

**DETERMINACIÓN DE LOS ÍNDICES DE CALIDAD Y CONTAMINACIÓN DEL
AGUA (ICA e ICos) SOBRE TRAMOS SUPERFICIALES DEL RÍO DE ORO Y
RÍO VETAS PARA EL ANÁLISIS Y VERIFICACIÓN DEL CUMPLIMIENTO DE
LA NORMATIVIDAD COLOMBIANA**

JUDITH ESTHER ZABALA DÁVILA

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISCOQUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA
BUCARAMANGA**

2018

**DETERMINACIÓN DE LOS ÍNDICES DE CALIDAD DEL AGUA (ICA) E ÍNDICES
DE CONTAMINACIÓN DEL AGUA (ICOs) SOBRE AGUAS SUPERFICIALES DE
TRAMOS DEL RÍO DE ORO Y RÍO VETAS PARA EL ANÁLISIS Y
VERIFICACIÓN DEL CUMPLIMIENTO DE LA NORMATIVIDAD COLOMBIANA**

JUDITH ESTHER ZABALA DÁVILA

**Trabajo de grado para optar al título de
INGENIERO QUÍMICO**

Director: RONALD ALFONSO MERCADO

Ingeniero Químico

Doctor en Ingeniería de Productos y Procesos

Phd. en Ingeniería de Productos y Procesos

Codirector: CARLOS MAURICIO TORRES

Ingeniero civil

Especialista en recursos hídricos y suelos

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISCOQUÍMICAS**

ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA

BUCARAMANGA

2018

De manera muy especial dedico este trabajo:

A Dios por llenarme de fuerzas y de salud necesaria para llegar hasta este punto de mi vida. Por ayudarme a derrotar con esfuerzo las adversidades durante toda la carrera.

A mi madre, Esther Dávila, por guiarme con amor, paciencia y perseverancia a perseguir mis sueños y cumplir mis metas.

A mi padre, Abelardo Zabala, por el apoyo económico y emocional. Por su buen ejemplo en familia mostrándonos a mis hermanos y a mí, el camino correcto para ser alguien en la vida

A mi hermana Olga Zabala, por ayudarme en momentos difíciles, por ser mi confidente y mejor amiga.

A Sergio Zabala, porque más que un colega es mi hermano, un ejemplo a seguir.

A Miguel Nieto, por acompañarme durante la carrera en los momentos duros y felices, por su comprensión y amor.

JUDITH E. ZABALA DAVILA

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a la Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga-(CDMB), por darme la oportunidad de ser parte del equipo de trabajo en el área de vertimientos en modalidad práctica empresarial.

A la Ingeniera de la CDMB, Ana Celina Castellanos, por guiarme durante la práctica.

A mi Director de proyecto Ronald A. Mercado, por guiarme durante todo este proceso con disposición y paciencia.

Al Ingeniero de la CDMB, Carlos Mauricio Torres, mi codirector, por apoyarme en todo el proceso del proyecto y estar siempre disponible ante cualquier inquietud.

A mis compañeros Oscar Contreras y Carlos, por ayudarme durante mis últimos semestres.

A todos y cada uno de los que hicieron parte de mi formación en algún momento de mi vida, una y mil gracias.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	15
1. OBJETIVOS.....	19
1.1. OBJETIVO GENERAL	19
1.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	19
2. ESTADO DEL ARTE.....	20
3. MARCO TEÓRICO	23
3.1. LA CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL PARA LA DEFENSA DE LA MESETA DE BUCARAMANGA (CDMB).	23
3.2. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.	24
3.3. JUSTIFICACIÓN.....	25
3.4 ÍNDICE DE CALIDAD DEL AGUA.	26
3.5 ÍNDICES DE CONTAMINACIÓN DE AGUA ICOs.....	27
3.5.1 Índice de contaminación por mineralización- ICOMI.....	27
3.5.2 Índice de contaminación por materia orgánica- ICOMO.	29
3.5.3 Índice de contaminación por solidos suspendidos- ICOSUS.	30
3.5.4 Índice de contaminación Tráfico- ICOTRO.	30
4. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL.....	32
4.1. Búsqueda bibliográfica.....	32
4.2. Elección de puntos de monitoreo.....	33
4.3. CARACTERIZACIÓN DE LAS AGUAS.....	35
4.4. DETERMINACIÓN DE ÍNDICES DE CALIDAD DEL AGUA (ICA).....	36

4.5. DETERMINACIÓN DE LOS ÍNDICES DE CONTAMINACIÓN DEL AGUA (ICOS).....	37
4.6. ANÁLISIS DE ÍNDICES DE CALIDAD.....	37
5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	38
5.1. ESTUDIO DE LOS PUNTOS DE MONITOREO ESTABLECIDOS PARA EL RÍO DE ORO.	38
5.1.1. Estudio de punto de monitoreo: El rasgón.	38
5.1.2. Estudio de punto de monitoreo: El conquistador.....	39
5.1.3. Estudio de punto de monitoreo: Palogordo.	40
5.1.4. Estudio de punto de monitoreo: Bahondo.	41
5.1.5. Estudio de punto de monitoreo: Carrizal y Puente Nariño.	42
5.1.6. Estudio del río de Oro.	42
5.2. ESTUDIO DE LOS PUNTOS DE MONITOREO ESTABLECIDOS PARA EL RÍO VETAS.....	43
5.2.1 Estudio de punto de monitoreo: Borrero.	43
5.2.2. Estudio de punto de monitoreo: Loma Redonda.....	44
5.2.3. Estudio de punto de monitoreo: Puente Panaga.....	44
5.2.4. Estudio del río de Vetas.....	45
5.3. ESTUDIO CUMPLIMIENTO NORMATIVIDAD DECRETO 1076 DE 2015 PARA EL RÍO DE ORO	45
5.3.1. Punto El Rasgón (RO-06).	46
5.3.2. Punto El Conquistador (RO-05).	47
5.3.3. Punto Palogordo (RO-04).	47
5.3.4. Punto Bahondo (RO-04A).	48
5.3.5. Punto Carrizal y Puente Nariño (RO-02 y RO-01).	48
5.4. ALTERNATIVAS PARA MEJORAR EL ESTADO DE AGUAS SUPERFICIALES DEL RÍO DE ORO.	49
5.5. ESTUDIO CUMPLIMIENTO NORMATIVIDAD DECRETO 1076 DE 2.015 PARA EL RÍO VETAS.....	49

5.5.1 Puntos Borrero (RV-05), Loma Redonda (RV-02) y Puente Panaga (RV-05).
.....50

6. CONCLUSIONES51

7. RECOMENDACIONES.....52

BIBLIOGRAFÍA.....53

ANEXOS.....57

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Interpretación de Índice de Calidad del Agua según ICA-CETESB	27
Tabla 3. Puntos de monitoreo sobre aguas superficiales, (a) río de Oro, (b) río Vetás.....	34
Tabla 4. Métodos de laboratorio para determinación de parámetros.....	36
Tabla 5. Índices de calidad y contaminación para los tramos del Río de Oro.....	38
Tabla 6. Índices de calidad y contaminación para los tramos del Río Vetás.	43
Tabla 7. Criterios de calidad establecidos en el Decreto 1076 de 2015.	46
Tabla 8. Parámetros determinados para muestras de agua del Río de Oro.....	49
Tabla 9. Parámetros determinados para muestra de agua de Río Vetás.	50

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Metodología experimental propuesta.....	32
Figura 2. Ubicación de las estaciones de muestreo para el Río de Oro.	34
Figura 3. Ubicación de las estaciones de muestreo para el Río Vetas.....	35

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
ANEXO A. GRAFICA Y VALORES DE PONDERACIÓN CORRESPONDIENTES AL ICA-CETESB.....	57
ANEXO B. ESTUDIO DE METODOLOGIA DE LABORATORIO PARA DETERMINACIÓN DE PARAMETROS EN LAS MUESTRAS DE AGUA.	58
ANEXO C. DETERMINACIÓN DE LOS ÍNDICES DEL RÍO DE ORO MENDIANTE EL SISTEMA DE INFORMACIÓN CORPORATIVO (SIC) DE LA CDMB.....	64
ANEXO D. DETERMINACIÓN DE LOS ÍNDICES DEL RÍO VETAS MENDIANTE EL SISTEMA DE INFORMACIÓN CORPORATIVO (SIC) DE LA CDMB.....	67
ANEXO E. EQUIPOS DE LABORATORIO PARA LA DETERMINACIÓN DE PARAMETROS.....	69

RESUMEN

TITULO: DETERMINACIÓN DE LOS ÍNDICES DE CALIDAD Y CONTAMINACIÓN DEL AGUA (ICA e ICOs) SOBRE TRAMOS SUPERFICIALES DEL RÍO DE ORO Y RÍO VETAS PARA EL ANÁLISIS Y VERIFICACIÓN DEL CUMPLIMIENTO DE LA NORMATIVIDAD COLOMBIANA*

AUTOR: JUDITH ESTHER ZABALA DAVILA**

PALABRAS CLAVES: RÍO DE ORO, RÍO VETAS, ICA, ICOs.

DESCRIPCIÓN:

El estudio de la calidad del agua de los ríos del área metropolitana de Bucaramanga bajo la jurisdicción de la CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL PARA LA DEFENSA DE LA MESETA DE BUCARAMANGA (CDMB) es realizado mediante la determinación analítica de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos para muestras de agua recolectadas en cada una de las estaciones establecidas por dicha corporación. El cálculo del índice de calidad del agua (ICA), así como índices de contaminación (ICOs) son empleados para verificar el estado de los ríos. Estos índices fueron determinados para establecer la calidad de los diferentes puntos de monitoreo presentes en el Río de Oro y Río Vetas. A su vez, el cumplimiento de la normatividad colombiana, reguladora de los usos normativos de componentes del agua fue examinado para cada uno de los puntos establecidos.

Se pudo evidenciar el deterioro de la calidad del agua del Río de Oro en su paso por el municipio de Piedecuesta., altos niveles de coliformes totales fueron encontrados, así como la presencia de componentes agroquímicos generados principalmente por el cultivo de mora y pan-coger como causantes del mal estado de este recurso hídrico, por otro lado, fue estudiado el estado de las aguas del Río Vetas que está ciertamente afectado por la presencia de sólidos suspendidos a causa de la actividad minera y de elevados niveles de coliformes afectando su uso para el consumo humano.

* Trabajo de Grado

** Facultad de Ingenierías Físicoquímicas. Escuela de Ingeniería Química. Director: RONALD ALFONSO MERCADO.

ABSTRACT

TITLE: DETERMINATION OF WATER QUALITY AND POLLUTION INDEX (ICA and ICOs) ON SUPERFICIAL SECTIONS OF THE RÍO DE ORO AND RÍO VETAS FOR THE ANALYSIS AND VERIFICATION OF THE COMPLIANCE OF THE COLOMBIAN REGULATIONS*

AUTHOR: JUDITH ESTHER ZABALA DAVILA**

KEYWORDS: RÍO DE ORO, RÍO DE VETAS, ICA, ICOs.

DESCRIPTION:

The study of the water quality of the rivers of the metropolitan area of Bucaramanga under the jurisdiction of CORPORACION AUTONOMA REGIONAL PARA LA DEFENSA DE LA MESETA DE BUCARAMANGA (CDMB) is carried out through the analytical determination of physicochemical and microbiological parameters for water samples collected in each of the stations established by CDMB. The calculated Water Quality Index (ICA) and pollution indexes (ICOs) are used to verify the rivers. These indexes were calculated to establish the quality of the monitoring points located in Río de Oro and Río Vetás. Similarly, for each established point, compliance with the Colombian regulations was examined, this normativity regulates the regulatory uses of water components.

Deterioration of the water quality in Río de Oro was evidenced when it passes through the municipality of Piedecuesta. High levels of total coliforms were found, as well as the presence of agrochemical components, generated mainly by the cultivation of blackberry and bread-catch. These components causes the poor state of this water resource. On the other hand, the state water of Río Vetás was studied as well, which is certainly affected by the presence of suspended solids due to the mining activity and high levels of coliforms affecting its use for human consumption.

* Bachelor Thesis

** Facultad de Ingenierías Físicoquímicas. Escuela de Ingeniería Química. Director: RONALD ALFONSO MERCADO.

INTRODUCCIÓN

El departamento de Santander cuenta con una numerosa red hidrográfica conformada por ríos, lagos, quebradas, entre otras corrientes hídricas que recorren la región. Los ríos de Oro y Vetas hacen parte de la red de monitoreo de aguas dentro de la jurisdicción de la CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL PARA LA DEFENSA DE LA MESETA DE BUCARAMANGA (CDMB), siendo el Río Vetas una microcuenca de la subcuenca del Río Surata, que a su vez hace parte de la cuenca del Río Lebrija. El Río de Oro es una de las ocho subcuencas del Río Lebrija.

La subcuenca del Río de Oro presenta un área total de 56.940 hectáreas y hace parte de la zona hidrográfica del Magdalena Medio. Inicialmente, se encuentra en el corredor de alta montaña de la cordillera oriental. Su cauce nace hacia los 3.500 m.s.n.m en Alto El Picacho. Los cinco municipios que hacen parte de esta son: Bucaramanga, Floridablanca, Girón, Piedecuesta y Tona. Por otra parte, esta subcuenca se divide en cinco microcuencas para el manejo administrativo de la CDMB, estas son: Río de Oro Alto, Río de Oro Medio, Río de Oro Bajo, Río Lato y Río Frío.¹

El Río de Oro nace a partir de la confluencia de varios nacimientos hídricos de las veredas Santa Rita y Cristales. Los afluentes de este tramo son las quebradas El Reventón y El Picacho; sus principales usos radican en el consumo humano de los habitantes de las veredas aledañas y las actividades agropecuarias.² Cabe aclarar, que este río es la fuente de abastecimiento del acueducto urbano de Piedecuesta.

¹ CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL PARA LA DEFENSA DE LA MESETA DE BUCARAMANGA (CDMB). Plan de ordenación y manejo ambiental subcuenca Río de Oro. Bucaramanga. 2007. 3-4 p.

² *Ibíd.*, 84-85 p.

La microcuenca del Río Vetas representa una extensión de aproximadamente 15.331 hectáreas, limitándola al Norte el municipio de Surata, al Sur el municipio de Charta, al Oriente el Departamento de Norte de Santander y al Occidente el municipio de Surata. Este río desemboca sobre la subcuenca del Río Surata, en su recorrido recibe las aguas limpias del Páramo de Monsalve y del parque natural regional de Santurbán, con potencial para el desarrollo de la piscicultura, aportando un caudal importante de agua al Río Surata, la cual es usada por el Acueducto Metropolitano de Bucaramanga para abastecer la ciudad y al municipio de Girón.³

El cauce principal del Río Vetas tiene una longitud de 21,37 Km, su nacimiento está en la cota 4.200 m.s.n.m y desciende hasta llegar a los 1.600 m.s.n.m. Los principales afluentes de este río son las siguientes quebradas: Angosturas, Páez, Salado, Mongora, La plata, La baja, El volcán, Chumbula, Cunta, Agua de Paramo y Mataperros. La microcuenca del Río Vetas está conformada por 16 veredas de los municipios de Vetas, California y Surata; en el área de extensión de este río se desarrollan las actividades de origen agrícola, pecuario, forestal y minero.⁴

Las Corporaciones Autónomas Regionales tienen el deber de velar por el buen empleo de los recursos hídricos garantizando sostenibilidad y el buen uso del mismo. La CDMB como autoridad ambiental en la regional nororiental del departamento de Santander implementa la Gestión Integrada del Recurso Hídrico por medio del programa “Ordenamiento del Recurso Hídrico, Control de Vertimientos y Monitoreo de Corrientes” con el fin de preservar y controlar las cuencas, subcuencas y microcuencas de la jurisdicción. Es por medio del Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible 1076 de 2015

³ CDMB. Subdirección de ordenamiento y planificación integral del territorio: Plan de ordenamiento del recurso hídrico para la microcuenca del Río Vetas. Bucaramanga. 2010. 27 p.

