

**UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK**

**FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES**

Trabajo de Fin de Carrera Titulado:

**“EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA MEDIANTE EL ÍNDICE DE CALIDAD DE AGUA ICA-NSF DEL RÍO QUERO, CANTÓN QUERO”**

Realizado por:

**BYRON SEBASTIAN SANGUIL MEDINA**

Director del proyecto:

**Dr. Miguel Martínez, Ph.D.**

Como requisito para la obtención del título de:

**MAGÍSTER EN GESTIÓN AMBIENTAL**

Quito, 28 de enero de 2022



## DECLARACIÓN JURAMENTADA

Yo, BYRON SEBASTIAN SANGUIL MEDINA, con cédula de identidad # 180426116-0, declaro bajo juramento que el trabajo aquí desarrollado es de mi autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración, cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su reglamento y por la normativa institucional vigente.

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Byron Sebastian Sanguil Medina', written over a horizontal line.

FIRMA

180426116-0

## DECLARATORIA

El presente trabajo de investigación titulado:

**“EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA MEDIANTE EL ÍNDICE DE CALIDAD DE AGUA ICA-NSF DEL RÍO QUERO, CANTÓN QUERO”**

Realizado por:

**BYRON SEBASTIAN SANGUIL**

como Requisito para la Obtención del Título de:

**MAGÍSTER EN GESTIÓN AMBIENTAL**

ha sido dirigido por el profesor

**MIGUEL MARTINEZ**

quien considera que constituye un trabajo original de su autor.



FIRMA

## **LOS PROFESORES INFORMANTES**

Los Profesores Informantes:

**KATTY CORAL**

**SUSANA CHAMORRO**

Después de revisar el trabajo presentado,

lo han calificado como apto para su defensa oral ante

el tribunal examinador



FIRMA



FIRMA

Quito, 28 de enero de 2022

## DEDICATORIA

A mis padres Francisco S. & Pilar M., por su apoyo incondicional para forjar un mejor camino para mí. A mi hermano Álvaro Francisco S., que aún desde el cielo, me ayudó a hacer este gran logro posible. A mis hermanos Anabel, Geovana & Daniel, Que siempre confiaron en mí y darme día a día su incondicional apoyo.

## AGRADECIMIENTO

A Dios, que ha llenado de bendición y luz mi vida.

A las personas que confiaron en mí, David Guevara, Pablo Montesdeoca, Pablo Vargas,  
Michelle Paredes, a quienes considero valiosas personas en mi vida.

A mi tutor Miguel Martínez, y profesora Gina Álvarez quienes me ayudaron y brindaron  
conocimiento.

“EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA MEDIANTE EL ÍNDICE DE CALIDAD DE AGUA ICA-NSF DEL RÍO QUERO, CANTÓN QUERO”

06/10/2021 23:25:33

Para someter a:

To be submitted:

**EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA MEDIANTE EL ÍNDICE DE CALIDAD DE AGUA ICA-NSF DEL RÍO QUERO, CANTÓN “QUERO”**

BYRON SEBASTIAN SANGUIL MEDINA<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidad Internacional SEK, Facultad de Ciencias Naturales y Ambientales, Quito, Ecuador. 06/08/2017 23:25:33

\*AUTOR DE CORRESPONDENCIA: Miguel Martínez Fresneda PhD, Universidad Internacional SEK, Facultad de Ciencias Ambientales y Naturales, Quito, Ecuador.

Email: [mestre.martinez@uisek.edu.ec](mailto:mestre.martinez@uisek.edu.ec)

Título corto o Running title: **Análisis de calidad de agua del Río Quero.**

### Resumen

El Río Quero forma parte de una gran cuenca que fluye a través de la provincia de Tungurahua en la región Sierra en Ecuador. Tomando en cuenta las actividades antrópicas del cantón Quero y debido a que es un distrito municipal que no realiza tratamiento de las aguas luego de su consumo previo a su descargue en el río, se ha tomado la decisión de realizar una investigación de carácter exploratoria, longitudinal, cualitativa, cuantitativa y comparativa, sobre la calidad del agua del Río Quero, antes de ingresar, en la zona poblada y al finalizar su cauce luego de la zona poblada. Analizando los componentes fisicoquímicos y bacteriológicos del agua y comparándolos con los parámetros permisibles de la normativa ecuatoriana vigente. Como métodos se hace uso: del Índice de Calidad del Agua ICA-NSF, además se realizó análisis hidroquímicos mediante los diagramas de Stiff, Piper y Schoeller con estudio de datos sobre iones. El estudio se realizó en un espacio temporal de cuatro meses en el año 2021. Julio, agosto y septiembre como meses de alto caudal debido a lluvias abundantes y octubre como mes de bajo caudal e inicio de temporada seca. Se concluye que la calidad de agua del Río Quero se encuentra según la escala ICA-NSF como *Regular*, también se demostró que en el agua del Río Quero existen parámetros fuera del rango de la normativa ecuatoriana que varían de acuerdo la zona de muestra, y finalmente que las variaciones de los resultados entre una época de alto caudal y su opuesto, presentan incremento en los parámetros contaminantes, así como también cambios en su composición química entrando en el tipo de aguas bicarbonatadas mixtas.

Palabras clave: Contaminación del agua, límites máximos permisibles, calidad del agua, Río Quero, Análisis hidroquímicos, antrópico.

### **Abstract**

The Quero River forms part of a large basin that flows through the province of Tungurahua in the Sierra region of Ecuador. Taking into account the anthropic activities of the Quero canton and because it is a municipal district that does not carry out water treatment after its consumption prior to its discharge into the river, the decision has been made to carry out an exploratory, longitudinal investigation. , qualitative, quantitative and comparative, on the quality of the water of the Quero River, before entering, in the populated area and at the end of its course after the populated area. Analyzing the physicochemical and bacteriological components of the water and comparing them with the permissible parameters of the current Ecuadorian regulations. As methods, use is made of: the ICA-NSF Water Quality Index, in addition, hydrochemical analyzes were carried out using the Stiff, Piper and Schoeller diagrams with a study of data on ions. The study was carried out in a temporary space of four months in the year 2021. July, August and September as months of high flow due to abundant rains and October as a month of low flow and the beginning of the dry season. It is concluded that the water quality of the Quero River is found according to the ICA-NSF scale as Regular, it was also shown that in the water of the Quero River there are parameters outside the range of the Ecuadorian regulations that vary according to the sample area, and finally that the variations of the results between a time of high flow and its opposite, present an increase in the polluting parameters, as well as changes in its chemical composition entering the type of mixed bicarbonated waters.

**Key words:** *Water pollution, maximum permissible limits, water quality, Quero River, hydrochemical analysis, anthropic.*

## **Introducción**

El progreso humano incrementa la necesidad de recursos naturales. Aquella necesidad lo lleva a intervenir sobre la naturaleza y toda intervención no-natural presenta un impacto no esperado por el ecosistema (Mohammed et al., 2021). Paradójicamente, mientras mejora la vida del hombre se provoca una baja de calidad en el aire, agua y suelo, de los cuales él depende (Padaki et al., 2021).

El desarrollo humano es inexorable, de ahí el requerir crear y desarrollar estudios, experimentos, indicadores, etcétera que nos den una luz sobre los niveles de contaminación y nos ayuden a gestionar los recursos naturales de manera constante pero responsable para no extinguirnos como raza antes de alcanzar más planetas para intervenir (Escobar, 2002). Algunos de aquellos se usaron en el desarrollo de esta investigación como: el índice de calidad del agua de la Fundación Nacional de Saneamiento de los Estados Unidos de América (ICA-NSF), evaluaciones hidroquímicas con representaciones gráficas y análisis comparativos.

Entendiendo la contaminación como una alteración del estado original por agentes químicos, físicos o biológicos. Es importante aclarar que la contaminación es un proceso natural y antrópico, esencialmente común y continuo en todos los sistemas y hábitats terráqueos (Morante-carballo et al., 2021). Para efectos prácticos de la investigación se tomó en cuenta dos procesos de contaminación antrópica que afectan a los cuerpos de agua: El calentamiento del globo terrestre y la contaminación directa (Chen et al., 2021).

El calentamiento global altera las estaciones del año a nivel mundial (Al, 2019), en Ecuador se pueden definir únicamente a 2 estaciones climatológicas, la variación entre tiempos lluviosos y secos permite diferenciar a estos dos períodos específicos, mismos que provocan la variación de la carga contaminante natural o antrópica con respecto al caudal presentes en los afluentes (Ilbay-yupa et al., 2021).

La contaminación directa, en cambio, es un proceso en el cual las actividades humanas

## “EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA MEDIANTE EL ÍNDICE DE CALIDAD DE AGUA ICA-NSF DEL RÍO QUERO, CANTÓN QUERO”

alteran directamente la composición físico-química del agua. En Ecuador aproximadamente el 60% de los cuerpos de agua dulce se contaminan por efluentes industriales (Escobar, 2002). Además, según datos estadísticos obtenidos por el INEC (2010), el 80% de las industrias a nivel nacional se encuentran asentadas en la región sierra y sus efluentes contaminados son descargados sin tratar a alcantarillas y arrastrados hacia afluentes de la zona ((MAE), 2016).

Tenemos entonces, que los cuerpos de agua como ríos y lagunas en la región sierra reciben más contaminación que otros cuerpos de agua en el país (Vinueza et al., 2021). Y, es consecuencia de un sistema de distribución hídrica que se preocupa del estado del líquido vital antes del consumo, pero para su posterior disposición se deja a libre albedrío el tratamiento de agua residual que llega a los cauces (Carrillo & Urgilés, 2016). Obviamente que, no todos los gobiernos autónomos municipales permiten esta conducta insostenible, siendo que según datos del INEC publicados en su informe: Estadística de información ambiental económica en gobiernos autónomos descentralizados municipales 2015 (agua y alcantarillado) publicado en octubre de 2016 revela que; 133 de 215 GADM en el país realizan tratamiento de aguas residuales.

El Río Quero al recibir aguas residuales sin tratamiento y al pertenecer a un cantón que desarrolla su actividad productiva ganadera y agrícola de alrededor del 70% comparado con otras actividades económicas productivas (GADM Quero, 2020), se ha convertido en el objeto de estudio idóneo para una evaluación de calidad de agua mediante el ICA-NSF el cual mediante expresión matemática considera aspectos fundamentales fisicoquímicos, biológicos y el bioma (Najafzadeh et al., 2021). El ICA-NSF mide el grado de contaminación del agua, si está cerca o igual a 0%, el agua se encuentra altamente contaminada, si es cercano o igual a 100%, el agua es pura (Carrillo & Urgilés, 2016). En consecuencia, el presente estudio dará una visión sobre el manejo de la gestión, control y cuidado del recurso hídrico por parte de los Municipios y la población.

