



DOI: <http://dx.doi.org/10.23857/dc.v7i6.2356>

Ciencias Técnicas y Aplicadas  
Artículo de revisión

*Evaluación de la calidad del agua para consumo humano en la cuenca baja del río Lelía (Santo Domingo de los Tsáchilas – Ecuador)*

*Evaluation of the quality of water for human consumption in the lower basin of the Lelia river (Santo Domingo de los Tsachilas - Ecuador)*

*Avaliação da qualidade da água para consumo humano na bacia inferior do rio Lelía (Santo Domingo de los Tsáchilas - Ecuador)*

Luis Marcelo Álava-Rosales <sup>I</sup>  
[marcelopitt@hotmail.com](mailto:marcelopitt@hotmail.com)  
<https://orcid.org/0000-0002-9433-4647>

Louison Steven Marin-Álvarez <sup>II</sup>  
[stevenmarinalvarez@yahoo.com](mailto:stevenmarinalvarez@yahoo.com)  
<https://orcid.org/0000-0001-6530-8231>

Nelson Camilo Gallo-Ibáñez <sup>III</sup>  
[camilgall@hotmail.com](mailto:camilgall@hotmail.com)  
<https://orcid.org/0000-0002-8069-1504>

**Correspondencia:** [marcelopitt@hotmail.com](mailto:marcelopitt@hotmail.com)

**\*Recibido:** 30 de agosto de 2021 **\*Aceptado:** 22 de septiembre de 2021 **\* Publicado:** 18 de octubre de 2021

- I. Ingeniero Agroindustrial Mención el Alimentos, Estudiante de la Maestría en Hidráulica Mención en Gestión de Recursos Hídricos del Instituto de Posgrado de la Universidad Técnica de Manabí, Portoviejo, Ecuador.
- II. Ingeniero en Alimentos, Universidad Técnica de Manabí, Portoviejo, Ecuador.
- III. Licenciado en Biotecnología, Universidad Estatal de Moscú de Producción Alimenticia, Moscú, Rusia

## Resumen

El agua es esencial para la vida, es el recurso renovable más significativo que existe en el planeta, sin ese vital líquido no se podría vivir, aunque el 70% del mundo está cubierto de agua solo el 3% es dulce. Para el ser humano es el elemento de la naturaleza más importante ya que cubre las necesidades básicas hasta las más complejas, además de ser fundamental para el desarrollo de una sociedad es indispensable para el organismo del ser humano, sin éste recurso es improbable que la vida continúe, es indispensable que los afluentes se conserve libre de contaminación con la finalidad de evitar enfermedades que alcancen al hombre, ganado o agricultura, en este sentido se realizó una serie de análisis del agua de la cuenca baja del río Lelía en diversos puntos para tiempos o condiciones hídricas específicas y extremas en temporada de verano e invierno donde se recolectaron un total de 12 muestras (6 verano y 6 invierno) con estos datos obtenidos se realizó el cálculo del índice de calidad de agua ICA, para poder establecer los parámetros de calidad de los cuerpos de agua, obteniéndose como resultado que para los 2 periodos de tiempos definidos en verano (septiembre-noviembre) la calidad es buena y para los de invierno (febrero 2021) varia de mala a regular y (Abril 2021) la calidad es regular, es importante destacar que se deben realizar medidas para adecuar las características de la aguas en época de invierno y así la calidad se ajuste a la normativa vigente en el Ecuador.

**Palabras clave:** calidad; contaminantes; recursos; condiciones hídricas; normas.

## Abstract

Water is essential for life, it is the most significant renewable resource that exists on the planet, without this vital liquid it would not be possible to live, although 70% of the world is covered with water, only 3% is fresh. For the human being, it is the most important element of nature since it covers the basic needs to the most complex ones, in addition to being fundamental for the development of a society, it is essential for the human body, without this resource it is unlikely that life continue, it is essential that the tributaries are kept free of contamination in order to avoid diseases that reach man, livestock or agriculture, in this sense a series of analyzes of the water of the lower basin of the Lelía river was carried out at various points for times o Specific and extreme water conditions in the summer and winter season where a total of 12 samples were collected (6 summer and 6 winter) with these data obtained, the calculation of the ICA water quality index was

performed, in order to establish the quality parameters of the bodies of water, obtaining as a result that for the 2 periods of time defined in summer (September-November) the quality is good and for the winter ones (February 2021) it varies from bad to regular and (April 2021) the quality is regular, it is important to note that measures must be taken to adapt the characteristics of the waters in winter time and thus the quality is adjusted to the regulations in force in Ecuador.

**Keywords:** quality; pollutants; resources; water conditions; standards.

## Resumo

A água é essencial para a vida, é o recurso renovável mais significativo que existe no planeta, sem este líquido vital não seria possível viver, embora 70% do mundo seja coberto com água, apenas 3% é doce. Para o ser humano, é o elemento mais importante da natureza, pois abrange desde as necessidades básicas até as mais complexas, além de ser fundamental para o desenvolvimento de uma sociedade, é essencial para o corpo humano, sem esse recurso ele é improvável que a vida continue, é imprescindível que os afluentes sejam mantidos livres de contaminação para evitar doenças que atingem o homem, a pecuária ou a agricultura, neste sentido foi realizada uma série de análises das águas da bacia inferior do rio Lelía. em vários pontos para os momentos o Condições específicas e extremas da água no verão e inverno, onde um total de 12 amostras foram coletadas (6 verão e 6 inverno) com esses dados obtidos, o cálculo do índice de qualidade da água ICA foi realizado, a fim estabelecer os parâmetros de qualidade dos corpos d'água, obtendo como resultado que para os 2 períodos de tempo definidos no verão (setembro-novembro) a qualidade é boa e para as de inverno (fevereiro 2021) varia de ruim a regular e (abril 2021) a qualidade é regular, é importante ressaltar que devem ser tomadas medidas para adequar as características das águas no inverno e conseqüentemente a qualidade é ajustado à regulamentação em vigor no Equador.

**Palavras-chave:** qualidade; poluentes; recursos; condições da água; padrões.

## Introducción

El agua es esencial para la vida de todos los seres vivos. Es el recurso renovable más significativo que existe en el planeta, sin ese vital líquido no se podría vivir. A pesar de que el 70% del mundo está cubierto de agua, apenas el 3% en tierra es dulce. Para el ser humano, es el elemento de la naturaleza más importante, ya que cubre muchas de las necesidades básicas hasta las más

complejas, entre ellas están: consumo humano, higiene personal, pisciculturas, agricultura, riego de árboles y parques, ganadería, industria, para fines recreativos, transporte de desechos, entre otros beneficios (Fernández, 2012).

El agua además de ser fundamental para el desarrollo de una sociedad es indispensable para el organismo del ser humano, sin éste recurso es improbable que la vida continúe como se conoce. El agua para el consumo humano es necesaria ya que favorece a estar sanos, debido que mejora el flujo sanguíneo, mejora la función digestiva, ayuda a transportar oxígeno y la reproducción celular del cuerpo, permite la absorción de los nutrientes principales, aporta energía, protege las articulaciones, conserva la musculatura en buen estado, entre otras funciones.

Por tal motivo, es indispensable que el agua de los afluentes debe conservarse libre de contaminación, con la finalidad de evitar enfermedades que alcancen al ser humano, al ganado o hasta la agricultura en general. El Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos (2020) indica que la alteración de los recursos hídricos a nivel mundial pone en riesgo el resultado del Objetivo de Desarrollo Sostenible N° 6 de la Agenda 2030 de las Naciones Unidas, cuyo fin trazado es “conseguir el acceso al agua limpia y el saneamiento para todos en los diez próximos años” (p.1). Destacando que es un desafío enorme, y considerando que actualmente existen 2.200 millones de seres humanos sin acceso al agua potable distribuidos en todo el mundo.

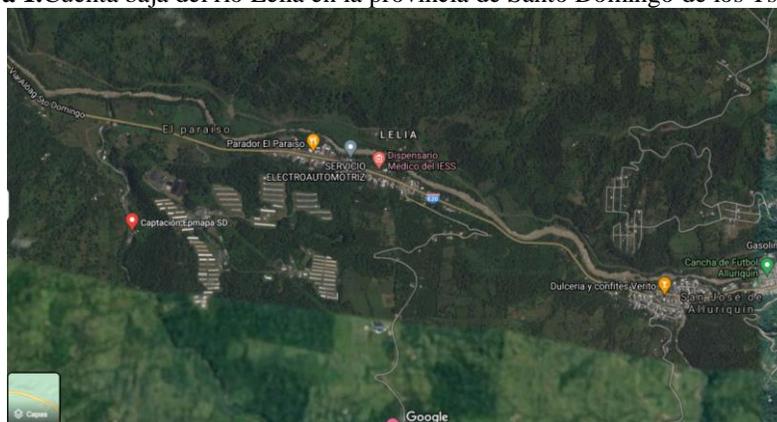
La calidad del agua se verá afectada negativamente por el aumento de sus temperaturas, la menor cantidad de oxígeno disuelto y por consiguiente, la menor capacidad de autodepuración de los depósitos de agua dulce. Las inundaciones y una mayor concentración de contaminantes durante las sequías aumentarán el riesgo de polución del agua y de contaminación patogénica contempla también el informe mundial de las naciones unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos (2020).