⁴ *Ibíd.*, 28-38 p.

que se establecen los parámetros de calidad por uso, la destinación del agua, el control de los vertimientos y el ordenamiento del recurso hídrico.⁵

Para determinar la calidad de las corrientes hídricas se tienen en cuenta un conjunto de parámetros fisicoquímicos que a su vez son operados matemáticamente por diferentes métodos para establecer los Índices de Calidad del Agua (ICA) e Índices de Contaminación (ICOs).

El ICA es una técnica estadística que ha sido aplicada en extensos programas de monitoreo, implementados por la industria del petróleo sobre diferentes regiones de Colombia (Oleoducto de Colombia – Ecopetrol ICP., 1993, Ocesa – Ecotest, 1997, BP Exploration – Ecotest, 1998), gracias a ellos se identificaron correlaciones frecuentes y reiteradas entre múltiples variables físicas y químicas, las cuales dieron origen a la formulación de los siguientes cuatro índices de contaminación: índice de contaminación por mineralización (ICOMI), índice de contaminación por materia orgánica (ICOMO), índice de contaminación por sólidos suspendidos (ICOSUS) e índice de contaminación trófico (ICOTRO).⁶

Los (ICOs); permiten reducir una gran cantidad de parámetros a una expresión sencilla dentro de un marco de análisis, sin necesidad de estudiar el comportamiento de éstos en forma individual. Estos índices permiten por medio de la planificación, controlar la disminución o el aumento de la contaminación programando metas y objetivos a cumplir a corto y largo plazo, las cuales pueden ser medidas y evaluadas en el tiempo.⁷

⁵ CDMB Coordinación de seguimiento y monitoreo ambiental: Plan de ordenamiento del recurso hídrico microcuenca Río de Oro alto. Bucaramanga. 2010. 11 p.

⁶ RAMÍREZ, R. RESTREPO, M. CARDEÑOSA. Índices De Contaminación Para Caracterización De Aguas Continentales Y Vertimientos. En: CT&F - Ciencia, Tecnología y Futuro [Base de datos en línea]. Vol. 1 N° 5. Bucaramanga, 1999. Disponible en SciELO (scientific electronic library online)

⁷ CASTRO, M. ALMEIDA, J. FERRER, J. DIAZ, D. Indicadores de la calidad del agua: Evolución y tendencias a nivel global [En línea]. Bogotá: Universidad Cooperativa de Colombia, 2014. 112-122 p. Recuperado en noviembre de 2017. Disponible en: <https://revistas.ucc.edu.co/index.php/in/article/download/811/770>

La CDMB define el estado de las aguas superficiales de los ríos de Oro y Vetas, mediante la ejecución de índices de calidad del agua (ICA), a su vez, los índices de contaminación; ICOMI, ICOMO, ICOTRO, ICOSUS, los cuales presentan un mejor entendimiento de los principales focos de contaminación que afectan el estado de los ríos en mención.⁸

La finalidad del presente trabajo es determinar la calidad y contaminación del agua en diferentes tramos del Río de Oro y del Río Vetas, para el posterior análisis del estado en que se encuentran estas aguas superficiales. Este estudio se realiza con la colaboración de la CDMB, en modalidad práctica empresarial.

⁸ CDMB. Subdirección de ordenamiento y planificación integral del territorio: Informe Anual Recursos Naturales, 2016. Bucaramanga. 2017. 12 p.

1. OBJETIVOS

1.1. OBJETIVO GENERAL

Evaluar el estado de tramos de agua del Río de Oro en las estaciones de monitoreo el Rasgón, Conquistador, Palogordo, Bahondo, Carrizal, Puente Nariño y del Río Vetas en las estaciones de monitoreo de Borrero, Loma Redonda y Puente Panaga, como función de los índices de Calidad del agua (ICA) e índices de contaminación del agua (ICOs).

1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Realizar un muestreo de los tramos del Río de Oro y Río Vetas de las estaciones el Rasgón, Conquistador, Palogordo, Bahondo, Carrizal, Puente Nariño, Puente Panaga, Loma Redonda y Borrero para la determinación analítica y caracterización fisicoquímica y microbiológica de las aguas superficiales.

Determinar los índices de Calidad del Agua (ICA) e índices de contaminación de agua (ICOs) de tramos de agua superficiales del Río de Oro y Río Vetas mediante el uso del sistema de información corporativa SIC de la corporación CDMB.

Analizar la calidad del agua superficial de tramos del Río de Oro y Río Vetas acorde a los índices de calidad y contaminación del agua y el cumplimiento del decreto 1076 del 2015.

2. ESTADO DEL ARTE

Los ICA's han ratificado su importancia en Colombia gracias a que ha sido posible determinar la calidad del Río Cauca y sus tributarios en su valle alto, donde se aplicaron los siguientes índices: ICA de la fundación de Sanidad Nacional de los Estados Unidos (ICA-NSF), ICA de la Compañía Ambiental del Estado de Sao Paulo (ICA- CETESB), ICA Rojas e ICA Dinius, con los que fue posible identificar el deterioro creciente del Río Cauca a medida que es afectado por las actividades socioeconómicas desarrolladas en su cuenca, presentando calidad entre regular y mala, haciendo necesario su tratamiento para destinación del recurso en consumo humano.⁹

En Santander, los ríos de Oro y Vetas han sido objetos de estudio por la CDMB, por esta razón los resultados en monitoreos de años anteriores indicaron que para el caso del Río de Oro, el agua presento una buena calidad, arriba de la estructura de la captación de la cual se surte el casco urbano de Piedecuesta, aun cuando eventualmente se reportó un alto número de coliformes, limitando el uso de la fuente. Se estableció que posterior al paso del río sobre la autopista a Bucaramanga, este recibe la totalidad de las aguas residuales de la cabecera urbana de Piedecuesta y aportes tanto de tipo doméstico como agropecuario del sector rural a través de sus afluentes Quebrada Grande y Río Lato; restringiendo el uso para consumo humano y para cualquier actividad que implique contacto con la corriente.¹⁰

Aguas abajo de Piedecuesta, el río presento una leve recuperación hasta la confluencia con el Río Frío, punto a partir del cual su calidad se volvió dudosa para cualquier tipo de uso, debido al vertimiento de aguas residuales de la

⁹ CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL VALLE DEL CAUCA. Estudio de la Calidad del Agua del Río Cauca y sus Principales Tributarios Mediante la Aplicación de Índices de Calidad y Contaminación. Santiago de Cali. 2002. 21-25 p.

¹⁰ CDMB. Plan de ordenamiento del recurso hídrico microcuenca Río de Oro alto. Bucaramanga. 2010. 49-53 p.

cabecera urbana de Girón, actualmente concentradas en el sitio conocido como El Palenque. Entre el punto anterior y el Café Madrid se presentó un deterioro en las corrientes debido a los afluentes de la meseta de Bucaramanga (Quebrada Chimita y Quebrada la Iglesia) participando de forma indirecta en la contaminación, aportando lixiviados, aguas residuales domésticas, residuos sólidos; en consecuencia, este punto se clasificó de calidad inadecuada.¹⁰

Por otro lado, en lo que respecta al Río Vetas, se presentó una calidad óptima en el nacimiento de Quebrada La Baja. Sin embargo en veredas como El Chopo (BORRERO), La chorrera y Mongora, ubicadas a los alrededores del municipio de Vetas, la calidad del agua se clasificó como dudosa, a causa de la descarga de contaminantes de la actividad minera del municipio de Vetas, California y Surata; dando como resultado aguas no aptas para consumo humano, preservación de fauna y flora, pesca deportiva o industrial; debido a la presencia de elementos como el Cianuro y Mercurio.¹¹

Asimismo, se han desarrollado estudios en modalidad investigativa por parte de estudiantes de la Universidad Industrial de Santander (UIS), en los ríos Suarez y Oro. En el caso del Río Suarez fueron determinados los índices de contaminación ICOs, como también el ICA Rojas y el ICA León para un posterior análisis comparativo; como resultado se comprobó que el mejor índice para evaluar la carga contaminante sobre esta cuenca fue el ICA León, debido a que cuantifica el cambio de calidad en las variables para un rango más amplio de medidas. Igualmente este índice determinó que la contaminación en este río, es provocada por sustancias de origen orgánico, atribuido a las aguas residuales y desechos del matadero, que son descargadas en la Quebrada Puente Ríos del municipio de Vélez sin ningún tratamiento.¹²

¹¹ CDMB. Subdirección de ordenamiento y planificación integral del territorio: Plan de ordenamiento del recurso hídrico para la microcuenca del Río Vetas. Bucaramanga. 2010. 45 p.

¹² MANRIQUE, Joan y RIAÑO, Oscar. Evaluación de carga contaminante generada por el casco urbano del municipio de Vélez sobre la cuenca del río Suarez mediante diagnóstico comparativo de ICAs E ICOs. Bucaramanga, 2012. Trabajo de grado (Ingeniero Químico). Universidad Industrial de Santander. Facultad de ingenierías fisicoquímicas. Disponible en el catálogo en línea de la Universidad Industrial de Santander: <<http://tangara.uis.edu.co/>>

En cuanto al Río de Oro, el punto de estudio fue situado en el municipio de Piedecuesta en la zona de influencia del barrio Colina Campestre. El análisis se ejecutó mediante la determinación de los índices de contaminación ICOMI, ICOMO e ICOSUS y los parámetros por usos normativos establecidos de la legislación Colombiana; según los resultados se dieron valores admisibles en cuanto a los parámetros establecidos para uso doméstico de estas aguas con tratamiento convencional, así como los parámetros microbiológicos no excedieron los límites establecidos para uso con fines recreativos en contacto primario. Por otro lado, quien tuvo mayor incidencia en la contaminación fue la presencia de materia orgánica con el índice ICOMO, acercándose a valores medios de contaminación.¹³

En Brasil, la Compañía de Tecnología de Saneamiento Ambiental desarrolló e implementó el ICA de agua cruda para abastecimiento público (IAP), como respuesta al aumento en la complejidad de los contaminantes vertidos a las fuentes de agua; su cálculo se realiza mediante el producto de la ponderación de los resultados del índice de calidad de agua y el índice de sustancias tóxicas (ISTO), el primero adaptado a partir del ICA de NSF y el segundo desarrollado en el año 2002.¹⁴

¹³ ANAYA, J. Análisis de la calidad del agua del río de oro aplicando índices de contaminación (ICO's) en la zona de influencia en el barrio la colina campestre en el municipio de Piedecuesta Santander. Bucaramanga, 2012. Trabajo de grado (Especialización en Química Ambiental). Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ciencias. Disponible en el catálogo en línea de la Universidad Industrial de Santander: <<http://tangara.uis.edu.co/>>

¹⁴ TORRES, P. CRUZ, C. PATIÑO, P. Índices de calidad del agua en fuentes superficiales utilizadas en la producción de agua para consumo humano: Una revisión crítica [En línea]. 8 ed. Octubre. 2009. p.80-94. Medellín: Recuperado en noviembre de 2017. Disponible en: Revista Ingenierías Universidad de Medellín: <<http://revistas.udem.edu.co/index.php/ingenierias/article/view/59>>

3. MARCO TEÓRICO

3.1. LA CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL PARA LA DEFENSA DE LA MESETA DE BUCARAMANGA (CDMB).

La CDMB se encuentra ubicada en la ciudad de Bucaramanga en el departamento de Santander, es la entidad pública, encargada de la administración del medio ambiente y los recursos naturales renovables, conservando la base natural y propendiendo por su desarrollo sostenible bajo las políticas y directrices del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible-MADS.¹⁵

Las funciones más importantes son las de ejercer la evaluación y control de los usos del agua, suelo, aire y demás recursos naturales renovables. Entre sus labores está la de vigilar la emisión o incorporación de sustancias líquidas o residuos líquidos, sólidos y gaseosos, a las aguas en cualquiera de sus formas, al aire o a los suelos, así como los vertimientos o emisiones que puedan causar daños al ecosistema o impedir su empleo para otros usos. De acuerdo a lo anterior se expiden licencias ambientales, permisos, concesiones, autorizaciones y salvoconductos. En términos de vertimientos esta entidad se basa en las normas del Decreto 1076 de 2015.¹⁶

El área de jurisdicción de la CDMB, se encuentra localizada al Nororiente del Departamento de Santander en la provincia de Soto. Tiene extensión total de 486.360 ha, que representan el 15,9% del departamento de Santander. Lo componen los municipios de Bucaramanga, Floridablanca, Girón, Piedecuesta,

¹⁵ CDMB. Plan de acción ambiente para la gente 2012-2015. Bucaramanga. 2016. 13 p.

¹⁶ CDMB. Así es la CDMB: Funciones [en línea], (recuperado en 28 de diciembre 2017). Disponible en: <<http://www.cdmb.gov.co/web/asi-es-la-cdmb/funciones>>.

Vetas, California, Surata, Matanza y Tona localizados al nororiente de la región. Los municipios del Playón y Rionegro al norte y Lebrija al centro-occidente.¹⁷

3.2. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.

El departamento de Santander cuenta con una red hidrológica amplia, debido a esto es importante evaluar los recursos hídricos y determinar el estado en que se encuentran, ya que muchas de estas fuentes sirven para el abastecimiento de la población.

La evaluación química, física y biológica del agua permite tener una valoración de su calidad, en relación con los efectos sobre humanos y usos posibles. En la actualidad, se han determinado indicadores que permiten establecer el estado en que se encuentran los cuerpos de agua, entre estos se destaca el Índice de Calidad del Agua (ICA), el cual es un indicador útil en los programas de vigilancia y control de la calidad, ya que constituye una herramienta importante para la administración de los recursos hídricos y las corporaciones ambientales.¹⁸

Por otra parte, el ICA solo emite un parámetro de calificación indiscriminado, el cual no arroja explicación de las causas del estado del agua. Debido a lo anterior, se hace necesario establecer un estudio de los tramos del Río de Oro y Río Vetas de las estaciones el Rasgón, Conquistador, Palogordo, Bahondo, Carrizal, Puente Nariño, Borrero, Loma Redonda y Puente Panaga, en función de los índices de Calidad del Agua (ICA) e índices de contaminación de agua (ICOs). Los ICOs tienen como base, resultados de análisis multivariados de componentes principales que permiten determinar no solo la calidad del agua, sino que además establecen las razones del estado del recurso como una función de la actividad

¹⁷ CDMB. Plan de acción ambiente para la gente 2012-2015, Bucaramanga. 2016. 31 p.

