.129	19.896	15.616	7.7197	18.136	22.571	21.259	9.1330
Desv.Est.	3.1138	7.0498	4.8787	3.8181	8.2898	8.8065	9.7621	3.4645
Mínimo	5.313	0	3.51	2.428	3.817	1.535	0	1.1
Máximo	17.793	51.393	28.912	18.158	47.198	41.8	42.67	21.4

ANÁLISIS ESPACIAL DE LA INFORMACIÓN DE OXÍGENO DISUELTO

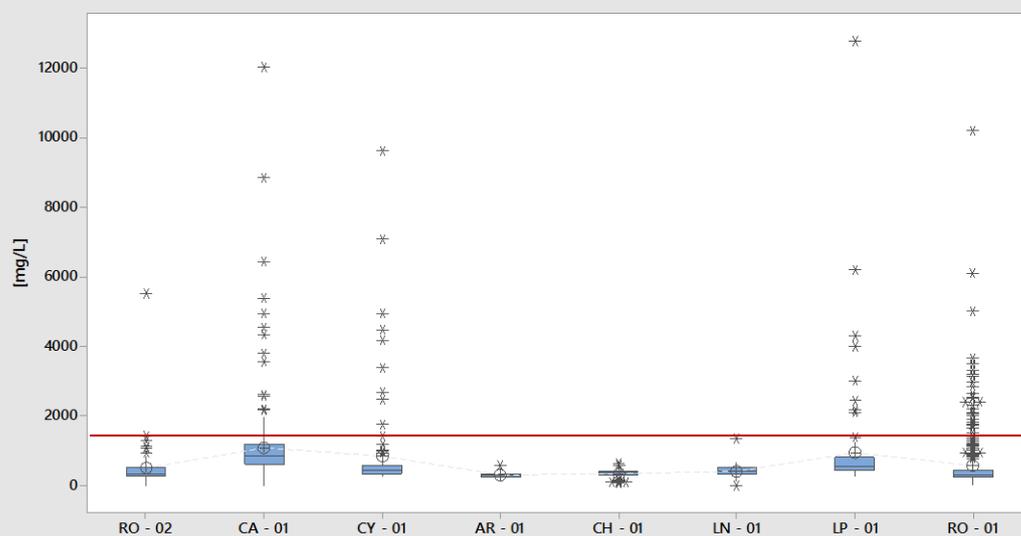
Diagrama de Box-Plot por estación
Oxígeno Disuelto [mgO₂/L]



	Puntos de Monitoreo							
Estadísticas	RO - 02	CA - 01	CY - 01	AR - 01	CH - 01	LN - 01	LP - 01	RO - 01
N	62	283	95	95	94	94	94	390
Media	3.8794	4.9741	5.0236	5.7426	5.5877	4.3862	1.5195	4.9713
Dev.Est.	1.4211	1.1928	1.0560	1.0620	1.0625	1.4952	1.5498	1.0918
Mínimo	0	0.6	0.7	0	2.8	0.03	0	0
Máximo	6.68	8	7.4	7.4	7.58	7.09	6.5	8.2