## “EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA MEDIANTE EL ÍNDICE DE CALIDAD DE AGUA ICA-NSF DEL RÍO QUERO, CANTÓN QUERO”

En este sentido, parte del estudio realizado aportó con el análisis e interpretación cualitativa de medidas física, físico-químicas y biológicas, importantes para la caracterización hidroquímica y categorización de la calidad del agua, en una escala de muy mala a excelente según el ICA – NSF (Cristable et al., 2020), periódicamente y en simultáneo en varios puntos específicos en el Río Quero.

Otra parte de la investigación, procuró aportar la a ciencia con un estudio cuantitativo-comparativo, entre los parámetros existentes en la normativa medio ambiental vigente y los valores reales de contaminación presentes en el río.

También se considera un estudio transversal por el criterio de selección de las zonas y los puntos de recolección de muestras, el cual a *grosso modo* fue en base a la presencia o no, de actividad antrópica y la cercanía poblacional al momento de ejecutar la investigación,

Conjuntamente se consideró como un estudio comparativo ya que incluyó variantes climatológicas, cotejando las conmutaciones del porcentaje del ICA-NSF en épocas de alto caudal ocasionado por constante lluvia, con épocas de escasa presencia de lluvia y bajo caudal.

Y finalmente es una investigación exploratoria por la inexistencia de estudios publicados cuya finalidad y zona de ejecución se asemeje a la del presente trabajo investigativo.

El diseño y tipo de investigación nace de la pregunta; ¿Es considerable la variación espacio-temporal de contaminación que recibe un río al cruzar una zona poblada rural dedicada a la agricultura, ganadera y agropecuaria?

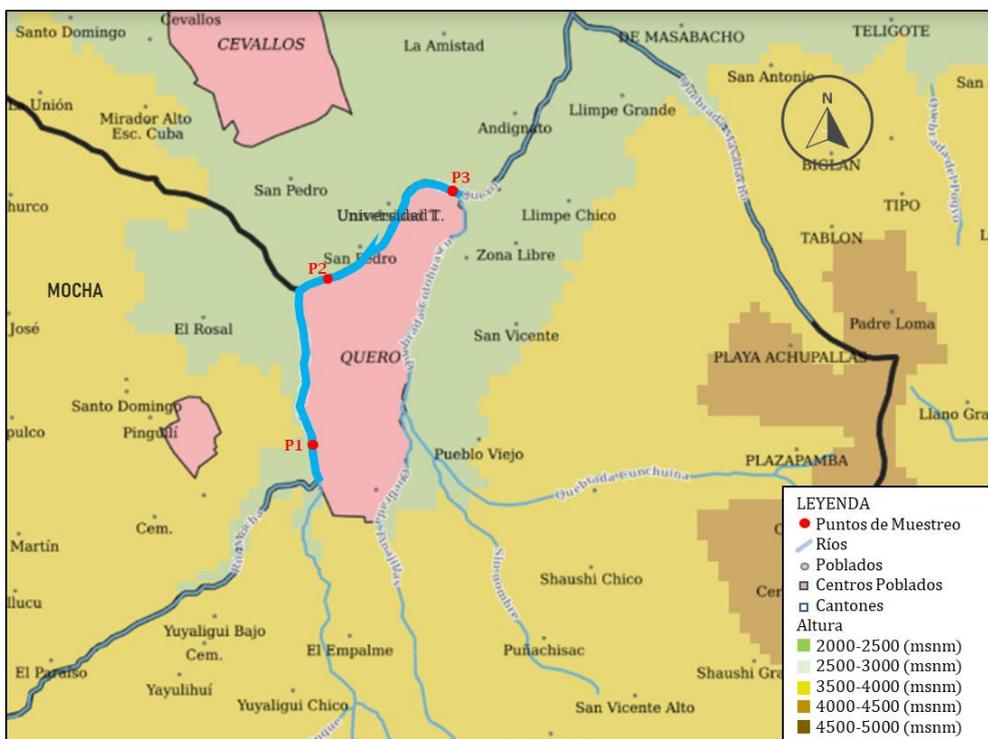
## Materiales y Métodos

### Área de estudio

El Río Quero, objeto de estudio, se encuentra circunscrito al cantón Quero, provincia de Tungurahua, en la Región Sierra del Ecuador. El río en cuestión cambia su nombre según su ubicación. Nace en los páramos del Carihuairazo como Río Mocha (cruza el cantón Mocha); pero al llegar al cantón Quero, el cauce es interceptado por la quebrada Curiquingue y es nombrado como Río Quero. La extensión del Río Quero es de 3,7 Km, hasta encontrarse con la quebrada Cotohuayco, que al unirse toma el nombre de río Pachanlica. ((HGPT), 2016)

Como se muestra en la Figura 1, el Río Quero bordea el centro poblado del cantón Quero, razón por la cual ha sido elegido por la entidad municipal para ser el depósito de tubos de alcantarillado con aguas residuales de las actividades domésticas y comerciales propias del sector (GADM Quero, 2020).

**Figura 1.** Mapa Hidrológico Del Cantón Quero y puntos de recolección de muestras.



### Fase de campo

“EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA MEDIANTE EL ÍNDICE DE CALIDAD DE AGUA ICA-NSF DEL RÍO QUERO, CANTÓN QUERO”

***Criterios para la selección de puntos de muestreo.***

Se consideró dos criterios para la selección de puntos de muestreo. El primero, su ubicación en relación al centro poblado del cantón y el segundo criterio en función a la periodicidad de recolección en base a antecedentes históricos climatológicos del cantón. Arrojando como una opción viable precisar tres puntos físicos con una periodicidad mensual en un lapso de 4 meses. En síntesis, se eligió 3 puntos de recolección mensual durante 4 meses. En la Figura 1 se muestra la ubicación de los puntos de muestreo P1, P2 y P3.

- Punto de recolección 1, es el punto anterior al centro poblado, ubicado en la quebrada Curiquingue donde toma el nombre de Río Quero;
- Punto de recolección 2, es el punto más cercano al centro poblado, ubicado a 30 metros de la vía principal de la zona poblada;
- Punto de recolección 3, como referencia es el punto posterior al centro poblado y donde finaliza el cauce, ubicado en las riberas de la zona turística a las afueras del cantón. En la Tabla 1 se aprecian la georeferenciación de los puntos de recolección de muestras;

**Tabla 1.** Georeferenciación de los puntos de extracción de muestras

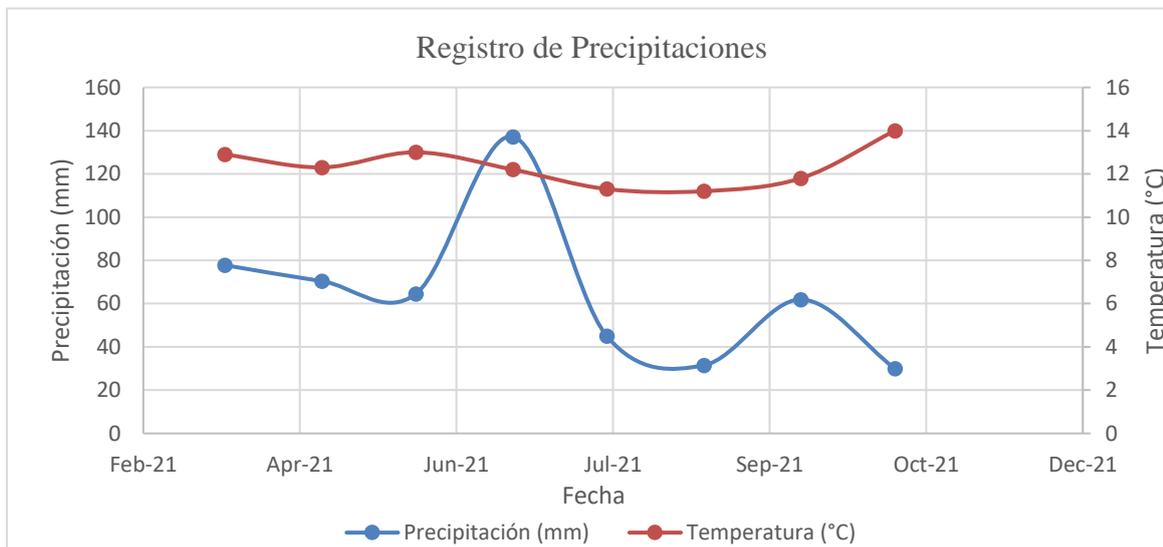
Puntos de muestreo Río Quero	Zona	Coordenadas UTM	
		Sur	Oeste
P1	Punto Inicial del río	1°23'01.2"S	78°36'43.6"W
P2	Punto Intermedio del río	1°22'27.7"S	78°36'41.3"W
P3	Punto final del río	1°22'01.8"S	78°35'56.2"W

Los meses de recolección de muestras se definieron considerando las variaciones de precipitación de agua visibles en la Figura 2, elaborada a partir de los datos otorgados al autor por el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI) en 2021, con lo cual se identificó a los meses de: julio, agosto y septiembre como meses de temporada lluviosa, y octubre como mes de temporada seca. En consecuencia, se tuvo tres meses con caudales altos

## “EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA MEDIANTE EL ÍNDICE DE CALIDAD DE AGUA ICA-NSF DEL RÍO QUERO, CANTÓN QUERO”

y un mes con caudal bajo durante la ejecución de la investigación, que corresponderían a los meses de la temporada lluvia y a la temporada seca, respectivamente.

**Figura 2.** Registro de precipitaciones de los meses analizados



Nota: datos recopilados de manera digital en el INAMHI en 2021.

