

**ANÁLISIS DE LA CALIDAD DEL AGUA Y SEDIMENTOS EN UN TRAMO
SELECCIONADO DEL RÍO LEBRIJA A LA ALTURA DEL EMBALSE DE
BOCAS**

Katherine Andrea Rodríguez Avella
María Alejandra Espinosa Higuera

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA
ESCUELA DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL
BUCARAMANGA
2016

**ANÁLISIS DE LA CALIDAD DEL AGUA Y SEDIMENTOS EN UN TRAMO
SELECCIONADO DEL RÍO LEBRIJA A LA ALTURA DEL EMBALSE DE
BOCAS**

Katherine Andrea Rodríguez Avella
María Alejandra Espinosa Higuera

TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE INGENIERA
AMBIENTAL

DIRECTORA DE TESIS: CLAUDIA SANTOYO MUÑOZ

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL
TRABAJO DE GRADO
BUCARAMANGA
2016

Gracias a nuestras familias y a Dios.

Nota de aceptación

Firma del presidente del Jurado

Firma del Jurado

Firma del Jurado

Bucaramanga, (21, Octubre, 2015)

CONTENIDO

	pág.
RESUMEN.....	¡Error! Marcador no definido.
ABSTRACT.....	10
INTRODUCCIÓN.....	12
1 OBJETIVOS.....	13
1.1 OBJETIVO GENERAL.....	13
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	13
2 MARCO TEÓRICO.....	14
2.1 CARACTERÍSTICAS DEL AGUA.....	14
2.1.1 Parámetros físicos.....	15
2.1.2 Parámetros químicos.....	19
2.1.3 Parámetros biológicos.....	21
2.2 ÍNDICE DE CALIDAD DEL AGUA (ICA).....	23
2.2.1 Índice de contaminación por conductividad.....	25
2.2.2 Índice de contaminación por materia orgánica ICOMO.....	26
2.3 Índice de contaminación por solidos suspendidos –ICOSUS.....	26
2.3.1 Subíndice de porcentaje de saturación (Ps) de oxígeno disuelto (OD).....	27
2.3.2 ICACOSU El Índice de Calidad del Agua ICACOSU r.....	28
2.4 DEMANDA BÉNTICA (SOD).....	31
2.4.1 Factores que afectan la SOD.....	33
2.5 ACTIVIDAD METANOGENICA.....	35
2.6 TIPOS DE MUESTRA.....	36
2.6.1 Muestra puntual.....	36
2.6.2 Muestra integrada.....	36
2.7 PROBLEMÁTICA EN EL RÍO LEBRIJA, COLOMBIA.....	37
3 METODOLOGÍA.....	42
3.1 MONTAJE DE LA CÁMARA DE DEMANDA BÉNTICA.....	43
3.2 SELECCIÓN DE LOS SITIOS DE MUESTREO Y DETERMINACIÓN DE LAS CAMPAÑAS.....	48
3.3 CARACTERIZACIÓN DEL RÍO LEBRIJA.....	55
3.3.2 Determinación de condiciones fisicoquímicas del tramo seleccionado.....	55
3.3.3 Determinación de las características del cuerpo hídrico y el sedimento.....	56
3.4 DETERMINACIÓN DEL ICACOSU, DEMANDA BÉNTICA Y ACTIVIDAD METANOGENICA.....	61
4 RESULTADOS OBTENIDOS Y ANÁLISIS.....	62
4.1 RESULTADOS DE LA CARACTERIZACIÓN DEL RÍO LEBRIJA.....	62
4.1.1 Determinación de las condiciones fisicoquímicas del tramo.....	62

4.1.2 Muestreo de determinación de las características del cuerpo hídrico y el sedimento	64
4.2 DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE LA CALIDAD DEL AGUA	77
4.2.1 ICOs.....	77
4.2.2 ICACOSU	80
4.3 RELACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA Y LA DEMANDA BÉNTICA CON LA PROBLEMÁTICA AMBIENTAL PRESENTADA	83
5 CONCLUSIONES.....	84
6 RECOMENDACIONES	85
7 BIBLIOGRAFÍA	86

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Olores característicos del agua de acuerdo a su origen	16
Tabla 2: Valores habituales de conductividad.....	18
Tabla 3: Parámetros de calidad del agua y sus valores estándar para la vida íctica	23
Tabla 4. Relación, valor ICA y calidad	24
Tabla 5: Significancia de los índices de contaminación ICOs.....	27
Tabla 6. Jerarquía, categoría y rango ICACosu	29
Tabla 7. Factores de ponderación de las variables de ICACOSU	30
Tabla 8: Variables consideradas para el ICACOSU.....	31
Tabla 9: Valores habituales SOD.....	35
Tabla 10: Valores típicos de actividad metanogénica de lodos.	36
Tabla 11: Criterios de calidad admisibles para la destinación del recurso para la preservación de flora y fauna.....	41
Tabla 12. Comportamiento de la bomba.....	46
Tabla 13. Georreferenciación RN-01	49
Tabla 14. Georreferenciación Represa	50
Tabla 15. Georreferenciación RL-05.....	51
Tabla 16. Georreferenciación RL-07.....	52
Tabla 17. Generalidades de las estaciones meteorológicas seleccionadas	53
Tabla 18. Valores totales, máximos y mínimos, estación palmas: IDEAM.....	54
Tabla 19. Valores totales, máximos y mínimos, estación Llano de palmas: IDEAM	54
Tabla 20. Equipos y métodos para la determinación de parámetros in situ.....	56
Tabla 21. Tabla de ensayo de actividad metanogénica	59
Tabla 22. Resultados de variables medidas en campo en C1	62
Tabla 23. Resultados de laboratorio obtenidos para la C1.	63
Tabla 24. Resultados de pH obtenidos en las campañas	64
Tabla 25. Resultados de temperatura obtenidos en las campañas	65
Tabla 26. Resultados de caudal obtenidos en las campañas	66
Tabla 27. Valores obtenidos de conductividad.....	67
Tabla 28. Valores obtenidos de DQO	68
Tabla 29. Valores obtenidos de DBO.....	69
Tabla 30. Valores obtenidos de oxígeno disuelto	70
Tabla 31. Valores obtenidos de SST	71
Tabla 32. Valores obtenidos de coliformes fecales.....	72
Tabla 33. SOD calculada en las tres campañas.	76
Tabla 34. Resultados obtenidos para variables obtenidas en laboratorio para sedimento	77
Tabla 35. Jerarquía establecida para los ICOs.....	78
Tabla 36. Valores obtenidos de ICOMO durante las campañas	78
Tabla 37. Valores obtenidos de ICOSUS durante las campañas.....	79
Tabla 38. Comportamiento del I. Conductividad durante las campañas	79
Tabla 39. Jerarquía del ICA	80
Tabla 40. ICACosu e ICAG para todas las campañas.....	81

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Ciclo del oxígeno disuelto en un cuerpo hídrico	32
Figura 2. Localización del Río Lebrija en el Departamento de Santander.	37
Figura 3. Embalse de Bocas.....	38
Figura 4. Fotografías de la mortandad de peces, Rio Lebrija	39
Figura 5. Metodología empleada	42
Figura 6. Diseño de la cámara béntica	43
Figura 7. Prueba realizada con anilina.....	44
Figura 8. Prueba de sedimento.....	45
Figura 9. Prueba de sedimento.....	45
Figura 10. Preselección sitios de muestreo	48
Figura 11. Puntos seleccionados para muestreo.....	49
Figura 12. RN-01	50
Figura 13. REPRESA.....	50
Figura 14. RL-05.....	51
Figura 15. RL-07	52
Figura 16. Ubicación geográfica, estaciones Palmas y Llano de palmas, IDEAM .	53
Figura 17. Montaje de la demanda béntica	58
Figura 18. Montaje de actividad metanogénica.....	60
Figura 19. Organismos bentónicos encontrados.....	75

LISTA DE GRÁFICAS

Gráfica 1. velocidad Vs posición de la bomba	47
Gráfica 2. Comportamiento del pH durante las campañas	64
Gráfica 3. Comportamiento de la temperatura durante las campañas	65
Gráfica 4. Comportamiento del caudal durante las campañas	66
Gráfica 5. Comportamiento de la conductividad en cada una de las campañas....	68
Gráfica 6. Comportamiento de la DQO en cada una de las campañas	69
Gráfica 7. Comportamiento de la DBO en cada una de las campañas	70
Gráfica 8. Comportamiento del oxígeno disuelto en cada una de las campañas....	71
Gráfica 9. Comportamiento de los sólidos suspendidos totales en cada una de las campañas	72
Gráfica 10. Comportamiento de los coliformes fecales en cada una de las campañas	73
Gráfica 11. Consumo de OD C2	74
Gráfica 12. Consumo OD C3	74
Gráfica 13. Consumo de OD C4	75
Gráfica 14. Comportamiento del ICOMO durante las campañas	78
Gráfica 15. Comportamiento del ICOSUS durante las campañas	79
Gráfica 16. Comportamiento del I. Conductividad durante las campañas	80
Gráfica 17. Comportamiento del ICACOSU en cada una de las campañas	81
Gráfica 18. Comportamiento del ICA general en cada una de las campañas.....	81

RESUMEN GENERAL DE TRABAJO DE GRADO

TITULO: ANÁLISIS DE LA CALIDAD DEL AGUA Y SEDIMENTOS EN UN TRAMO SELECCIONADO DEL RIO LEBRIJA A LA ALTURA DEL EMBALSE DE BOCAS

AUTOR(ES): María Alejandra Espinosa Higuera
Katherine Andrea Rodríguez Avella

FACULTAD: Facultad de Ingeniería Ambiental

DIRECTOR(A): Claudia Santoyo Muñoz

RESUMEN

La presente investigación tuvo como propósito relacionar la calidad del agua y de los sedimentos con la problemática ambiental que se evidenció en varios episodios sobre el Río Lebrija en Santander, Colombia. La contaminación de este cuerpo de agua ha sido causante de múltiples denuncias por parte de los pescadores de la asociación de pescadores del Río Lebrija (ASOPRIL), debido a que la mortandad de especies acuáticas llega a las 500 toneladas, a la altura del embalse de Bocas. Para cumplir con el objetivo se realizó un diagnóstico de la condición actual del Río teniendo en cuenta el Índice de Calidad del Agua (ICA) y la Demanda Béntica (SOD) Se seleccionaron estratégicamente cuatro puntos para realizar las actividades de muestreo identificados como RN-01, REPRESA, RL-05, RL-07 y en el laboratorio, se determinaron los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos como conductividad, DQO, DBO, OD, sólidos suspendidos, coliformes fecales, coliformes totales y pH. Los resultados obtenidos demostraron que la demanda béntica no tiene relación directa con la mortandad de especies ya que el valor de oxígeno está por encima de 4 mg O₂/L, el cual es adecuado para la preservación de especies acuáticas; sin embargo los resultados obtenidos de Índice de Calidad del Agua mostraron que la calidad del recurso hídrico es mala, dificultando de esta forma el desarrollo de especies acuáticas, la contaminación del recurso hídrico se debe a los vertimientos de agua residual que se encuentran sobre los ríos principales que desembocan en el Río Lebrija. La presente investigación corresponde a un estudio preliminar que permite profundizar más en el estudio de la problemática del Río Lebrija con el fin de hallar causas y soluciones a la problemática social y económica que se está presentando.

PALABRAS CLAVES:

Demanda béntica, represa, DQO, DBO, coliformes

V° B° DIRECTOR DE TRABAJO DE GRADO

GENERAL SUMMARY OF WORK OF GRADE

TITLE: WATER AND SEDIMENT QUALITY ANALYSIS IN THE LEBRIJA RIVER TO THE HEIGHT OF BOCAS RESERVOIR

AUTHOR(S): María Alejandra Espinosa Higuera
Katherine Andrea Rodríguez Avella

FACULTY: Facultad de Ingeniería Ambiental

DIRECTOR: Claudia Santoyo Muñoz

ABSTRACT

The purpose of this investigation was to relate the water and sediment quality with the environmental problem rates that were appreciated in numerous episodes in Lebrija River, Santander, Colombia; the river's contamination has been the cause of multiple reports by the fishermen because mortality rates have reached 500 tons when it reaches the Bocas reservoir. To achieve this purpose a diagnostic was carried out in order to know the conditions of the river, taking under consideration the ICA (water quality index) and the benthic demand. Four sites on the river were strategically selected for sample taking activities (RN-01, REPRESA, R-05, and RL-07). The conductivity, COD, BOD, DO, suspended solids, fecal coliform, total coliform, and pH were measured in the laboratory. Showing that the benthic demand has no relation with the species mortality due to an oxygen value of >4 mg/L, which is suitable to the preservation of aquatic life. It was also seen that according to the water quality index this wasn't in a perfect condition making difficult the aquatic specie development, the contamination of the river is caused by dumping of wastewater found over the principal rivers that lead to the Lebrija River. The present investigation corresponds to a preliminary study that gives the chance to get deeper in the river study, with the final purpose of finding causes and solutions to the situation.

KEYWORDS:

SOD, reservoir, BOD, QOD, coliforms

V° B° DIRECTOR OF GRADUATE WORK

INTRODUCCIÓN

En Colombia la contaminación hídrica es evidente, esto se ha generado por la inadecuada recolección, tratamiento y disposición final de las aguas residuales.

En Santander el Río Lebrija ha presentado en el año 2015 dos episodios graves de mortandad de especies acuáticas, el 22 de Febrero y el 27 de Junio. Esto ha sido causante de múltiples denuncias por parte de la asociación de pescadores del río Lebrija (ASOPRIL), poblaciones agrícolas y organizaciones ambientalistas debido a la mortandad de alrededor de 500 toneladas de especies. Esta situación del Río responde al vertimiento de aguas residuales por parte de las empresas públicas y privadas del área metropolitana de Bucaramanga.

En la cuenca superior del Río Lebrija se encuentra localizada la represa de bocas, lugar en el cual confluyen todas las aguas cargadas de la contaminación industrial y domestica del área metropolitana de Bucaramanga. Como consecuencia de lo anterior los sedimentos se depositan en el fondo del embalse, lo que hace que se colme el lecho disminuyendo por ende el volumen de agua almacenada en la presa. Estos residuos depositados, al descomponerse producen la desoxigenación del agua, lo que afecta la biodiversidad acuática aguas abajo del embalse.

Este trabajo busca analizar la calidad del agua y la demanda bentina, y la afectación que se presenta sobre el componente biótico en un tramo seleccionado del Río Lebrija a la altura del embalse de Bocas. Para esto se realizó un diagnóstico de la condición actual del río teniendo en cuenta el índice de calidad del agua y la demanda bentina.

Esta investigación es de vital importancia pues significa un avance en la búsqueda de soluciones a la problemática presentada en el río Lebrija, además la medición de la demanda bentina no ha sido estudiada en la zona, y los datos arrojados pueden dar pie a otras investigaciones que ayuden con la problemática.

1 OBJETIVOS

1.1 OBJETIVO GENERAL

Analizar la calidad del agua y sedimentos en un tramo seleccionado del Río Lebrija a la altura del embalse de Bocas y la afectación en la problemática ambiental asociada al desarrollo del componente biótico.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar la Calidad del Agua aplicando el ICOs, ICAg e ICACOSU en un tramo seleccionado del Río Lebrija a la altura del embalse de Bocas.
- Determinar la Demanda Béntica presentada en un tramo seleccionado del Río Lebrija a la altura del embalse de Bocas.
- Relacionar la Demanda Béntica y Calidad del Agua con la problemática ambiental asociada al desarrollo del componente biótico.

2 MARCO TEÓRICO

El agua es uno de los recursos naturales fundamentales y es uno de los elementos más importantes y centrales para la supervivencia de cualquier forma de vida, pues es el componente más abundante en los medios orgánicos; compone aproximadamente el 70% de los seres vivos, es el principal disolvente gracias al establecimiento de enlaces de hidrógeno con otras moléculas, es el medio en el que se realizan la mayor parte de las reacciones bioquímicas, la elevada cohesión en sus moléculas le permite dar volumen a las células o actuar como esqueleto hidrostático en algunos animales invertebrados, permite el transporte de sustancias en el interior de los seres vivos y su intercambio con el medio externo, además su elevado calor específico permite mantener constante la temperatura interna de los seres vivos.

El porcentaje de agua dulce sobre total disponible en el planeta es del 2.5%. De este porcentaje el 0.78% son aguas subterráneas que no se pueden extraer, y el 1.71% está en forma de hielo en los glaciares polares, de manera que tan solo queda disponible un 0.007% disponible para el hombre. (USGS, 2012)

Existen dos ecosistemas acuáticos que se desarrollan en agua dulce: los ecosistemas lénticos formados por aguas estancadas y sin movimiento como lagos, presas y pantanos; y los ecosistemas lóticos que están formados por arroyos y ríos, estos últimos han sido usados como depósitos de desechos causando una modificación de la calidad del agua, haciéndola inadecuada y peligrosa para el consumo humano; esta contaminación también actúa sobre el medio ambiente acuático alterando su equilibrio (SANCHEZ, 2011)

2.1 CARACTERÍSTICAS DEL AGUA

Para conocer en qué condiciones se encuentra el agua de un río, se analizan una serie de parámetros de tipo físico, químico, y biológico. Los parámetros físico-químicos dan una información extensa de la naturaleza de las especies químicas del agua y las propiedades físicas, sin aportar información sobre su influencia sobre la vida acuática; los parámetros biológicos aportan esta información pero no arrojan nada acerca de los contaminantes responsables; por esta razón, es importante la utilización de los tres parámetros para evaluar un cuerpo hídrico. (Samboni, N. Carvajal, Y. y Escobar, J. 2007).

2.1.1 Parámetros físicos. Son los parámetros perceptibles por los sentidos (vista, olfato, tacto, sabor). Tienen una incidencia directa sobre el estado de un cuerpo hídrico. (Barrenechea, A. 2004).

➤ **Turbiedad.** La turbiedad es originada por las partículas en suspensión o coloides (arcillas, limo, tierra finamente dividida, etcétera). La turbiedad es causada por las partículas que forman los sistemas coloidales; es decir, aquellas que por su tamaño, se encuentran suspendidas y reducen la transparencia del agua en menor o mayor grado. La medición de la turbiedad se realiza mediante un turbidímetro o nefelómetro. Las unidades utilizadas son, por lo general, unidades nefelométricas de turbiedad (UNT). Aunque no se conocen los efectos directos de la turbiedad sobre la salud, esta afecta la calidad estética del agua, lo que muchas veces ocasiona el rechazo de los consumidores. Por otra parte, los estudios elaborados por Tracy y por Sanderson y Kelly han demostrado que en el proceso de eliminación de los organismos patógenos, por la acción de agentes químicos como el cloro, las partículas causantes de la turbiedad reducen la eficiencia del proceso y protegen físicamente a los microorganismos del contacto directo con el desinfectante (Barrenechea, A. 2004).

➤ **Color.** Esta característica del agua puede estar ligada a la turbiedad o presentarse independientemente de ella. Aún no es posible establecer las estructuras químicas fundamentales de las especies responsables del color. Esta característica del agua se atribuye comúnmente a la presencia de taninos, lignina, ácidos húmicos, ácidos grasos, ácidos fúlvicos, entre otros. Se considera que el color natural del agua, excluyendo el que resulta de descargas industriales, puede originarse por las siguientes causas: la extracción acuosa de sustancias de origen vegetal; la descomposición de la materia; la materia orgánica del suelo; la presencia de hierro, manganeso y otros compuestos metálicos. En la formación del color en el agua intervienen, entre otros factores, el pH, la temperatura, el tiempo de contacto, la materia disponible y la solubilidad de los compuestos coloreados. Se denomina color aparente a aquel que presenta el agua cruda o natural y color verdadero al que queda luego de que el agua ha sido filtrada. (Barrenechea, A. 2004).

➤ **Olor y sabor.** Estas características constituyen el motivo principal de rechazo por parte del consumidor. En términos prácticos, la falta de olor puede ser un indicio indirecto de la ausencia de contaminantes, tales como los compuestos fenólicos. Por otra parte, la presencia de olor a sulfuro de hidrógeno puede indicar una acción séptica de compuestos orgánicos en el agua. En la tabla 1 se presenta un resumen de algunos olores característicos del agua, de acuerdo a su origen.

Tabla 1. Olores característicos del agua de acuerdo a su origen

Naturaleza	Origen
Olor balsámico	Flores
Dulzor	<i>Coelosphaerium</i>
Olor químico	Aguas residuales industriales
Olor a cloro	Cloro libre
Olor a hidrocarburo	Refinería de petróleo
Olor medicamentoso	Fenol, yodoformo
Olor a azufre	Ácido sulfhídrico, H ₂ S
Olor a pescado	Pescado, mariscos
Olor séptico	Alcantarilla
Olor a tierra	Arcillas húmedas
Olor fecaloide	Retrete, alcantarilla
Olor a moho	Cueva húmeda
Olor a legumbres	Hierbas, hojas en descomposición

Fuente: Barrenechea, A 2004.

➤ **Temperatura.** La temperatura es una medida de la energía cinética media en las moléculas de agua, se mide en la escala de grados centígrados o Fahrenheit. Influye notablemente en la calidad del agua afectando características como la solubilidad de gases y sales, la cinética de las reacciones, la tensión superficial, y el desarrollo de organismos presentes en el agua. Es un indicador adecuado para el conocimiento del origen del agua y de la ocurrencia de posibles mezclas por lo tanto es importante la determinación exacta de la temperatura a que este factor físico es significativo en la variabilidad de los coeficientes de solubilidad de las sales y principalmente de los gases, lo cual afecta los valores de medición de conductividad y pH. La medición de la temperatura debe realizarse directamente, sin extraer la muestra, sumergiendo el termómetro en el cuerpo de agua.

La temperatura afecta la química del agua y las funciones de los organismos acuáticos, influye en:

- ✓ El aumento de la temperatura disminuye la concentración de oxígeno.
- ✓ Las temperaturas altas y el pH básico, favorecen que el amoníaco se encuentre en su forma tóxica.
- ✓ El consumo de oxígeno causado por la descomposición de la materia orgánica, se incrementa con el incremento de la temperatura.
- ✓ A mayor temperatura los fertilizantes se disuelven más rápido y los herbicidas son más efectivos.

Múltiples factores, principalmente ambientales, pueden hacer que la temperatura del agua varíe continuamente. Un aumento anormal (por causas no climáticas) de la temperatura del agua, suele tener su origen en el vertido de aguas utilizadas en procesos industriales de intercambio de calor. La temperatura se determina mediante termometría realizada “in situ”. (Ros, A 2011).

➤ **Conductividad.** La conductividad es una medida de la capacidad de una solución acuosa para transportar una corriente eléctrica. Esta capacidad depende de la presencia de iones disueltos, sus concentraciones absolutas y relativas, su movilidad y su valencia y de la temperatura y la viscosidad de la solución. Este parámetro sirve para estimar el contenido total de constituyentes iónicos. La medición física practicada en una determinación en el laboratorio suele ser de resistencia medida en ohmios. En el Sistema Internacional de Unidades el recíproco del ohmio es el siemens (S) y la conductividad se expresa en $\mu S/cm$.

La salinidad que es adimensional, se concibió inicialmente como la determinación de la masa de sales disueltas en una masa dada de solución, pero esta determinación experimental mediante desecación, presenta dificultades a causa de las pérdidas de algunos componentes. La única manera real de determinar la salinidad real o absoluta de un agua natural es realizar un costoso análisis químico completo, cuya precisión no siempre es satisfactoria. Así, se optó por determinarla indirectamente a través de diferentes métodos, entre ellos, la conductividad. Este presenta la mayor precisión pero responde sólo a solutos iónicos. (APHA, 2005)

Al ser indicativo de la materia ionizable en el agua, la conductividad será consecuencia de impurezas presentes en el agua. Por lo tanto es un buen parámetro para medir la calidad del agua, para que sea representativo se debe tener en cuenta que:

- ✓ No se trate de contaminación orgánica por sustancias no ionizables.
- ✓ Las mediciones sean realizadas a la misma temperatura.
- ✓ La composición del agua se mantenga en lo posible constante.

El aparato para realizar las mediciones es el conductímetro, que mide la resistencia al pasar corriente entre dos electrodos que se introducen en el agua.

En la tabla 2 se muestran los valores habituales de conductividad para aguas naturales y aguas tratadas

Tabla 2: Valores habituales de conductividad

AGUAS NATURALES	CONDUCTIVIDAD
Agua de mar	50.000-60.000 $\frac{\mu S}{cm}$
Aguas muy salobres	10.000-15.000 $\frac{\mu S}{cm}$
Aguas salobres	1.000-2.000 $\frac{\mu S}{cm}$
Aguas poco salobres	250-750 $\frac{\mu S}{cm}$
Aguas muy poco salobres	50-100 $\frac{\mu S}{cm}$
AGUAS TRATADAS	CONDUCTIVIDAD
Aguas osmotizadas	5-20 $\frac{\mu S}{cm}$
Aguas desmineralizadas	1-5 $\frac{\mu S}{cm}$
Aguas ultra puras	0,04-0,1 $\frac{\mu S}{cm}$

Fuente: American society for testing materials, 1994.

