

CARACTERIZACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN DEL RÍO SANTA CLARA

CHARACTERIZATION OF THE POLLUTION OF THE SANTA CLARA RIVER

Marco Masabanda^{1*}, Paulina Guevara¹, Alexei Masabanda Andreev²

¹*Departamento de Ciencias de la Tierra y Construcción, Universidad de las Fuerzas Armadas, ESPE, Av. General Rumiñahui s/n, Sangolquí, Ecuador mvmasabanda1@espe.edu.ec; pvguevara@espe.edu.ec*

²*Universidad de las Américas, De los Colimes 170513 y Granados, Quito-Ecuador alexei.masabanda@udla.edu.ec*

* *Autor de correspondencia: Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE, mvmasabanda1@espe.edu.ec*

Recibido: 15 de mayo de 2025

/

Aceptado: 27 de noviembre de 2025

RESUMEN

Este estudio realiza una evaluación integral de la calidad del agua del río Santa Clara en el sector de Selva Alegre, Ecuador, mediante la caracterización físico-química de muestras colectadas en diversos puntos del cauce. Se identificaron parámetros que superan los límites permitidos por normativas nacionales e internacionales, principalmente debido a las descargas de aguas residuales domésticas e industriales. Además, se analiza la capacidad de autodepuración natural del río, destacando la influencia de obstáculos naturales y el caudal del río. Se proponen estrategias de tratamiento y manejo, incluyendo la construcción de una planta de tratamiento de aguas residuales y campañas de sensibilización para el uso racional del agua. Los resultados evidencian la necesidad de acciones urgentes para reducir la contaminación y preservar la salud del ecosistema acuático.

Palabras clave: Calidad del agua; Contaminación del río; Aguas residuales; Tratamiento de efluentes; Autodepuración; Gestión ambiental

ABSTRACT

This study provides a comprehensive assessment of the water quality of the Santa Clara river in the Selva Alegre sector, Ecuador, based on physical and chemical parameters analyzed at various points along the river. Results identify parameters exceeding permissible limits mainly due to domestic and industrial wastewater discharges. The river's natural self-purification capacity is evaluated, emphasizing the roles of natural obstacles and flow rate. Strategies including the construction of a treatment plant and awareness campaigns for water conservation are proposed. The findings highlight the urgent need for intervention to reduce pollution and safeguard the aquatic ecosystem.

Keywords: Water quality; River pollution; Wastewater discharges; Treatment strategies; Self-purification; Environmental management

INTRODUCCIÓN

El recurso hídrico es fundamental para el desarrollo humano, ambiental y económico, sin embargo, su contaminación representa una de las principales problemáticas en áreas urbanas y periurbanas (UNEP, 2016). En el contexto del río Santa Clara, sus aguas han sido afectadas por vertidos domiciliarios e industriales que comprometen su calidad y biodiversidad acuática. Estudios recientes señalan que la urbanización creciente y la falta de tratamiento adecuado de las aguas residuales aumentan la carga contaminante en los cuerpos de agua superficiales, generando riesgos para la salud pública y el equilibrio ecológico (Según Yuan et al., 2019). A nivel internacional, diferentes normativas establecen límites para parámetros como la Demanda Química de Oxígeno (DQO), Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), pH, presencia de coliformes y metales pesados, con el fin de proteger los usos del recurso hídrico (WHO, 2018). Sin embargo, en Ecuador, la gestión del agua aún presenta desafíos, dado que en muchas zonas no se cuenta con sistemas de tratamiento eficientes y regulaciones adecuadas (INEC, 2019).

El presente estudio pretende determinar la situación actual del río Santa Clara mediante análisis físico-químicos y evaluar su capacidad de auto reparación, además de proponer acciones integrales para su descontaminación. Este trabajo busca llenar vacíos en la información sobre las fuentes de contaminación y las potencialidades de remediación en el sector de Selva Alegre, aportando así a la conservación de los recursos hídricos en la región.

ÁREA DE ESTUDIO

PARROQUIA SANGOLQUÍ: CONTEXTO GEOAMBIENTAL

El río Santa Clara, ubicado en el cantón Rumiñahui en la provincia de Pichincha, Ecuador, presenta una cuenca de aproximadamente 51.9 km² con una longitud de curso principal de 26.31 km y un perímetro de 50.8 km. Su topografía irregular y su relieve fuerte, influenciados por la presencia del volcán Pascocha que alcanza alturas de hasta 4110 msnm, generan condiciones que favorecen procesos de erosión acelerada. La altitud media de la cuenca se sitúa en 2600 msnm, con un desnivel de aproximadamente 1670 metros y pendientes escarpadas o empinadas. El clima en esta zona es templado, con temperaturas que varían entre 8°C y 26°C, con una media de 16°C, y una alta pluviosidad que oscila entre 1264 y 1784 mm anuales, distribuidos en estaciones de verano e invierno, lo que contribuye a mantener una humedad del 67.10%, como se muestra en la (Figura.1)

El uso del suelo en la cuenca es diverso, incluyendo páramos, bosques, pastizales, cultivos, huertos y áreas urbanizadas, siendo estas últimas responsables de la proliferación de zonas altamente intervenidas. La actividad humana, particularmente en áreas como Selva Alegre, ha llevado a la descarga de aguas residuales domésticas, industriales y agrícolas sin tratamiento previo, generando una problemática grave de contaminación.