### ***Recolección de muestras.***

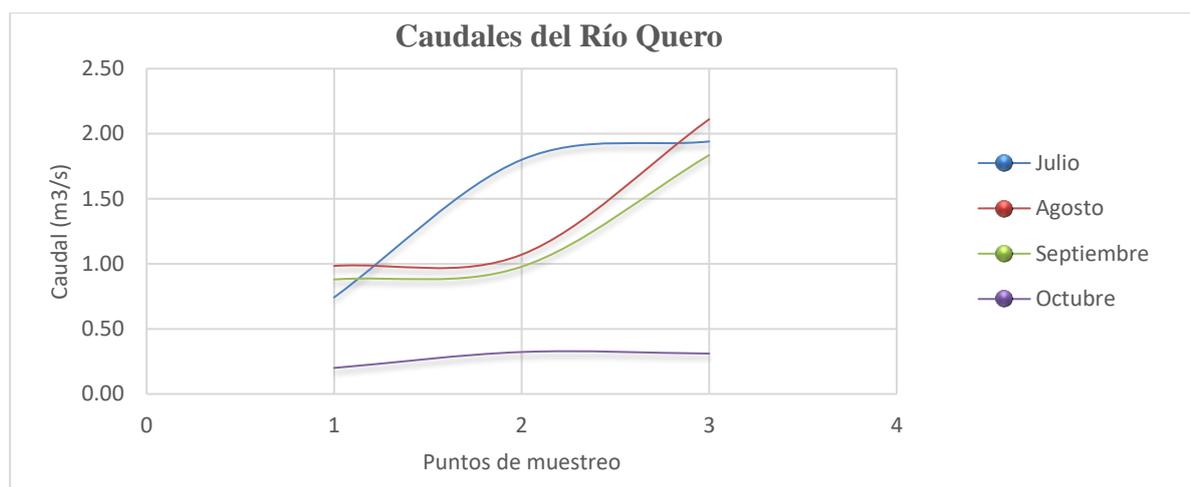
Se utilizó los protocolos según la normativa INEN ecuatoriana para practicar la toma de muestras. Específicamente para la obtención de parámetros físico, químico y biológico ((INEN), 2013b), y para la conservación y transporte de las muestras se siguió el protocolo como lo indica la norma ((INEN), 2013a).

Además, en cada campaña de recolección de muestras se midieron parámetros *in situ*, con la finalidad evitar variaciones que pudiesen sesgar o entorpecer la investigación. Temperatura, Conductividad, pH y oxígeno disuelto; a consideración del autor son parámetros del agua que se alteran durante el transporte de las muestras.

Adicionalmente, se midió el caudal del río en cada muestreo aplicando el método del flotador, de este modo se obtuvieron los valores de caudal mostrados en la Figura 3. Demostrando esencialmente la reducción del caudal durante la temporada seca.

**Figura 3.** Parámetros físicos del Río Quero

“EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA MEDIANTE EL ÍNDICE DE CALIDAD DE AGUA ICA-NSF DEL RÍO QUERO, CANTÓN QUERO”



En cada visita al cauce del río para la recolección de muestras se registró la percepción del autor sobre el clima, el ambiente apreciable y eventos físicos naturales o provocados con la finalidad de poseer un registro que pudiese ser útil al encontrar resultados inconsistentes que requieran una explicación externa, dichos criterios se encuentran descritos en la Tabla 2.

**Tabla 2.** Estado del clima y criterios en campañas de muestreo.

<b>Campaña</b>	<b>aN°M</b>	<b>bC. M.</b>	<b>Clima</b>	<b>Criterios</b>
Primer Muestreo 12/7/2021	1	P.1.1	Nublado.	-Difícil acceso tipo barranco, agua incolora o cristalina.
	2	P.1.2	Presencia de lluvia.	-Existen ductos de aguas servidas, agua de color café marrón y mal olor.
	3	P.1.3		-Abundante presencia de zancudos, agua de color café oscuro, mal olor.
Segundo Muestreo 9/8/2021	4	P.2.1	Nublado. Lluvia	-Agua de color café oscuro, presencia de arbustos y plantas posible derrumbe aguas arriba.
	5	P.2.2	dispersa. Presencia de sol.	-Agua de color café oscuro, mal olor, presencia de arbustos y plantas.
	6	P.2.3		-Pocos zancudos, agua de color café.
Tercer Muestreo 9/9/2021	7	P.3.1	Nublado. Lluvia	- Difícil acceso tipo barranco, agua de incolora o cristalino.
	8	P.3.2	dispersa. Presencia de sol.	-Presencia de aguas servidas, agua de color café claro, inodoro.
	9	P.3.3		-Moderada cantidad de zancudos, agua de color café oscuro, mal olor.
Cuarto Muestreo 12/10/2021	10	P.4.1		-Presencia de zancudos, agua algo transparente, caudal bajo.
	11	P.4.2	Día Soleado.	-Presencia de zancudos, mal olor, caudal bajo.
	12	P.4.3		

- Abundancia de zancudos, agua de color café, mal olor, caudal bajo.

Nota: <sup>a</sup>Nº M: Número de muestra. <sup>b</sup>C.M: Código de Muestra

### Fase de laboratorio

Las muestras tomadas se procesaron en el laboratorio mediante el uso de métodos estándar según la metodología del American Public Health Association (2017) en la Tabla 3 se detalla la paramétrica utilizada para los análisis físico - químicos y bacteriológicos, necesarios para el desarrollo de la investigación.

**Tabla 3.** Métodos de análisis paramétrico.

Parámetro	Unidades	Métodos estándar
pH	UpH	4500-H+ B
Turbiedad	NTU	2130-B
Dureza expr. Como CaCO <sub>3</sub>	(mg/L)	2340-C
Calcio	(mg/L)	2340-B
Magnesio	(mg/L)	2340-B
Alcalinidad de Bicarbonatos expr. Como CaCO <sub>3</sub>	(mg/L)	2320-B
Cloruros	(mg/L)	4500-Cl - D
N - Amonios	(mg/L)	4500-CH4-C
Fosfatos	(mg/L)	4500-P-D
N-Nitratos	(mg/L)	4500-NO <sub>3</sub>
Sólidos Totales Disueltos	(mg/L)	2540-C
Sodio	(mg/L)	3500 Na - B
Potasio	(mg/L)	3500 K - B
Demanda Bioquímica de Oxígeno 5	(mg/L)	Winkler Method
Coliformes Fecales	NMP/100 mL	9221 E 1 (modificado)

En esta fase de la investigación se ha realizado una comparativa entre los valores obtenidos y los presentes en la normativa vigente de la “Tabla de Límites de descarga para el uso y consumo doméstico solo con desinfección”, y la “Tabla Límites de descarga para la protección de la flora y fauna en agua dulce” publicados por el Ministerio del Ambiente en Ecuador el 2015, (ver ANEXO A).

### Metodología hidroquímica.

En esta fase del estudio se realizó el análisis cuantitativo de la calidad de agua del Río Quero a través de la hidroquímica mediante el programa diseñado por el investigador Suñé

“EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA MEDIANTE EL ÍNDICE DE CALIDAD DE AGUA ICA-NSF DEL RÍO QUERO, CANTÓN QUERO”

(2001) *EASY QUIM*, y se efectuaron relaciones iónicas. En la Tabla 4 se aprecian los parámetros generales a considerar de las relaciones iónicas.

**Tabla 4.** Interpretación de las relaciones iónicas

<i>Relación</i>	<i>Agua continental</i>	<i>Agua marina</i>	<i>Comentario</i>
rMg/rCa	0,3-1,5	≅5	≅1: terrenos dolomíticos >1: silicatos magnésicos (basaltos, garbos) >1 y ↑► intrusión marina Si ↑+↑Cl ► intrusión marina ↑al precipitar CaCO <sub>3</sub> ↓ al disolver CaCO <sub>3</sub> Si ↑+↓SO <sub>4</sub> ► reducción sulfatos
rCl/rCO <sub>3</sub> H	0,1-5	20-50	↓ al disolver CaCO <sub>3</sub> ↑al precipitar CaCO <sub>3</sub> ↑► mineralización ↑► intrusión marina ↑► mayor dureza
rSO <sub>4</sub> /rCl	0,2-0,4	0,11	Similar al anterior en aguas algo salinas; ↓► reducción de sulfatos ↑► contaminación agrícola/industrial ↑► intrusión marina
rK/rNa	0,001-1	0,02-0,025	Origen continental o marino del K. Limitada si existe adsorción de Na o K.
rNa/rCa rNa/rCa+Mg rNa/rMg	Variable	Variable	Deducir procesos de intercambio iónico. Método: comparar con cada relación en el terreno, ver evolución espacial y temporal.
icb=(rCl-r(Na+K))/rCl	Variable	Variable	↑► intercambio iónico de endurecimiento (intrusión marina). ↓► intercambio iónico de ablandamiento (lavado del agua salina).
rBr/rCl rHalógenos/rCl	Variable, pero < que en agua de mar	1,7×10 <sup>-3</sup>	Indica el origen: marina, continental, residual
rCa/rCl rMg/rCl rNa/rCl			Indican intercambios iónicos, precipitaciones, disoluciones, origen del agua, etc.
rNO <sub>3</sub> /rCl			Indica posible contaminación agrícola y procesos de reducción.

Fuente: ((COHIFE), 2018)

### **Metodología ICA - NSF**

Finalmente en esta etapa se realizó un análisis cualitativo bajo el índice de Calidad de Agua de la Fundación Nacional de Saneamiento (ICA NSF), considerado uno de los más completos debido a que contempla nueve parámetros físico-químicos (pH, DBO<sub>5</sub>, OD, fosfatos,

“EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA MEDIANTE EL ÍNDICE DE CALIDAD DE AGUA ICA-NSF DEL RÍO QUERO, CANTÓN QUERO”

nitratos, la turbidez, sólidos totales disueltos, temperatura); y biológicos como los coliformes fecales ) (Gradilla-Hernández, 2020). Mismos que se emplean en las curvas de función para la obtención del valor de los subíndices a partir de su interpolación, adjunto en el ANEXO B, para las muestras obtenidas en conjunción a los pesos relativos preestablecidos según su importancia en orden a la ecuación ICA-NSF de Brown (1970) (Ajcabul, 2016); los pesos relativos mostrados en Tabla 5. se asignan a cada parámetro según Murali et al. (2020) basados en su significancia para la presente metodología.

$$IC_{NSF} = \sum_{i=1}^n (w_i * SI_i)$$

**Tabla 5. Parámetros y pesos relativos**

Parámetros	Unidades	wi
DBO <sub>5</sub>	mg/L	0.1
pH		0.12
Nitratos	mg/L	0.1
Fosfatos	mg/L	0.1
Variación de Temperatura	°C	0.1
STD	mg/L	0.08
Turbidez	NTU	0.08
Oxígeno Disuelto	%	0.17
Coliformes Fecales	NMP/ 100mL	0.15

Elaborado por Byron Sanguil; Fuente:

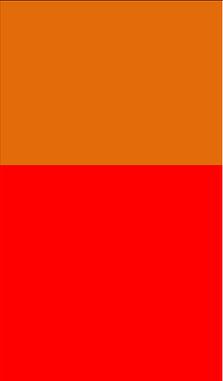
Con el resultado final se tendrá un número adimensional entre 0 y 100, cuyo valor dará la posibilidad de calificar cualitativamente la calidad de agua según la Tabla 6.