➤ **Sólidos suspendidos totales (SST).** El término “sólidos” se refiere al sólido suspendido o disuelto en el agua o en sus desechos. Los sólidos afectan negativamente la calidad del agua de distintas maneras: por ejemplo aguas con alto contenido de sólidos no son agradables para el gusto humano y pueden generar una reacción desfavorable en el consumidor. Aguas altamente mineralizadas también son poco aptas para muchas aplicaciones industriales, por estas razones un límite de 500 mg/l de sólidos es deseable para agua potable. El agua altamente mineralizada es inútil para muchas aplicaciones industriales; y las que poseen altos contenidos de sólidos disueltos pueden ser estéticamente insatisfactorias para propósitos como el baño (APHA, 2005)

Los sólidos totales son el material residual resultante en un recipiente luego de la evaporación de una muestra y su subsecuente secamiento en un horno a temperatura definida y constante; es decir, representan la suma de los sólidos disueltos o no retenidos a través de un filtro y los sólidos no disueltos o retenibles por filtración. Por tal razón, los diferentes tipos de sólidos son definidos arbitrariamente por el técnico al momento del análisis, según el método usado para su determinación. (APHA,2005)

El aumento en la turbidez aumenta la temperatura del agua, reduce la penetración de la luz y el crecimiento de las plantas, y afecta la capacidad de los peces para localizar y capturar a sus presas disminuyendo su visibilidad. Además los sedimentos en suspensión afectan su respiración.

2.1.2 Parámetros químicos. La química del agua es su capacidad de reaccionar frente a otros compuestos que pueden agregarse a ella, entre sus parámetros más importantes están:

➤ **Nitrógeno total.** El nitrógeno es un nutriente necesario para el crecimiento de plantas acuáticas y algas. No todas las formas de nitrógeno pueden ser utilizadas por ellas.

Todas las formas de nitrógeno son inofensivas a los organismos acuáticos excepto el amoníaco no ionizado y el nitrito, que puede ser tóxico para las especies acuáticas. El indicador Nitrógeno Total, corresponde a la relación entre la suma de los valores de nitratos, nitritos, nitrógeno orgánico y nitrógeno amoniacal muestreados. Todos los componentes deben ser expresados como mg/L. (DANE, 2011).

➤ **Fósforo total.** El Fósforo es un elemento esencial para la vida como un factor clave limitador de nutrientes, sin embargo contribuye junto con el Nitrógeno a la eutrofización de lagos y otros cuerpos de agua. El fósforo se encuentra en aguas naturales y residuales casi exclusivamente como fosfatos, los cuales se clasifican en ortofosfatos, fosfatos condensados (piro-, meta-, y otros polifosfatos) y fosfatos orgánicos. (DANE 2011)

➤ **Oxígeno disuelto (OD).** El oxígeno disuelto es la cantidad de oxígeno disuelto en el agua generado por la aireación y la fotosíntesis, la mayoría de los organismos acuáticos necesitan oxígeno para vivir, pues este contribuye no solamente a la respiración de especies acuáticas y plantas, sino también a organismos que son invisibles al ojo humano como las bacterias. La insuficiencia de oxígeno disuelto en el agua causa, muerte de especies, reducción en el crecimiento, y huevos y larvas afectados.

La solubilidad del oxígeno en el agua es directamente proporcional a la presión e inversamente proporcional a la temperatura y a la concentración de sales disueltas, además el agua contiene menos oxígeno en lugares altos y se establece como la concentración en mg/L.

Niveles bajos o ausencia de oxígeno en el agua. Puede indicar contaminación elevada, materia orgánica o una actividad bacteriana intensa; por ello se le puede considerar como un indicador de contaminación.

La presencia de oxígeno disuelto en el agua cruda depende de la temperatura, la presión y la mineralización del agua. La ley de Henry y Dalton dice: "La solubilidad de un gas en un líquido es directamente proporcional a la presión parcial e

inversamente proporcional a la temperatura". El agua destilada es capaz de disolver más oxígeno que el agua cruda.

De la observación de los datos de OD en algunos ríos se deduce que en la mayoría de ellos se presentan contaminaciones esporádicas que no afectan para nada el estado general de los mismos y representan solamente fenómenos locales. Por otra parte, durante el verano el caudal de un río disminuye, por lo que también lo hace la cantidad total de oxígeno disponible y por tanto el consumo de este por los seres vivos acuáticos aumenta por unidad de volumen. Por eso no es extraño que haya grandes diferencias entre el verano y el invierno en lo que se refiere al OD. Igualmente ocurre que este contenido varía del día a la noche, ya que los seres vivos consumen oxígeno para la respiración las 24 horas del día. Sin embargo, la fotosíntesis solo se realiza con el concurso de la luz solar. (Barrenechea, 2004).

➤ **Demanda Química de Oxígeno (DQO).** Es un parámetro que mide el material orgánico contenido en una muestra líquida mediante oxidación química. La determinación de DQO es una medida de la cantidad de oxígeno consumido por la porción de materia orgánica existente en la muestra. Específicamente representa el contenido orgánico total de la muestra, oxidable por dicromato en solución ácida.

El valor de la DQO es siempre superior a las DBO ya que muchas sustancias pueden oxidarse químicamente, pero no biológicamente.

La Unidad de medida de la DQO es $mg O_{2/L}$ y las aguas no contaminadas tienen valores de DQO de 1 a 5 $mg O_{2/L}$ mientras que las aguas residuales domésticas varían entre los 260 y 600 $mg O_{2/L}$. (Orrego, J, 2002)

➤ **Demanda Biológica de Oxígeno (DBO).** Uno de los ensayos más importantes para determinar la concentración de la materia orgánica de aguas residuales domésticas y aguas residuales no domésticas es el ensayo de DBO a 5 días. La DBO es una medida de la cantidad de oxígeno utilizado por los microorganismos en la estabilización de la materia orgánica biodegradable bajo condiciones aeróbicas en un periodo de 5 días y a 20°C. Permite calcular los efectos de las descargas de los efluentes domésticos e industriales en los cuerpos hídricos, es afectada por la temperatura del medio, las clases de microorganismos y el tipo de elementos nutritivos presentes. La Unidad de medida de la DBO es $mg O_{2/L}$. (APHA, 2005).

➤ **Potencial de hidrogeno (pH).** El término pH es una forma de expresar la concentración del ion hidrógeno. En general se usa para expresar la intensidad de

la condición ácida o alcalina de una solución, sin que esto quiera decir que mida la acidez total o la alcalinidad total. En las corrientes superficiales es un factor que debe considerarse debido a que según su valor pueden existir diferentes usos para el agua.

El principio básico de la medida electrométrica del pH se fundamenta en el registro potenciométrico de la actividad de los iones de hidrógeno por el uso de un electrodo de vidrio y un electrodo de referencia, o un electrodo combinado. El potencial entre los electrodos es proporcional a la concentración de iones hidrógeno en solución.

Su escala logarítmica tiene valores de 0 a 14, es decir que el incremento de una unidad en la escala es el equivalente a una disminución diez veces mayor en la concentración de iones de hidrogeno. Al disminuir el pH el agua se hace más acida.

El pH es una de las medidas más importantes y su determinación es la prueba más usada en química de aguas. La mayoría de las fases del tratamiento del agua de consumo y de las aguas de desecho, por ejemplo la neutralización, coagulación, desinfección, ablandamiento de aguas, entre otras, son dependientes del pH. (Standard Methods, 2005).

2.1.3 Parámetros biológicos. El agua es un medio donde literalmente miles de especies habitan y llevan a cabo su ciclo vital. El rango de los organismos acuáticos en tamaño y complejidad va desde el muy pequeño o unicelular hasta el pez de mayor tamaño. Estos miembros de la comunidad biológica son en algún sentido parámetros de la calidad del agua, dado que su presencia o ausencia puede indicar la situación en que se encuentra un cuerpo de agua.

Los parámetros biológicos son indicativos de la contaminación orgánica y biológica generada por la actividad natural y humana.

La contaminación causada por parámetros biológicos es más difícil de controlar que la química o física ya que para el control de esta los tratamientos deben estar regulándose constantemente.

Entre los parámetros biológicos se encuentran las bacterias coliformes que son utilizadas como indicadores de contaminación del agua.

➤ **Coliformes.** Hace referencia a un grupo de especies bacterianas que presentan características bioquímicas comunes como son: ser bacilos cortos Gram negativos, no esporulados, aerobios o anaerobios facultativos, que metabólicamente fermentan la lactosa con producción de gas en un lapso máximo de 48 h. a $35^{\circ} \text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$. Poseen la enzima B-galactosidasa. Este grupo de

bacterias coliformes está conformado por 4 géneros principalmente: *Enterobacter*, *Escherichia*, *Citrobacter* y *Klebsiella*. (Camacho, A., *et al.*, 2009)

El hábitat de la mayoría de bacterias coliformes es el tracto gastrointestinal del ser humano y animales homeotermos; sin embargo, también pueden sobrevivir en otros ambientes como el suelo, semillas y vegetales, razón por la cual se realiza la distinción entre los Coliformes Totales y Coliformes Fecales.

El término Coliformes Totales hace referencia a aquellos microorganismos que presentan las características bioquímicas características del grupo.

El término Coliformes Fecales, también denominado termotolerantes porque soportan temperaturas hasta de 45°C, son considerados como indicadores de la calidad de agua por su origen fecal. En su mayoría están representados por el microorganismo *Escherichia coli*; pueden pertenecer a este grupo otro tipo de bacterias menos frecuentes como son *Citrobacter freundii* y *Klebsiella pneumoniae*, que aunque son coliformes termotolerantes su origen se asocia normalmente a la vegetación y muy rara vez aparecen en el intestino. Entre un 90 y 100% del contenido microbiano de las heces fecales corresponde a *E. coli*. (Carrillo, E., Lozano, A., 2008)

Bioquímicamente la bacteria *E. coli* es un bacilo Gram negativo, capaz de desarrollarse en presencia de sales biliares u otros agentes (tensoactivos) que tengan propiedades similares e inhibitorias del crecimiento y que son capaces de fermentar la lactosa a temperaturas de 35°C +/- 2°C, con producción de ácido, gas y aldehído en un lapso de 18 a 48 horas. Oxidasa negativa, no esporógena y reduce el nitrato a nitrito. También es capaz de producir indol a partir de triptofano a una temperatura de 44°C +/- 05 en un tiempo de 21 +/- 3 horas. Poseen la enzima B-glucoronidasa, la cual es detectada por medios cromógenos o fluorógenos. (IDEAM, 2007)

Las bacterias formadoras de ácido, viven en un rango muy amplio de condiciones ambientales, mientras que las formadoras de metano son muy sensibles a los cambios; razón por la cual la fase formadora de metano es el paso que controla el proceso de descomposición. Si las bacterias formadoras del metano son inhibidas, las formadoras de ácidos, disminuirán el pH.

Los coliformes causan enfermedades infecciosas y parasitarias en las especies disminuyendo su capacidad de resistencia facilitando un ataque secundario de los llamados parásitos de la debilidad y consecuentemente enfermedades que comprometen la vida de estos animales. (Pino, A. 2003)

Para asegurar y controlar el adecuado crecimiento y desarrollo de la fauna acuática se establecieron unos valores estándar para los parámetros fisicoquímicos más influyentes. La tabla 3 muestra los parámetros de calidad del agua y sus valores para la vida acuática en los ríos con el fin de monitorear los cuerpos hídricos buscando la preservación de las especies.

Tabla 3: Parámetros de calidad del agua y sus valores estándar para la vida acuática

Parámetros de calidad del agua y sus valores estándar para la vida acuática en ríos	
Parámetro	Valores estándar
Oxígeno disuelto	>4.0 mg/l
Temperatura	15-28 °C
pH	7.5-8.5
Salinidad	Agua Dulce: <0.5ppt Agua salobre: 0.5-30 ppt Agua salada: 30-40 ppt Optimo: 15-25 ppt
Dióxido de carbono	< 10 ppm
Amonio	0-0.5 ppm
Nitrito	<1 ppm
Dureza	40-400 ppm
Alcalinidad	50-300 ppm
H ₂ S	0 ppm
DBO	< 5 mg/l

Fuente: William A Wurst, 1992

2.2 ÍNDICE DE CALIDAD DEL AGUA (ICA)

Un índice de calidad de agua desarrollado por la National Sanitation Foundation, es una expresión simple de una combinación más o menos compleja de un número de parámetros, los cuales sirven como una medida de la calidad del agua. El índice puede ser representado por un número, un rango, una descripción verbal, un símbolo o un color que se da por las condiciones físicas y químicas del cuerpo de agua.

Las condiciones fisicoquímicas permiten conocer problemas de contaminación y se basan en la combinación de diferentes parámetros como Oxígeno Disuelto, Demanda Bioquímica de Oxígeno, Nitrógeno Total, Fósforo Total, Sólidos Totales, Turbiedad, Coliformes Fecales, PH y Temperatura para proporcionar una visión de la calidad del agua. (IDEAM, 2007)

El índice de Calidad del Agua ICA es calculado como la multiplicación de todos los nueve parámetros elevados a un valor atribuido en función de la importancia del parámetro, como se muestra en la ecuación número 1.

Ecuación 1. Cálculo del ICA

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

Fuente: IDEAM, 2013

Dónde:

ICA.: índice de Calidad del Agua, un número entre 0 y 100, adimensional.
 Ci: Calidad del iésimo parámetro, un número entre 0 y 100, obtenido del respectivo gráfico de calidad, en función de su concentración o medida.
 Wi: Valor ponderado correspondiente al iésimo parámetro, atribuido en función de la importancia de ese parámetro para la conformación global de la calidad, un número entre 0 y 1. La sumatoria de valores w_i es igual a 1, siendo i el número de parámetros que entran en el cálculo. (IDEAM, 2013)

La relación entre el valor del ICA calculado y la calidad de agua se presenta a continuación en la tabla 4

Tabla 4. Relación, valor ICA y calidad

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

Fuente: IDEAM, 2013

Los valores calculados del indicador se comparan con los establecidos en tablas de interpretación permitiéndose clasificar la calidad del agua de forma descriptiva en una de cinco categorías (buena, aceptable, regular, mala ó muy mala) que a su vez se asocian a un determinado olor.

Los índices pueden ser usados para mejorar o aumentar la información de la calidad del agua, sus usos son:

- Manejo del recurso, los índices proveen información a personas que toman decisiones sobre el uso del recurso
- Clasificación de áreas, los índices son usados para comparar el estado del recurso en diferentes áreas geográficas.
- Aplicación de normatividad, en ciertas situaciones, es posible determinar si se está sobrepasando la normatividad ambiental y las políticas existentes.
- Análisis de la tendencia, el análisis de los índices en un periodo de tiempo, pueden mostrar si la calidad ambiental está disminuyendo o mejorando.
- Información pública, los índices pueden tener utilidad en acciones de concientización y educación ambiental.
- Investigación científica, tiene el propósito de simplificar una gran cantidad de datos de manera que se pueda analizar fácilmente y proporcionar una visión de los fenómenos medioambientales.

De acuerdo a Ramírez et al. (1999), las correlaciones halladas entre múltiples variables fisicoquímicos dieron origen a ciertos índices de contaminación complementarios e independientes de aplicación verificada conocidos como:

2.2.1 Índice de contaminación por conductividad. El cálculo del índice de contaminación por conductividad se muestra en las ecuaciones 2 y 3.

Ecuación 2: I Conductividad

$$I_{conductividad} = \text{Log}_{10} \cdot I_{conductividad} = 3.26 + 134 \text{Log}_{10} \cdot \text{conductividad} \left(\frac{\mu\text{S}}{\text{cm}} \right)$$

Ecuación 3: I. Conductividad

$$I_{Conductivida} = 10^{\text{Log.I.Conductividad}}$$

2.2.2 Índice de contaminación por materia orgánica ICOMO. Conformado por demanda bioquímica de oxígeno, coliformes totales y porcentaje de saturación de oxígeno, la fórmula de aplicación se muestra en la ecuación 4.

Ecuación 4: Calculo del ICOMO

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

Donde la ecuación 5 corresponde a I_{DBO}

Ecuación 5: Calculo de I.DBO

$$I_{DBO} = -0.05 + 0.70 \text{Log}_{10}.DBO \left(\frac{mg}{L} \right)$$

$$\text{Si } DBO > 30 \left(\frac{mg}{l} \right) = 1$$

$$\text{Si } DBO < 30 \left(\frac{mg}{l} \right) = 1$$

La ecuación 6 corresponde al cálculo de $I_{ColiformesTotales}$

Ecuación 6: Calculo I.ColiformesTotales

$$I_{ColiformesTotales} = -1.44 + 0.56 \text{Log}_{10}.Col.Tot. \left(\frac{NMP}{100ml} \right)$$

$$\text{Si } Coliformes\ Totales > 20.000 \left(\frac{NMP}{100ml} \right) = 1$$

$$\text{Si } Coliformes\ Totales < 500 \left(\frac{NMP}{100ml} \right) = 0$$

$$I_{Oxigeno\%} = 1 - 0.01Oxigeno\%$$

2.3 Índice de contaminación por solidos suspendidos –ICOSUS. En la ecuación 7 se muestra el cálculo para el ICOSUS.

Ecuación 7: Calculo ICOSUS

$$ICOSUS = -0.02 + 0.003 \text{SolidosSuspendidos} \left(\frac{mg}{L} \right)$$

$$\text{Si } Solidos\ suspendidos > a\ 340 \left(\frac{mg}{l} \right) \text{ tienen un } ICOSUS = 1$$

$$\text{Si } Solidos\ suspendidos < 10 \left(\frac{mg}{l} \right) \text{ tienen un } ICOSUS = 0$$

En la tabla número 5 se observan los rangos establecidos para determinar el grado de contaminación según el ICOs.

Tabla 5: Significancia de los índices de contaminación ICOs

ICO	Grado de contaminación	Escala de color
0-0.2	Ningún	Azul
>0.2-0.4	Baja	Verde
>0.4-0.6	Media	Amarillo
>0.6-0.8	Alta	Naranja
>0.8-1	Muy Alta	Rojo

Fuente: Ramírez et al. (1999)

2.3.1 Subíndice de porcentaje de saturación (Ps) de oxígeno disuelto (OD).

Esta variable tiene el papel biológico fundamental de definir la presencia o ausencia potencial de especies acuáticas, su cálculo se muestra en la ecuación 8

Ecuación 8: Ecuación para cálculo de porcentaje de saturación de oxígeno disuelto

$$PS = OD * \frac{100}{C_p}$$

Dónde:

PS: porcentaje de saturación

OD: oxígeno disuelto (mg/L)

C_p: concentración de equilibrio de oxígeno (mg/L), su cálculo se muestra en la ecuación número 9.

Ecuación 9. Ecuación para el cálculo de la concentración de equilibrio de oxígeno

$$C_p = C^* * P \left(\frac{(1 - \frac{p_w}{p}) * (1 - \theta p)}{(1 - p_w) * (1 - \theta)} \right)$$

Dónde:

C* = concentración de equilibrio de oxígeno, a la presión estándar de una atmosfera (mg/L)

P = presión no estándar (atmosferas)

P_w = presión parcial de vapor de agua (atmosferas)

θ = factor de corrección de la temperatura a condiciones estándar (°C)

2.3.2 ICACOSU El Índice de Calidad del Agua ICACOSU reduce grandes volúmenes de datos de campo a un simple valor numérico de cero (0) a uno (1) y se clasifica según la calidad del agua en orden ascendente en una de las cinco categorías siguientes: muy malo, malo, medio, bueno y excelente.

El índice toma en cuenta una amplia gama de factores ambientales (incluyendo contaminantes específicos y características claves de la columna de agua) pero no tiene en cuenta eventos físicos trascendentes. (IDEAM, 2013).

El ICACOSU global o total tiene en cuenta dos componentes: el primero se denomina ICACOSU fisicoquímico agregado, ICACOSU_{fa} y el segundo, un componente debido al caudal, ILCAG y se puede expresar matemáticamente como se muestra en la ecuación 10.

Ecuación 10: ICACOSU_g

$$\text{ICACOSU}_g = \text{ICACOSU}_{fa} * 0.8 + \text{ILCAG} * 0.2$$

Dónde:

ICACOSU_g: es el índice de calidad del agua para corrientes superficiales general

ICACOSU_{fa}: es el índice agregado de calidad fisicoquímica para las mismas corrientes

ILCAG: es el índice lótico de capacidad ambiental general desarrollado por Ramírez y Viña en 1998 correspondiente a:

ILCAG = 0.333*Log (Caudal)

El descriptor del índice corresponderá según su magnitud a una jerarquía de calidad que también se puede representar gráficamente por un color como se muestra en la tabla 6

Tabla 6. Jerarquía, categoría y rango ICACosu

Categoría	Rango	Escala de color
Muy Malo	0- 0.25	Rojo
Malo	0.26-0.50	Naranja
Medio	0.51-0.70	Amarillo
Bueno	0.71-0.90	Verde
Excelente	0.91-1.00	Azul

Fuente: IDEAM 2013.

En la ecuación 11 se observa el cálculo correspondiente para obtener el ICACOSU_g

Ecuación 11. Calculo ICACOSU

$$ICACOSU_g = ICACOSU_{fa} * 0.8 + ILCAG * 0.2$$

Dónde:

$ICACOSU_g$: Índice de calidad del agua para corrientes superficiales general

$ICACOSU_{fa}$: Índice agregado de calidad fisicoquímica para las mismas corrientes

ILCAG: Índice lotico de capacidad ambiental general que corresponde a:

La ecuación 12 corresponde al cálculo del ILCAG necesario para calcular el ICACOSU_g

Ecuación 12. Calculo ILCAG

$$ILCAG = 0.333 * \text{Log}(\text{caudal})$$

La tabla 7 muestra los factores de ponderación asignados para las variables ICACOSU

Tabla 7. Factores de ponderación de las variables de ICACOSU

VARIABLE	UNIDADES	FACTOR DE PONDERACIÓN
Oxígeno disuelto	% de saturación	0,20
Coliformes fecales	NMP/100 mL	0,18
Solidos suspendidos	mg/L	0,15
DBO	mg O ₂ /L	0,15
DQO	mg O ₂ /L	0,12
Conductividad	μS/cm	0,12
PH	Unidades de pH	0,08

Fuente: IDEAM 2013

Para calcular el ICACOSUfa se utiliza una suma lineal ponderada de los subíndices que son expresadas matemáticamente en la ecuación numero 13

Ecuación 13. Ecuación para el cálculo del ICACOSU

$$ICACOSU = \sum_{i=1}^n w_i SI_i$$

Donde:

W_i= Peso de importancia asignado a cada variable.

SI_i=subíndice de calidad de acuerdo a las ecuaciones.

Las variables consideradas en el ICACOSU tendrían su representación como se muestre en la tabla número 8.

Tabla 8: Variables consideradas para el ICACOSU

Categoría	ICACOSU completo	ICACOSU Básico
Nivel de oxígeno	Porcentaje de saturación DBO, DQO	OD y DQO
Eutrofización	Ninguna	Ninguna
Aspectos de salud	Coliformes Fecales	Ninguna
Características Físicas	Ninguna	Ninguna
Sustancias Disueltas	Conductividad, Sólidos suspendidos y pH	Conductividad, sólidos suspendidos y pH

Fuente: IDEAM 2013

De esta manera el índice tanto en su expresión completa como básica contempla especialmente dos categorías, una que considera el nivel de oxígeno, que involucra a su vez, variables que denotan procesos de óxido-reducción de la materia orgánica, como lo son las demandas de oxígeno, tanto bioquímica como química; y otra correspondiente a las sustancias disueltas, en la que se estiman 3 procesos diferentes, uno de ellos, la mineralización representada tan solo en la conductividad. El ICACOSU completo contempla a las coliformes fecales como única variable que representaría los aspectos relativos a la salud.

2.4 DEMANDA BÉNTICA (SOD)

El estado del oxígeno disuelto de un cuerpo hídrico es uno de los parámetros más importantes al estudiar la calidad del agua, la demanda de oxígeno disuelto se debe dividir en dos fracciones: demanda de oxígeno de los sedimentos (SOD) y la demanda de oxígeno de la columna de agua.

La generación de capas de sedimentos en los ríos ya sea procedente de materiales sedimentables o por vertimiento de agua residuales, genera una demanda de oxígeno que se debe a la degradación de materia orgánica presente en los sedimentos. La capa superficial de sedimentos del fondo está siempre en contacto directo con el agua y es en donde se va a producir la demanda de oxígeno; sin embargo, el oxígeno disuelto también puede difundirse a través de la capa de materiales depositados, razón por la cual hay una capa activa en el interior del sedimento. (Suarez J, Fernández N, 2009).

La demanda de oxígeno de los sedimentos se define como la tasa en la cual el oxígeno es removido de la columna de agua de la superficie, debido a la respiración de organismos bénticos y a la descomposición de la materia orgánica la cual necesita oxígeno para su descomposición por lo que contribuye al decaimiento de los niveles de oxígeno disuelto en el agua. (Phoa L, 2008)

Los procesos involucrados en el consumo del oxígeno disuelto en los sedimentos incluyen la mineralización de la materia orgánica particulada, lo que produce soluciones intermedias que pueden ser consumidas a través del metabolismo bacteriano o la oxidación química (Di Toro, 2001). Otras fuentes de SOD son los compuestos químicos anaeróbicos que se encuentran en el lecho y la DBO particulada que se sedimenta de la columna de agua. La nitrificación del amonio presente en la columna de agua que se encuentra cerca a los sedimentos pueden ser una fuente adicional de SOD (Lee and Jones-Lee 2003). Esto es el resultado de la combinación de todos los procesos consumidores de oxígeno que se dan justo bajo la interface agua-sedimentos.