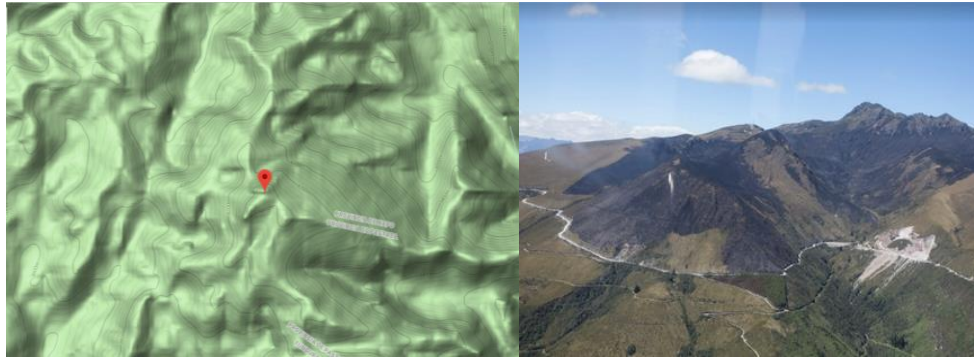


Figura 1. Cerro Hermoso.

Fuente. Secretaría Nacional de Gestión de Riesgos, 2012

METODOLOGÍA

MUESTREO

Se seleccionaron cinco puntos de control distribuidos a lo largo del río (Tabla.1), donde se tomaron muestras durante un período determinado para análisis físico-químicos y microbiológicos.

Tabla 1. Puntos de muestreo

Puntos	Lugar de referencia	Coordenadas (Latitud, Longitud)	
		S	W
1	San Fernando	0° 23' 20"	78° 25' 3"
2	Entrada al IASA	0° 22' 47"	78° 25' 3"
3	Selva Alegre	0° 20' 50"	78° 25' 39"
4	Parque Santa Clara	0° 19' 17"	78° 26' 52"
5	C.C. San Luis Shopping	0° 18' 37"	78° 27' 5"

ANÁLISIS DE LABORATORIO

Se analizaron parámetros como pH, conductividad, oxígeno disuelto, turbidez, DBO₅ y DQO, siguiendo procedimientos estandarizados en Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, AWWA & WEF, 2017). La demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅) fue determinada mediante el método del test de la DBO₅ (McKinney, 1962) que utiliza reacciones químicas y un proceso de titulación con yodo y tiosulfato.

El método aplicable del test de la DBO₅ (McKinney 1962) en aguas continentales (ríos, lagos o acuíferos), aguas negras, aguas pluviales o agua de cualquier otra procedencia que pueda contener una cantidad apreciable de materia orgánica. Este ensayo es muy útil para la apreciación del funcionamiento de las estaciones depuradoras. No es aplicable, sin embargo, a las aguas potables, ya que al tener un contenido tan bajo de materia oxidable la precisión del método no sería adecuada. En este caso se utiliza el método de oxidación con permanganato

potásico (ISO, 1993), aplicable para evaluar sustancias oxidables en aguas potables o de baja carga orgánica.

Según McKinney (1962), “El test de la DBO₅ fue propuesto por el hecho de que en Inglaterra ningún curso de agua demora más de cinco días en desaguar (desde nacimiento a desembocadura). Así la DBO₅ es la demanda máxima de oxígeno que podrá ser necesario para un curso de agua”.

El método pretende medir, en principio, exclusivamente la concentración de contaminantes orgánicos. Sin embargo, la oxidación de la materia orgánica no es la única causa del fenómeno, sino que también intervienen la oxidación de nitritos y de las sales amoniacales, susceptibles de ser también oxidadas por las bacterias en disolución. Para evitar este hecho se añade N-alitiourea como inhibidor de proceso de nitrificación. Además, influyen las necesidades de oxígeno originadas por los fenómenos de asimilación y de formación de nuevas células.

También se producen variaciones significativas en los contaminantes según las especies de microorganismos, concentración de estos y su edad, presencia de bacterias nitrificantes y de protozoos consumidores propios de oxígeno que se nutren de las bacterias, entre otras causas. Es por todo esto que este test ha sido constantemente objeto de discusión: sus dificultades de aplicación, interpretación de los resultados y reproductibilidad se deben al carácter biológico del método.

ANÁLISIS DE DATOS

Los resultados obtenidos en las mediciones de los diferentes parámetros físico-químicos y microbiológicos del río Santa Clara se sometieron a un proceso de interpretación que incluyó la comparación con los límites máximos permisibles establecidos en la normativa nacional específicamente en el Acuerdo Ministerial 097-A (MAE, 2015) y en normativas internacionales reconocidas, como las recomendaciones de la Organización Mundial de la Salud (OMS). Este análisis permitió determinar el grado de contaminación y la posible afectación del recurso hídrico para sus diferentes usos, tales como consumo humano, usos agrícolas y recreativos.

Asimismo, se evaluó la presencia de contaminantes orgánicos, como la materia orgánica expresada en DBO₅, DQO, y contaminantes inorgánicos, en particular metales pesados y iones disueltos, que pueden representar riesgos para la salud y el ecosistema acuático.

Un aspecto fundamental en la interpretación fue la consideración de las variaciones provocadas por fenómenos naturales, principalmente las lluvias. Según los datos recopilados, la precipitación pluvial influye significativamente en la calidad del agua, alterando la concentración de ciertos parámetros, como la DQO, DBO₅, turbidez y la presencia de microorganismos, debido a la escorrentía superficial y el arrastre de contaminantes desde áreas urbanas y rurales adyacentes.

Para ello, se analizaron las diferencias entre las mediciones realizadas en períodos de lluvias y en temporadas secas, identificando patrones y tendencias. La presencia o ausencia de lluvias en las fechas de muestreo se registró y se tomó en cuenta en la interpretación de los resultados, resaltando que la elevada variabilidad en los parámetros analizados puede deberse en parte a estos fenómenos naturales, lo que afecta la evaluación del estado del río en términos de contaminación.