En la República del Ecuador existe una red hidrográfica muy importante, entre ella se encuentra la cuenca del río Lelía, ubicada en la provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas, a 130 km al oeste de Quito, con una extensión de 3.857 Km<sup>2</sup>, situado en las faldas occidentales de la cordillera de los Andes. En el pie de monte de esta cordillera comienzan 257 ríos que surten a las cuencas de los ríos Guayas y Esmeraldas que desembocan en el Océano Pacífico (Román, 2015).

El río Lelía se ubica en el territorio de la parroquia rural Alluriquín, del cantón Santo Domingo. Cobos (2019), explica que a lo largo del recorrido del río no existe una franja de

amortiguamiento en la ribera del río, existen sembradíos de pastizales, y mucha producción ganadera, donde los desechos producto de esa actividad van por escorrentía al río. También están las poblaciones de San Miguel de Lelía, Esperanza de Lelía y Cristal de Lelía. Este es un sistema hídrico muy importante para Santo Domingo, debido que el agua es captada para ser potabilizada por la planta de la Empresa Pública Municipal Agua Potable y Alcantarillado-Santo Domingo - EPMAPA-SD, destinada para satisfacer la demanda de agua para consumo humano de la ciudadanía local. A continuación, se muestra un mapa para localizar la cuenca baja del río Lelía.

**Figura 1.** Cuenca baja del río Lelía en la provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas.



Fuente: Google Maps, 2021.

En Santo Domingo de los Tsáchilas, es donde nacen la mayoría de los ríos pertenecientes al sistema hídrico de la zona, sin embargo, el desarrollo urbano anárquico ha ido en aumento ocasionando la contaminación progresiva en del río Lelía. Román (2015) revela que ésta contaminación se produce por las descargas urbanas de la provincia, como por ejemplo, actividades artesanales y ganaderas, cultivo intensivo de la tierra, además que no existen plantas de tratamientos de aguas servidas que desembocan de manera cruda en éste importante corriente de agua dulce, también el desarrollo industrial de la zona contribuye a la contaminación de éstas aguas. Simbaña et al. (2019) destacan que los contaminantes primordiales de los cauces de los ríos son compuestos orgánicos biodegradables, volátiles, metales tóxicos, recalcitrantes, sólidos en suspensión, nutrientes vegetales, patógenos microbianos y parásitos, entre otros. Estos contaminantes son devastadores para flora, la fauna y para los seres humanos.

Para determinar el grado de contaminación de un cuerpo de agua superficial para consumo humano se realiza por medio del Índice de Calidad del Agua – ICA. El ICA según Cahoy y López (2017), es

“una herramienta que permite identificar la calidad de agua de un cuerpo superficial o subterráneo en un tiempo determinado” (p.37). Para el cálculo del ICA es necesario la determinación de diversos parámetros como físicos, químicos y biológicos, en una ecuación matemática, para la evaluación y análisis de un cuerpo de agua para determinar la calidad del agua en diferentes niveles con la finalidad de establecer la vulnerabilidad del elemento ante amenazas potenciales.

Es indispensable analizar la calidad del agua, especialmente si es para el consumo humano. La calidad de agua para consumo humano se refiere a la condición del agua y a sus peculiaridades físicas, biológicas y químicas, de acuerdo a las normas vigentes ecuatorianas que evalúan la calidad del agua, y lo relacionan con la seguridad y potabilización para el ser humano y salud de los ecosistemas (González, 2018). Este mismo autor expone que el agua para que sea de calidad y para el consumo humano debe atender a los siguientes requisitos: que se encuentre libre de microorganismos que originan enfermedades, que esté libre de compuestos perjudiciales a la salud, admisible para consumo humano que cumpla con un bajo contenido de gusto, color y olor tolerables y sin ningún compuesto que produzcan corrosión en las instalaciones sanitarias. Por lo anteriormente mencionado el agua para consumo humano es muy importante. Por tal motivo, este artículo científico tiene como objetivo general analizar el nivel de contaminación del agua del Río Lelía mediante el análisis de pruebas físico-químicas y microbiológicas para el consumo humano.

### **Materiales y métodos.**

En este sentido se debió proceder a realizar una serie de análisis del agua del río Lelía en diversos puntos para tiempos o condiciones hídricas específicas y extremas en el río como lo son la temporada de verano e invierno. En este orden de ideas para la realización del análisis de la calidad del agua, se recolectaron un total de 12 muestras 6 en verano y 6 en invierno (3 muestras en septiembre de 2020; 3 en noviembre del año 2020 en la estación de verano) y (3 muestras en febrero y 3 en abril del año 2021 en la estación de invierno). Las muestras fueron recolectadas a lo largo de la cuenca baja del río Lelía, y fueron recogidas durante varias épocas, de acuerdo a diversos puntos convenientes. Para esta investigación se consideraron 3 puntos predominantes en la toma de muestra, como se indica en la tabla 1:

Evaluación de la calidad del agua para consumo humano en la cuenca baja del río Lelía (Santo Domingo de los Tsáchilas – Ecuador)

**Tabla 1.** Coordenadas geográficas de puntos de muestreo a lo largo del cauce del río Lelía.

Punto	Latitud	Longitud
1	S: 0°19'33.07771''	W: 79°1'46.84696''
2	S: 0°19'23.84317''	W: 79°1'50.77517''
3	S: 0°19'19.986355''	W: 79°1'54.79054''

Fuente: Elaboración propia, 2021.

Los parámetros físicos químicos analizados fueron: pH, temperatura ambiental, Temperatura de muestra, Sólidos disueltos totales. Entre los parámetros químicos estudiados: fosfatos y nitratos. Entre los especiales se analizaron: Oxígeno disuelto y Demanda Bioquímica de Oxígeno durante 5 días-DBO5. En el análisis bacteriológico se examinaron los Coliformes fecales. La tabla 2 señala el procedimiento para realizar las muestras en el Río Lelía.

**Tabla 2.** Metodología para la toma de muestra en el río en función del ensayo a realizar

Parámetro a determinar	Método Utilizado	Metódica de Acción Aplicada
Coliformes fecales	9221 F	<p><i>Prueba presuntiva</i></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>Tomar una batería con 15 tubos de ensayo distribuidos de 5 en 5.</li> <li>En los primeros 5 tubos, (los que contienen caldo lactosa doble concentración) inocular con pipeta esterilizada, 10 ml de la muestra de agua a ser probada, en cada tubo. (Dilución 1:1).</li> <li>En los 10 tubos restantes (los que contienen caldo lactosa simple concentración), inocular en los 5 primeros, 1 ml de la muestra (Dilución 1:10) y en los 5 últimos tubos, inocular 0,1 ml de la muestra, en cada tubo. (Dilución 1:100).</li> <li>Mezclar.</li> <li>Incubar a <math>35 \pm 0,5^{\circ}\text{C}</math> durante 24/48 horas.</li> <li>Si al cabo de 24/48 horas, haya la formación de gas dentro del tubo de Durham, significa que la prueba presuntiva ha sido positiva. En este caso, hacer prueba confirmativa. Si no hay la formación de gas durante el período de incubación, la prueba termina en esta fase y se considera el resultado de la prueba negativo.</li> </ol> <p>Observación: En lugar de caldo lactosa se puede utilizar el caldo Lauril Triptosa.</p> <p><i>Prueba confirmativa</i></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>Tomar el número de tubos de Prueba Presuntiva que resultaron Positivos (formación de gas) en las 3 diluciones 1:1; 1:10 y 1:100.</li> <li>Tomar igual número de tubos conteniendo el medio de cultivo verde brillante bilis a 2%.</li> <li>Con el asa de platina, previamente flameada y fría, retirar de cada tubo positivo una porción de muestra e inocular en el tubo correspondiente conteniendo el medio verde brillante. A este procedimiento se da el nombre de trasplante.</li> <li>Identificar los tubos.</li> <li>Incubar durante 24/48 horas a <math>35 \pm 0,5^{\circ}\text{C}</math>.</li> <li>Si al final del período de 24/48 horas haya la formación de gas dentro del tubo de Durham, la prueba es considerada positiva. Caso no haya formación de gas, la prueba es considerada negativa.</li> </ol>
pH	4500-H'B	<ol style="list-style-type: none"> <li>Conectar el equipo y esperar su estabilización.</li> <li>Lavar los electrodos con agua destilada y secarlos con papel absorbente.</li> <li>Calibrar el equipo con las soluciones estándares (pH 4 – 7 o 10).</li> <li>Lavar otra vez los electrodos con agua destilada y secarlos.</li> <li>Introducir los electrodos en la muestra a ser probada y hacer la lectura.</li> </ol>

## Evaluación de la calidad del agua para consumo humano en la cuenca baja del río Lelía (Santo Domingo de los Tsáchilas – Ecuador)