ANÁLISIS ESPACIAL DE LA INFORMACIÓN DE SÓLIDOS TOTALES

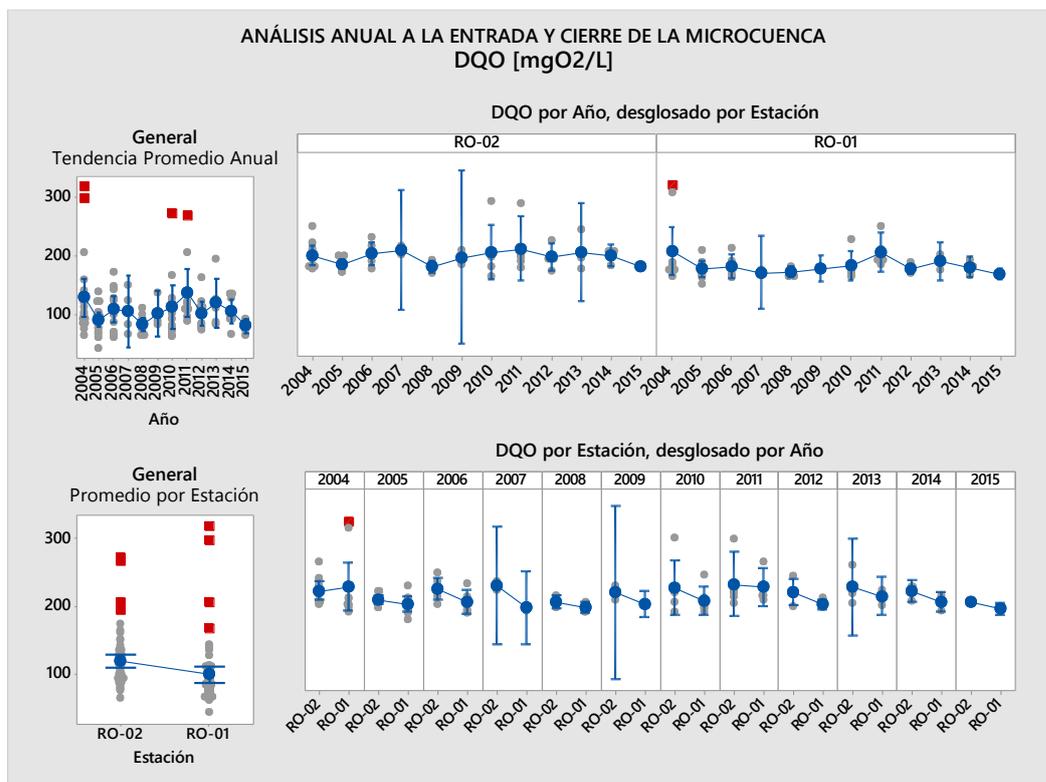
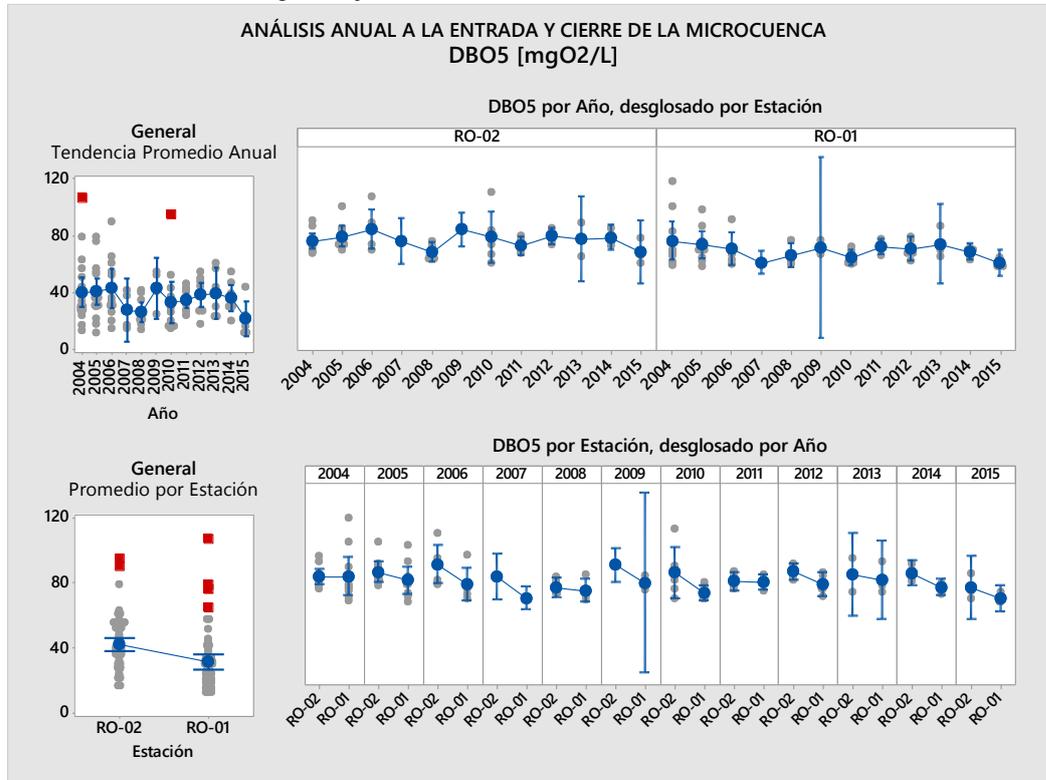
Diagrama de Box-Plot por estación
Sól. Totales [mg/L]



