

UNIVERSIDAD EMPRESARIAL SIGLO 21



Trabajo Final de Grado - Manuscrito Científico
Licenciatura en Gestión Ambiental

“Análisis de la Calidad del Agua del Río Mina Clavero”

Gala Sigimbosco

DNI: 41581963

Legajo: VAMB004117

Tutor: Dr. Hernán Carlos Hoyos

Mina Clavero, Córdoba, Argentina.

(2025)

Índice

Agradecimientos	1
Resumen	2
Abstract	3
Introducción	4
Pregunta problema	5
Objetivo General	5
Objetivos Específicos	5
Marco Teórico	6
Contexto Social	6
Contexto Económico	8
Aspectos Biofísicos del Río Mina Clavero	9
Calidad del Agua y Factores de Contaminación	12
Índice de Calidad del Agua NSF-WQI: Definición y Aplicación	16
Estudios Previos	21
Gestión de Cuencas Hidrográficas y Saneamiento en Argentina	24
Materiales y Métodos	27
Diseño de estudio	27
Selección de Puntos de Muestreo	27
Aplicación del ICA	33
Resultados	35
Procedimiento para la Obtención del Índice de Calidad del Agua (ICA)	42
Análisis Detallado de los Resultados de Laboratorio por Parámetro	46
Análisis de la influencia por parámetro en el ICA	52
Discusión	54
Análisis de los Parámetros Críticos en el Deterioro del ICA-NSF	54
Factores que Explican el Deterioro del ICA-NSF	57
Fortalezas y Limitaciones de este Trabajo	59
Acciones a Realizar con los Resultados del ICA	61
Destinatarios de los Resultados	62
Medidas Recomendadas para Mitigar la Contaminación	62
Futuras Líneas de Investigación	64
Conclusiones	65
Bibliografía	68
Apéndices	71
Anexos	75

Agradecimientos

Deseo expresar mi más sincero agradecimiento a quienes hicieron posible este logro. En primer lugar, a mi familia, especialmente a mi madre, Cynthia Mariela Alcobe, y a mi padre, Juan José Sigimbosco, pilares fundamentales en mi vida. Su constante acompañamiento y aliento fueron cruciales para concretar mis estudios. Mi gratitud se extiende a mi esposo, Matías Rodolfo González, cuyo apoyo fue invaluable. Su colaboración para llevar a cabo la recolección de muestras de agua y su compañía durante las arduas jornadas de trabajo hicieron este proceso más llevadero.

Asimismo, agradezco profundamente al señor Fernando Martínez Olivare, Lic. en Análisis Biológicos y Lic. en Química Biológica en la Facultad de Ciencias Exactas de la UBA. Su generosidad y disposición para compartir su vasto conocimiento desde el inicio de este proyecto fueron esenciales. Su acompañamiento en la recolección de muestras, transmitiendo sus saberes sobre el correcto procedimiento, garantizó la precisión y representatividad de los datos. Estos momentos de colaboración ofrecidos generosamente por Fernando, fueron una experiencia de aprendizaje invaluable para mí, enriqueciendo tanto mi formación académica como el desarrollo de este trabajo.

Realizar este proyecto fue una experiencia que disfruté desde el inicio, al planificar el día de recolección de muestras y el itinerario, hasta poner el último punto a este manuscrito científico, concluyendo así mi Trabajo Final de Grado. Confío en que este logro sea el preludio de futuros éxitos.

Resumen

El Río Mina Clavero es un recurso esencial para el turismo, el ecosistema, la sociedad y la economía de Traslasierra, Córdoba. Este estudio evaluó la calidad de sus aguas utilizando el Índice de Calidad del Agua (ICA-NSF) propuesto por Brown. Se seleccionaron tres puntos de muestreo: Aguas arriba (P1), Comienzo de la zona urbana (P2) y Durante la zona urbana (P3). Se empleó un estudio observacional descriptivo transversal, donde se recolectaron muestras simples. Se analizaron parámetros físicos, químicos y biológicos, (Coliformes Fecales, DBO₅, Fosfatos, Nitratos, pH, SDT y Turbidez). Los resultados obtenidos indicaron un deterioro significativo de 32,4%, con el ICA disminuyendo de 87,49 (P1) a 77,16 (P2) y 59,29 (P3). El descenso de P1 a P2 reflejó un impacto moderado, debido a vertidos domésticos y actividades pecuarias, mientras que la reducción de P2 a P3 indicó un deterioro más pronunciado, atribuido a la intensificación de la urbanización. Este patrón evidenció una contaminación progresiva, mostrando el mayor nivel de degradación en P3. Estos resultados demuestran que las actividades antropogénicas locales son la principal causa del deterioro de la calidad del agua del Río Mina Clavero. Los hallazgos evidencian riesgos para la salud pública, el equilibrio ecológico, la sostenibilidad turística y económica de la localidad. Se requiere la implementación de medidas correctivas, de conservación y/o mitigación, como el control de contaminación y un monitoreo continuo, para proteger este recurso vital y la salud de la población.

Palabras Clave: Calidad del agua, Río Mina Clavero, Índice de Calidad del Agua (ICA-NSF), impacto antropogénico, parámetros de calidad del agua, zona urbana, conservación.

Abstract

The Mina Clavero River is an essential resource for tourism, the ecosystem, society, and the economy of Traslasierra, Córdoba. This study evaluated its water quality using the Water Quality Index (WQI-NSF) proposed by Brown. Three sampling points were selected: Upstream (P1), Start of the urban zone (P2), and Within the urban zone (P3). A cross-sectional descriptive observational study was employed, where simple samples were collected. Physical, chemical, and biological parameters were analyzed (Fecal Coliforms, DBO₅, Phosphates, Nitrates, pH, TDS, and Turbidity). The results obtained indicated a significant deterioration of 32.4%, with the WQI decreasing from 87.49 (P1) to 77.16 (P2) and 59.29 (P3). The decline from P1 to P2 reflected a moderate impact due to domestic discharges and livestock activities, while the reduction from P2 to P3 indicated a more pronounced deterioration, attributed to the intensification of urbanization. This pattern evidenced progressive contamination, showing the highest level of degradation at P3. These results demonstrate that local anthropogenic activities are the main cause of the water quality deterioration in the Mina Clavero River. The findings highlight risks to public health, ecological balance, and the tourist and economic sustainability of the locality. The implementation of corrective, conservation, and/or mitigation measures, such as pollution control and continuous monitoring, is required to protect this vital resource and the health of the population.

Keywords: Water quality, Río Mina Clavero, Water Quality Index (WQI-NSF), anthropogenic impact, water quality parameters, urban zone, conservation.

Introducción

El Río Mina Clavero, ubicado en la provincia de Córdoba, Argentina, es un recurso natural de gran relevancia ecológica y socioeconómica para la localidad de Mina Clavero, situada en el Valle de Traslasierra. Este río nace en las Altas Cumbres y atraviesa el centro urbano de la localidad, siendo un atractivo turístico clave, ya que el mismo fue reconocido en 2019 como una de las siete maravillas naturales de Argentina por la New 7 Wonders Foundation tras un proceso de votación popular (Across South America, 2019).

La economía local, desprovista de industrias significativas, depende principalmente del turismo asociado a sus paisajes y actividades recreativas (Mina Clavero, 2021). Este estudio analizó la calidad del agua del Río Mina Clavero y su relación con el impacto antrópico local, con el fin de garantizar su sostenibilidad como recurso natural y motor económico.

La calidad del agua de este río puede verse afectada al atravesar la zona urbana debido a actividades como el vertido de residuos, el turismo masivo y la presencia de animales de pastoreo, lo que plantea preocupaciones sobre su impacto ambiental. Según el Censo Nacional de 2022, Mina Clavero superó los 10.000 habitantes, y en temporada turística (diciembre a marzo) la población puede aumentar hasta un 150% (INDEC, 2022).

Preservar la calidad del agua es crucial para la salud pública, la biodiversidad y la sostenibilidad económica, ya que la contaminación podría afectar los ecosistemas, la experiencia turística y los ingresos locales. Con ello surgió la pregunta: ¿Qué impacto genera la sociedad local de Mina Clavero en la calidad del agua del Río Mina Clavero?

A partir de esta interrogante, este trabajo analizó de qué manera las actividades humanas cotidianas influyen en este recurso vital.

Para evaluar la calidad del agua del Río Mina Clavero, se utilizó el Índice de Calidad del Agua (ICA) propuesto por Brown, desarrollado por la National Sanitation Foundation (ICA-NSF) (Brown et al., 1970). Este índice integra parámetros físicos, químicos y biológicos, como pH, turbidez y coliformes fecales, entre otros, generando una métrica que clasifica la calidad del agua de "excelente" a "muy mala". Su aplicación permitió identificar cambios en la calidad del agua entre los puntos de muestreo, proporcionando datos comparables y validados internacionalmente (Abbasi & Abbasi, 2012).

Pregunta problema:

¿Qué impacto genera la sociedad local de Mina Clavero en la calidad del agua del Río Mina Clavero?

Objetivo General:

Evaluar parámetros físicos, químicos y biológicos para analizar el impacto de la actividad antrópica local en el agua del Río Mina Clavero y posteriormente determinar su calidad en diferentes puntos de muestreo utilizando como herramienta ICA NSF-WQI.

Objetivos Específicos:

- Definir los puntos de muestreo más apropiados, considerando la influencia antrópica, uso del suelo y la ubicación geográfica.
- Obtener muestras representativas del agua del Río Mina Clavero para analizar sus parámetros físicos, químicos y biológicos en el laboratorio.

- Ponderar y normalizar los resultados obtenidos en cada punto de muestreo para posteriormente integrarlos en el ICA NSF-WQI y sacar conclusiones.

Marco Teórico

Contexto Social

La dinámica social de la localidad de Mina Clavero está marcada por una población residente de aproximadamente 10,000 habitantes, según el Censo Nacional de Población, Hogares y Viviendas de 2022, que otorgó a la localidad la categoría de ciudad (Instituto Nacional de Estadística y Censos [INDEC], 2022).

Históricamente, la población experimentó un crecimiento gradual en la segunda década del siglo XX, impulsado inicialmente por personas que acudían al Río Mina Clavero en busca de beneficios para la salud y, posteriormente, por el aumento de visitantes en busca de descanso, lo que transformó las prácticas sociales y la identidad cultural de la comunidad (Garnero, 2014).

El Río Mina Clavero es un pilar de la identidad cultural de la localidad, funcionando como un espacio de recreación, encuentro comunitario y tradición. Los residentes utilizan el río para actividades sociales como reuniones familiares, festividades locales y prácticas recreativas, reforzando su rol como símbolo de cohesión social (Butler, 1999). Por ejemplo, eventos comunitarios como ferias artesanales y celebraciones tradicionales en las márgenes del río fortalecen los lazos entre los habitantes y su entorno natural (Garnero, 2014).

Esta conexión cultural fomenta un sentido de pertenencia y orgullo local; sin embargo, plantea desafíos para la gestión comunitaria, ya que las prácticas cotidianas de los residentes, como el manejo inadecuado de residuos domésticos, pueden degradar este recurso compartido. La educación ambiental se ha identificado como una estrategia clave para promover prácticas sostenibles entre los residentes, fomentando comportamientos que protejan el río como lugar de encuentro social (Gössling et al., 2018).

La salud pública es un aspecto social relevante, ya que tanto los vecinos de esta localidad como los turistas utilizan el río para actividades recreativas como el baño y la pesca, lo que los expone a riesgos si la calidad del agua se ve comprometida (World Health Organization, 2022). La percepción de la calidad del agua influye en la confianza de la comunidad en el río como espacio recreativo, afectando su uso para actividades sociales y culturales.

Estudios destacan que comunidades pequeñas como Mina Clavero dependen de la gestión colectiva de sus recursos naturales para mantener la cohesión social y la calidad de vida, lo que subraya la importancia de involucrar a los residentes en estrategias de conservación (Butler, 1999). La ausencia de estudios específicos sobre el impacto social de la comunidad en el Río Mina Clavero resalta la necesidad de investigaciones que aborden cómo las prácticas cotidianas de la población local influyen en este recurso. Esta investigación busca generar una base para diseñar políticas que promuevan la participación comunitaria y la preservación del río como un espacio de valor cultural y social.

Contexto Económico

La economía de Mina Clavero depende principalmente del turismo, que actúa como el motor clave de desarrollo en una localidad con industrias limitadas y actividades pecuarias en pequeña escala (Mina Clavero, 2021). Esta actividad impulsa una amplia gama de servicios, incluyendo hospedaje, gastronomía, actividades recreativas al aire libre y comercios locales, que generan la mayor parte de los ingresos para los residentes (Agencia Córdoba Turismo, 2024). Complementariamente, una proporción de la población se dedica a actividades agrícolas y pecuarias en áreas periurbanas, reflejando el carácter rural de la región.-

El Río Mina Clavero, reconocido en 2019 como una de las siete maravillas naturales de Argentina por la New 7 Wonders Foundation, actúa como un activo económico central al atraer miles de visitantes anuales, particularmente durante la temporada de verano (diciembre a marzo), impulsando el flujo de ingresos a través de la ocupación hotelera y el consumo en el sector servicios (Across South America, 2019).

La infraestructura turística de Mina Clavero incluye una amplia variedad de alojamientos, desde hoteles de tres estrellas hasta cabañas y campings, que satisfacen diferentes segmentos de mercado y contribuyen significativamente a la generación de empleo local (Agencia Córdoba Turismo, 2024). Eventos como la “Apertura de Temporada” y el “Festival Nacional de Los Ríos” diversifican la oferta turística y estimulan el gasto, generando un impacto positivo en la economía local mediante la participación de prestadores privados y la gestión pública (Agencia Córdoba Turismo, 2024).

La competitividad económica de Mina Clavero como destino turístico depende de su capacidad para mantener y promover el atractivo del Río Mina Clavero, ya que los visitantes

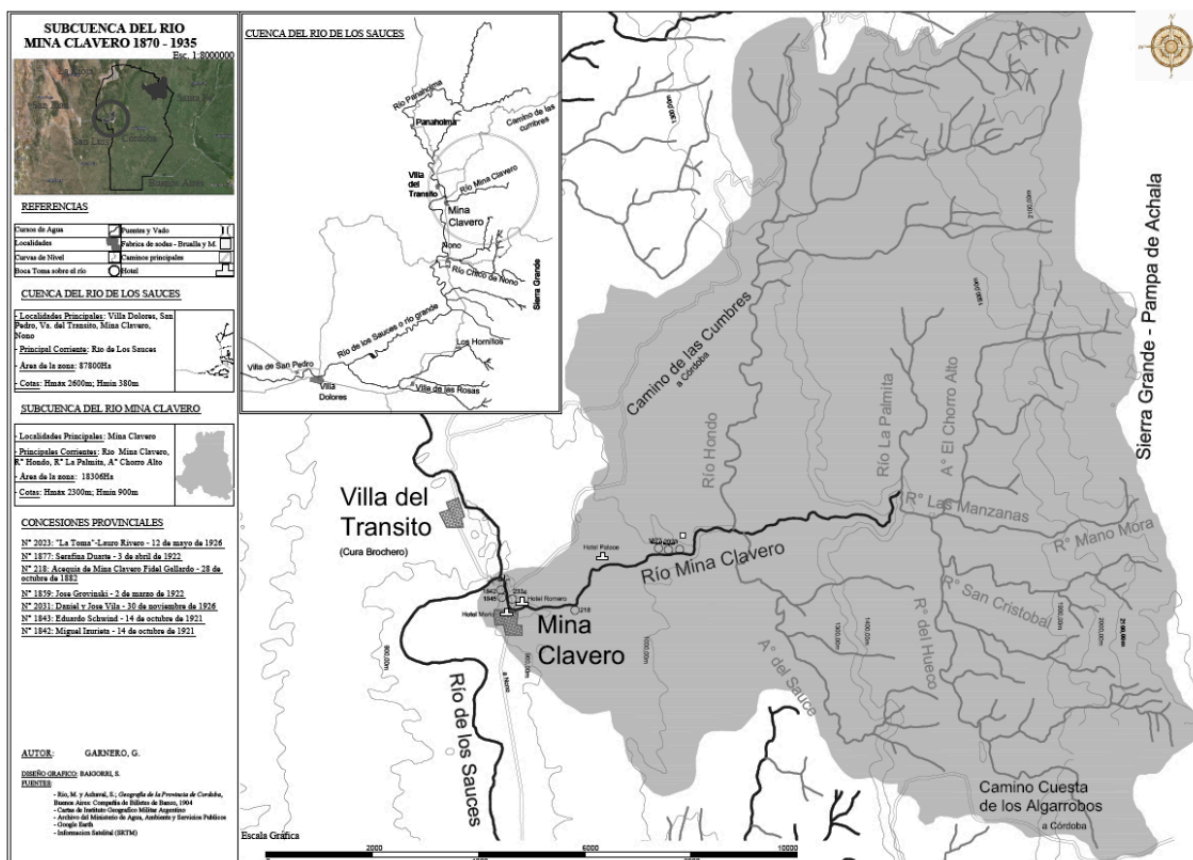
buscan experiencias únicas que fomenten la repetición de visitas y recomendaciones (Tortella & Tirado, 2011; Epler Wood, 2017). Estudios sobre turismo sostenible destacan que destinos como Mina Clavero, con escasas fuentes de ingresos alternativas, enfrentan riesgos de pérdida de competitividad si no se gestionan adecuadamente los recursos naturales que lo convierten en un destino turístico. Esto podría generar pérdidas significativas para hoteles, restaurantes y comercios locales (Gössling et al., 2018; Butler, 1999).

La percepción positiva del destino impulsa un ciclo virtuoso de ingresos estacionales que sustenta a la población local (Epler Wood, 2017). Históricamente, el crecimiento económico de Mina Clavero se vinculó al turismo desde la segunda década del siglo XX, cuando la fama de sus “aguas curativas” atrajo a visitantes en busca de descanso, impulsando la construcción de hoteles, pensiones y comercios que transformaron la estructura económica local (Garnero, 2014). Esta evolución consolidó al turismo como el sustento principal, con una infraestructura que incluye casinos, teatros y paseos artesanales que diversifican los ingresos más allá de la temporada alta (Agencia Córdoba Turismo, 2024).

Aspectos Biofísicos del Río Mina Clavero

El Río Mina Clavero, originado en las Altas Cumbres a aproximadamente 2200 m sobre el nivel del mar, atraviesa de este a oeste el valle de Traslasierra, Córdoba, Argentina y confluye con el río Panaholma para formar el Río de Los Sauces (Garnero, 2014).

Figura A. Mapa Hidrográfico: Subcuenca del Río Mina Clavero.



Fuente: Garnero (2014, Revista Pilquen).

La subcuenca se caracteriza por suelos graníticos pedregosos y altamente impermeables, con una marcada variabilidad estacional en las precipitaciones, ya que aproximadamente el 80% ocurre entre octubre y marzo, confiriendo al río un régimen torrencial (Garnero, 2014). Estas características geomorfológicas, combinadas con un clima templado de estaciones marcadas, favorecen la formación de ecosistemas acuáticos y riparios de alta biodiversidad (Chapman, 1996).

El ecosistema del río alberga una rica biodiversidad, incluyendo peces como mojarra (Astyanax spp.) y truchas arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*), introducidas para actividades recreativas y de pesca (Chapman, 1996).

La vegetación riparia, dominada por especies como el sauce criollo (*Salix humboldtiana*), el molle (*Schinus fasciculatus*) y el tala (*Celtis tala*), estabiliza las márgenes del río y previene la erosión (Naiman & Décamps, 1997). La presencia de aves como el martín pescador (*Megaceryle torquata*) y el biguá (*Phalacrocorax brasilianus*), junto con anfibios como la rana criolla (*Leptodactylus ocellatus*), resalta la importancia del río como hábitat para fauna vertebrada, mientras que su rol como corredor ecológico facilita la dispersión de especies y el mantenimiento de la biodiversidad en Traslasierra (Fernández & Molineri, 2017; Naiman & Décamps, 1997).