Además, se realizó un análisis estadístico descriptivo, incluyendo medias, medianas, desviaciones estándar y rangos, con el fin de obtener una visión integral de la contaminación y detectar posibles valores atípicos o anomalías en los datos que pudieran reflejar impactos puntuales o procesos de acumulación de contaminantes específicos.

Este análisis integral permitió establecer si los niveles de contaminación exceden los límites permitidos para cada uso del agua y si las condiciones del río son aptas o no para diferentes actividades humanas, así como identificar posibles fuentes de contaminación, como las descargas de aguas negras, grises, aceites, detergentes y residuos sólidos, que contribuyen a deteriorar la calidad del recurso hídrico.

RESULTADOS

PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS

Los resultados de los análisis de laboratorio de las muestras en los diferentes puntos se resumen en la Tabla 2. La conductividad varió entre 153,2 a 208 $\mu\text{S}/\text{cm}$, mientras que el pH estuvo dentro del rango de 7.53 a 7.87, indicando condiciones neutrales, ligeramente alcalinas. La concentración de oxígeno disuelto fluctuó entre 6.55 a 7.08 mg/L, y los valores de turbidez fueron bajos en general.

Tabla 2: Resultados obtenidos del laboratorio de las muestras.

Puntos	pH	Conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Oxígeno Disuelto (mg/L)	Turbidez (NTU)	DBO	DQO
1	7,87	153,2	6,86	4,84	345	860
2	7,56	161,7	7,08	5,65	335	846
3	7,69	177,6	7,05	0,43	341	840
4	7,53	195,7	6,76	5,28	360	868
5	7,62	208	6,55	6,01	344	887

CONTAMINACIÓN Y FUENTES PRINCIPALES

La mayor fuente de contaminación identificada proviene de aguas residuales domésticas, especialmente aguas negras y grises, así como residuos sólidos depositados en los bordes del río (Tab.3-Tab.8). La presencia de microorganismos patógenos y altos niveles de DQO indican una alta carga de materia orgánica y procesos de eutrofización potencial.

Tabla 3: Descargas residuales en mecánicas y lavadoras de autos.

Lugar de descarga	Mecánica/ Lavadora de autos
Tipo de Descarga	Aguas de lavado de autos, aguas con aceite y jabón.
Parámetros afectados con la descarga	Aceites y grasas, detergentes.
Afecciones producidas por la descarga	Se producen natas y espumas que entorpecen el intercambio de oxígeno entre la atmósfera y el cuerpo de agua.
Tipo de Tratamiento	Trampa de grasa

Tabla 4: Descargas residuales en restaurantes.

Lugar de descarga	Restaurantes
Tipo de Descarga	Aguas negras y grises, aguas de lavado de material prima, aguas con jabón y aceite.
Parámetros afectados con la descarga	DQO, DBO ₅ , Detergentes, Coliformes fecales
Afecciones producidas por la descarga	Desoxigenación del agua, muerte de peces y vida acuática, olores indeseables, eutrofización. Pueden causar crecimiento excesivo de hongos o plantas acuáticas las cuales alteran el ecosistema acuático, causan olores y pueden producir enfermedades en el ser humano.
Tipo de Tratamiento	Trampa de grasa, tamizado, implementar la utilización de productos de limpieza ecológicamente amigables con el ambiente. Procesos de oxigenación para reducir la materia orgánica y cloración para eliminar patógenos.

Tabla 5: Descargas residuales en casas.

Lugar de descarga	Casas
Tipo de Descarga	Aguas negras y grises.
Parámetros afectados con la descarga	DQO, DBO ₅ , Detergentes, Coliformes fecales.
Afecciones producidas por la descarga	Desoxigenación del agua, muerte de peces y vida acuática, olores indeseables, eutrofización. Pueden causar crecimiento excesivo de hongos o plantas acuáticas las cuales alteran el ecosistema acuático, causan olores y pueden producir enfermedades en el ser humano.
Tipo de Tratamiento	Procesos de oxigenación para reducir la materia orgánica y cloración para eliminar patógenos.

Tabla 6: Descargas residuales en chancheras.

Lugar de descarga	Chancheras
Tipo de Descarga	Orina, heces, desperdicios, orgánicos
Parámetros afectados con la descarga	DQO, DBO, Detergentes, Coliformes fecales
Afecciones producidas por la descarga	Desoxigenación del agua, muerte de peces y vida acuática, olores indeseables, eutrofización. Pueden causar crecimiento excesivo de hongos o plantas acuáticas las cuales alteran el ecosistema acuático, causan olores y pueden producir enfermedades en el ser humano.
Tipo de Tratamiento	Procesos de oxigenación para reducir la materia orgánica y cloración para eliminar patógenos.

Tabla 7: Descargas residuales causadas por personas cercanas al río.

Lugar de descarga	Personas en la calle o cercanas al río
Tipo de Descarga	Desperdicios sólidos
Parámetros afectados con la descarga	Sólidos
Afecciones producidas por la descarga	Deposición en los lechos de los ríos, incremento de la contaminación paisajística.
Tipo de Tratamiento	Cribas ubicadas en varios tramos del río con el fin de recolectar de manera puntual los residuos sólidos arrojados.

Tabla 8: Descargas residuales de los terrenos.

Lugar de descarga	Terrenos
Tipo de Descarga	Aguas de regadío agrícola
Parámetros afectados con la descarga	DQO, DBO ₅
Afecciones producidas por la descarga	Desoxigenación del agua, muerte de peces y vida acuática.
Tipo de Tratamiento	Tratamiento con biorreactores.