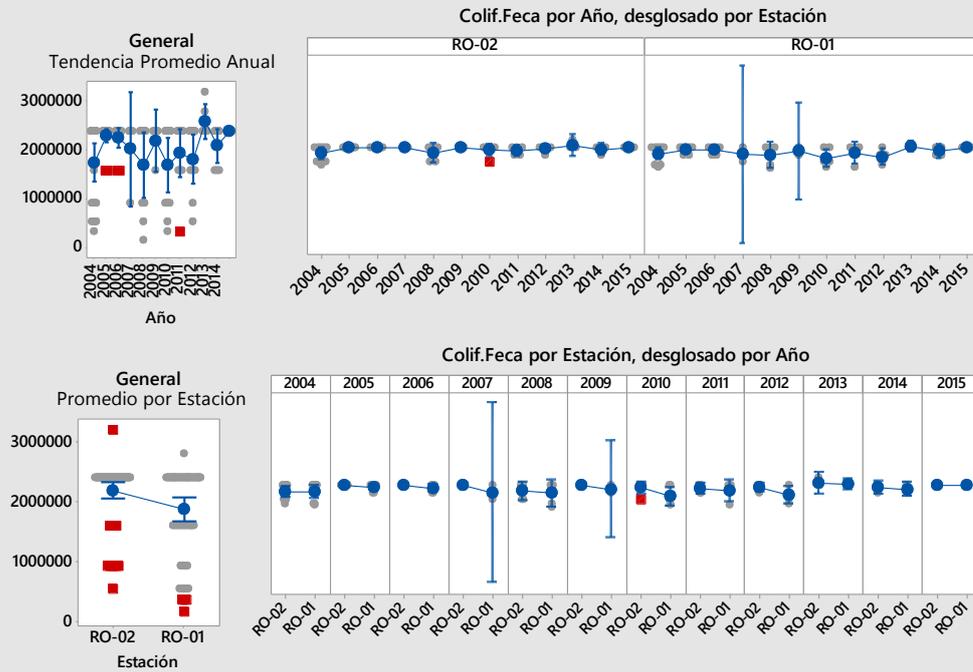
	Puntos de Monitoreo							
Estadísticas	RO - 02	CA - 01	CY - 01	AR - 01	CH - 01	LN - 01	LP - 01	RO - 01
N	62	283	95	95	94	94	94	390
Media	527.51	1084.4	863.88	316.73	366.26	433.64	959.64	581.39
Dev.Est.	700.68	1094.3	1408.3	76.241	112.81	165.02	1522.1	855.92
Mínimo	3.68	7.88	272	162	66	4.22	292	38
Máximo	5542	12044	9630	594	646	1360	12808	10234

ANEXO 16: Evolución temporal de un subconjunto de variables de interés sobre el Río de Oro, a la entrada y cierre de microcuenca (RO-02 y RO-01).

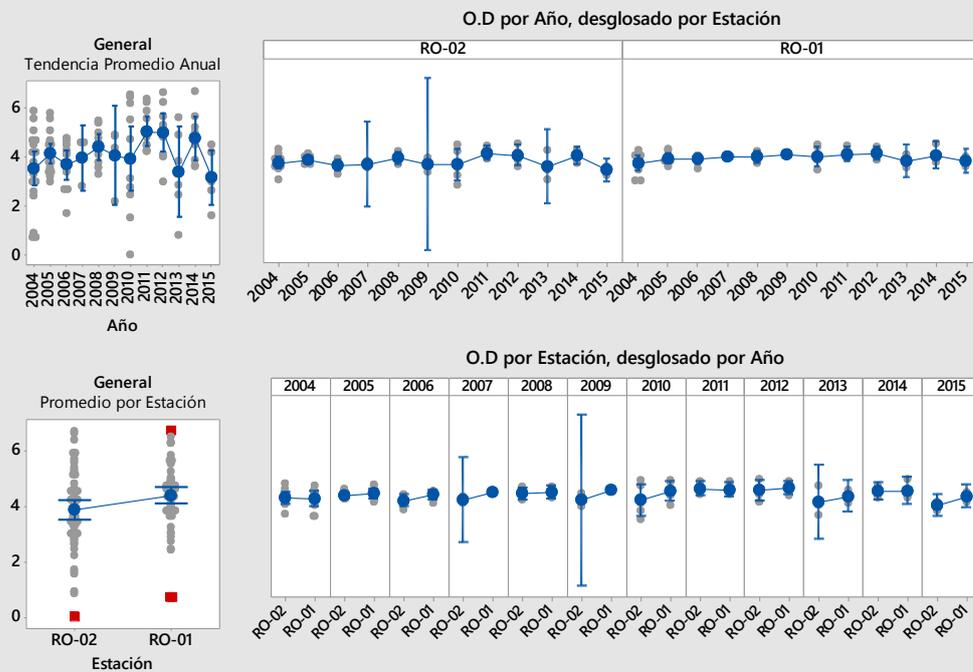
Nota. Los diagramas de evolución temporales para todas las variables fisicoquímicas objeto de análisis se encuentran en formato digital bajo el nombre de **Anexo 16**.