¹⁸ BALLESTEROS, Lizeth y PEROSA, Liliana. Diseño e implementación de una herramienta sistematizada empleando el índice de calidad del agua (ICA) para determinar el deterioro de las aguas superficiales de los vertimientos del río Suárez zona comunera. Bucaramanga, 2014. Trabajo de grado (Ingeniero Químico). Universidad Industrial de Santander. Facultad de ingenierías fisicoquímicas. Disponible en el catálogo en línea de la Universidad Industrial de Santander: <<http://tangara.uis.edu.co/>>

específica que origina las modificaciones sobre el recurso hídrico para su posterior vertido, tratamiento de depuración, potabilización o cualquier otro uso, dando lugar a una determinación de causas específicas para el deterioro de las aguas.⁹

3.3. JUSTIFICACIÓN.

El gobierno nacional a través del Decreto 1076 de 2015 obliga a desarrollar planes que permitan mitigar el impacto negativo que originan las aguas servidas a los cauces naturales; así cada área metropolitana debe implementar planes para el manejo de vertimientos, los cuales constan de programas, proyectos y actividades necesarias para avanzar en el saneamiento y tratamiento de los vertimientos. Además, se garantiza que las aguas se encuentren dentro de los parámetros establecidos y esta información vincularla con el plan de ordenamiento y manejo para prevenir el deterioro de las aguas.¹⁹

La evaluación del índice de calidad del agua (ICA) e índices de contaminación de agua (ICOs), cuyo uso es cada vez más popular para identificar las tendencias integradas a cambios en la calidad de ésta, especifica condiciones ambientales y ayuda en decisiones gubernamentales para la evaluación de programas de control, así mismo se consideran indicadores representativos que avalan un análisis integral del recurso.²⁰

Como se indicó anteriormente, la CDMB es la corporación encargada de la gestión y conservación del medio ambiente, así como del manejo integral del agua en donde se hace el debido control sobre los vertimientos que desemboquen en las aguas superficiales o subterráneas, con el objetivo de que estas aguas servidas no se vuelvan epicentros de contaminación que pongan en riesgo los ciclos

¹⁹ TORRES. Op. cit., p. 79-94.

²⁰ COLOMBIA. MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Decreto 3930. (25, Octubre, 2010). Por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 9ª de 1979, así como el Capítulo II del Título VI -Parte III- Libro II del Decreto-ley 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos y se dictan otras disposiciones. Diario oficial. Bogotá D.C. no. 47837.

biológicos, el normal desarrollo de las especies y la capacidad auto reguladora de los cuerpos de agua.²⁰

3.4 ÍNDICE DE CALIDAD DEL AGUA.

La CDMB determina el Índice de Calidad del Agua aplicando formulaciones de tipo norteamericano adaptadas al trópico (ICA-CETESB).²¹

Para estimar el ICA, se asignan valores de ponderación a cada una de las variables tomadas en cuenta y se define como:

$$ICA = \prod_{i=1}^n C_i^{w_i}$$

Dónde:






ICA: Índice de Calidad del Agua, un numero entre 0 y 100.

C_i: Calidad del iésimo parámetro, un numero entre 0 y 100 obtenido del respectivo gráfico de calidad en función de su concentración, ver anexo A.

W_i: Valor ponderado correspondiente al iésimo parámetro, atribuido en función de la importancia de ese parámetro para la conformación global de la calidad, un número entre 0 y 1. La sumatoria de w_i es igual a 1, siendo i el número de parámetros que entran en el cálculo., en el anexo A se presentan los factores de ponderación de cada variable. A continuación se muestra la interpretación entre el valor calculado del ICA y la calidad del agua:

²¹ BRASIL. SECRETARIA DO MEDIO AMBIENTE et al. Rede de Monitoriamento quai-quantitativo das Bacias Hidrográficas do Município do Caxias do Sul. [En línea] 2009. Recuperado en diciembre de 2017. Disponible en <http://vbaco01.ucs.br/caxiasFase3/base_de_dados/paginas/qualidade_agua/iqa.html>

Tabla 1. Interpretación de Índice de Calidad del Agua según ICA-CETESB

Intervalo	Calidad	Escala de Color
80-100	Óptima	
52-79	Buena	
37-51	Dudosa	
20-36	Inadecuada	
0-19	Pésima	

Fuente: Tomado y adaptado de: SECRETARIA DO MEDIO AMBIENTE et al. 2009

3.5 ÍNDICES DE CONTAMINACIÓN DE AGUA ICOS.

El procedimiento metodológico para la formulación de estos índices son los siguientes:

- Asignación de valores de contaminación entre cero y uno en la escala de las variables.
- Selección de la ecuación que permita relacionar el valor de la variable y su incidencia en la contaminación.

De acuerdo a lo anterior las correlaciones halladas entre múltiples variables fisicoquímicas dieron origen a cuatro índices de contaminación, conocidos como²²:

3.5.1 Índice de contaminación por mineralización- ICOMI. Se expresa en variables que son la conductividad como el reflejo de sólidos disueltos, dureza en cuanto recoge los cationes calcio y magnesio y alcalinidad porque hace lo propio con los aniones carbonatos y bicarbonatos.

²² RAMIREZ., A RESTREPO, R., VIÑA, G. 1997. Cuatro índices de contaminación para caracterización de aguas continentales pp. 131-151.. En: CT&F - Ciencia, Tecnología y Futuro [Base de datos en línea]. Vol. 1 N° 3. Bucaramanga, 1997. Disponible en SciELO (Scientific electronic library online)

La conductividad es el reflejo de mineralización de las aguas, debido al movimiento de partículas cargadas eléctricamente; que en su mayoría son iones provenientes de ácidos y sales en las fuentes hídricas. Asimismo, la alcalinidad es un indicador de productividad en las aguas, debido a que mide la capacidad del agua para aceptar iones de hidrogeno, la cual es determinada por las concentraciones de bicarbonato, carbonato e hidroxilo. Por último, la dureza indica el nivel de minerales formados por compuestos como calcio y magnesio; las aguas duras poseen problemas de limpieza, debido a que no se produce suficiente espuma en los jabones.

Para determinar el ICOMI se ejecuta el promedio de cada una de las tres variables elegidas, las cuales se definen en un rango de 0 a 1; índices próximos a cero reflejan muy baja contaminación por mineralización (aguas biológicamente poco productivas) e índices cercanos a 1 reflejan lo contrario. El ICOMI se halla de acuerdo a las siguientes expresiones:

$$ICOMI = \frac{1}{3} * (I_{Conductividad} + I_{Dureza} + I_{Alcalinidad})$$

$I_{Conductividad}$, se obtiene de la siguiente expresión:

$$I_{Conductividad} = \text{Log}_{10} * I_{Conductividad} = -3,26 + 1,34 * \text{Log}_{10} [Conductividad \left(\frac{\mu S}{cm} \right)]$$

$$I_{Conductividad} = 10^{\text{Log}[I_{Conductividad}]}$$

Conductividades mayores a 270 ($\mu S/cm$), tienen un índice de conductividad igual a 1.

I_{Dureza} , se obtiene de la siguiente expresión:

$$I_{Dureza} = \text{Log}_{10} * I_{Dureza} = -9,09 + 4,40 * \text{Log}_{10} [Dureza \left(\frac{mg}{l} \right)]$$

$$I_{Dureza} = 10^{\text{Log}[I_{Dureza}]}$$

Durezas mayores a 110 mg/l tienen un $I_{Dureza} = 1$; Durezas menores a 30 mg/l tienen un $I_{Dureza} = 0$.

$I_{Alcalinidad}$, se obtiene de la siguiente expresión:

$$I_{Alcalinidad} = -0,25 + 0,005 * [Alcalinidad \left(\frac{mg}{l}\right)]$$

Alcalinidad mayores a 250 mg/l tiene un $I_{Alcalinidad} = 1$; Alcalinidad menores a 50 mg/l tiene un $I_{Alcalinidad} = 0$.

3.5.2 Índice de contaminación por materia orgánica- ICOMO. Se expresa por medio de tres variables fisicoquímicas que son demanda biológica de Oxígeno (DBO_5), coliformes totales y porcentaje de saturación de oxígeno.

La demanda biológica de oxígeno (DBO_5), es un parámetro que mide la cantidad de materia consumida por medios biológicos contenidos en una muestra líquida; mientras que el porcentaje de saturación de oxígeno, mide la cantidad de oxígeno en el agua comparada con la máxima cantidad de la misma a igual temperatura y presión. En cuanto a las coliformes totales, comprende todo el grupo de bacterias que se determinan por pruebas en estado de aislamiento; un subgrupo de estas son las coliformes fecales, las cuales son de origen intestinal.

El ICOMO se determina mediante el valor promedio de las tres variables anteriormente descritas, dando lugar a las siguientes expresiones matemáticas:

$$ICOMO = \frac{1}{3} * (I_{DBO} + I_{Coliformes\ Totales} + I_{Oxígeno\ \%})$$

I_{DBO} , se obtiene de la siguiente expresión:

$$I_{DBO} = -0,05 + 0,70 * \text{Log}_{10} DBO \left(\frac{mg}{l}\right)$$

DBO mayores a 30 mg/l tiene un $I_{DBO} = 1$; DBO menores a 2 mg/l tiene un $I_{DBO} = 0$.

$I_{Coliformes\ Totales}$, se obtiene de la siguiente expresión:

$$I_{Coliformes\ Totales} = -1,44 + 0,56 * \text{Log}_{10} Coliformes\ Totales \left(\frac{NMP}{100ml}\right)$$

Coliformes Totales mayores a 20.000 (NMP/100ml) tiene un $I_{Coliformes\ Totales} = 1$;
Coliformes Totales menores a 500 (NMP/100ml) tiene un $I_{Coliformes\ Totales} = 0$.

$I_{\%Oxigeno}$, se obtiene de la siguiente expresión:

$$I_{\%Oxigeno} = 1 + 0,01\%Oxígeno$$

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

3.5.3 Índice de contaminación por sólidos suspendidos- ICOSUS. Se determina mediante la concentración de sólidos suspendidos; estos solo están relacionados con compuestos inorgánicos y son los responsables de impurezas visibles. Las causas principales de la aparición de este parámetro son los procesos erosivos y extractivos; en efecto, las altas concentraciones de sólidos suspendidos perjudica los ecosistemas acuáticos, debido a que estos producen una reducción de la penetración de la luz, lo cual impide el proceso de la fotosíntesis.

Este índice se calcula mediante la siguiente expresión:

$$ICOSUS = -0,02 + 0,003 * Sólidos\ Suspendidos \left(\frac{mg}{l}\right)$$

Sólidos suspendidos mayores a 340 mg/l tienen **ICOSUS = 1**

Sólidos suspendidos menores a 10 mg/l tienen **ICOSUS = 0**

3.5.4 Índice de contaminación Tráfico- ICOTRO. Se determina por la concentración de fósforo total, el cual define el tipo de organismos vegetales que habrán de prevalecer, así como la eutrofización de los sistemas acuáticos. Se define por sí misma en categorías, como se describe a continuación:

- Oligotrófico < 0.01 (mg/l)
- Eutrófico 0.02 - 1 (mg/l)
- Mesotrófico 0.01 - 0.02 (mg/l)

- Hipereutrífico > 1 (mg/l)

La eutrofización, se determina mediante las variables que la causan como la concentración de nutrientes (fosforo u ortofosfatos), o a través de los efectos que estos producen como es el crecimiento de fitoplanctonitas o macrofitas y la concentración de oxígeno.

La interpretación de los índices ICOMI, ICOMO e ICOSUS, se ilustra en la Tabla 2.

Tabla 2. Interpretación de índices de contaminación del agua (ICOs)

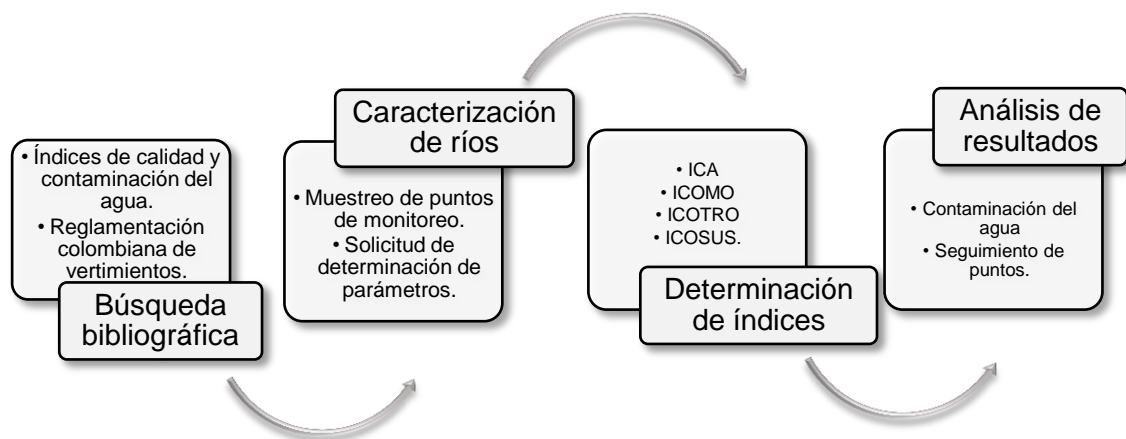
ICO	Grado de Contaminación	Escala de Color
0-0.2	NINGUNA	
>0.2-0.4	BAJA	
>0.4-0.6	MEDIA	
>0.6-0.8	ALTA	
>0.8-1	MUY ALTA	

Fuente: Ramírez et al. (1999)

4. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

El procedimiento experimental del presente trabajo se desarrolló con base en el esquema metodológico mostrado en la Figura 1, se estructuran un total de cuatro etapas consecutivas que permiten alcanzar los objetivos planteados en el proyecto.

Figura 1. Metodología experimental propuesta.



4.1. BÚSQUEDA BIBLIOGRÁFICA.

La determinación adecuada de los índices de calidad y contaminación de aguas superficiales (ICA e ICOs) sobre los puntos de monitoreo tratados, es logrado mediante el correcto entendimiento de las expresiones matemáticas que conducen a su determinación, a su vez, la correcta interpretación de los resultados presentados con la aplicación de los procedimientos son producto del conocimiento de clasificaciones y rangos estimados, siendo así necesaria la

búsqueda de información bibliográfica que permita un análisis completo de los resultados obtenidos.