Los ríos de montaña como el Mina Clavero son particularmente sensibles debido a su baja capacidad de dilución y la fragilidad de sus suelos graníticos, que limitan la recuperación tras perturbaciones antropogénicas (Fernández & Molineri, 2017).

Servicios Ecosistémicos del Río Mina Clavero

El Río Mina Clavero proporciona una amplia gama de servicios ecosistémicos que sustentan la salud ambiental y el bienestar de las comunidades locales en el valle de Traslasierra. Entre los servicios de regulación, destaca su capacidad para mantener el ciclo hidrológico, facilitando la infiltración y retención de agua durante las lluvias estacionales y asegurando el suministro en períodos secos, lo que reduce el riesgo de inundaciones (Naiman & Décamps, 1997; Millennium Ecosystem Assessment, 2005). Además, el río filtra contaminantes, atrapando sedimentos y nutrientes provenientes de actividades agrícolas y urbanas antes de que ingresen al cauce, contribuyendo a la calidad del agua (Naiman & Décamps, 1997).

Estos servicios de regulación son esenciales para la resiliencia del ecosistema frente a presiones antropogénicas. Los servicios culturales y de provisión refuerzan la importancia del río para las comunidades locales. Como un espacio recreativo y turístico, el Río Mina Clavero es un pilar de la identidad cultural de la localidad, atrayendo visitantes para actividades como el baño, la pesca y eventos comunitarios, lo que genera beneficios económicos y fortalece el sentido de pertenencia (Millennium Ecosystem Assessment, 2005).

Asimismo, el río provee agua para usos agropecuarios y domésticos, un servicio que depende de la conservación de su calidad frente a contaminantes como nitratos y fosfatos (Wetzel, 2001). La interacción entre los servicios ecosistémicos y las actividades humanas subraya la necesidad de una gestión integrada que proteja el río para garantizar su sostenibilidad, asegurando el bienestar de las comunidades de Traslasierra que dependen de este recurso vital para su desarrollo económico y cultural (Fernández & Molineri, 2017; Millennium Ecosystem Assessment, 2005).

Calidad del Agua y Factores de Contaminación

La calidad del agua se refiere al conjunto de propiedades físicas, químicas y biológicas que determinan la idoneidad de un cuerpo de agua para soportar ecosistemas saludables y cumplir con los usos humanos, como el consumo, la recreación o la conservación ambiental (Wetzel, 2001). Estas propiedades incluyen parámetros como el pH, la turbidez, los nutrientes (nitrógeno y fósforo), los sólidos disueltos, el oxígeno disuelto, la temperatura y la presencia de microorganismos o macroinvertebrados, que reflejan el estado ecológico del sistema (Chapman, 1996).

En ríos como el Mina Clavero, la calidad del agua desempeña un papel crucial para sostener servicios ecosistémicos esenciales, como la filtración de contaminantes y el soporte de actividades recreativas de importancia cultural y económica. No obstante, esta calidad puede verse comprometida por la contaminación, entendida como la introducción de sustancias o condiciones que alteran las propiedades físicas, químicas y biológicas del agua, afectando su funcionalidad ecológica y su idoneidad (Abbasi & Abbasi, 2012).

Aunque la contaminación puede tener orígenes naturales, como la erosión de suelos, las principales fuentes suelen ser de origen antropogénico, derivadas de actividades agrícolas, urbanas e industriales que generan impactos significativos en el equilibrio del ecosistema acuático (Fernández & Molineri, 2017).

La contaminación antrópica se clasifica principalmente en dos tipos: puntual y difusa. La contaminación puntual proviene de fuentes específicas y localizadas, como los vertidos directos de aguas residuales domésticas o industriales. Por ejemplo, en el contexto de Traslasierra, un establecimiento que descargue aguas residuales sin tratar al Río Mina Clavero puede introducir coliformes fecales, aumentando la carga bacteriana y afectando la calidad del agua (Chapman, 1996).

La contaminación difusa, en cambio, se origina en fuentes dispersas, como la escorrentía de fertilizantes agrícolas que transporta nitratos y fosfatos al río durante las lluvias. En áreas cercanas a un río, la aplicación de fertilizantes nitrogenados en cultivos puede generar escorrentías que incrementen los niveles de nitrógeno, provocando la proliferación de algas y la eutrofización, un proceso que afecta la claridad del agua y la salud de los organismos acuáticos (Fernández & Molineri, 2017).

Además, la eutrofización puede generar riesgos para la salud humana al favorecer la proliferación de toxinas producidas por ciertas algas (como cianobacterias), que pueden contaminar el agua potable y causar enfermedades gastrointestinales o hepáticas. Estos impactos subrayan la necesidad de controlar las fuentes de nutrientes para preservar la calidad del agua.

Estos tipos de contaminación, tanto puntuales como difusos, tienen impactos significativos en la calidad del agua, alterando las cadenas tróficas y los servicios ecosistémicos esenciales (Wetzel, 2001). Estudios previos han demostrado que los ríos urbanos, como el Mina Clavero, son particularmente vulnerables a la contaminación debido a su proximidad a asentamientos humanos, lo que requiere un monitoreo constante para identificar puntos críticos de deterioro (Abbasi & Abbasi, 2012).

Las prácticas cotidianas, como el vertido de residuos domésticos, la gestión inadecuada de aguas residuales y las actividades pecuarias en áreas periurbanas, constituyen fuentes constantes de contaminación que afectan la calidad del agua durante todo el año (Calidad del Agua - BCN, s.f.). Estas actividades diarias de la comunidad, generan desafíos significativos en la gestión ambiental, ya que la infraestructura de saneamiento de Mina Clavero es limitada, haciendo más susceptible la introducción de contaminantes en el río (Argentina, 2002c). Identificar las fuentes de contaminación constantes permite diseñar políticas específicas, como la mejora de sistemas cloacales o programas de educación ambiental, que aborden las prácticas de los residentes (Gössling et al., 2018).

Para evaluar y gestionar los impactos de la contaminación, los índices de calidad del agua son herramientas esenciales que integran múltiples parámetros físicos, químicos y

biológicos en un valor numérico que resume el estado general de un cuerpo de agua (Abbasi & Abbasi, 2012).

Estudios como los de Butler (1999) destacan que las comunidades pequeñas con alta dependencia de recursos naturales deben priorizar la gestión sostenible para evitar la degradación ambiental, incluso sin presiones externas. En el caso del Río Mina Clavero, un índice puede proporcionar una medida clara de la salud del río, detectando alteraciones causadas por actividades antropogénicas como vertidos o escorrentías agrícolas.

Es importante destacar que los índices de calidad del agua son particularmente valiosos para analizar tendencias espacio-temporales, monitorear cambios en la calidad del agua, evaluar la efectividad de programas de gestión, comunicar resultados de manera clara y accesible (Universidad Nacional de La Plata [UNLP] & Autoridad de Cuenca Matanza Riachuelo [ACUMAR], 2017).

Los índices facilitan la comparación del estado de diferentes cuerpos de agua, apoyando la formulación de políticas de conservación en regiones vulnerables como Traslasierra (Abbasi & Abbasi, 2012). En conjunto, una comprensión integral de la calidad del agua, los tipos de contaminación y el uso de índices proporciona las herramientas necesarias para evaluar la salud de ríos como el Mina Clavero, promoviendo su conservación como recursos fundamentales para las comunidades locales y los ecosistemas que dependen de ellos.

Índice de Calidad del Agua NSF-WQI: Definición y Aplicación

En esta investigación se utilizó el ICA NSF-WQI (Water Quality Index) el cual es una herramienta estandarizada desarrollada en la década de 1970 por la National Sanitation Foundation (NSF) de Estados Unidos, bajo el liderazgo de Robert M. Brown, con el propósito de proporcionar una metodología integral y accesible para evaluar la calidad de los cuerpos de agua (Brown et al., 1970). Este índice fue diseñado para sintetizar múltiples parámetros físicos, químicos y biológicos en una sola métrica numérica, facilitando la interpretación de datos complejos por parte de investigadores, gestores ambientales y responsables de la toma de decisiones.

El ICA NSF-WQI incluye nueve variables clave: oxígeno disuelto, temperatura, coliformes fecales, demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅), fosfatos, nitratos, pH, sólidos disueltos totales (SDT) y turbidez. Cada parámetro recibe un peso relativo según su importancia para la calidad del agua, determinado a través de consultas con expertos en calidad hídrica. Los mismos se integran en un índice que clasifica el agua en cinco categorías, representadas en la tabla 1.

Tabla 1. Escala de clasificación del ICA-NSF.

Calidad del agua	Valor del ICA
Excelente	91 - 100
Buena	71 - 90
Media	51 - 70
Mala	26 - 50
Muy mala	0 - 25

Fuente: (Quiroz et al., 2017).

Este enfoque multifactorial permite captar la complejidad de la calidad del agua, considerando tanto los procesos naturales como las alteraciones antropogénicas, como el vertido de residuos domésticos o la contaminación por actividades agropecuarias. Este índice permite una evaluación comprensible y comparable, ideal para monitorear cambios en la calidad del agua a lo largo del tiempo o en diferentes puntos de un cuerpo hídrico, como el Río Mina Clavero.

Los coliformes fecales son bacterias indicadoras de contaminación fecal provenientes de excrementos de animales vertebrados, como humanos y ganado, señalan un riesgo sanitario potencial en cuerpos de agua (Chapman, 1996). Su presencia, medida en Número Más Probable (NMP) por 100 ml, suele asociarse a actividades antropogénicas, como vertidos de aguas residuales o estiércol, afectando la calidad hídrica (Chapman, 1996). Este parámetro es crucial para evaluar la seguridad del agua en contextos urbanos y recreativos, permitiendo identificar fuentes de contaminación (World Health Organization, 2022).

La demanda bioquímica de oxígeno a cinco días (DBO_5) mide la cantidad de oxígeno, expresada en miligramos por litro (mg/L), que los microorganismos requieren para descomponer la materia orgánica biodegradable presente en el agua mediante procesos biológicos aerobios (Wetzel, 2001). Este parámetro es un indicador directo de contaminación orgánica, donde valores elevados indican aportes de residuos orgánicos, como estiércol, aguas residuales o desechos domésticos. La DBO_5 permite evaluar la carga orgánica en cuerpos de agua, proporcionando información clave para identificar fuentes de contaminación antropogénica y su impacto en la calidad hídrica (Abbasi & Abbasi, 2012).

Los fosfatos (PO_4^{3-}) son indicadores clave de contaminación antropogénica, provenientes principalmente de detergentes, fertilizantes, aguas residuales y, en menor medida, estiércol animal (Chapman, 1996). Elevados niveles de fosfatos, medidos en miligramos por litro (mg/L), pueden inducir eutrofización, un proceso que altera los ecosistemas acuáticos al promover el crecimiento excesivo de algas, afectando la calidad del agua en ríos como el Mina Clavero (Fernández & Molineri, 2017). Este parámetro es crucial para evaluar el impacto de actividades humanas, como la agricultura periurbana y la gestión de residuos domésticos, en la salud hídrica de la subcuenca.

Los nitratos (NO_3^-), son una forma inorgánica de nitrógeno que provienen principalmente de la oxidación de amonio en estiércol o aguas residuales y del uso de fertilizantes agrícolas, reflejando contaminación antropogénica de origen agrícola, urbano o industrial (Chapman, 1996). Se mide en miligramos por litro (mg/L), donde niveles elevados de nitratos pueden inducir eutrofización, alterando los ecosistemas acuáticos al promover el crecimiento excesivo de algas en ríos (Fernández & Molineri, 2017). Este parámetro es esencial para evaluar el impacto de actividades locales, como la agricultura periurbana.

El pH mide la acidez o alcalinidad del agua en una escala de 0 a 14, donde 7 es neutro, valores menores a 7 indican acidez y mayores indican alcalinidad (Wetzel, 2001). En aguas naturales, como las del Río Mina Clavero, el pH suele oscilar entre 6 y 9, influido por la geología granítica del cauce, aportes orgánicos naturales y contaminación antropogénica, como detergentes o aguas residuales (Chapman, 1996). Este parámetro es crítico para evaluar la calidad hídrica, ya que alteraciones en el pH pueden afectar la biodiversidad acuática y los procesos ecosistémicos naturales

Los sólidos disueltos totales (SDT) miden la concentración de sustancias inorgánicas, como sales y minerales, y orgánicas disueltas en el agua, expresada en miligramos por litro (mg/L) (Chapman, 1996). En ríos de montaña, los valores de SDT son típicamente bajos debido a la pureza del agua, influida por suelos graníticos de baja retención de nutrientes (Fernández & Molineri, 2017). Sin embargo, valores altos de SDT pueden indicar aportes antropogénicos, como aguas residuales, escorrentía urbana o lixiviación de suelos alterados por actividades agrícolas, afectando la calidad hídrica de la subcuenca.

La turbidez mide la claridad del agua, determinada por la presencia de partículas en suspensión, como sedimentos, materia orgánica y microorganismos. Se expresa en Unidades Nefelométricas de Turbidez (NTU), donde 0 NTU indica agua completamente clara (Chapman, 1996). En ríos de montaña, los valores de turbidez son típicamente bajos debido a la pureza del agua, pero pueden aumentar por erosión natural, escorrentía urbana o aportes antropogénicos, como vertidos de aguas residuales o sedimentos de actividades agrícolas (Fernández & Molineri, 2017).

Para evaluar de manera integral el impacto de estas variables, la metodología del ICA NSF-WQI se basa en una curva de calidad para cada parámetro, que asigna un valor de 0 a 100 según los resultados medidos, y un sistema de ponderación que refleja la relevancia de cada variable para la salud del ecosistema acuático y el uso del agua para actividades antrópicas. Por ejemplo, los coliformes fecales tienen un peso mayor debido a su impacto directo en la vida acuática y la seguridad sanitaria, mientras que parámetros como la temperatura tienen un peso menor (Abbasi & Abbasi, 2012).

La aplicación de este índice ha sido ampliamente validada en estudios globales, demostrando su eficacia para identificar el impacto antropogénico en ríos urbanos y turísticos, como los efectos de efluentes domésticos, actividades agrícolas o presión turística (Abbasi & Abbasi, 2012). Por ejemplo, estudios previos han utilizado el ICA NSF-WQI para evaluar ríos en zonas urbanas, revelando cómo la contaminación por nutrientes y microorganismos afecta la biodiversidad y la salud pública (Fernández & Molineri, 2017).

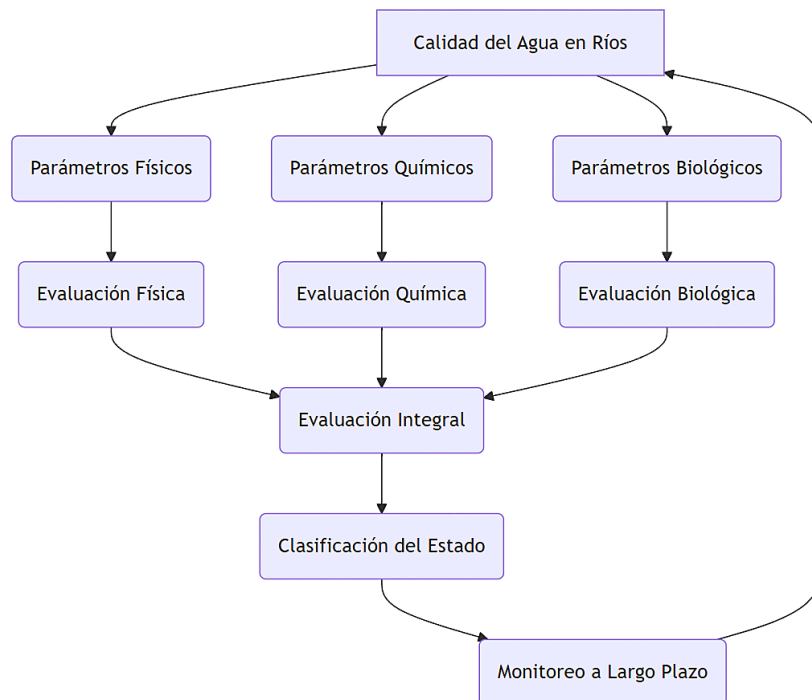
En el contexto de Mina Clavero, donde el río atraviesa una zona urbana, el ICA NSF-WQI es particularmente útil para detectar variaciones en la calidad del agua antes y después de su paso por el área urbana, identificando puntos críticos de deterioro relacionados con el impacto de la sociedad local (Brown et al., 1970). La estandarización del índice asegura que los resultados sean comparables con estudios internacionales, lo que refuerza su validez científica (Abbasi & Abbasi, 2012).

El uso del ICA NSF-WQI en el presente estudio está justificado por su capacidad para integrar diversos parámetros en una métrica única, lo que permitió una evaluación holística de la calidad del agua del Río Mina Clavero. En este trabajo, el ICA proporcionó una herramienta robusta para responder a la pregunta de investigación sobre el impacto ambiental de la sociedad local. Además, facilita la divulgación y comprensión de los resultados para audiencias no especializadas, como autoridades locales y la comunidad en general.

Los resultados obtenidos servirán como línea de base para futuros monitoreos y para proponer medidas de manejo sostenible, alineándose con los objetivos de desarrollo sostenible relacionados con el agua limpia (United Nations, 2015). En resumen, el ICA NSF-WQI ofrece

un marco metodológico sólido y validado para abordar este estudio, proporcionando datos clave para la toma de decisiones informadas.

Figura B. Mapa conceptual del uso del ICA NSF-WQI en Ríos



Fuente de elaboración propia.

Estudios Previos

El ICA NSF-WQI es una herramienta valiosa para evaluar la calidad del agua en sistemas fluviales. Su enfoque proporciona una perspectiva integral de la salud ecológica. Diversos estudios han empleado este índice para discernir los efectos de las actividades humanas cotidianas en la salud de los ecosistemas fluviales. Brown y Norris (2005) demostraron la sensibilidad del ICA NSF-WQI a diferentes tipos de estrés antropogénico, incluyendo la escorrentía urbana y agrícola, actividades directamente relacionadas con la presencia y las prácticas de las sociedades locales.

El uso de este índice en estudios comparativos entre áreas urbanas, rurales y prístinas ha demostrado de manera contundente cómo la actividad humana local genera un claro gradiente de impacto en la calidad de los ríos, resaltando la necesidad de una gestión integrada del territorio y de los recursos hídricos.

La contaminación hídrica y su relación con el manejo sostenible de recursos naturales han sido ampliamente estudiados, especialmente en contextos donde los cuerpos de agua son esenciales para la ecología y la economía local. Investigaciones internacionales han utilizado herramientas como el Índice de Calidad del Agua (ICA) NSF-WQI para evaluar el impacto de actividades humanas, como el vertido de efluentes domésticos y agropecuarios, en ríos urbanos (Abbasi & Abbasi, 2012). Estos estudios destacan que parámetros como los coliformes fecales, los nitratos, los fosfatos y la DBO₅ son indicadores clave de contaminación antropogénica, afectando tanto la biodiversidad acuática como la salud pública.

Aunque el turismo puede exacerbar estos problemas, estudios como los de Fernández y Molineri (2017) sobre ríos de montaña en Argentina muestran que las actividades locales, generan un nivel de deterioro constante que compromete los ecosistemas incluso sin presión turística. Estos autores señalan que los ríos montañosos, como el Río Mina Clavero, son vulnerables debido a su baja capacidad de dilución y la fragilidad de sus suelos graníticos, esto resalta la importancia de conocer el impacto ambiental de la sociedad local como base para estrategias de conservación.

Epler Wood (2017) argumenta que la calidad ambiental es crucial para destinos dependientes de recursos naturales, donde la contaminación hídrica puede reducir la

satisfacción de los visitantes y los ingresos económicos. Además, Chapman (1996) enfatiza que los ecosistemas acuáticos proveen servicios ecosistémicos esenciales, como la purificación del agua, que pueden verse comprometidos por la contaminación, afectando la biodiversidad y la calidad de vida de los residentes. Actividades antrópicas, como el vertido de efluentes sin tratar, generan contaminantes que alteran las cadenas tróficas y aumentan el riesgo de enfermedades transmitidas por el agua (World Health Organization, 2022).