ANÁLISIS ANUAL A LA ENTRADA Y CIERRE DE LA MICROCUENCA Coliformes Fecales [NMP/100]

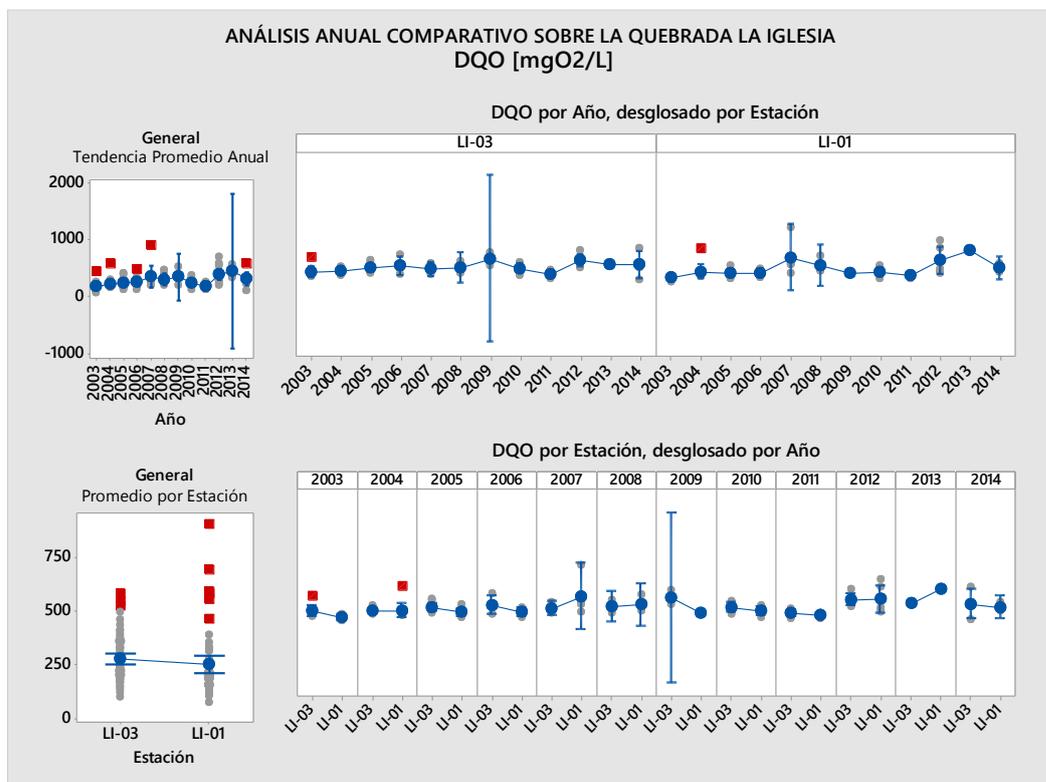
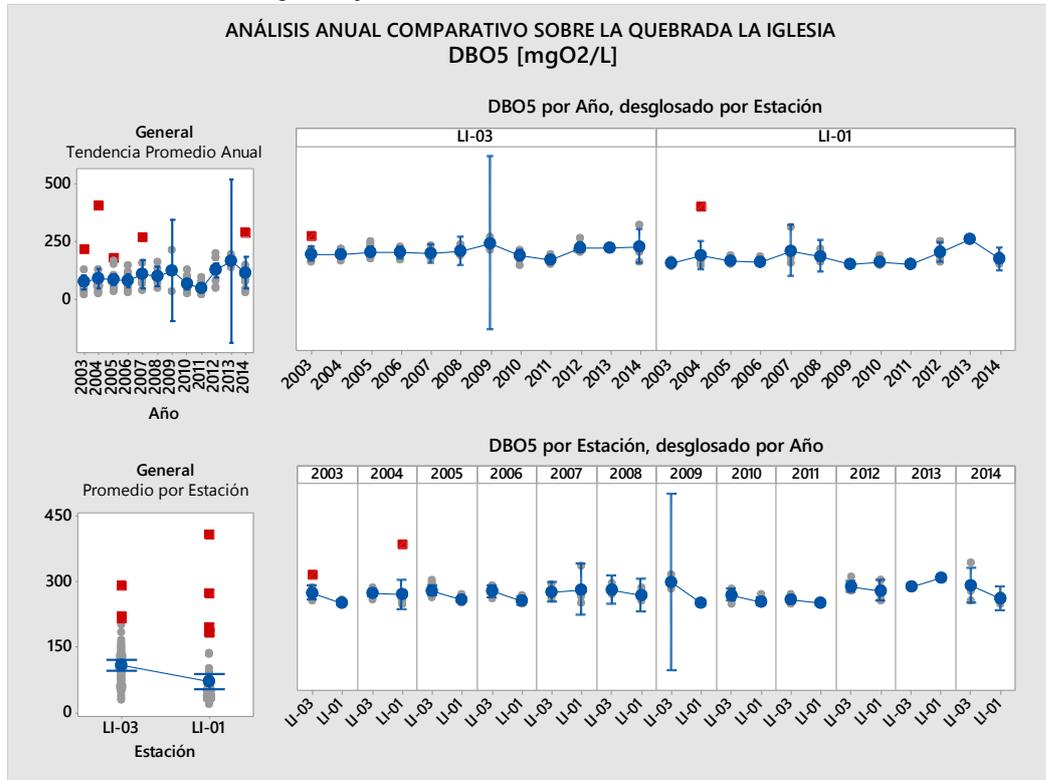