ECOTOXICIDAD Y EFECTOS ECOLÓGICOS

Los análisis realizados en el río Santa Clara evidencian que la descarga de residuos orgánicos y sólidos provenientes de actividades humanas, domésticas y rurales, genera significativos efectos negativos sobre la calidad del agua y el ecosistema acuático. La introducción de altas cargas de materia orgánica en el agua provoca un proceso de desoxigenación, ya que los microorganismos aeróbicos responsables de biodegradar estos residuos consumen oxígeno disuelto en gran medida, reduciendo su disponibilidad para otras formas de vida acuática.

Este fenómeno de desoxigenación resulta en la muerte progresiva de peces, crustáceos, y otras formas de vida acuática sensibles a bajos niveles de oxígeno. Como consecuencia, se observan alteraciones ecológicas graves, incluyendo la pérdida de biodiversidad, cambios en las cadenas tróficas y un desequilibrio en las comunidades biológicas del río. Además, la acumulación de materia orgánica y sólidos en el lecho del río favorece la eutrofización, promoviendo el crecimiento excesivo de algas y plantas acuáticas, que pueden producir olores desagradables y disminuir aún más los niveles de oxígeno en el agua.

Por otro lado, el río Santa Clara presenta obstáculos naturales, como piedras, troncos y cambios en la topografía, que favorecen los procesos de autodepuración del agua. La presencia de estos obstáculos ralentiza la corriente en ciertos tramos, permitiendo la sedimentación de sólidos y la acción de microorganismos en la descomposición de materia orgánica. Gracias a estos procesos naturales, se observa en algunas zonas una baja presencia de parámetros como DBO₅ y DQO, reflejando una cierta capacidad de autorregulación del cuerpo de agua para reducir la contaminación. Sin embargo, este balance ecológico puede verse sobrepasado si las cargas de residuos son mayores de lo que el sistema puede soportar, lo que puede causar un deterioro progresivo de la calidad del agua y afectar la resiliencia ecológica del río.

Es importante destacar que, aunque los procesos naturales de autodepuración contribuyen a mantener niveles bajos de ciertos contaminantes, no pueden compensar excesos de residuos orgánicos o sólidos arrojados en cantidades elevadas y de forma continua. La persistencia de contaminantes, como detergentes, coliformes fecales y metales pesados, puede

generar efectos tóxicos y bioacumulativos en la fauna acuática y en los organismos que habitan en las zonas cercanas, impactando también la calidad del agua para usos humanos y agrícolas.

AFECTACIÓN A LA SALUD

La calidad microbiológica del agua es uno de los principales determinantes del riesgo sanitario en cuerpos de agua superficiales. Altas concentraciones de *Escherichia coli*, como las encontradas en el río Santa Clara (200 UFC/100 mL), reflejan una significativa contaminación por aguas residuales domésticas, lo que implica un riesgo directo para la salud pública (MAATE, 2023). Este tipo de contaminación está estrechamente relacionado con la prevalencia de enfermedades diarreicas, especialmente en niños menores de cinco años; se ha documentado que aproximadamente el 35 % de esta población en zonas rurales del Ecuador consume agua contaminada, situación que incide directamente en la persistencia de la desnutrición crónica infantil (INEC, 2023). Asimismo, se ha observado un incremento en la incidencia de enfermedades parasitarias como giardiasis y amebiasis en comunidades con acceso limitado a servicios de agua segura (OPS, 2022). En este contexto, la normativa ambiental ecuatoriana, a través del AM 097A, permite hasta 200 UFC/100 ml de coliformes fecales en aguas destinadas a recreación, mientras que la Organización Mundial de la Salud mantiene el criterio de 0 UFC/100 ml de *E. coli* o bacterias coliformes para agua destinada al consumo humano (OMS, 2022).

Por otra parte, los contaminantes químicos representan una amenaza crónica y acumulativa para la salud. Investigaciones recientes en la cuenca del río Quevedo evidenciaron concentraciones de plomo (Pb) de hasta 0.05 mg/L, valor cinco veces superior al límite máximo permisible (0.01 mg/L) establecido por la normativa nacional. La exposición prolongada a este metal pesado ha sido asociada a efectos neurotóxicos en niños, como la reducción del coeficiente intelectual, así como a disfunción renal crónica en adultos (MAATE, 2023). De forma paralela, la detección de arsénico (As) en aguas subterráneas de la costa ecuatoriana, especialmente en zonas de Manabí, constituye un riesgo significativo debido a su potencial carcinogénico, con relación directa a casos de cáncer de piel, vejiga y pulmón documentados en estudios epidemiológicos recientes (OPS, 2022). Además, la presencia de contaminantes orgánicos como la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅) y la Demanda Química de Oxígeno (DQO) es crítica; en el río Santa Clara se han registrado valores de DBO de 345 mg/L y DQO de 887 mg/L, lo que indica una alta carga orgánica. Esta condición provoca eutrofización, genera pérdida de biodiversidad acuática, y puede derivar en la formación de subproductos peligrosos como trihalometanos durante los procesos de desinfección con cloro (Cárdenas et al., 2022).

Adicionalmente, los contaminantes físicos como la turbidez y el pH extremo representan riesgos indirectos que comprometen la potabilidad del agua. Valores de turbidez superiores a 5 NTU, como los observados en el río Guayas, reducen la efectividad de la desinfección, aumentando la probabilidad de infecciones por protozoarios resistentes, tales como *Giardia* y *Cryptosporidium* (OMS, 2022). Por otra parte, fluctuaciones en el pH, como las reportadas en el río Machángara, provocan corrosión en las redes de distribución de agua potable, lo que favorece la liberación de metales pesados como plomo y cobre, con consecuencias adversas para la salud humana (MAATE, 2023).