4.2. ELECCIÓN DE PUNTOS DE MONITOREO.

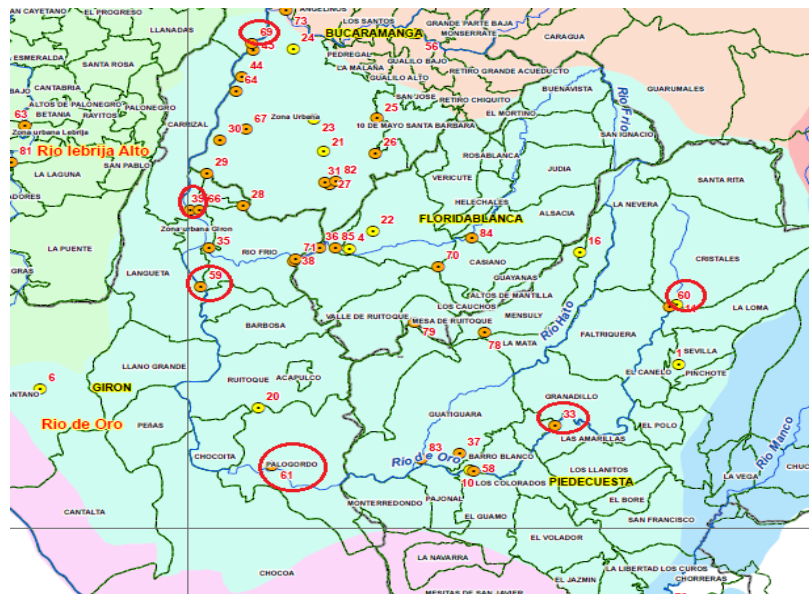
De acuerdo con la necesidad de aumentar el grado de conocimiento de los factores causantes del cambio en el estado de las aguas superficiales y dado el interés en la calidad del agua de los ríos bajo la jurisdicción de la CDMB, se eligieron seis puntos de monitoreo sobre el Río de Oro y tres puntos sobre el Río Vetas; cada uno de estos puntos conserva un código y un número fijados por la CDMB, como se aprecian en la Tabla 3-(a) y 3-(b). Los puntos de monitoreo fueron diseñados años atrás por la corporación, para determinar la calidad de las aguas., son sitios específicos donde se evalúa cada una de las corrientes hídricas a lo largo de una cuenca principal. La ubicación de los puntos depende de variables como: acceso, topografía, condiciones climáticas, necesidad de mitigar algún problema, entre otras. El seguimiento de estos puntos se realiza con una frecuencia trimensual y el tipo de monitoreo es puntual. La determinación de parámetros específicos permitió realizar un análisis completo del comportamiento en la composición de las aguas, de los ríos en mención, a lo largo de su recorrido.

Tabla 3. Puntos de monitoreo sobre aguas superficiales, (a) río de Oro, (b) río Vetas.

	PUNTO DE MONITOREO				PUNTO DE MONITOREO		
	N°	Código	Nombre		N°	Código	Nombre
Río de Oro (a)	60	RO-06	RASGÓN	Río Vetas (b)	87	RV-05	BORRERO
	33	RO-05	CONQUISTADOR		88	RV-02	LOMA REDONDA
	61	RO-04	PALOGORDO		86	RV-01	PUENTE PANAGA
	59	RO-04A	BAHONDO				
	39	RO-02	CARRIZAL				
	69	RO-01	PUENTE NARIÑO				

La ubicación de cada uno de los puntos de monitoreo para los ríos de Oro y Vetas, se ilustran en las Figuras 2 y 3:

Figura 2. Ubicación de las estaciones de muestreo para el Río de Oro.



Fuente: Tomado de Ubicación estaciones meteorológicas en la jurisdicción de la CDMB. 2017

Figura 3. Ubicación de las estaciones de muestreo para el Río Vetas.



Fuente: Tomado de Ubicación estaciones meteorológicas en la jurisdicción de la CDMB. 2017

4.3. CARACTERIZACIÓN DE LAS AGUAS.

Mediante el acompañamiento de un grupo operativo especializado en muestreo de los puntos de monitoreo bajo la jurisdicción de la CDMB; en el mes de Noviembre de 2016 se realizaron las jornadas de recolección de muestras representativas de agua en cada uno de los puntos de monitoreo de aguas superficiales para los ríos en mención. Después de la toma de muestras²³, estas se transportan al laboratorio

²³ Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga (CDMB). Procedimiento para toma y preservación de muestras de aguas. Bucaramanga, 2012.

de análisis químico, el cual es el encargado de determinar los parámetros necesarios para estudiar la calidad y contaminación de los puntos de interés.

Para una mejor comprensión del desarrollo de los índices de determinación de la calidad del agua estudiada en la tabla 4, en el anexo B se listan y se explican los métodos empleados para la determinación analítica de cada parámetro solicitado al laboratorio de servicios.

Tabla 4. Métodos de laboratorio para determinación de parámetros.

PARÁMETROS	MÉTODO
OXÍGENO DISUELTO	STANDARD METHODS 5220 <i>o in situ</i>
DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO (DBO)	STANDARD METHODS 5210 B DBO
FOSFORO TOTAL	STANDARD METHODS 4500 P B.E
NITROGENO TOTAL KJELDALH	STANDARD METHODS 4500 NH3 D
TURBIDEZ	STANDARD METHODS 2130 B
SOLIDOS TOTALES	STANDARD METHODS 2540 B
CONDUCTIVIDAD	STANDARD METHODS 2510 B
SOLIDOS SUSPENDIDOS	STANDARD METHODS 2540 D
COLIFORMES TOTALES	STANDARD METHODS 9221 E Fermentación de los tubos múltiples
COLIFORMES FECALES	STANDARD METHODS 9221 E
DUREZA	STANDARD METHODS 2340 B
ALCALINIDAD TOTAL	STANDARD METHODS 2320 B
TEMPERATURA DEL AGUA Y AMBIENTE	TERMÓMETRO (Sonda Multiparamétrica)
pH	STANDARD METHODS 4500 H+ B

Fuente: Tomado y adaptado de CDMB: Informe Anual Recursos Naturales. 2016

4.4. DETERMINACIÓN DE ÍNDICES DE CALIDAD DEL AGUA (ICA).

La determinación de estos parámetros se realiza haciendo uso del Sistema de Información Corporativa- SIC herramienta computarizada implementada en la CDMB (anexo C y D); una vez determinados estos parámetros para cada punto de monitoreo del Río de Oro y Río Vetás, se interpretan los resultados de los índices de calidad del agua de acuerdo a la información presentada en la Tabla 1.

4.5. DETERMINACIÓN DE LOS ÍNDICES DE CONTAMINACIÓN DEL AGUA (ICOS).

Con la ayuda del sistema corporativo SIC de la CDMB se determinaron los índices de contaminación de aguas ICOMI, ICOMO, ICOSUS e ICOTRO, para su posterior análisis e interpretación acorde a los índices presentados en la Tabla 2 para los tres primeros y para el último con su propia clasificación.

4.6. ANÁLISIS DE ÍNDICES DE CALIDAD.

En esta parte, una vez determinados los índices de calidad y contaminación del agua para los tramos del Río de Oro y Río Vetás, se realiza la interpretación de cada uno de los índices determinados. Este análisis se hace con el fin de establecer conclusiones relacionadas con la calidad del recurso hídrico y las causas del deterioro sufrido.

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. ESTUDIO DE LOS PUNTOS DE MONITOREO ESTABLECIDOS PARA EL RÍO DE ORO.

Los resultados expuestos de los índices de calidad y contaminación en los análisis para los seis puntos de monitoreo son presentados en la Tabla 5.

Tabla 5. Índices de calidad y contaminación para los tramos del Río de Oro.

Punto de monitoreo		ICA	CALIDAD	ICOTRO	GC	ICOMI	GC	ICOMO	GC	ICOSUS	GC
RO-06	El Rasgón	69,718	Buena	0,12	Eutrófico	0,173	Ninguna	0,387	Baja	0,040	Ninguna
RO-05	El Conquistador	60,561	Buena	0,070	Eutrófico	0,099	Ninguna	0,387	Baja	0,178	Ninguna
RO-04	Palogordo	37,034	Dudosa	0,481	Eutrófico	0,221	Baja	0,594	Media	0,556	Media
RO-04A	Bahondo	41,493	Dudosa	0,567	Eutrófico	0,255	Baja	0,547	Media	0,604	Alta
RO-02	Carrizal	35,604	Inadecuada	0,890	Eutrófico	0,427	Media	0,685	Alta	0,424	Media
RO-01	Puente Nariño	35,544	Inadecuada	0,922	Eutrófico	0,434	Media	0,631	Alta	0,772	Alta

5.1.1. Estudio de punto de monitoreo: El rasgón. Este punto se encuentra ubicado en la vereda Cristales del municipio de Piedecuesta, en la microcuenca de Oro Alto, como se ilustra en la Figura 2 y es referenciado como RO-06 en la Tabla 3-(a). La calidad del agua superficial del Río de Oro en el punto de monitoreo en mención, es clasificada como *buena*, con un valor de 69,718, en relación a la combinación de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos determinados para las muestras de agua recolectadas de esta estación. Sin embargo, el grado de contaminación determinado a partir de los índices ICOTRO, ICOMI, ICOMO e ICOSUS, evidencian que se trata de aguas con presencia moderada de agentes contaminantes. Un valor ICOMI de 0,173, refleja poca presencia de sólidos disueltos en el agua circundante, lo que genera baja conductividad, además de baja dureza y alcalinidad, en cuanto a la concentración de iones calcio y magnesio, así como de carbonatos y bicarbonatos respectivamente. Por el

contrario, un valor de 0,387 para el ICOMO, hace constar cierto deterioro en la calidad del agua, estableciendo un grado de contaminación bajo (casi medio); la presencia de coliformes y oxígeno disuelto, puede deberse a fuentes de desechos orgánicos, producto de vertimientos residuales domésticos de comunidades cercanas al punto de estudio y que no son manejados adecuadamente. Por otra parte, un valor de 0,12 para el ICOTRO en estado eutrófico, alude la presencia de compuestos con cierto contenido de fósforo, producto del mal uso de agroquímicos para cultivo de frutas por poblaciones aledañas; referente al ICOSUS se establece que no presenta grado de contaminación del agua por la presencia de sólidos suspendidos. Cabe destacar que el punto de estudio está situado en un sector con focos de contaminación, atribuidos al uso inadecuado de agroquímicos como producto del cultivo de mora, siendo esta la principal fuente económica de la vereda;²³ si bien el ICA presenta una calidad buena para el recurso hídrico en este sector del Río de Oro, un valor de ICOMO cercano a 0,4, expone cierto grado de contaminación del agua por actividades de la población humana de la vereda Cristales. El desarrollo de actividades piscícolas previamente al estudio del agua en este punto, la presencia de estanques de criaderos de truchas y el lavado de las mismas empiezan a tener efecto sobre la calidad hídrica.

5.1.2. Estudio de punto de monitoreo: El conquistador. Este punto es referenciado como RO-05 en la Tabla 3-(a) y se encuentra ubicado en el municipio de Piedecuesta en la microcuenca de Oro Alto, como se ilustra en la Figura 2. En función del índice ICA, esta agua es clasificada como *buena*, con un valor de 60,561, en cuanto a la combinación de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos determinados para las muestras de agua recolectadas de esta estación. Por otra parte, un valor de ICOMI inferior a 0,1, no evidencia grado de contaminación para el recurso hídrico, debido a la baja presencia de sólidos disueltos, iones calcio y magnesio, así como de carbonatos y bicarbonatos (aguas con pocos minerales); del mismo modo se presentan valores bajos de

conductividad eléctrica, dureza y alcalinidad. Sin embargo un valor de 0,387 para el ICOMO, manifiesta un nivel de contaminación bajo (casi medio), respecto a la presencia de coliformes y oxígeno disuelto, lo anterior se debe a vertimientos residuales domésticos no tratados propios de las actividades diarias de la comunidad de las veredas aledañas. Adicionalmente, se obtuvo un valor de 0,178 para el ICOSUS, el cual no representa grado de contaminación por la presencia de partículas suspendidas, causantes de turbidez, producto de material inorgánico, el cual es un factor incidente en el deterioro del buen estado del recurso hídrico. Por último, se tiene un valor de ICOTRO de 0,07 en estado eutrófico, como reflejo de la poca presencia de minerales y fósforo en el agua, ocasionando el bajo crecimiento de plantas acuáticas. Aunque el ICA presenta una calidad *buen*a del agua, componentes de tipo orgánicos presentes en esta fuente natural, pueden ocasionar un deterioro en la calidad de la misma.

5.1.3. Estudio de punto de monitoreo: Palogordo. Este punto es referenciado como RO-04 en la Tabla 3-(a) y se encuentra ubicado en el municipio de Girón, en la microcuenca de Oro Medio, como se ilustra en la Figura 2. En función del índice ICA, esta agua es clasificada como *dudosa*, con un valor de 37,034. Los principales focos de contaminación de este tramo son las actividades de tipo avícola, pecuarias y las descargas de veredas aledañas.²⁴

Asimismo, se obtuvo un ICOMI de 0,221, presentando un nivel bajo de contaminación, en cuanto a la presencia de elementos que ocasionan la conductividad del agua, dureza y alcalinidad como lo son sólidos suspendidos, calcio, magnesio y carbonatos; son aguas biológicamente poco productivas. Sin embargo, un valor cercano a 0,6 para el ICOMO, denota la alta presencia de coliformes totales en las muestras analizadas en este punto, lo que evidencia la contaminación del agua producto del depósito de corrientes con alto contenido de materia orgánica.

²⁴ *Ibíd.*, 60 p.

Se obtuvieron valores de 0,556 para el ICOSUS y 0,481 para el ICOTRO en estado eutrófico, los cuales representan cantidades considerables de compuestos inorgánicos y fósforo producidos en las actividades del desarrollo del municipio de Piedecuesta. El deterioro de la calidad del agua producto de afluentes como caños, desembocadura directa de quebradas, así como del uso brindado por las actividades comerciales del municipio sobre este tramo del Río de Oro, es exhibida por los índices de calidad y contaminación considerados., los sólidos suspendidos ocasionan alta turbidez del agua, así como el material orgánico particulado originado por la presencia de la comunidad vecina al curso del recurso hídrico.

5.1.4. Estudio de punto de monitoreo: Bahondo. Este punto es referenciado como RO-04A en la Tabla 3-(a) y se encuentra ubicado en el municipio de Girón, en la microcuenca de Oro Medio, como se ilustra en la figura 2. Se obtuvo un valor del ICA de 41,493. En consecuencia este tramo de agua se clasifica como *dudosa*, producto del uso del recurso hídrico y los vertimientos que le son realizados al trayecto estudiado, debido a la cercanía al casco urbano de la población de Girón. En primer lugar, un valor de ICOSUS de 0,604, muestra un alto grado de contaminación, debido al contenido inorgánico con la presencia de importantes cantidades de sólidos suspendidos. Asimismo, se obtiene un valor de ICOMO de 0,547, lo cual es sinónimo de la presencia de grandes cantidades de coliformes totales y oxígeno disuelto en el agua estudiada. Por otra parte, un valor de ICOTRO de 0,567 en estado eutrófico e ICOMI de 0,255, reiteran la presencia de agentes contaminantes del recurso hídrico causantes de su mal estado, producto del crecimiento desmedido de plantas acuáticas, las cuales pueden generar malos olores y mal aspecto. Finalmente, un cambio drástico en el buen estado del agua es encontrado en los puntos Palogordo y Bahondo una vez el Río de Oro entra en contacto con la población de Girón.

5.1.5. Estudio de punto de monitoreo: Carrizal y Puente Nariño. Estos puntos son referenciados como RO-02 para Carrizal y RO-01 para Puente Nariño en la Tabla 3-(a), se encuentran ubicados en el municipio de Bucaramanga en la microcuenca de Oro Bajo, como se ilustra en la Figura 2. Al igual que los tramos estudiados anteriormente, la predominancia de actividades avícolas y piscícolas, así como la influencia recibida del casco urbano de Girón, Floridablanca y Bucaramanga son promotores de la baja calidad del agua del Río de Oro. Esto puede evidenciarse al circundar las zonas donde se ubican los puntos de monitoreo anteriores. En estos tramos, son recibidos varios afluentes como pequeños caños, nacimientos y desembocadura de quebradas (como Quebradas La Iglesia y El Carrasco). Los índices de los puntos de Carrizal y Puente Nariño son de 35,604 y 35,544 respectivamente. Estos valores nos permiten afirmar que la calidad del agua es *inadecuada*. Para el tramo RO-02 los valores reportados de ICOSUS e ICOMI son 0,424 y 0,427 respectivamente, presentando un nivel medio de contaminación; por lo que se deduce una cierta cantidad de sólidos suspendidos y minerales, producto de materia inorgánica y orgánica. Se determinó un valor de ICOTRO para el RO-02 de 0,890 y para el RO-01 de 0,922 en estado eutrófico respectivamente; estos valores son producto de la alta contaminación sufrida por el agua, debida a la presencia de compuestos con fósforo como consecuencia del uso de detergentes, productos domésticos con contenido apreciable de este elemento, materia orgánica generada por animales de cría como cerdos, gallinas, ganado y vertimientos domésticos no tratados; los ICOMO con valores de 0,685 para el punto RO-02 y 0,631 para el punto RO-01, reiteran lo expuesto anteriormente en cuanto a presencia de coliformes totales en las muestras de agua recolectadas para los estudios presentados.