Es relevante señalar que, tras una exhaustiva búsqueda bibliográfica, no se hallaron estudios académicos publicados que aborden específicamente la calidad hídrica del Río Mina Clavero considerando el impacto de la sociedad local, lo que representa una limitación significativa en el conocimiento científico.

No obstante, en un estudio de Espinoza Jervez et al. (2023), publicado en *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, se aplicó el ICA-NSF para evaluar la calidad del agua del río Jubones en el cantón El Guabo, Ecuador, proporcionando un marco comparativo robusto para estudios locales. En este trabajo, seleccionaron cuatro puntos de muestreo a lo largo del río Jubones, distribuidos desde la parte alta (P1) hasta la parte baja (P4) en el tramo estudiado.

Los resultados indicaron que el ICA-NSF estaba en un rango de entre 51 y 70, clasificando la calidad del agua como “Media” en todos los puntos. Sin embargo, se observó una tendencia descendente hacia calidad “Mala” debido a concentraciones elevadas de sólidos totales disueltos (STD), Coliformes Fecales y DBO₅.

Los parámetros más críticos en la disminución del ICA fueron los Coliformes Fecales y la DBO₅, atribuidos a descargas de aguas residuales domésticas y agrícolas sin tratamiento, especialmente en zonas pobladas como La Iberia. Otros parámetros, como nitratos y fosfatos, se mantuvieron dentro de los límites permisibles de la normativa ecuatoriana, y el pH (casi neutro) se encontró en rangos óptimos para la vida acuática.

Los resultados del río Jubones, proporcionan una referencia sólida para comparar con los resultados de este estudio. La ausencia de investigaciones específicas en el Río Mina Clavero refuerza la necesidad de conocer el estado actual de la calidad del agua, particularmente para establecer el nivel mínimo de deterioro generado por la sociedad local.

Identificar la contaminación base permitirá proteger la salud pública, ya que los residentes utilizan el río para actividades recreativas, enfrentando riesgos sanitarios si la calidad del agua no es óptima (World Health Organization, 2022). Por tales motivos, este estudio busca generar conocimiento pionero para la gestión sostenible del Río Mina Clavero, garantizando así su preservación a largo plazo.

Gestión de Cuencas Hidrográficas y Saneamiento en Argentina

La gestión de cuencas hidrográficas en Argentina ha evolucionado hacia un enfoque integrado que reconoce la cuenca como la unidad básica de planificación y administración de los recursos hídricos, promoviendo la participación multisectorial para abordar problemas ambientales como la contaminación y la escasez de agua (Di Pietro & Vaggione, 2003).

Este paradigma se consolidó con la promulgación de la Ley Nacional de Agua Potable y Desagües Cloacales N° 11.220 en 1950, que estableció las bases para el saneamiento básico,

pero fue con la Ley General del Ambiente N° 25.675 de 2002 cuando se enfatizó la protección de los recursos hídricos como un bien público de uso común, obligando a las autoridades a implementar planes de manejo integral (Di Pietro & Vaggione, 2003).

En el ámbito nacional, la creación de la Autoridad Interjurisdiccional de las Cuencas de los Ríos Limay, Neuquén y Negro (AIC) en 1996 marcó un antecedente clave para la gestión interprovincial, enfocándose en el control de la contaminación y la sostenibilidad de los ríos (Gobierno de la Provincia de Río Negro, 1996).

Estos marcos legales han facilitado la formación de comités de cuencas, órganos participativos que involucran a gobiernos, comunidades y sectores productivos para coordinar acciones de saneamiento y conservación, como se evidencia en la Cuenca Matanza-Riachuelo, donde se implementaron planes de remediación desde 2006 para reducir la contaminación industrial y urbana (Autoridad de Cuenca Matanza Riachuelo, 2010).

En Córdoba, la gestión de cuencas ha sido impulsada por normativas provinciales y federales, con énfasis en el saneamiento de ríos como el Suquía, afectado por efluentes urbanos e industriales (Pesce & Wunderlin, 2000). La Ley Provincial de Agua y Saneamiento N° 9.045 de 1999 estableció el marco para la creación de comités de cuencas en la provincia, promoviendo la participación ciudadana en la planificación y el monitoreo de los recursos hídricos (Gobierno de la Provincia de Córdoba, 1999).

Un antecedente notable es el Comité de Cuenca del Río Suquía, formado en 2005, que ha coordinado esfuerzos para el saneamiento del río mediante programas de tratamiento de efluentes y restauración de márgenes, reduciendo significativamente la carga contaminante de

origen doméstico e industrial (Comité de Cuenca del Río Suquía, 2015). Estos comités, inspirados en la Ley Federal de Gestión Ambiental de Aguas N° 25.688 de 2002, fomentan la integración de datos científicos y acciones locales para mitigar problemas como la eutrofización en cuerpos de agua cordobeses (Gobierno de la Nación Argentina, 2002).

En Córdoba, el saneamiento del Río Suquía ha servido como modelo, con intervenciones desde el año 2000 que incluyeron la ampliación de redes cloacales y programas de educación ambiental, reduciendo la carga orgánica y los nutrientes en el agua (Pesce & Wunderlin, 2000). Estos antecedentes demuestran que los comités de cuencas son efectivos para coordinar acciones multisectoriales, como la implementación de la Ley 25.688, que obliga a la elaboración de planes de cuenca para el control de la contaminación y la preservación de los cuerpos de agua (Gobierno de la Nación Argentina, 2002).

En el contexto de la región del Valle de Traslasierra, donde el Río Mina Clavero representa un recurso vital, estos antecedentes resaltan la necesidad de comités similares para abordar la contaminación derivada de actividades agropecuarias y urbanas, asegurando la sostenibilidad del ecosistema (Pesce & Wunderlin, 2000).

Para ríos como el Mina Clavero, estos modelos sugieren la creación de comités locales que integren a la comunidad y autoridades para monitorear y mitigar impactos antropogénicos, promoviendo un saneamiento sostenible alineado con los principios federales de gestión integrada (Di Pietro & Vaggione, 2003). Es importante aclarar que la protección de los servicios ecosistémicos requiere una gestión integrada de la cuenca.

Materiales y Métodos

Diseño de estudio:

Este estudio se diseñó como un estudio observacional descriptivo transversal para evaluar la calidad del agua del Río Mina Clavero en Córdoba, Argentina, y analizar el impacto de las actividades antropogénicas locales. Se recolectaron muestras de agua en tres puntos de muestreo en el mes de agosto de 2024, durante la temporada baja de turismo, para minimizar la influencia de visitantes externos y reflejar principalmente las condiciones asociadas a la población local. Las muestras se analizaron en laboratorio para determinar parámetros físicos, químicos y biológicos.

Selección de Puntos de Muestreo:

Para la selección de los puntos de muestreo, se combinaron herramientas cartográficas digitales (tales como Google Maps y Google Earth), con exploraciones de campo. En base a la información recopilada y a los recursos disponibles, se seleccionaron tres puntos de muestreo (P1, P2 y P3) a lo largo del río, considerando factores como la ubicación geográfica y la influencia antrópica. Según la medición proporcionada por Google Earth, la distancia total recorrida por el cauce del Río Mina Clavero entre P1 y P3 es equivalente a 15,5 km.

El punto de muestreo 1 (denominado P1), está ubicado cerca de la naciente del Río Mina Clavero, conocido como "Cascada Pie Grande" (31°42'31"S, 64°53'26"W). Este punto fue seleccionado estratégicamente ya que garantizó la evaluación de la calidad del agua previa a cualquier impacto antrópico directo, dada la inexistencia de calles o viviendas aguas arriba o circundantes. Sin embargo, es importante aclarar que se observó la presencia de animales de

pastoreo (no autóctonos del ecosistema montañoso), tales como vacas, caballos, ovejas y cabras, introducidos por el hombre.

Figura C. Imagen satelital del entorno del Punto de muestreo 1 (P1) obtenida de Google Earth.



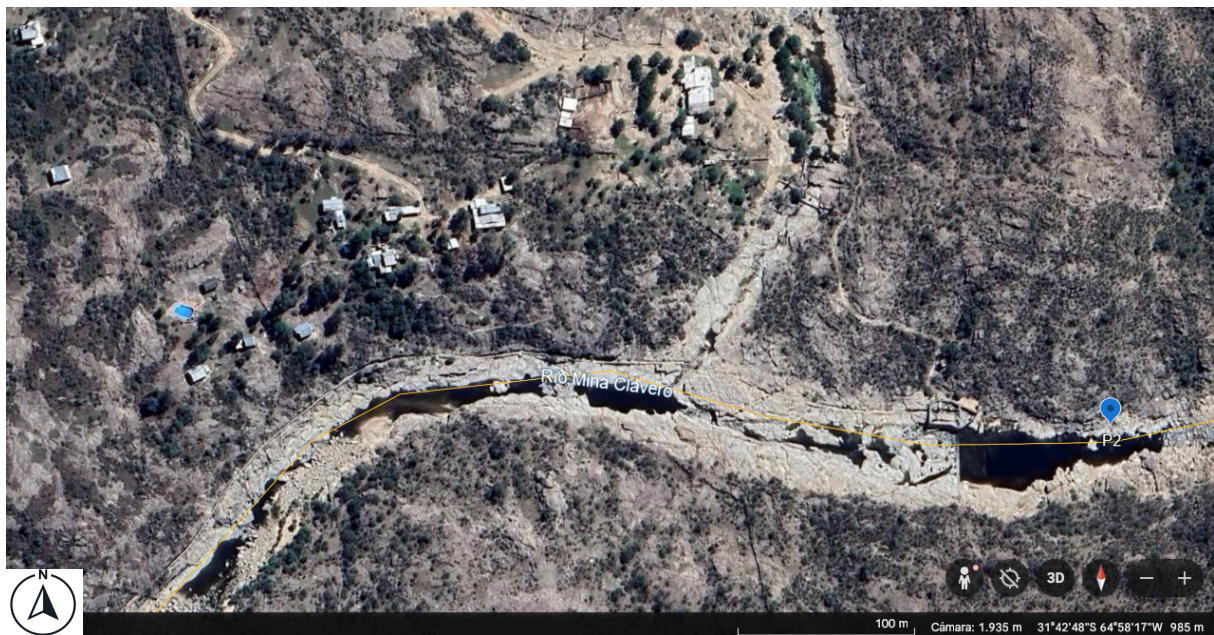
Fuente de elaboración propia.

La Figura C ilustra el entorno del punto de muestreo P1 en la Cascada Pie Grande (situado en la parte superior derecha de la fotografía). La primera vivienda ribereña del Río Mina Clavero, situada a 650 metros aguas abajo de la cascada, se ubica en la esquina inferior izquierda de la imagen.

El punto de muestreo 2, (denominado P2) se encuentra en la “Toma de agua de Mina Clavero” (31°42'53" S, 64°58'00" W). En este lugar no se puede descartar el impacto antrópico debido a la presencia de dos casas situadas río arriba a lo largo de la ribera y animales de pastoreo sueltos. Este punto fue seleccionado para analizar las influencias de las

actividades humanas y pecuarias en una etapa intermedia del recorrido del río. Además, a partir de este punto se observó un desarrollo urbano más significativo.

Figura D. *Imagen satelital del entorno del Punto de muestreo 2 (P2), obtenida de Google Earth.*



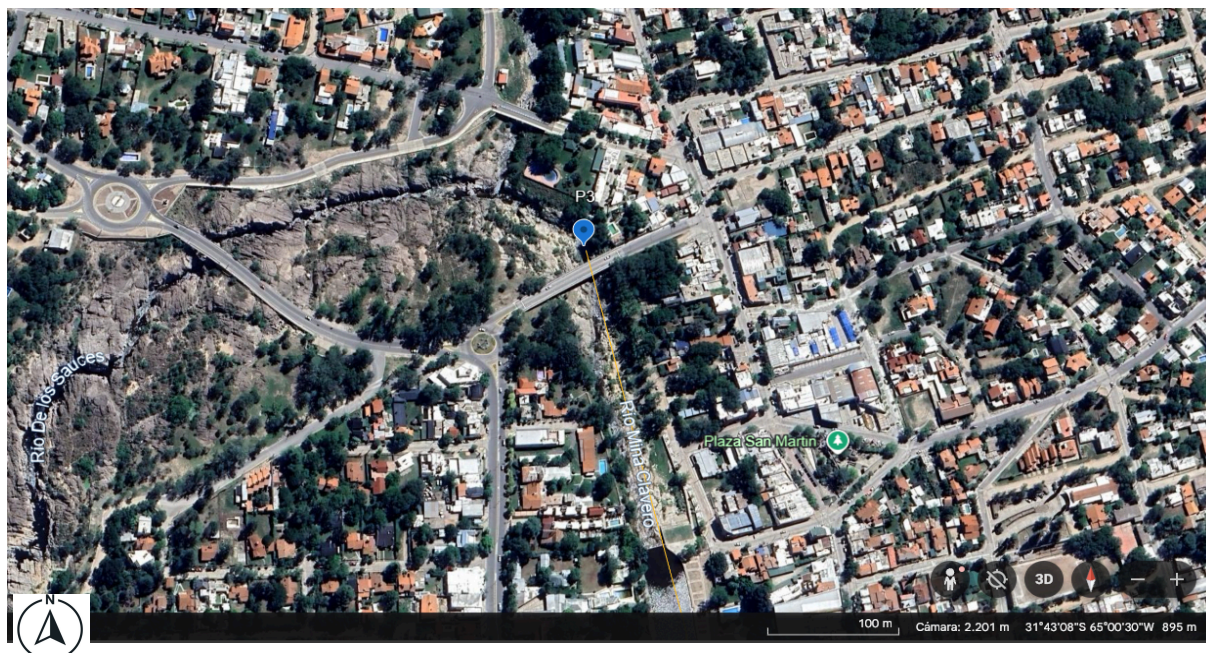
Fuente de elaboración propia.

La Figura D muestra, mediante una imagen satelital, el entorno del punto de muestreo P2 (situado en el extremo inferior derecho de la fotografía), ubicado en la Toma de agua de Mina Clavero. La imagen revela el inicio de edificaciones residenciales y turísticas inmediatamente después del sitio de muestreo.

El punto de muestreo 3, (denominado P3) se encuentra en el "Puente Blanco" ($31^{\circ}43'10''S$, $65^{\circ}00'21''W$), a 50 metros antes de la confluencia del Río Mina Clavero con el Río Panaholma. Esta distancia aseguró la representatividad de la muestra al evitar

interferencias de este último río en el material recolectado. Este punto resultó fundamental para reflejar el impacto acumulado de la influencia urbana y actividades antropogénicas, como vertido de efluentes y actividades pecuarias.

Figura E. Imagen satelital del entorno del Punto de muestreo 3 (P3), obtenida de Google Earth.



Fuente de elaboración propia.

La Figura E muestra la densidad poblacional alrededor del punto de muestreo 3 (P3), situado en la parte inferior de la imagen. En la fotografía se pueden visibilizar tanto casas residenciales como restaurantes, hoteles, complejos de cabañas y apartamentos turísticos. A la izquierda, se observa la confluencia de los ríos Mina Clavero y Panaholma.

Recolección de las Muestras:

Para la recolección de las muestras se utilizó el protocolo propuesto por la norma ISO 5667-3. La misma establece directrices internacionales para garantizar que las muestras de

agua sean representativas, estén libres de contaminación y se preserven adecuadamente para posteriores análisis. Está diseñada para aplicarse a diversos tipos de agua como superficial, subterránea, potable o residual.

Conforme al protocolo, se recolectaron muestras simples, utilizando seis recipientes, distribuidos de la siguiente manera: para los análisis microbiológicos, se emplearon tres recipientes de plástico estériles de 500 ml, uno por cada punto de muestreo. En paralelo, se recolectaron muestras para los análisis fisicoquímicos en tres recipientes de plástico de 2,25 L (botellas tipo PET nuevas). Se mantuvo la correspondencia de un recipiente por punto de muestreo. Las mismas fueron previamente enjuagadas con agua destilada para eliminar posibles impurezas (International Organization for Standardization, 2024).

Los muestreos se llevaron a cabo siguiendo un orden secuencial desde el punto P3 hasta el punto P1. Para la recolección de las muestras, se seleccionó un punto en el río que permitió recolectar la muestra en la mitad del cauce, a una profundidad de 10-30 cm, orientando la boca del recipiente en contra de la corriente para garantizar la representatividad (International Organization for Standardization, 2024).

Con el objetivo de obtener las muestras destinadas al ensayo microbiológico, se procedió a abrir el recipiente debajo del agua (en contra de la corriente), llenándolo en un 90% dejando una "burbuja de aire" la cual proporcionó suficiente oxígeno a las bacterias, facilitando una mezcla adecuada de la muestra. Inmediatamente después de la recolección, la muestra fue sellada herméticamente, rotulada y almacenada a 4 °C, protegida de la luz solar, hasta ser entregada al laboratorio. Esto se realizó con el fin de preservar la integridad de la

muestra y los microorganismos presentes en la misma, asegurando la exactitud de los resultados obtenidos.

En paralelo a la recolección de muestras para los ensayos biológicos, se obtuvieron muestras para los análisis fisicoquímicos en cada punto de muestreo utilizando los recipientes de 2.25 L. Los mismos se abrieron debajo del agua (en contra de la corriente), fueron llenados al 100% y luego se cerraron herméticamente bajo la superficie. Esto permitió garantizar la representatividad de las muestras obtenidas, evitando la introducción de aire o contaminantes. Posteriormente, se procedió a rotular la muestra y almacenarla a 4 °C, protegida de la luz solar, hasta que se entregó al laboratorio.

Las muestras fueron recolectadas en agosto de 2024 siguiendo un protocolo estandarizado para garantizar la representatividad de los datos. Las seis muestras de agua recolectadas en los puntos P1, P2 y P3 del Río Mina Clavero fueron enviadas al Laboratorio Ing. Nicolás Echevarría e Hijos para ser analizadas. Las mismas fueron entregadas en un periodo menor a 24 hs luego de su recolección. El ensayo solicitado para cada una de las muestras fue “Para aguas dulces destinadas a uso recreativo de contacto primario”. Las muestras fueron analizadas por el laboratorio utilizando técnicas estandarizadas, las cuales se detallan en la tabla 2.

Tabla 2. *Parámetros y técnicas utilizadas para determinar cada parámetro.*

Parámetro	Técnica
Coliformes Fecales	ApHA-9221 C
DBO ₅	ApHA-5210-ROB B
Fósforo Total	ApHA-4500-P C
Nitratos	ApHA -4500-NO3 E
pH	ApHA-4500-H B
Sólidos Disueltos Totales	ApHA-2520 B
Turbidez	ApHA-2130 B

Fuente de elaboración propia, basada en datos del Laboratorio Ing. Nicolás Echevarría e Hijos (2024a, 2024b, 2024c)).

Aplicación del ICA:

Como ya se explicó con anterioridad, el Índice de Calidad del Agua (ICA), conocido como NSF-WQI (Water Quality Index de la National Sanitation Foundation), es una herramienta estandarizada desarrollada por Brown et al. (1970) para evaluar la calidad del agua mediante la integración de múltiples parámetros físicos, químicos y biológicos.

Aunque la metodología original propuesta por Brown et al. (1970) incluye nueve parámetros, en este estudio se seleccionaron siete: coliformes fecales, demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅), fosfatos, nitratos, pH, sólidos disueltos totales (SDT) y turbidez. Esta selección se realizó considerando las características específicas del Río Mina Clavero y la disponibilidad de datos, preservando la esencia del NSF-WQI.

La fórmula que se empleó para calcular el ICA en este trabajo es la siguiente:

$$ICA = \prod_{i=1}^7 (Sub_i)^{w_i}$$

Donde Sub_i es el subíndice normalizado de cada parámetro, w_i es el peso relativo de cada parámetro, y el producto abarca los siete parámetros seleccionados (Brown et al., 1970).