		<ol style="list-style-type: none"> <li>6. Lavar una vez más y dejarlos inmersos en agua destilada.</li> <li>7. Desconectar el equipo.</li> </ol>
DBO5	5210 D	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Preparar el agua para diluir la muestra utilizando una bolsa de solución tampón de nutriente de DBO (demanda bioquímica de oxígeno).</li> <li>2. Determinar el rango de los volúmenes de las muestras requeridos por la muestra;</li> <li>3. Medir con una pipeta serológica una serie graduada de por lo menos cuatro pero preferentemente cinco o seis porciones de muestra bien mezclada y transferirlas a botellas separadas de DBO de 300 ml y con tapón de vidrio. Agitarla muestra con la pipeta antes de colocar con la pipeta cada porción.</li> <li>4. Agregar dos chorros de inhibidor de nitrificación (aproximadamente 0,16 g) a cada botella, si se desea.</li> <li>5. Llenar cada botella exactamente hasta el pico con agua de dilución sembrada o sin sembrar. Al agregar el agua, dejar que la misma caiga lentamente por los lados de la botella para evitar la formación de burbujas.</li> <li>6. Tapar la botella cuidando de no atrapar ninguna burbuja de aire. Apretar el tapón de la botella con el dedo; luego, invertir la botella varias veces para que se mezcle.</li> <li>7. Agregar al pico de la botella DBO agua de dilución suficiente para formar un sello de agua.</li> <li>8. Colocar una tapa de plástico en el pico de cada botella y colocar las botellas en una incubadora a <math>20 \pm 1^\circ\text{C}</math>. Incubar en la oscuridad durante cinco días.</li> <li>9. Cuando se haya completado el período de incubación, determinar el contenido de oxígeno disuelto (mg/l de OD restante) en cada botella Nota: Este procedimiento ha sido aprobado por la EPA (Agencia para la protección del ambiente)</li> </ol>
Nitratos	4500-NO <sub>3</sub> E	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Seleccionar el test.</li> <li>2. Insertar el adaptador con el alojamiento para cubetas de una pulgada cuadradas y llenar la cubeta cuadrada hasta la marca de 10ml con la muestra.</li> <li>3. La muestra preparada: añadir el contenido de un sobre de reactivo de nitrato NitraVer 3 en polvo a la cubeta. Agitar la cubeta. Con rotación, para mezclar, y seleccionar en la pantalla el símbolo de temporizador y pulsar ok. Comienza un periodo de reacción de 10 minutos.</li> <li>4. Preparación del blanco: después de que suene el temporizador llenar otra cubeta cuadrada hasta la marca de 10ml con muestra.</li> <li>5. Limpiar bien el exterior de la cubeta (el blanco) y colocar el blanco en el equipo. Cerrar la tapa. Seleccionar en la pantalla: cero.</li> <li>6. Limpiar bien el exterior de la cubeta (la muestra preparada) y colocar en el equipo. Cerrar la tapa. El resultado aparecerá en mg/L NO<sub>3</sub><sup>-</sup>N.</li> <li>7. Registrar los valores obtenidos.</li> </ol>
Fosfatos	4500-P	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Encender el reactor. Calentar a 150°C. Colocar el escudo plástico adelante del reactor.</li> <li>2. Ingresar el número de programa almacenado por el usuario para fósforo reactivo, Test 'N Tube. Presionar: 535 ENTER En la pantalla se leerá: Fijar nm par 890.</li> <li>3. Girar el cuadrante de la longitud de onda hasta que la pantalla pequeña muestre: 890 nm Cuando se ajuste la longitud de onda correcta, en la pantalla aparecerá rápidamente: Muestra cero luego: mg/L PO<sub>4</sub>-TNT.</li> <li>4. Utilizar una pipeta Ten Sette para agregar 5,0 ml de muestra a un tubo para fósforo total e hidrolizable con ácido.</li> <li>5. Con un embudo, agregar los contenidos de una bolsa de polvo de persulfato de potasio para fosfonato al tubo.</li> <li>6. Tapar herméticamente y agitar para disolver.</li> <li>7. Calentar el tubo durante 30 minutos a 150°C.</li> <li>8. Retirar cuidadosamente el tubo del reactor. Colocarlo en un soporte para tubos de ensayo y dejar enfriar a temperatura ambiente.</li> <li>9. Utilizar una pipeta Ten Sette para agregar 2 ml de hidróxido de sodio 1,54 N al tubo. Tapar y mezclar.</li> <li>10. Colocar el adaptador de DQO en el soporte de la celda con el indicador a la derecha.</li> <li>11. Limpiar el exterior del tubo con una toalla.</li> <li>12. Colocar el tubo de muestreo en el adaptador con el logotipo de Hach de cara al frente del instrumento. Colocar la tapa en el adaptador.</li> <li>13. Presionar: ZERO En la pantalla se leerá: Puesta a cero luego: 0.00 mg/L PO<sub>4</sub></li> </ol>

Evaluación de la calidad del agua para consumo humano en la cuenca baja del río Lelía (Santo Domingo de los Tsáchilas – Ecuador)

		3-TNT. 14. Con un embudo, agregar los contenidos de una bolsa de polvo de reactivo de fosfato PhosVer 3 en el tubo. 15. Tapar herméticamente y agitar durante 10 a 15 segundos. 16. Presionar: SHIFT TIMER Comenzará un período de espera de 2 minutos. 17. Cuando suene el cronómetro, limpiar el exterior del tubo de muestreo con una toalla. 18. Colocar el tubo de muestreo preparado en el adaptador con el logo de Hach de cara al frente del instrumento. Tapar el adaptador. 19. Presionar: READ En la pantalla se leerá: Leyendo...luego en la pantalla aparecerán los resultados en mg/l de PO4 3-.
Cambio de temperatura	2550 B	1. Calibrar el equipo. 2. Introducir el electrodo previamente lavado. 3. Leer directamente del instrumento la temperatura de la muestra. 4. Consultar en internet la temperatura ambiental del sitio a la fecha y hora del ensayo en tiempo real. 5. Restar la temperatura ambiental con respecto a la muestra.
Turbidez	2130 B	1. Calibrar el turbidímetro de acuerdo a las instrucciones del fabricante. 2. Agitar la muestra suavemente y esperar hasta que las burbujas de aire desaparezcan y ponerla en la célula de muestra del turbidímetro; hacer la lectura de la turbidez directamente en la escala del instrumento o en la curva de calibración apropiada.
Sólidos disueltos totales	JF-AF-04	1. Enjuagar la celda con la solución de KCl estándar y ajustar el equipo al valor de 1412 de acuerdo con las instrucciones del fabricante. 2. Enjuagar la celda con varias porciones de la muestra, pase la muestra a un beaker, ajuste la temperatura de la muestra a 25°C e introducir la celda en la muestra. 3. Tomar la lectura directamente del equipo.
Oxígeno disuelto	4500-O G	<i>Método electrométrico</i> 1. Calibrar el equipo. 2. Introducir el electrodo previamente lavado con agua a la muestra. 3. Agitar uniformemente y leer directamente del instrumento la concentración de oxígeno.

En este sentido, el procedimiento para el manejo de la data está sustentado en el análisis estadístico para cada punto en condiciones de verano e invierno con la finalidad de poder observar y comparar las características del cuerpo de agua en las 2 condiciones extremas del comportamiento hídrico del río Lelía, por consiguiente se procede a tomar cada parámetro y realizarle su análisis estadístico descriptivo haciendo énfasis en el valor medio, error típico por los datos y la desviación estándar de los mismos para poder calcular en cada punto su valor de índice de calidad de agua.

Este análisis estadístico es fundamental para garantizar el debido tratamiento de la información puesto que con un solo valor por cada parámetro bastaría para realizar el cálculo del índice de calidad de agua ICA, sin embargo para garantizar la confiabilidad del mismo es necesario que se analicen los 3 datos por parámetro los cuales buscan generar o establecer confiabilidad en las datas manejadas, algo importante en mencionar es el hecho que físicamente representa cada ensayo los cuales establecen el comportamiento de la calidad físico-químico-bacteriológico del río en dos

épocas diferente en dos estaciones sumamente opuestas las cuales serían invierno y verano donde el comportamiento de la calidad del agua estará afectado por las características propias primeramente de las estaciones climáticas y sus comportamiento ante el evento hidrológico representado como la precipitación en invierno o su poca existencia en verano así como su comportamiento entre estos, los usos de las cuencas afluentes de los ríos, además de las políticas y control de las autoridades gubernamentales en función de poder reflejar dichos manejos.

Para evaluar los parámetros antes mencionados fue indispensable compararlos con los límites permisibles establecidos en la normativa ecuatoriana vigente para agua dulce, TULSMA, Libro VI, Anexo 1. y la norma técnica ecuatoriana NTE INEN 1108 de agua potable. Los índices pueden generarse utilizando ciertos elementos básicos en función de los usos del agua, el “ICA”, define la aptitud del cuerpo de agua respecto a los usos prioritarios que este pueda tener. Estos Índices son llamados de “Usos Específicos”.

El Índice de calidad de agua propuesto por Brown es una versión modificada del “WQI” que fue desarrollada por La Fundación de Sanidad Nacional de EE.UU. (NSF), que en un esfuerzo por idear un sistema para comparar ríos en varios lugares del país, creo y diseño un índice estándar llamado WQI (Water Quality Index) que en español se conoce como:

Índice De Calidad Del Agua (ICA).

Este índice es ampliamente utilizado entre todos los índices de calidad de agua existentes siendo diseñado en 1970, y puede ser utilizado para medir los cambios en la calidad del agua en tramos particulares de los ríos a través del tiempo, comparando la calidad del agua de diferentes tramos del mismo río además de compararlo con la calidad de agua de diferentes ríos alrededor del mundo. Los resultados pueden ser utilizados para determinar si un tramo particular de dicho río es saludable o no.