La demanda béntica se ve afectada por las condiciones en el fondo del cuerpo hídrico, pues varían desde depósitos de residuos de origen doméstico e industrial a residuos de origen vegetal, rocas y arenas. Una demanda béntica alta está asociada a sedimentos con alto contenido de materia orgánica y una demanda béntica baja está asociada a sedimentos con un alto porcentaje de arena. En la figura 1 se puede observar el ciclo del oxígeno disuelto en el agua y como se llevan a cabo las reacciones de oxidación química, nitrificación, oxidación biológica y como se van formando los sedimentos.

Figura 1. Ciclo del oxígeno disuelto en un cuerpo hídrico



Fuente: Doyle y Rounds, 2003

Los primeros estudios que se realizaron para medir la SOD fueron de Fair, Moore y Thomas en el año 1941, como resultado de ellos se puede establecer la relaciones entre la demanda de oxígeno de los sedimentos de río (procedentes de aguas residuales), la tasa de sedimentación de sólidos en suspensión y el contenido de materia orgánica de los sedimentos (expresado en sólidos volátiles). Algunas otras investigaciones realizadas por Gardiner, Auer y Canale en 1984 han relacionado la SOD con la DQO revelando que la SOD es proporcional a la raíz cuadrada del contenido orgánico del sedimentos expresado en sólidos volátiles o DQO.

Para la determinación de la actividad béntica de este trabajo se siguieron las ecuaciones (Ecuación 14 y 15) propuestas por Nolan y Johnson y por Murphy y Hicks, correspondientes a:

Ecuación 14: Ecuación de Nolan y Johnson.

$$SOD = \frac{[(O_i - O_f) - (B_i - B_f)]V}{SA * t}$$

Dónde:

O_i: cantidad de oxígeno disuelto inicial en la cámara (mg O₂/L)

O_f: cantidad de oxígeno disuelto final en la cámara (mg O₂/L)

B_i: cantidad de oxígeno inicial en el Winkler transparente (mg O₂/L)

B_f: cantidad de oxígeno final en la botella ámbar (mg O₂/L)

SA: área superficial del sedimento (m)

T: tiempo

Ecuación 15: Ecuación de Murphy y Hicks.

$$SOD = 1,44 \frac{V}{A} b$$

Donde:

V: volumen de la cámara medido (L)

A: área superficial de los sedimentos

b: pendiente de la curva de decaimiento de oxígeno disuelto

2.4.1 Factores que afectan la SOD. Entre los factores que afectan la demanda béntica están:

➤ **Materia orgánica.** El principal factor contribuyente a la SOD es la deposición y consecuente descomposición de la materia orgánica. Esta descomposición ocurre por medio de reacciones de oxidoreducción las cuales pueden ser abióticas, pero que típicamente son facilitadas por organismos microbianos.

La SOD varía de acuerdo a la cantidad y el tipo de materia orgánica que se encuentre cerca de la interfaz agua sedimento. También depende de la tasa de materia orgánica soluble reducida que es transportada hacia la interfaz agua sedimento y la tasa a la que el oxígeno disuelto a partir de la columna de agua es transportada a los sedimentos. (Mateus I, 2011).

Gracias a la acción de bacterias de la putrefacción sobre la materia orgánica se forma el amoníaco, un gas formado de un átomo de nitrógeno y tres de hidrogeno. Es incoloro, más ligero que el aire, con un olor desagradable que irrita los ojos y las vías respiratorias. El amoníaco resulta muy toxico para los peces causando inhibición del crecimiento, disminución de la fecundidad, disminución de las defensas frente a las enfermedades, irritación del sistema nervioso, pérdida de color en las aletas y destrucción branquial. (Blanco, 2005)

➤ **Oxígeno disuelto.** Si la concentración del OD en el agua es cero la SOD se hace cero. Esta dependencia está limitada a un nivel de OD al cual la SOD se hace independiente de éste. De acuerdo a Baity (1938) este fenómeno sucede en cuerpos de agua que tienen altos niveles de oxígeno disuelto ($> 2 \text{ mg O}_2/\text{L}$).

➤ **Velocidad de la corriente.** Se han realizado varios estudios para cuantificar el efecto de la velocidad del agua en la medición de la SOD. Whittemore (1986) reportó que la SOD se duplicó cuando duplicó la velocidad de la corriente durante el desarrollo de la medición de la SOD en laboratorio. Otros investigadores han notado un incremento lineal en el valor de la SOD cuando aumentan la velocidad del agua dentro de la cámara (Mackenthum y Stefan, 1998).

Para observar la dinámica de los sedimentos se pueden emplear a nivel de laboratorio trazadores, las cuales son sustancias que se introducen en un sistema con el fin de estudiar la evolución temporal y/o espacial de determinado proceso físico, químico, biológico o industrial; a través de su detección o medición. Basado en un esto se ha utilizado como método para evaluar el comportamiento dinámico de flujo en el modelo de estudio. (Pérez G, Patiño J, 2006)

➤ **Macroinvertebrados bénticos.** Existe una gran influencia entre la presencia de lombrices tubicidas y la demanda béntica. Esta puede ser debida al incremento

en la profundidad a la cual puede penetrar el oxígeno, y del área superficial efectiva sobre la cual ocurre la demanda y transporte de sustancias orgánicas hasta la superficie por medio de los macroinvertebrados.

En la tabla número 9 se observan los valores habituales de la tasa de SOD dependiendo del tipo de fondo.

Tabla 9: Valores habituales SOD

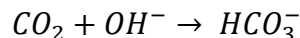
Tipo de fondo	SOD
Zonas de río próximas a vertidos de aguas residuales en río	2 a $10gO_2/m^2 día$
Zonas de río afectadas por vertidos de aguas residuales urbanas pero algo alejadas. Fondos fangosos de estuarios.	1 a $2gO_2/m^2 día$
Fondos de arena	0.2 a $1gO_2/m^2 día$
Fondos minerales	0.05 a $0.1gO_2/m^2 día$

Fuente: EPA, 1985

2.5 ACTIVIDAD METANOGÉNICA

La actividad metanogénica mide la máxima velocidad de producción de metano y la fracción de bacterias metanogénicas en el lodo. Se mide cuando el sustrato para las bacterias no es limitante, y se agrega exceso de ácidos grasos volátiles. Durante la prueba, las condiciones son óptimas para las bacterias, de modo que se presenta un crecimiento en el lodo, y no es necesaria la agregación de micronutrientes ya que generalmente estos están presentes en los lodos. La composición del gas que se produce no es totalmente metano, hay gases como CO_2 , que es producto de las bacterias no metánicas para eliminarlos de la lectura, el biogás se pasa por soda caustica para que sea absorbido. La absorción de CO_2 se muestra matemáticamente en la ecuación 16.

Ecuación 16: Absorción CO_2 con soda caustica



El sustrato principal de las bacterias metanogénicas es el ácido acético, por lo tanto para medir la producción máxima de gas se requiere un exceso de este. Los valores típicos de actividad metanogénica se observan en la tabla 10.

Tabla 10: Valores típicos de actividad metanogénica de lodos.

Lodo de lagunas, canales	0.04 g DQO/g de SV-d
Lodo de digestores	0.10 g DQO/g de SV-d
Lodo de floculante UASB	0.25 g DQO/g de SV-d
Lodo granulado de UASB	0.80 g DQO/g de SV-d

Fuente: El autor.

En la ecuación número 17 se observa

Ecuación 17: ecuación de actividad metanogénica

$$\frac{g \text{ DQO}}{g \text{ SV} * \text{ dia}} = \frac{\text{total } CH_4 \text{ mL} * 24 \text{ horas/dia}}{29 \text{ horas} * 1,5 \text{ SV} * 360 \text{ ml} \frac{CH_4}{g} \text{ SV dia}}$$

Donde:

g: gramos

DQO: demanda química de oxígeno

SV: solidos volátiles

CH₄: metano

Para realizar muestreos y obtener resultados de parámetros físicos, químicos y biológicos en un cuerpo hídrico es importante tener en cuenta los tipos de muestra que se pueden realizar dependiendo de las condiciones del río.

2.6 TIPOS DE MUESTRA

2.6.1 Muestra puntual. Las muestras puntuales representa la composición de la fuente en un punto, tiempo y circunstancias determinadas. Cuando la composición de una fuente es constante durante un tiempo prolongado, se puede decir que la muestra puntual representa un intervalo de tiempo o un volumen más extenso.

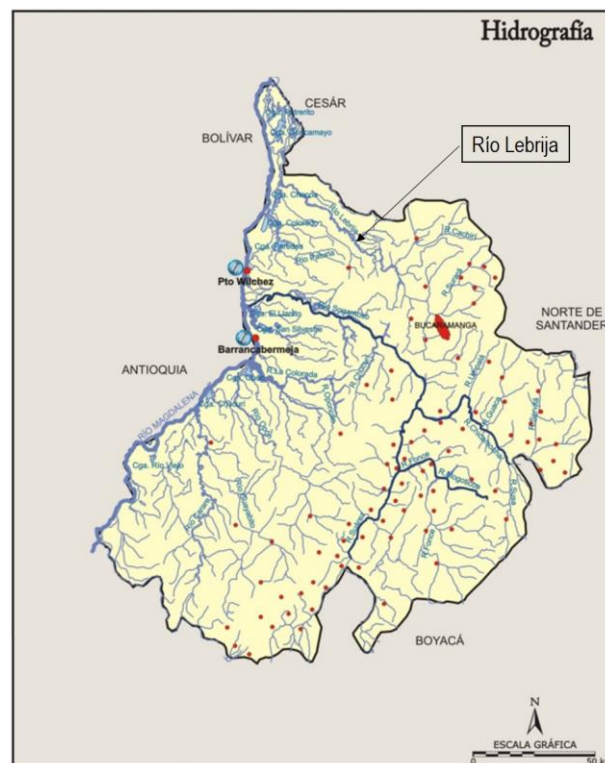
2.6.2 Muestra integrada. Las muestras integradas se componen de varias muestras puntuales tomadas simultáneamente. Estas muestras se toman cuando la corriente hídrica superficial varía en composición a lo ancho y profundo de su cauce.

2.7 PROBLEMÁTICA EN EL RÍO LEBRIJA, COLOMBIA

El territorio santandereano cuenta con abundantes recursos hídricos y su red hidrográfica se encuentra conformada por numerosos ríos, quebradas y corrientes menores; que en su mayoría son afluentes del río Magdalena, el cual recorre el departamento por el costado occidental en una longitud aproximada de 289 km.

Uno de los principales componentes de la hidrografía del departamento de Santander es el Río Lebrija. Esta corriente hídrica nace al noreste del municipio de Piedecuesta y desemboca en el río Magdalena, irrigando con las aguas de sus afluentes el valle de Piedecuesta, para luego tomar hacia el norte al pasar por la meseta de Bucaramanga, donde toma el nombre del río de Oro. Al recibir las aguas de la subcuenca del río Suratá a través de sus afluentes los ríos Frío y Tona, le suministran agua potable al área metropolitana de Bucaramanga y en su zona baja se sitúan los distritos de riego de Lebrija y Magará. Muy cerca de su desembocadura sigue con rumbo norte y su cauce se divide en numerosos caños que alimentan varias ciénagas, para tributar finalmente sus aguas al río Magdalena, en dos grandes brazos que encierran el delta fluvial que se ha formado en su desembocadura. La figura 2 muestra la localización del Río Lebrija en el departamento de Santander.

Figura 2. Localización del Río Lebrija en el Departamento de Santander.

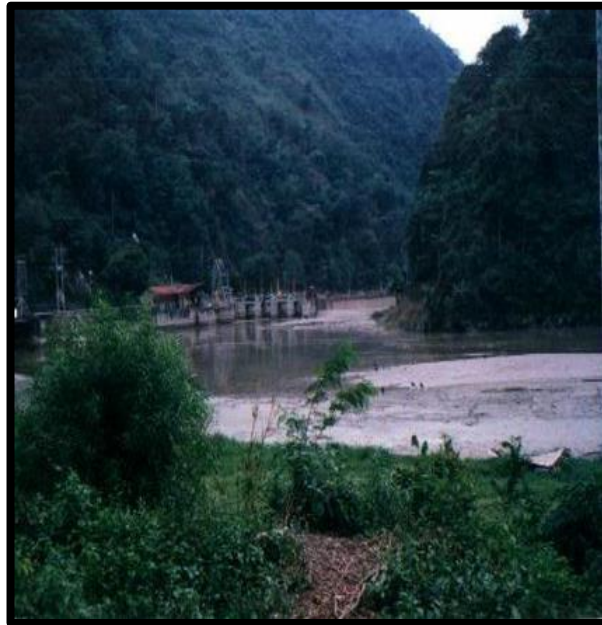


Fuente: Sociedad Geográfica de Colombia. Atlas de Colombia, IGAC, 2002.

La cuenca del Río Lebrija posee una extensión de 879.000 Ha, de las cuales el 54%, corresponden al departamento de Santander y el 46% restante al departamento del Cesar. Morfométricamente el cauce tiene una pendiente de 16 m/km desde su nacimiento a 3.800 msnm, hasta su desembocadura a 65 msnm, y una longitud de 228 km. El caudal medio multianual calculado para la cuenca es de 150.3 m³/s y el máximo multianual es de 462.90 m³/s. La zona baja es de características inundables en épocas de invierno, debido a la cantidad de ciénagas y brazos que conforman el valle aluvial del río en este sector, el cual es muy plano, con una pendiente media de solo 0.20m/km, en un trayecto de 56 km. Las principales subcuencas del río en el departamento de Santander son las de Cáchira del Espíritu Santo, Cáchira sur, Salamanca, Santa Cruz, Suratá y río de Oro. (Contraloría General de Santander, 2014)

En la cuenca superior del río se encuentra localizada la Represa de Bocas (Figura 3), ubicada en el corregimiento del mismo nombre, la cual es un embalse asociado a la Central Hidroeléctrica de Palmas, que ha llegado a generar 109.5 GwH al año. (ESSA, 2105).

Figura 3. Embalse de Bocas.



Fuente: Bernal W., 2010.

La contaminación del Río Lebrija responde al vertimiento de aguas residuales por parte de las empresas públicas y privadas del área metropolitana de Bucaramanga como la EMAB (Empresa de aseo de Bucaramanga), por el rebose de los lixiviados del relleno sanitario el Carrasco, la EMPAS (Empresa pública de alcantarillado de Santander), por la descarga de aguas residuales que son

arrastradas desde el Río Frio, Río de Oro y Río Negro hasta el Río Lebrija, la ESSA (Electrificadora de Santander S.A) que debe abrir las esclusas de la represa que llevan consigo la asociación de miles de sustancias de desecho derivadas del área metropolitana que infectan el agua y afectan su fauna asociada. Esto ha sido causante de múltiples denuncias especialmente por parte de la asociación de pescadores del río Lebrija (ASOPRIL) por la mortandad de especies como los bocachicos (*Prochilodus magdalenae*), las doradas (*Sparus aurata*), los bagres (*Pimelodus labrosus*), las picúas (*Sphyraena barracuda*), los blanquillos (*Pirinampus pirinampu*), entre otros. La figura 4 corresponde a un registro fotográfico donde se evidencia la mortandad de peces cerca de la represa de bocas en el mes de Febrero del año 2015 que alcanzó las 500 toneladas. (Cabildo verde, 2014) Toda esta situación ha perjudicado a alrededor de 1500 familias que viven de la pesca en el río y que se ven obligadas a consumir y utilizar el agua contaminada para sus actividades diarias.

Figura 4. Fotografías de la mortandad de peces, Río Lebrija



Fuente: Cabildo verde, 2015.

El representante del área ambiental de la Electrificadora de Santander manifestó que el problema de la represa de Bocas es cada día mayor porque el nivel de lodos y de materia orgánica aumenta de manera exponencial.

En consecuencia, los vasos desarenadores, y en general el sistema de control y reducción de este material, se vuelve cada día menos eficiente ante la cantidad de carga que se recibe, lo que obliga a que deban ser más frecuentes las aperturas controladas de las esclusas, hecho que afecta la cuenca media del río.(AMB, 2015)

Según la normatividad Colombiana el decreto 1594 de 1984 establece los parámetros para los diversos tratamiento de aguas de acuerdo a sus uso y disposición.

El artículo 45 establece los criterios de calidad admisibles para la destinación del recurso para preservación de la flora y fauna en aguas dulces frías o cálidas y en aguas marina estuarinas como se muestran en la tabla 11.

Tabla 11: Criterios de calidad admisibles para la destinación del recurso para la preservación de flora y fauna.

REFERENCIA	UNIDADES	AGUA FRIA DULCE	AGUA CALIDA DULCE	AGUA MARINA Y ESTUARINA
Clorofenoles	Clorofenol	0.5	0.5	0.5
Difenil	Concentración de agente activo	0.0001	0.0001	0.0001
Oxígeno disuelto	-	5.0	4.0	4.0
pH	Unidades de pH	5.5-9.0	4.5-9.0	6.5-8.5
Sulfuro de hidrogeno ionizado	H ₂ S	0.0002	0.0002	0.0002
Amoniaco	NH ₃	0.1CL	0.1CL	0.1CL
Arsénico	As	0.1CL	0.1CL	0.1CL
Bario	Ba	0.1CL	0.1CL	0.1CL
Berilio	Be	0.1CL	0.1CL	0.1CL
Cadmio	Cd	0.01CL	0.01CL	0.01CL
Cianuro libre	CN	0.05CL	0.05CL	0.05CL
Cinc	Zn	0.1CL	0.1CL	0.1CL
Cloro total residual	Cl ₂	0.1CL	0.1CL	0.1CL
Cobre	Cu	0.1CL	0.1CL	0.1CL
Cromo hexavalente	Cr ⁺⁶	0.01CL	0.01CL	0.01CL
Fenoles monohidricos	Fenoles	1.0CL	1.0CL	1.0CL
Grasas y aceites	Grasas como porcentaje de solidos secos	0.01CL	0.01CL	0.01CL
Hierro	Fe	0.1CL	0.1CL	0.1CL
Manganeso	Mn	0.1CL	0.1CL	0.1CL
Mercurio	Hg	0.01CL	0.01CL	0.01CL
Níquel	Ni	0.01CL	0.01CL	0.01CL
Plaguicidas Organofosforados	Concentración de agente activo	0.05CL	0.05CL	0.05CL
Plaguicidas organoclorados	Concentración de agente activo	0.001CL	0.001CL	0.001CL
Plata	Ag	0.01CL	0.01CL	0.01CL
Plomo	Pb	0.01CL	0.01CL	0.01CL
Selenio	Se	0.01CL	0.01CL	0.01CL
Tensoactivos	Sustancias activas al azul de metileno	0.143CL	0.143CL	0.143CL

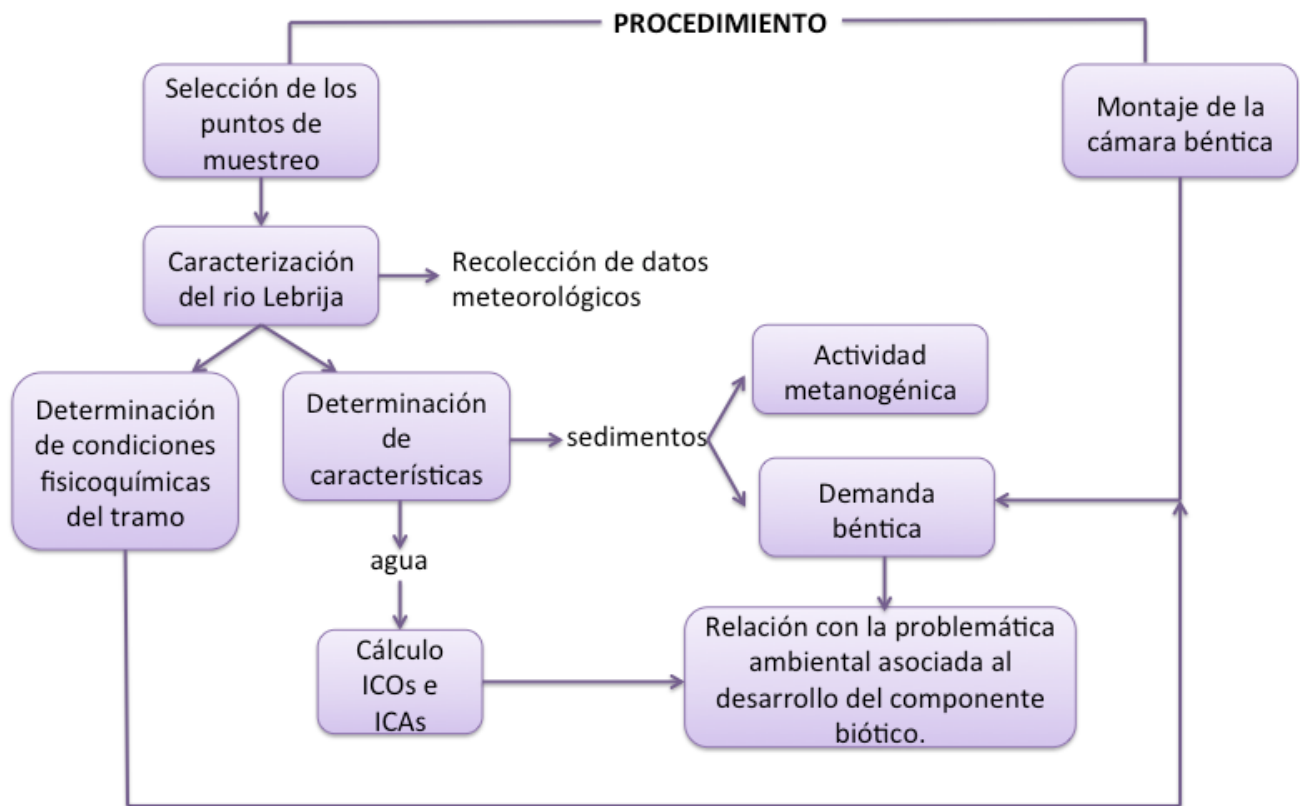
*CL: concentración letal

Fuente: Decreto 1594, 1984

3 METODOLOGÍA

La metodología planteada para el desarrollo del presente trabajo se resume en la figura 5. El trabajo de laboratorio se realizó en las instalaciones de un laboratorio acreditado por IDEAM en toma de muestra de aguas y sedimento y en las técnicas analíticas utilizadas.

Figura 5. Metodología empleada



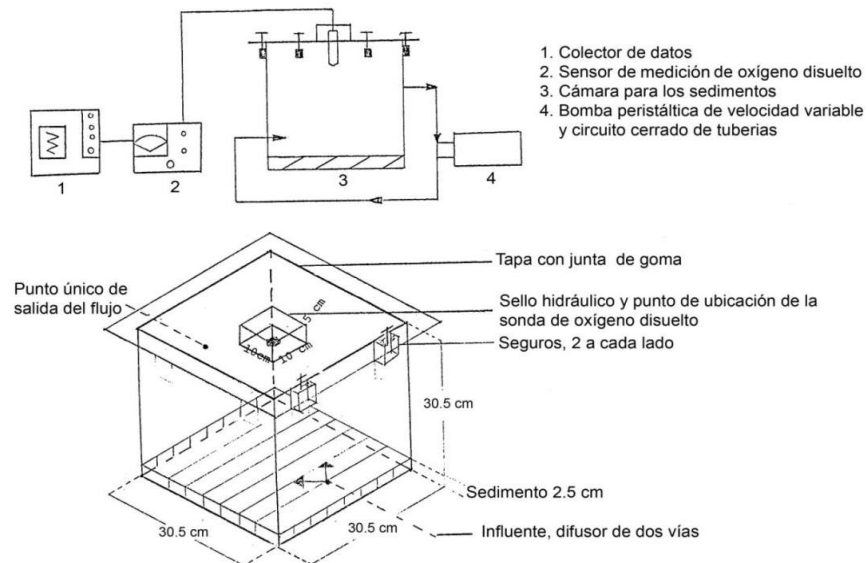
Fuente: El autor

3.1 MONTAJE DE LA CÁMARA DE DEMANDA BÉNTICA

El montaje de la cámara de medición de la demanda béntica se realizó en las instalaciones del laboratorio. Se hizo una adaptación de la cámara diseñada por Nolan y Johnson descrita en Method For Measuring Sediment Oxygen Demand Using A Bench Model Benthic Respirometer (Nolan, Johnson, 1979).

El diseño y las dimensiones usadas para la construcción de la cámara para la medición de la demanda béntica se muestran en la figura 6.

Figura 6. Diseño de la cámara béntica



Fuente: Mateus García, 2011

El material que se usó para la construcción fue acrílico y se realizó el siguiente procedimiento para su construcción:

En primer lugar, se perforó en la parte superior de la cámara un agujero para introducir una sonda multiparamétrica para la medición de oxígeno disuelto, conductividad y pH. Posteriormente, se construyó alrededor del agujero un depósito para crear un sello cuando la sonda este en su lugar.