Con los resultados obtenidos en el laboratorio, se procedió a calcular Índice de Calidad del Agua propuesto por Brown de la siguiente manera:

- Obtención del Peso Relativo de Cada Parámetro:

En el índice original de Brown et al. (1970), se contemplan adicionalmente oxígeno disuelto y temperatura, con una ponderación total normalizada a 1; sin embargo, estos dos parámetros no fueron utilizados en este trabajo. Como resultado, los pesos relativos (w_i) de los siete parámetros considerados fueron recalculados mediante una normalización proporcional, asegurando que la suma total de los pesos se mantuviera igual a 1. Este ajuste metodológico permitió adaptar el ICA a las necesidades específicas de este análisis. Para recalcular los pesos en la fórmula, se siguieron estos pasos:

1. Revisión de pesos originales: Se examinaron los pesos de los nueve parámetros del ICA original, que suman 1.
2. Exclusión de parámetros: Se identificaron los pesos relativos de los dos parámetros excluidos (temperatura y oxígeno disuelto).
3. Cálculo de proporción ajustada: Se determinó la proporción de los siete parámetros restantes respecto a la suma total de pesos originales.
4. Redistribución de pesos: Los pesos de los siete parámetros se ajustaron proporcionalmente para que su suma total fuera 1.

Este proceso (presente en la sección de Apéndices), aseguró que el ICA se adaptara al análisis, manteniendo la normalización de los pesos (Brown et al., 1970).

- Normalización de los Datos:

Un paso esencial previo a la aplicación de esta fórmula es la normalización de los datos para cada parámetro (Sub_i), dado que los mismos se miden en unidades y escalas distintas (por ejemplo, pH en una escala de 0 a 14, turbidez en NTU, entre otros). La normalización transforma los valores a una escala común de 0 a 100, lo que permite compararlos de manera equitativa y evita que parámetros con rangos numéricos mayores dominen el cálculo (Abbasi & Abbasi, 2012). Además, determina la calidad individual de cada parámetro. Este proceso asegura que los pesos relativos (w_i), que reflejan la importancia de cada parámetro, se apliquen correctamente en el producto multiplicativo de la fórmula, garantizando una evaluación estandarizada y justa del ICA (Brown et al., 1970).

- Cálculo del Índice de Calidad del Agua: utilizando la fórmula antes mencionada.

Resultados

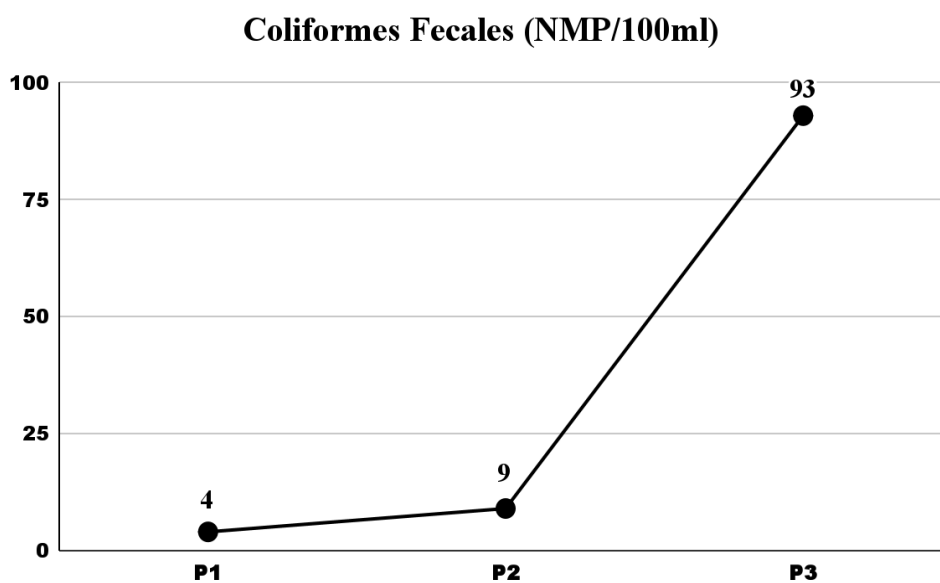
Los resultados de los análisis de agua realizados por el Laboratorio Ing. Nicolás Echevarría e Hijos (2024a, 2024b, 2024c) se presentan en la Sección de Anexos. A continuación, se detallan los resultados de los parámetros analizados en cada punto de muestreo:

Tabla 3. Resultados de laboratorio por parámetro y punto de muestreo.

	P1	P2	P3
Coliformes Fecales	4 NMP/100 mL	9 NMP/100 mL	93 NMP/100 mL
DBO₅	1,2 ppm	2,2 ppm	3 ppm
Fósforo Total	0,0 ppm	0,4 ppm	2,6 ppm
Nitratos	2,90 ppm	0,0 ppm	4,10 ppm
pH	6,7	7,1	7,0
SDT	10 ppm	20 ppm	35 ppm
Turbidez	0 NTU	0 NTU	0 NTU

Fuente de elaboración propia, basada en datos del Laboratorio Ing. Nicolás Echevarría e Hijos (2024a, 2024b, 2024c)).

Figura F. Concentración de Coliformes Fecales en diferentes puntos de muestreo del Río Mina Clavero.

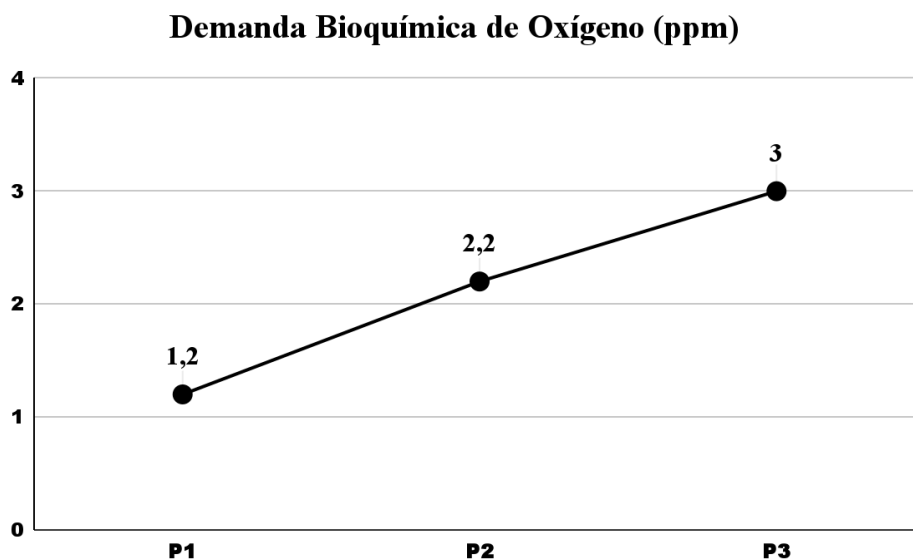


Fuente de elaboración propia, basada en datos del Laboratorio Ing. Nicolás Echevarría e Hijos (2024a, 2024b, 2024c)).

Tendencia y comparación:

- De P1 a P2: Como se puede observar en la Figura F, los coliformes se incrementaron de 4 a 9 NMP/100 mL.
- De P2 a P3: Se observó un alza de 9 a 93 NMP/100 mL, lo que evidenció un aumento de 84 NMP/100 mL.
- De P1 a P3: El aumento de coliformes fecales de 4 a 93 NMP/100 mL, una diferencia de 89 NMP/100 mL, representó un incremento del 2225% respecto a P1 (aguas arriba).

Figura G. *Demanda Bioquímica de Oxígeno en Puntos de Muestreo.*

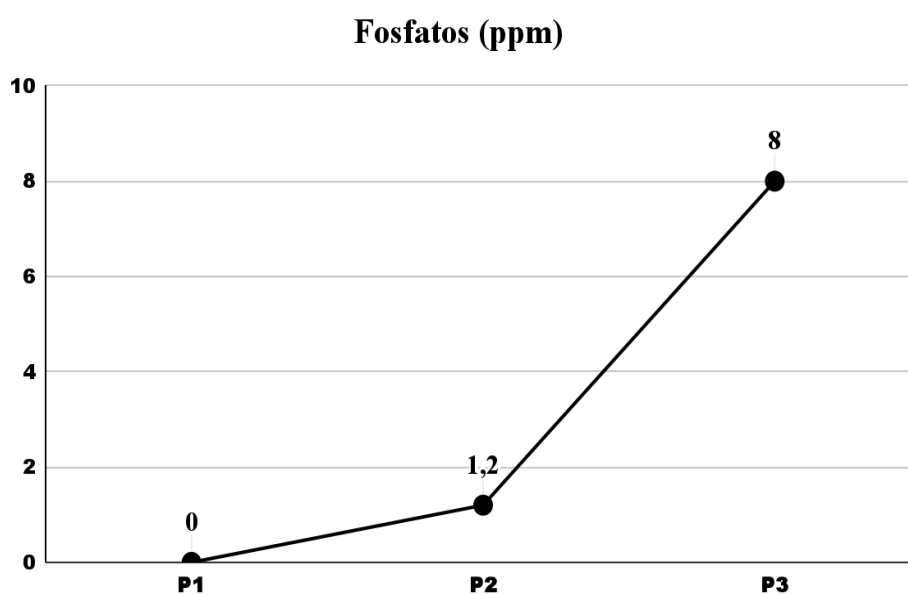


Fuente de elaboración propia, basada en datos del Laboratorio Ing. Nicolás Echevarría e Hijos (2024a, 2024b, 2024c)).

Tendencia y comparación:

- De P1 a P2: Como se aprecia en la Figura G, la DBO_5 pasó de 1,2 a 2,2 ppm, lo que representó un incremento de 1,0 ppm.
- De P2 a P3: Se incrementó de 2,2 a 3 ppm, un aumento de 0,8 ppm.
- De P1 a P3: El cambio de 1,2 a 3 ppm representa un alza de 1,8 ppm, equivalente a un incremento del 150% respecto a P1.

Figura H. *Concentración de Fosfatos en puntos de muestreo.*



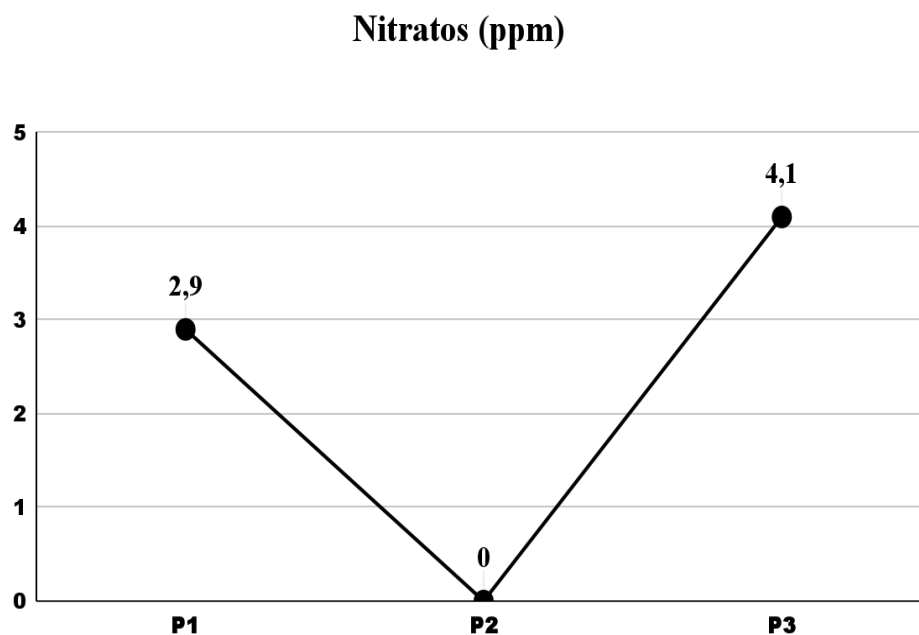
Fuente de elaboración propia, basada en datos del Laboratorio Ing. Nicolás Echevarría e Hijos (2024a, 2024b, 2024c)).

Tendencia y comparación:

- De P1 a P2: Como se muestra en la Figura H, los fosfatos se incrementaron de 0,0 a 1,2 ppm.
- De P2 a P3: Aumentó de 1,2 a 8,0 ppm, con un alza de 6,8 ppm.

- De P1 a P3: De P1 (aguas arriba) a P3 (zona urbana), la concentración de fosfatos creció de 0,0 a 8,0 ppm, lo que representó un incremento absoluto de 8,0 ppm, destacando un aumento significativo en la zona urbana.

Figura I. *Concentración de Nitratos en Puntos de Muestreo.*

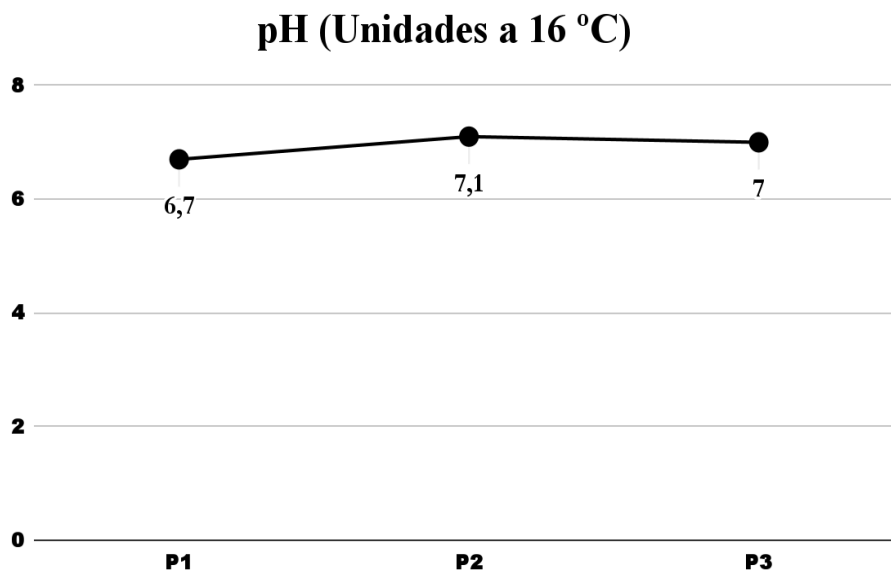


Fuente de elaboración propia, basada en datos del Laboratorio Ing. Nicolás Echevarría e Hijos (2024a, 2024b, 2024c)).

Tendencia y comparación:

- De P1 a P2: Como se observa en la Figura I, los nitratos pasan de 2,9 a 0,0 ppm, una disminución de 2,9 ppm. Este resultado invita a realizar un estudio más profundo para este parámetro en este punto de muestreo.
- De P2 a P3: Se evidenció un incremento de 0,0 a 4,1 ppm.
- De P1 a P3: El cambio de 2,9 a 4,1 ppm representó un incremento neto del 41% (1,2 ppm).

Figura J. *Valores de Unidades de pH a 16°C en Puntos de Muestreo.*

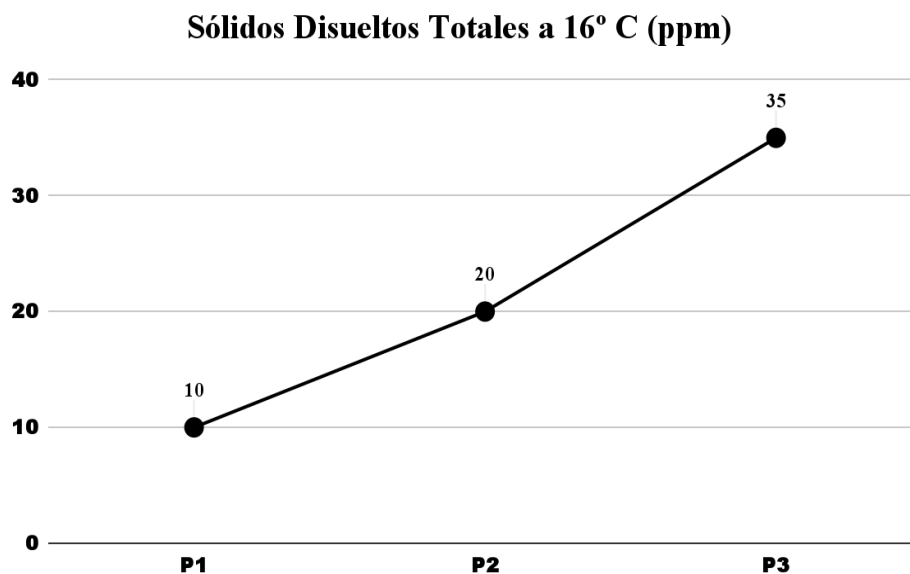


Fuente de elaboración propia, basada en datos del Laboratorio Ing. Nicolás Echevarría e Hijos (2024a, 2024b, 2024c)).

Tendencia y comparación:

- De P1 a P2: Como se representa en la Figura J, el pH pasó de 6,7 a 7,1, un aumento de 0,4 unidades.
- De P2 a P3: Disminuyó de 7,1 a 7,0; una reducción de 0,1 unidades.
- De P1 a P3: El cambio de 6,7 a 7,0 reflejó un aumento neto de 0,3 unidades, equivalente a un 4,5% de incremento. Esto indica una variación mínima dentro del rango normal de pH (6,5-8,5).

Figura K. *Concentración de Sólidos Disueltos Totales a 16°C en Puntos de Muestreo.*

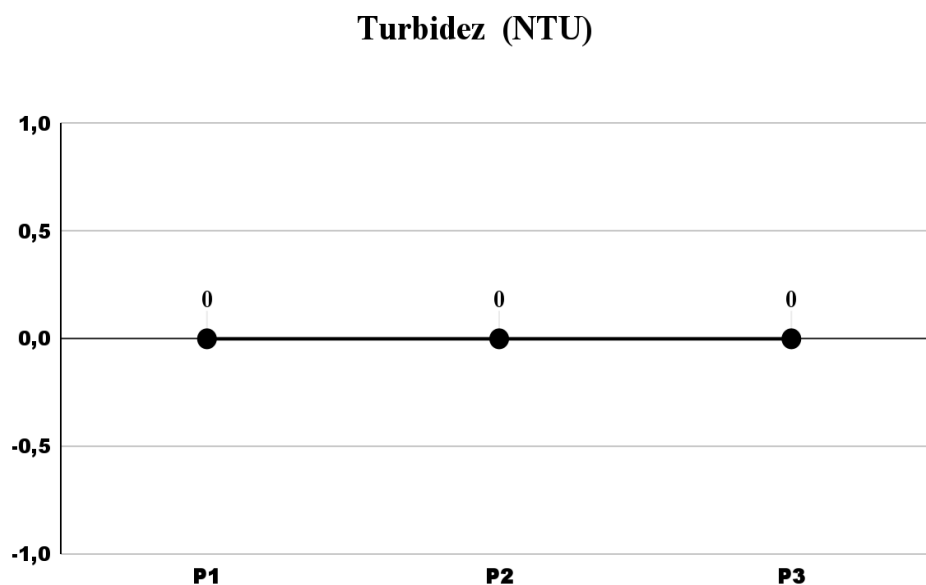


Fuente de elaboración propia, basada en datos del Laboratorio Ing. Nicolás Echevarría e Hijos (2024a, 2024b, 2024c)).

Tendencia y comparación:

- De P1 a P2: Como se visualiza en la Figura K, los SDT se incrementaron de 10,0 ppm a 20,0 ppm.
- De P2 a P3: Aumentaron de 20,0 ppm a 35,0 ppm, un incremento de 15,0 ppm.
- De P1 a P3: Los SDT mostraron un incremento total de 25,0 ppm, equivalente a un aumento del 250% respecto a P1.

Figura L. *Turbidez en Puntos de Muestreo.*



Fuente de elaboración propia (Sigimbosco, 2025), basada en datos del Laboratorio Ing. Nicolás Echevarría e Hijos (2024a, 2024b, 2024c).

Tendencia y comparación:

- De P1 a P3: Como se observa en la Figura L, la turbidez permaneció en 0 NTU, sin variación.