Para la determinación del “ICA” interviene 9 parámetros, los cuales son: Coliformes Fecales (en NMP/100 ml), pH (en unidades de pH), Demanda Bioquímica de Oxígeno en 5 días (DBO5 en mg/L), Nitratos (NO<sub>3</sub> en mg/L), Fosfatos (PO<sub>4</sub> en mg/L), Cambio de la Temperatura (en °C), Turbidez (en FAU), Sólidos disueltos totales (en mg/L), Oxígeno disuelto (OD en % saturación).

Estimación del índice de calidad de agua general “ICA”

El “ICA” adopta para condiciones óptimas un valor máximo determinado de 100, que va disminuyendo con el aumento de la contaminación el curso de agua en estudio. Posteriormente al

cálculo el índice de calidad de agua de tipo “General” se clasifica la calidad del agua con base a la siguiente tabla:

**Tabla 3.** Clasificación del “ICA” propuesto por Brown

Calidad del Agua	Color	Valor
Excelente	Azul	91-100
Buena	Verde	71-90
Regular	Amarillo	51-70
Mala	Naranja	26-50
Pésima	Morado	0-25

**Fuente:** Propia a partir de modelo de Lobos, José. Evaluación de los Contaminantes del Embalse del Cerrón Grande PAES 2002.

Las aguas con “ICA” de categoría Excelente son capaces de poseer una alta diversidad de la vida acuática. Además, el agua también sería conveniente para todas las formas de contacto directo con ella. Las aguas con “ICA” de categoría Buena son capaces de poseer una muy buena diversidad de la vida acuática. Además, el agua también sería conveniente para todas las formas de contacto directo con ella.

Las aguas con un “ICA” de categoría “Regular” 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” de categoría “Pésima” pueden solamente poder apoyar un número limitado de las formas acuáticas de la vida, presentan problemas abundantes y normalmente no sería considerado aceptable para las actividades que implican el contacto directo con ella, tal como natación.

Para determinar el valor del “ICA” en un punto deseado es necesario que se tengan las mediciones de los 9 parámetros implicados en el cálculo del Índice los cuales son: Coliformes Fecales, pH, (DBO5), Nitratos, Fosfatos, Cambio de la Temperatura, Turbidez, Sólidos disueltos Totales, Oxígeno disuelto. La evaluación numérica del “ICA”, con técnicas multiplicativas y ponderadas con la asignación de pesos específicos se debe a Brown. Se puede utilizar una suma lineal ponderada de los subíndices (ICAa) o una función ponderada multiplicativa (ICAm). Estas agregaciones se expresan matemáticamente como sigue: finalmente, el ICA del río Lelía fue calculado mediante la fórmula que se aprecia en la ecuación 1:

$$UWQI = \sum_{i=1}^n W_i I_i$$

**Ecuación (1)**

Dónde:  $W_i$  es el peso o porcentaje asignado al  $i$ -ésimo parámetro y  $I_i$  es el subíndice del  $i$ -ésimo parámetro (Caho y López, 2017).

Otros autores (Landwehr y Denninger, 1976), demostraron que el cálculo de los “ICA” mediante técnicas multiplicativas es superior a las aritméticas, es decir que son mucho más sensibles a la variación de los parámetros, reflejando con mayor precisión un cambio de calidad. Es por esta razón que la técnica que se aplicará en este estudio es la multiplicativa. Para determinar el valor del “ICA” es necesario sustituir los datos en la ecuación obteniendo los Subíndices de distintas graficas que apoyan el método, dicho valor se eleva por sus respectivos  $w_i$  de la ponderación referente a los pesos relativos par cada parámetro del ICA y se multiplican los 9 resultados obteniendo de esta manera el “ICA”. Los pesos de los diversos parámetros son:

**Tabla 4.** Pesos relativos para cada parámetro del “ICA”

I	Subi	Wi
1	Coliformes Fecales	0.15
2	PH	0,12
3	DBO <sub>5</sub>	0,10
4	Nitratos	0,10
5	Fosfatos	0,10
6	Temperatura	0,10
7	Turbidez	0,08
8	Solidos Disueltos Totales	0,08
9	Oxígeno Disuelto	0,17

**Fuente:** Propia en base a parámetros ponderados cálculo de ICA

Luego, de aplicar las fórmulas se realizó un análisis sobre los resultados obtenidos los cuales son interpretados de acuerdo a los análisis físico, químico y bacteriológico para determinar el tipo de contaminantes presentes en la cuenca hidrográfica del río Lelía lo que se establecerá de manera cualitativa ésta identificación y determinar el nivel de contaminación. Finalmente se presentan alternativas para lograr solucionar los problemas que se puedan visualizarse en el estudio de la determinación del Índice de Calidad de Agua ICA en el río Lelía en esta cuenca hidrográfica.

## Resultados Obtenidos

En el desarrollo del análisis estadístico se obtuvieron ponderaciones sobre los parámetros estudiados para cada punto y se establecieron valor promedio, error típico y desviación estándar para cada parámetro el cual obedeció a una metodología aplicada directamente sobre los campos de acción para la toma de muestra y recolección de la misma amparada en la normas de calidad de agua específicas para el Ecuador y estas a su vez enmarcadas en los parámetros de la ONU para el desarrollo sustentable de la vida y de los cuerpos de agua.

Cabe la pena señalar que los resultados obtenidos del procesamiento de la data estadística serán el insumo inicial para poder establecer los índices de calidad de agua a aplicar ya que estos son los datos de entradas para el análisis de las ecuaciones planteadas además de representar el comportamiento hídrico del río en el momento y hora de la toma de las muestras, se hace hincapié en este aspecto ya que representa un comportamiento del río para el momento que se aborda el estudio pero como todo cuerpo de la naturaleza vivo y dinámicamente activo las acciones del hombre y de la misma naturaleza pueden modificar las características y respuestas del mismo ante cualquier situación o evento, puesto que el medio ambiente es vivo y dinámico. En este sentido se anexan los resultados del procesamiento estadístico de los datos suministrados por los ensayos físicos, químicos y bacteriológicos bajo las metodologías específicas para la recolección de los mismos y aplicación de las variables estadísticas referentes a los establecidos:

Cálculo de la Data Estadística de las Variables: Verano Septiembre 2020, Fuente: Río Lelía, Fecha; 29/09/2020. Dirección Santo Domingo de los Tsachilas Punto 1: Río Lelía Pronaca, Punto 2: Estación de Bombeo Puente Pronaca, Punto 3: Río Lelía Pronaca salida a propiedad de Segundo Sánchez.

**Tabla 5.** Resultados de variables estadísticas Septiembre (Verano) 2020

Parámetro	Unid	Método	Punto 1						Punto 2					
			E1	E2	E3	E pro	Sdx	Erro	E1	E2	E3	Epro	Sdx	Etípico
PH	-	4500-HB	8.6	8.6	8.4	8.5	0.12	0.067	8.08	8.23	8.2	8.17	0.079	0.043
T(amb)	°C	2550B	25.9	25.8	25.9	25.9	0.06	0.033	25.3	25.5	25.6	25.5	0.1528	0.088
T(muestra)	°C	2550B	23.9	24.2	24.2	24.1	0.17	0.1	24.7	24.7	24.9	24.8	0.1155	0.067
SDT	mg/l	1F-AF-04	58.3	58	58.6	58.3	0.3	0.17	56.8	57.4	57	57.1	0.3055	0.176
Turbiedad	NTU	2130B	0.3	0.26	0.24	0.28	0.021	0.012	0.32	0.32	0.30	0.31	0.0115	0.0067
Fosfato	mg/l	4500-P	0.1	0.1	0.0	0.07	0.07	0.03	0.1	0.1	0.1	0.1	0	0
Nitrato	mg/l	4500NO <sub>3</sub> P	0.4	0.3	0.4	0.36	0.057	0.033	0.5	0.5	0.5	0.5	0	0
OD	mg/l	4500-OG	7.69	7.68	7.69	7.68	0.003	0.006	7.65	7.65	7.6	7.63	0.029	0.017
DBO <sub>5</sub>	mg/l	5210D	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	0	0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	0	0
CF	NMP/100ml	9221F	4	2	3	3	1	0.57	4	5	5	4.67	0.577	0.33
			Punto 3											

Evaluación de la calidad del agua para consumo humano en la cuenca baja del río Lelía (Santo Domingo de los Tsáchilas – Ecuador)

Parámetro	Unid	Método	E1	E2	E3	E Pro	Sdx	Erro
PH	-	4500-HB	8.46	8.19	8.31	8.32	0.1352	0.078
T(amb)	°C	2550B	26.6	27.1	27.1	26.9	0.2886	0.17
T(muestra)	°C	2550B	26.3	26.5	26.7	26.5	0.2	0.1155
SDT	mg/l	1F-AF-04	56.7	57.1	56.2	56.67	0.4509	0.2603
Turbiedad	NTU	2130B	0.30	0.32	0.32	0.31	0.01155	0.0067
Fosfato	mg/l	4500-P	0	0.1	0	0.033	0.0577	0.033
Nitrato	mg/l	4500NO <sub>3</sub> P	0.4	0.6	0.6	0.53	0.1155	0.667
OD	mg/l	4500-OG	7.16	7.16	6.8	7.04	0.2078	0.12
DBO <sub>5</sub>	mg/l	5210D 0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	0
CF	NMP /100ml	9221F	4	5	4	4.33	0.577	0.333

Fuente: Elaboración propia, 2021.