ANÁLISIS ANUAL A LA ENTRADA Y CIERRE DE LA MICROCUENCA O.D. [mgO₂/L]

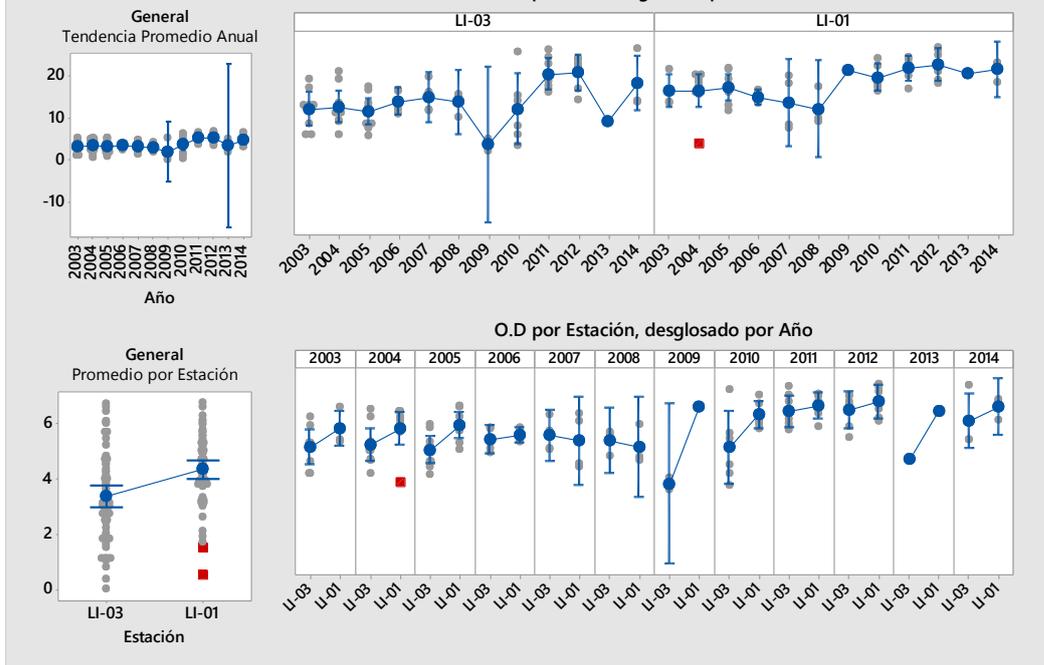


ANEXO 17: Evolución temporal de un subconjunto de variables de interés sobre un tramo de la quebrada La Iglesia (LI-03 y LI-01).