Procedimiento para la Obtención del Índice de Calidad del Agua (ICA):

- Obtención del Peso Relativo (w_i) de Cada Parámetro:

Los cálculos matemáticos empleados se encuentran presentes en Apéndices. En la Tabla 4 se detallan los resultados:

Tabla 4. *Peso Relativo (w_i) de Cada Parámetro.*

Parámetro	w_i
Coliformes Fecales	0.206
DBO ₅	0.137
Fosfatos	0.137
Nitratos	0.137
pH	0.164
Sólidos Disueltos Totales (SDT)	0.110
Turbidez	0.110

Fuente de elaboración propia.

- Normalización de los Datos:

Para llevar a cabo la normalización de los datos, se utilizaron los gráficos de calidad del NSF-WQI, los cuales asignan un valor de 0 a 100 según el valor del parámetro. Los gráficos empleados para normalizar los datos (Sub_i) están presentes en la sección de Anexos y la metodología utilizada se encuentra en la sección de Apéndices. En la Tabla 5 se detallan los resultados obtenidos a partir de su aplicación:

Tabla 5. Datos normalizados para calcular el ICA de Brown en cada punto de muestreo.

	Punto de Muestreo 1		Punto de Muestreo 2		Punto de Muestreo 3	
	Dato	(Sub _i)	Dato	(Sub _i)	Dato	(Sub _i)
Coliformes Fecales (NMP/100 mL)	4	82,0	9	73,2	93	55,5
DBO₅ (ppm)	1,2	87,9	2,2	79,5	3	72,6
Fosfatos (ppm)	0,0	100,0	1,2	38,8	8,0	5,5
Nitratos (ppm)	2,90	85,8	0,0	100,0	4,1	79,9
pH (U)	6,7	79,2	7,1	91,0	7,0	90,0
Turbidez (NTU)	0,0	100,0	0,0	100,0	0,0	100,0
SDT (ppm)	10	80,6	20	82,2	35	84,6

Fuente de elaboración propia, basada en datos proporcionados por el Laboratorio Ing. Nicolás Echevarría e Hijos (2024a, 2024b, 2024c)).

- Cálculo del Índice de Calidad del Agua:

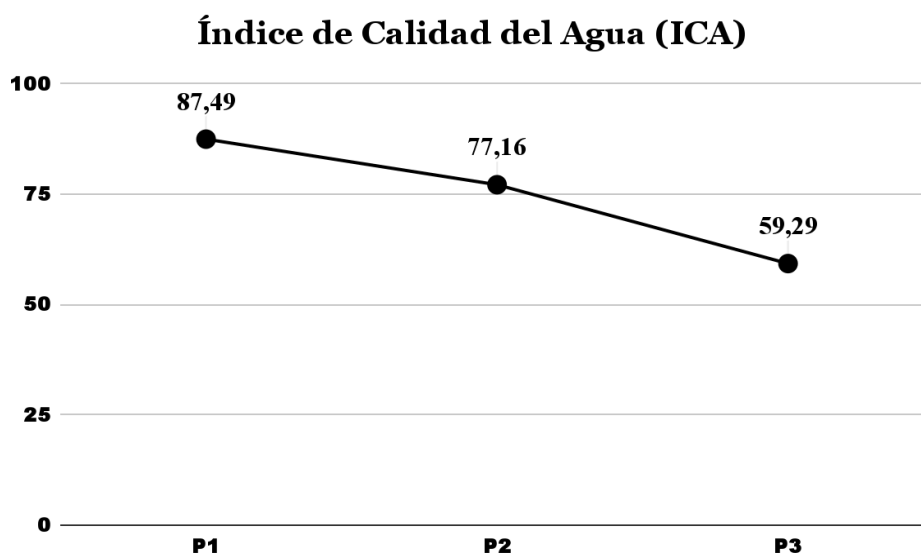
Tabla 6. Datos utilizados para calcular el ICA de Brown en cada punto de muestreo.

	$P1$ $(Sub_i)^{w_i}$	$P2$ $(Sub_i)^{w_i}$	$P3$ $(Sub_i)^{w_i}$
Coliformes Fecales (NMP/100mL)	2,48	2,42	2,54
DBO ₅ (ppm)	1,85	1,82	1,80
Fosfatos (ppm)	1,88	1,65	1,26
Nitratos (ppm)	1,84	1,88	1,82
pH (Unidades)	2,05	2,10	2,09
Turbidez (NTU)	1,66	1,66	1,66
SDT (ppm)	1,62	1,62	1,63
Resultados ICA	87,49	77,16	59,29

Fuente de elaboración propia, basada en datos proporcionados por el Laboratorio Ing. Nicolás Echevarría e Hijos (2024a, 2024b, 2024c)).

Utilizando la Tabla 6, se calculó el ICA para cada punto de muestreo, utilizando la fórmula previamente indicada. Este cálculo implicó el factor multiplicativo de los siete términos $(Sub_i)^{w_i}$, donde cada término es correspondiente a un parámetro obtenido en un punto de muestreo específico.

Figura M. *Índice de Calidad del Agua en Puntos de Muestreo.*



Fuente de elaboración propia, basada en datos del Laboratorio Ing. Nicolás Echevarría e Hijos (2024a, 2024b, 2024c)).

Análisis del gráfico y tendencia general:

Cómo se observa en la Figura M, el ICA mostró un descenso progresivo a lo largo del Río Mina Clavero:

- P1 a P2: De 87,49 a 77,16. Se observó una disminución de 10 puntos.
- P2 a P3: De 77,16 a 59,29. Se registró una caída más pronunciada, equivalente a 17 puntos.
- P1 a P3: Se evidenció una reducción total de 28 puntos, equivalente a un 32,4%.

Análisis Detallado de los Resultados de Laboratorio por Parámetro

1. Coliformes Fecales (NMP/100 mL)

Tal como se define en la página 18 del marco teórico y se ilustra en la Figura F, se procedió con el siguiente análisis:

- P1 (4 NMP/100 mL): En la Cascada Pie Grande, el valor de 4 NMP/100 mL indica mínima contaminación fecal, aunque no nula. Esto se atribuye a excrementos de animales de pastoreo, los cuales podrían haber llegado al río por contacto directo (contaminación puntual) o escorrentía (contaminación difusa). Este resultado indicó un bajo impacto, atribuido a un efecto antropogénico indirecto.
- P2 (9 NMP/100 mL): En la Toma de agua, la concentración de coliformes fecales se incrementó en un 125% respecto a P1, sugiriendo una mayor contaminación fecal. Este aumento podría atribuirse a descargas de aguas residuales de viviendas ubicadas aguas arriba y a una mayor acumulación de estiércol de animales de pastoreo. Si bien el valor aún se considera bajo, este incremento señaló un deterioro inicial de la calidad del agua por influencia antropogénica.
- P3 (93 NMP/100 mL): En el tramo final, los coliformes fecales alcanzaron 93 NMP/100 mL, un aumento del 2225% respecto a P1. Este valor, ligado al impacto urbano, refleja una alta contaminación. Este dato supera los límites para aguas

recreativas en algunos estándares (50 NMP/100 mL). Tal como se detalló en el marco teórico, este patrón refleja un riesgo sanitario y un marcado deterioro tras la zona urbana.

2. Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅, ppm)

En base a la definición de este parámetro en la página 18 del marco teórico y su ilustración en la Figura G, se procedió con el siguiente análisis:

- P1 (1,2 ppm): En la Cascada Pie Grande, la DBO₅ de 1,2 ppm indica aguas limpias con mínima contaminación orgánica, típica de zonas montañosas. La presencia de este valor podría deberse al aporte de materia orgánica biodegradable proveniente de excrementos animales. Esto reflejó un impacto antropogénico indirecto mínimo, posicionando a P1 como referencia de alta calidad antes de la zona urbana.
- P2 (2,2 ppm): En la Toma de agua, la DBO₅ aumentó a 2,2 ppm (83% más que P1), sugiriendo mayor carga orgánica. Esto puede atribuirse a contaminación puntual, debido al vertido de aguas grises o negras desde dos casas río arriba, además de un aporte de contaminación (puntual o difusa) de estiércol de animales. Aunque el valor sigue siendo bajo y no indica contaminación severa, marca un deterioro inicial por influencia humana.
- P3 (3 ppm): En el tramo final, la DBO₅ alcanzó 3 ppm, lo que representa un aumento del 150% respecto a P1. Esto indicó un incremento de carga orgánica, probablemente asociada a la influencia urbana acumulada. Si bien estos valores aún se encuentran dentro de los rangos aceptables para ríos poco contaminados, la tendencia ascendente evidenció un deterioro claro tras la zona urbana.

3. Fosfatos (ppm)

El análisis subsiguiente se basó en la Figura H y su definición, detallada en la página 19 del marco teórico:

- P1 (0,0 ppm): En la Cascada Pie Grande, los fosfatos fueron detectables, lo que reflejó un ambiente prístino y posicionando a P1 como referencia de alta pureza para este parámetro, antes de la zona urbana.
- P2 (1,2 ppm): En la Toma de agua, los fosfatos aumentaron a 1,2 ppm. Este incremento, puede ser atribuido a la presencia de aguas grises provenientes de dos casas río arriba y, en menor medida, a estiércol de animales. Aunque el impacto es leve, este valor indicó un deterioro incipiente de la calidad del agua, aunque sin contaminación severa.
- P3 (8,0 ppm): En el tramo final, los fosfatos llegan a 8,0 ppm (566,7% más que P2), lo que reflejó un impacto antropogénico significativo, el cual puede ser atribuido a aguas residuales. Este nivel, muy por encima del umbral de 0,1-0,2 ppm, favorece la eutrofización. Como se detalló en la página 15 del marco teórico, la eutrofización puede generar riesgos para la salud humana al favorecer la proliferación de toxinas producidas por ciertas algas (como cianobacterias), que pueden contaminar el agua potable y causar enfermedades gastrointestinales o hepáticas. Además indica un riesgo ambiental aguas abajo ya que este fenómeno provoca un crecimiento excesivo de algas y plantas acuáticas, lo que puede reducir los niveles de oxígeno al descomponerse, afectando negativamente a los ecosistemas al provocar la muerte de peces y otros organismos.

4. Nitratos (ppm)

Para el análisis que se presenta a continuación, nos remitimos a la Figura I y a la definición que la acompaña en la página 19 del marco teórico:

- P1 (2,9 ppm): En la Cascada Pie Grande, el valor de 2,9 ppm fue moderado, sugiriendo un aporte detectable de nitratos antes de la zona urbana. El aumento de nitratos puede ser atribuido a los animales de pastoreo, cuyos excrementos contienen amonio que se oxida a nitratos en el suelo bajo condiciones aeróbicas, pudiendo llegar al río a través de escorrentía. Aunque P1 está diseñado como “Punto de referencia sin impacto urbano directo”, la presencia de estos animales introduce un efecto antropogénico indirecto. Un nivel de 2,9 ppm indica buena calidad en este parámetro, aunque no prístina.
- P2 (0,0 ppm): En la Toma de agua, los nitratos disminuyeron a 0,0 ppm, un descenso sorprendente pese a la presencia de casas y animales río arriba. Esto podría deberse a la absorción por plantas o procesos microbianos que transforman los nitratos provenientes de P1 antes de este punto.
- P3 (4,1 ppm): En el tramo final, los nitratos alcanzaron 4,1 ppm (41% más que P1), lo que reflejó un impacto urbano de casas, hoteles y restaurantes. La presencia de aguas residuales y escorrentía de fertilizantes de pequeños jardines podrían contribuir a esta acumulación, superando los valores de P1, aumentando el riesgo de eutrofización junto con los fosfatos.

5. pH

Tomando como referencia la Figura J y su definición asociada en la página 19 del marco teórico, se llevó a cabo el siguiente análisis:

- P1 (6,7): En la Cascada Pie Grande, el pH de 6,7, ligeramente ácido, es típico de ríos de montaña con bajo contenido mineral, influido por materia orgánica natural (como por ejemplo la descomposición de hojas) o dióxido de carbono disuelto.
- P2 (7,1): En la Toma de agua, el pH aumentó a 7,1 (0,4 unidades más que P1), volviéndose ligeramente alcalino. Esto podría deberse a aguas grises (las cuales pueden contener detergentes) de dos casas río arriba y estiércol de animales, sugiriendo una leve alteración antropogénica, aunque dentro de rangos normales.
- P3 (7,0): En el tramo final, el pH se estabilizó en 7,0 (siendo neutro), disminuyendo ligeramente 0,1 unidades respecto a P2, pero aumentando 0,3 unidades respecto a P1. El impacto urbano significativo en P3 podría introducir una mezcla de contaminantes: detergentes (alcalinos) y residuos orgánicos (potencialmente ácidos al descomponerse). Sin embargo, el equilibrio en 7 sugiere que estos aportes se neutralizan entre sí o con el buffering natural del río (ejemplo: carbonatos del suelo). Un pH de 7,0 es óptimo para la mayoría de los ecosistemas acuáticos y no señala deterioro, a pesar del fuerte impacto antropogénico en este punto.

6. Sólidos disueltos totales (SDT, ppm)

El análisis que se presenta a continuación se fundamenta en la Figura K y en la definición proporcionada en la página 20 del marco teórico:

- P1 (10 ppm): En la Cascada Pie Grande, los SDT de 10 ppm, extremadamente bajos, reflejaron aguas puras de montaña con mínima presencia de minerales o contaminantes. Muy por debajo del umbral de 50 ppm, posiciona a P1 como referencia de alta calidad antes de la zona urbana.

- P2 (20 ppm): En la Toma de agua, los SDT aumentaron a 20 ppm (100% más que P1), sugiriendo un aporte de sólidos disueltos. Aunque sigue siendo bajo, indica un deterioro inicial por influencia antropogénica.
- P3 (35 ppm): En el tramo final, los SDT alcanzaron 35 ppm (250% más que P1), reflejando una acumulación de sólidos disueltos. Aunque aceptable, esta tendencia ascendente evidencia un claro deterioro tras la zona urbana.

7. Turbidez (NTU)

De acuerdo con la Figura M y la definición de este parámetro, expresada en la página 20 del marco teórico, se procedió con el siguiente análisis:

- P1 (0 NTU): En la Cascada Pie Grande, la turbidez de 0 NTU refleja agua cristalina, típica de ríos de montaña con cauce rocoso y mínima erosión.
- P2 (0 NTU): En la Toma de agua, la turbidez permaneció en 0 NTU, indicando que vertidos de casas río arriba o animales no generan partículas. La claridad se mantuvo por el cauce rocoso y el flujo, preservando alta calidad.
- P3 (0 NTU): En el tramo final, la turbidez permaneció en 0 NTU, pese al impacto urbano. La ausencia de partículas podría atribuirse al cauce rocoso que minimiza erosión y posibles contaminantes, los cuales se disuelven sin formar sólidos en suspensión, manteniendo claridad.

Análisis de la influencia por parámetro en el ICA

Relación de los Coliformes Fecales con el ICA:

El ICA disminuyó en paralelo con el aumento de los coliformes fecales. En el índice de calidad del agua utilizado, los coliformes tienen un peso importante debido a su relación con la salubridad. El salto de 4 NMP/100 mL en P1 a 93 NMP/100 mL en P3 contribuyó significativamente a la caída del ICA de "Buena" (87,49) a "Media" (59,29), reforzando la idea de que la contaminación fecal crece tras la zona urbana, afectando la calidad general del agua y la salud pública.

Relación de la DBO₅ con el ICA:

El ICA decreció en simultáneo con el aumento de este parámetro. En este índice de calidad del agua, la DBO₅ tiene un peso significativo, ya que refleja la carga orgánica que afecta la disponibilidad de oxígeno. El incremento de 1,2 ppm en P1 a 3 ppm en P3 contribuyó a la caída del ICA, evidenciando que la contaminación orgánica crece tras la zona urbana, afectando la calidad general del agua.

Relación de los Fosfatos con el ICA:

El ICA se redujo en paralelo con el aumento de fosfatos. Aunque el ICA integra múltiples parámetros, los fosfatos tienen un peso importante en este índice de calidad, ya que su incremento señaló contaminación antropogénica. El salto de 0,0 ppm en P1 a 8,0 ppm en P3 contribuyó significativamente a la caída del ICA de "Buena" a "Media", colaborando con el deterioro de la calidad del agua.

Relación de los Nitratos con el ICA:

Aunque el ICA disminuyó de P1 a P3, los nitratos no siguieron una tendencia lineal. La caída de P1 a P2 podría mitigar el impacto de este parámetro en el ICA en ese tramo. En el índice utilizado, los nitratos afectan la calidad por su relación con la salud y el equilibrio ecológico; por tal motivo, el incremento en P3 reforzó el deterioro tras la zona urbana.

Relación del pH con el ICA:

A pesar de que el ICA mostró una reducción desde P1 a P3, el pH no fue un factor determinante en esta caída. En este índice, el pH afecta la puntuación sólo si se desvía significativamente del rango óptimo (6,5-8,5). En este caso, todos los valores estuvieron dentro de este rango, por lo que el pH no contribuyó directamente al deterioro reflejado en el ICA.

Relación de los Sólidos Disueltos Totales con el ICA:

El ICA disminuyó simultáneamente con el aumento de este parámetro. En este índice, los SDT afectan la calidad porque niveles elevados pueden alterar el equilibrio químico. El incremento de 10 ppm en P1 a 35 ppm en P3 contribuyó a la caída del ICA.

Relación de la Turbidez con el ICA:

Aunque el ICA se redujo desde el punto de muestreo 1 al punto de muestreo 3, la turbidez no contribuyó a esta caída. En este índice, la turbidez afecta la calidad sólo si aumenta significativamente (>5 NTU).

Discusión

Los resultados obtenidos en el Río Mina Clavero evidencian un deterioro progresivo de la calidad del agua a lo largo de su curso, con una transición de la categoría ICA-NSF "Buena" en el punto de muestreo P1 (87,49) a "Media" en P3 (59,29), reflejando una reducción neta del 32,4%. El descenso más pronunciado ocurre entre P2 y P3, coincidiendo con el impacto acumulado de la zona urbana de Mina Clavero, lo que sugiere una intensificación de las presiones antropogénicas aguas abajo.

La comparación con el estudio del Río Jubones, Ecuador (Espinoza Jervez et al., 2023, citado en la página 24 del marco teórico), revela patrones de deterioro similares. En el Río Jubones, la calidad del agua se clasificó como "Media" en los cuatro puntos de muestreo, con valores del ICA-NSF entre 51 y 70. En ambos ríos, la disminución de la calidad del agua está significativamente influenciada por actividades antropogénicas, como descargas de aguas residuales domésticas y agrícolas, lo que subraya la vulnerabilidad de los ecosistemas fluviales en entornos urbanos y agropecuarios.

Análisis de los Parámetros Críticos en el Deterioro del ICA-NSF

Coliformes Fecales:

En el río Mina Clavero, los coliformes fecales experimentaron un aumento del 2225%, de 4 NMP/100 mL en P1 a 93 NMP/100 mL en P3, superando en este último punto los límites para aguas recreativas según algunos estándares internacionales. Este incremento reflejó una contaminación fecal significativa, asociada a descargas de aguas residuales no tratadas y escorrentía ganadera.

De manera similar, en el Río Jubones, los coliformes fecales fueron un parámetro clave en la disminución del ICA-NSF, particularmente en zonas pobladas como La Iberia. La coincidencia del incremento progresivo y pronunciado de coliformes fecales a medida que el río se aproxima a zonas urbanas, evidencia una reducción en la calidad del agua. Esto resaltó la relevancia de este parámetro en ambos sistemas ya que indica el impacto de actividades humanas y riesgos sanitarios en el agua de ambos ríos.

Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅):

En el río Mina Clavero, la DBO₅ aumentó de 1,2 mg/L en P1 a 3,0 mg/L en P3, reflejando un incremento en la carga de materia orgánica, probablemente derivada de aguas residuales domésticas y estiércol de ganado. Como se describe en el marco teórico, este proceso consume oxígeno disuelto, afectando la vida acuática. En el río Jubones, la DBO₅ también fue un factor crítico en la reducción del ICA-NSF, con valores de hasta 32 mg/L, lo que indicó una mayor carga orgánica en comparación con el río Mina Clavero. La similitud en la influencia de la DBO₅ en ambos ríos destacó su sensibilidad como indicador de contaminación orgánica urbana y agrícola.