Cálculo de la Data Estadística de las Variables: Verano Noviembre 2020, Fuente: Río Lelia, Fecha; 21/11/2020. Dirección Santo Domingo de los Tsachilas Punto 1: Río Lelía Pronaca, Punto 2: Estación de Bombeo Puente Pronaca, Punto 3: Río Lelia Pronaca salida a propiedad de Segundo Sánchez

Tabla 6. Resultados de variables estadísticas Noviembre (Verano) 2020

Parámetro	Unid	Método	Punto 1						Punto 2					
			E1	E2	E3	E pro	Sdx	Erro	E1	E2	E3	Epro	Sdx	Etípico
PH	-	4500-HB	7.68	7.58	7.7	7.65	0.064	0.0371	7.9	7.86	7.89	7.88	0.020817	0.0120
T(amb)	°C	2550B	25.1	25.1	25.4	25.2	0.1732	0.1	28.5	28.4	28.5	28.46	0.057735	0.0333
T(muestra)	°C	2550B	24.5	24.4	24.4	24.43	0.0577	0.0333	23.3	23.2	23.2	23.23	0.057735	0.0333
SDT	mg/l	1F-AF-04	60	60.3	60.2	60.17	0.1528	0.0882	58	57.8	58.1	57.97	0.15275	0.0881
Turbiedad	NTU	2130B	1.90	1.88	1.90	1.89	0.01155	0.0067	1.03	1.11	1.12	1.086	0.0493	0.0285
Fosfato	mg/l	4500-P	0.09	0.1	0.1	0.097	0.00577	0.0033	0.08	0.08	0.1	0.0867	0.015	0.0418
Nitrato	mg/l	4500NO <sub>3</sub> P	1.0	1.09	1.1	1.03	0.05196	0.03	2.2	2.0	2.0	2.067	0.1155	0.0667
OD	mg/l	4500-OG	7.6	7.59	7.56	7.593	0.00577	0.0033	7.69	7.82	7.7	7.73	0.0723	0.0418
DBO <sub>5</sub>	mg/l	5210D	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0			<2.0	<2.0	<2.0	<2.0		
CF	NMP /100ml	9221F	3.0	4.0	3.0	3.33	0.5773	0.0333	2.0	2.0	2.0	2	0	0
			Punto 3											
Parámetro	Unid	Método	E1	E2	E3	E Pro	Sdx	Erro						
PH	-	4500-HB	8.0	8.26	8.10	8.12	0.1311	0.0757						
T(amb)	°C	2550B	29.5	29.6	29	29.37	0.3215	0.1856						
T(muestra)	°C	2550B	24.5	24.7	24.7	24.63	0.1155	0.067						
SDT	mg/l	1F-AF-04	57.8	56.2	56.2	56.73	0.9237	0.5333						
Turbiedad	NTU	2130B	1.23	1.23	1.20	1.22	0.0173	0.01						
Fosfato	mg/l	4500-P	0.0	0.0	0.0	0	0	0						
Nitrato	mg/l	4500NO <sub>3</sub> P	2.3	2.3	2.2	2.27	0.0577	0.033						
OD	mg/l	4500-OG	7.7	7.72	7.11	7.51	0.3666	0.2000						
DBO <sub>5</sub>	mg/l	5210D	<2.0	<2.0	<2.0									
CF	NMP /100ml	9221F	6.0	6.0	6.0	6.0	0	0						

Fuente: Elaboración propia, 2021.

Cálculo de la Data Estadística de las Variables: invierno febrero 2021, Fuente: Río Lelia, Fecha; 22/02/2021. Dirección Santo Domingo de los Tsachilas Punto 1: Río Lelía Pronaca, Punto 2:

Evaluación de la calidad del agua para consumo humano en la cuenca baja del río Lelía (Santo Domingo de los Tsáchilas – Ecuador)

Estación de Bombeo Puente Pronaca, Punto 3: Río Lelía Pronaca salida a propiedad de Segundo Sánchez

**Tabla 7.** Resultados de variables estadísticas Febrero (Invierno) 2021

Parámetro	Unid	Método	Punto 1						Punto 2					
			E1	E2	E3	E Pro	Sdx	Erro	E1	E2	E3	Epro	Sdx	Etípico
PH	-	4500-HB	7.4	7.4	7.5	7.43	0.0577	0.033	7.2	7.3	7.1	7.2	0.1	0.0577
T(amb)	°C	2550B												
T(muestra)	°C	2550B	24.5	24.9	24.7	24.7	0.2	0.1154	24.2	24.8	24.5	24.5	0.3	0.173
SDT	mg/l	1F-AF-04	33.7	34.2	34	33.97	0.2516	0.1453	35.4	35.0	36.1	35.5	0.5567	0.32
Turbiedad	NTU	2130B	1230	1226	1222	1226	42	2.31	883	859	864	862.33	2.88	1.66
Fosfato	mg/l	4500-P	14.0	14.4	14.1	14.17	0.2081	0.120	10.1	10.7	11.3	11	0.424	0.3
Nitrato	mg/l	4500NO <sub>3</sub> P	233	246	236	235	1.73	1	94.1	95.2	90.4	92.8	3.39	2.4
OD	mg/l	4500-OG	6.77	6.78	6.75	6.76	0.0152	0.0088	6.94	6.82	6.88	6.858	0.0424	0.03
DBO <sub>5</sub>	mg/l	5210D	7.86	7.92	7.76	7.85	0.0805	0.046	6.74	6.88	6.68	6.83	0.2121	0.15
CF	NMP /100ml	9221F	>2400	>2400	>2400	>2400			1100	1100	1400	1100	100	0
Parámetro	Unid	Método	Punto 3											
			E1	E2	E3	E pro	Sdx	Err o						
PH	-	4500-HB	7.6	7.5	7.5	7.5	0	0						
T(amb)	°C	2550B												
T(muestra)	°C	2550B	24.3	24.0	24.5	24.25	0.03535	0.25						
SDT	mg/l	1F-AF-04	36.3	36.1	35.8	35.95	0.212	0.15						
Turbiedad	NTU	2130B	637	655	661	658	4.24	3						
Fosfato	mg/l	4500-P	12.3	12.9	12.4	12.65	0.3535	0.25						
Nitrato	mg/l	4500NO <sub>3</sub> P	11.9	12.3	12.1	12.2	0.1414	0.1						
OD	mg/l	4500-OG	7.22	7.01	7.26	7.135	0.1767	0.125						
DBO <sub>5</sub>	mg/l	5210D	6.47	6.32	6.82	6.57	0.3535	0.25						
CF	NMP /100ml	9221F	490	460	630	468	10.60	7.5						

Fuente: Elaboración propia, 2021.

Cálculo de la Data Estadística de las Variables: Invierno Abril 2021, Fuente: Río Lelia, Fecha: 19/04/2021. Dirección Santo Domingo de los Tsachilas Punto 1: Río Lelía Pronaca, Punto 2: Estación de Bombeo Puente Pronaca, Punto 3: Río Lelía Pronaca salida a propiedad de Segundo Sánchez

**Tabla 8.** Resultados de variables estadísticas Abril (Invierno) 2021

Parámetro	Unid	Método	Punto 1						Punto 2					
			E1	E2	E3	E pro	Sdx	Erro	E1	E2	E3	E pro	Sdx	Err típico
PH	-	4500-HB	7	7.1	7.3	7.2	0.1414	0.1	7.6	7.5	7.5	7.5	0	0
T(amb)	°C	2550B												
T(muestra)	°C	2550B	26.2	26.8	26.5	26.65	0.2121	0.15	27.1	27.9	26.9	27.4	0.7071	0.5
SDT	mg/l	1F-AF-04	48.3	49.5	49	49.25	0.3535	0.25	44.7	45.7	45.5	45.6	0.1414	0.1
Turbiedad	NTU	2130B	38.1	38.7	39.1	38.9	0.2828	0.2	61.3	60.7	59.1	59.9	1.1314	0.8
Fosfato	mg/l	4500-P	1.11	1.3	0.9	1.1	0.2828	0.2	3.1	2.7	3.5	3.1	0.5657	0.4
Nitrato	mg/l	4500NO <sub>3</sub> P	2.2	1.7	1.9	1.8	0.1414	0.1	6.2	5.9	5.8	5.85	0.0707	0.05
OD	mg/l	4500-OG	8.03	8.02	8.05	8.035	0.0212	0.015	5.92	5.73	5.88	5.81	0.1061	0.075
DBO <sub>5</sub>	mg/l	5210D	<2.0	2.3	2.5	2.4	0.1414	0.1	4.1	4.5	5.3	4.9	0.5657	0.4
CF	NMP /100ml	9221F	930	1100	1100	1100	0	0	1500	1500	>2400	1950	636	450
Parámetro	Unid	Método	Punto 3											
			E1	E2	E3	E	Sdx	Erro						

Evaluación de la calidad del agua para consumo humano en la cuenca baja del río Lelía (Santo Domingo de los Tsáchilas – Ecuador)

						pro		típico
PH	-	4500-HB	7.6	7.3	7.2	7.25	0.0707	0.05
T(amb)	°C	2550B						
T(muestra)	°C	2550B	28.0	27.8	27.9	27.85	0.0707	0.05
SDT	mg/l	1F-AF-04	45.1	46.3	46.5	46.4	0.1414	0.1
Turbiedad	NTU	2130B	37.4	37.1	37.6	37.35	0.3535	0.25
Fosfato	mg/l	4500-P	1.3	1.1	1.8	1.45	0.495	0.35
Nitrato	mg/l	4500NO <sub>3</sub> P	3.8	3.9	4.2	4.05	0.2121	0.15
OD	mg/l	4500-OG	6.2	6.11	6.16	6.135	0.3536	0.025
DBO <sub>5</sub>	mg/l	5210D	3.8	4.1	3.6	3.85	0.3536	0.25
CF	NMP/100ml	9221F	>2400	1500	>2400	1950	636	450

Fuente: Elaboración propia, 2021.