**Tabla 6. Clasificación de la Calidad de Agua**

Rango	Convención	Clasificación	Significado
91-100		Excelente	Estado Natural del agua, proliferación de vida
71-90		Buena	Levemente contaminado, aceptable para la mayoría de organismos
51-70		Media	De calidad Regular, aceptable para especies poco sensibles

“EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA MEDIANTE EL ÍNDICE DE CALIDAD DE AGUA ICA-NSF DEL RÍO QUERO, CANTÓN QUERO”

---

26-50		Mala	Altamente contaminado, para consumo previo tratamiento, para cultivos muy resistentes, poco aceptable para especies muy sensibles
0-25		Muy mala	Se ha sobrepasado la capacidad de auto depuración del agua, inaceptable para consumo o riego, apto para organismos resistentes a los contaminantes

---

Fuente: (Sierra Ramirez, 2011); (Quevedo, 2017).

“EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA MEDIANTE EL ÍNDICE DE CALIDAD DE AGUA ICA-NSF DEL RÍO QUERO, CANTÓN QUERO”

**RESULTADOS**

A continuación (Tabla 7) se detalla los resultados físico - químico y biológico, obtenidos en el laboratorio de los puntos de muestreo en base a la metodología en la Tabla 3.

**Tabla 7.** Parámetros analizados en laboratorio

Elementos	<sup>1</sup> J.P1	J.P2	J.P3	<sup>2</sup> A.P1	A.P2	A.P3	<sup>3</sup> S.P1	S.P2	S.P3	<sup>4</sup> O.P1	O.P 2	O.P 3
<b>Parámetros Físico-químicos</b>												
Nitrato mg/L	2.1	2.6	3.6	5.4	2.8	5.3	3.6	4.3	4	3.0	3.30	4.3
Sulfato mg/L	18.	19	19.	21	26	25	48.0	49	52	7.0	5.0	15
Fosfato mg/L	1.4	1.3	0.9	0.7	1.1	0.7	3.5	2.6	1.7	0.24	0.35	0.4
NH4 mg/L	0.2	0.6	0.7	0.2	0.3	0.4	0.2	0.7	0.4	0.27	0.95	0.6
Ca mg/L	27.2	36.8	32	17.6	24	20.8	24	25.6	28.8	16	17.6	19.2
Na mg/L	117.5	39.8	87.6	180. 4	56.3	101. 4	102	41.1	91.4	190	58.54	104.5
K mg/L	16.9	4.1	11.6	39.7	12.2	23.7	13.5	5.1	10.6	48.0 6	16.53	31.7
Mg mg/L	19.4	24.3	22.3	8.7	3.8	12.6	39.8	19.4	18.4	12.6 4	12.64	11.6
Alcalinidad mg/L	80.0	80.0	80	70	60	55	70	90	90	170	190	190
Carbonatos mg/L	0	0	0	0	0	0	20	20	0	0	0	0
Cloruros mg/L	5.7	9.9	8.5	7.2	12.1	9.6	9.6	14.4	12.1	7.23	7.47	11.5
Dureza mg/L	148	192. 0	172	80	76	104	224	144	148	92.0	96.0	96.0
STD mg/L	132.8	167. 2	182.5	191	210. 1	217. 4	114	117. 9	119.1	133. 6	126.8	136.1
Turbidez NTU	7.1	27.1	37	153	158. 0	200	3.04	2.71	4.2	9.50	10.30	8.2
C. Electrica us/cm	154.6	199. 1	198.5	162. 4	165. 1	165. 3	187	193. 3	195.2	143. 2	153.6	162.7
pH	7.8	7.7	7.8	7.7	7.9	7.9	8.2	8.3	8.19	7.98	8.20	8.1
Temp. °C	9.6	10.8	12.1	12.1	11	12	10.9	12.6	12.6	14.9	19.4	16.4
OD mg/L	7.9	7.5	7.6	7.3	7.6	7.6	7.4	7.4	7.18	9.92	6.21	6.7
<b>Parámetros Biológicos</b>												
DBO5 mg/L	2.48	2.22	2.07	2.2	2.37	1.9	2.5	2.54	1.91	6.70	6.06	6.61
Coliformes Fecales mg/L	141.9	603. 2	1185. 6	166. 4	478. 4	270. 4	832	979. 6	1206. 4	374. 4	1996. 8	2018.3

Nota: <sup>1</sup>Puntos de muestreo julio. <sup>2</sup>P. de muestreo agosto. <sup>3</sup>P. de muestreo septiembre. <sup>4</sup>P. de muestreo octubre.

Los datos comparativos de los límites máximos permisibles (LMP) se presentan en el

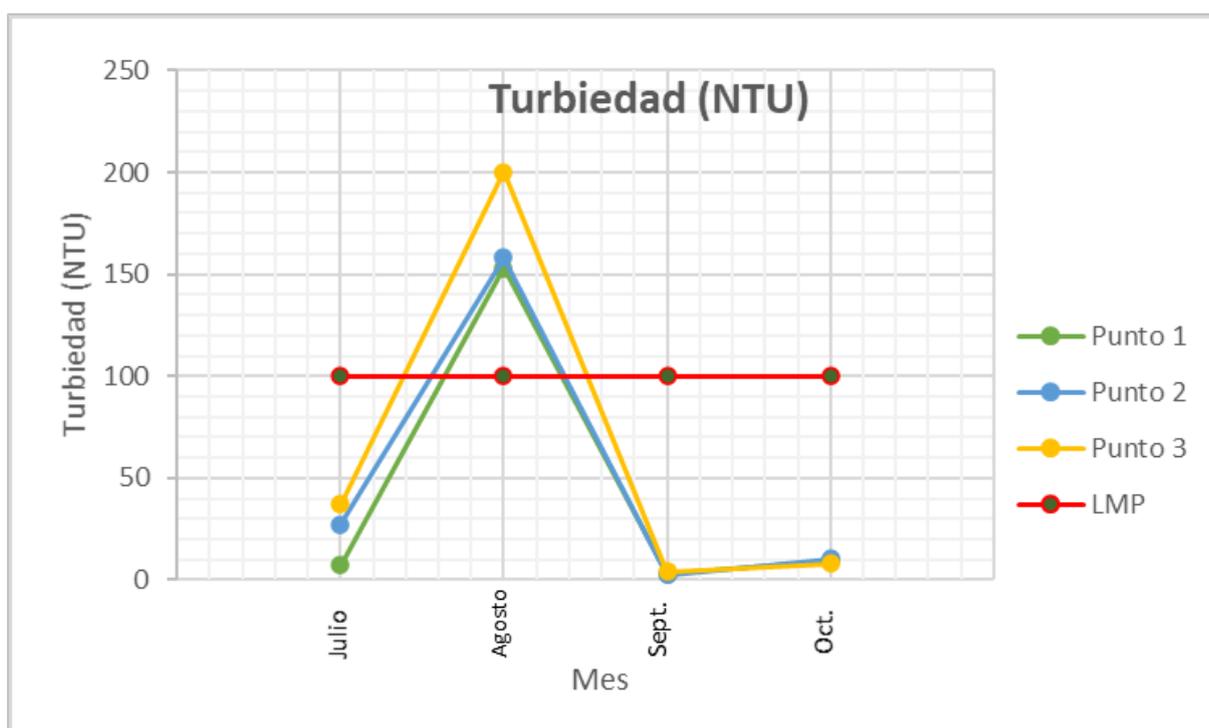
## “EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA MEDIANTE EL ÍNDICE DE CALIDAD DE AGUA ICA-NSF DEL RÍO QUERO, CANTÓN QUERO”

ANEXO A. Y para mejor asimilación, dentro de los resultados se graficó las curvas de dispersión de aquellos parámetros que se encontraban sobre el LMP.

### Turbiedad, DBO<sub>5</sub> y Coliformes Fecales

Respecto a la turbiedad, en la Figura 4 se denota que en el punto 1 las aguas presentan menor turbiedad que en el punto 2 y punto 3. Esto es debido a que en el mes de agosto la turbidez sobrepasó el LMP, el incremento repentino que infiere es resultado de un deslizamiento de colina aguas arriba que el autor documentó en el momento del muestreo (ver Tabla 2). Tanto el criterio documentado como los resultados presentados nos dan la pauta para aseverar que este dato resultante no se lo tome como efecto de las actividades antrópicas, sino como resultado de ciclos ambientales.

**Figura 4.** Resultados de Turbiedad



Los valores de DBO<sub>5</sub> (Demanda Biológica de Oxígeno) mostrados en la Figura 5 visibilizan un patrón poco cambiante entre los puntos muestra y los LMP, y no es claro que el valor de este parámetro vaya en aumento conforme se avanzó al punto 3, lo cual resulta nada