Fosfatos y Nitratos:

Los fosfatos en el río Mina Clavero aumentaron de 0,0 mg/L en P1 a 8,0 mg/L en P3, un nivel preocupante que excede los umbrales recomendados y favorece la eutrofización, con riesgos para la salud humana y la vida acuática debido a la proliferación de algas tóxicas y la reducción de oxígeno disuelto.

En el río Jubones, los valores de fosfatos (hasta 0,97 mg/L en P4) se mantuvieron dentro de los límites permisibles de la normativa ecuatoriana, pero igualmente reflejaron aportes antropogénicos. La mayor concentración de fosfatos en el río Mina Clavero respecto al Jubones indicó una influencia más intensa de efluentes urbanos (detergentes, aguas residuales) en el tramo final.

Por otro lado, los niveles de nitratos en el Río Mina Clavero mostraron un aumento desde 2,9 mg/L en P1 hasta 4,1 mg/L en el punto P3, reflejando una mayor influencia de actividades urbanas en el tramo final, lo que contribuye al riesgo de eutrofización junto con altos niveles de fosfatos (8,0 mg/L). En contraste, el río Jubones mantiene valores estables y bajos de nitratos (0,50-0,53 mg/L) en todos sus puntos de muestreo, dentro de los límites permisibles de la normativa ecuatoriana, indicando un impacto antropogénico menos severo en este parámetro

Otros Parámetros:

El pH en el río Mina Clavero se mantuvo dentro del rango óptimo, sin contribuir significativamente al deterioro del ICA-NSF, al igual que en el río Jubones, donde los valores fueron cercanos a la neutralidad. La turbidez también permaneció estable (<5 NTU) en el río Mina Clavero, sin impactar el ICA-NSF, a diferencia del río Jubones, donde valores de 31,07 - 36,33 NTU indicaron una mayor influencia de sedimentos.

Los sólidos disueltos totales (SDT) en el río Mina Clavero aumentaron de 10 mg/L en P1 a 35 mg/L en P3, contribuyendo al deterioro del ICA-NSF, un patrón similar al observado en el río Jubones, donde los STD alcanzaron 150,33 mg/L en P2.

Factores que Explican el Deterioro del ICA-NSF

En el río Mina Clavero, la disminución del ICA-NSF refleja la acumulación progresiva de contaminantes a lo largo del curso del río. En P1, cercano al nacimiento, la calidad "Buena" se ve ligeramente afectada por el pastoreo, que posiblemente introdujo materia orgánica de forma indirecta. En P2, la proximidad de construcciones residenciales marca un deterioro inicial, mientras que en P3, la presencia de casas, hoteles y restaurantes en el centro urbano de Mina Clavero amplifica significativamente la contaminación, resultando en una calidad "Media". La falta de infraestructura adecuada para el tratamiento de aguas residuales en P3 exacerba el impacto de los coliformes fecales, DBO₅, fosfatos y nitratos.

En comparación, el Río Jubones mostró una calidad "Media" en todos los puntos, con un deterioro más pronunciado en áreas pobladas (P4: La Iberia), atribuido principalmente a coliformes fecales y DBO₅. La mayor intensidad de contaminación en el Río Mina Clavero en términos de fosfatos sugiere una presión antropogénica más severa en el tramo urbano, posiblemente debido a una mayor densidad de actividades humanas en comparación con el cantón El Guabo.

Implicaciones y Comparaciones

El deterioro progresivo de la calidad del agua observado en el Río Mina Clavero y el Río Jubones (Espinoza Jervez et al., 2023, citado en la página 24 del marco teórico) subraya la vulnerabilidad de los ecosistemas fluviales a las presiones antropogénicas, particularmente por el incremento de coliformes fecales, DBO₅, fosfatos y nitratos. La coincidencia en estos parámetros críticos entre ambos ríos refuerza la utilidad del ICA-NSF como una herramienta

estandarizada y de aplicación global para evaluar la calidad del agua, permitiendo comparaciones robustas entre contextos geográficos distintos.

Sin embargo, como se destaca en el marco teórico, la gestión efectiva de estos impactos ambientales requiere estrategias adaptadas a las características específicas de cada cuenca, considerando factores como la densidad urbana, las prácticas agropecuarias y la infraestructura de tratamiento disponible (Di Pietro & Vaggione, 2003). Aunque los parámetros críticos son similares, las soluciones deben adaptarse a las condiciones locales.

Estas iniciativas, respaldadas por la Ley Provincial de Agua y Saneamiento N° 9.045 (1999), destacan la importancia de comités locales que integren a la comunidad, autoridades y sectores productivos para abordar problemas como la eutrofización y la contaminación fecal, observadas tanto en el Río Mina Clavero como en el Río Jubones (Pesce & Wunderlin, 2000).

Reforzando lo expuesto en la sección de Gestión de Cuencas Hidrográficas y Saneamiento en Argentina ubicada en el marco teórico, en el caso del Río Mina Clavero, la alta concentración de fosfatos y coliformes fecales en el agua, sugieren la necesidad de implementar estrategias similares a las aplicadas en el río Suquía, como la ampliación de redes cloacales y programas de educación ambiental para reducir la carga orgánica y de nutrientes (Pesce & Wunderlin, 2000).

Por lo tanto, para el Río Mina Clavero, la creación de un comité de cuenca, inspirado en modelos como el del Río Suquía, podría coordinar acciones de monitoreo continuo, saneamiento y participación comunitaria, alineándose con los principios de gestión integrada de cuencas (Di Pietro & Vaggione, 2003).

En el caso del Río Jubones, la implementación de planes de tratamiento de efluentes, similares a los aplicados en la Cuenca Matanza-Riachuelo (Autoridad de Cuenca Matanza Riachuelo, 2010), podría mitigar la contaminación fecal y orgánica. Estas estrategias, adaptadas a las particularidades de cada cuenca, son esenciales para garantizar la sostenibilidad de ambos ecosistemas fluviales.

Fortalezas y Limitaciones de este Trabajo:

Este estudio se distingue por una fortaleza sobresaliente: su carácter pionero, que lo posiciona como un aporte fundamental al conocimiento científico sobre la calidad del agua del Río Mina Clavero. Durante la exhaustiva búsqueda bibliográfica realizada, no se identificaron estudios académicos previos que analicen de manera específica el impacto de la sociedad local en este ecosistema fluvial, lo que convierte a este trabajo en una contribución significativa, innovadora y sin precedentes. Este carácter pionero no solo llena un vacío crítico en la literatura científica, sino que también establece un punto de referencia esencial para futuras investigaciones en la región.

La relevancia de este aporte es aún mayor considerando la importancia ecológica, cultural y turística del Río Mina Clavero, un recurso clave para la región de Traslasierra. Los hallazgos de este trabajo proporcionan una línea base sólida que no solo enriquece el entendimiento científico del ecosistema fluvial, sino que también tiene un impacto directo en la formulación de políticas públicas, la planificación urbana sostenible y el desarrollo de estrategias de conservación a largo plazo, consolidando su valor práctico y su contribución al bienestar de la comunidad local.

Otra fortaleza destacada radica en el rigor metodológico empleado en el análisis de los parámetros seleccionados, el uso del Índice de Calidad del Agua (ICA-NSF) y la comparación con la normativa ambiental vigente. La aplicación del ICA-NSF, un estándar internacionalmente reconocido, garantiza que los resultados sean comparables con estudios similares a nivel global, otorgando al trabajo una robustez científica excepcional. El análisis detallado de cada parámetro, basado en mediciones precisas y procedimientos estandarizados, asegura la fiabilidad de los datos obtenidos, lo que refuerza la credibilidad de las conclusiones.

Es importante destacar que, la comparación de los resultados con la normativa vigente no sólo contextualiza los hallazgos dentro de un marco legal aplicable, sino que también resalta su relevancia para la gestión ambiental en Argentina, proporcionando una herramienta concreta para evaluar el cumplimiento de estándares de calidad del agua. Estas fortalezas implícitas, combinadas con el enfoque sistemático del estudio, consolidan su utilidad tanto para la comunidad científica como para los actores responsables de la toma de decisiones en la región, posicionando este trabajo como un modelo de investigación aplicada con impacto tangible.

A pesar de estos aportes, el estudio enfrentó ciertas limitaciones. Las restricciones presupuestarias limitaron el muestreo a solo tres puntos a lo largo del río, lo que redujo la representatividad espacial de los datos. Asimismo, se presentaron desafíos para obtener mediciones de temperatura precisas y consistentes entre los puntos de muestreo debido a la considerable distancia entre P1, P2 y P3, lo que generó variaciones de temperatura diurnas significativas. Este factor llevó a la exclusión del parámetro “temperatura” de los nueve parámetros originales del ICA-NSF.

La falta de precisión en las mediciones de temperatura también afectó la inclusión del parámetro “oxígeno disuelto” (OD), ya que la temperatura es crucial para determinar la solubilidad del oxígeno en el agua. Para el cálculo del ICA, se requiere el porcentaje de saturación de OD, que depende de la normalización de los datos mediante gráficos y tablas de la NSF, los cuales ajustan el oxígeno disuelto en función de la temperatura y la altitud.

Sin mediciones de temperatura fiables y comparables, no fue posible realizar esta normalización adecuadamente, lo que resultó en la exclusión del parámetro “Oxígeno disuelto”. Por estas razones, se utilizaron siete de los nueve parámetros originales del ICA. A pesar de estas limitaciones, los siete parámetros incluidos en este manuscrito científico permitieron realizar un análisis objetivo y obtener conclusiones válidas sobre la calidad del agua del Río Mina Clavero.

Acciones a Realizar con los Resultados del ICA

Los resultados del ICA deben utilizarse para informar, gestionar y mitigar la contaminación del Río Mina Clavero. Es crucial divulgar los datos para concienciar a la comunidad y autoridades sobre el deterioro de la calidad del agua, que pasa de una clasificación "Buena" (ICA 87,49) en P1 a "Media" (ICA 59,29) en P3. Esta disminución, con una reducción total del 32,4%, refleja el impacto negativo de actividades humanas, en el río de esta localidad.

Los datos deben servir para proponer medidas de mitigación, como mejorar el tratamiento de aguas residuales, regular vertidos domésticos y controlar el acceso de animales de pastoreo al río. Además, se recomienda establecer un programa de monitoreo continuo

para evaluar la evolución de los parámetros y la efectividad de las intervenciones. Finalmente, los resultados pueden respaldar políticas públicas locales o provinciales para proteger este recurso hídrico, vital para el turismo y la salud pública en Mina Clavero.

Destinatarios de los Resultados

Los resultados del ICA son relevantes para diversos actores:

- **Autoridades locales y provinciales:** La Municipalidad de Mina Clavero, la Secretaría de Ambiente y Cambio Climático de Córdoba, y la Policía Ambiental pueden usar los datos para diseñar políticas de gestión hídrica y sancionar actividades contaminantes.
- **Comunidad local:** Residentes y asociaciones vecinales pueden exigir mejoras en infraestructura, como plantas de tratamiento, y promover prácticas sostenibles.
- **Sector turístico:** Hoteles, restaurantes y operadores turísticos, que dependen del río para actividades recreativas, pueden adoptar prácticas sostenibles para preservar su calidad.
- **Investigadores y académicos:** Universidades y centros de investigación pueden emplear los datos para estudios comparativos o propuestas de manejo sostenible.
- **Organizaciones ambientales:** las cuales pueden utilizar los resultados para campañas de sensibilización y presión política.

Medidas Recomendadas para Mitigar la Contaminación

En base en los resultados del ICA y los parámetros analizados, se proponen las siguientes medidas:

- Mejorar la infraestructura de tratamiento de aguas residuales: Implementar o actualizar plantas de tratamiento en Mina Clavero para reducir coliformes fecales y fosfatos, que superan los límites de la Resolución CONAMA 357/2005 (Ing. Nicolás Echevarría e Hijos, 2024).
- Regular vertidos: Establecer normativas locales para controlar aguas grises y negras de casas, hoteles y restaurantes, principales fuentes de fosfatos (8,0 ppm) y nitratos (4,1 ppm) en P3.
- Controlar actividades pecuarias: Limitar el acceso de animales de pastoreo al río para minimizar la contaminación fecal y orgánica.
- Promover educación ambiental: Realizar campañas para reducir el uso de detergentes con fosfatos y mejorar la gestión de residuos domésticos.
- Restauración ecológica: Fomentar la reforestación en la subcuenca para reducir la escorrentía de nitratos y estabilizar los suelos.
- Monitoreo continuo: Establecer estaciones de monitoreo en P1, P2 y P3 para evaluar la efectividad de las medidas.
- Creación de un comité de cuenca: Establecer un comité de cuenca para el río Mina Clavero, inspirado en el modelo del río Suquía, que coordine acciones de monitoreo, saneamiento y participación comunitaria, alineándose con los principios de gestión integrada de cuencas hidrográficas (Di Pietro & Vaggione, 2003).

La acción inmediata es esencial para proteger la salud pública y el turismo, un pilar económico de Mina Clavero. La colaboración con autoridades, ONGs y la comunidad garantizará un enfoque integral para mitigar la contaminación antropogénica (Pérez & Chávez Robalino, 2024).

Futuras Líneas de Investigación

Los resultados obtenidos en este estudio establecen una línea base sobre la calidad del agua del Río Mina Clavero mediante el Índice de Calidad del Agua (ICA-NSF). De esta manera, abren diversas oportunidades para futuras investigaciones, que podrían ampliar y profundizar el conocimiento sobre este ecosistema fluvial.

En primer lugar, se recomienda realizar estudios a largo plazo que monitoreen la calidad del agua en los puntos de muestreo seleccionados en este estudio, sumado a puntos adicionales a lo largo del río, para evaluar las variaciones temporales y estacionales de los parámetros analizados. Este enfoque permitirá identificar tendencias en la calidad del agua y determinar si el deterioro observado tras el paso por la zona urbana de Mina Clavero se intensifica con el tiempo.

Otra línea de investigación relevante sería el análisis de contaminantes no incluidos en este estudio, como metales pesados, pesticidas o compuestos orgánicos persistentes. Este tipo de estudios complementaría los hallazgos actuales y proporcionaría una visión más integral de las amenazas al ecosistema del río.

Asimismo, se sugiere evaluar la efectividad de medidas de mitigación, como la implementación de sistemas de tratamiento de aguas residuales, la restauración de riberas o campañas de concientización ambiental dirigidas a la población local y turistas. Estas investigaciones podrían medir el impacto de dichas intervenciones en los valores del ICA-NSF y en la salud general del río.

Por último, sería valioso realizar estudios socioeconómicos que analicen las percepciones y comportamientos de la sociedad local respecto al uso y conservación del Río Mina Clavero, así como los impactos económicos del turismo y las actividades productivas en la calidad del agua. Estos estudios podrían explorar, por ejemplo, el costo-beneficio de prácticas sostenibles para el turismo o la viabilidad de políticas públicas que promuevan la conservación del río. Estas líneas de investigación no sólo fortalecerán el entendimiento científico del ecosistema, sino que también contribuirían a la gestión integrada de los recursos hídricos en la región, apoyando el desarrollo sostenible de Mina Clavero y Traslasierra.

Conclusiones

Este estudio demostró que la actividad antrópica local deteriora significativamente la calidad del agua del Río Mina Clavero, con un impacto progresivo desde su nacimiento hasta la zona urbana, según lo evidenciado por parámetros físicos, químicos y biológicos. Los resultados obtenidos indican que el deterioro de la calidad del agua a lo largo del río se destaca principalmente en sus parámetros químicos y biológicos, con una influencia menor en los aspectos físicos. Esta evaluación integral de los parámetros, junto con la aplicación del ICA NSF-WQI, garantizó el cumplimiento del objetivo general de este estudio.

Con un enfoque riguroso y bien estructurado, se logró cumplir el primer objetivo específico al definir los puntos de muestreo (P1, P2 y P3) mediante la integración de herramientas cartográficas digitales, como Google Maps y Google Earth, y exploraciones de campo. Este proceso permitió seleccionar estratégicamente los sitios a lo largo del Río Mina

Clavero, considerando factores clave como la ubicación geográfica, el uso del suelo y la influencia antrópica, facilitando la evaluación de los efectos de la actividad humana en diferentes tramos del río.

A partir de esta selección, se recolectaron muestras representativas del agua, las cuales fueron analizadas en laboratorio para determinar sus parámetros físicos, químicos y biológicos, cumpliendo el segundo objetivo específico y proporcionando datos fundamentales para evaluar la calidad del agua. Los parámetros analizados fueron ponderados y normalizados según los procedimientos establecidos, permitiendo su integración en el ICA NSF-WQI para evaluar la calidad del agua en cada punto de muestreo, confirmando el cumplimiento del tercer objetivo específico.

Como conclusión final, el ICA disminuyó de 87,49 en P1 a 59,29 en P3 (una reducción total del 32,4%), demostrando que la sociedad local de Mina Clavero tiene un impacto negativo en la calidad del agua del Río Mina Clavero, con un deterioro significativo tras atravesar la zona urbana.

El descenso de P1 a P2 reflejó un impacto moderado, probablemente por vertidos domésticos y actividades pecuarias, mientras que la reducción de P2 a P3 indica un deterioro más pronunciado, atribuido a la intensificación de la urbanización y actividades como el vertido de aguas residuales. Este patrón evidenció una contaminación antropogénica progresiva, en donde el mayor nivel de degradación está ubicado en P3.

Esta situación es particularmente preocupante, dado que el ecosistema de este río, como se detalló en el marco teórico, se distingue por su marcada fragilidad frente a las

alteraciones antropogénicas, debido a la baja resiliencia de sus suelos y la escasez de agua en determinados periodos del año.

Estos hallazgos sugieren que las actividades humanas son la principal causa del deterioro de la calidad del agua del Río Mina Clavero, subrayando la necesidad de implementar medidas de manera inmediata para mitigar la contaminación antropogénica, como el tratamiento de aguas residuales, para proteger la salud pública y la biodiversidad del Río Mina Clavero.