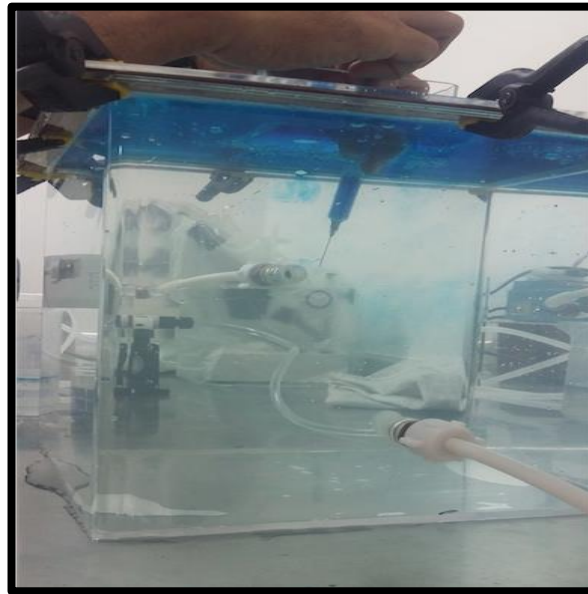
Luego se realizaron dos agujeros en cada lateral (frontal y trasera) en los que se instaló una tubería para permitir la recirculación de agua con ayuda de una bomba. Finalmente se aseguró con sellos hidráulicos, para evitar fugas de aire y de agua.

Después de armada la cámara se realizaron tres pruebas para verificar el correcto funcionamiento de esta; la primera prueba se realizó poniendo la cámara en

funcionamiento y posteriormente se inyectó anilina en la manguera de entrada de agua, esto con el fin de probar el sistema de recirculación de la cámara.

En esta prueba se observó que la cámara no presentaba pérdidas de agua, además se decidió realizar una adaptación en la manguera de entrada de agua debido a que en las posiciones más altas de la bomba se presentaba contraflujo en la cámara. En la figura 7 se observa la prueba de anilina realizada.

Figura 7. Prueba realizada con anilina.



Fuente: El autor

Después se realizó una prueba de sedimentación; en esta prueba se determinó el tiempo aproximado de sedimentación del lodo, para esto se hicieron dos pruebas una en la que se colocó arena estéril y otra en la que se colocó lodo de río en el fondo de la cámara, después se llenó de agua y se contabilizó el tiempo en el que se demoraron las partículas de arena y lodo en sedimentarse.

Se determinó que el tiempo de sedimentación del lodo es mayor a 10 minutos, por esta razón se decidió utilizar una lámina de etilvinilacetato para realizar el llenado con agua de la cámara y así disminuir el tiempo de sedimentación del mismo.

En las figuras 8 y 9 se muestra la realización de esta prueba.

Figura 8. Prueba de sedimento



Fuente: El autor

Figura 9. Prueba de sedimento



Fuente: El autor

Por último, se realizó la prueba de velocidades de la bomba, en esta prueba se realizaron aforos volumétricos en 12 posiciones diferentes de la misma, esto se realizó de la siguiente forma: se llenó un recipiente plástico de agua y simultáneamente se midió el tiempo que duro el llenado, posteriormente se determinó el volumen recogido con ayuda de una probeta y finalmente se aplicó la

ecuación 18 para la determinación de caudal. Esto se realizó en cada una de las posiciones escogidas.

Ecuación 18: Ecuación para el cálculo de caudal

$$Q = \frac{V}{t}$$

Donde:

Q: Caudal (L/s)

V: Volumen de agua recogido (L)

t: Tiempo de llenado del recipiente (s)

En esta prueba se determinó que la bomba puede trabajar en un rango de caudales entre 0,04 L/s y 6,59 L/s.

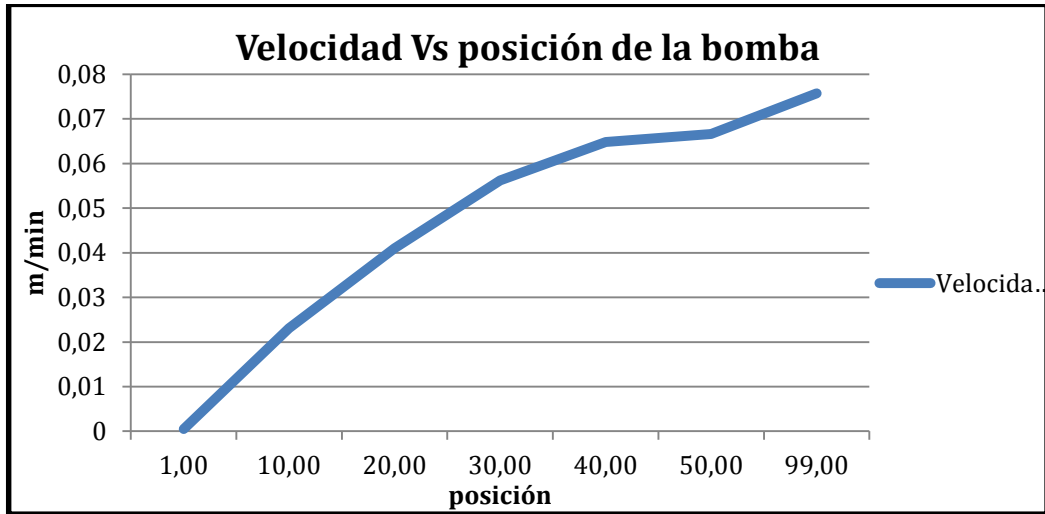
En la tabla 12 se muestra el comportamiento de la bomba y en la gráfica 1 la velocidad en cada una de las posiciones aforadas.

Tabla 12. Comportamiento de la bomba

# prueba	posición de la bomba	tiempo (minutos)	volumen n (mL)	volumen (L)	caudal(L/min)	caudal (L/s)
1,00	1,00	2,00	76	0,08	0,04	0,00
2,00	1,00	1,00	41	0,04	0,04	0,00
3,00	10,00	0,50	1005	1,01	2,01	0,03
4,00	10,00	0,33	630	0,63	1,89	0,03
5,00	20,00	0,33	1188	1,19	3,57	0,06
6,00	20,00	0,33	1260	1,26	3,78	0,06
7,00	30,00	0,33	1630	1,63	4,89	0,08
8,00	30,00	0,25	1230	1,23	4,92	0,08
9,00	40,00	0,25	1410	1,41	5,64	0,09
10,00	40,00	0,25	1450	1,45	5,80	0,10
11,00	50,00	0,25	1450	1,45	5,80	0,10
12,00	99,00	0,17	1098	1,10	6,59	0,11

Fuente: el autor

Gráfica 1. velocidad Vs posición de la bomba



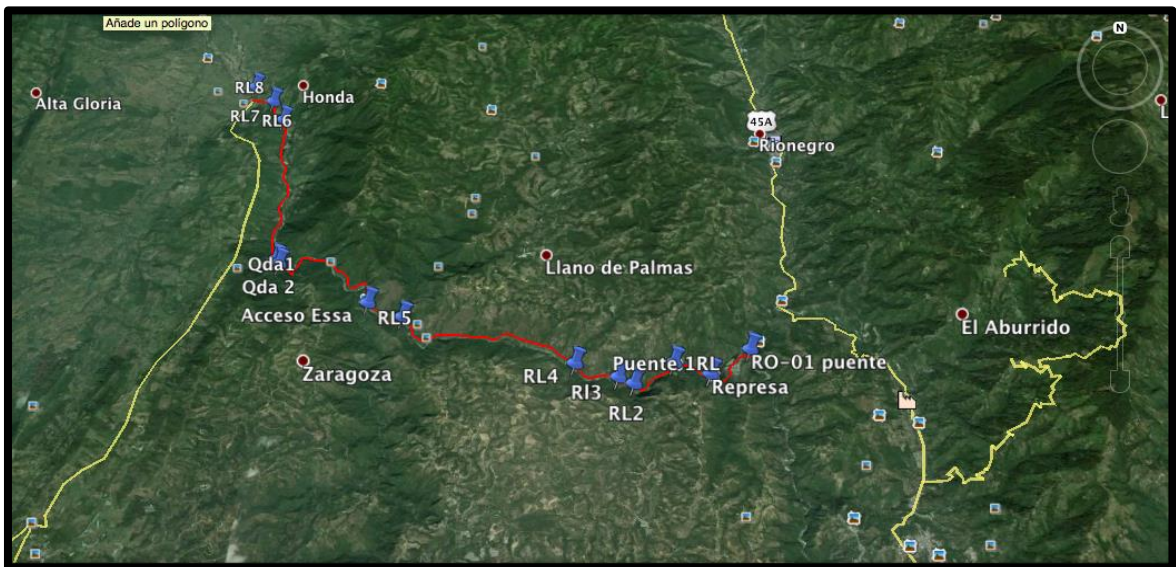
Fuente: el autor

3.2 SELECCIÓN DE LOS SITIOS DE MUESTREO Y DETERMINACIÓN DE LAS CAMPAÑAS

Se efectuó una visitas previa al lugar de muestreo para reconocimiento del mismo. Inicialmente Se realizó un recorrido de aproximadamente 30 km de distancia, comenzando desde la unión de Río Negro y Río de Oro hasta la vereda El Conchal. En esta primera visita se escogieron 13 puntos posibles de muestreo sobre el Río Lebrija.

En la figura 10 se muestra el recorrido realizado en esta primera visita y los puntos de muestreo seleccionados.

Figura 10. Preselección sitios de muestreo



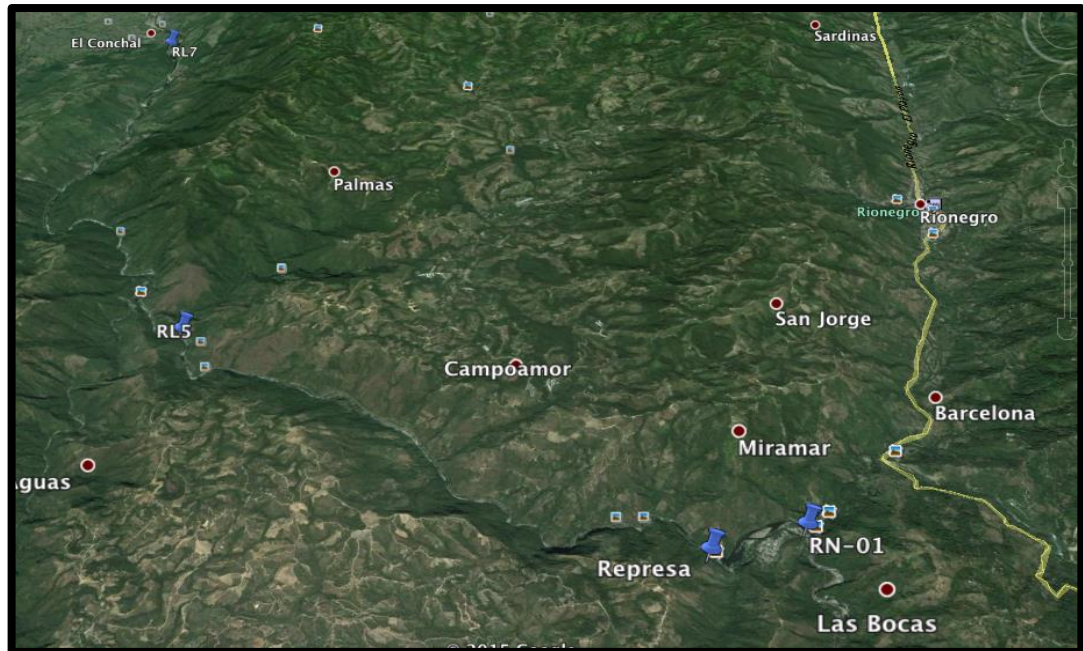
Fuente: Google Earth, 2015

Posteriormente se realizó una visita con el equipo de trabajo donde solo se pudieron escoger 4 puntos finales, esto se debió a que el río presenta muchas zonas con rocas grandes, lugares de difícil acceso, profundidades mayores a 3 metros y partes muy caudalosas.

Para realizar las actividades de muestreo La selección de los puntos se realizó teniendo en cuenta el objetivo del proyecto, las condiciones de referencia, confluencia con ríos principales, facilidad de acceso, seguridad para el equipo de trabajo y los instrumentos, características hidráulicas del río y el fácil acceso.

Los 4 puntos seleccionados se muestran en la figura 11.

Figura 11. Puntos seleccionados para muestreo.



Fuente: Google Earth, 2015

➤ **RN-01.** Se seleccionó el punto después de la confluencia del Río de Oro y el Río Negro ya que ofrecía facilidad de acceso al cauce para realizar las actividades de muestreo, además este punto permite evaluar las condiciones del Río antes de pasar por la represa de Bocas. Este punto se encuentra ubicado 1,26 km antes de la Represa de Bocas.

En la tabla 13 se muestra la ubicación del punto y en la figura 12 el punto muestreado

Tabla 13. Georreferenciación RN-01

COORDENADAS		
NORTE	ESTE	ALTURA
1289788	1101638	537

Fuente: el autor

Figura 12. RN-01



Fuente: el autor

➤ **REPRESA.** Punto escogido inmediatamente antes de la represa de Bocas, representa el punto más cercano en el que se pueden realizar mediciones apropiadas y con un fácil acceso. En el mismo lugar se ubican volquetas y personas que se dedican a la extracción de arena. En la tabla 14 se muestra la ubicación del punto y en la figura 13 el punto muestreado.

Tabla 14. Georreferenciación Represa

COORDENADAS		
NORTE	ESTE	ALTURA
1289220	1100800	531

Fuente: el autor

Figura 13. REPRESA



Fuente: el autor

➤ **RL-05:** Punto ubicado después de la represa de bocas con fácil acceso, seleccionado para observar el comportamiento de la SOD después de la represa. Este punto se encuentra ubicado 7,53 km de la Represa de Bocas y se encuentra ubicado en el sector de Llano de Palmas.

En la tabla 15 se muestra la ubicación del punto y en la figura 14 el punto muestreado

Tabla 15. Georreferenciación RL-05

COORDENADAS		
NORTE	ESTE	ALTURA
1290640	1094413	407

Fuente: el autor

Figura 14. RL-05



Fuente: el autor

➤ **RL-07:** Punto ubicado junto a puente colgante después de la confluencia de la Quebrada la Honda y la Angula con el Río Lebrija. Este es el último punto muestreado y se encuentra ubicado a 17, 09 km de la represa en el sector del Conchal.

En la tabla 16 se muestra la ubicación del punto y en la figura 15 el punto muestreado.

Tabla 16. Georreferenciación RL-07

COORDENADAS		
NORTE	ESTE	ALTURA
1296909	1090698	269

Fuente: el autor

Figura 15. RL-07

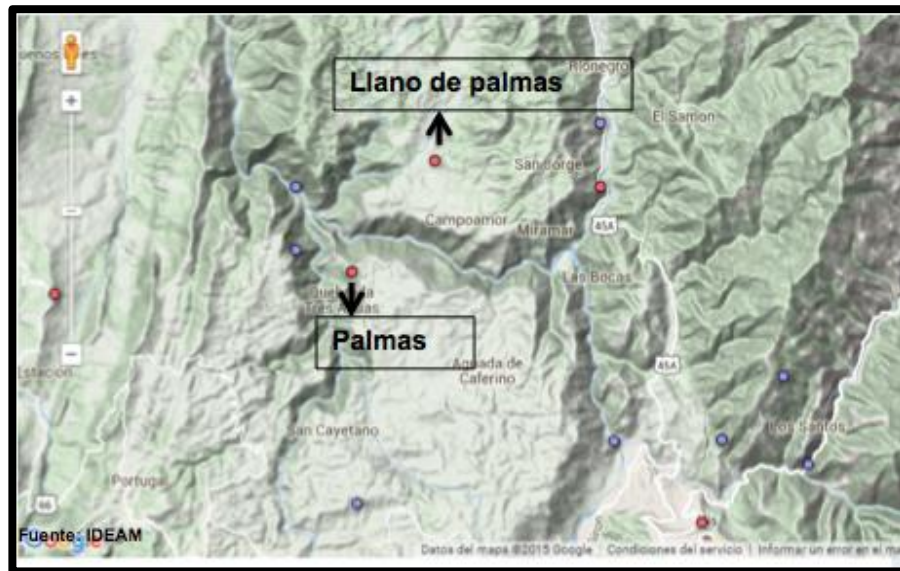


Fuente: el autor

➤ **Estaciones meteorológicas seleccionadas.** Después de seleccionar los cuatro puntos finales de muestreo, se solicitó al Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia (IDEAM) la ubicación de las estaciones pluviométricas que se encuentran en la cuenca del Río Lebrija; se escogieron las dos estaciones más cercanas a los puntos de muestreo con el fin de requerir la información pluviométrica registrada en los meses en los que se realizaron las campañas.

En la figura 16 se muestra la ubicación de las estaciones pluviométricas solicitadas

Figura 16. Ubicación geográfica, estaciones Palmas y Llano de palmas, IDEAM



Fuente: IDEAM

La tabla 17 resume algunas generalidades de las estaciones seleccionadas.

Tabla 17. Generalidades de las estaciones meteorológicas seleccionadas

CARACTERÍSTICA	Estación de Palmas	Estación de Llano de palmas
Clase	Meteorológica	Meteorológica
Departamento	Santander	Santander
Municipio	Lebrija	Río Negro
Latitud	7.211083	7.240139
Longitud	-73.217889	-73.195361
Altitud	855	778
Fecha de instalación	11/15/1967	11/15/1967

Fuente: el autor

En la tabla 18 se pueden observar los valores totales, máximos y mínimos de precipitación de la estación Palmas en las C1, C2 y C3.

Tabla 18. Valores totales, máximos y mínimos, estación palmas: IDEAM

Campaña	C1	C2	C3
TOTAL PRECIPITACIÓN	92.4 mms	83.1 mms	21.4 mms
NUMERO DE DÍAS DE LLUVIA	8 mms	11 mms	6 mms
MÁXIMA EN 24 HORAS	66.3 mms	20.2 mms	6.3 mms
MÍNIMA EN 24 HORAS	1.2 mms	1.1 mms	1.2 mms

Fuente: el autor

Se observa en la tabla 18 que los valores mínimos de precipitación se presentaron en la C3 y los valores máximos en la C1.

En la tabla 19 se pueden observar los valores totales, máximos y mínimos de precipitación de la estación Llano de Palmas.

Tabla 19. Valores totales, máximos y mínimos, estación Llano de palmas: IDEAM

Campaña	C1	C2	C3
TOTAL PRECIPITACIÓN	110.9 mms	78.9 mms	29.7 mms
NUMERO DE DÍAS DE LLUVIA	9 mms	9 mms	7 mms
MÁXIMA EN 24 HORAS	67.7 mms	19.8 mms	12.6 mms
MÍNIMA EN 24 HORAS	1.2 mms	1.2 mms	1.3 mms

Fuente: el autor

En la tabla 19 se observa que los valores mínimos de precipitación presentados en esta estación fueron en la C3 y los valores máximos se presentaron en la C1.

No se reportan valores de precipitación en ninguna de las estaciones, debido a que IDEAM no había reportado los datos del mes de julio de dichas estaciones.

3.3 CARACTERIZACIÓN DEL RÍO LEBRIJA

3.3.1.1 Muestreo de agua En las campañas realizadas para toma de muestra de agua (C2, C3 y C4) se tomaron muestras integradas en los puntos Represa y RL-07 y muestras puntuales en los puntos RN-01 y RL-05; se realizó aforo de caudal con Flowtracker en los puntos RN-01 y represa y aforo con moliente en los puntos RL-05 y RL-07.

Para la caracterización del Río Lebrija se realizaron cuatro (4) campañas de toma de muestras de agua y sedimento, durante los meses de abril, mayo, junio y julio del 2015, de la siguiente manera:

- La primera campaña (C1) se realizó en el mes de abril, con el fin de determinar las condiciones fisicoquímicas del cuerpo hídrico para ser simuladas posteriormente en la cámara de demanda béntica.
- La segunda, tercera y cuarta campaña (C2, C3 y C4) se realizaron en los meses de mayo, junio y julio respectivamente, para determinar las características tanto del cuerpo hídrico como de los sedimentos.

En cada uno de los muestreos se seleccionaron los formatos indicados para la recolección de los datos de las muestras tomadas, así como para registrar las observaciones.

Se realizó una cadena de custodia para cada muestra con el fin de hacer seguimiento desde su recolección hasta su análisis. Se registró fecha y hora del muestreo, sitio de muestreo, numeración de las muestras, nombre del proyecto, tipos de análisis y tipo de muestra, persona encargada de tomar la muestra, y observación adicionales.

3.3.2 Determinación de condiciones fisicoquímicas del tramo seleccionado.

Se realizó la primera campaña de muestreo (C1) en el mes de abril para la determinación de condiciones fisicoquímicas del tramo seleccionado. Se tomaron cuatro muestras (una cada hora), durante cuatro horas en cada uno de los puntos de muestreo. En esta campaña se tomaron las siguientes variables in situ: temperatura, pH y caudal. En la tabla 20 describe los equipos y métodos utilizados para la medición de estas variables y en el anexo 1 se especifican los métodos utilizados para las variables estudiadas.

El caudal no se pudo medir cada hora debido a que habían en algunas partes el ancho del cauce era muy grande y los aforos duraban aproximadamente 2 horas.

Tabla 20. Equipos y métodos para la determinación de parámetros in situ

Parámetro	Método de medición	Equipo
Caudal	Área – velocidad	Molinete A.OTT modelo C31-00
	Velocímetro Acústico Dopler (ADV)	Flow tracker SONTEK
pH	Electrodo	pH-metro HACH modelo HQ11d
Temperatura	Electrodo	Termómetro de punzon HANNA modelo HI 98509
Georreferenciación	-	Geoposicionador (GPS) Garmin modelo ETREX 2°

Fuente: el autor

En el laboratorio se determinó el oxígeno disuelto (OD), turbiedad y conductividad a un total de 16 muestras y se siguió las técnicas descritas Standard Methods For The Examination Of Water And Wastewater.21th Edition. Esto se realizó con el fin de analizar la variabilidad de las condiciones que presenta la corriente hídrica en estudio, para la obtención de resultados confiables en las campañas realizadas posteriormente.

3.3.3 Determinación de las características del cuerpo hídrico y el sedimento

Se llevaron a cabo tres campañas de muestreo (C2, C3 y C4), durante los meses de mayo, junio y julio; en estas campañas se realizaron tomas de muestras puntuales e integradas de agua según el punto de muestreo y una muestra puntual de sedimento.

3.3.3.1 Muestreo de agua En cada uno de los puntos se midieron las siguientes variables in situ: temperatura pH y caudal, utilizando los equipos mencionados en la tabla 20. Para la toma de muestras agua se midió el ancho del río y posteriormente se decidió que tipo de muestra se debía tomar (si el tramo del río es mayor a 20 metros de ancho se toma una muestra integrada, y si es menor a esto se toma una muestra puntual). En el momento de tomar las muestras se registraron las coordenadas, el pH, la temperatura ambiente y de la muestra, de igual forma se registraron las condiciones ambientales (precipitaciones presentadas) durante el muestreo, junto con la fecha y hora en la que se realizó.

Las muestras de agua fueron tomadas para la determinación de conductividad, DQO, DBO5, oxígeno disuelto, solidos suspendidos totales, coliformes totales y coliformes fecales siguiendo las técnicas descritas en el Standard Methods For The Examination Of Water And Wastewater.21th Edition. Después de la toma de muestra se preservaron las mismas para evitar que estas cambiaran sus propiedades químicas durante el transporte al laboratorio. Los métodos de

preservación aplicados incluyeron las siguientes operaciones: control del pH, adición de reactivos y refrigeración.

En el anexo 2 se presentan las técnicas analíticas usadas, los métodos de preservación utilizados, la estimación del volumen de muestra requerido para su análisis; el tipo de recipiente sugerido; y el tiempo máximo de almacenamiento recomendado.

3.3.3.2 Muestreo de sedimento La muestra de sedimento se tomó solo de uno de los puntos seleccionados debido a que en los tres restantes no se encontró presencia del mismo.

La toma de muestra se realizó en la mitad del cauce garantizando que las condiciones de la corriente hídrica fueran reales, utilizando una draga Eackman. Se tomaron 1,5 kg de muestra para realizar los respectivos análisis en el laboratorio. Esta muestra se almacenó en una bolsa hermética que se dispuso inmediatamente en una cava con hielo para garantizar las propiedades de las mismas durante el transporte al laboratorio.

Las variables analizadas en el laboratorio para la muestra de sedimento fueron: DQO, DBO₅, sólidos suspendidos volátiles, demanda béntica y actividad metanogénica.

3.3.3.3 Determinación de la Demanda Béntica. Para realizar la medición de demanda béntica se siguió la metodología propuesta por Nolan y Johnson (1979) en Method For Measuring Sediment Oxygen Demand Using A Bench Model Benthic Respirometer, que consiste en hacer circular en la cámara un volumen de agua a una tasa controlada, donde se ha colocado la muestra de sedimento anteriormente de una forma uniforme. Se mide el consumo de oxígeno por un periodo específico para poder estimar la SOD.