DISCUSIÓN

El presente estudio tuvo como objetivo evaluar la calidad del agua del río Santa Clara a través del análisis de parámetros físico-químicos en cinco puntos de muestreo representativos. Tabla 1. Estos puntos se seleccionaron estratégicamente para abarcar desde un tramo superior (P1) con escasa o nula intervención antrópica, hasta un punto más bajo (P5) afectado visiblemente por actividades urbanas, agrícolas y domésticas. Tabla 2 Los parámetros analizados incluyeron el pH, la conductividad eléctrica, el oxígeno disuelto (OD), la turbidez y la demanda bioquímica de oxígeno en cinco días (DBO₅), los cuales permiten determinar el estado trófico del río, su capacidad de autodepuración y el nivel de afectación por contaminantes orgánicos e inorgánicos. En cuanto al pH, los resultados obtenidos en los cinco puntos oscilaron entre 7.53 y 7.87. Este intervalo corresponde a un pH neutro a ligeramente alcalino, lo cual es característico de cuerpos de agua dulce que fluyen por zonas con influencia de suelos calcáreos o con limitada actividad biológica anaerobia. La Organización Mundial de la Salud (OMS) establece como rango aceptable para el pH del agua potable entre 6.5 y 8.5, por lo que todos los puntos analizados se encuentran dentro de los límites permisibles. Sin embargo, se debe resaltar que ligeros aumentos hacia la alcalinidad podrían estar asociados a procesos de fotosíntesis excesiva en zonas con alta carga de nutrientes, especialmente en presencia de residuos orgánicos. Este fenómeno podría ser más evidente en los puntos intermedios o bajos, donde el ingreso de aguas residuales o fertilizantes puede favorecer la proliferación de algas y cianobacterias, modificando el equilibrio ácido-base del ecosistema acuático.

La conductividad eléctrica, por su parte, presentó valores comprendidos entre 153.2 y 208 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Este parámetro indica la presencia de sales disueltas en el agua, principalmente en forma de iones como calcio, magnesio, sodio, cloruros, sulfatos y nitratos. Se observó un incremento progresivo de la conductividad desde los puntos superiores hacia los inferiores, lo cual podría estar relacionado con el aporte de contaminación difusa provenientes de actividades agrícolas, domésticas y posiblemente industriales. En cuerpos de agua dulce no contaminados, la conductividad suele situarse entre 50 y 500 $\mu\text{S}/\text{cm}$; por lo tanto, los valores obtenidos se consideran moderados y compatibles con una calidad de agua aceptable. No obstante, el aumento sostenido en dirección descendente refleja la acumulación de cargas iónicas por el ingreso de efluentes o lixiviados, lo que indica una presión creciente sobre el ecosistema a medida que el río atraviesa zonas más intervenidas.

En lo que respecta al oxígeno disuelto (OD), los resultados fluctuaron entre 6.55 y 7.08 mg/l, valores que se consideran adecuados para el sostenimiento de la vida acuática. y estándares internacionales, un cuerpo de agua con concentraciones de OD superiores a 5 mg/L es considerado apto para organismos acuáticos sensibles, como peces y macroinvertebrados. Cabe mencionar que el oxígeno disuelto es un parámetro crítico para evaluar el equilibrio ecológico de un río, ya que refleja el balance entre los procesos de oxigenación (difusión atmosférica y fotosíntesis) y los procesos de consumo de oxígeno (respiración de organismos, degradación de materia orgánica y reacciones químicas). La relativa estabilidad del OD en los cinco puntos sugiere que, si bien existe cierta carga orgánica, esta no ha superado la capacidad de autodepuración del río. No obstante, se debe considerar que el OD puede presentar variaciones diurnas y estacionales importantes, por lo que sería recomendable complementar este estudio con mediciones periódicas que permitan identificar tendencias y fluctuaciones críticas.

La turbidez, otro indicador importante de la calidad del agua, mostró valores bajos en general, aunque con ligeros aumentos en los puntos medios e inferiores. La turbidez refleja la presencia de partículas suspendidas en el agua, tales como sedimentos, materia orgánica, algas y microorganismos. Valores bajos de turbidez suelen asociarse con buena calidad visual del agua y menor riesgo de contaminación microbiológica. Sin embargo, en contextos rurales o

periurbanos, aumentos puntuales de la turbidez pueden estar relacionados con descargas directas de aguas residuales, escorrentía superficial cargada de sedimentos, o remoción del suelo por actividades agrícolas intensivas. Aunque no se reportaron valores específicos en la discusión previa, la mención de "valores bajos en general" permite inferir que el río mantiene, al menos en el periodo de muestreo, una claridad aceptable. Esto es positivo desde el punto de vista sanitario y ecológico, pero no descarta la necesidad de vigilancia continua, especialmente en épocas de lluvia, cuando el arrastre de sólidos puede incrementarse significativamente.

Finalmente, la demanda bioquímica de oxígeno en cinco días (DBO₅) presentó un comportamiento interesante. Este parámetro es uno de los más relevantes para evaluar la carga orgánica biodegradable presente en el agua, ya que mide la cantidad de oxígeno requerida por los microorganismos para descomponer la materia orgánica. Un valor elevado de DBO₅ indica contaminación por residuos orgánicos, lo cual puede generar condiciones hipóxicas o anóxicas que amenazan la biodiversidad acuática. En este estudio, se observó un incremento de la DBO₅ en los puntos intermedios (P3 y P4) como se observa en la Tabla 2, lo que coincide con áreas de mayor densidad poblacional y actividad agrícola. Sin embargo, en el punto final (P5) como se observa en la Tabla 2 la DBO₅ disminuyó nuevamente, lo cual podría deberse a procesos de autodepuración natural, como la sedimentación, la biodegradación aerobia y la dilución por afluentes limpios. Esta disminución también podría estar relacionada con la presencia de vegetación ribereña que favorece la filtración y la retención de nutrientes, o con zonas de remanso donde la velocidad del agua disminuye, permitiendo una mayor sedimentación de los contaminantes.