Bibliografía

- Abbasi, S. A., & Abbasi, T. (2012). *Water quality indices*. Elsevier.
- Across South America. (2019). *Siete maravillas naturales de Argentina: Río Mina Clavero*.
- Agencia Córdoba Turismo. (2024). Mina Clavero.
<https://cordobaturismo.gov.ar/localidades/mina-clavero/>
- Argentina. (2002a). Ley 25.675 - Presupuestos mínimos de política ambiental nacional. *Boletín Oficial de la República Argentina*. <https://www.infoleg.gob.ar>
- Argentina. (2002b). Ley 25.688 - Régimen de gestión ambiental de aguas. *Boletín Oficial de la República Argentina*. <https://www.infoleg.gob.ar>
- Autoridad de Cuenca Matanza Riachuelo. (2010). *Plan de saneamiento ambiental de la cuenca Matanza Riachuelo*. <https://www.acumar.gov.ar/plan-de-saneamiento>
- Brown, R. M., McClelland, N. I., Deininger, R. A., & Tozer, R. G. (1970). A water quality index—Do we dare? *Water & Sewage Works*, 117(10), 339–343.
- Brown, S. C., & Norris, R. H. (2005). Assessing the ecological condition of rivers using macroinvertebrates: A comparison of different multimetric indices. *Hydrobiologia*, 551(1), 139–156. <https://doi.org/10.1007/s10750-005-4455-6>
- Butler, R. W. (1999). Sustainable tourism: A state-of-the-art review. *Tourism Geographies*, 1(1), 7–25. <https://doi.org/10.1080/14616689908721291>
- Chapman, D. (1996). *Water quality assessments: A guide to the use of biota, sediments and water in environmental monitoring* (2nd ed.). Chapman & Hall.
- Chapra, S. C., & Canale, R. P. (2015). *Numerical methods for engineers* (7th ed.). McGraw-Hill Education.
- Comité de Cuenca del Río Suquía. (2015). *Plan de acción para la cuenca del Río Suquía*. Gobierno de la Provincia de Córdoba.
<https://ambiente.cordoba.gob.ar/plan-suquia>
- Confederación Argentina de la Mediana Empresa. (2024, February 2). Temporada de verano 2024: Según un relevamiento, hay menos turistas pero gastan más. *Infobae*.
<https://www.infobae.com/economia/2024/02/02/temporada-de-verano-2024-segun-un-relevamiento-hay-menos-turistas-pero-gastan-mas/>
- Di Pietro, G., & Vaggione, S. (2003). Gestión integrada de cuencas hidrográficas en Argentina. *Revista de Estudios Ambientales*, 5(1), 45–62.
<https://doi.org/10.1234/rea.2003.5.1.45>

- Epler Wood, M. (2017). *Sustainable tourism on a finite planet*. Routledge.
- Espinoza Jervez, L., & et al. (2023). Aplicación del índice de calidad del agua (ICA) caso de estudio: Río Jubones, Ecuador. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 7(4), 1264–1273. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v7i4.6953
- Fernández, H. R., & Molineri, C. (2017). *Ecología de ríos de montaña en Argentina*. Editorial Científica Universitaria.
- Fontalvo, J., & Tamaris, D. (2018). Evaluación de la calidad del agua en la parte baja del río Córdoba. *Revista de Ciencias Ambientales*.
- Garnero, G. (2014). La dialéctica sociedad/cuenca hidrográfica en el valle de Traslasierra: Las aguas del río Mina Clavero, Córdoba 1870–1935. *Revista Pilquen*, 17(2).
https://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1851-3123201400020003
- Gobierno de la Nación Argentina. (2002). Ley N° 25.688: Régimen de gestión ambiental de aguas. *Boletín Oficial de la República Argentina*.
<https://www.infoleg.gob.ar/infolegInternet/anexos/75000-79999/77894/norma.htm>
- Gobierno de la Provincia de Córdoba. (1999). Ley Provincial N° 9.045: Régimen de agua y saneamiento. *Boletín Oficial de la Provincia de Córdoba*.
<https://www2.cba.gov.ar/leyes/9045>
- Gobierno de la Provincia de Río Negro. (1996). Decreto N° 1.200/96: Creación de la Autoridad Interjurisdiccional de las Cuencas de los Ríos Limay, Neuquén y Negro (AIC). *Boletín Oficial de la Provincia de Río Negro*.
<https://www.rionegro.gov.ar/decretos/1200-96>
- Gössling, S., Hall, C. M., & Scott, D. (2018). *The Routledge handbook of tourism and sustainability*. Routledge.
- Ing. Nicolás Echevarría e Hijos. (2024a). Informe de análisis de laboratorio de aguas superficiales: Río Mina Clavero [Informe no publicado].
- Ing. Nicolás Echevarría e Hijos. (2024b). Informe N° 436 GS 01CN 020824: Análisis de aguas dulces destinadas a uso recreativo [Informe no publicado].
- Ing. Nicolás Echevarría e Hijos. (2024c). Informe N° 436 GS 02CN 020824: Análisis de aguas del Río Mina Clavero (Punto 2) [Informe no publicado].
- Ing. Nicolás Echevarría e Hijos. (2024d). Informe N° 436 GS 03CN 020824: Análisis de aguas del Río Mina Clavero (Punto 3) [Informe no publicado].

- Instituto Nacional de Estadística y Censos. (2022). *Censo Nacional de Población, Hogares y Viviendas 2022*. <https://www.indec.gob.ar>
- International Organization for Standardization. (2024). *ISO 5667-3: Water quality—Sampling—Part 3: Preservation and handling of water samples*.
- Millennium Ecosystem Assessment. (2005). *Ecosystems and human well-being: Synthesis*. Island Press.
<https://www.millenniumassessment.org/documents/document.356.aspx.pdf>
- Mina Clavero. (2021). *Información turística y económica*. Municipalidad de Mina Clavero.
- Municipalidad de Mina Clavero. (n.d.). Secretaría de Turismo y Cultura.
<https://minaclavero.gov.ar/secretariaculturaturismo.php>
- Naiman, R. J., & Décamps, H. (1997). The ecology of interfaces: Riparian zones. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 28(1), 621–658.
<https://doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.28.1.621>
- Pérez, L., & Chávez Robalino, E. A. (2024). Estudio de la influencia de contaminantes antropogénicos en las características fisicoquímicas y biológicas del agua de riego del Canal Ambato-Huachi-Pelileo. *Revistas UTA*. <https://revistas.uta.edu.ec>
- Quiroz, J., & et al. (2017). Evaluación de la calidad del agua del río Portoviejo mediante el ICA-NSF. *Revista Científica*.
- Tortella, B. D., & Tirado, D. (2011). Hotel water consumption at a seasonal mass tourist destination. *Tourism Management*, 32(3), 593–602.
<https://doi.org/10.1016/j.tourman.2010.05.005>
- United Nations. (2015). *Transforming our world: The 2030 Agenda for Sustainable Development*. <https://www.un.org>
- Universidad Nacional de La Plata & Autoridad de Cuenca Matanza Riachuelo. (2017). *Índices e indicadores de calidad de vida y de agua en la cuenca Matanza Riachuelo: Informe final*. <file:///C:/Users/Gala/Downloads/ICA-sup-Informe-Final.pdf>
- Veloz, A., & Carbonel, D. (2018). Calidad del agua en la microcuenca del río Chibunga. *Revista de Investigación Ambiental*.
- Wetzel, R. G. (2001). *Limnology: Lake and river ecosystems* (3rd ed.). Academic Press.
- World Health Organization. (2022). *Guidelines for drinking-water quality* (4th ed.).

Apéndices

Ponderación de los Parámetros para utilizar en la fórmula del ICA NSF-WQI

1. Revisión de los pesos originales de los 9 parámetros utilizados en el ICA:

Los pesos proporcionados por Brown para los nueve parámetros son:

- Coliformes fecales: 0.15
- pH: 0.12
- DBO₅: 0.10
- Nitratos: 0.10
- Fosfatos: 0.10
- Temperatura: 0.10
- Turbidez: 0.08
- Sólidos disueltos totales (SDT): 0.08
- Oxígeno disuelto: 0.17

Sumatoria total de los pesos:

$$0.15 + 0.12 + 0.10 + 0.10 + 0.10 + 0.10 + 0.08 + 0.08 + 0.17 = 1.00$$

2. Identificación de los pesos de los parámetros que no se consideraron:

En esta versión del ICA, los parámetros que no fueron considerados son los siguientes parámetros:

- Oxígeno disuelto (peso original: 0.17)
- Temperatura (peso original: 0.10)

Suma de los pesos de estos 2 parámetros:

$$0.17 + 0.10 = 0.27$$

Esto significa que el 27% del peso total (0.27 de 1.00) se distribuye entre oxígeno disuelto y temperatura, y el 73% restante ($1.00 - 0.27 = 0.73$) corresponde a los siete parámetros que fueron considerados.

3. Cálculo de la proporción ajustada de los parámetros considerados:

Dado que no se utilizaron los parámetros de oxígeno disuelto y temperatura, los pesos de los siete parámetros restantes deben redistribuirse proporcionalmente para que la sumatoria de los pesos total sea 1. Para hacerlo:

- Se calculó la proporción de cada peso original de los siete parámetros respecto a la suma de los pesos de los siete parámetros utilizados.
- Se dividió cada peso original entre la suma de los pesos de los siete parámetros (sin incluir oxígeno disuelto y temperatura).

Sumatoria de los pesos originales de los 7 parámetros conservados:

$$0.15 \text{ (Coliformes)} + 0.12 \text{ (pH)} + 0.10 \text{ (DBO}_5\text{)} + 0.10 \text{ (Nitratos)} + 0.10 \text{ (Fosfatos)} + \\ 0.08 \text{ (Turbidez)} + 0.08 \text{ (SDT)} = 0.73$$

4. Redistribución proporcional de los pesos:

Para ajustar los pesos de los siete parámetros de modo que sumen 1, se dividió cada peso original por la suma de los pesos de los siete parámetros (0.73):

- Coliformes fecales: $0.15 / 0.73 \approx 0.2055$
- pH: $0.12 / 0.73 \approx 0.1644$
- DBO₅: $0.10 / 0.73 \approx 0.1370$
- Nitratos: $0.10 / 0.73 \approx 0.1370$
- Fosfatos: $0.10 / 0.73 \approx 0.1370$
- Turbidez: $0.08 / 0.73 \approx 0.1096$
- SDT: $0.08 / 0.73 \approx 0.1096$

5. Redondeo y verificación:

Se redondearon los valores para facilitar su uso práctico, asegurándose de que la suma sea lo más cercana posible a 1:

- Coliformes fecales: 0.206
- pH: 0.164
- DBO₅: 0.137
- Nitratos: 0.137
- Fosfatos: 0.137
- Turbidez: 0.110
- SDT: 0.110

Suma de los pesos ajustados:

$$0.206 + 0.164 + 0.137 + 0.137 + 0.137 + 0.110 + 0.110 = 1.001$$

Se utilizaron tres decimales para minimizar errores. El desvío de 0.001 debido al redondeo es aceptable en cálculos prácticos (Chapra & Canale, 2015).

Resultados de los pesos ajustados para cada parámetro:

Coliformes fecales: 0.206

pH: 0.164

DBO₅: 0.137

Nitratos: 0.137

Fosfatos: 0.137

Turbidez: 0.110

Sólidos disueltos totales (SDT): 0.110

Normalización de los datos para ser utilizados en la fórmula de ICA NSF-WQI

	w_i	Punto de muestreo 1			Punto de muestreo 2			Punto de muestreo 3		
		Dato	Sub_i	$(Sub_i)^{w_i}$	Dato	Sub_i	$(Sub_i)^{w_i}$	Dato	Sub_i	$(Sub_i)^{w_i}$
Coliformes Fecales (NMP/100mL)	0.206	4,0	82,0	2,48	9,0	73,2	2,42	93,0	55,5	2,54
DBOs (ppm)	0.137	1,2	87,9	1,85	2,2	79,5	1,82	3,0	72,6	1,80
Fosfatos (ppm)	0.137	0,0	100,0	1,88	1,2	38,8	1,65	8,0	5,5	1,26
Nitratos (ppm)	0.137	2,9	85,8	1,84	0,0	100,0	1,88	4,1	79,9	1,82
pH (Unidades)	0.164	6,7	79,2	2,05	7,1	91,0	2,10	7,0	90,0	2,09
Turbidez (NTU)	0.110	0,0	100,0	1,66	0,0	100,0	1,66	0,0	100,0	1,66
SDT (ppm)	0.110	10,0	80,6	1,62	20,0	82,2	1,62	35	84,6	1,63
ICA		87,49			77,16			59,29		

Datos necesarios utilizados para calcular el ICA NSF-WQI en cada punto de muestreo.

Fuente de elaboración propia, basada en datos proporcionados por el Laboratorio Ing. Nicolás Echevarría e Hijos (2024a, 2024b, 2024c).

Anexos



Ing. Nicolás Echevarría e Hijos
LABORATORIO DE ENSAYOS EN AGUAS
HIGIENE Y SEGURIDAD EN EL TRABAJO

LaboratorioEchevarria
ing.echevarria@yahoo.com
www.laboratorioechevarria.com

Informe técnico N°: 436 GS 01CN 020824	Página: 1 de 2
DATOS SOLICITANTE	
Nombre o Razón social: GALA SIGIMBOSCO - tesis de grado de la Lic. En Gestión Ambiental	
DATOS DE LA MUESTRA	
Ensayo solicitado: PARA AGUAS DULCES DESTINADAS A USO RECREATIVO DE CONTACTO PRIMARIO	
Procedencia de la muestra: RÍO MINA CLAVERO (P1) PUESTO N° 1	
Lugar de toma de muestra: Naciente del río en cascada pie grande -31.708639, -64.890727	
Fecha toma de muestra: 02/08/24 Fecha recepción muestra: 02/08/24 Fecha emisión de informe: 09/08/24	
Tipo de muestra: SIMPLE	

RESULTADOS

ENSAYO MICROBIOLÓGICO

Parámetros microbiológicos	Técnica	Resultado	Límite máximo	Unidades
Bacterias Coliformes Termorresistentes	APHA-9221 C	4	≤ 200	N.M.P./100 ml
Bacterias aerobias mesófilas	APHA - 9215 B	50	NE	U.F.C./ml
Pseudomonas Aeruginosa	APHA - 9213 E	PRESENCIA	NE	P/A en 100 ml

ENSAYO FISICOQUÍMICO

Parámetros fisicoquímicos	Técnicas	Resultados	Límite máximo	Unidades	Error (%)
DBO ₅ (O ₂)	APHA-5210-ROB B	1,2	3	mg/l	±3
Fosforo total (P)	APHA-4500-P C	No se detecta	0,02	mg/l	±4
Nitratos (NO ₃ ⁻)	APHA-4500-NO ₃ E	2,9	10	mg/l	±10
Nitrito (NO ₂ ⁻)	APHA-4500-NO ₂ B	0,01	1,0	mg/l	±4
Nitrógeno Amoniacal (N-NH ₄ ⁺)	APHA-4500-NH ₃ C	0,16	1,00	mg/l	±4
Oxígeno disuelto (O ₂)	APHA-4500-O C	9,2	> 6	mg/l	±3
PH	APHA-4500-H B	6,7 a 16°C	6 a 9	U.	±0,1
Sólidos totales disueltos	APHA-2520 B	10 a 16°C	500	mg/l	±2
Turbiedad	APHA-2130 B	No se detecta	40	U.N.T.	±5
Color	APHA-2120 B	No se detecta	NE	U.(Pt/C0)	±5

OBSERVACIONES:

Técnicas de ensayos: APHA Standard Methods - métodos normalizados para análisis de aguas potables y residuales, Ediciones Díaz de Santos, 1992.

Los límites máximos admisibles, responden a la norma de referencia: Resolución N° 274/2000 y 357/2005 CONAMA.

NE: No especifica en la norma de referencia.

La muestra fue extraída y remitida por: Gala Sigimbosco.

POSA-RE-A2-004 Rev. 05 Fecha: 11/08/2021

Ombú 2180 B° Altos de Villa Cabrera - Córdoba Argentina

Ing. Nicolás Echevarría 351-2333797 - Lic. Matías Echevarría 351-6620905

REGISTRO OFICIAL DE LABORATORIOS AMBIENTALES DE LA PROVINCIA DE CÓRDOBA N°025 (ROLA)

SISTEMA DE GESTIÓN DEL LABORATORIO CERTIFICADO BAJO NORMA ISO 9001 :2015

Informe N° 436 GS 01CN 020824: Análisis de aguas dulces destinadas a uso recreativo de contacto primario [Informe no publicado]. Córdoba, Argentina.



Ing. Nicolás Echevarría e Hijos
 LABORATORIO DE ENSAYOS EN AGUAS
 HIGIENE Y SEGURIDAD EN EL TRABAJO

LaboratorioEchevarria
 ing.echevarria@yahoo.com
 www.laboratorioechevarria.com

Informe técnico N°: 436 GS 02CN 020824	Página: 1 de 2
DATOS SOLICITANTE	
Nombre o Razón social: GALA SIGIMBOSCO - tesis de grado de la Lic. En Gestión Ambiental	
DATOS DE LA MUESTRA	
Ensayo solicitado: PARA AGUAS DULCES DESTINADAS A USO RECREATIVO DE CONTACTO PRIMARIO	
Procedencia de la muestra: RÍO MINA CLAVERO (P2) PUESTO N° 2	
Lugar de toma de muestra: Toma de agua Mina Clavero -31.714758, -64.966888	
Fecha toma de muestra: 01/08/24 Fecha recepción muestra: 02/08/24 Fecha emisión de informe: 09/08/24	
Tipo de muestra: SIMPLE	

RESULTADOS

ENSAYO MICROBIOLÓGICO

Parámetros microbiológicos	Técnica	Resultado	Límite máximo	Unidades
Bacterias Coliformes Termorresistentes	APHA-9221 C	9	≤ 200	N.M.P./100 ml
Bacterias aerobias mesófilas	APHA - 9215 B	62	NE	U.F.C./ml
Pseudomonas Aeruginosa	APHA - 9213 E	PRESENCIA	NE	P/A en 100 ml

ENSAYO FISICOQUÍMICO

Parámetros fisicoquímicos	Técnicas	Resultados	Límite máximo	Unidades	Error (%)
DBO ₅ (O ₂)	APHA-5210-ROB B	2,2	3	mg/l	±3
Fosforo total (P)	APHA-4500-P C	0,4	0,02	mg/l	±4
Nitratos (NO ₃ ⁻)	APHA-4500-NO ₃ E	No se detecta	10	mg/l	±10
Nitrito (NO ₂ ⁻)	APHA-4500-NO ₂ B	0,01	1,0	mg/l	±4
Nitrógeno Amoniacal (N-NH ₄ ⁺)	APHA-4500-NH ₃ C	0,031	1,00	mg/l	±4
Oxígeno disuelto (O ₂)	APHA-4500-O C	9,2	> 6	mg/l	±3
PH	APHA-4500-H B	7,1 a 16°C	6 a 9	U.	±0,1
Sólidos totales disueltos	APHA-2520 B	20 a 16°C	500	mg/l	±2
Turbiedad	APHA-2130 B	No se detecta	40	U.N.T.	±5
Color	APHA-2120 B	10	NE	U.(Pt/Co)	±5

OBSERVACIONES:

Técnicas de ensayos: APHA Standard Methods - métodos normalizados para análisis de aguas potables y residuales, Ediciones Díaz de Santos, 1992.

Los límites máximos admisibles, responden a la norma de referencia: Resolución N° 274/2000 y 357/2005 CONAMA.

NE: No especifica en la norma de referencia.

La muestra fue extraída y remitida por: Gala Sigimbosco.

POSA-RE-A2-004 Rev. 05 Fecha: 11/08/2021



Ombú 2180 B° Altos de Villa Cabrera - Córdoba Argentina
 Ing. Nicolás Echevarría 351-2333797 - Lic. Matías Echevarría 351-6620905
 REGISTRO OFICIAL DE LABORATORIOS AMBIENTALES DE LA PROVINCIA DE CÓRDOBA N°025 (ROLA)
 SISTEMA DE GESTIÓN DEL LABORATORIO CERTIFICADO BAJO NORMA ISO 9001 :2015

Informe N° 436 GS 02CN 020824: Análisis de aguas dulces destinadas a uso recreativo de contacto primario [Informe no publicado]. Córdoba, Argentina.