El procedimiento que se desarrolló fue el siguiente:

Se colocó cuidadosamente el sedimento en la cámara utilizando una espátula de plástico hasta que se completó una profundidad uniforme de 2.5 cm.

Posteriormente se inició el llenado de la cámara con agua de la llave saturada de oxígeno, evitando que se levantaran partículas de sedimento utilizando una lámina de etilvinilacetato durante el llenado. Después del llenado de la cámara se esperó 10 minutos para obtener una sedimentación total de las partículas. Se cerró la cámara y se ubicó el multiparámetro, evitando movimiento en el agua. Se hizo circular el agua dentro de la cámara mediante una bomba peristáltica (Watson-Marlow Serie 621) en un circuito cerrado.

Se inició la lectura de la concentración de OD, conductividad y pH dentro de la cámara teniendo en cuenta los siguientes intervalos de tiempo:

- Cada minuto durante los 10 primeros minutos del ensayo.
- Cada 5 minutos hasta la primera media hora del ensayo.
- Cada 10 minutos hasta que se completó la hora del ensayo.
- Cada 15 minutos hasta terminar el ensayo (aproximadamente en la tercera hora).

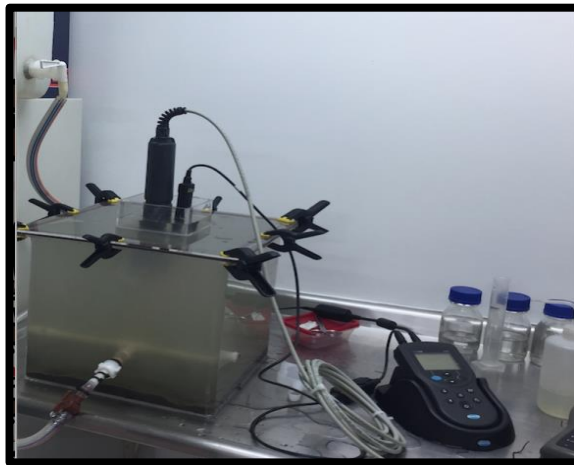
Se realizó medición de las variables mencionadas anteriormente en cada uno de estos intervalos de tiempo.

Al mismo tiempo del procedimiento anterior se llenó una botella clara y una oscura con el agua de la cámara y se les midió el OD inicial. Las botellas fueron almacenadas en la cámara de maduración de DBO. Al final del ensayo se midió OD en cada una de las botellas.

Las mediciones de oxígeno disuelto, pH y conductividad se realizaron con un equipo multiparamétrico (HANNA) y se corroboraron los datos medidos con un oxímetro, pHmetro y un conductímetro (HACH).

En la figura 17 se muestra el montaje realizado de la demanda béntica en el laboratorio

Figura 17. Montaje de la demanda béntica



Fuente: el autor

3.3.3.4 Determinación de la Actividad metanogénica Para la medición de la actividad metanogénica se siguió la metodología propuesta por LA CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL VALLE DEL CAUCA, “Curso Sobre Tratamiento Anaeróbico De Aguas Residuales, Con Énfasis En El Sistema De Flujo Ascendente Con Manto De Lodos (UASB)”, (1987). La metodología desarrollada fue la siguiente:

Se tomó una cantidad de lodo con un contenido de 1,5 g de la cantidad de sólidos volátiles calculados.

Se agregó el lodo en una botella y luego se completó la capacidad de la misma con agua destilada, después de esto se agregaron 3 mL de la solución patrón de ácido acético.

Se tapó la botella con un corcho perforado.

Después de esto se llenó otra botella con NaOH y se tapó con un corcho perforado.

Se conectó la botella de lodo y la botella de NaOH con una manguera (venoclis) cuidando que no se pasara el NaOH a la botella de lodo.

Se suspendió la botella de NaOH boca abajo; debajo de este se colocó un winkler para evitar la evaporación del mismo.

Se mantuvo una temperatura de 30°C utilizando una cámara precalentadora marca Schering, para evitar la muerte de las bacterias.

La actividad metanogénica se midió como se muestra en la tabla 21.

Tabla 21. Tabla de ensayo de actividad metanogénica

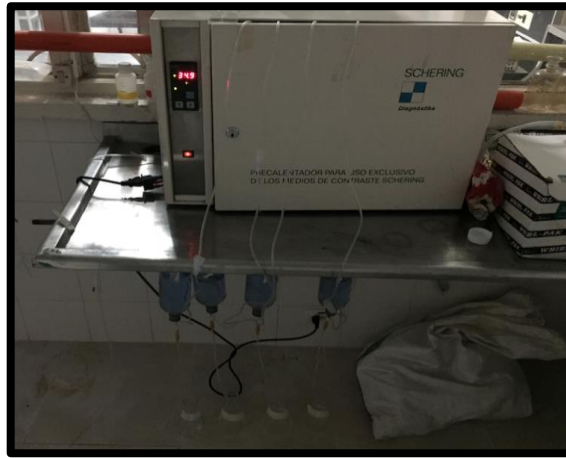
Día	8:00 a.m.	1:00 p.m.	5:00 p.m.
0	Alimentación 1		
1	X	X	X
2	X	X	-

Fuente: el autor

X: medición de producción de gas

En la figura 18 se muestra el montaje de la actividad metanogénica realizada en el laboratorio.

Figura 18. Montaje de actividad metanogénica.



Fuente: el autor

3.4 DETERMINACIÓN DEL ICAS, DEMANDA BÉNTICA Y ACTIVIDAD METANOGENICA

Con los datos obtenidos se realizaron los respectivos cálculos para determinar el ICACOSU, la Demanda Béntica (SOD) y la actividad metanogénica de la siguiente manera:

- **Índices De Calidad De Agua** El cálculo del ICOS, ICACosu E ICAG se realizaron siguiendo la metodología descrita por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia (IDEAM 2007).

- **Demanda Béntica (SOD)** Para el cálculo de la Demanda Béntica se utilizaron dos ecuaciones diferentes, la propuesta por Nolan y Jhonson (1979) y la propuesta por Murphy y Hicks (1986),

- **Actividad metanogénica** El cálculo de la actividad metanogénica se realizó siguiendo la metodología planteada por Corporación Autónoma Regional Del Cauca en, TRATAMIENTO ANAERÓBICO DE AGUAS RESIDUALES, CON ÉNFASIS EN EL SISTEMA DE FLUJO ASCENDENTE CON MANTO DE LODOS. (UASB)

3.5 RELACIÓN CON LA PROBLEMÁTICA AMBIENTAL ASOCIADA AL COMPONENTE BIÓTICO

Con los resultados obtenidos de demanda béntica e ICAS se realizó la relación con la problemática ambiental asociada al componente biótico, para esto se tuvo en cuenta lo referenciado en el marco teórico sobre las condiciones para el desarrollo de la fauna acuática presente en el tramo del río seleccionado para el presente estudio.

4 RESULTADOS OBTENIDOS Y ANÁLISIS

4.1 RESULTADOS DE LA CARACTERIZACIÓN DEL RÍO LEBRIJA

4.1.1 Determinación de las condiciones fisicoquímicas del tramo seleccionado. La primera campaña (C1) se realizó en el mes de abril para determinar las condiciones fisicoquímicas en las que se encontraba la corriente hídrica, esto con el fin de simular estas condiciones posteriormente en la cámara de demanda béntica, de esta campaña se obtuvieron los resultados mostrados en la tabla 22 y 23.

Tabla 22. Resultados de variables medidas en campo en C1

DATOS DE CAMPO				
PUNTO	CAUDAL (m ³)	pH (unidades de pH)	TEMPERATURA AMBIENTE (°C)	TEMPERATURA MUESTRA (°C)
RN-01 (puente) 8:30	5,9007	7,01	24,3	20,2
RN-01 (puente) 9:30	-	6,66	28,1	21,7
RN-01 (puente) 10:30	5,5096	6,78	28,6	22,1
RN-01 (puente) 11:30	-	6,58	33	22,4
REPRESA 1:00	15,2191	7,73	30,6	24,5
REPRESA 2:00	-	7,55	30,7	25,4
REPRESA 3:00	-	7,04	26,9	25,1
REPRESA 4:00	-	7,39	25,1	22,3
RL-05 9:00	7,134	7,68	30,3	25,5
RL-05 10:00	7,527	7,7	32,2	23,4
RL-05 11:00	7,037	7,78	32,2	28,6
RL-05 12:00	-	7,74	31,5	25,4
RL-07 1:00	-	7,54	28,1	26,9
RL-07 2:00	19,292	7,47	29,6	26,8
RL-07 3:00	17,359	7,54	30,1	26,7
RL-07 4:00	-	7,57	28,1	26,9

Fuente: El autor

Se observó que las variables estudiadas en cada punto de muestreo; caudal, pH, temperatura ambiente y de la muestra no muestran cambios significativos en el transcurso de las cuatro horas.

Las variables temperatura de la muestra y pH se encuentran dentro de los rangos establecidos en el Decreto 1594 de 1984, artículo 45, conservación de fauna y flora (temperatura <40°C y pH entra 5 y 9 unidades de pH).

En la tabla 23 se muestran los resultados obtenidos para las variables analizadas en la C1.

Tabla 23. Resultados de laboratorio obtenidos para la C1.

DATOS DE LABORATORIO			
PUNTO	CONDUCTIVIDAD (μs/cm)	TURBIEDAD (NTU)	OXÍGENO DISUELTO (mg O ₂ /L)
RN-01 (puente) 8:30	72,1	7,4	7,8
RN-01 (puente) 9:30	73	7,6	8,4
RN-01 (puente) 10:30	67,6	8,5	6,1
RN-01 (puente) 11:30	72,5	7,4	7,4
REPRESA 1:00	253	8,6	6,6
REPRESA 2:00	225	8,0	6,5
REPRESA 3:00	247	7,9	6,6
REPRESA 4:00	257	7,4	7,2
RL-05 9:00	241	6,1	7,1
RL-05 10:00	243	6,4	8,0
RL-05 11:00	241	6,3	7,5
RL-05 12:00	236	6,4	7,2
RL-07 1:00	230	7,0	6,8
RL-07 2:00	228	6,8	7,4
RL-07 3:00	227	6,8	7,1
RL-07 4:00	225	6,2	7,2

Fuente: el autor

No se observan variaciones significativas en ninguna de las variables a lo largo del estudio realizado, esto quiere decir que las propiedades de la lámina del agua y el sedimento no varían en cada uno de los puntos muestreados; razón por la cual solo se realizó una campaña de determinación de condiciones fisicoquímicas.

En la tabla 23 se observa que la conductividad aumenta drásticamente después del punto de la represa, esto se debe a que las sales inorgánicas se sedimentan en este punto debido a la falta de movimiento del agua, este comportamiento continúa hasta el punto RL-07.

También se observa que la concentración de oxígeno en la represa disminuye un poco, ya que en este punto la degradación de materia orgánica es mayor que en los demás punto.

4.1.2 Muestreo de determinación de las características del cuerpo hídrico y el sedimento

Los resultados obtenidos de los parámetros analizados In Situ son los siguientes:

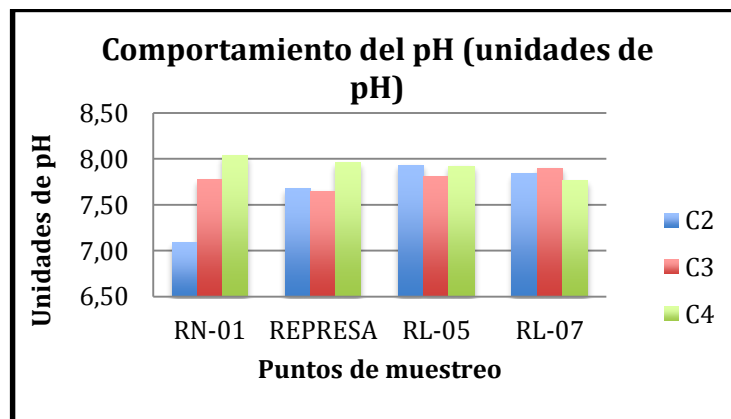
- **pH.** La tabla 24 muestra los resultados obtenidos del pH y en la gráfica 2 el comportamiento de esta variable.

Tabla 24. Resultados de pH obtenidos en las campañas

pH (unidades de pH)			
Campaña	C2	C3	C4
RN-01	7,09	7,77	8,04
REPRESA	7,68	7,65	7,96
RL-05	7,93	7,81	7,92
RL-07	7,84	7,90	7,76
Max	7,93	7,90	8,04
Min	7,09	7,65	7,76
Promedio	7,51	7,78	7,90

Fuente: El autor

Gráfica 2. Comportamiento del pH durante las campañas



Fuente: El autor

El valor máximo de pH se presentó en el punto RN-01 (8,04 unidades de pH) en la C4 y el pH más bajo se presentó en la C2 en este mismo punto (7,09 unidades de pH); de acuerdo con esto se puede decir que el pH en todas las estaciones es neutro (6,5-8,5 unidades de pH), por esta razón el recurso se puede usar con previo tratamiento para consumo humano, uso recreativo y agrícola y para preservación de fauna íctica y flora según decreto 1594 de 1984.

Los valores óptimos de pH para preservar la fauna acuática en un cuerpo hídrico, oscilan entre 7,0 y 8,5 unidades de pH; en la tabla 24 se observa que los valores presentados para esta variable en todas las campañas se encuentran dentro de este rango.

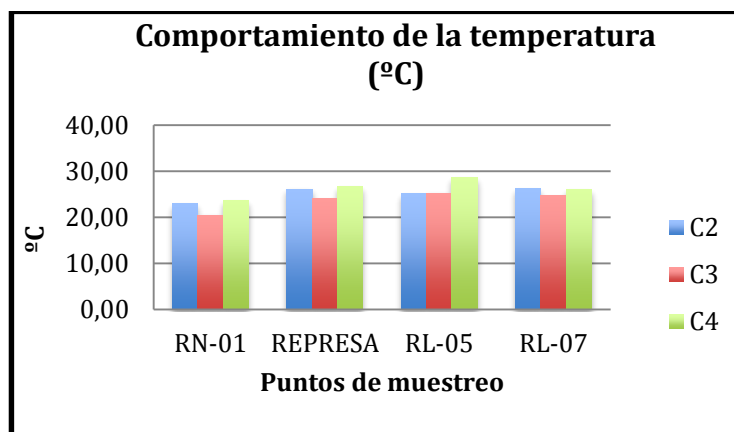
➤ **Temperatura.** En la tabla 25 se muestra los resultados obtenidos de la temperatura y en la gráfica 3 su comportamiento.

Tabla 25. Resultados de temperatura obtenidos en las campañas

Temperatura (°C)			
Campaña	C2	C3	C4
RN-01	23,00	20,50	23,60
REPRESA	26,10	24,1	26,60
RL-05	25,20	25,30	28,70
RL-07	26,30	24,80	26,00
Max	26,30	25,30	28,70
Min	23,00	20,50	23,60
Promedio	24,65	22,90	26,15

Fuente: El autor

Gráfica 3. Comportamiento de la temperatura durante las campañas



Fuente: El autor

Se observa que los valores mínimos de temperatura se presentaron en el punto de muestreo RN-01 y los valores máximos en los puntos RL-05 y RL-7. Sin embargo, estos valores se encuentran dentro del rango adecuado (10°C – 35°C) para mantener la saturación de oxígeno.

Las especies presentes en el Río Lebrija viven en un rango de temperatura de 15°C - 28°C; los valores reportados en la tabla 25 se encuentran dentro de este rango, por esta razón se puede decir que esta variable no afecta la vida acuática.

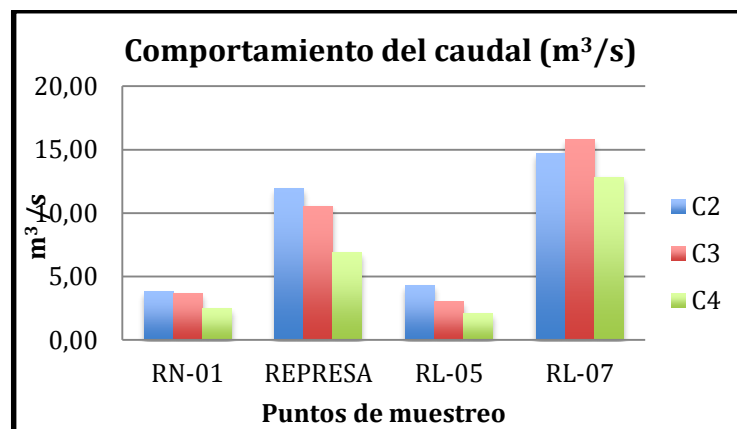
➤ **Caudal.** La tabla 26 muestra los resultados obtenidos del caudal y en la gráfica 4 el comportamiento de esta variable.

Tabla 26. Resultados de caudal obtenidos en las campañas

Caudal (m ³)			
Campaña	C2	C3	C4
RN-01	3,82	3,69	2,48
REPRESA	11,97	10,56	6,87
RL-05	4,27	3,06	2,06
RL-07	14,70	15,79	12,84
Max	14,70	15,79	12,84
Min	3,82	3,06	2,06
Promedio	9,26	9,42	7,45

Fuente: El autor

Gráfica 4. Comportamiento del caudal durante las campañas



Fuente: El autor

Los resultados del aforo de caudal varían de punto a punto, sin embargo, en la tabla 26 se puede observar que en la campaña en la que más caudal se presentó fue C2 y la que menos caudal presentó fue C4, esto se debe a las condiciones de precipitación de cada campaña (entre mayor precipitación mayor caudal).

En la C2 y la C3, en estas tablas se puede observar que en la campaña que mayores precipitaciones se presentaron fue la C2, debido a esto el caudal fue mayor en dicha campaña.

El punto que más caudal presentó en todas las campañas fue RL-07, esto se debe a que antes de este punto se encuentran dos quebradas (Quebrada la Honda y Quebrada la Angula) que confluyen con el Río Lebrija, por esta razón el caudal es mayor en este punto.

El caudal también afecta la sección transversal del río (ancho y profundidad de la lámina de agua), en el anexo 3 se puede observar la variación de las secciones transversales en las campañas.

Con las muestras recolectadas en los 4 puntos de muestreo seleccionados, se realizaron los análisis correspondientes de las variables de laboratorio escogidas para las muestras de agua.

Los resultados obtenidos de las variables analizadas en el laboratorio para las muestras de agua en las campañas realizadas en cada uno de los puntos de muestreo y sus valores máximos y mínimos fueron los siguientes:

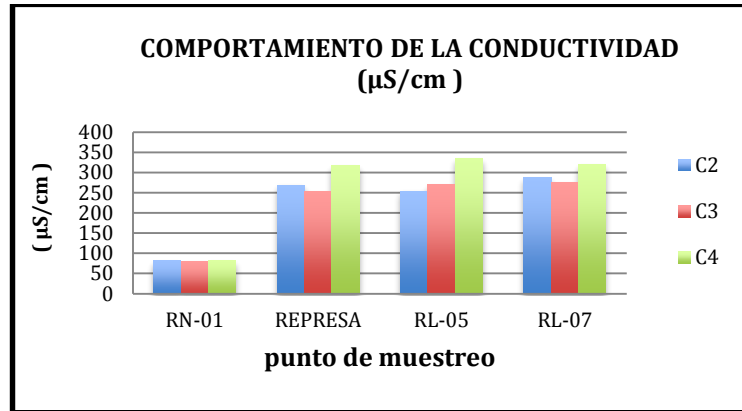
➤ **Conductividad.** La tabla 27 y la gráfica 5 muestra los resultados obtenidos de este parámetro analizado.

Tabla 27. Valores obtenidos de conductividad

CONDUCTIVIDAD ($\mu\text{S}/\text{cm}$)			
Campaña	C2	C3	C4
RN-01	81,0	79,7	81,3
REPRESA	269,0	253,0	317,0
RL-05	254,0	270,0	335,0
RL-07	288,0	275,0	320,0
Max	288,0	275,0	335,0
Min	81,0	79,7	81,3
promedio	184,500	177,350	208,150

Fuente: El autor

Gráfica 5. Comportamiento de la conductividad en cada una de las campañas



Fuente: El autor

Los valores de conductividad aumentan drásticamente en el punto de la represa, esto debido a que el estancamiento del agua genera una alta concentración de sales que aumentan dicha variable.

En la tabla 27 se observa que los valores reportados para los puntos Represa, RL-05 y RL-07 para dicha variable se encuentran altos; estos valores pueden representar una amenaza en el desarrollo de la fauna acuática.

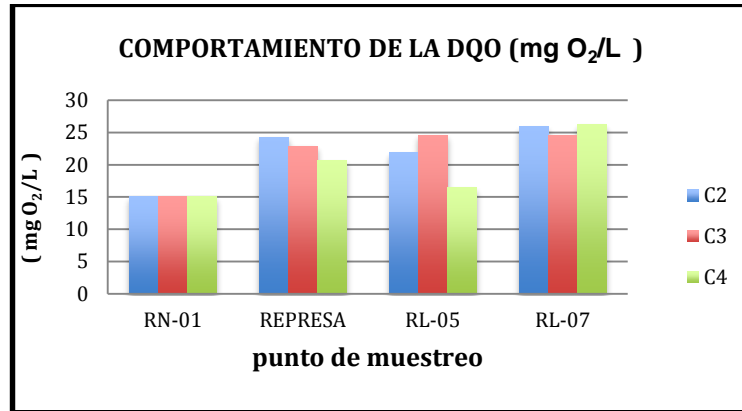
➤ **DQO.** En la tabla 28 se observan los resultados obtenidos de la determinación de la DQO y en la gráfica 6 el comportamiento en cada uno de los puntos de muestreo.

Tabla 28. Valores obtenidos de DQO

Campaña	DQO (mg O ₂ /L)		
	C2	C3	C4
RN-01	15,0	15,00	15,00
REPRESA	24,30	22,90	20,60
RL-05	21,90	24,60	16,40
RL-07	25,90	24,60	26,30
Max	25,90	24,60	26,30
Min	15,00	15,00	15,00
Promedio	20,45	19,80	20,65

Fuente: El autor

Gráfica 6. Comportamiento de la DQO en cada una de las campañas



Fuente: El autor

Se observa que la variable DQO aumenta notablemente desde el punto de la represa, esto puede deberse a que en este punto la concentración de materia orgánica susceptible a ser oxidada aumenta, debido al estancamiento del agua. Además se observa que la DQO después de la represa es similar lo que evidencia no dilución de este parámetro.

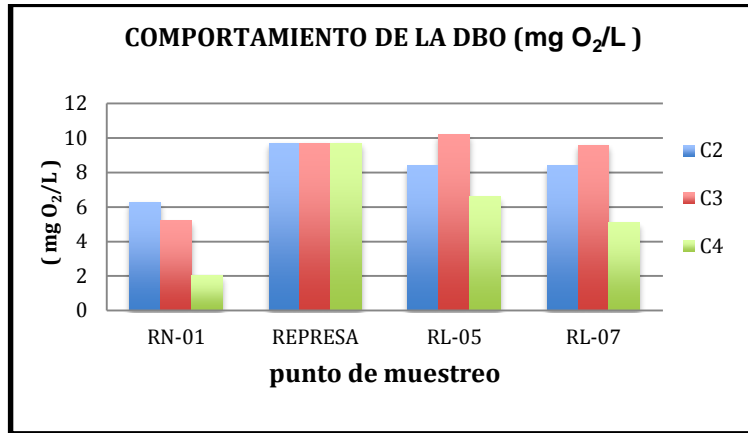
➤ **DBO.** En la tabla 29 se observan los resultados obtenidos de la determinación de la DBO y en la gráfica 7 su comportamiento.

Tabla 29. Valores obtenidos de DBO

Campaña	DBO (mg O ₂ /L)		
	C2	C3	C4
RN-01	6,30	5,2	2
REPRESA	9,70	9,7	9,7
RL-05	8,40	10,2	6,6
RL-07	8,40	9,6	5,1
Max	9,70	10,20	9,70
Min	6,30	5,20	2,00
promedio	8,00	7,70	5,85

Fuente: El autor

Gráfica 7. Comportamiento de la DBO en cada una de las campañas



Fuente: El autor

En la tabla 29 y la gráfica 7 se observa un aumento notable de la DBO₅ desde el punto de la represa, esto se debe a que la cantidad de materia orgánica presente es más alta en los puntos de la Represa, RL-05 y RL-07.

El valor de DBO₅ en los ríos para el desarrollo de fauna acuática debe ser <50 mg O₂/L para evitar un consumo de oxígeno acelerado; las concentraciones reportadas en la tabla 29 para esta variable se encuentran por debajo de este valor, razón por la cual se puede decir que no es un parámetro que afecta el desarrollo de las especies acuáticas.

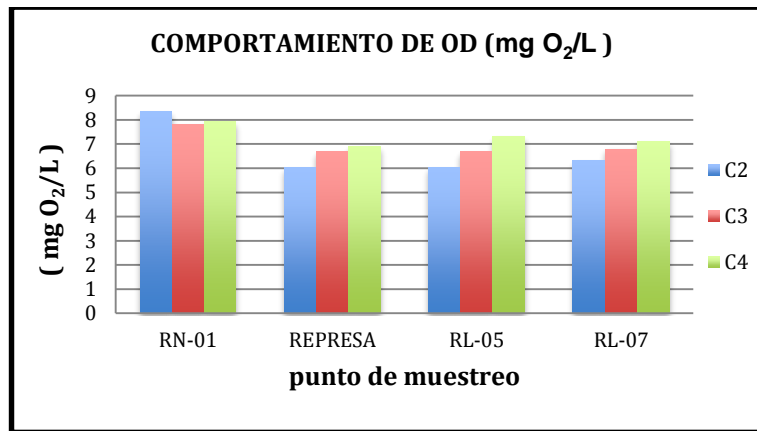
➤ **OXÍGENO DISUELTO.** Los resultados obtenidos del oxígeno disuelto se evidencian en la tabla 30 y en la gráfica 8.