5.1.6. Estudio del río de Oro. Los seis puntos de monitoreo estudiados para el Río de Oro en todo su trayecto se han escogido de forma intencional., en cuanto a los índices de contaminación, ICOMO, ICOSUS e ICOMI reflejan que a medida que el Río de Oro sigue su curso los aportes de materia orgánica, minerales y

solidos suspendidos van en aumento, manifestando un deterioro progresivo de aguas arriba a aguas abajo de esta subcuenca. Por otro lado de acuerdo al índice de contaminación trófico ICOTRO, los seis tramos se clasifican como eutróficos, presentando un aumento de la estación El Rasgon (R0-06) hasta Puente Nariño (RO-01); lo anterior confirma que las estaciones Carrizal y Puente Nariño tienen alto contenido de nutrientes y en consecuencia se da un crecimiento considerable de plantas acuáticas, ocasionando bajos niveles de oxígeno.²⁵

5.2. ESTUDIO DE LOS PUNTOS DE MONITOREO ESTABLECIDOS PARA EL RÍO VETAS.

Los resultados expuestos de los índices de calidad y contaminación en los análisis para los tres puntos de monitoreo son presentados en la Tabla 6.

Tabla 6. Índices de calidad y contaminación para los tramos del Río Vetas.

Punto de monitoreo	ICA	CALIDAD	ICOTRO	GC	ICOMI	GC	ICOMO	GC	ICOSUS	GC	
RV-05	Borrero	41,00	Dudosa	0,215	Eutrófico	0,067	Ninguna	0,396	Baja	0,664	Alta
RV-02	Loma Redonda	59,74	Buena	0,158	Eutrófico	0,061	Ninguna	0,337	Baja	0,205	Baja
RV-01	Pánaga	62,94	Buena	0,4	Eutrófico	0,292	Baja	0,347	Baja	0,142	Ninguna

5.2.1 Estudio de punto de monitoreo: Borrero. Este punto es referenciado como RV-05 en la Tabla 3-(b) y se encuentra ubicado en el municipio de Vetas, como se ilustra en la Figura 3. De acuerdo con los datos obtenidos, el valor del ICA fue de 41, clasificando la calidad del agua en este punto como *dudosa*; este resultado es atribuido a la explotación minera a grandes escalas, actividad que genera contaminación en las aguas.²⁶ En primer lugar, un ICOSUS con un valor de 0,664, indica una alta contaminación por la presencia de solidos suspendidos; lo anterior se debe al uso de elementos como el Mercurio y el Cianuro, para el desarrollo de

²⁵ RADA, F. Indicadores fisicoquímicos y biológicos del proceso de eutrofización del Lago Titikaka (Bolivia). En: Ecol. Apl.: Vol. 4. Nº 1,2. Lima. 2005. Disponible en SciELO (scientific electronic library online)

²⁶ CDMB. Subdirección de ordenamiento y planificación integral del territorio: Plan de ordenamiento del recurso hídrico para la microcuenca del Río Vetas. Bucaramanga. 2010. 48 p.

la actividad minera del municipio. En cuanto al ICOTRO, se reporta un valor de 0,215 en estado eutrófico, lo cual indica que en este tramo se tienen concentraciones moderadas de fosforo total, producto de las actividades humanas y agropecuarias del municipio.²⁶ Por último, un ICOMO de 0,396, demuestra un nivel bajo (casi medio) de contaminación, gracias a la presencia de materia orgánica en la corriente, debido a la alta concentración de coliformes totales (ver Tabla 9) como consecuencia de la recepción de aguas residuales domésticas de las veredas aledañas. Por último, un ICOMI de 0,067, denota que no existe grado de contaminación por la presencia de solidos disueltos, carbonatos, bicarbonatos, iones calcio y magnesio.

5.2.2. Estudio de punto de monitoreo: Loma Redonda. Este tramo es referenciado como RV-02 en la Tabla 3-(b) y se encuentra ubicado en el municipio de California aguas arriba de la desembocadura de la Quebrada La Baja, como se ilustra en la Figura 3. En primer lugar, un valor del ICA de 59,74 clasifica la calidad de este punto como *buena*. En cuanto al ICOMI, se reportan valores de 0,061, lo que indica que no existe contaminación por la presencia de minerales presentes en el agua de esta corriente; esto se debe a que aguas arriba se maneja explotación agropecuaria con restricciones.³ En cuanto al ICOMO y el ICOSUS se reportan valores de 0,337 y 0,205, lo anterior ratifica que existe cierto grado de contaminación por materia orgánica y de solidos suspendidos, que puede deberse a la descarga de contaminantes producto de la minería ilegal, como de asentamientos humanos a lo largo de la Quebrada La Baja y el municipio de California. Así mismo se reporta un valor de 0,158 para el ICOTRO, en estado eutrófico, debido a la presencia de fosforo a causa de la explotación agropecuaria del municipio.

5.2.3. Estudio de punto de monitoreo: Puente Panaga. Este punto es referenciado como RV-01 en la Tabla 3-(b) y está ubicado en el municipio de Surata, como se ilustra en la Figura 3. De acuerdo con los datos obtenidos, el

valor del ICA fue de 62,94, clasificando la calidad del agua en este punto como *buena*. El resultado anterior se debe a que esta zona posee bosques naturales plantados, páramos y áreas de explotaciones agropecuarias con restricciones ambientales. Sin embargo, un valor de 0,34 para el ICOMO, indica que existe un nivel bajo de contaminación, atribuido a cantidades moderadas de materia orgánica y oxígeno disuelto, a causa de los vertimientos domésticos sin ningún tratamiento previo de las poblaciones rurales aledañas como Bucare y Bachiga, como también a la actividad pecuaria de la región.²⁷ Así mismo, un valor de ICOMI e ICOSUS de 0,29 y de 0,14 respectivamente, demuestra que la presencia de sólidos suspendidos no representa contaminación; mientras que, la presencia de minerales en el agua produce un nivel bajo de contaminación. Finalmente se obtuvo un valor de 0,4 en estado eutrófico para el ICOTRO, el cual expone la presencia de compuestos con gran contenido de fósforo como producto de actividades pecuarias, cultivos de tomate de árbol, cebolla, papa, habichuelas, zanahoria y apio.²⁸

5.2.4. Estudio del río de Vetas. De acuerdo con el índice de contaminación trófico ICOTRO, los tres tamos del Río Vetas, son catalogados como eutróficos, la estación Panaga RV-01 es la que presenta el mayor nivel de fósforo en las aguas, en consecuencia es el que contiene mayor concentración de minerales en la fuente, como lo indica el ICOMI; por otra parte la estación Borrero RV-05 posee un mayor grado de contaminación respecto a los otros puntos, por la presencia de materia orgánica (ICOMO) y de sólidos suspendidos (ICOSUS).

5.3. ESTUDIO CUMPLIMIENTO NORMATIVIDAD DECRETO 1076 DE 2015 PARA EL RÍO DE ORO

Los resultados obtenidos por análisis químico para los puntos de monitoreo estudiados para el Río de Oro, son presentados en la Tabla 8, a su vez, los rangos

²⁷ CDMB. Plan de ordenamiento y manejo ambiental subcuenca río surata. Bucaramanga. 47-52 p.

²⁸ *Ibíd.*, 46 p.

máximos permitidos según el Decreto 1076 de 2015 para el estudio de usos normativos y comparación del agua se exponen en la Tabla 7.

Tabla 7. Criterios de calidad establecidos en el Decreto 1076 de 2015.

Parámetro	Consumo humano tratamiento convencional	Consumo humano desinfección	Uso agrícola	Uso pecuario	Contacto primario	Contacto secundario	Preservación fauna y flora
Nitratos [mg/L]	10	10		100			
Nitritos [mg/L]	1	1		10			
pH [UNpH]	5-9	6,5-8,5	4,5-9		5-9	5-9	5-9
Coli Totales [NMP/100]	20.000	1.000	5.000		1.000	5.000	
Coli Fecales [NMP/100]	2.000		1000		200		
OD [mg/L]					0,7	0,7	4
Turbiedad [ujt]		10 ujt					

5.3.1. Punto El Rasgón (RO-06). El estudio de la calidad del agua del Río de Oro en la estación de monitoreo RO-06 se realiza bajo la normatividad colombiana. Según esto, se puede establecer que la calidad de esta agua es inapropiada para consumo humano. Lo anterior, es atribuido a la afectación de la calidad del recurso hídrico por presencia de componentes contaminantes, que superan los límites máximos permitidos. La cantidad de nitratos y nitritos es de 0,2 y 0,005 mg/L (ver Tabla 8) respectivamente., estos se determinaron por el análisis químico realizado a las muestras de agua, el cual es inferior al límite máximo establecido por el Decreto 1076 de 2015., además, el contenido de coliformes totales, de 26.500 NMP/100 (ver Tabla 8), supera el valor máximo de la norma para el uso del consumo humano con tratamiento convencional y desinfección.

El uso del recurso natural con fines pecuarios, no tienen mayor afectación por la presencia de contaminantes en el agua., la cantidad de nitritos y nitratos para este uso, se encuentra por debajo de los valores máximos establecidos., sin embargo, las coliformes totales superan el criterio máximo de la norma para el uso agrícola.

En general se observa un contenido en coliformes totales superior al permitido (ver Tabla 8), sobresaliendo de los límites establecidos para como consumo humano, uso agrícola, contacto primario y secundario.

5.3.2. Punto El Conquistador (RO-05). Similar a lo encontrado en el punto de monitoreo El Rasgón, el agua en este punto presenta contenidos de nitratos y nitritos por debajo del valor límite establecido, encontrándose valores de 0,17 y 0,03 respectivamente, como se aprecia en la Tabla 8. En consecuencia, este parámetro es admisible bajo los criterios de la normatividad estudiada para consumo humano con tratamiento convencional, al igual que el consumo humano con desinfección del agua. Sin embargo, las cantidades altas de coliformes totales y fecales sobrepasan el valor permitido como máximo para aguas de consumo humano con desinfección y tratamiento, para contacto primario y secundario, excediendo lo establecido según la reglamentación colombiana. Igualmente, las aguas para uso agrícola se ven ciertamente alteradas por la carga de coliformes, los valores que fueron determinados para el recurso hídrico de este punto de monitoreo están sobre el límite. La cantidad de nitratos y nitritos enuncian que estos compuestos son aceptables para el uso pecuario.

5.3.3. Punto Palogordo (RO-04). Los valores encontrados para nitratos y nitritos en este tramo del Río de Oro son de 2,1 y 0,771 mg/L respectivamente. Estos se encuentran dentro del rango permisible por la legislación colombiana. Por otro lado, las coliformes tanto fecales como totales, siguen superando el valor límite establecido como máximo para este parámetro en el recurso hídrico; se obtuvieron valores de 259.000 y 1.150.000 NMP/100 respectivamente, lo cual genera una alarma en cuanto a la presencia de dichos microorganismos. El uso de estas aguas para fines de consumo humano es inapropiada, su alto contenido en material orgánico, hacen que sea potencialmente contaminante inclusive para el uso agrícola. La actividad pecuaria no estaría bajo alteraciones por la calidad del agua. Sin embargo, hay posibilidad de que la contaminación del Río de Oro

encontrada en la estación de Palogordo, pueda verse influenciada para el consumo humano ya que se exceden los límites de la normatividad colombiana, en cuanto al límite máximo permitido en los parámetros determinados en este estudio.

5.3.4. Punto Bahondo (RO-04A). Los contenidos de coliformes totales y fecales en el agua del Río de Oro en esta estación de monitoreo son encontrados superiores a los referenciados como máximos por el Decreto 1076 del 2015, generando de esta manera un recurso hídrico inadecuado para consumo humano, así como para fines agrícolas. A su vez, el contenido de nitratos y nitritos en el agua se encuentran dentro del rango permitido por la legislación, bajo los criterios de calidad del decreto estudiado, haciendo de estas aguas aptas para el uso pecuario. En la Tabla 8 se puede observar el deterioro que ha sufrido la calidad del agua comparada a lo encontrado para puntos anteriores a la estación de monitoreo Bahondo, la cantidad de nitratos y nitritos está en aumento, a su vez los sólidos suspendidos. El contacto del Río de Oro con el casco urbano de la población del municipio de Girón ocasiona un significativo deterioro en la fuente hídrica sobrepasando valores permitidos con fines de consumo humano.

5.3.5. Punto Carrizal y Puente Nariño (RO-02 y RO-01). La cantidad de material orgánico encontrado en estos puntos de monitoreo del Río de Oro, es influenciada por los municipios de Girón y Floridablanca, así como la localidad de Bucaramanga. Se puede observar en la Tabla 8, que valores de coliformes totales y fecales sobrepasan el valor permitido para las actividades de consumo humano, uso agrícola, uso primario y secundario, como se ha venido advirtiendo en los puntos de monitoreo anteriores. Los valores determinados por análisis microbiológico en el agua, son significativamente superiores a los presentados en tramos anteriores. Sin embargo en cuanto a la cantidad de nitratos y de nitritos, demuestran que para los dos puntos son aguas aptas para uso pecuario; para el

punto RO-01, la concentración de nitritos exceden los valores de la norma para consumo humano.

5.4. ALTERNATIVAS PARA MEJORAR EL ESTADO DE AGUAS SUPERFICIALES DEL RÍO DE ORO.

Es evidente que en estos tramos el uso del agua para consumo humano es el más afectado, ya que muchas de estas aguas solo gozan de tratamientos primarios como pozos sépticos al ser poblaciones rurales; es por esto que se deberían implementar más plantas de tratamiento de aguas residuales en puntos estratégicos sobre el Río de Oro.

Por otro lado es necesario reforzar los planes de contingencia para el recurso hídrico, con el fin de que tanto la comunidad como sectores comerciales, industriales o de servicios den un manejo adecuado a los vertimientos.

Tabla 8. Parámetros determinados para muestras de agua del Río de Oro.