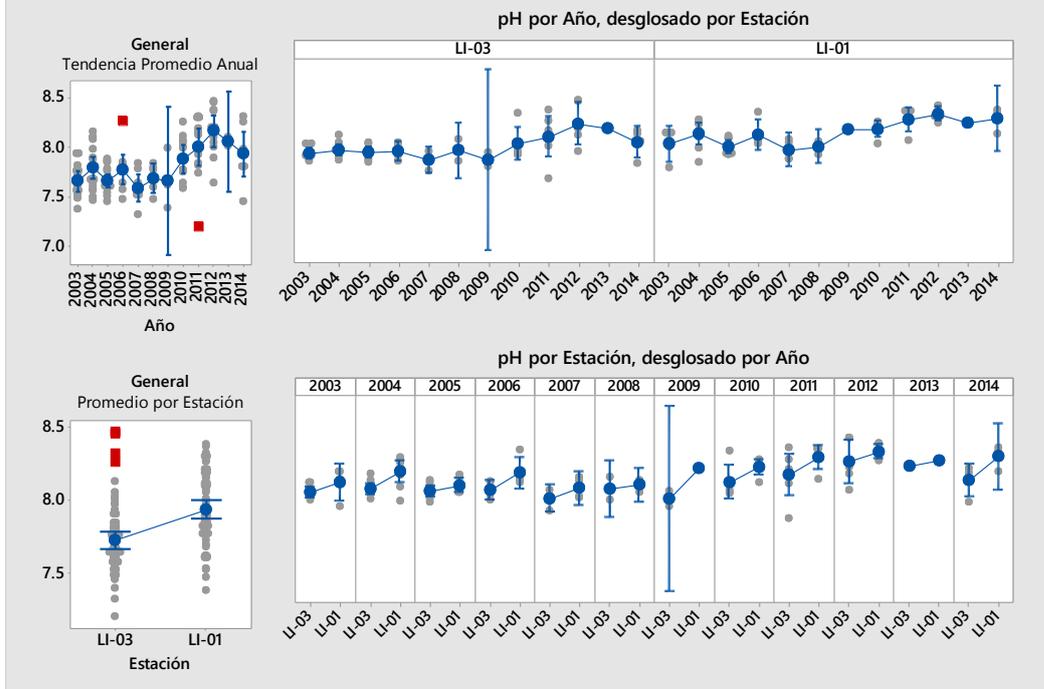
Nota. Los diagramas de evolución temporal para todas las variables fisicoquímicas objeto de análisis se encuentran en formato digital bajo el nombre de **Anexo 17**.



ANÁLISIS ANUAL COMPARATIVO SOBRE LA QUEBRADA LA IGLESIA O.D. [mgO₂/L]



ANÁLISIS ANUAL COMPARATIVO SOBRE LA QUEBRADA LA IGLESIA pH



ANEXO 18: Comparación estadística para DBO₅ en época de lluvia y no lluvia.

Nota. Las comparaciones estadísticas para todas las variables fisicoquímicas objeto de análisis se encuentran en formato digital bajo el nombre de **Anexo 18**.

Estación	EPOCA DE LLUVIA						EPOCA DE NO LLUVIA					
	Media	D.E.	EE de μ	IC de 95% (Inf-Sup)		V.P	Media	D.E.	EE de μ	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

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

Comparación estadística para DQO en época de lluvia y no lluvia.

Nota. Las comparaciones estadísticas para todas las variables fisicoquímicas objeto de análisis se encuentran en formato digital bajo el nombre de **Anexo 18**.

Estación	EPOCA DE LLUVIA					EPOCA DE NO LLUVIA						
	Media	D.E.	EE de μ	IC de 95% (Inf-Sup)	V.P	Media	D.E.	EE de μ	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 μ : error estándar de la media, IC de 95% (Inf-Sup): intervalo de confianza (inferior-superior), V.P.: Valor P en prueba de normalidad.