Ing. Nicolás Echevarría e Hijos
 LABORATORIO DE ENSAYOS EN AGUAS
 HIGIENE Y SEGURIDAD EN EL TRABAJO

 LaboratorioEchevarria
 ing.echevarria@yahoo.com
 www.laboratorioechevarria.com

Informe técnico N°: 436 GS 03CN 020824R Página: 1 de 2

DATOS SOLICITANTE

Nombre o Razón social: GALA SIGIMBOSCO - tesis de grado de la Lic. En Gestión Ambiental

DATOS DE LA MUESTRA

Ensayo solicitado: PARA AGUAS DULCES DESTINADAS A USO RECREATIVO DE CONTACTO PRIMARIO

Procedencia de la muestra: RÍO MINA CLAVERO (P3) PUESTO N° 3

Lugar de toma de muestra: Final río Mina Clavero, puente blanco -31.719521, -65.006095

Fecha toma de muestra: 01/08/24 Fecha recepción muestra: 02/08/24 Fecha emisión de informe: 09/08/24

Tipo de muestra: SIMPLE

RESULTADOS**ENSAYO MICROBIOLÓGICO**

Parámetros microbiológicos	Técnica	Resultado	Límite máximo	Unidades
Bacterias Coliformes Termorresistentes	APHA-9221 C	93	≤ 200	N.M.P./100 ml
Bacterias aerobias mesófilas	APHA - 9215 B	1200	NE	U.F.C./ml
Pseudomonas Aeruginosa	APHA - 9213 E	PRESENCIA	NE	P/A en 100 ml

ENSAYO FISICOQUÍMICO

Parámetros fisicoquímicos	Técnicas	Resultados	Límite máximo	Unidades	Error (%)
DBO ₅ (O ₂)	APHA-5210-ROB B	3	3	mg/l	±3
Fosforo total (P)	APHA-4500-P C	<u>2,6</u>	0,02	mg/l	±4
Nitratos (NO ₃ ⁻)	APHA-4500-NO ₃ E	4,1	10	mg/l	±10
Nitrito (NO ₂ ⁻)	APHA-4500-NO ₂ B	0,02	1,0	mg/l	±4
Nitrógeno Amoniacal (N-NH ₄ ⁺)	APHA-4500-NH ₃ C	0,01	1,00	mg/l	±4
Oxígeno disuelto (O ₂)	APHA-4500-O C	8,9	> 6	mg/l	±3
PH	APHA-4500-H B	7,0 a 16°C	6 a 9	U.	±0,1
Sólidos totales disueltos	APHA-2520 B	35 a 16°C	500	mg/l	±2
Turbiedad	APHA-2130 B	No se detecta	40	U.N.T.	±5
Color	APHA-2120 B	30	NE	U.(Pt/C0)	±5

OBSERVACIONES:

Técnicas de ensayos: APHA Standard Methods - métodos normalizados para análisis de aguas potables y residuales, Ediciones Díaz de Santos, 1992.

Los límites máximos admisibles, responden a la norma de referencia: Resolución N° 274/2000 y 357/2005 CONAMA.

NE: No especifica en la norma de referencia.

La muestra fue extraída y remitida por: Gala Sigimbosco.

POSA-RE-A2-004 Rev. 05 Fecha: 11/08/2021

Ombú 2180 B° Altos de Villa Cabrera - Córdoba Argentina



Ing. Nicolás Echevarría 351-2333797 - Lic. Matías Echevarría 351-6620905

REGISTRO OFICIAL DE LABORATORIOS AMBIENTALES DE LA PROVINCIA DE CÓRDOBA N°025 (ROLA)

SISTEMA DE GESTIÓN DEL LABORATORIO CERTIFICADO BAJO NORMA ISO 9001 :2015



Informe técnico N°: 436 GS 03CN 020824

Página: 2 de 2

CONCLUSIÓN:

Los ensayos realizados se basaron en parte a los parámetros establecidos Resolución N° 274/2000 y 357/2005 CONAMA. Si consideramos lo antes expuesto, los resultados obtenidos del agua ensayada NO cumplen con la legislación tomada de referencia en el parámetro Fosforo total (P).

Informe N° 436 GS 03CN 020824: Análisis de aguas dulces destinadas a uso recreativo de contacto primario [Informe no publicado]. Córdoba, Argentina.

Gráficos NSF-WQI empleados para normalizar los datos (Sub_i)

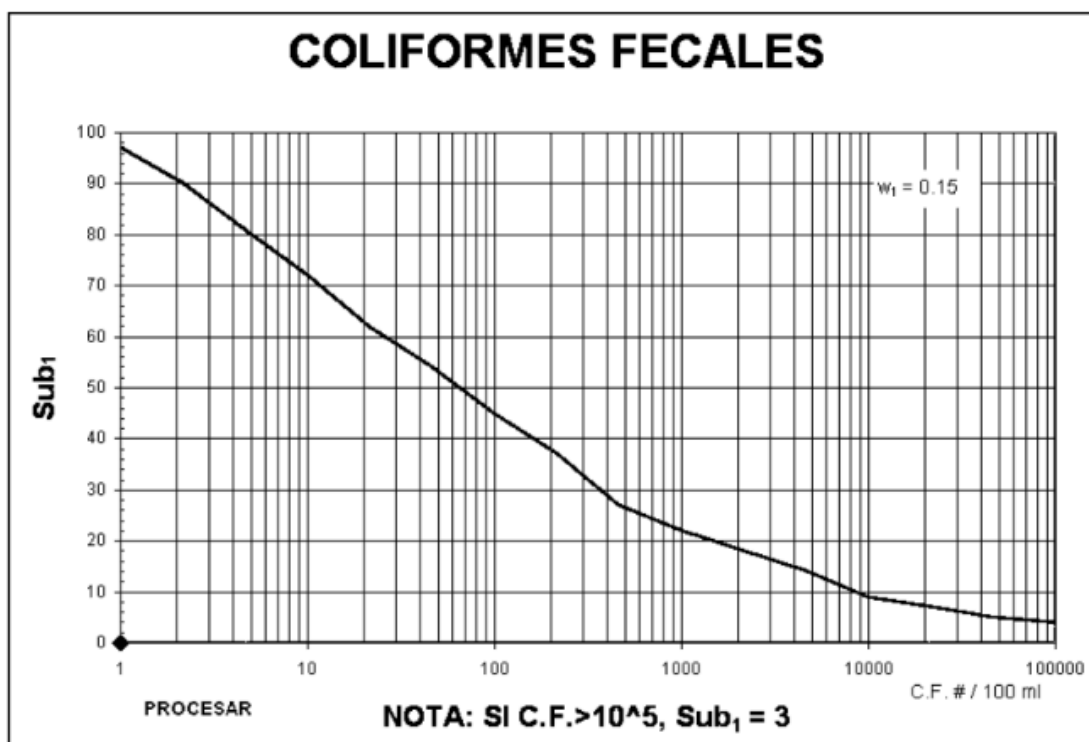


Figura 1. Valoración de la calidad de agua en función de Coliformes Fecales (Servicio Nacional de Estudios Territoriales [SNET], s.f.).

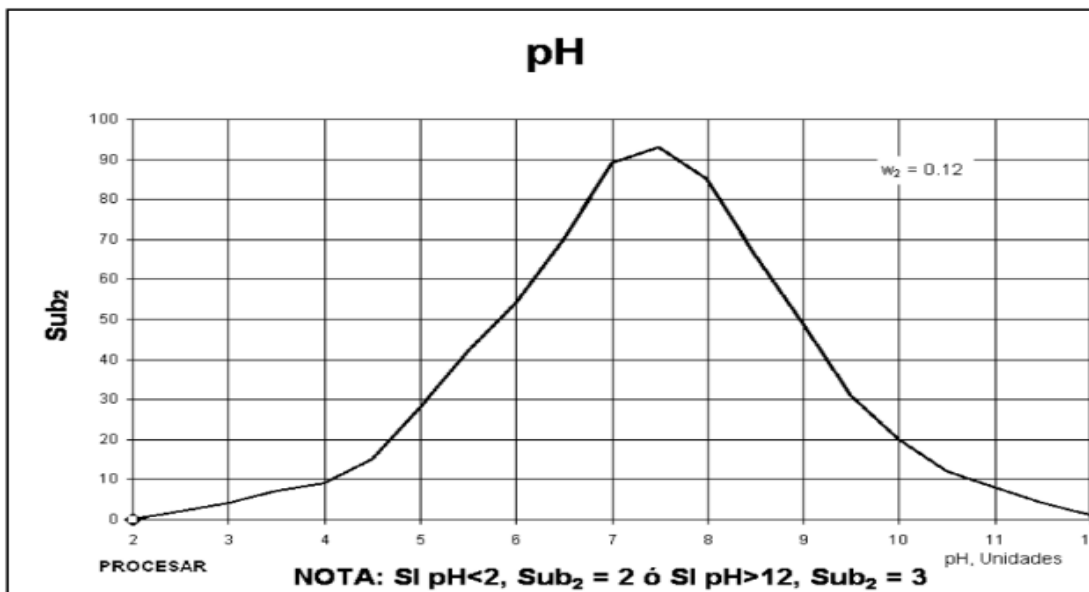


Figura 2 . Valoración de la calidad del agua en función del pH (Servicio Nacional de Estudios Territoriales [SNET], s.f.).

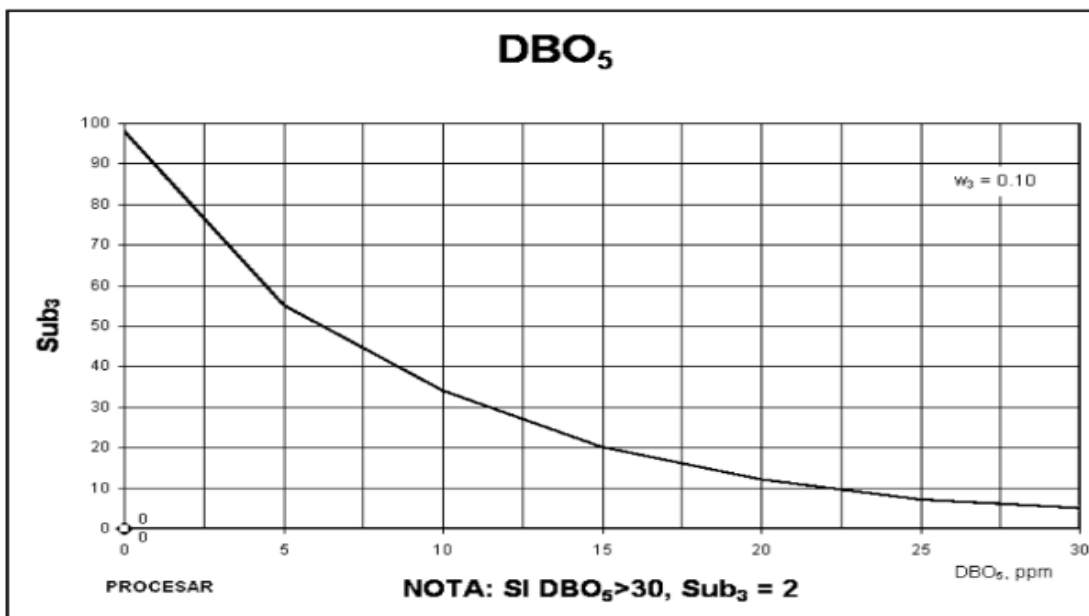


Figura 3. Valoración de la calidad de agua en función de la DBO₅ (Servicio Nacional de Estudios Territoriales [SNET], s.f.).

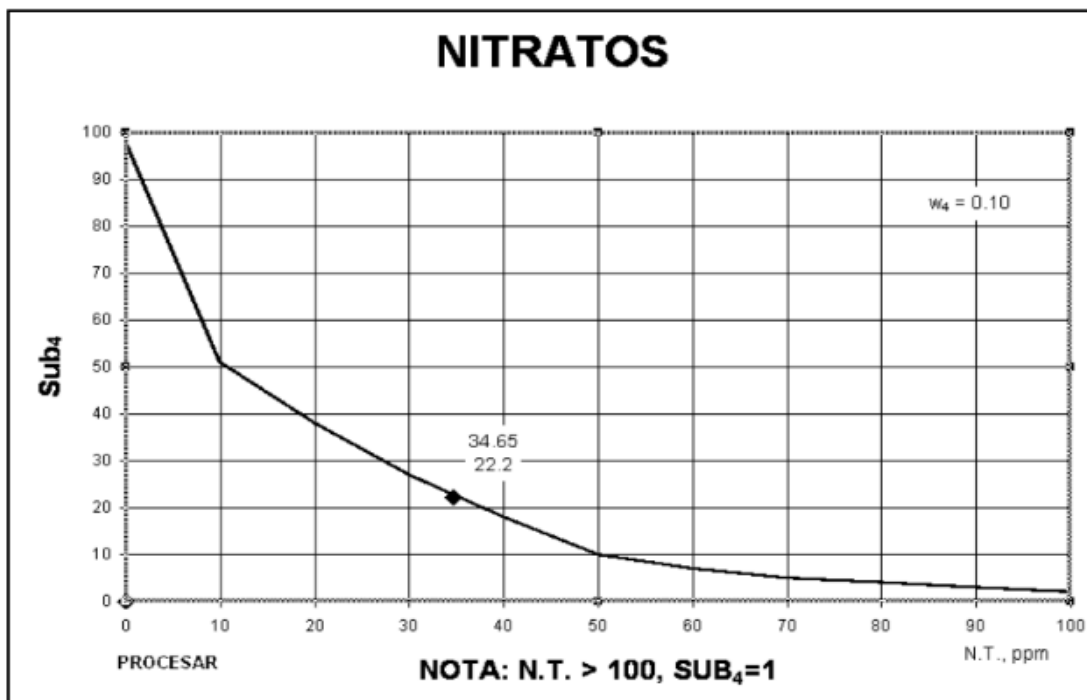


Figura 4. Valoración de la calidad del agua en función de Nitratos (Servicio Nacional de Estudios Territoriales [SNET], s.f.).

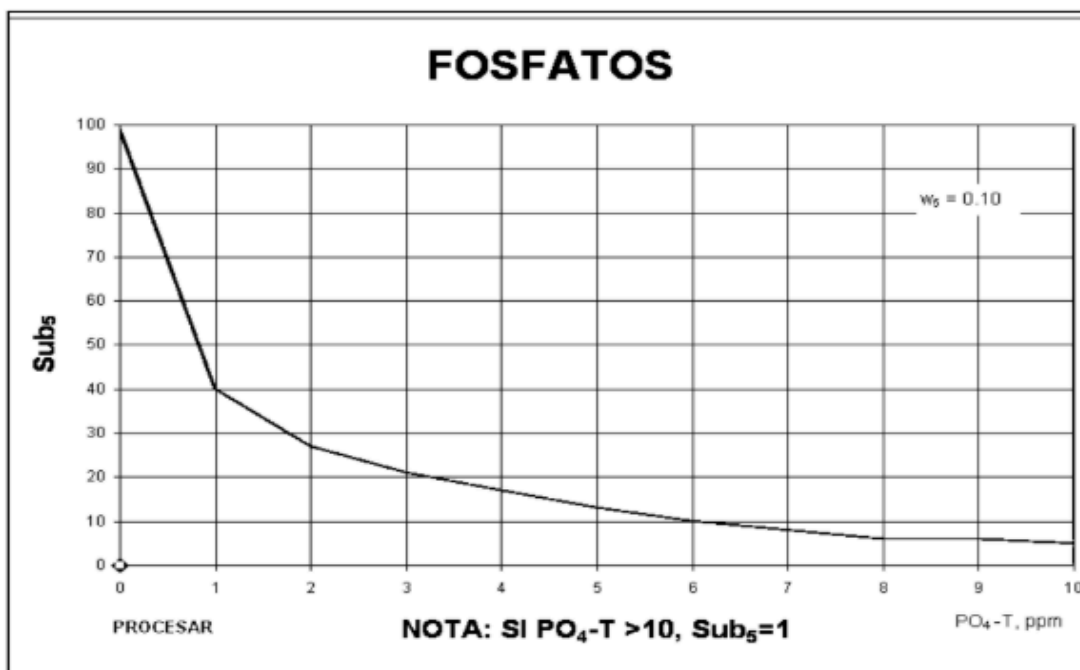


Figura 5. Valoración de la calidad del agua en función de Fosfatos (Servicio Nacional de Estudios Territoriales [SNET], s.f.).

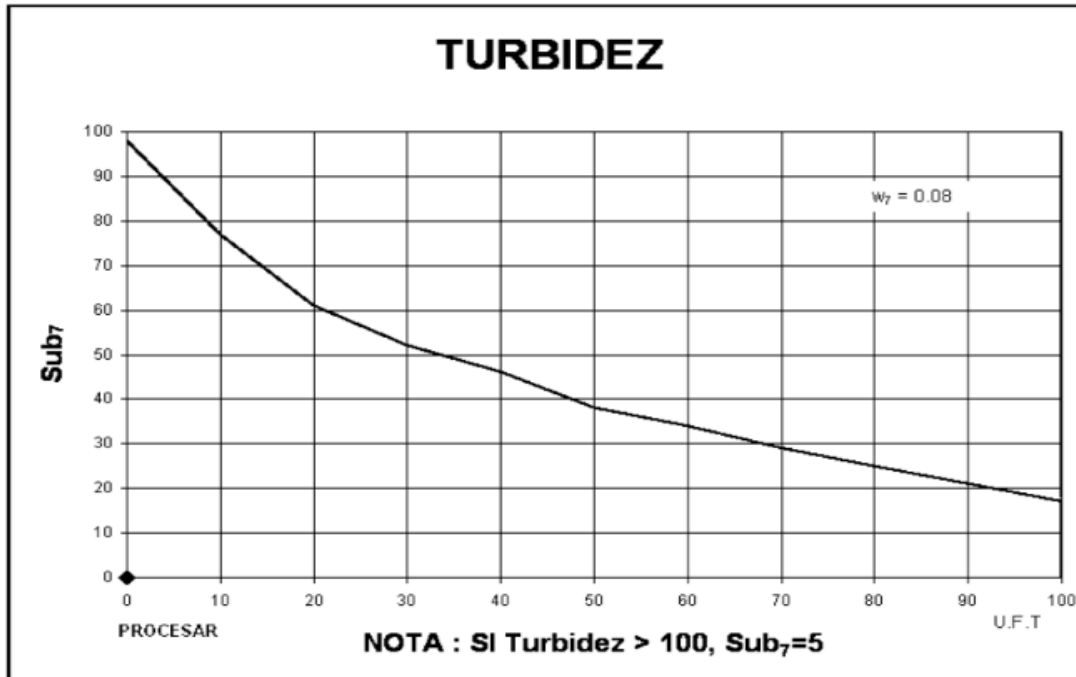


Figura 7. Valoración de la calidad de agua en función de la Turbidez (Servicio Nacional de Estudios Territoriales [SNET], s.f.).

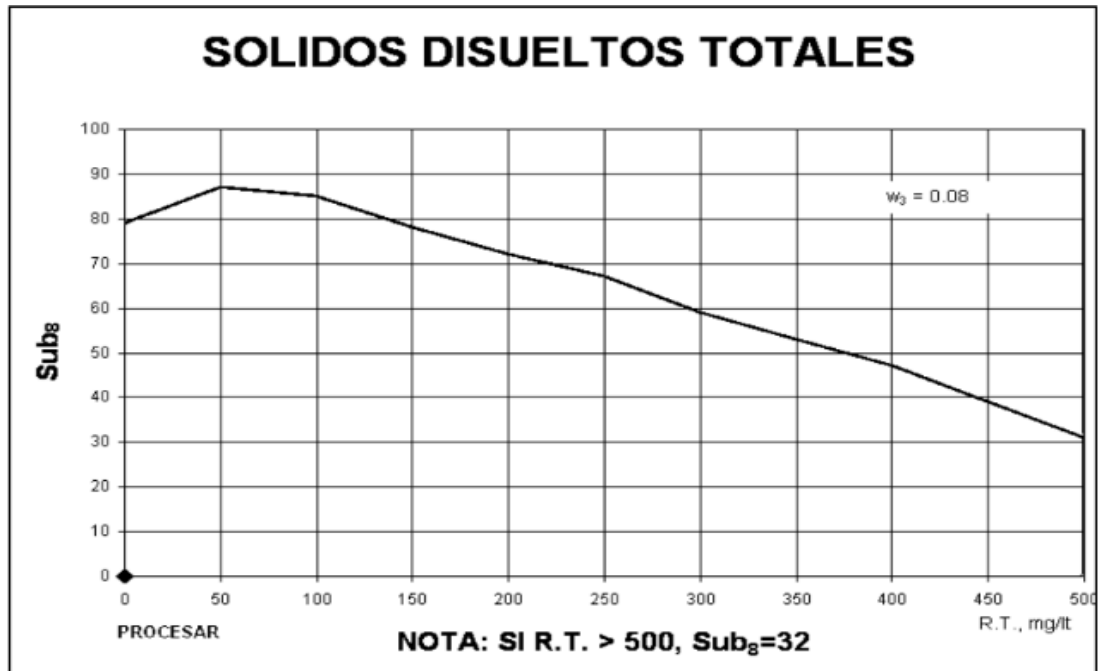


Figura 8. Valoración de la calidad del agua en función de Sólidos Disueltos Totales (Servicio Nacional de Estudios Territoriales [SNET], s.f.).