PUNTO	ALCALINIDAD	COLIFORMES FECALES	COLIFORMES TOTALES	CONDUCTIVIDAD	DBO5	DUREZA	FOSFORO TOTAL	NITROGENO	O.D.	SOLIDOS SUSPENDIDOS	TURBIEDAD	pH	NITRATOS	NITRITOS
	[mg/L]	[NMP/100]	[NMP/100]	[μs/m]	[mgO2/L]	[mg/L]	[mgP/L]	[mgN/L]	[mgO2/L]	[mg/L]	[NTU]	[Unidades]	[mg/L]	[mg/L]
RO-06	48	676	26.500	115	2	81	0,12	3	7,88	20	24	7,14	0,2	0,005
RO-05	43	8.600	27.900	104,5	2	46	0,07	3	8,23	66	25	7,51	0,17	0,03
RO-04	58	25.900	1.150.000	180,9	10	56	0,481	4,98	6,96	192	132	6,84	2,1	0,771
RO-04A	59	13.500	798.000	200	6	60	0,567	5,51	6,68	208	87	7,32	3,07	0,036
RO-02	91	759.000	4.610.000	310	17	65	0,89	15,2	5,84	148	77	7,6	0,05	0,102
RO-01	97	934.000	5.170.000	345	11	63	0,922	12,4	6,05	264	160	7,76	0,25	1,768

5.5. ESTUDIO CUMPLIMIENTO NORMATIVIDAD DECRETO 1076 DE 2.015 PARA EL RÍO VETAS.

Los resultados obtenidos por análisis químico para los puntos de monitoreo estudiados para el Río Vetás, son presentados en la Tabla 9, a su vez, los rangos

máximos permitidos según el Decreto 1076 de 2015 para el estudio de usos normativos y comparación del agua se exponen en la Tabla 7.

5.5.1 Puntos Borrero (RV-05), Loma Redonda (RV-02) y Puente Panaga (RV-01). El contenido de nitritos y nitratos en las captaciones de agua para los tres puntos de monitoreo estudiados en el río en mención, se encuentran bajo el límite máximo (de 1 y 10 mg/L respectivamente), permisible para consumo humano en estos dos parámetros, como se observa en la Tabla 9. La determinación analítica para el punto RV-01 de estos parámetros arrojó valores de 0,06 mg/L para nitratos y 0,005 mg/L para nitritos (ver Tabla 9). A su vez, las coliformes totales en las estaciones de Puente Panaga (RV-01) y Loma Redonda (RV-02), se encuentran dentro del rango permitido en la normatividad estudiada, se obtuvieron valores inferiores a 20.000 NMP/100 en el estudio del recurso hídrico para uso de consumo humano con tratamiento convencional. Por otro lado, la estación de Borrero (RV-05), muestra una cantidad de coliformes totales y fecales de 40.800 NMP/100 y 8.600 NMP/100 respectivamente (ver Tabla 9), lo que indica que no es apta para consumo humano ya que supera el criterio de calidad (ver Tabla 7). La captación del recurso para el uso pecuario en cuanto al contenido de nitrógeno, se establece bajo los valores máximos en los tres puntos. A diferencia de los coliformes totales, los cuales son mayores a 5.000 NMP/100 en cuanto al uso agrícola, en cada uno de las estaciones de monitoreo presentadas para el Río Vetás.

Tabla 9. Parámetros determinados para muestra de agua de Río Vetás.

PUNTO	ALCALINIDAD	COLIFORMES FECALES	COLIFORMES TOTALES	CONDUCTIVIDAD	DBO5	DUREZA	FOSFORO TOTAL	NITROGENO	O.D.	SOLIDOS SUSPENDIDOS	TURBIEDAD	pH	NITRATOS	NITRITOS
	[mg/L]	[NMP/100]	[NMP/100]	[μ s/m]	[mgO ₂ /L]	[mg/L]	[mgP/L]	[mgN/L]	[mgO ₂ /L]	[mg/L]	[NTU]	[Unidades]	[mg/L]	[mg/L]
RV-01	30	3.100	13.500	238,3	2	54	0,11	3	7,67	54	33	8,28	0,06	0,005
RV-02	10	2.000	12.000	75,9	2	25	0,158	3	7,92	75	39	5,75	0,32	0,005
RV-05	6	8.600	40.800	80,09	2	34	0,215	3	7,17	228	131	5,01	0,5	0,005

6. CONCLUSIONES

En el análisis de la calidad del agua del Río de Oro se pudo observar, que el sector agrícola y en especial los cultivos de mora, así como la cría de aves, cerdos, peces y demás animales de corral son causantes de la alteración química, física y microbiológica encontrada en las aguas. La calidad del agua determinado mediante los índices ICA expone una disminución durante el monitoreo secuencial, desde 69,71 (estación El Rasgón) hasta 35,54 (estación de Puente Nariño) siendo el ultimo monitoreo.

La caracterización microbiológica evidencia elevadas concentraciones de coliformes totales en los tramos del Río de Oro; excediendo los límites aceptables por el Decreto 1076 de 2015. Por lo tanto, el uso de estas aguas para consumo humano, aun con tratamiento convencional, se debería limitar por la elevada concentración de microorganismos y demás agentes contaminantes.

En el caso del río Vetas, se determinó que aguas arriba en la (estación Borrero) la calidad del agua se clasifica como dudosa, debido a la alta contaminación ocasionada por actividad minera propia del municipio de Vetas y de aportes de materia orgánica de las veredas aledañas. Sin embargo, para los siguientes puntos (Loma Redonda y Panaga) la calidad mejora; en el punto Loma Redonda la calidad es buena, debido a los controles establecidos por la CDMB sobre la actividad minera, para disminuir la concentración de cianuro y mercurio mediante tecnologías limpias, para la separación eficiente del mineral.

El punto de Loma Redonda, indicó condiciones del agua aptas para tratamiento convencional con fines de consumo humano, teniendo en cuenta los resultados obtenidos en las caracterizaciones con relación de los parámetros de coliformes fecales, ya que no sobrepasan los límites establecidos por el Decreto 1076 de 2015.

7. RECOMENDACIONES

Se recomienda ejecutar un seguimiento en diferentes épocas del año de los ríos en estudio, para apreciar la variación de la calidad del agua y de ser necesario proponer soluciones que contribuyan a mejorar la condición de estas.

Es preciso mitigar el impacto en las corrientes hídricas a causa de la minería en el Río Vetás; debido a que estas aguas abastecen a la ciudad de Bucaramanga, por lo tanto, se debe efectuar un estudio de la mayor cantidad de tramos posibles, para obtener resultados más exactos.

BIBLIOGRAFÍA

ANAYA, J. Análisis de la calidad del agua del río de oro aplicando índices de contaminación (ICO's) en la zona de influencia en el barrio la colina campestre en el municipio de Piedecuesta Santander. Bucaramanga, 2012. Trabajo de grado (Especialización en Química Ambiental). Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ciencias. Disponible en el catálogo en línea de la Universidad Industrial de Santander: <<http://tangara.uis.edu.co/>>

BALLESTEROS, Lizeth y PEROSA, Liliana. Diseño e implementación de una herramienta sistematizada empleando el índice de calidad del agua (ICA) para determinar el deterioro de las aguas superficiales de los vertimientos del río Suárez zona comunera. Bucaramanga, 2014. Trabajo de grado (Ingeniero Químico). Universidad Industrial de Santander. Facultad de ingenierías fisicoquímicas. Disponible en el catálogo en línea de la Universidad Industrial de Santander: <<http://tangara.uis.edu.co/>>

BRASIL. SECRETARIA DO MEDIO AMBIENTE et al. Rede de Monitoriamento quai-quantitativo das Bacias Hidrográficas do Municipio do Caxias do Sul. [En línea] 2009. Recuperado en diciembre de 2017. Disponible en <http://vbaco01.ucs.br/caxiasFase3/base_de_dados/paginas/qualidade_agua/iqa.html>

CASTRO, M. ALMEIDA, J. FERRER, J. DIAZ, D. Indicadores de la calidad del agua: Evolución y tendencias a nivel global [En línea]. Bogotá: Universidad Cooperativa de Colombia, 2014. 112-122 p. Recuperado en noviembre de 2017. Disponible en: <https://revistas.ucc.edu.co/index.php/in/article/download/811/770>
CDMB. Así es la CDMB: Funciones [en línea], (recuperado en 28 de diciembre 2017). Disponible en: <<http://www.cdmb.gov.co/web/asi-es-la-cdmb/funciones>>.

CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL PARA LA DEFENSA DE LA MESETA DE BUCARAMANGA (CDMB). Plan de ordenación y manejo ambiental subcuenca Río de Oro. Bucaramanga. 2007. 3-4 p.

Ibíd., 84-85 p.

CDMB. Coordinación de seguimiento y monitoreo ambiental: Plan de ordenamiento del recurso hídrico microcuenca Río de Oro alto. Bucaramanga. 2010. 11 p.

CDMB. Plan de acción ambiente para la gente 2012-2015, Bucaramanga. 2016. 31 p.

CDMB. Plan de acción ambiente para la gente 2012-2015. Bucaramanga. 2016. 13 p.

CDMB. Plan de ordenamiento del recurso hídrico microcuenca Río de Oro alto. Bucaramanga. 2010. 49-53 p.

CDMB. Plan de ordenamiento del recurso hídrico microcuenca Río de Oro alto. Bucaramanga. 2010. 50 p.

Ibíd., 60 p.

CDMB. Plan de ordenamiento y manejo ambiental subcuenca río surata. Bucaramanga. 47-52 p.

Ibíd., 46 p.

CDMB. Subdirección de ordenamiento y planificación integral del territorio: Plan de ordenamiento del recurso hídrico para la microcuenca del Río Vetas. Bucaramanga. 2010. 27 p.

Ibíd., 28-38 p.

CDMB. Subdirección de ordenamiento y planificación integral del territorio: Informe Anual Recursos Naturales, 2016. Bucaramanga. 2017. 12 p.

CDMB. Subdirección de ordenamiento y planificación integral del territorio: Plan de ordenamiento del recurso hídrico para la microcuenca del Río Vetas. Bucaramanga. 2010. 45 p.

CDMB. Subdirección de ordenamiento y planificación integral del territorio: Plan de ordenamiento del recurso hídrico para la microcuenca del Río Vetas. Bucaramanga. 2010. 48 p.

COLOMBIA. MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Decreto 3930. (25, Octubre, 2010). Por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 9ª de 1979, así como el Capítulo II del Título VI - Parte III- Libro II del Decreto-ley 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos y se dictan otras disposiciones. Diario oficial. Bogotá D.C. no. 47837.

CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL VALLE DEL CAUCA. Estudio de la Calidad del Agua del Río Cauca y sus Principales Tributarios Mediante la Aplicación de Índices de Calidad y Contaminación. Santiago de Cali. 2002. 21-25 p.

MANRIQUE, Joan y RIAÑO, Oscar. Evaluación de carga contaminante generada por el casco urbano del municipio de Vélez sobre la cuenca del río Suarez mediante diagnóstico comparativo de ICAs E ICOs. Bucaramanga, 2012. Trabajo de grado (Ingeniero Químico). Universidad Industrial de Santander. Facultad de ingenierías fisicoquímicas. Disponible en el catálogo en línea de la Universidad Industrial de Santander: <<http://tangara.uis.edu.co/>>

RADA, F. Indicadores fisicoquímicos y biológicos del proceso de eutrofización del Lago Titikaka (Bolivia). En: Ecol. Apl.: Vol. 4. N° 1,2. Lima. 2005. Disponible en SciELO (scientific electronic library online)

RAMÍREZ, R. RESTREPO, M. CARDEÑOSA. Índices De Contaminación Para Caracterización De Aguas Continentales Y Vertimientos. En: CT&F - Ciencia, Tecnología y Futuro [Base de datos en línea]. Vol. 1 N° 5. Bucaramanga, 1999. Disponible en SciELO (scientific electronic library online).

RAMIREZ., A RESTREPO, R., VIÑA, G. 1997. Cuatro índices de contaminación para caracterización de aguas continentales pp. 131-151.. En: CT&F - Ciencia, Tecnología y Futuro [Base de datos en línea]. Vol. 1 N° 3. Bucaramanga, 1997. Disponible en SciELO (scientific electronic library online).

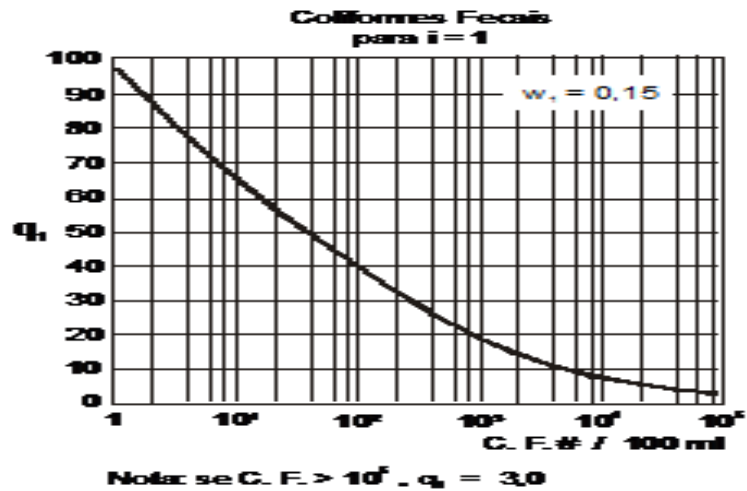
TORRES, P. CRUZ, C. PATIÑO, P. Índices de calidad del agua en fuentes superficiales utilizadas en la producción de agua para consumo humano: Una revisión crítica [En línea]. 8 ed. Octubre. 2009. p.80-94. Medellín: Recuperado en noviembre de 2017. Disponible en: Revista Ingenierías Universidad de Medellín: <<http://revistas.udem.edu.co/index.php/ingenierias/article/view/59>>

TORRES. Op. cit., p. 79-94.

ANEXOS

ANEXO A. GRAFICA Y VALORES DE PONDERACIÓN CORRESPONDIENTES AL ICA-CETESB

GRAFICA DE CALIDAD PARA COLIFORMES FECALES [CETESB, 2009]



FACTORES DE PONDERACIÓN PARA EL ICA [CETESB, 2009]

PARÁMETRO	PONDERACIÓN
Oxígeno disuelto	0,17
Coliformes fecales	0,15
pH	0,12
Demanda Bioquímica de Oxígeno	0,1
Nitrógeno total	0,1
Fosforo total	0,1
Temperatura ΔT	0,1
Turbiedad	0,08
Solidos totales	0,08

ANEXO B. ESTUDIO DE METODOLOGÍA DE LABORATORIO PARA DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS EN LAS MUESTRAS DE AGUA.

- **Estudio determinación de coliformes, pH, OD, y conductividad**

Una vez el funcionario encargado de la recolección de muestras de agua de los ríos a estudiar se dirige al punto de toma de la estación de monitoreo se alistan los recipientes con sus respectivas etiquetas previamente rotuladas para identificación. Inicialmente, el tipo de muestra para determinación de coliformes es tomado a mitad del río sumergiendo un frasco de vidrio, previamente tratado para su purificación, a contracorriente a una profundidad media (Entre 20 y 30 cm de la superficie) destapando y tapando dentro de la fuente para evitar contaminación del recipiente. Una vez recolectada la cantidad de agua necesaria, esta es almacenada en la nevera portátil adecuada con un sistema de refrigeración con hielo para la preservación de las condiciones iniciales del agua y su respectivo traslado al laboratorio encargado de la determinación analítica. Asimismo, es recolectado mediante un balde adecuado y tratado para su purificación una cantidad de agua establecida para determinación de parámetros en campo, se dispone de un equipo medidor multímetro para pH, OD y conductividad para el método *in situ*. Cuando la muestra de agua es depositada en el balde se realiza la medición de los parámetros de pH, OD y conductividad (método *in situ*) introduciendo los electrodos del equipo medidor dentro del recipiente que contiene la muestra a analizar, adicionalmente, la temperatura del agua del río, así como la ambiente, es determinada con un termómetro y los datos conseguidos para dicho estudio son registrados en los formatos de datos de muestras. Antes de la toma de muestra los baldes son purgados dos o tres veces introduciendo y depositando agua del río sobre el mismo.