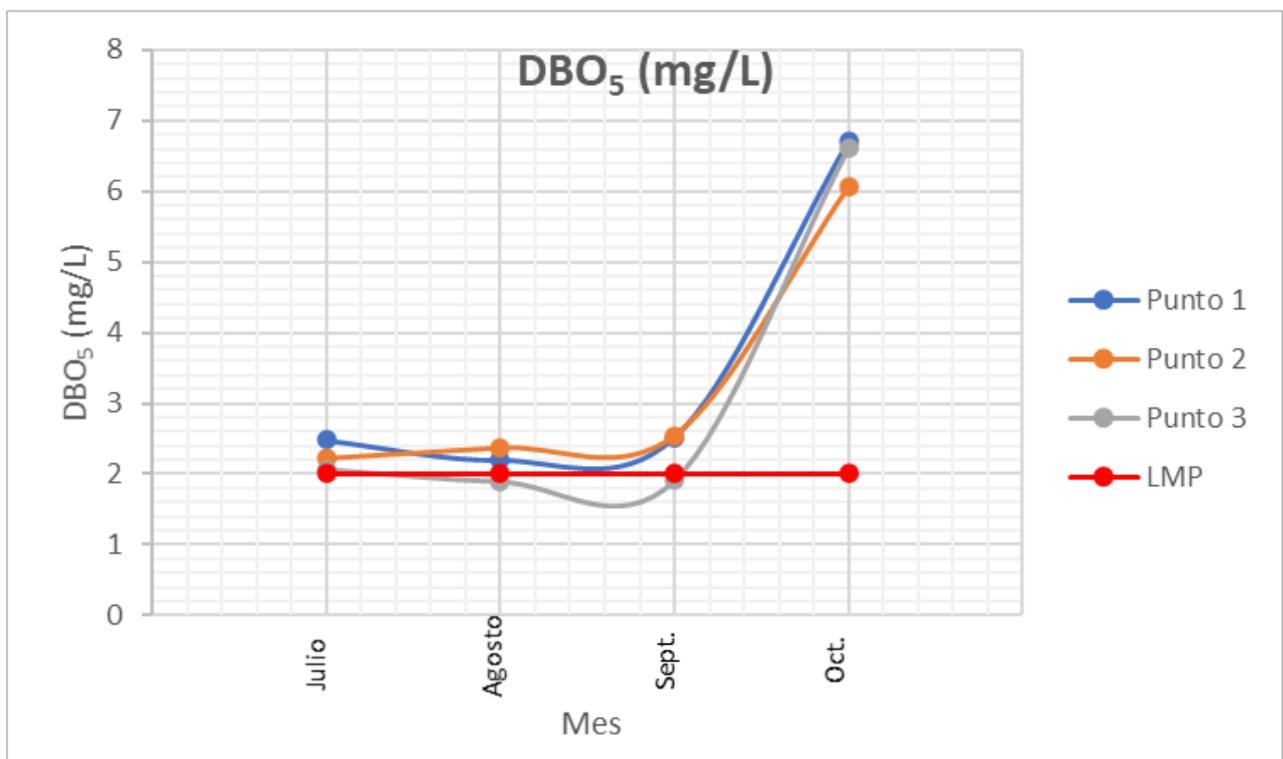
“EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA MEDIANTE EL ÍNDICE DE CALIDAD DE AGUA ICA-NSF DEL RÍO QUERO, CANTÓN QUERO”

favorable. Al contrario, en octubre se observa que, del punto 1 al punto 2 su valor se ubica dentro del LMP hasta llegar al punto 3, en el cual, su valor es aún más favorable.

En el mes de agosto la calidad del DBO5 disminuyó del punto 1 al punto 2, luego al pasar al punto 3 la calidad mejoró. El comportamiento de septiembre y julio fue similar al de agosto, y finalmente en el mes de octubre el comportamiento de calidad fue, al contrario, de los anteriores meses; se observó una mejora de calidad del DBO5 en el punto 2 respecto del punto 1. Se considera que esta variación se da debido a que, cercano al punto 2 existe la entrada de un canal de riego y el desagüe de una alcantarilla.

Consecuentemente, se visualiza que al transcurrir los meses existe el incremento abrupto de DBO5 hasta llegar a la temporada seca.

**Figura 5.** Resultados de DBO5



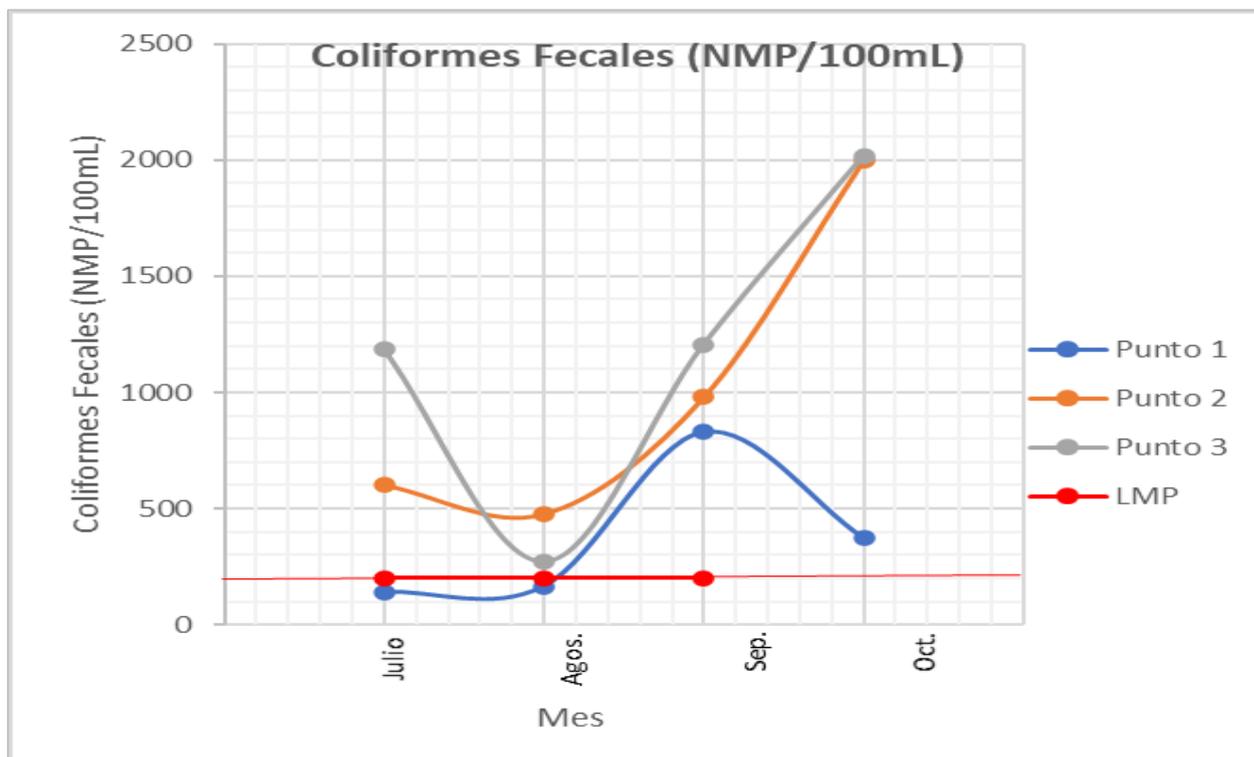
La variación de las curvas de coliformes fecales (Figura 6) indican que, en los meses de julio, septiembre y octubre el punto 1 es de mejor calidad que en el punto 2 y este a su vez de mejor calidad que el punto 3. Complementariamente el muestreo realizado en agosto, denotó

## “EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA MEDIANTE EL ÍNDICE DE CALIDAD DE AGUA ICA-NSF DEL RÍO QUERO, CANTÓN QUERO”

que la calidad del punto 1 es superior al punto 3 y este es superior al punto 2.

Se visualiza (Figura 6) que hay un incremento considerable de coliformes fecales al pasar de temporada lluviosa a temporada seca.

**Figura 6.** Resultados de Coliformes Fecales



### Cálculo del error del balance iónico.

De acuerdo a los protocolos de la investigación se aplicó la ecuación de error posible, obteniendo así validación de resultados por medio del cálculo, dicho cálculo consideró que las muestras analizadas tuvieron variaciones de conductividad entre 150 ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) a 200 ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), por lo que su error admisible es de 30%, lo cual encaja en las apreciaciones de validez que narra Escudero en su investigación, *Determinación de la calidad de agua mediante un análisis hidroquímico, [...]* en (2021)

$$\text{Error (\%)} = 100 * \frac{\sum \text{cationes} - \sum \text{aniones}}{\sum \text{cationes} + \sum \text{aniones}}$$

Efectuadas las operaciones correspondientes se puede visualizar los resultados finales

## “EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA MEDIANTE EL ÍNDICE DE CALIDAD DE AGUA ICA-NSF DEL RÍO QUERO, CANTÓN QUERO”

en el ANEXO C de la presente investigación.

Como anotación, la validación de los resultados por parte del error admisible obtenido, se puede evidenciar en los puntos S.P2 y O.P2 que sostienen valores cercanos al error admisible (30%), y además aprecio en el punto A.P1 un error de 40% posiblemente por su alta turbidez.

### **Relaciones iónicas.**

Las relaciones calculadas (Tabla 8) dieron valores que indican que las aguas son de origen continental.

En los cálculos (Tabla 8) se obtiene que la relación iónica  $rMg/rCa$  mantiene en su mayoría resultados de valores cercanos o iguales a 1, indicador muy común de que el cuerpo de agua posee un considerable contenido de dolomitas.

La variación de la relación  $rSO4/rCl$  (Tabla 8) presentó un patrón durante el lapso de ejecución de la investigación, el valor de la relación baja en casi una unidad al pasar del punto 1 al punto 2, esto es característico del aporte de sales al afluente; mientras que, al pasar del punto 2 al punto 3, dicho valor aumenta, este comportamiento suele ser característico de contaminación industrial o agrícola.

Finalmente, la relación  $rCl/rCO3H$  (Tabla 8) indica que, en todos los casos, los valores suben y luego bajan conforme pasa del punto 1 al punto 2 y del punto 2 al punto 3 respectivamente; este comportamiento usualmente está relacionado a procesos de mineralización en el cuerpo de agua.

**Tabla 5.** Resultados de las Relaciones Iónicas

N°	Código de muestra	$rK/rNa$	$rNa/rK$	$rMg/rCa$	$rSO_4/rCl$	$rCl/rCO_3H$	$r(Cl-Na+K+)/r(Cl-)$	$(rCa*(rHCO_3)^2)^{1/3}$
1	J.P1	0.09	11.76	1.18	2.34	0.12	-33.53	1.33
2	J.P2	0.06	16.23	1.09	1.42	0.21	-5.59	1.47
3	J.P3	0.08	12.82	1.15	1.65	0.18	-16.17	1.40
4	A.P1	0.13	7.72	0.82	2.15	0.18	-42.49	1.05
5	A.P2	0.13	7.81	0.27	1.60	0.35	-7.14	1.05
6	A.P3	0.14	7.25	1.00	1.92	0.30	-17.47	0.95
7	S.P1	0.08	12.88	2.74	3.68	0.18	-16.66	1.38
8	S.P2	0.07	13.64	1.26	2.51	0.23	-3.71	1.61
9	S.P3	0.07	14.60	1.06	3.19	0.23	-11.51	1.46
10	O.P1	0.15	6.72	1.31	0.72	0.07	-45.59	1.84
11	O.P2	0.17	6.02	1.19	0.49	0.07	-13.10	2.04
12	O.P3	0.18	5.61	1.00	0.96	0.10	-15.44	2.10