Comparación estadística para Fósforo total en época de lluvia y no lluvia.

Nota. Las comparaciones estadísticas para todas las variables fisicoquímicas objeto de análisis se encuentran en formato digital bajo el nombre de **Anexo 18**.

Estación	EPOCA DE LLUVIA					EPOCA DE NO LLUVIA						
	Media	D.E.	EE de μ	IC de 95% (Inf-Sup)		V.P	Media	D.E.	EE de μ	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

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

Comparación estadística para Nitrógeno total en época de lluvia y no lluvia.

Nota. Las comparaciones estadísticas para todas las variables fisicoquímicas objeto de análisis se encuentran en formato digital bajo el nombre de **Anexo 18**.

Estación	EPOCA DE LLUVIA						EPOCA DE NO LLUVIA					
	Media	D.E.	EE de μ	IC de 95% (Inf-Sup)	V.P		Media	D.E.	EE de μ	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 μ : error estándar de la media, IC de 95% (Inf-Sup): intervalo de confianza (inferior-superior), V.P.: Valor P en prueba de normalidad.

Comparación estadística para Oxígeno disuelto en época de lluvia y no lluvia.

Nota. Las comparaciones estadísticas para todas las variables fisicoquímicas objeto de análisis se encuentran en formato digital bajo el nombre de **Anexo 18**.

Estación	EPOCA DE LLUVIA						EPOCA DE NO LLUVIA					
	Media	D.E.	EE de μ	IC de 95% (Inf-Sup)		V.P	Media	D.E.	EE de μ	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

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

Comparación estadística para Sólidos suspendidos en época de lluvia y no lluvia.

Nota. Las comparaciones estadísticas para todas las variables fisicoquímicas objeto de análisis se encuentran en formato digital bajo el nombre de **Anexo 18**.

Estación	EPOCA DE LLUVIA					EPOCA DE NO LLUVIA						
	Media	D.E.	EE de μ	IC de 95% (Inf-Sup)		V.P	Media	D.E.	EE de μ	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

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

Comparación estadística para pH en época de lluvia y no lluvia.