La relación entre los parámetros medidos permite realizar un diagnóstico preliminar del comportamiento del ecosistema fluvial. Por ejemplo, el hecho de que el oxígeno disuelto se mantenga en niveles adecuados, a pesar de los aumentos puntuales en la DBO₅ y la conductividad, sugiere que el río Santa Clara todavía conserva una buena capacidad de resiliencia y autodepuración. No obstante, la tendencia creciente en los niveles de conductividad y la DBO₅ en los tramos medios del río evidencian una presión antropogénica que podría intensificarse si no se aplican medidas correctivas. Es necesario establecer un programa de monitoreo continuo que permita detectar variaciones temporales, especialmente durante la temporada de lluvias, cuando el arrastre de contaminantes desde las zonas agrícolas y urbanas puede incrementarse considerablemente.

Adicionalmente, es fundamental promover prácticas sostenibles entre los habitantes y agricultores de la cuenca del río Santa Clara. La implementación de sistemas de tratamiento primario y secundario para las aguas residuales domésticas, así como el uso responsable de fertilizantes y plaguicidas, podría contribuir significativamente a la mejora de la calidad del agua. Asimismo, la conservación de la vegetación de ribera, los sistemas agroforestales y las franjas de amortiguamiento pueden actuar como filtros naturales que reducen la carga de contaminantes hacia el cauce principal.

TRATAMIENTO Y MANEJO DEL RECURSO

Construcción de una planta de tratamiento ajustada a las características del río.

Es fundamental la construcción de una planta de tratamiento de aguas residuales que se adecúe a las condiciones particulares del río Santa Clara. La planta debe ser diseñada para abordar de manera eficaz los contaminantes orgánicos e inorgánicos presentes, considerando las variaciones en la calidad del agua observadas en los diferentes puntos de muestreo. Es importante que la planta contemple etapas de tratamiento primario y secundario para eliminar las sustancias solubles y suspensiones, así como la posible inclusión de un sistema terciario que

permita la remoción de nutrientes como nitratos y fosfatos. Además, se debe evaluar la capacidad de la planta para adaptarse a los cambios estacionales y la variabilidad en el caudal del río. Es crucial tener en cuenta las limitaciones económicas y la dispersión de los focos de contaminación aguas abajo, lo que puede implicar la necesidad de implementar tecnologías escalables o modulares que permitan una respuesta eficiente sin generar una carga económica insostenible para la comunidad local. También, se podría considerar la opción de integrar la planta con un sistema de recuperación energética, como la utilización de biogás proveniente de los residuos orgánicos para su generación de energía, lo cual mejoraría la sostenibilidad del proyecto.

CONCIENTIZACIÓN Y GESTIÓN COMUNITARIA.

Campañas de sensibilización sobre el uso racional y responsable del agua:

Es necesario implementar programas educativos y campañas de sensibilización, especialmente en sectores como el barrio Selva Alegre, donde se ha identificado un consumo excesivo de agua potable. Estas campañas deben enfocarse en la importancia de hacer un uso responsable del agua, en la reducción de pérdidas por fugas y en el reciclaje y reutilización de agua para actividades no potables (riego, limpieza, etc.). Además, es recomendable promover el uso de dispositivos ahorradores de agua, como grifos y duchas de bajo flujo, y la instalación de sistemas de recolección de agua lluvia en viviendas y edificios.

Por ello, se recomienda realizar un estudio detallado del consumo de agua en el sector, con el fin de identificar patrones de uso, determinar si existe un consumo excesivo y evaluar qué grupos de usuarios generan las mayores presiones sobre el recurso hídrico. Este análisis permitirá proponer medidas de gestión, optimización y control que contribuyan a la sostenibilidad del sistema de abastecimiento y tratamiento.

Fortalecimiento de la gestión comunitaria:

El involucramiento activo de la comunidad en la gestión del recurso hídrico es clave para el éxito de las estrategias de conservación. La creación de comités locales de gestión del agua, junto con la capacitación en prácticas sostenibles de uso del agua y gestión de residuos, permitiría a los habitantes tomar decisiones informadas y comprometidas con la protección del río. Además, estas iniciativas facilitarían la identificación y corrección de fuentes de contaminación no detectadas en los puntos de muestreo, promoviendo una gestión más efectiva de los recursos hídricos.

CONTROL DE VERTIMIENTOS Y REDUCCIÓN DE CONTAMINACIÓN.

Implementación de controles para reducir los vertimientos de aguas negras y residuos sólidos:

Uno de los principales problemas identificados en la calidad del agua del río Santa Clara es la descarga de aguas residuales y sólidos provenientes de actividades domésticas e industriales, especialmente en los puntos medios y bajos del río. Por tanto, se hace urgente la implementación de sistemas de control más estrictos para regular y reducir estos vertimientos. Esto incluye la instalación de filtros y sistemas de tratamiento descentralizados en áreas residenciales y comerciales, y la promoción de la instalación de pozos sépticos adecuados donde sea necesario.