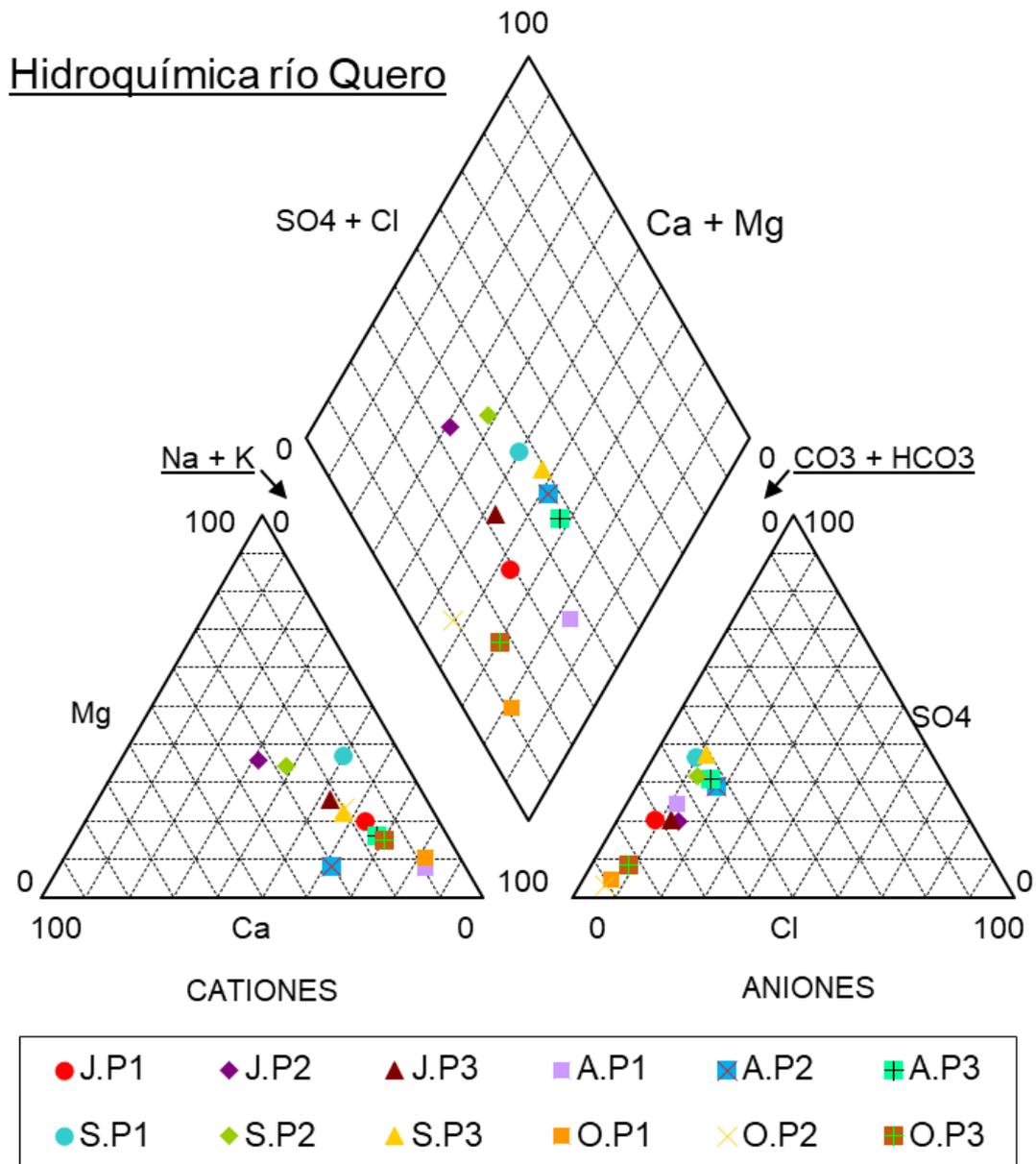
### Diagrama de Piper

Los resultados al ingresar las muestras en el diagrama de Piper (Figura 7), nos indican que, en el triángulo de los cationes las muestras se distribuyen de la siguiente forma: **Na + K** se encuentran entre 31% hasta 83%; **Mg** entre 8% hasta 38 %; **Ca** entre 18% a 68%. Lo cual ubica al cuerpo de agua en un tipo de agua sódica, sódica cálcica y cálcica magnésica.

En cuanto al resultado de los aniones ubicados en el diagrama la distribución nos exhibe: una baja presencia del **Cl-** con valores entre 5% hasta 20%; **SO4** entre 2% hasta 40%; **HCO3+CO3** entre 50% hasta 90%; Asimismo se ubicó en el diagrama general de entre 50% hacia 90% para **Ca+Mg**, y **SO4+Cl** se ubicaron entre 10% hacia 50% dando como resultado que el cuerpo de agua de tipo bicarbonatada, cálcica, magnésica, y bicarbonatada sódica.

En consecuencia, tenemos que, en temporada lluviosa el resultado la considera de tipo bicarbonatada cálcica y/o magnésica y en temporada seca se ubica como un tipo de agua bicarbonatada sódica.

**Figura 7.** Representación Hidroquímica del Rio Quero



Nota: Diagrama desarrollado mediante el programa *EASY QUIM*.

### Diagrama de Schoeller-Berkaloff

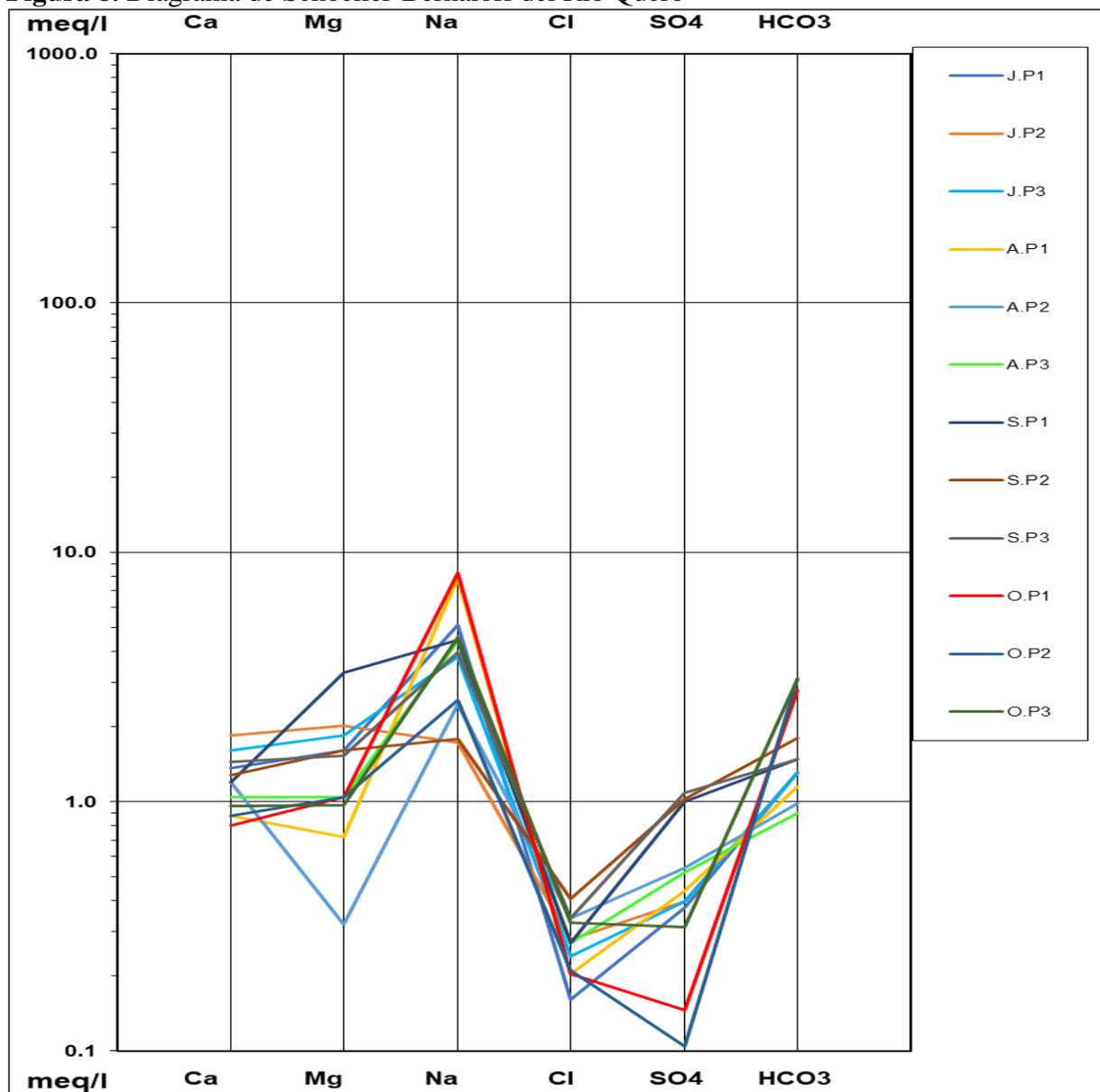
Los análisis de las muestras recolectadas del Río Quero también se graficaron bajo parámetros del diagrama de Schoeller-Berkaloff, (Figura 8), el cual confirma las concentraciones obtenidas en el diagrama de Piper.

Del diagrama (Figura 8) se obtiene como resultado, que existe la presencia de cationes como elementos mayoritarios. Se identificó en este caso al sodio ( $(Na^+)$ ), junto con el bicarbonato ( $(HCO_3^-)$ ) confirmando la existencia de agua bicarbonatada.

## “EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA MEDIANTE EL ÍNDICE DE CALIDAD DE AGUA ICA-NSF DEL RÍO QUERO, CANTÓN QUERO”

Se observa además que, existe disminución de sulfatos con el pasar de la temporada lluviosa a la seca debido a que el resultado de las pruebas de laboratorio arrojó que, en octubre el valor de los sulfatos se encuentra en un mínimo de 0.1 meq/L.

**Figura 8.** Diagrama de Schoeller-Berkaloff del Río Quero



### Índice ICA-NSF

Cálculos e interpolaciones en cada punto de muestreo se encuentran detallados en el ANEXO D. Luego de los análisis, a manera de síntesis se presentan los resultados obtenidos (Figura 9.)

“EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA MEDIANTE EL ÍNDICE DE CALIDAD DE AGUA ICA-NSF DEL RÍO QUERO, CANTÓN QUERO”

**Figura 9.** Resultados ICA-NSF Río Quero



Los rangos de las muestras mensuales en promedio se encuentran entre 55 a 67 puntos de ICA-NSF, calificando así al Río Quero con una calidad regular, aceptable para especies poco sensibles. Se puede observar que solo en los meses de julio, agosto y septiembre existe disminución de la calidad con relación al punto 2 y contrariamente existe un aumento de calidad al llegar al punto 3. La disminución de la calidad podría deberse a la unión de ductos con aguas servidas previo al punto 2 y el aumento de calidad en el punto 3 puede ser el resultado de la unión de acequias de regadío en su trayecto.