Para la determinación de coliformes es importante la presencia de *Escherichia coli*, ya que es función de la contaminación fecal en las muestras de agua, por lo que su identificación permite la determinación analítica de los Coliformes totales. Una filtración por membrana es el mecanismo necesario mediante el cual se atrapan en la superficie de la membrana microorganismos cuyo tamaño es mayor que el de tamaño del poro. En seguida, las bacterias son llevadas a un medio de enriquecimiento selectivo lo que promueve su crecimiento e identificación. El medio de cultivo a emplear debe ser aquel que promueva el crecimiento microbiano pero que a la vez, inhiba el crecimiento de otros microorganismos diferentes al de estudio. Se sugiere el uso de, *Salmon-GAL*: Sustrato cromogénico que reacciona con la enzima galactosidasa, donde las colonias toman color rojo salmón y *X-glucoronide*: Sustrato cromogénico que reacciona con la glucoronidasa y produce color azul en las colonias. Una vez filtrada toda la muestra de agua, se toma la membrana con las pinzas debidamente esterilizadas y se coloca sobre la caja Petri previamente preparada con anterioridad. La caja se incuba en posición invertida y es dejada 24 horas a 36°C, al cabo de este tiempo son leídas las cantidades de colonias resultantes de acuerdo al color. Las colonias deben ser contadas en la caja más representativa, a su vez se debe aplicar el factor de dilución realizado.

- **Estudio determinación de turbiedad.**

La turbiedad en el agua es causada por materia suspendida y coloidal tal como arcilla, sedimento, materia orgánica e inorgánica dividida finamente, plancton y otros microorganismos microscópicos, el método normalizado para la determinación de turbiedad se ha realizado con base en el turbidímetro. Una vez entregada la muestra recolectada al laboratorio encargado del análisis, es realizado el proceso de adecuación sobre el cuerpo de agua, esta debe estar a temperatura ambiente y agitada en su recipiente., debe estar disponible una celda perfectamente limpia del equipo medidor para adicionar la muestra tapada y evitar su contaminación, esta se purga y se desecha el contenido. Se repite la operación,

adicionando cuidadosamente la muestra en la celda de tal manera que no forme burbujas. Se tapa la celda, se enjuaga, se seca y se limpia de tal manera que no quede suciedad, ni motas en sus paredes externas. La celda con la muestra es colocada en el portacelda, asegurándose que esta entre hasta el fondo. Se realiza el alineamiento de la celda y se espera la respuesta del equipo medidor después de 6 segundos y se registra el dato presentado como turbiedad de la fuente hídrica.

- **Estudio determinación sólidos suspendidos.**

Para la determinación de sólidos suspendidos en las muestras de aguas en estudio, es aplicado en el laboratorio para la matriz agua, un método gravimétrico que se basa en la retención de las partículas sólidas en un filtro de fibra de vidrio a través del cual se hace pasar una muestra homogénea; el residuo que queda retenido se seca a 103-105°C. El incremento en el peso del filtro representa la cantidad de sólidos suspendidos totales.

- **Estudio determinación Oxígeno Disuelto.**

Otra alternativa para determinar el oxígeno disuelto en las aguas es en laboratorio; asimismo se deben tomar las muestras para OD en el mismo sitio donde tomaron las muestras anteriores, en un frasco winkler (300 mL), sumergiéndolo de tal manera que éste quede completamente lleno de líquido y así evitando la entrada o disolución de oxígeno atmosférico. Al tapar el frasco se debe revisar que no quede ninguna burbuja de aire. Una vez la muestra de agua es suministrada para el análisis de oxígeno disuelto (OD) se trata con sulfato manganoso ($MnSO_4$), hidróxido de sodio ($NaOH$) y yoduro de potasio (KI), estos dos últimos reactivos combinados en una solución única y finalmente se acidifica con ácido sulfúrico (H_2SO_4). Inicialmente se obtiene un precipitado de hidróxido manganoso $Mn(OH)_2$, el cual se combina con el OD presente en la muestra para formar un precipitado carmelito de hidróxido mangánico $MnO(OH)_2$; con la acidificación, el hidróxido mangánico forma el sulfato mangánico que actúa como agente oxidante

para liberar yodo del yoduro de potasio. El yodo libre es el equivalente estequiométrico del OD en la muestra y se valora con una solución estándar de tiosulfato de sodio 0,025N.

- **Estudio determinación DBO.**

Una vez entregada la muestra de agua al laboratorio de análisis se procede a la inspección de la misma, inicialmente, la muestra suministrada es homogenizada por medio de agitaciones dentro de la botella que la contiene y es servida en un vaso de precipitados para el ajuste de su pH, este debe estar entre 6,5 y 7,5., se emplea ácido sulfúrico para acidificar o hidróxido de sodio para aumentar el pH de la muestra de ser necesario. Deben ser alistadas cuatro botellas tipo Winkler, rotuladas con el volumen de la botella usada y se adiciona a cada una la cantidad de muestra establecida. Una vez preparado el cultivo de microorganismos aeróbicos que consume la materia orgánica, son adicionados 2 mL de esa cepa. El agua en las botellas no debe sobrepasar la mitad del cuello para que al introducir el electrodo de medición no haya pérdida de la muestra. Una vez oxigena el agua de estudio mediante una bomba de acuario, se debe leer el oxígeno inicial del sistema en las cuatro botellas dejando un sello hidráulico. A su vez, pasados 5 días de reacción entre el consumo de oxígeno por las cepas se determina nuevamente la cantidad del mismo disuelto en el medio acuoso. La determinación del DBO a partir de estos parámetros es realizada mediante la sustracción del oxígeno disuelto inicial y el consumido por la cepa.

- **Estudio determinación dureza.**

La dureza total del agua es definida como la suma de las concentraciones de calcio y magnesio, el ácido etilendiaminotetraacético y sus sales de sodio (EDTA) forman un complejo de quelato soluble al añadirse a soluciones acuosas que contengan cationes de los elementos en mención. El cambio de color del agua por la titulación con EDTA, permite establecer mediante el volumen de este ácido adicionado la concentración de CaCO_3 que a su vez infiere la dureza total. Una

vez seleccionado el volumen de agua a estudiar, se realiza la adición del EDTA hasta encontrar un color azul en la muestra, se debe utilizar luz natural ya que las lámparas de incandescencia tienden a producir un matiz rojizo en el azul del punto final. Para realizar cálculos, la dureza total, cálcica y magnésica se expresan en mg CaCO₃/L.

- **Estudio determinación fosforo total.**

Para la determinación del fosforo total se debe realizar una hidrolisis ácida, realizando una digestión de la muestra con ácido sulfúrico concentrado y ácido nítrico. Una vez finalizada la digestión, se deja enfriar la muestra y se adiciona una cantidad determinada de solución indicadora de fenoftaleína y se neutraliza hasta un color rosa profundo con NaOH, posteriormente neutralizada con ácido sulfúrico hasta desaparición del color. Se transfiere el digerido a un balón aforado de 50 mL y se lleva a volumen con agua ultrapura y se agita varias veces para una perfecta homogenización. Cada muestra se pasa a un erlenmeyer rotulado, para su determinación de fósforo por el Método del ácido ascórbico. Por último se adiciona a 25 mL de muestra, 4 mL de reactivo combinado modificado (mezclando exclusivamente 50 mL de H₂SO₄ 5N y 15 mL de Molibdato de amonio). La muestra es leída en un Espectrofotómetro.

- **Estudio determinación nitrógeno total.**

La determinación de nitrógeno por el método de Kjeldahl se realiza mediante una unidad de digestión BÜCHI 435, inicialmente se prepara el reactivo de digestión, disolviendo 134 g de K₂SO₄ y 7,3 g de CuSO₄ en cerca de 800 mL de agua. Se agregan 134 mL de H₂SO₄ conc., una vez se tiene a temperatura ambiente, se debe agregar 10 mL de dicho reactivo a un tubo propio del equipo que contiene 50 mL de la muestra de agua. Cada unidad de calentamiento en el aparato de digestión es ajustada y se colocan los tubos accionando el equipo de evacuación disponible para remover los vapores ácidos. Se aumenta el calentamiento gradualmente evitando que la ebullición sea muy fuerte y produzca salpicadura.

Se continúa con la ebullición hasta que la solución se haga transparente y verde esmeralda y se observen copiosos vapores en todos los tubos, al mismo tiempo girando el control de cada unidad de calentamiento. La digestión se ha completado en el punto en el cual, se observa el ácido sulfúrico en reflujo, se coloca el balón en el soporte introduciendo el tubo de salida del destilador cuidando que quede sumergido en la solución absorbente. Una vez colocado el tubo de digestión en el soporte del equipo, se debe seguir el procedimiento descrito en el manual del destilador BÜCHI 323. Posteriormente, se transfiere la muestra destilada a un erlenmeyer de 125 mL, se añade suficiente solución de NaOH 10 N (1 mL suele ser suficiente) para aumentar el pH por encima de 11, se agita de manera constante y se introduce el electrodo selectivo de amoníaco. Se debe buscar la estabilidad en la lectura y se registra el resultado buscando en la muestra de agua.

- **Estudio determinación alcalinidad.**

Debido a que la alcalinidad de muchas aguas superficiales es primariamente una función del contenido de carbonato, bicarbonato e hidróxido, se toma como un indicador de la concentración de estos constituyentes. Se debe efectuar un proceso de titulación a temperatura ambiente con un pH metro o un titulador automático calibrados o mediante indicadores coloreados para la determinación de la alcalinidad de la muestra de agua en estudio. Se toma de manera inicial una alícuota de 100 mL de muestra recolectada con pipeta aforada y se descarga dicho contenido en un vaso de vidrio previamente purificado manteniendo la pipeta cerca al fondo del recipiente. Una vez realizado esto, se debe titular hasta pH 8,3, si el pH de la muestra es superior a este valor a medida que se acerca al punto final, se deben hacer adiciones de ácido más pequeñas. El valor del volumen de ácido gastado es registrado para establecer un pH de 8,3 y así se procede al cálculo posterior de carbonatos e hidróxidos según el caso.

ANEXO C. DETERMINACIÓN DE LOS ÍNDICES DEL RÍO DE ORO MEDIANTE EL SISTEMA DE INFORMACIÓN CORPORATIVO (SIC) DE LA CDMB.

DETERMINACIÓN ICA E ICOs PUNTO RO-06.

REGISTRO DE MUESTRAS Y RESULTADOS Fecha: 19/05/2017 Usuario: SOPIT39

MUESTRAS
 Código Muestra: 00874 Año: 2016 Mes: NOVIEMBRE Día: 17 Hora muestra: 07:30
 No. Laboratorio: Tipo de muestreo: PUNTUAL Fecha toma: 17/11/2016
 Código del punto: RO-06 Altitud: 2141 Estación: RASGON EL Caudal: 0.9187 (m/s)
 Período de muestreo: MENSUAL Corriente: RIO DE ORO Clase Est. Sanitario punto: 1

ICA: 59.718 Tipo Calidad: BUENA Clase Est. Sanitario de la muestra: 3
 Observaciones del ICA: ICOTRO: 12 G.C: Eutrofia
 ICOM: 173 G.C: NINGUNA ICOMO: 387 G.C: BAJA ICOSUS: 04 G.C: NINGUNA
 7 ICACOSU neto: 748 Calidad: ACEPTABLE 7 ICACOSU general: 598 Calidad: REGULAR
 5 ICACOSU neto: 764 Calidad: ACEPTABLE 5 ICACOSU general: 611 Calidad: REGULAR
 Índice de Capacidad Ambiental ILCAG: 0 Clasificación: MUY MALA

RESULTADOS DE LABORATORIO

Sustancia/elemento	Unidad de medida	Valor	Técnica de análisis	Tipo de valor	Observaciones
pH	unidades	7.140	POTENCIOMETRICO	LABORATORIO	
Conductividad	umhos/cm2	115.000	CONDUCTIMETRO	LABORATORIO	
Turbiedad	NTU	24.000	NEFELOMETRICO	LABORATORIO	
OD	mgO2/l	7.880	YODOMETRICO-MG	LABORATORIO	
DOO	mgO2/l	15.000	REFLUJO CERRAD	LABORATORIO	
DBO5	mgO2/l	2.000	DBO CINCO DIAS	LABORATORIO	
Nitrógeno Total Kjeldahl	mgN/l	3.000	DIGESTION-TITULA	LABORATORIO	

DETERMINACIÓN ICA E ICOs PUNTO RO-05.

REGISTRO DE MUESTRAS Y RESULTADOS Fecha: 19/05/2017 Usuario: SOPIT39

MUESTRAS
 Código Muestra: 00875 Año: 2016 Mes: NOVIEMBRE Día: 17 Hora muestra: 09:30
 No. Laboratorio: Tipo de muestreo: PUNTUAL Fecha toma: 17/11/2016
 Código del punto: RO-05 Altitud: 053 Estación: RO-05 CONQUISTAD Caudal: 1.1935 (m/s)
 Período de muestreo: MENSUAL Corriente: RIO DE ORO Clase Est. Sanitario punto: 1

ICA: 50.581 Tipo Calidad: BUENA Clase Est. Sanitario de la muestra: 3
 Observaciones del ICA: ICOTRO: 07 G.C: Eutrofia
 ICOM: 059 G.C: NINGUNA ICOMO: 387 G.C: BAJA ICOSUS: 178 G.C: NINGUNA
 7 ICACOSU neto: 654 Calidad: REGULAR 7 ICACOSU general: 523 Calidad: REGULAR
 5 ICACOSU neto: 743 Calidad: ACEPTABLE 5 ICACOSU general: 595 Calidad: REGULAR
 Índice de Capacidad Ambiental ILCAG: 0 Clasificación: MUY MALA

RESULTADOS DE LABORATORIO

Sustancia/elemento	Unidad de medida	Valor	Técnica de análisis	Tipo de valor	Observaciones
pH	unidades	7.510	POTENCIOMETRICO	LABORATORIO	
Conductividad	umhos/cm2	104.500	CONDUCTIMETRO	LABORATORIO	
Turbiedad	NTU	25.300	NEFELOMETRICO	LABORATORIO	
OD	mgO2/l	8.250	YODOMETRICO-MG	LABORATORIO	
DOO	mgO2/l	15.500	REFLUJO CERRAD	LABORATORIO	
DBO5	mgO2/l	2.000	DBO CINCO DIAS	LABORATORIO	
Nitrógeno Total Kjeldahl	mgN/l	3.000	DIGESTION-TITULA	LABORATORIO	

DETERMINACIÓN ICA E ICOS PUNTO RO-04.