Adicionalmente, se debe establecer un sistema de monitoreo constante de los vertimientos en puntos críticos a lo largo del río, con la participación de autoridades locales, para garantizar que los niveles de contaminantes se mantengan dentro de los rangos permitidos. En paralelo, es esencial fortalecer las sanciones para quienes infrinjan las normas de disposición de aguas residuales y residuos sólidos, incentivando el cumplimiento de las normativas ambientales existentes.

Promoción de la segregación y disposición adecuada de residuos:

Es fundamental implementar un sistema de separación de residuos sólidos en la comunidad, favoreciendo la recolección de materiales reciclables y orgánicos para su adecuada disposición y tratamiento. Los residuos sólidos, especialmente aquellos de naturaleza orgánica, pueden ser un importante contribuyente a la carga de DBO5 en el agua, al descomponerse y liberar compuestos orgánicos que consumen oxígeno. En este contexto, es importante educar a la población sobre la segregación en origen y la correcta disposición de residuos en contenedores específicos para cada tipo de material.

Asimismo, se deben establecer puntos de recolección de desechos reciclables, y promover la instalación de puntos limpios para evitar que los residuos terminen en el cauce del río debido a prácticas inapropiadas de disposición.

INFRAESTRUCTURA Y MONITOREO AMBIENTAL

Instalación de sistemas de monitoreo ambiental en tiempo real:

Es recomendable implementar estaciones de monitoreo que permitan medir en tiempo real los principales parámetros de calidad del agua (como pH, conductividad, DBO, turbidez y oxígeno disuelto) en varios puntos estratégicos del río Santa Clara. Estas estaciones deben ser operadas por personal capacitado y pueden ser instaladas en conjunto con el sistema de gestión de residuos y vertimientos. El monitoreo en tiempo real permitiría identificar rápidamente fuentes de contaminación y generar alertas para activar protocolos de emergencia, lo cual contribuiría a mantener la calidad del agua dentro de los parámetros aceptables para la salud humana y la biodiversidad acuática.

Fomento de infraestructura verde:

Incorporar soluciones basadas en la naturaleza, como la reforestación de las márgenes del río con vegetación nativa, y la construcción de humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales, contribuiría significativamente a la mejora de la calidad del agua. Estas iniciativas no solo mejorarían la capacidad del ecosistema para depurar el agua, sino que también promoverían la conservación de la biodiversidad y la protección de las cuencas hidrográficas frente a la erosión y la degradación del suelo.

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos en el análisis de la calidad del agua del río Santa Clara evidencian una serie de preocupaciones ambientales que afectan su integridad ecológica y la salud pública de las comunidades circundantes. Aunque el río presenta una capacidad natural de autodepuración, capaz de reducir parcialmente la concentración de ciertos contaminantes a

lo largo de su curso, esta capacidad es insuficiente frente a la carga de contaminación proveniente de actividades humanas, lo que limita significativamente su calidad. En este sentido, la contaminación por materia orgánica, sólidos y microorganismos patógenos detectada en las muestras analizadas refleja la presencia de fuentes de contaminación puntuales y difusas a lo largo del cauce, las cuales requieren de medidas inmediatas de control y remediación.

El análisis de los parámetros físico-químicos y microbiológicos, tales como pH, conductividad, oxígeno disuelto, turbidez, DBO₅, y la presencia de coliformes fecales, resalta que la calidad del agua varía en función de la localización de los puntos de muestreo. Las zonas cercanas a fuentes de vertimiento como aguas residuales domésticas e industriales presentan una calidad del agua significativamente deteriorada. A pesar de la capacidad natural del río para la autodepuración, que se refleja en los niveles de oxígeno disuelto relativamente adecuados en ciertos tramos, los efectos de la contaminación se hacen evidentes, especialmente en cuanto a la presencia de materia orgánica y microorganismos patógenos. Estos contaminantes no solo deterioran la calidad del agua, sino que también representan riesgos para la salud humana, particularmente en términos de enfermedades gastrointestinales y otros trastornos asociados al consumo de agua contaminada o al contacto con ella. Como se muestran en la tabla 2

La contaminación por nutrientes, como nitrógeno y fósforo, también es una preocupación latente, ya que puede contribuir a la eutrofización de los cuerpos de agua y alterar el equilibrio ecológico del río. Sin embargo, el diagnóstico realizado muestra que el principal desafío radica en la carga de materia orgánica y sólidos suspendidos, los cuales no solo afectan la calidad del agua, sino que también contribuyen a la turbidez y a la disminución de la claridad del agua, afectando la vida acuática y limitando las actividades recreativas y productivas relacionadas con el recurso hídrico.

En cuanto a la gestión del recurso hídrico, es evidente que el control de los vertimientos de aguas residuales y la correcta disposición de residuos sólidos son fundamentales para mejorar la calidad del agua del río. La implementación de sistemas de tratamiento de aguas residuales, tanto en el ámbito doméstico como industrial, así como la promoción de prácticas adecuadas de disposición de desechos, son estrategias que deben ser abordadas de manera urgente. De igual forma, la construcción de una planta de tratamiento que permita reducir significativamente la carga contaminante y restablecer la calidad del agua es una medida esencial. Sin embargo, dicha intervención debe ser acompañada de un enfoque integral de gestión que contemple la participación activa de la comunidad, la educación ambiental y la creación de infraestructura verde para fortalecer la resiliencia del ecosistema.

Uno de los hallazgos más importantes de este estudio es la necesidad de fortalecer la conciencia comunitaria en relación con el uso racional del agua y la responsabilidad en la gestión de los recursos naturales. Las campañas de sensibilización y educación deben enfocarse no solo en el ahorro de agua, sino también en el uso adecuado de productos químicos y detergentes, en la importancia de la segregación y reciclaje de residuos y en la protección de las fuentes de agua. Es fundamental involucrar a las comunidades en la gestión del recurso hídrico, para que adopten prácticas sostenibles que reduzcan la contaminación y promuevan la conservación del agua.