Al analizar el comportamiento con respecto al tiempo, se tiene que en julio y octubre los valores de calidad son mejores que en agosto y septiembre.

Respecto a las variaciones de la calidad en función a las precipitaciones tenemos que, julio, agosto y septiembre (alta precipitación) en promedio tienen valores de calidad menor en relación a octubre (temporada seca). Se concluye de esta manera tomando en cuenta que, el subíndice de la variación de temperatura incrementó al doble, y según el método usado existe

“EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA MEDIANTE EL ÍNDICE DE CALIDAD DE AGUA ICA-NSF DEL RÍO QUERO, CANTÓN QUERO”

un axioma que dice que al aumentar la temperatura la calidad de agua mejora.

Así también es necesario integrar el resultado del subíndice de fosfatos, que incremento cuatro veces más en octubre su valor con respecto a los meses agosto y septiembre; por lo que infiere que el día del muestreo realizado no hubo aporte de aguas de regadío.

## DISCUSIÓN

¿Es considerable la variación espacio-temporal de contaminación que recibe un río al cruzar una zona poblada rural dedicada a la agricultura, ganadera y agropecuaria? La conclusión nos lleva a pensar que sí, puesto que en ocasiones el Río Quero sobrepasa los límites máximos permisibles de contaminación. Se contesta esta pregunta considerando implicaciones, en las cuales se ha centrado la discusión del actual trabajo investigativo:

Luego de la recolección bibliográfica para el estudio se halla un patrón de escritura que los autores incluyen en sus trabajos; la idea de lo importante que es un cuerpo de agua para el desarrollo de una sociedad, así como (Estrella & Chamorro, 2021) quienes en su análisis de 2021 *Determinación de la calidad de agua en la cuenca baja del río de paute [...]*, reflexionan sobre lo difícil que es tener una muestra bioquímica de un cuerpo de agua donde no se pueda hallar injerencias humanas que alteren su composición microbiológica, física y química.

Dentro de los datos recabados en el trabajo el río, objeto de estudio, presenta una extensión relativamente corta 3.7 km y se encuentra bordeando una población relativamente pequeña y poco industrializada. Pese a eso su ICA refleja que es un cuerpo de agua de calidad regular apto para especies poco sensibles. Se puede inferir mediante los resultados que la razón para obtener un resultado como ese en una trayectoria tan corta se puede deber a factores como: un Municipio que no cuenta con los recursos para diseñar un plan que contemple una planta de tratamiento de aguas servidas, o que existe muy pocas zonas donde el cuerpo de agua se coteja con otros cauces o también sus características físicas no le permiten desplazar su trayecto a una velocidad que reduzca la cantidad de tiempo que está expuesto a los desechos de la zona rural.

La normativa ambiental (Ministerio del Ambiente del Ecuador, 2015) da a conocer a breves rasgos si un cuerpo de agua presenta algún nivel de contaminación, el cual da una breve información de su estado, por lo que los resultados que se tuvieron del ICA-NSF brinda una mejor confiabilidad de su estado al considerar en una sola ecuación sus nueve parámetros, por

## “EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA MEDIANTE EL ÍNDICE DE CALIDAD DE AGUA ICA-NSF DEL RÍO QUERO, CANTÓN QUERO”

lo que, en un inicio se tuvieron rangos fuera de los LMP como fueron los Coliformes fecales, DBO5, y la turbidez; los cuales al realizar la comparación con respecto al tiempo de muestreo, se tuvieron variaciones con las que se asumiría que en temporada seca sería la muestra más contaminada, y lo que finalmente se tuvo fue lo contrario, pero eso no descarta los elevados valores encontrados de los parámetros mencionados. Por lo que, se debería considerar la revisión de saneamiento por parte de la gestión municipal.

Existe una correlación en los resultados que se tuvieron del ICA-NSF con respecto a la caracterización espacio-temporal hidroquímica del agua, los que señalan que, del punto 1 al punto 2 existe la unión de un ducto contaminante (desfogue de una alcantarilla) ya que su índice de calidad y componentes hidroquímico cambian hasta indicar que el agua es de menor calidad, mientras que entre el punto 2 y punto 3 existe un agente de purificación de agua, el cual es un cuerpo de agua menor, además de una zona de aireación del agua (una cascada), este segundo factor comprueba lo visto en un estudio realizado en Ucrania en el cual se concluye que, la influencia de áreas hidrodinámicamente activas como arroyos o cascadas crean efectos purificantes superficiales de contaminantes biológicos o artificiales (Snitynskyi et al., 2021). En tal virtud al extrapolar los datos obtenidos en el punto 3 con respecto al punto 2, la calidad mejoró en el mes de agosto de 55.39% a 56.18% un 0.8%, al igual en septiembre el cual tuvo una mejora del 1.5%, seguido por el mes de octubre que mejoró un 0.23%. Pero los resultados arrojaron una caída del 3.7% en calidad en el mes de julio debido a la presencia de intensas lluvias. Lo cual deja abierta la necesidad de un estudio que someta el agua lluvia a un ICA NSF y a un análisis hidroquímico para definir el agua lluvia del sector como un factor contaminante o no.

Otra interpretación de los resultados de la calidad del agua pone en discusión la injerencia de la población respecto a que se demuestra la presencia de agentes químicos en el Río Quero que usualmente son usados en productos agroquímicos como fertilizantes, cotejando

## “EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA MEDIANTE EL ÍNDICE DE CALIDAD DE AGUA ICA-NSF DEL RÍO QUERO, CANTÓN QUERO”

esta afirmación con los datos obtenidos con el estudio de los Ríos Yangze y Yellow en China, en el cual se determinó que las actividades antrópicas efectivamente contribuyen al deterioro de la calidad del agua en función a los cambios estacionales (Xu et al., 2022), nos da una visión general del nivel de impacto que una población relativamente pequeña puede causar a un afluente. Dicho estudio obtiene resultados similares a los presentes recabados en la investigación que se ha llevado a cabo, los cuales en síntesis demuestran que, en los meses de la temporada lluviosa el ICA es menor con respecto al ICA en temporada seca. Sus resultados finalizan demostrando que en temporada lluviosa la escorrentía de los suelos agrícolas tiene como destino el cauce, y en esta investigación la situación geográfica e hídrica son propicios para que se dé el mismo fenómeno.

Con respecto al cambio de temporada, los resultados obtenidos son compartidos con los del estudio llevado a cabo con respecto a la variación de la calidad del agua entre los cambios estacionarios y la influencia por el uso del suelo en el Lago Muhazi, en la República de Rawanda, en el cual concluyeron que en las temporadas lluviosas existe el incremento de contaminantes sobre el lago. (Umwali et al., 2021). Asimismo, es importante analizar la reducción del contenido de nitrato, mismo que es la materia prima de los fertilizantes, en los puntos donde termina el río. En temporada lluviosa en el cantón Quero en promedio se tuvo 4.3 mg/L de  $\text{PO}_4^-$  y en temporada seca se tuvieron 3 mg/L de  $\text{PO}_4^-$ , lo que dio como resultado el incremento al 76% del subíndice del nitrato del ICA-NSF en temporada lluviosa, en comparación al 31% en temporada seca. Como apreciación final, se calculó el valor promedio del ICA-NSF para temporada lluviosa fue de 57.4%, y para la temporada seca se tuvo 62.74%; se obtiene un 5.4% de mejora. Estos resultados van de la mano con el estudio del Consejo Hídrico Federal ((COHIFE), 2018), el cual determina que los compuestos nitrogenados son buenos indicadores de contaminación, ya que presentan una baja absorción en el suelo y que presentan alta movilidad.

## “EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA MEDIANTE EL ÍNDICE DE CALIDAD DE AGUA ICA-NSF DEL RÍO QUERO, CANTÓN QUERO”

El comportamiento espacio-temporal de la hidroquímico del río en función de sus relaciones iónicas, (relaciones  $rNa/rK$  cercanos o iguales a 1) permite deducir que el reservorio principal del agua del río proviene de terrenos dolomíticos, con presencia de rocas ígneas, en donde exista una posible dilución de feldespatos, lo cual dota al cuerpo de agua con características mixtas identificados entre aguas de tipo bicarbonatada de calcio y de tipo bicarbonatada magnésica cálcica, en consecuencia se infiere que el contenido de agua contiene más ácidos débiles que fuertes, lo cual la dota de características apropiadas para consumo humano y regadío agrícola.

Usando el diagrama de Piper se prevee que, en temporada lluviosa la concentración de puntos en la parte central es alta, mientras que en temporada seca se denota que existe la tendencia a estabilizarse como un agua bicarbonatada cálcica, es decir, atraviesa un proceso de ablandamiento del agua, adicionalmente, el diagrama de Schoeller (1962) da una clara visión sobre el orden  $Ca-Mg-Na$  para los cationes, y se identifican en los aniones que hay predominancia de bicarbonatos, estos resultados son similares al estudio hidroquímico del sistema de acuífero Guaraní realizado por Marcon en 2021, quien define que este tipo de comportamientos se debe a la intervención de aguas residuales antropogénicas debido a la variación del contenido de sodio, potasio, cloruros y nitratos de las actividades diarias de las personas oriundas del sitio. (Marcon et al., 2021).

## CONCLUSIONES

- El agua del río Quero es de calidad regular, aceptable para especies poco sensibles y usable para actividades de riego agrícola, y con fines recreativos, pero no apta para consumo humano sin previo tratamiento eficiente.
- El agua del Río Quero pese a estar dentro de la categoría de calidad regular de buen indicador para regadío, según los análisis hidroquímicos realizados tiene la capacidad de alcalinizar los suelos por sus características de tipo bicarbonatadas sódica, lo cual la convierte en un riesgo para el riego de cultivos, sobre todo en temporada seca.
- Las principales fuentes de contaminación antrópica del Río Quero son: desfogue del sistema de alcantarillado del cantón y comunidades aledañas en el cauce del río, el relleno sanitario cerrado cercano al cauce, pero sin fugas evidentes de lixiviados, y las actividades agropecuarias.
- Los componentes que se encuentran sobre el límite máximo permisible según la normativa vigente son: los coliformes fecales, DBO5 y la turbiedad.
- La hidroquímica del agua del Río Quero es de tipo Bicarbonatada sódica, según los patrones encontrados predominan aniones de bicarbonatos y cationes de sodio, típico en aguas continentales.
- El análisis del ICA-NSF indicaron que desde el punto inicial del río Quero al segundo punto muestreado el valor del caudal asciende y el valor ICA desciende, debido a la unión de aguas de escorrentía, regadío y alcantarillado; y al tercer punto muestreado el valor del caudal asciende y el valor del ICA asciende por la presencia del accidente geográfico de la cascada Jun Jun que ayuda a la purificación del agua; a excepción del mes de julio que asciende su ICA debido a su alto caudal registrado.