REGISTRO DE MUESTRAS Y RESULTADOS Fecha: 16/05/2017 Usuario: SOPIT33

MUESTRAS

Código Muestra: 10879 Año: 2016 Mes: NOVIEMBRE Día: 18 Hora muestra: 09:00
 No. Laboratorio: Tipo de muestreo: PUNTUAL Fecha toma: 18/11/2016

Código del punto: RO-04 Altitud: 841 Estación: RO - 04 PALOGORD Caudal: 1.3008 (m/s)
 Período de muestreo: MENSUAL Corriente: RIO DE ORO Clase Est. Sanitario punto: 3

ICA: 37.03474 Tipo Calidad: DUDOSA Clase Est. Sanitario de la muestra: 3

Observaciones del ICA

ICOM: 221 G.C. BAJA ICOMO: 594 G.C. MEDIA ICOTRO: 481 G.C. Eutrofia
 ICOSUS: 556 G.C. MEDIA

7 ICACOSU neto: 442 Calidad: MALA 7 ICACOSU general: 35936875 Calidad: MALA
 5 ICACOSU neto: 54192698 Calidad: REGULAR 5 ICACOSU general: 43931034 Calidad: MALA

Índice de Capacidad Ambiental IL CAG: 02884374 Clasificación: BAJA

Observaciones de la muestra

RESULTADOS DE LABORATORIO

Sustancia/elemento	Unidad de medida	Valor	Técnica de análisis	Tipo de valor	Observaciones
Fósforo Total	mgP/l	0.481	9 DIGESTIÓN-COLOR	LABORATORIO	
Sólidos Totales	mg/l	332.000	5 SECADOS A 103-10	LABORATORIO	
Sólidos Suspendidos	mg/l	192.000	5 SECADOS A 103-10	LABORATORIO	
Coliformes Totales	NMP/100 ml	1150000.0	8 TUBOS MULT. FLUC	LABORATORIO	
Coliformes Fecales	NMP/100 ml	259000.0	8 TUBOS MULT. FLUC	LABORATORIO	
Dureza	mg/l	56.000	27 STANDARD METHO	LABORATORIO	
Alcalinidad	mg/l	38.000	28 STANDARD METHO	LABORATORIO	

DETERMINACIÓN ICA E ICOS PUNTO RO-04A.

REGISTRO DE MUESTRAS Y RESULTADOS Fecha: 16/05/2017 Usuario: SOPIT33

MUESTRAS

Código Muestra: 10880 Año: 2016 Mes: NOVIEMBRE Día: 18 Hora muestra: 10:30
 No. Laboratorio: Tipo de muestreo: PUNTUAL Fecha toma: 18/11/2016

Código del punto: RO-4A Altitud: 723 Estación: RO - 04A BAHONDI Caudal: 4.4505 (m/s)
 Período de muestreo: MENSUAL Corriente: RIO DE ORO Clase Est. Sanitario punto: 2

ICA: 41.493 Tipo Calidad: DUDOSA Clase Est. Sanitario de la muestra: 3

Observaciones del ICA

ICOM: 255 G.C. BAJA ICOMO: 547 G.C. MEDIA ICOTRO: 567 G.C. Eutrofia
 ICOSUS: 604 G.C. ALTA

7 ICACOSU neto: 448 Calidad: MALA 7 ICACOSU general: 381 Calidad: MALA
 5 ICACOSU neto: 523 Calidad: REGULAR 5 ICACOSU general: 441 Calidad: MALA

Índice de Capacidad Ambiental IL CAG: 114 Clasificación: BAJA

Observaciones de la muestra

RESULTADOS DE LABORATORIO

Sustancia/elemento	Unidad de medida	Valor	Técnica de análisis	Tipo de valor	Observaciones
pH	unidades	7.320	7 POTENCIOMETRICO	LABORATORIO	
Conductividad	umhos/cm2	200.000	10 CONDUCTIMETRO	LABORATORIO	
Turbiedad	NTU	87.000	13 NEFELOMETRICO	LABORATORIO	
O.D.	mgO2/l	6.680	12 YODOMETRICO-MO	LABORATORIO	
DQO	mgO2/l	36.000	2 REFLUJO CERRAD	LABORATORIO	
DBO5	mgO2/l	6.000	1 DBO CINCO DIAS	LABORATORIO	
Nitrógeno Total Kjeldahl	mgN/l	5.510	14 DIGESTIÓN-TITULA	LABORATORIO	

DETERMINACIÓN ICA E ICOs PUNTO RO-02.

REGISTRO DE MUESTRAS Y RESULTADOS Fecha: 16/05/2017 Usuario: SOPIT33

MUESTRAS
 Código Muestra: 10881 Año: 2016 Mes: NOVIEMBRE Día: 18 Hora muestra: 11:40
 No. Laboratorio: Tipo de muestreo: PUNTUAL Fecha toma: 18/11/2016
 Código del punto: RO-02 Altitud: 691 Estación: RO-02 PALENQUE Caudal: 6.4780 (m/s)
 Período de muestreo: MENSUAL Corriente: RIO DE ORO Clase Est. Sanitario punto: 3

ICA: 35.604 Tipo Calidad: INADECUADA Clase Est. Sanitario de la muestra: 3
 Observaciones del ICA: ICOTRO: 99 G.C: Eutrofia
 ICOMI: 427 G.C: MEDIA ICOMO: 685 G.C: ALTA ICOSUS: 424 G.C: MEDIA
 7 ICACOSU neto: 365 Calidad: MALA 7 ICACOSU general: 332 Calidad: MALA
 5 ICACOSU neto: 468 Calidad: MALA 5 ICACOSU general: 414 Calidad: MALA
 Índice de Capacidad Ambiental ILCAG: 199 Clasificación: BAJA

Observaciones de la muestra:

RESULTADOS DE LABORATORIO

Sustancia/elemento	Unidad de medida	Valor	Técnica de análisis	Tipo de valor	Observaciones
pH	unidades	7.600	7 POTENCIOMÉTRIC	LABORATOF	
Conductividad	umhos/cm2	310.000	10 CONDUCTÍMETRO	LABORATOF	
Turbiedad	NTU	77.000	13 NEFELOMÉTRICO	LABORATOF	
O.D	mgO2/l	5.840	12 YODOMETRICO-MO	LABORATOF	
DQO	mgO2/l	88.000	2 REFLUJO CERRAD	LABORATOF	
DBO5	mgO2/l	17.000	1 DBO CINCO DÍAS	LABORATOF	
Nitrógeno Total Kjeldahl	mgN/l	15.200	14 DIGESTIÓN-TITULA	LABORATOF	

DETERMINACIÓN ICA E ICOs PUNTO RO-01.

REGISTRO DE MUESTRAS Y RESULTADOS Fecha: 16/05/2017 Usuario: SOPIT33

MUESTRAS
 Código Muestra: 10882 Año: 2016 Mes: NOVIEMBRE Día: 18 Hora muestra: 12:40
 No. Laboratorio: Tipo de muestreo: PUNTUAL Fecha toma: 18/11/2016
 Código del punto: RO-01 Altitud: 628 Estación: PTE NARINO Caudal: (m/s)
 Período de muestreo: Corriente: RIO DE ORO Clase Est. Sanitario punto: 3

ICA: 35.544761 Tipo Calidad: INADECUADA Clase Est. Sanitario de la muestra: 3
 Observaciones del ICA: ICOTRO: 922 G.C: Eutrofia
 ICOMI: 434 G.C: MEDIA ICOMO: 631 G.C: ALTA ICOSUS: 772 G.C: ALTA
 7 ICACOSU neto: 338 Calidad: MALA 7 ICACOSU general: Calidad: ---
 5 ICACOSU neto: 40323815 Calidad: MALA 5 ICACOSU general: Calidad: ---
 Índice de Capacidad Ambiental ILCAG: Clasificación: ---

Observaciones de la muestra:

RESULTADOS DE LABORATORIO

Sustancia/elemento	Unidad de medida	Valor	Técnica de análisis	Tipo de valor	Observaciones
Fósforo Total	mgP/l	0.922	9 DIGESTIÓN-COLOR	LABORATOF	
Sólidos Totales	mg/l	440.000	5 SECADOS A 103-10	LABORATOF	
Sólidos Suspendedos	mg/l	264.000	5 SECADOS A 103-10	LABORATOF	
Coliformes Totales	NMP/100 ml	5170000.0	8 TUBOS MULT FLUC	LABORATOF	
Coliformes Fecales	NMP/100 ml	9340000.0	8 TUBOS MULT FLUC	LABORATOF	
Dureza	mg/l	63.000	27 STANDARD METHO	LABORATOF	
Alcalinidad	mg/l	97.000	28 STANDARD METHO	LABORATOF	

ANEXO D. DETERMINACIÓN DE LOS ÍNDICES DEL RÍO VETAS MEDIANTE EL SISTEMA DE INFORMACIÓN CORPORATIVO (SIC) DE LA CDMB.

DETERMINACIÓN ICA E ICOS PUNTO RV-05.

REGISTRO DE MUESTRAS Y RESULTADOS Fecha: 11/05/2017 Usuario: SOPIT33

MUESTRAS
 Código Muestra: 10861 Año: 2016 Mes: NOVIEMBRE Día: 15 Hora muestra: 03:00
 No. Laboratorio: Tipo de muestreo: PUNTUAL Fecha toma: 15/11/2016
 Código del punto: RV-05 Altitud: 2800 Estación: RV-05 BORRERO Caudal: 0.3113 (m/s)
 Período de muestreo: MENSUAL Corriente: RÍO VETAS Clase Est. Sanitario punto:
 ICA: 41.006386 Tipo Calidad: DUDOSA Clase Est. Sanitario de la muestra:
 Observaciones del ICA:
 ICOMI: 067 G.C: NINGUNA ICOMO: 396 G.C: BAJA ICOTRO: 215 G.C: Eutrofia
 ICOSUS: 664 G.C: ALTA
 7 ICACOSU neto: 52 Calidad: REGULAR 7 ICACOSU general: 416 Calidad: MALA
 5 ICACOSU neto: 50535006 Calidad: REGULAR 5 ICACOSU general: 40428005 Calidad: MALA
 Índice de Capacidad Ambiental ILCAG: 0 Clasificación: MUY MALA
 Observaciones de la muestra:
 DATOS DE CAMPO | ALICUOTAS

RESULTADOS DE LABORATORIO

Sustancia/elemento	Unidad de medida	Valor	Técnica de análisis	Tipo de valor	Observaciones
Sólidos Suspendedos	mg/l	228.000	5	SECADOS A 103-10	LABORATORIO
Coliformes Totales	NMP/100 ml	40800.00	8	TUBOS MULT. FLUC	LABORATORIO
Coliformes Fecales	NMP/100 ml	8600.00	8	TUBOS MULT. FLUC	LABORATORIO
Cianuro	mg CN-/l	0.066	17	DESTILACIÓN-HON	LABORATORIO
Mercurio	ug Hg/l	0.001	18	GENERACIÓN DE H	LABORATORIO
Dureza	mg/l	34.000	27	STANDARD METHO	LABORATORIO
Alcalinidad	mg/l	6.000	28	STANDARD METHO	LABORATORIO

DETERMINACIÓN ICA E ICOS PUNTO RV-02.

REGISTRO DE MUESTRAS Y RESULTADOS Fecha: 11/05/2017 Usuario: SOPIT33

MUESTRAS
 Código Muestra: 10859 Año: 2016 Mes: NOVIEMBRE Día: 15 Hora muestra: 11:20
 No. Laboratorio: Tipo de muestreo: PUNTUAL Fecha toma: 15/11/2016
 Código del punto: RV-02 Altitud: 1940 Estación: RV-02 LOMA REDON Caudal: 0.6360 (m/s)
 Período de muestreo: MENSUAL Corriente: RÍO VETAS Clase Est. Sanitario punto:
 ICA: 69.746988 Tipo Calidad: BUENA Clase Est. Sanitario de la muestra:
 Observaciones del ICA:
 ICOMI: 061 G.C: NINGUNA ICOMO: 337 G.C: BAJA ICOTRO: 158 G.C: Eutrofia
 ICOSUS: 205 G.C: BAJA
 7 ICACOSU neto: 623 Calidad: REGULAR 7 ICACOSU general: 4984 Calidad: MALA
 5 ICACOSU neto: 66085574 Calidad: REGULAR 5 ICACOSU general: 52868459 Calidad: REGULAR
 Índice de Capacidad Ambiental ILCAG: 0 Clasificación: MUY MALA
 Observaciones de la muestra:
 DATOS DE CAMPO | ALICUOTAS

RESULTADOS DE LABORATORIO

Sustancia/elemento	Unidad de medida	Valor	Técnica de análisis	Tipo de valor	Observaciones
Sólidos Suspendedos	mg/l	75.000	5	SECADOS A 103-10	LABORATORIO
Coliformes Totales	NMP/100 ml	12000.00	8	TUBOS MULT. FLUC	LABORATORIO
Coliformes Fecales	NMP/100 ml	2000.00	8	TUBOS MULT. FLUC	LABORATORIO
Cianuro	mg CN-/l	0.011	17	DESTILACIÓN-HON	LABORATORIO
Mercurio	ug Hg/l	0.010	18	GENERACIÓN DE H	LABORATORIO
Dureza	mg/l	25.000	27	STANDARD METHO	LABORATORIO
Alcalinidad	mg/l	10.000	28	STANDARD METHO	LABORATORIO

DETERMINACIÓN ICA E ICOS PUNTO RV-01.

REGISTRO DE MUESTRAS Y RESULTADOS Fecha: 18/05/2017 Usuario: SOPIT33

MUESTRAS

Código Muestra: 10905 Año: 2016 Mes: NOVIEMBRE Día: 28 Hora muestra: 01:00
 No. Laboratorio: Tipo de muestreo: PUNTUAL Fecha toma: 28/11/2016
 Código del punto: RV-01 Altitud: 1649 Estación: RV-01 PANAGA Caudal: 2.7332 (m/s)
 Período de muestreo: MENSUAL Corriente: RIO VETAS Clase Est. Sanitario punto: 3
 ICA: 62.997264 Tipo Calidad: BUENA Clase Est. Sanitario de la muestra: 3
 Observaciones del ICA: ICOTRO: 11 G.C: Eutrofia
 ICOMI: 292 G.C: BAJA ICOMO: 347 G.C: BAJA ICOSUS: 142 G.C: NINGUNA
 7 ICACOSU neto: 574 Calidad: REGULAR 7 ICACOSU general Calidad: ---
 5 ICACOSU neto: 59940452 Calidad: REGULAR 5 ICACOSU general Calidad: ---
 Índice de Capacidad Ambiental ILCAG: Clasificación: ---

Observaciones de la muestra: DATOS DE CAMPO ALICUOTAS

RESULTADOS DE LABORATORIO

Sustancia/elemento	Unidad de medida	Valor	Técnica de análisis	Tipo de valor	Observaciones
Sólidos Suspendidos	mg/l	54.000	5	SECADOS A 103-10	LABORATORIO
Coliformes Totales	NMP/100 ml	13500.00	8	TUBOS MULT. FLUC	LABORATORIO
Coliformes Fecales	NMP/100 ml	3100.00	8	TUBOS MULT. FLUC	LABORATORIO
Cianuro	mq CN-/l	0.011	17	DESTILACIÓN-HON	LABORATORIO
Mercurio	ug Hg/l	0.001	18	GENERACIÓN DE H	LABORATORIO
Dureza	mg/l	54.000	27	STANDARD METHO	LABORATORIO
Alcalinidad	mq/l	30.000	28	STANDARD METHO	LABORATORIO

ANEXO E. EQUIPOS DE LABORATORIO PARA LA DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS

EQUIPO DE ABSORCIÓN ATÓMICA



EQUIPO MEDIDOR MULTÍMETRO DE CAMPO.



UNIDAD DE DIGESTIÓN BÜCHI 435



EQUIPO DE TITULACIÓN.



ESPECTOFOTOMETRO