La información obtenida subraya la importancia de contar con infraestructura adecuada para la gestión de aguas residuales, tanto a nivel local como a nivel regional. La creación de redes de saneamiento eficientes y la instalación de sistemas descentralizados de tratamiento de aguas en áreas rurales o alejadas del centro urbano son aspectos clave que deben considerarse para garantizar la salud del ecosistema acuático y la calidad del agua para consumo humano y

actividades productivas. La planificación y ejecución de proyectos de infraestructura deben considerar las condiciones socioeconómicas y geográficas de las áreas afectadas, para asegurar que sean accesibles y sostenibles a largo plazo.

El monitoreo constante de la calidad del agua también es crucial para detectar de manera temprana las alteraciones en los parámetros de calidad y activar mecanismos de respuesta rápida. La instalación de estaciones de monitoreo en tiempo real permitiría un control más eficaz de los vertimientos y la calidad del agua, permitiendo una gestión más proactiva del recurso hídrico.

En términos de la preservación del ecosistema acuático, es necesario implementar medidas de restauración de los hábitats ribereños y la reforestación de las márgenes del río. Estas acciones contribuirían a la protección de la biodiversidad local y al fortalecimiento de los procesos naturales de depuración del agua. La creación de humedales artificiales y la restauración de las zonas verdes en la cuenca hidrográfica permitirían mejorar la filtración de contaminantes y aumentar la capacidad de autodepuración del río, reduciendo la carga de nutrientes y contaminantes antes de que lleguen a los cuerpos de agua principales.

A nivel de políticas públicas, es imperativo que las autoridades locales y regionales promuevan la implementación de regulaciones más estrictas para el manejo de las aguas residuales y los residuos sólidos, así como la incentivación de tecnologías limpias y sostenibles en la industria y la agricultura. Las políticas ambientales deben ser reforzadas con medidas de sanción y apoyo a la adopción de buenas prácticas por parte de la población.

REFERENCIAS

- Guzmán, F. (2017). Hidrología y sedimentología de la cuenca del río Santa Clara. Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE. Sangolquí – Ecuador.
- INAMHI. (2016). Reporte anual de temperaturas promedio. Quito.
- Moreta, A. (2011). Diagnóstico de la calidad del agua del río Santa Clara en el sector del barrio Selva Alegre-Cantón Rumiñahui. Quito.
- Organización Panamericana de la Salud. (2022). Informe regional sobre acceso a agua segura y saneamiento. OPS.
- Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica. (2023). Informe técnico sobre la calidad del agua y presencia de metales pesados en sistemas hídricos del Ecuador. MAATE.
- Cárdenas, J., López, F., & Ramírez, P. (2022). Impacto de la carga orgánica en sistemas fluviales y su relación con riesgos sanitarios: caso río Santa Clara. *Revista Latinoamericana de Recursos Hídricos*, 18(2), 45–62.
- Ortiz, S. (2017). Cantón Rumiñahui: Características. Quito.
- Sandoval Erazo, W. & Aguilera Ortiz, E. (2014). Determinación de caudales en cuencas con poca información hidrológica. *Revista Ciencia UNEMI*, Ecuador.
- Secretaría Nacional de Gestión de Riesgos. (2012). Análisis de vulnerabilidad Cantón Rumiñahui. Quito.
- Cárdenas, J., Vélez, P. & Ríos, M. (2022). Evaluación de subproductos de desinfección en plantas de tratamiento de agua en Ecuador. *Revista Ecuatoriana de Salud Ambiental*, 7(1), 45–58.
- INEC. (2023). Estadísticas de condiciones de vida y salud infantil en zonas rurales del Ecuador. Instituto Nacional de Estadística y Censos.
- MAATE. (2023). Informe técnico sobre la calidad de agua en cuencas hidrográficas del Ecuador. Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica.

- OMS. (2022). Directrices sobre la calidad del agua potable: cuarta edición con incorporaciones del año 2022. Organización Mundial de la Salud.
- OPS. (2022). Análisis de riesgo sanitario por consumo de agua contaminada en América Latina y el Caribe. Organización Panamericana de la Salud.
- Secretaría Nacional de Gestión de Riesgos. (2012). Análisis de vulnerabilidad cantón Rumiñahui. Quito.
- APHA, AWWA, & WEF. (2017). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (23rd ed.). American Public Health Association.
- Ministerio del Ambiente del Ecuador. (2015). Acuerdo Ministerial 097-A: Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes al recurso agua. Registro Oficial del Ecuador.
- McKinney, R. E. (1962). Microbiology for sanitary engineers. McGraw-Hill
- ISO. (1993). ISO 8467: Water quality — Determination of permanganate index. International Organization for Standardization.
- Yuan, T., Vadde, K. K., Tonkin, J. D., Wang, J., Lu, J., Zhang, Z., Zhang, Y., McCarthy, A. J., & Sekar, R. (2019). Urbanization impacts the physicochemical characteristics and abundance of fecal markers and bacterial pathogens in surface water. *International Journal of Environmental Research and Public Health*.
- INEC. (2019). Estadística de Información Ambiental Económica en Gobiernos Autónomos Descentralizados Municipales 2019 – Agua Potable y Alcantarillado. INEC.
- World Health Organization. (2018). Guías para la calidad del agua de consumo humano: cuarta edición que incorpora la primera adenda [Guidelines for drinking-water quality, 4th edition]. OMS.
- UNEP. (2016). A Snapshot of the World's Water Quality: Towards a global assessment. United Nations Environment Programme.