Tabla 30. Valores obtenidos de oxígeno disuelto

OXIGENO DISUELTO (mg O ₂ /L)			
Campaña	C2	C3	C4
RN-01	8,36	7,82	7,92
REPRESA	6,03	6,7	6,90
RL-05	6,03	6,70	7,31
RL-07	6,32	6,80	7,11
Max	8,36	7,82	7,92
Min	6,03	6,70	6,90
Promedio	7,20	7,26	7,41

Fuente: El autor

Gráfica 8. Comportamiento del oxígeno disuelto en cada una de las campañas



Fuente: El autor

Se evidencia que las concentraciones de oxígeno para todos los puntos de muestreo se encuentra por encima del mínimo establecido para la preservación de fauna y flora (4 mg O₂/L); por esta razón se puede decir que los valores reportados favorecen el desarrollo de la vida acuática.

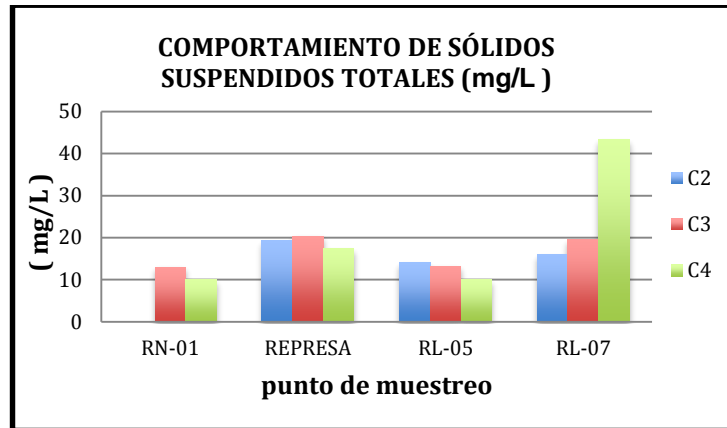
➤ **SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES.** Los resultados obtenidos de este parámetro se muestran en la tabla 31 y el gráfica 9.

Tabla 31. Valores obtenidos de SST

SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES (mg/L)			
Campaña	C2	C3	C4
RN-01	11,00	13	10,00
REPRESA	19,20	20,4	17,50
RL-05	14,00	13,20	10,00
RL-07	16,00	19,60	43,30
Max	19,20	20,40	43,30
Min	11,00	13,00	10,00
promedio	15,10	16,70	26,65

Fuente: El autor

Gráfica 9. Comportamiento de los sólidos suspendidos totales en cada una de las campañas



Fuente: El autor

Se observa que en la C4 se presentó un aumento significativo de la variable sólidos suspendidos totales en el punto RL-07, sin embargo todos los valores reportados para dicha variable son relativamente bajos y no generan impactos negativos sobre las especies acuáticas.

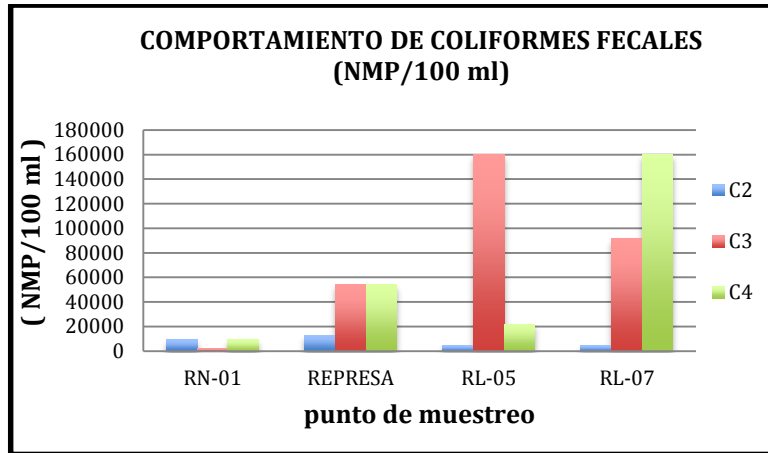
➤ **COLIFORMES FECALES.** Los resultados obtenidos de coliformes fecales se muestran en la tabla 32 y la gráfica 10.

Tabla 32. Valores obtenidos de coliformes fecales

COLIFORMES FECALES (NMP/100 mL)			
Campaña	C2	C3	C4
RN-01	9200	2200	9200
REPRESA	13000	54000	54000
RL-05	4900	160000	22000
RL-07	4900	92000	160000
Max	13000	160000	160000
Min	4900	2200	9200
Promedio	8950	81100	84600

Fuente: El autor

Gráfica 10. Comportamiento de los coliformes fecales en cada una de las campañas



Fuente: El autor

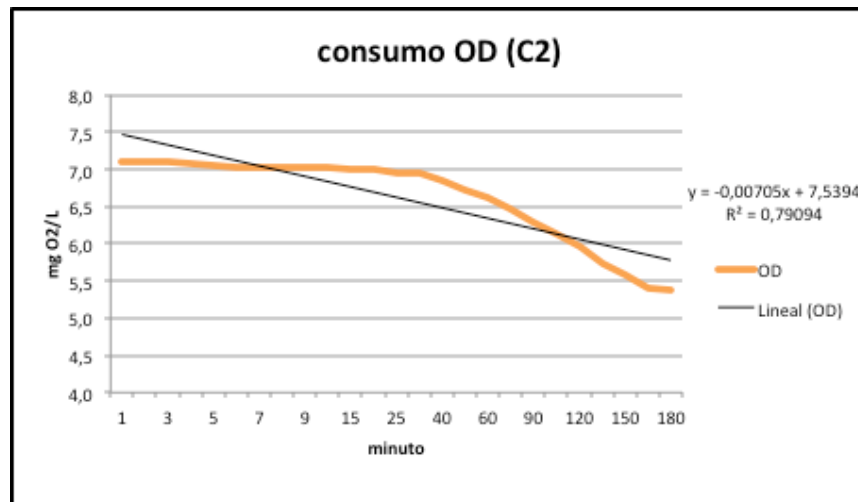
En la tabla 32 y la gráfica 10 se observa que todos los valores reportados para la variable coliformes fecales se encuentran por encima de 2200 NMP/100 mL valores altos para una corriente hídrica superficial; esto se debe que el Río Lebrija recibe aguas arriba vertimientos de agua residual del Área Metropolitana de Bucaramanga y urbanizaciones aledañas.

4.1.2.1 ANÁLISIS DE SEDIMENTOS.

➤ **SOD.** La muestra de sedimento sólo se tomó del punto denominado Represa, debido a que era el único sitio con presencia de sedimento y materia orgánica, los otros puntos solo presentaron presencia de grava y arena, por esta razón no se pudo realizar medición de demanda béntica.

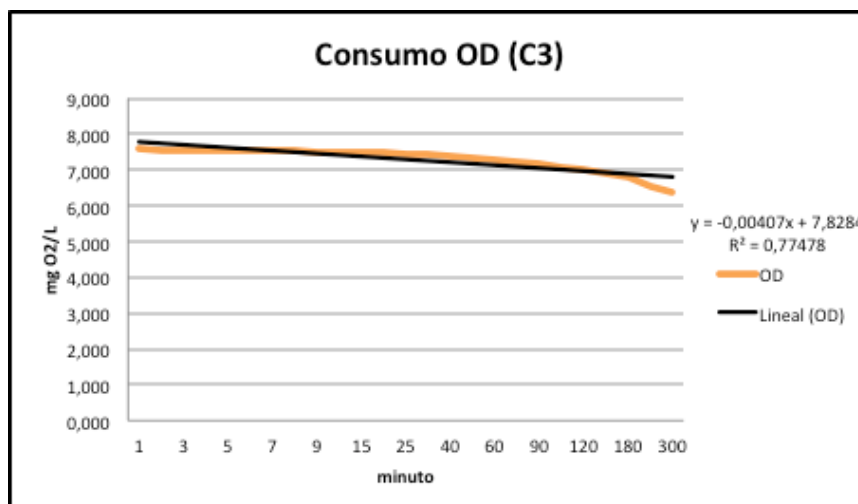
En las gráficas 11, 12 y 13 se muestran los datos obtenidos de consumo de OD para poder calcular la SOD en cada campaña.

Gráfica 11. Consumo de OD C2



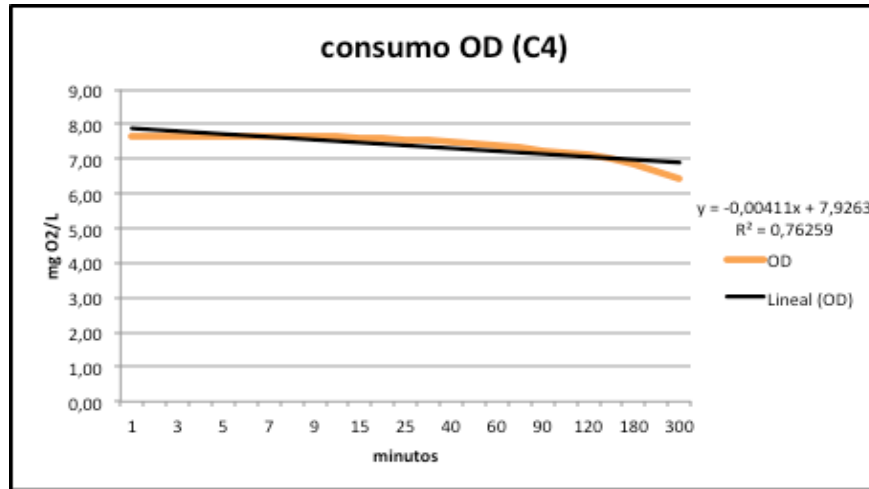
Fuente: El autor

Gráfica 12. Consumo OD C3



Fuente: El autor

Gráfica 13. Consumo de OD C4



Fuente: El autor

Se observa en las gráficas, que en las tres campañas se midió la cantidad de oxígeno disuelto (OD) consumido por más de tres horas; sin embargo, el consumo de oxígeno que se generó fue muy poco durante el tiempo que duro el ensayo.

La campaña en la que se evidencia mayor consumo de oxígeno fue la C2. En la muestra tomada durante esta campaña se observó la presencia de organismos bentónicos del género Tubifex. Debido a la actividad metabólica de estos organismos que consumen oxígeno del medio, se puede inferir que su presencia influye en la demanda béntica. La figura 19 muestra la presencia de los organismos en la muestra tomada.

Figura 19. Organismos bentónicos encontrados



Fuente: el autor

Estos organismos bentónicos se clasificaron en el Género *Tubifex*, perteneciente a la familia *Tubificidae*. Los organismos clasificados en esta familia se caracterizan porque miden de 1,0 a 30,0 mm. La mayoría viven en aguas eutrofizadas, sobre fondos lodosos con abundante materia orgánica en descomposición. Son de color rojo debido a la hemoglobina presente. (Roldán, G.,2003)

Se consideran indicadores de contaminación del agua, debido a que su alto contenido de hemoglobina permite adaptarse en medios altamente contaminados y pobres de oxígeno. Sin embargo, cuando se ubica en aguas con abundante oxígeno, este anélido deja de necesitar la hemoglobina y pierde su color. (Bressan L, 2010)

En la tabla 33 se muestra el cálculo de la SOD que se realizó durante las tres campañas, estos cálculos se realizaron siguiendo las ecuaciones propuestas por Nolan y Johnson y por Murphy y Hicks.

Tabla 33. SOD calculada en las tres campañas.

SOD (mg m ² /día)			
Campaña método	C2	C3	C4
SOD Nolan y Johnson	2,145	1,404	1,510
SOD Murphy y Hicks	2,801	1,617	1,633

Fuente: El autor

Los valores obtenidos para cada una de las ecuaciones son relativamente iguales, es decir no presentan una variación significativa. La campaña en la que mayor SOD se presentó fue la C2, debido a que en esta campaña la presencia de organismos indicadores de contaminación (organismos bentónicos) fue mayor.

Los valores calculados para la SOD se encuentran entre 1,4 y 2,8 mg m²/día, valores habituales de la tasa de SOD para zonas de río afectadas por vertidos de aguas residuales urbanas pero algo alejadas (EPA, 1992); estos valores se consideran bajos comparados con los reportados para los otros tipos de corrientes.

➤ **Relación de variables analizadas en el sedimento con la SOD.** Para las muestras tomadas de sedimento se realizaron análisis de DQO, DBO, sólidos suspendidos volátiles y actividad metanogénica, las cuales pueden influir en el consumo de OD.

En el anexo 5 se pueden ver los resultados obtenidos del montaje de la actividad metanogénica.

En la tabla 34 se muestran los valores obtenidos para cada una de las variables analizadas en el sedimento, durante las tres campañas.

Tabla 34. Resultados obtenidos para variables obtenidas en laboratorio para sedimento

Campaña	DQO (mg O ₂ /L)	DBO ₅ (mg O ₂ /L)	SSV (mg/L)	ACT. METANOGENICA (g DQO/g de SV-d)	SOD (mg m ² /día)
C2	44366	15404	21800	0,0207	2,4728
C3	22159	8019	29600	0,0056	1,5102
C4	29813	10552	26966	0,0291	1,5711
MAX	44366,00	15404,00	29600,00	0,0291	2,47
MIN	22159,00	8019,00	21800,00	0,0056	1,51

*Se analizó la variable solidos suspendidos volátiles (SSV) debido a que era necesario para la determinación de actividad metanogénica.

Fuente: El autor

Se evidencia que en la C2 las variables DQO, DBO₅ y SOD son mayores comparadas con los otros meses, y la variable SSV en este mes es menor; Por el contrario se puede observar que en la C3 las variables DQO, DBO₅, actividad metanogénica y SOD se presentan en menor concentración y la variable SSV tiene mayor concentración.

Con respecto a la actividad metanogénica se deduce que la producción de metano fue muy baja debido a los valores de actividad metanogénica calculados, esto se debe a que no se presentó descomposición béntica en el sedimento.

4.2 DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE LA CALIDAD DEL AGUA

Se calcularon índices de calidad del agua con el fin de estudiar el grado de contaminación en la que se encuentra el tramo en estudio, esto para determinar si la calidad de la misma está afectando el desarrollo de la fauna acuática.

El cálculo de los ICOs, ICACosu y ICAg se realizaron siguiendo la metodología planteada por IDEAM.

4.2.1 ICOs. En la tabla 35 se muestra la jerarquía establecida por IDEAM para los ICOs

Tabla 35. Jerarquía establecida para los ICOs

ICO	Grado de contaminación	Escala de color
0-0.2	Ningún	Azul
>0.2-0.4	Baja	Verde
>0.4-0.6	Media	Amarillo
>0.6-0.8	Alta	Naranja
>0.8-1	Muy Alta	Rojo

Fuente: El autor

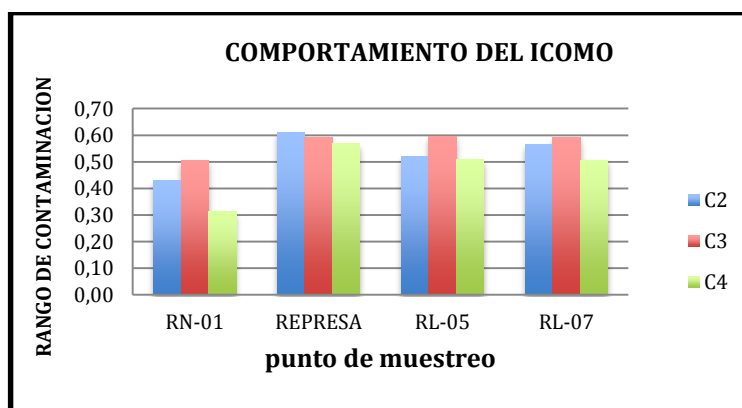
En las tablas 36, 37 y 38 se muestran los valores calculados de ICOMO, ICOSUS e I.CONDUCTIVIDAD respectivamente y en las gráficas 14, 15 y 16 el comportamiento de los mismos en cada campaña.

Tabla 36. Valores obtenidos de ICOMO durante las campañas

PUNTO DE MUESTREO	C2				C3				C4			
	I. DBO	I. COLIFORMES T	I.O2 %	ICOMO	I. DBO	I. COLIFORMES T	I. O2 %	ICOMO	I. DBO	I. COLIFORMES T	I. O2 %	ICOMO
RN-01	0,51	0,78	0,00	0,43	0,45	1,00	0,06	0,50	0,16	0,78	0,00	0,31
REPRESA	0,64	1,00	0,19	0,61	0,64	1,00	0,13	0,59	0,64	1,00	0,06	0,57
RL-05	0,60	0,74	0,22	0,52	0,66	1,00	0,13	0,60	0,52	1,00	0,00	0,51
RL-07	0,60	0,93	0,17	0,57	0,64	1,00	0,13	0,59	0,45	1,00	0,07	0,51

Fuente: El autor

Gráfica 14. Comportamiento del ICOMO durante las campañas



Fuente: El autor

En la tabla 36 se observa que los valores hallados para ICOMO se comportan de manera muy similar en las tres campañas, el punto menos afectado por materia orgánica es RN-01, los otros tres puntos se encuentran con grados de contaminación media y alta.

La variable que mayor afectación está ejerciendo sobre el recurso hídrico son los coliformes totales, ya que el I. Coliformes T clasificó el recurso en grado de contaminación muy alto; la variable DBO₅ presenta un grado de contaminación

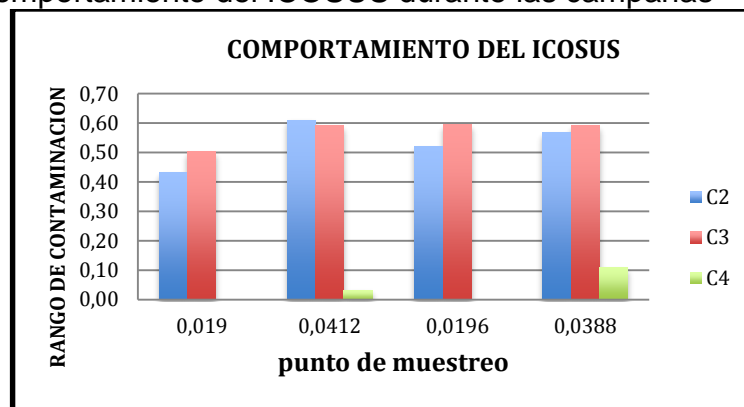
entre 0,4 y 0,8 clasificando el recurso en grado de contaminación media y alta. Sin embargo, el porcentaje de saturación de oxígeno disuelto en cada uno de los puntos se encuentran por encima de 70%, valores altos teniendo en cuenta el consumo de oxígeno que puede generar la materia orgánica presente en el tramo estudiado.

Tabla 37. Valores obtenidos de ICOSUS durante las campañas

	C2	C3	C4
PUNTO DE MUESTREO	ICOSUS	ICOSUS	ICOSUS
RN-01	0,01	0,02	0,00
REPRESA	0,04	0,04	0,03
RL-05	0,02	0,02	0,00
RL-07	0,03	0,04	0,11

Fuente: El autor

Gráfica 15. Comportamiento del ICOSUS durante las campañas



Fuente: El autor

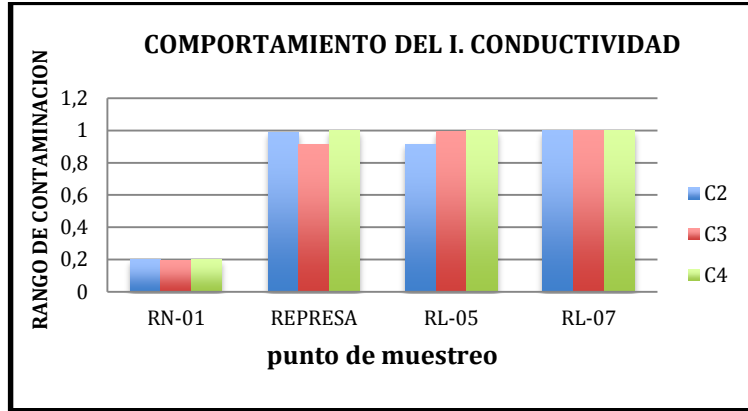
En la tabla 37 se observa que el cálculo de ICOSUS clasificó el recurso en grado de contaminación ninguno, esto quiere decir que la variable sólidos suspendidos totales no genera ninguna afectación al recurso hídrico, debido a que los valores reportados para dicha variable son bajos.

Tabla 38. Comportamiento del I. Conductividad durante las campañas

	C2		C3		C4	
PUNTO DE MUESTREO	LOG10 I. CONDUCTIVIDAD	I. CONDUCTIVIDAD	LOG10 I. CONDUCTIVIDAD	I. CONDUCTIVIDAD	LOG10 I. CONDUCTIVIDAD	I. CONDUCTIVIDAD
RN-01	-0,70	0,20	-0,71	0,19	-0,70	0,20
REPRESA	0,00	0,99	-0,04	0,91	0,09	1,00
RL-05	-0,04	0,92	0,00	1,00	0,12	1,00
RL-07	0,04	1,00	0,01	1,00	0,10	1,00

Fuente: El autor

Gráfica 16. Comportamiento del I. Conductividad durante las campañas



Fuente: El autor

En la tabla 38 se evidencia que el I. Conductividad clasificó el punto RN-01 en grado de contaminación baja y los puntos Represa, RL-05 y RL-07 en contaminación muy alta; estos últimos debido a que los valores reportados para conductividad se encuentran muy por encima del rango habitual presentado en ríos (50 $\mu\text{S}/\text{cm}$ -100 $\mu\text{S}/\text{cm}$).

4.2.2 ICACOSU. El cálculo de ICACosu involucra las siguientes variables: pH, conductividad, oxígeno disuelto, DQO, DBO₅, sólidos suspendidos totales y Coliformes Fecales.

El cálculo del ICA global (ICAg) se calcula teniendo en cuenta los mismos parámetros del ICACosu mas el caudal de cada punto. La jerarquía de del ICA se muestra en la tabla 39.

Tabla 39. Jerarquía del ICA

categoria	rango	color
muy malo	0-0,25	rojo
malo	0,26-0,50	naranja
medio	0,51-0,70	amarillo
bueno	0,71-0,90	verde
exelente	0,91-1,00	azul

Fuente: El autor

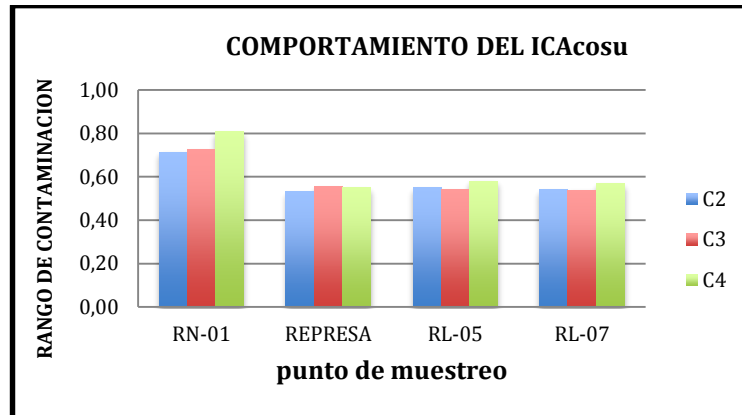
En la tabla 40 se muestran los valores calculados de ICACosu e ICAg durante las tres campañas y en las gráficas 17 y 18 se observa su comportamiento.

Tabla 40. ICACosu e ICAG para todas las campañas

PUNTO DE MUESTREO	C2		C3		C4	
	ICACosu	ICAg	ICACosu	ICAg	ICACosu	ICAg
RN-01	0,71	0,56	0,72	0,56	0,81	0,61
REPRESA	0,53	0,48	0,55	0,49	0,55	0,47
RL-05	0,55	0,45	0,54	0,43	0,58	0,44
RL-07	0,54	0,50	0,54	0,50	0,57	0,51

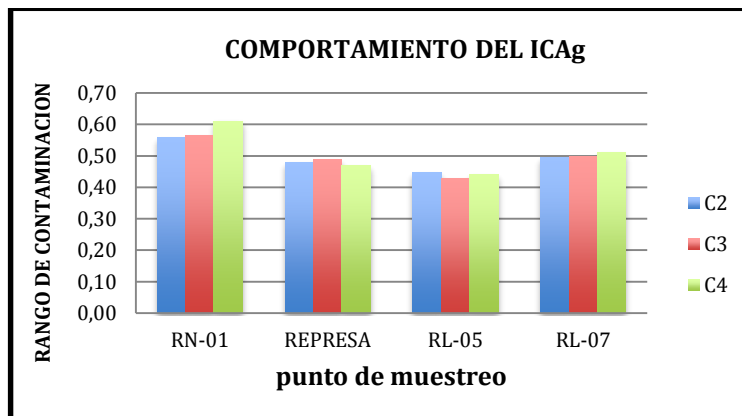
Fuente: El autor

Gráfica 17. Comportamiento del ICACOSU en cada una de las campañas



Fuente: El autor

Gráfica 18. Comportamiento del ICA general en cada una de las campañas



Fuente: El autor

En el Anexo 4 se pueden observar los cálculos realizados para determinar el ICA en cada uno de los puntos y cada una de las campañas.