Luego de obtener los datos promedios por periodo de estación climática verano o invierno en sus diferentes fechas se procedió a realizar el cálculo del índice de calidad de agua ICA el cual es parte vital de este estudio por ende se realizó la implementación del método propuesto por Brown el cual es una versión modificada del “WQI” que fue desarrollada por La Fundación de Sanidad Nacional de EE.UU. (NSF), donde se procedió a realizar el ordenamiento de los parámetros para ingresarlos en las gráficas y así obtener sus valores de sub índices Sub<sub>i</sub> para luego proceder a realizar la multiplicación por el parámetro ponderado en el método multiplicativo asignado W<sub>i</sub> con esto realizar la ponderación correspondiente, su sumatoria y poder definir la calidad de agua específica para cada punto en el tiempo estudiado en los periodos climáticos seleccionados en este sentido se evidencia en las siguientes tablas los valores Referidos a los índices de calidad de agua para cada uno de ellos:

### Resultados del Cálculo de Índice de Calidad de Agua “ICA”

Tabla 9. ICA para P1, P2, P3 (Verano) Septiembre 2020

N	Parámetro	Unid	Punto 1				Punto 2				Punto 3			
			Valor	Sub <sub>i</sub>	W <sub>i</sub>	Total	Valor	Sub <sub>i</sub>	W <sub>i</sub>	Total	Valor	Sub <sub>i</sub>	W <sub>i</sub>	Total
1	CF	NMP/100ml	3	86	0.15	12.9	4.33	81	0.15	12.15	4.67	81	0.15	12.15
2	PH	--	8.5	65	0.12	7.8	8.32	74	0.12	8.88	8.17	82	0.12	9.84
3	DBO <sub>5</sub>	mg/l	< 2.0	90	0.10	9	< 2.0	90	0.10	9	< 2.0	90	0.10	9
4	Nitrato	mg/l	0.36	98	0.10	9.8	0.53	95	0.10	9.5	0.50	93	0.10	9.3
5	Fosfato	mg/l	0.07	98	0.10	9.8	0.033	99	0.10	9.9	0.1	95	0.10	9.5
6	T(temp)	°C	1.8	80	0.10	8.0	0.40	91	0.10	9.1	0.7	90	0.10	9
7	Turbidez	FAC	0.29	97	0.08	7.76	0.31	98	0.08	7.84	0.31	51	0.08	4.08
8	SDT	mg/l	58.3	87	0.08	6.96	56.7	88	0.08	7.04	57.1	88	0.08	7.04
9	OD	mg/l	91.19	93	0.17	15.81	89	95	0.17	16.15	94.31	96	0.17	16.32
			Índice ICA <sub>P1</sub> Sum 87.83				Índice ICA <sub>P2</sub> Sum 89.56				Índice ICA <sub>P3</sub> Sum 86.23			
Calidad			Buena				Buena				Buena			

Fuente: Elaboración propia, 2021.

Evaluación de la calidad del agua para consumo humano en la cuenca baja del río Lelía (Santo Domingo de los Tsáchilas – Ecuador)

**Tabla 10.** ICA para P1, P2, P3 (Verano) Noviembre 2020

N	Parámetro	Unid	Punto 1				Punto 2				Punto 3			
			Valor	Sub <sub>i</sub>	W <sub>i</sub>	Tota l	Valo r	Sub <sub>i</sub>	W <sub>i</sub>	Tota l	Valor	Sub <sub>i</sub>	W <sub>i</sub>	Total
1	CF	NMP /100ml	3.33	86	0.15	12.9	2	90	0.15	13.5	6.0	78	0.15	11.7
2	PH	--	7.65	91	0.12	10.9	7.88	88	0.12	10.6	8.12	81	0.12	9.72
3	DBO <sub>5</sub>	mg/l	< 2.0	90	0.10	9	<2.0	90	0.10	9	<2.0	90	0.10	9
4	Nitrato	mg/l	1.03	90	0.10	9	2.067	81	0.10	8.1	2.27	82	0.10	8.2
5	Fosfato	mg/l	0.097	95	0.10	9.5	0.087	94	0.10	9.4	0	98	0.10	9.8
6	T(temp)	°C	0.77	88	0.10	8.8	5.23	44	0.10	4.4	4.74	50	0.10	5
7	Turbidez	FAC	1.89	95	0.08	7.0	1.086	96	0.08	7.68	1.22	93	0.08	7.44
8	SDT	mg/l	60.17	87	0.08	6.96	57.97	87	0.08	6.96	56.73	87	0.08	6.96
9	OD	mg/l	90.36	94	0.17	15.9	90.30	93.5	0.17	15.9	89.40	92	0.17	15.64
			Índice ICA <sub>P1</sub> Sum 90.66				Índice ICA <sub>P2</sub> Sum 85.5				Índice ICA <sub>P3</sub> Sum 83.46			
Calidad			Buena				Buena				Buena			

Fuente: Elaboración propia, 2021.

**Tabla 11.** ICA para P1, P2, P3 (invierno) Febrero 2021

N	Parámetro	Und	Punto 1				Punto 2				Punto 3			
			Valor	Sub <sub>i</sub>	W <sub>i</sub>	Tota l	Valo r	Sub <sub>i</sub>	W <sub>i</sub>	Tota l	Valor	Sub <sub>i</sub>	W <sub>i</sub>	Tota l
1	CF	NMP /100ml	> 2400	16	0.15	2.4	1100	21	0.15	3.15	468	28	0.15	4.2
2	PH	--	7.43	92	0.12	11.0	7.2	91	0.12	10.9	7.5	93	0.12	11.2
3	DBO <sub>5</sub>	mg/l	7.85	40	0.10	4	6.38	46	0.10	4.6	6.57	50	0.10	5
4	Nitrato	mg/l	235	1	0.10	0.1	92.8	2	0.10	0.2	12.2	48	0.10	4.8
5	Fosfato	mg/l	14.17	5	0.10	0.5	11	5	0.10	0.5	12.65	5	0.10	0.5
6	T(temp)	°C	-3.6	64	0.10	6.4	-3.4	63	0.10	6.3	-3.15	67	0.10	6.7
7	Turbidez	FAC	1226	5	0.08	0.4	862.3	5	0.08	0.4	658	5	0.08	0.4
8	SDT	mg/l	33.97	85	0.08	6.8	35.5	86	0.08	6.88	35.95	88.5	0.08	7.08
9	OD	mg/l	80.48	88	0.17	14.9	81.55	89	0.17	15.1	86.43	90.5	0.17	15.4
			Índice ICA <sub>P1</sub> Sum 47				Índice ICA <sub>P2</sub> Sum 48.08				Índice ICA <sub>P3</sub> Sum 55.22			
Calidad			Mala				Mala				Mala			

Fuente: Elaboración propia, 2021.

**Tabla 11.** ICA para P1, P2, P3 (invierno) Abril 2021

N	Parámetro	Und	Punto 1				Punto 2				Punto 3			
			Valor	Sub <sub>i</sub>	W <sub>i</sub>	Tota l	Valo r	Sub <sub>i</sub>	W <sub>i</sub>	Tota l	Valor	Sub <sub>i</sub>	W <sub>i</sub>	Tota l
1	CF	NMP /100ml	1100	18	0.15	2.7	1950	16	0.15	2.4	1950	16	0.15	2.4
2	PH	--	7.2	90	0.12	10.8	7.5	93	0.12	11.2	7.25	92.5	0.12	11.1
3	DBO <sub>5</sub>	mg/l	204	80	0.10	8.0	4.9	55	0.10	5.5	3.85	68	0.10	6.8
4	Nitrato	mg/l	1.8	90	0.10	9	5.85	70	0.10	7	4.05	74	0.10	7.4
5	Fosfato	mg/l	1.1	38	0.10	3.8	3.1	20	0.10	2	1.45	36	0.10	3.6
6	T(temp)	°C	-3.15	55	0.10	5.5	-3.9	54	0.10	5.4	-4.4	52	0.10	5.2
7	Turbidez	FAC	38.9	48	0.08	3.84	59.9	34	0.08	2.72	37.35	48	0.08	3.84
8	SDT	mg/l	49.25	87	0.08	6.96	45.6	86	0.08	6.88	46.4	86.5	0.08	6.92
9	OD	mg/l	10.6	98	0.17	16.7	69	70	0.17	11.9	73	76	0.17	12.9
			Índice ICA <sub>P1</sub> Sum 67.26				Índice ICA <sub>P2</sub> Sum 54.96				Índice ICA <sub>P3</sub> Sum 60.18			
Calidad			Regular				Regular				Regular			

Fuente: Elaboración propia, 2021.