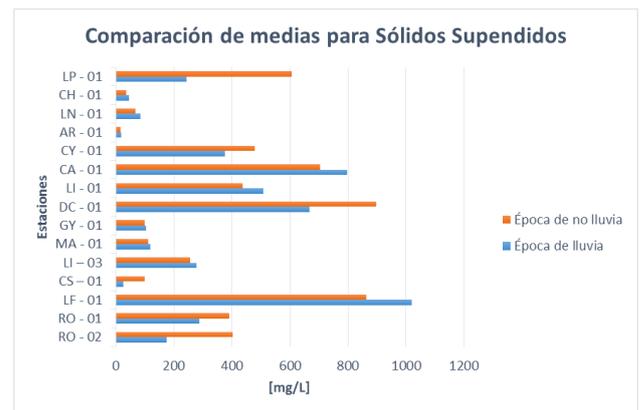
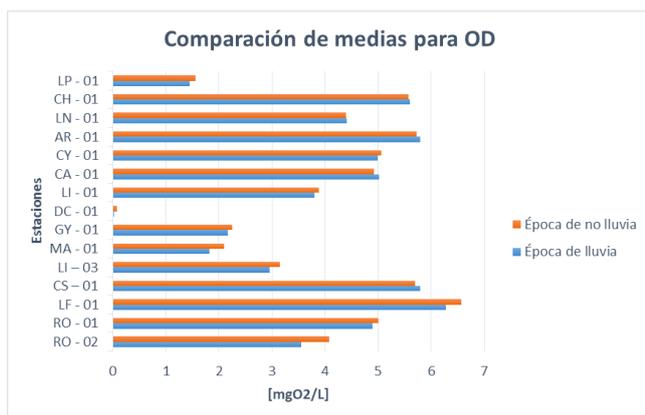
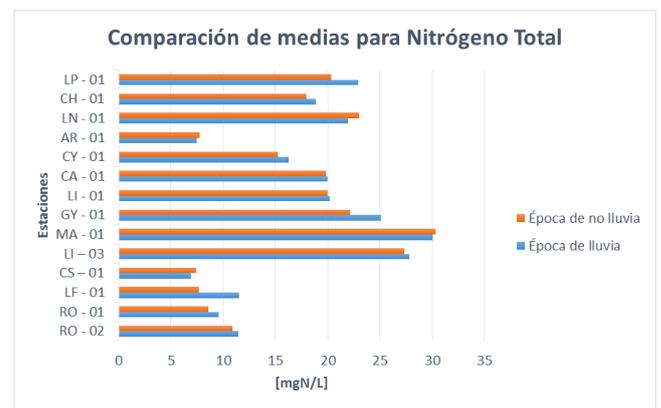
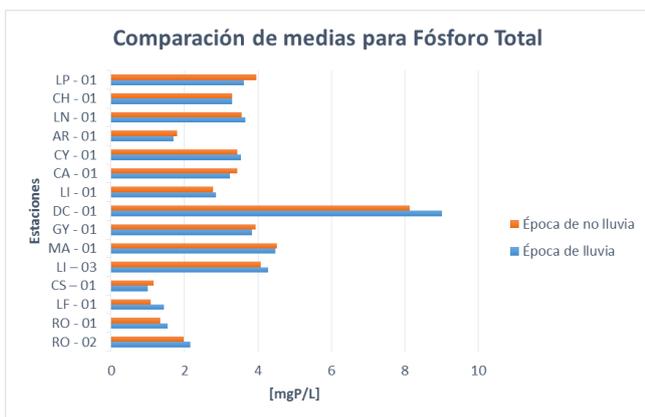
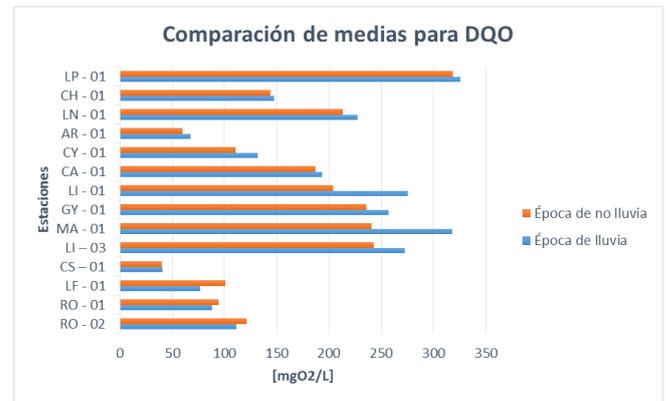
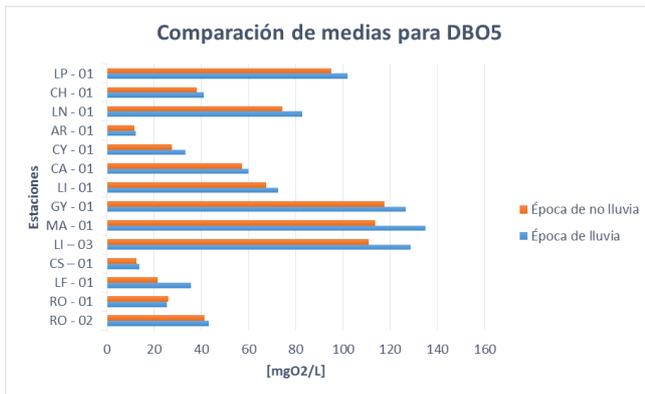
Nota. Las comparaciones estadísticas para todas las variables fisicoquímicas objeto de análisis se encuentran en formato digital bajo el nombre de **Anexo 18**.

Estación	EPOCA DE LLUVIA						EPOCA DE NO LLUVIA					
	Media	D.E.	EE de μ	IC de 95% (Inf-Sup)		V.P	Media	D.E.	EE de μ	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 μ : error estándar de la media, IC de 95% (Inf-Sup): intervalo de confianza (inferior-superior), V.P.: Valor P en prueba de normalidad.

ANEXO 19: Contraste de medias de un subconjunto de variables de interés en época de lluvia y no lluvia

Nota. Las comparaciones de las medias para todas las variables fisicoquímicas objeto de análisis se encuentran en formato digital bajo el nombre de **Anexo 18**.



ANEXO 20: Estado del Índice de Calidad del Agua (ICA) en unas estaciones de interés.

Nota. El estado del Índice de Calidad del Agua para todas las estaciones objeto de análisis se encuentran en formato digital bajo el nombre de **Anexo 20**.