Se observa que el ICAcosu y el ICAg en las tres campañas se comportaron de manera muy similar, siendo RN-01 el punto menos contaminado con un rango de 0,71 a 0,81 (calidad buena).

El ICAcosu clasificó los puntos de muestreo de la siguiente forma: RN-01, calidad buena en las tres campañas.

Represa, RL-05 y RL-07 calidad media en las tres campañas

El ICAg clasificó los puntos de muestreo de la siguiente forma: RN-01 calidad media en las tres campañas

Represa y RL-05 calidad mala en las tres campañas

RL-07 calidad mala en C2 y C3 y calidad media en C4.

De lo anterior se puede decir que la calidad del recurso hídrico del tramo estudiado se encuentra en su mayoría clasificado en calidad media a pesar de que los valores de coliformes totales, fecales y conductividad reportados fueran muy altos, esto se debe a que las concentraciones de oxígeno disuelto y sólidos totales influyeron de forma positiva la calidad del mismo.

En la C4 se puede observar una leve mejora en la calidad del agua, ya que el ICAg clasificó los puntos RN-01 y RL-07 como calidad media y los puntos Represa y RL-05 como calidad mala.

4.3 RELACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA Y LA DEMANDA BÉNTICA CON LA PROBLEMÁTICA AMBIENTAL PRESENTADA

Se puede decir del estudio de demanda béntica desarrollado que a pesar de que la cantidad de materia orgánica fue relativamente alta, el consumo de oxígeno no fue significativo comparado con lo descrito en la teoría. Por esta razón, se puede inferir que el consumo de esta variable por causa de organismos bentónicos no es representativo; teniendo una concentración de oxígeno final mayor a 4 mg O₂/L; Bajo esta condición las especies acuáticas pueden desarrollarse adecuadamente.

La materia orgánica influye de forma negativa, debido a que su descomposición produce amoníaco, sustancia que si se presenta en cantidades mayores a 0,1 NH₃ (concentración letal) puede volverse tóxica para las especies acuáticas (Decreto 1594 de 1984, artículo 45), esta descomposición también puede producir sustancias limosas que causan asfixia debido a que se adhieren a las agallas de los peces.

Las concentraciones de las variables DQO y DBO en agua y DQO, DBO y SSV en sedimento reportaron concentraciones altas, esto indica contenido de materia orgánica en el tramo de estudio.

Con respecto a la calidad del agua se observó que debido a que el ICAcosu clasifica el recurso después de la represa en calidad media, y que el ICAg lo clasifica en calidad mala, se esta generando un impacto negativo sobre el componente biótico.

Las aguas con un ICA de categoría media tienen generalmente menos diversidad de organismos acuáticos y han aumentado con frecuencia el crecimiento de las algas.

Las aguas con un ICA de categoría mala pueden solamente apoyar una diversidad baja de la vida acuática y están experimentando probablemente problemas con la contaminación.

Las aguas con un ICA que caen en categoría muy mala pueden solamente apoyar un número limitado de organismos acuáticos, presentan problemas abundantes y normalmente no sería considerado aceptable para las actividades que implican el contacto directo con ella. (Villanueva *et al.*, 2015)

Debido a lo anterior puede decir que la fauna acuática se está viendo afectada por la contaminación presentada en el tramo del río en estudio, por esta razón se puede estar presentando mortandad de especies acuáticas.

5 CONCLUSIONES

De este estudio se puede concluir que el caudal tiene una gran influencia al momento de clasificar el recurso en una categoría de calidad del agua; ya que se observó que el ICAcosu presentó mejores clasificaciones que el ICAg. El punto menos contaminado según el cálculo de ICOs e ICAs es RN-01, esto puede deberse a que esta poco intervenido antrópicamente.

Según los ICOs calculados las variables que afectan principalmente el cuerpo de agua son los coliformes totales y los coliformes fecales, seguidos de la conductividad y la DBO₅.

Los lodos presentes en el embalse que se encuentra a la altura de Boccas, presentaron altas concentraciones de DQO, DBO₅ y sólidos suspendidos volátiles, lo que indica que la cantidad de materia orgánica es muy alta en este punto, esto influye negativamente en la calidad de la corriente hídrica.

En el punto de la represa se evidenciaron las concentraciones más bajas para la variable oxígeno disuelto, una posible causa es la cantidad de organismos bentónicos que se encuentran presentes, ya que la falta de movimiento del agua favorece su desarrollo; sin embargo, los estudios realizados de demanda béntica demostraron que los lodos presentes en la represa no consumen oxígeno de forma acelerada, por esta razón las concentraciones de esta variable se encontraron mayores a 70% en todos los puntos estudiados, durante las tres campañas.

Según el estudio realizado se observa que el consumo de oxígeno disuelto no es significativo y no produce un impacto negativo sobre las especies acuáticas presentes, ya que la cantidad reportada para esta variable en todos los puntos supera el mínimo establecido para la conservación de la fauna acuática (concentración de oxígeno disuelto > 4 mg O₂/L).

Se puede concluir de este estudio que uno de los factores causantes de la problemática ambiental presentada sobre el componente biótico en el Río Lebrija, es la cantidad de materia orgánica, ya que la presencia de esta puede generar consecuencias negativas sobre las especies acuáticas presentes en el tramo de estudio.

6 RECOMENDACIONES

Se sugiere analizar las siguientes variables en la corriente hídrica: Nitrógeno total, Nitrógeno amoniacal, Fosforo total, materia orgánica particulada y materia orgánica solubles.

Se recomienda realizar un estudio más profundo, que involucre análisis de pesticidas y metales pesados en el tramo seleccionado, ya que estas variables pueden afectar drásticamente la vida acuática.

Se sugiere que para estudios de demanda béntica se tome la muestra de sedimentos del centro del lecho del río, ya que las orillas no presentan las mismas condiciones del lecho del río.

Es recomendable un estudio ictiológico que permita relacionar el impacto de las variables fisicoquímicas con la morfofisiología de los peces presentes en el Río Lebrija.

7 BIBLIOGRAFÍA

AGENCIA DE PROTECCIÓN AMBIENTAL DE CALIFORNIA. Folleto informativo oxígeno disuelto (OD). 3.1.1.0

AGENCIA DE PROTECCIÓN AMBIENTAL DE CALIFORNIA. Folleto informativo conductividad eléctrica/ salinidad. 3.1.3.0

AGENCIA DE PROTECCIÓN AMBIENTAL DE CALIFORNIA. Folleto informativo temperatura. 3.1.2.0

AGENCIA DE PROTECCIÓN AMBIENTAL DE CALIFORNIA. Folleto informativo pH. 3.1.4.0

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS, Annual book of standards, Determinación de conductividad eléctrica del agua, Metodo ASTM D 1125-91

APHA. 2005. Standard method for the examination of water and wastewaters, 21th edition, American Public Health Association, Washington,

ARCOS PULIDO, Mireya Del Pilar. AVILA DE NAVIA, Sara Lilia. ESTUPIÑAN TORRES, Sandra Mónica. GÓMEZ PRIETO, Aura Cristina. Indicadores microbiológicos de contaminación de las fuentes de agua. VOL 3. ISSN: 1794-2470.

AREA METROPOLITANA DE BUCARAMANGA, Ante creciente contaminación del río Lebrija, AMB, academia y pescadores buscan soluciones efectivas e inmediatas. 2015.

ARIAS ISAZA, Francisco. Manual de técnicas analíticas para la determinación de parámetros fisicoquímicos y contaminantes marinos (aguas, sedimentos y organismos), INVEMAR, 2011

BAENA A, Luisa Marina. Estudio experimental para la determinación de las constantes bénticas en el río Cauca. 2004

BARRENECHEA MARTEL, Ada. Aspectos fisicoquímicos de la calidad del agua, 2004

BERMUDEZ, Olga. Sistemas acuáticos, Biomas acuáticos. Universidad Santo Tomas. 2014.

BLANCO, Adrián. Efectos adversos del amoníaco en los acuarios. El amoníaco “libre” y cuidados generales, 2005

BRESSAN, Luis A, El tubifex, alimento vivo, Enciclopedia animal, volumen 1, 2010

CABILDO VERDE, Problemática ambiental y amenazas sobre la biodiversidad.2014

CAMACHO Luis. Contribución al desarrollo de un modelo de calidad del agua del río Bogotá (Colombia). XX Congreso latinoamericano de hidráulica. 2003

CAMACHO, A., GILES M., A., ORTEGÓN M., SERRANO B., VELÁZQUEZ O. 2009. Técnicas para el Análisis Microbiológico de Alimentos. 2ª ed. Facultad de Química, UNAM. México.

CARMONA, Francisco. VASQUEZ, Francisco. MARTIN, Antonio. CHICA, Arturo. Diseño y construcción de un respirómetro. 2004

CARRILLO, E., LOZANO, A. Validación del método de detención de Coliformes totales y fecales en agua potable utilizando agar Chromocult. Trabajo de grado. Pontificia Universidad Javeriana. 2008. P. 5-13.

CARVAJAL JAIMES, Elsa Victoria y ESPARRAGOZA ZARATE, Rafael Alberto. Análisis de la normatividad ambiental colombiana para el vertimiento de aguas residuales al sistema de alcantarillado público, Trabajo de grado para optar el título de ingeniero sanitario y ambiental. Bucaramanga: Universidad Pontificia Bolivariana. Facultad de ingeniería sanitaria y ambiental

Castellanos Morales C. A., L. L. Marino-Zamudio, L. Guerrero-V., J. A. Maldonado Ocampo: Peces del departamento de Santander, Colombia. Rev. Acad. Colomb. Cienc. 35 (135): 189-212, 2011. ISSN 0370-3908

CONNOR B., HONDZO M. y HARVEY J. Incorporating both physical and kinetic Limitations in quantifying dissolved oxygen flux to aquatic sediments. Journal of environmental engineering, volume 2, 2009.

CONTRALORIA GENERAL DE SANTANDER. Estado de los recursos naturales y del medio ambiente. Departamento de Santander. Vigencia 2013 El manejo de las microcuencas, la calidad del agua y la prestación de los servicios públicos de acueducto y alcantarillado en los municipios del departamento de Santander. Bucaramanga, 2014. p 17-22.

CORPORACION AUTONOMA REGIONAL DEL VALLE DEL CAUCA, Tratamiento anaeróbico de aguas residuales, con énfasis en el sistema de flujo ascendente con manto de lodos (UASB).

DEPARTAMENTO ADMINISTRATIVO NACIONAL DE ESTADISTICA (DANE), Sistema de información del Medio Ambiente, 2011

DECRETO 1594 de la república de Colombia, Por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 9 de 1979, así como el Capítulo II del Título VI -Parte III- Libro II y el Título III de la Parte III -Libro I- del Decreto - Ley 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos, 1984.

DI TORO. Sediment flux modeling. John Wiley & Sons. Inc. 2003

DIAZ M. C., ESPINOSA A. J., VELAZQUEZ C. y CAMACHO L. A. Evaluación experimental de la demanda béntica y la toxicidad en el río Bogotá (Colombia) XXIV Congreso Latinoamericano de Hidráulica Punta del Este, Uruguay. 2010

EPA, soil in our streams, stream notes volumen 1, 2006

FERNANDEZ PARADA, Nelson Josué. ANDREDI PEREZ, Edgar. SUAREZ SUAREZ, Cristian Alexander. MOLINA BOTIA, Yancy Milena. RUEDA, Enrique. RIVERA, Hebert. PENARANDA LOZANO, Pedro León. Informe final contrato 111/2007. IDEAM, 2007

FILLOS, J. MOLOF, A. H. "Effect of Benthic Deposits on Oxygen and Nutrient Economy of Flowing Waters." J. Water Poll. Control Fed. 1972

GRAJALES, Heazel. AGUIRRE, Néstor. BAENA PALACIO, Jaime A. Determinación de la demanda de oxígeno de la vegetación sumergida en la zona de represamiento de la quebrada la vega, Antioquia, Colombia. 2006

GUARIN VILLAMIZAR, Oscar Darío. NAVAS, Claudia Viviana. ARDILA JAIMES, Jorge Andrés. Diseño y validación de un prototipo de respirómetro para medida de CO_2 en suelos contaminados, universidad de Santander, grupo de investigación GAIA. 2012

IDEAM, Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Laboratorio de calidad ambiental coliformes totales y E. Coli por el método de filtración por membrana en agar chromocult, 2007. p. 3-17.

IDEAM, Instituto de hidrología, meteorología y estudios Ambientales Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Laboratorio de calidad ambiental, Informe Final Contrato 111/2007

INSTITUTO GEOLOGICO Y MINERO DE LOS E.E.U.U. 2012. El volumen de agua dulce de la Tierra es una diminuta esfera.

LOPEZ MARTINES, Mery Liliana. Determinación de la constante de desoxigenación por demanda béntica en el Río Pasto. Revista criterios, 2009.

MATEUS GARCIA, Sonia Isabel. Determinación de la influencia de los factores hidrodinámicos y de calidad del agua en la demanda béntica de la cuenca alta del río Bogotá., trabajo de grado para optar por el título de Magister en ingeniería ambiental, Universidad nacional de Colombia, facultad de ingeniería. 2011.

NOLAN, Peter M. JOHNSON, Arthur F. A method for measuring sediment oxygen demand using a bench model benthic respirometer, U.S environmental protection agency. Massachusetts 1979.

Orrego, J. El estado de las aguas terrestres en Chile: cursos y aguas subterráneas. Fundación Terram. Santiago, Chile (2002).

PEREZ LOPEZ, German Orlando. PATIÑO SANCHEZ, Julio Cesar. Metodología para el diseño y evaluación de pruebas de trazadores entre pozos como herramienta complementaria en la caracterización de yacimientos: estado del arte. 2006

PHOA BELO, Lawrence. Measurement of the sediment oxygen demand in selected stations of the Pasig River using a bench-scale benthic respirometer, 2008.

RAJALAKSHMI M. JOSIAM. STEFAN H. Effect of flow velocity on sediment oxygen demand: comparison of theory and experiments. Journal of the American Resources Association. Vol 35 No.2, p. 433 – 439. 1999

REOLON, Luis. Programa de formación iberoamericano en materia de aguas, Área temática 3.3. Calidad de las agua, índices de calidad de aguas. Buenos aires, Argentina, división de calidad ambiental, dirección nacional de medio ambiente. Octubre de 2010.

ROLDAN, Gabriel. Bioindicación de la calidad de agua en Colombia. Uso del método BMWP/Col. Editorial Universidad de Antioquía. 2003. p 124.

ROS MORENO, Antonio. 2011. El agua, calidad y contaminación, Capítulo 7, Parámetros físicos de calidad de las aguas. Conductividad, resistividad y temperatura.

ROUNDS A, Stewart. DOYLE, Micelis. Sediment oxygen demand in the Tualatin River Basin, Oregon, 1992-96.

SAMBONI RUIZ, Natalia Eugenia. CARVAJAL ESCOBAR, Yesid. ESCOBAR, Juan Carlos. 2007. A review of physical-chemical parameters as water quality and contamination indicators.

SANCHEZ, Óscar. Ecosistemas acuáticos: Diversidad, procesos, problemática y conservación. 2011

SUAREZ, J. FERNANDEZ, N. calidad de agua en ríos, autodepuración. Tema 6 complementos, universidad de la Coruña. 2009

UNIANDES – EAAB Universidad de los Andes - Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá. Proyecto de Modelación de la calidad del agua del Río Bogotá: Informe final. Bogotá, D.C. 2002

U.S GEOLOGICAL SURVEY (USGS), The world's water. 2012

VEENSTRA J NOLEN S. *in situ* sediment oxygen demand in five southwestern U.S. lakes. Water Resources. Vol. 25 No. 3, p. 351 – 354. 1991.

VILLANUEVA C, Maria. ZAPATA C, Fernan. GUTIERRES B, Wilfredo. Evaluación de la calidad del agua del rio cunas mediante índices fisicoquímicos y biológicos, Junín Perú. Universidad Continental. 2015

WANG Y., Li X. LEEJ. Modelling of sediment oxygen demand and organic flux for a pulsed sediment organic load. Water Science & technology. Vol 54 No. 11 – 12, p 85 – 92. 2006.

WURST, A William. Interactions of pH, carbon dioxide, alkalinity and hardness in fishponds. 1992

ANEXOS


Anexo 1. Requerimientos para envase, preservación y almacenamiento de muestras.

PARAMETRO	TECNICA ANALITICA USADA	ENVASE	VOLUMEN (mL)	PRESERVACIÓN	TIEMPO ALMACENAMIENTO
pH	St. Mth. 4500 H+ B	P,V	50	ANÁLISIS INMEDIATO	25 h
Conductividad	St. Mth. 2510 B	P,V	500	REFRIGERAR < 6 °C	28 d
Oxígeno disuelto	St. Mth. 4500 O C	WINKLER	300	SULFATO MANGANOSO, ÁLCALI-YODURO AZIDA Y H ₂ SO ₄	8 h
Turbiedad	St. Mth. 2130 B	P,V	100	CONSERVAR EN LA OSCURIDAD A < 6 °C	24 h
DBO	St Mth. 5220 C	P,V	1000	REFRIGERAR < 6°C	6 h
DQO	St Mth. 5210 B	P,V	100	H ₂ SO ₄ pH < 2	7 d
Solidos suspendidos totales	St Mth. 2540 D	P,V	500	REFRIGERAR	-
Solidos suspendidos volátiles	St Mth. 2540 D E	P,V	500	REFRIGERAR	-
Coliformes totales	St. Mth. 9221 B	P,V	100	REFRIGERAR < 6 °C	48 h
Coliformes fecales	St. Mth. 9223 B	P	400	REFRIGERAR < 6 °C	-

Fuente: el autor

Anexo 2. Especificaciones de los equipos utilizados en campo.

pHmetro	
Marca:	HACH
Modelo:	HQ11d
No de serie:	140100099227 Nº INVENTARIO FAG - 135
INFORMACIÓN TÉCNICA	
Rango	pH: 0,00 - 14,00 T°: -20 °C a 60 °C
	

GPS	
Marca: Garmin	
Modelo: ETRIX 20	
No de serie: 2D419131	

MOLINETE

Marca: A. OTT

Modelo: C31-00

No de serie: 79939



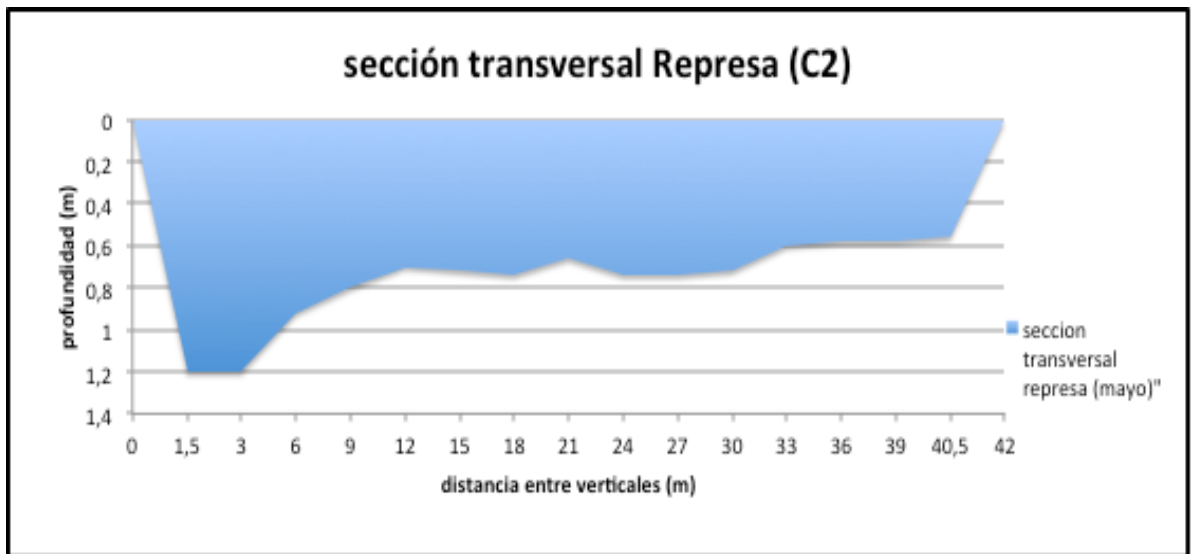
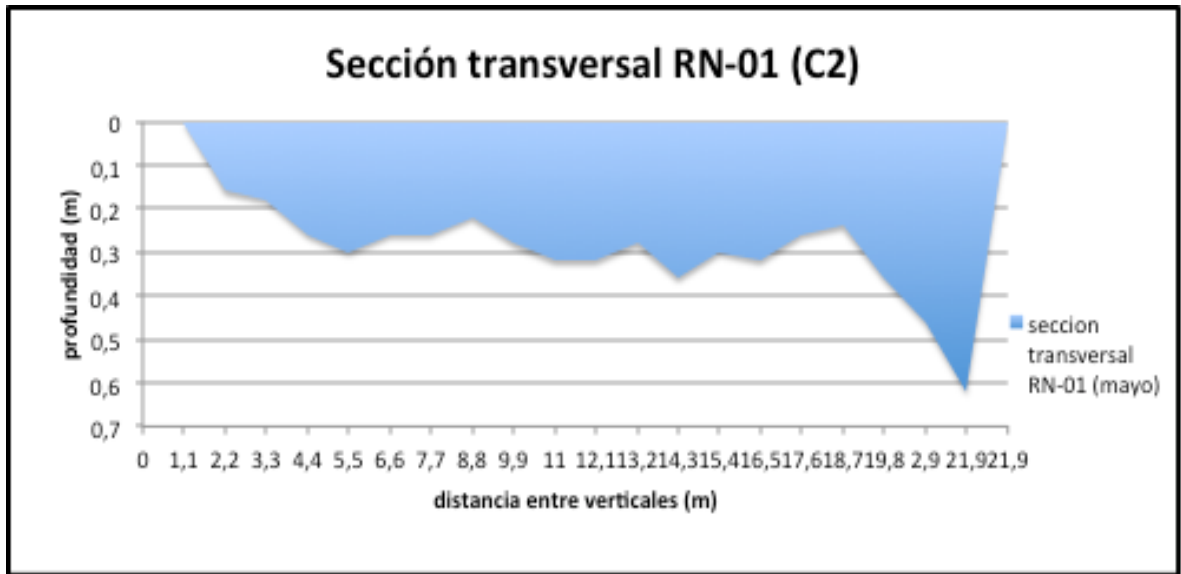
FLOW TRACKER

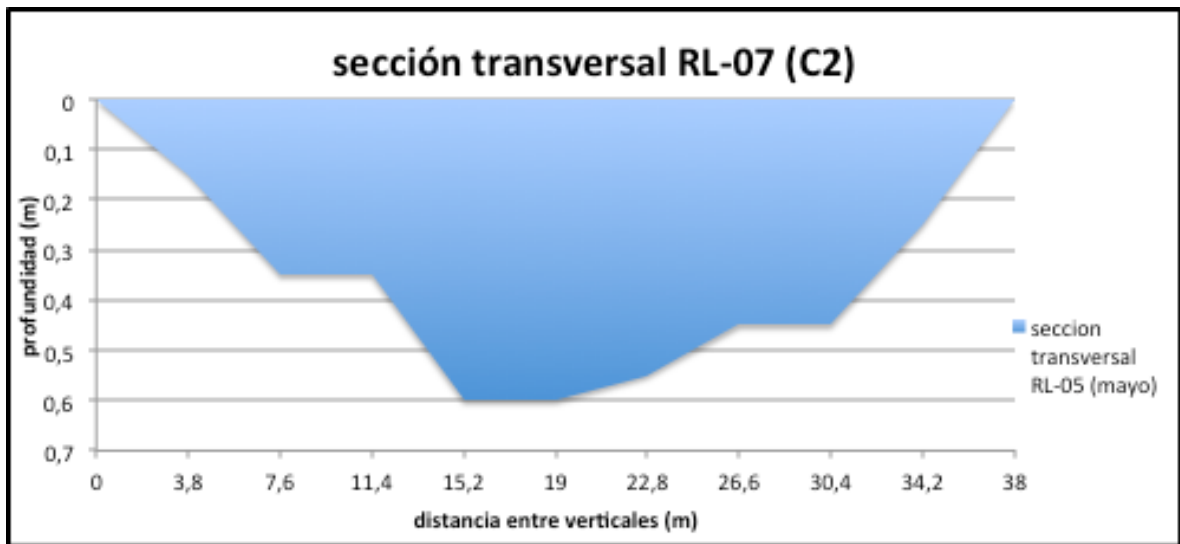
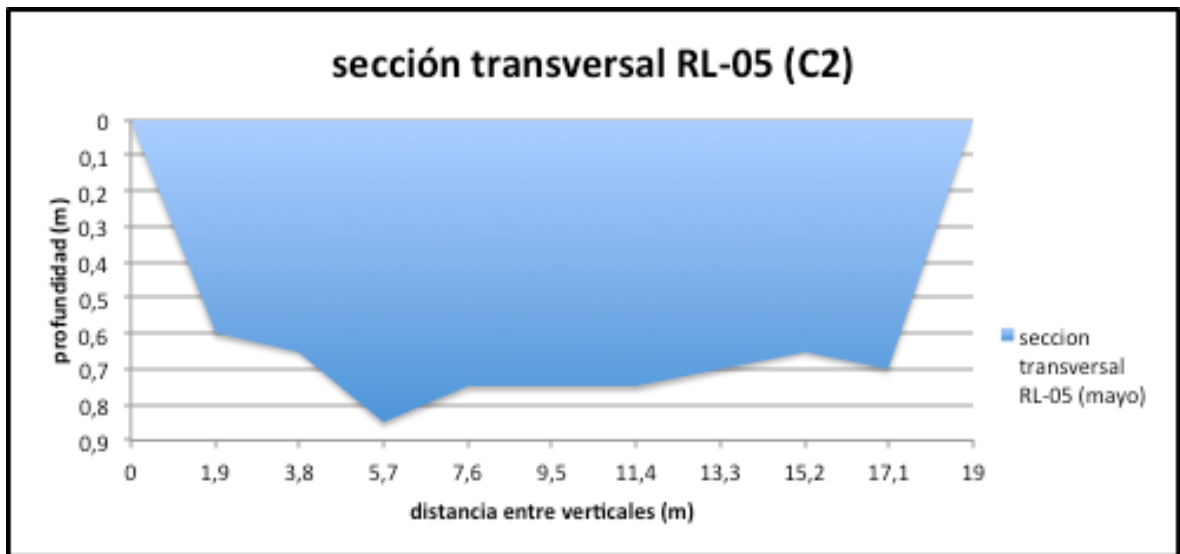
Marca:

SONTEK

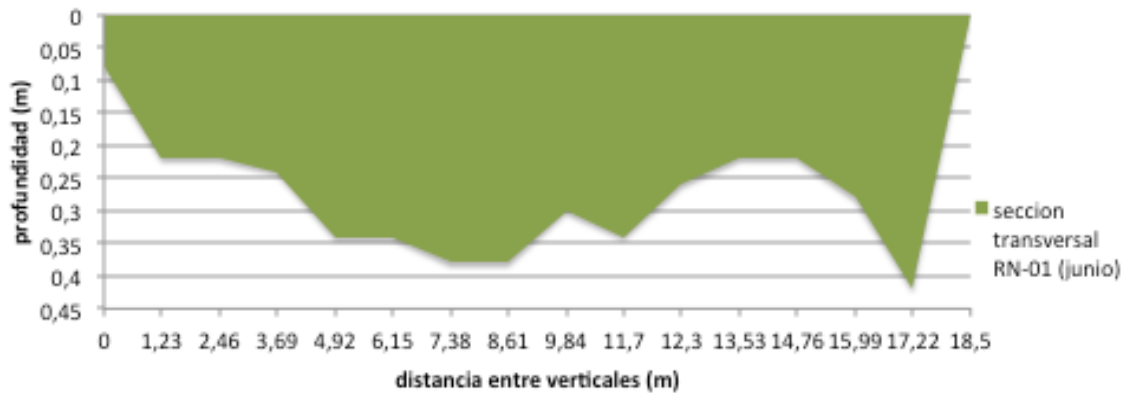


Anexo 3. Secciones transversales de cada campaña

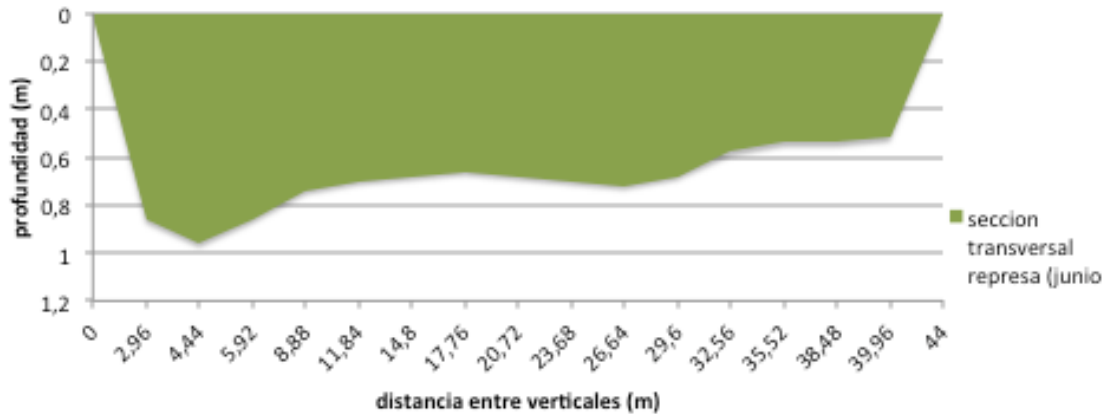


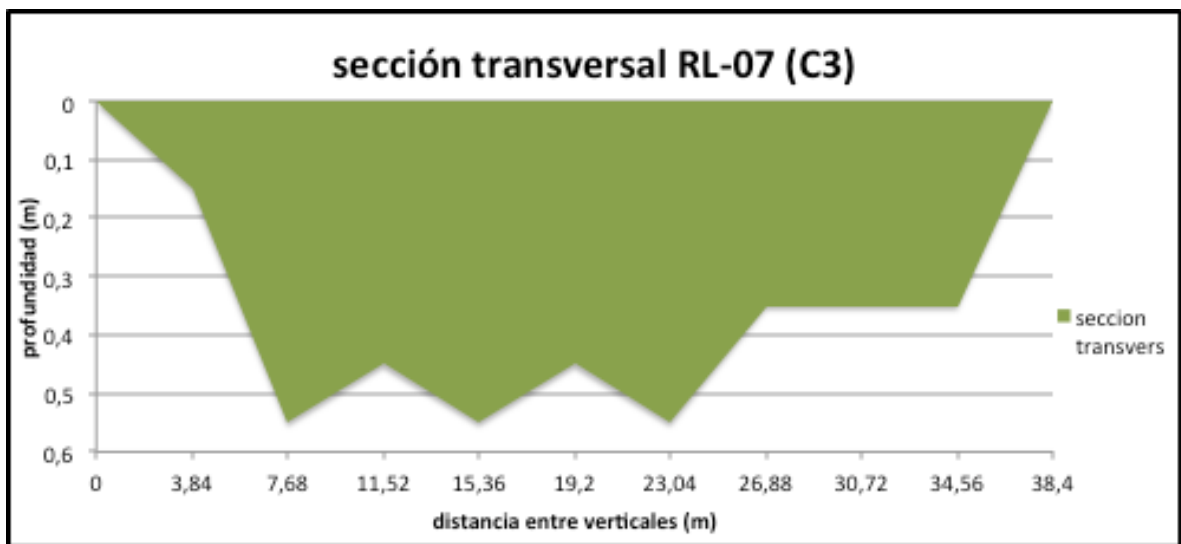
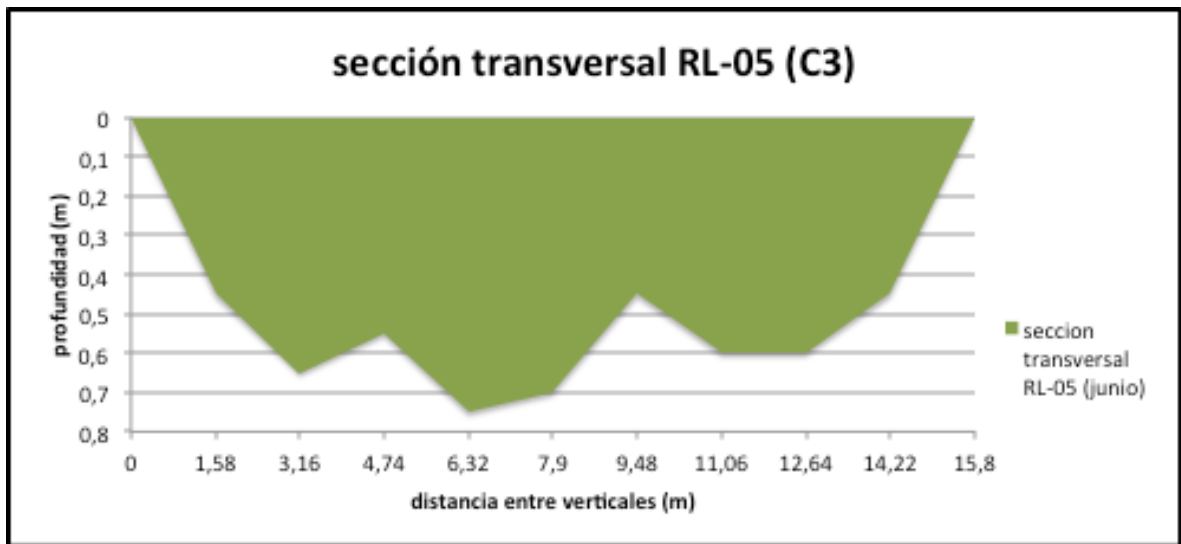


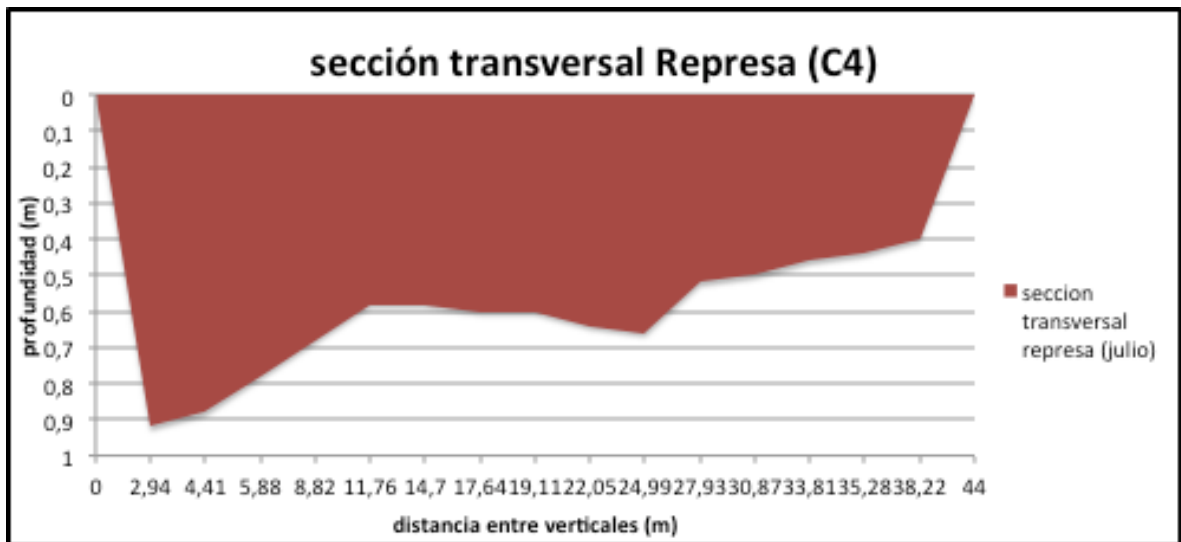
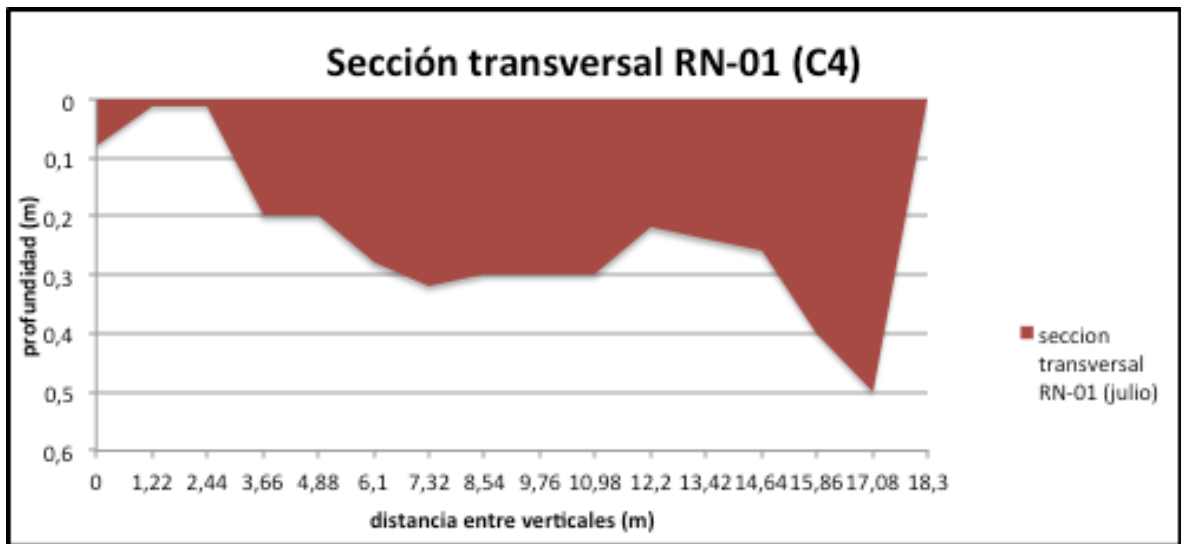
Sección transversal RN-01 (C3)

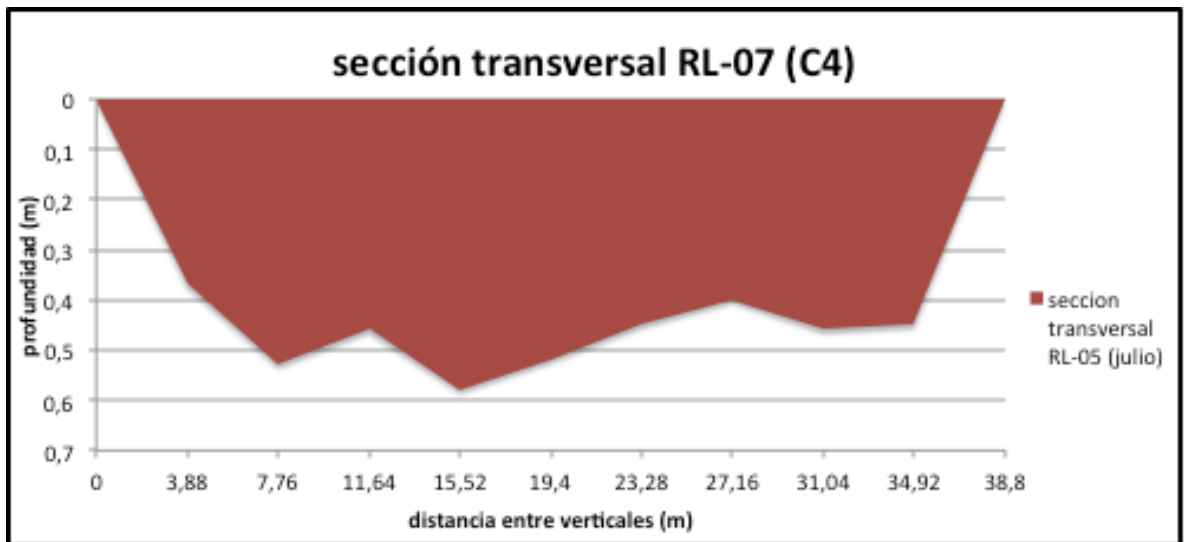
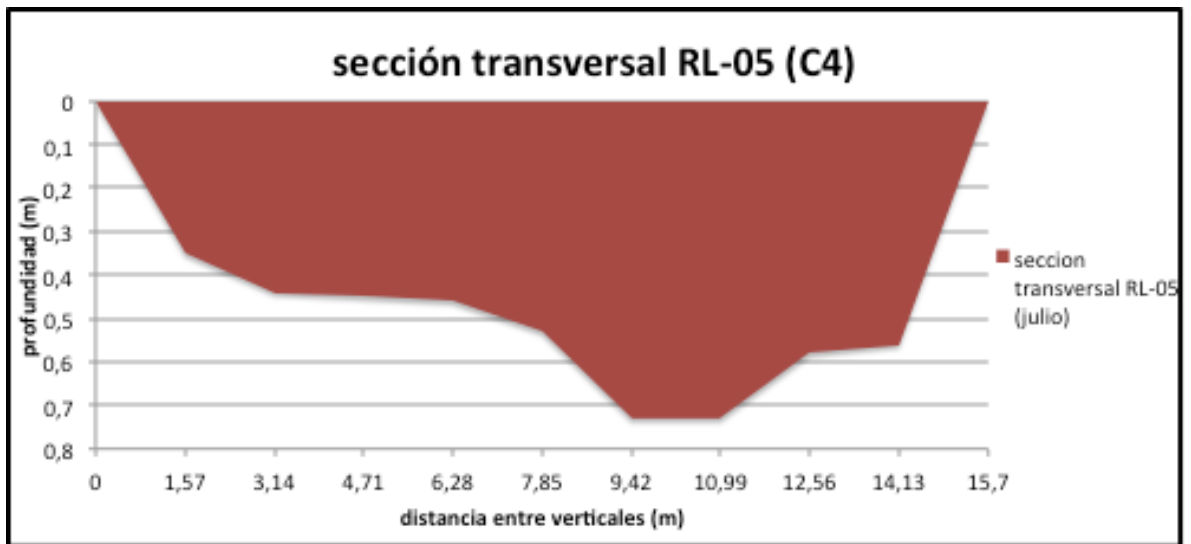


sección transversal Represa (C3)









Anexo 4. Calculo ICA

VARIABLE	RN-01 (C2)	SUB.	Pond. IDEAM	REPRESA (C2)	SUB.	Pond. IDEAM
pH	7,09	1	0,15	7,68	1	0,15
CONDUCTIVIDAD (25 °C)	81	0,801678442	0,136285335	269	0,009469038	0,001609736
OXÍGENO DISUELTO	8,36	0,939522961	0,159718903	6,03	0,810270373	0,137745963
DQO	<15	0,125	-	24,3	0,71	-
DBO ₅	6,3	0,490	0,083	9,7	0,359	0,061
SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	11	0,987	0,168	19,2	0,962	0,164
COLIFORMES TOTALES	9200	-	-	35000	-	-
COLIFORMES FECALES	9200	0,1	0,017	13000	0,1	0,017
CAUDAL (m ³ /L)	3,82	-	-	11,97	-	-
ILCAG	0,193978455	0,193978455	-	0,359013809	0,359013809	-
ICA	-	-	0,71	-	-	0,53
ICAg	-	-	0,56	-	-	0,48

VARIABLE	RL-05 (C2)	SUB.	Pond. IDEAM	RL-07 (C2)	SUB.	Pond. IDEAM
pH	7,93	1	0,15	7,84	1	0,15
CONDUCTIVIDAD (25 °C)	254	0,082772261	0,0140713	288	0	0
OXÍGENO DISUELTO	6,03	0,781161593	0,1327975	6,32	0,82797158	0,14075517
DQO	21,9	0,71	-	25,9	0,51	-
DBO ₅	8,4	0,403	0,069	8,4	0,403	0,069
SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	14	0,978	0,166	16	0,972	0,165
COLIFORMES TOTALES	7900	-	-	17000	-	-
COLIFORMES FECALES	4900	0,1	0,017	4900	0,1	0,017
CAUDAL (m ³ /L)	4,27	-	-	14,70	-	-
ILCAG	0,209932482	0,209932482	-	0,388696995	0,388696995	-
ICA	-	-	0,55	-	-	0,54
ICAg	-	-	0,45	-	-	0,50

VARIABLE	RN-01 (C3)	SUB.	Pond. IDEAM	REPRESA (C3)	SUB.	Pond. IDEAM
pH	7,77	1	0,15	7,65	1	0,15
CONDUCTIVIDAD (25 °C)	79,7	0,805931901	0,137008423	253	0,087607938	0,014893349
OXÍGENO DISUELTO	7,82	0,943135209	0,160332986	6,7	0,865874866	0,147198727
DQO	<15	0,125	-	22,9	0,71	-
DBO ₅	5,2	0,549	0,093	9,7	0,359	0,061
SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	13	0,981	0,167	20,4	0,959	0,163
COLIFORMES TOTALES	5400	-	-	54000	-	-
COLIFORMES FECALES	2200	0,1	0,017	54000	0,1	0,017
CAUDAL (m ³ /L)	3,69	-	-	10,56	-	-
ILCAG	0,18881978	0,18881978	-	0,340880085	0,340880085	-
ICA	-	-	0,72	-	-	0,55
ICAg	-	-	0,56	-	-	0,49

VARIABLE	RL-05(C3)	SUB.	Pond. IDEAM	RL-07 (C3)	SUB.	Pond. IDEAM
pH	7,81	1	0,15	7,9	1	0,15
CONDUCTIVIDAD (25 °C)	270	0,004531679	0,0007704	275	0	0
OXÍGENO DISUELTO	6,7	0,869648503	0,1478402	6,8	0,865266932	0,14709538
DQO	24,6	0,71	-	24,6	0,71	-
DBO ₅	10,2	0,344	0,058	9,6	0,362	0,062
SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	13,2	0,980	0,167	19,6	0,961	0,163
COLIFORMES TOTALES	160000	-	-	92000	-	-
COLIFORMES FECALES	160000	0,1	0,017	92000	0,1	0,017
CAUDAL (m ³ /L)	3,057	-	-	15,79	-	-
ILCAG	0,161603381	0,161603381	-	0,399061249	0,399061249	-
ICA	-	-	0,54	-	-	0,54
ICAg	-	-	0,43	-	-	0,50

VARIABLE	RN-01(C4)	SUB.	Pond. IDEAM	REPRESA (C4)	SUB.	Pond. IDEAM
pH	8,04	1,020967766	0,153145165	7,96	1	0,15
CONDUCTIVIDAD (25 °C)	81,3	0,80069356	0,136117905	317	0	0
OXÍGENO DISUELTO	7,92	0,983321628	0,167164677	6,9	0,936183397	0,159151177
DQO	15	0,91	-	20,6	0,71	-
DBO ₅	2	1,000	0,170	9,7	0,359	0,061
SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	10	0,990	0,168	17,5	0,968	0,164
COLIFORMES TOTALES	9200	-	-	54000	-	-
COLIFORMES FECALES	9200	0,1	0,017	92000	0,1	0,017
CAUDAL (m ³ /L)	2,48	-	-	6,87	-	-
ILCAG	0,13135241	0,13135241	-	0,278706593	0,278706593	-
ICA	-	-	0,81	-	-	0,55
ICAg	-	-	0,61	-	-	0,47

VARIABLE	SUB.	Pond. IDEAM	RL-05(C4)	SUB.	Pond. IDEAM	RL-07 (C4)	SUB.	Pond. IDEAM
pH	1	0,15	7,92	1	0,15	7,76	1	0,15
CONDUCTIVIDAD (25 °C)	0	0	335	0	0	320	0	0
OXÍGENO DISUELTO	0,936183397	0,159151177	7,31	0,986784655	0,1677534	7,11	0,926074585	0,15743268
DQO	0,71	-	16,4	0,91	-	26,3	0,51	-
DBO ₅	0,359	0,061	6,6	0,476	0,081	5,1	0,555	0,094
SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	0,968	0,164	10	0,990	0,168	43,3	0,890	0,151
COLIFORMES TOTALES	-	-	22000	-	-	160000	-	-
COLIFORMES FECALES	0,1	0,017	22000	0,1	0,017	160000	0,1	0,017
CAUDAL (m ³ /L)	-	-	2,06	-	-	12,84	-	-
ILCAG	0,278706593	-	0,104517784	0,104517784	-	0,369152153	0,369152153	-
ICA	-	0,55	-	-	0,58	-	-	0,57
ICAg	-	0,47	-	-	0,44	-	-	0,51

Anexo 5. Resultados actividad metanogénica

Actividad metanogénica (C2)				
HORA	BOTELLA 1	BOTELLA 2	BOTELLA 3	BOTELLA 4
8:00 a.m.	5	10	7,5	4
1:00 p.m.	7	3,5	1	1,5
5:00 p.m.	0	0	0	0
8:00 a.m.	6	5	2,5	1
1:00 p.m.	0	0	0	0
TOTAL mL	18	18,5	11	6,5
actividad metanogénica	0,0276	0,0284	0,0169	0,0100

Actividad metanogénica (C3)				
HORA	BOTELLA 1	BOTELLA 2	BOTELLA 3	BOTELLA 4
8:00 a.m.	0	0	0	0
1:00 p.m.	0	0	0	0
5:00 p.m.	0	2,5	1	1,5
8:00 a.m.	3	3	1,5	1
1:00 p.m.	0	0	0,5	0,5
TOTAL mL	3	5,5	3	3
actividad metanogénica	0,0046	0,0084	0,0046	0,0046

Actividad metanogénica (C4)				
HORA	BOTELLA 1	BOTELLA 2	BOTELLA 3	BOTELLA 4
8:00 a.m.	0	0	0	0
1:00 p.m.	0	5	10	0
5:00 p.m.	0	10	5	1
8:00 a.m.	0	5	20	0
1:00 p.m.	0	5	15	0
TOTAL mL	0	25	50	1
actividad metanogénica	0,000	0,038	0,077	0,002