## **Análisis de los resultados**

En relación de los resultados obtenidos a través del método calculado en el caso del mes de septiembre día 29 del año 2020 en época de verano los parámetros evidencia que el agua es de buena calidad clasificado por Brown lo que significa que la misma es adecuada y corresponde a los valores permisibles por la normas de calidad aplicadas en el Ecuador, sin embargo debe realizarle el proceso de adecuación o tratamientos básicos correspondientes para que la misma sea apta para el consumo humano, ya que es indispensable para la vida y el buen desarrollo de los seres humanos estos valores evidencian concentraciones bajas en el caso de los contaminantes sin embargo se visualiza en los resultados que varían discretamente dependiendo la ubicación o punto de toma de muestra lo que produce dicha variación en las características y calidad del agua.

En el caso de los resultados obtenidos a través del método calculado en el caso del mes de Noviembre día 29 del año 2020 en época de verano los parámetros evidencia que el agua es de buena calidad clasificado por Brown lo que significa que la misma es adecuada y corresponde a los valores permisibles por la normas de calidad aplicadas en el Ecuador, sin embargo en el punto 1 de este análisis la misma casi llega a entrar en el rango de excelente lo que se traduce que dentro del rango estaba bastante cerca de ese rango ofreciendo una calidad prácticamente óptima el resto de los puntos los valores están en el rango de calidad buena y estos ofrecen las cualidades de poder ser utilizada para el consumo humano de igual manera a las mismas deben aplicársele un tratamiento básico o convencional para garantizar la calidad de las mismas.

Para el caso de los resultados obtenidos a través del método calculado en el caso del mes de Febrero día 22 del año 2021 en época de invierno los parámetros evidencia que el agua en los puntos 1 y 2 mala y en el punto 3 regular de calidad clasificado por Brown lo que significa que la misma no es adecuada y corresponde realizar las acciones pertinentes para adecuar estas a los valores permisibles por la normas de calidad aplicadas en el Ecuador, estos resultados tienen una posible explicación física ya que en la toma de las muestras se evidencian que las mismas están en periodo de invierno lo que indica en función de los índices de turbidez, nitratos, coliformes que habría existido un evento de precipitación reciente lo que alteraría las condiciones naturales del río ya que al existir dichos eventos con el proceso inundación se produce arrastre de materiales de las laderas que se encuentran alejados del cauce.

Es importante señalar que en la parte inicial del este estudio se mencionó que a lo largo del recorrido del río Lelía no existe una franja de amortiguamiento en la ribera del río, existen

sembradíos de pastizales, y mucha producción ganadera, donde los desechos producto de esa actividad van por escorrentía al río. También están las poblaciones de San Miguel de Lelía, Esperanza de Lelía y Cristal de Lelía. Este es un sistema hídrico muy importante para Santo Domingo, debido que el agua es captada para ser potabilizada por la planta de la Empresa Pública Municipal Agua Potable y Alcantarillado-Santo Domingo - EPMAPA-SD, en este sentido se debe realizar un tratamiento especial para poder adecuar la calidad de agua establecida y poder utilizarla de forma correcta

Para el caso de los resultados obtenidos a través del método calculado en el caso del mes de Abril día 19 del año 2021 en época de invierno los parámetros evidencia que el agua en los puntos 1, 2 y 3 regular de calidad clasificado por Brown lo que significa que la misma debe ser adecuada para que corresponda a los valores permisibles por la normas de calidad aplicadas en el Ecuador, de igual manera estas tomas son realizadas en periodo de invierno lo que modifica las características física, química y bacteriológica en este sentido de igual manera se debe estar consiente que a lo largo del recorrido del río Lelía no existe una franja de amortiguamiento en la ribera del río, existen sembradíos de pastizales, y mucha producción ganadera, donde los desechos producto de esa actividad van por escorrentía al río.

También están las poblaciones de San Miguel de Lelía, Esperanza de Lelía y Cristal de Lelía. Este es un sistema hídrico muy importante para Santo Domingo, debido que el agua es captada para ser potabilizada por la planta de la Empresa Pública Municipal Agua Potable y Alcantarillado-Santo Domingo - EPMAPA-SD, en este sentido se debe realizar un tratamiento especial para poder adecuar la calidad de agua establecida y poder utilizarla de forma correcta este hecho se fundamenta con el proceso de dilución de los contaminantes de estas laderas y que los mismos sean incorporados en los cauces del río lo que se traduce en el cambio de las características y aumento de los contaminantes.

Medidas para mitigar la contaminación en el cauce del río Lelía

Según Iida y Shock (2009), en las aguas superficiales, un exceso de Fósforo y Nitrógeno, en combinación con diversas temperaturas y luz solar, estimula el crecimiento de las algas. Si las actividades humanas permiten que un exceso de Fósforo y Nitrógeno alcance los cuerpos de agua dulce, estos nutrientes pueden provocar un gran aumento en la producción de algas, el cual se conoce como florecimiento de algas ya que el Fósforo y Nitrógeno enriquecen al suelo y promueven un buen crecimiento de las plantas, se deben tomar precauciones y aprender a manejarlo

de manera que se logren los mayores beneficios, sin causar consecuencias adversas. La zona de la subcuenca del Río Lelía se caracteriza por ser una zona agrícola y ganadera así como zonas de crecimiento urbano de forma irregular y poco planificada, por lo que se deben de tomar medidas preventivas para evitar que los niveles de Fósforo y Nitrógeno sobrepasen la normativa ecuatoriano. De acuerdo a Iida y Shock (2009), diseñar sistemas de riego y manejarlos adecuadamente para minimizar el escurrimiento de agua y reducir las pérdidas de Nitrógeno y Fósforo, además, utilizar métodos que atrapen los sedimentos y protejan el suelo para disminuir la pérdida de estos nutrientes, también, incentivar el cultivo en hilera irrigada y por último, realizar operaciones concentradas de alimentación de animales. Con respecto a los residuos provenientes de la ganadería, se propone tratarlos en un biodigestor artesanal para la producción de metano.

De manera preventiva se recomienda ubicar los puntos donde hay descargas de aguas residuales que contienen materia orgánica. Durante los muestreos, se identificaron algunos de estos puntos, los cuales se encuentran ubicados en las cercanías del Río Lelía, posteriormente a la ubicación de los puntos de descarga de materia orgánica, se debe hacer un monitoreo, para de esta manera garantizar que se está cumpliendo con la normativa respectiva. En el caso que el agua descargada no cumpla con la normativa ecuatoriana, se debe realizar un tratamiento que garantice que todos los parámetros se encuentren dentro de los límites establecidos.

Según Carrascal, Matiz, Pedroza, Rojas, Salcedo y Sánchez (2010), se puede aplicar un tratamiento de lagunaje facultativo para la disminución de la concentración de Coliformes Fecales, dicho método consiste en un pre tratamiento con rejillas de cribado, un tratamiento primario con desarenadores y trampa de grasa y lagunas biológicas, con un tiempo de retención de 24 horas, posteriormente un tratamiento con Cloro Gaseoso o con Hipoclorito de Sodio, el cual se aplica en un decantador. Al final del proceso, los residuos del decantador se trasladan a los patios de secado y el agua tratada se descarga a un cuerpo de agua receptor. Se propone que este tratamiento se aplique en las comunidades que actualmente se encuentran descargando sus aguas negras al río, o en los casos que poseen sistemas de fosas sépticas conectadas a la subcuenca, además se recomienda que este sistema se implemente en las granjas cercanas a la zona del Río Lelía.

Existen otros tipos de medidas que pueden incidir en la disminución de contaminantes en cuerpos de agua, de acuerdo a la FAO (2006), los dispositivos de filtración de agua se usan generalmente para mejorar la calidad del agua, reduciendo su turbidez y eliminado parte de la materia orgánica, por lo que se propone instalar rejillas filtrantes horizontales en la subcuenca del Río Lelía para

separar la materia orgánica y posteriormente enviar esta materia a un biodigestor artesanal. Según Vetivercol (2008), se pueden hacer uso de la fitorremediación por hidroponía utilizando Vetiver para el tratamiento de aguas residuales, este tipo de tratamiento es capaz de disminuir los niveles de Nitrógeno Total en un 94%, Fósforo Total en un 90% y Coliformes Fecales en un 44%, además ayuda a mejorar los niveles de OD, por lo que se propone la implementación de la fitorremediación a lo largo del río en estudio, instalando balsas flotantes, a las cuales se les sembraría la cantidad necesaria de plantas de Vetiver, para que absorban los contaminantes.

## Conclusiones

De acuerdo al cálculo del índice de calidad del agua propuesto por Brown, de los 3 puntos muestreados en el Río Lelía, para la temporada de verano en el mes de septiembre del 2020 poseen calidad Buena, lo que representa que la misma puede ser utilizada aplicando tratamiento adecuado para hacer de la misma apta para el consumo humano en función de la normativa ecuatoriana vigente. Este parámetro clasificado por Brown significa que la misma es adecuada y corresponde a los valores permisibles por la norma técnica ecuatoriana NTE INEN 1108 de agua potable aplicadas en el Ecuador, sin embargo debe realizarle el proceso de adecuación o tratamientos básicos correspondientes para que la misma sea apta para el consumo humano, ya que es indispensable para la vida y el buen desarrollo de los seres humanos estos valores evidencian concentraciones bajas en el caso de los contaminantes sin embargo se visualiza en los resultados varían discretamente dependiendo la ubicación o punto de toma de muestra lo que produce dicha variación en las características y calidad del agua.

Los resultados obtenidos a través del método calculado en el caso del mes de Noviembre día 29 del año 2020 en época de verano los parámetros evidencian que el agua es de buena calidad en función de lo clasificado por Brown lo que significa que la misma es adecuada y corresponde a los valores permisibles por las normas de calidad aplicadas en el Ecuador, sin embargo en el punto 1 de este análisis la misma casi llega a entrar en el rango de excelente lo que se traduce que dentro del intervalo estaba bastante cerca de ese rango ofreciendo una calidad prácticamente óptima el resto de los puntos los valores están en el rango de calidad buena y estos ofrecen las cualidades de poder ser utilizada para el consumo humano de igual manera a las mismas.

En el caso de los resultados obtenidos en el caso del mes de Febrero día 22 del año 2021 en época de invierno los parámetros evidencia que el agua en los puntos 1 y 2 mala y en el punto 3 regular de

calidad clasificado por Brown lo que significa que la misma no es adecuada y corresponde realizar las acciones pertinentes para adecuar estas a los valores permisibles por la normas de calidad aplicadas en el Ecuador, estos resultados tienen una posible explicación física ya que en la toma de las muestras se evidencian que las mismas están en periodo de invierno lo que indica en función de los índices de turbidez, nitratos, fosfatos, coliformes que habría existido un evento de precipitación reciente lo que alteraría las condiciones naturales del río ya que al existir dichos eventos con el proceso inundación se produce arrastre de materiales de las laderas que se encuentran alejados del cauce.

En este contexto los valores obtenidos en a través del cálculo del ICA en el caso del mes de Abril día 19 del año 2021 en época de invierno los parámetros evidencia que el agua en los puntos 1, 2 y 3 regular de calidad clasificado por Brown lo que significa que la misma debe ser adecuada para que corresponda a los valores permisibles por norma técnica ecuatoriana NTE INEN 1108 de agua potable aplicadas en el Ecuador, de igual manera estas tomas son realizadas en periodo de invierno lo que modifica las características física, química y bacteriológica en este sentido de igual manera se debe estar consiente que a lo largo del recorrido del río Lelía no existe una franja de amortiguamiento en la ribera del río, existen sembradíos de pastizales, y mucha producción ganadera, donde los desechos producto de esa actividad van por escorrentía al río, además de estar los asentamientos poblacionales aguas arriba y alrededor de los puntos de muestreo . Es importante señalar que las condiciones de los periodos de invierno y verano influyen directamente en la respuesta de la calidad del agua del Río Lelía, sin embargo a pesar que en algún momento existen valores que pueden estar fuera de rango o con calidad más deficiente este afluente resulta excelente ya que con la aplicación de medidas por parte de las autoridades gubernamentales y de manejo de la cuenca y áreas de ladera, por consiguiente mitigar estos efectos y mejorar la respuesta de dicha calidad del Río, esto podría favorecer altamente las condiciones sanitarias y de calidad del agua.

## Referencias

1. Aguirre, C., González, E. y Guerrero, H. (2015). Elaboración y aplicación de metodologías analíticas e instrumentales para la cuantificación de parámetros fisicoquímicos en agua y su aplicación en el laboratorio de Ingeniería Química, FIA/UES. Universidad de El Salvador.
2. Amaya, Á. (2015). Evaluación hidrogeoquímica e hidroquímica de la subcuenca del Río Arranchacal. Universidad de El Salvador, San Salvador.

3. Amaya, L., Arriola, D. y Cerna, Z. (2015). Modelación de la calidad fisicoquímica de las aguas del Río Suquiapa. Universidad de El Salvador, San Salvador.
4. APHA. (1992). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (18.a ed.). Washington, D. C.: American Public Health Association.
5. Barragán, B., Cristiani, E., Netzahuatl, A. y Pineda, G. (2010). Remoción de cromo hexavalente y cromo total por la corteza de *Pyrus communis*. CENIC, 41, 1-10.
6. Bedoya, J. (2007). Modelo de simulación de transporte de metales pesados en la cuenca baja del Río Tunjuelo. Universidad de La Salle, Bogota D.C.
7. Blarasin, A., Cabrera, A., Damilano, G., Giuliano, A. y Matteoda, E. (2009). Cromo en aguas subterráneas y superficiales en el entorno de una curtiembre, relación con valores de fondo natural. Elena, Córdoba. Argentina.
8. Caho, C. y López, E. (2017). Determinación del Índice de Calidad de Agua para el sector occidental del humedal Torca-Guaymaral empleando las metodologías UWQI y CWQI. <http://www.scielo.org.co/pdf/pml/v12n2/1909-0455-pml-12-02-00035.pdf>
9. Cobos, L. (2019). Evaluación de calidad de agua en el punto de captación de agua potable del río Lelía - cantón Santo Domingo. <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/16709/1/UPS-ST003890.pdf>
10. Carrascal A., Matiz A., Pedroza A., Rojas N., Salcedo J. y Sánchez A. (2010). Evaluación de tres métodos para la inactivación de coliformes y *Escherichia coli* presentes en agua residual doméstica, empleada para riego.
11. Cuberos, E., Prieto, E. y Rodríguez, A. (2009). Niveles de Cromo y Alteraciones de salud en una población expuesta a las actividades de curtiembres en Bogotá, Colombia. *Revista de Salud Pública*.
12. Cubillos, J. (2013). Transporte de contaminantes en sistemas fluviales y evaluación de la aplicabilidad del modelo WASP en las cuencas de los ríos Elqui y Choapa, Región de Coquimbo, Chile. Universidad de La Serena, Chile. 163
13. DES. (2003). Fecal Coliform as an Indicator Organism. Department of Environmental Services.
14. Dygestic. (2008). Densidad Poblacional. Dirección General de Estadísticas y Censos.
15. Eliggi, M., Gilli, M., Lermann, B. y Zerbato, M. (2007). Oxígeno disuelto.
16. Espinoza, R., Vinicio, A. y Zavaleta, R. (2013). Caracterización hidrodinámica y dispersión de contaminantes de la parte alta del Río Suquiapa, Santa Ana.
17. FAO. (2006). Mejora de la calidad de agua en los estanques. Food and Agriculture Organization. Obtenido de [ftp://ftp.fao.org/fi/CDrom/FAO\\_training/FAO\\_training/general/x6709s/x6709s02.htm](ftp://ftp.fao.org/fi/CDrom/FAO_training/FAO_training/general/x6709s/x6709s02.htm)
18. Fuentes, F. y Massol, A. (2002). Manual de laboratorios: Ecología de microorganismos.

19. Fernández, A. (2012). El agua: un recurso esencial. Química Viva E-ISSN: 1666-7948. <https://www.redalyc.org/pdf/863/86325090002.pdf>
20. Gonzáles, R. (2018). Evaluación de la calidad del agua para consumo humano en el asentamiento humano señor de los milagros, distrito de yarinacocha- region ucayali- 2018. <http://repositorio.unu.edu.pe/bitstream/handle/UNU/3845/000003406T.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
21. Google Maps, 2021. Río Lelia. <https://www.google.com/maps/search/epmapa-sd/@-0.3166872,-79.0138489,3288m/data=!3m1!1e3>
22. Hernán, C., Patiño, P. y Torres, P. (2009). Índices de calidad del agua en fuentes superficiales utilizadas en la producción de agua para consumo humano. Una revisión crítica. Revista Ingenierías Universidad de Medellín, 8, 79-94.
23. Hernández, W. y Rivas, J. (2013). Verificación preliminar de la calidad fisicoquímica y microbiológica del agua cruda y tratada de la planta de tratamiento ubicada en la Ciudad de Suchitoto. Universidad de El Salvador, San Salvador.
24. Román, F. (2015). Contaminación de las aguas y efectos en la salud en una región llamada Santo Domingo de los Tsáchilas, Ecuador. Mikarimin. Revista Científica Multidisciplinaria. ISSN 2528 – 7842. <https://docplayer.es/43032894-Mikarimin-revista-cientifica-multidisciplinaria-issn.html>
25. Simbaña, K., Romero, D., Yáñez, G., Benavides, D. y Navarrete, H. (2019). Evaluación de la calidad del agua del río Pita (Ecuador), implicación para la conservación de la vida acuática y silvestre. <http://portal.amelica.org/ameli/jatsRepo/157/157776005/html/index.html>
26. UNESCO (2020). Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos. Informe del 2020 - Agua y cambio climático.

©2021 por los autores. Este artículo es de acceso abierto y distribuido según los términos y condiciones de la licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0)

(<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>).