## “EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA MEDIANTE EL ÍNDICE DE CALIDAD DE AGUA ICA-NSF DEL RÍO QUERO, CANTÓN QUERO”

- En temporada seca se evidenció un descenso de la contaminación del río con respecto a la temporada lluviosa, debido a que en la temporada lluviosa existe arrastre de contaminantes como fertilizantes de suelo, aceites, entre otros hacia el cuerpo hídrico.

### RECOMENDACIONES

- Concientizar a las personas que habitan en las zonas aledañas a disponer de sus desechos de una forma más amigable al ambiente con el apoyo del Gobierno Autónomo del cantón y en específico a través del departamento de gestión ambiental.
- Realizar un estudio con más estaciones en cada punto para valorar el cuerpo hídrico y conocer en qué estado se encuentra.
- Monitorear el río semestralmente para establecer correlaciones espaciales-temporales, en las dos épocas marcadas en la zona como lo son la seca y la lluviosa. Así como constantes caracterizaciones para definir el comportamiento anual del agua.

### AGRADECIMIENTOS

Se hace un especial agradecimiento a las personas e instituciones que hicieron posible la realización del presente trabajo de investigación quienes son Dra. Gina Álvarez, Dr. Miguel Mestre, y a mi padre, Francisco Sanguil, ya que fueron los que con su guía, apoyo e instrucción, he tenido la destreza de culminar de este modo la presente.

### REFERENCIAS CITADAS

- (COHIFE), C. H. F. (2018). *Apuntes sobre aplicaciones ambientales de la hidrogeoquímica*.
- (HGPT), H. G. P. de T. (2016). *Geo-Información del Departamento de Recursos Hídricos*.  
<https://rrnn.tungurahua.gob.ec/#/inicio/mapas>
- (INAMHI), I. N. de M. e H. (2021). *Datos Meteorológicos del cantón Quero*.  
<http://www.inamhi.gob.ec/>
- (INEC), I. N. de E. y C. (2010). *Instituto Nacional de Estadísticas y Censos, Cantón Quero*.
- (INEC), I. N. de E. y C. (2016). *Estadística de información ambiental económica en gobiernos autónomos descentralizados municipales 2015 (agua y alcantarillado)*. 2015.
- (INEN), I. ecuatoriano de normalización. (2013a). *Agua. Calidad del agua. Muestreo. Manejo y conservación de muestras. NTE INEN 2169:2013*.
- (INEN), I. ecuatoriano de normalización. (2013b). *Agua. Calidad del agua. Muestreo. Técnicas de muestreo. INEN 2176:2013*.
- (MAE), M. del A. del E. (2016). *Estrategia nacional de calidad del agua*.
- Ajcabul, A. (2016). Análisis comparativo entre el índice simplificado de calidad del agua (Isqa) y el índice de calidad del agua (Ica), aplicados al monitoreo de aguas superficiales en el río la Quebrada, El Frutal. *Universidad De San Carlos De Guatemala Facultad De Ingeniería*, 1–75.
- Al, C. E. T. (2019). *Thermodynamic and Dynamic Responses to Deforestation in the Maritime Continent : A Modeling Study*. 3505–3527. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-18-0310.1>
- American Public Health Association. (2017). *Standard methods for the examination of water and wastewater* (22nd ed.).
- Brown, R. M., McClelland, N. I., Deininger, R. A., & Tozer, R. G. (1970). *A Water Quality Index Do We Dare? Water and Sewage Works*.

“EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA MEDIANTE EL ÍNDICE DE CALIDAD DE AGUA ICA-NSF DEL RÍO QUERO, CANTÓN QUERO”

- Carrillo, M., & Urgilés, P. (2016). *Determinación del Índice de calidad de agua ICA-NSF de los ríos Mazar y Pindilig*. 126.
- Chen, L., Li, J., Tang, Y., Wang, S., Lu, X., Cheng, Z., Zhang, X., Wu, P., Chang, X., & Xia, Y. (2021). Typhoon-induced turbulence redistributed microplastics in coastal areas and reformed plastisphere community. *Water Research*, 204, 117580.  
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.watres.2021.117580>
- Cristable, R. M., Nurdin, E., & Wardhana, W. (2020). *Water quality analysis of Saluran Tarum Barat , West Java , based on National Sanitation Foundation-Water Quality Index ( NSF-WQI )* Water quality analysis of Saluran Tarum Barat , West Java , based on National Sanitation Foundation-Water Quality. 0–6. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/481/1/012068>
- Escobar, J. (2002). Recursos Naturales E Infraestructura La contaminación de los ríos y sus efectos en las áreas costeras y el mar. In *Ingeniare Revista chilena de ingenier* (Vol. 17, Issue 3). <http://www.eclac.org/publicaciones/xml/9/19539/lcl2169e.pdf>
- Escudero, J. (2021). *Determinación de la calidad de agua mediante un análisis hidroquímico, en la comunidad Ponce Quilotoa, Parroquia Zumbahua, Provincia de Cotopaxi*.
- Estrella, M., & Chamorro, S. (2021). *Determinación de la calidad de agua en la cuenca baja del río de paute contrastando parámetros físico químicos y biológicos (diatomeas epilíticas)* [SEK]. <http://repositorio.uisek.edu.ec/handle/123456789/4224>
- GADM Quero. (2020). Plan de Desarrollo de Ordenamiento Territorial del Cantón Santiago de Quero. *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de Aguarico*, 157.
- Gradilla-Hernández, M. S. et al. (2020). *Assessment of the water quality of a subtropical lake using the NSF-WQI and a newly proposed ecosystem specific water quality index*. 1–19.
- Ilbay-yupa, M., Ilbay, F., Zubieta, R., Garc, M., & Chasi, P. (2021). *Impacts of Climate Change on the Precipitation and Streamflow Regimes in Equatorial Regions : Guayas*

“EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA MEDIANTE EL ÍNDICE DE CALIDAD DE AGUA ICA-NSF DEL RÍO QUERO, CANTÓN QUERO”

*River Basin.*

- Marcon, C., Leite, D. C., Wendland, E., & Gastmans, D. (2021). *Caracterização hidrogeoquímica de águas subterrâneas utilizadas para abastecimento público na porção nordeste do Sistema Aquífero Guarani.* 29–43.
- Ministerio del Ambiente del Ecuador. (2015). Acuerdo Ministerial 097-A. *Libro VI, Anexo 4,* 184.  
<http://extwprlegs1.fao.org/docs/pdf/ecu112183.pdf>  
[http://www.quitoambiente.gob.ec/ambiente/images/Secretaria\\_Ambiente/red\\_monitoreo/informacion/norma\\_ecuato\\_calidad.pdf](http://www.quitoambiente.gob.ec/ambiente/images/Secretaria_Ambiente/red_monitoreo/informacion/norma_ecuato_calidad.pdf)
- Mohammed, E. M. I., Hassan, T. T., Idris, E. A., & Abdel-Magid, T. D. (2021). Tree population structure, diversity, regeneration status, and potential disturbances in Abu Gadaf natural reserved forest, Sudan. *Environmental Challenges*, 5(August).  
<https://doi.org/10.1016/j.envc.2021.100366>
- Morante-carballo, F., Vargas-ormaza, V., & Apolo-masache, B. (2021). *International Journal of Sustainable Development and Planning A Conceptual Socio-Hydrogeological Model Applied to Sustainable Water Management . Case Study of the Valdivia River Basin , Southwestern Ecuador.* 16(7), 1275–1285.
- Murali, M., Meenakshi, M., & Uma, R. N. (2020). *Surface water (wetlands) quality assessment in coimbatore (India) based on National Sanitation Foundation Water Quality Index.* 1–8. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/932/1/012049>
- Najafzadeh, M., Homaei, F., & Farhadi, H. (2021). Reliability assessment of water quality index based on guidelines of national sanitation foundation in natural streams : integration of remote sensing and data - driven models. In *Artificial Intelligence Review.* Springer Netherlands. <https://doi.org/10.1007/s10462-021-10007-1>
- Padaki, M., T. M., S., Prasad, D., Déon, S., & Jadhav, A. H. (2021). Electrospun nanofibers:

“EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA MEDIANTE EL ÍNDICE DE CALIDAD DE AGUA ICA-NSF DEL RÍO QUERO, CANTÓN QUERO”

- role of nanofibers in water remediation and effect of experimental variables on their nano topography and application processes. *Environmental Science: Water Research & Technology*, 7(12). <http://dx.doi.org/10.1039/D1EW00393C>
- Quevedo, P. E. R. (2017). *Evaluación de la calidad del agua en el humedal la tembladera utilizando índices de contaminación.*
- Sierra Ramirez, C. A. (2011). *Calidad del agua: evaluacion y diagnostico.* Ediciones de la U. <https://elibro.net/es/lc/uisekecuador/titulos/70981>
- Snitynskyi, V., Khirivskyi, P., Hnativ, I., Yakhno, O., Machuga, O., & Hnativ, R. (2021). *Visualization of River Water Flow in Hydrodynamically Active Areas under Different Flow Regimes.* 22(9), 129–135.
- Suñé, E. V. (2001). *Easy Quim, programa para graficar la hidroquímica del agua.*
- Umwali, E. D., Kurban, A., Isabwe, A., & Mind, R. (2021). Spatio - seasonal variation of water quality influenced by land use and land cover in Lake Muhazi. *Scientific Reports*, 1–16. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-96633-9>
- Vinueza, D., Ochoa-Herrera, V., Maurice, L., Tamayo, E., Mejía, L., Tejera, E., & Machado, A. (2021). Determining the microbial and chemical contamination in Ecuador’s main rivers. *Scientific Reports*, 11(1), 17640. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-96926-z>
- Xu, H., Gao, Q., & Yuan, B. (2022). Analysis and identification of pollution sources of comprehensive river water quality: Evidence from two river basins in China. *Ecological Indicators*, 135, 108561. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2022.108561>

ANEXO A

**ANEXO A1. Criterios de calidad de agua para consumo humano y doméstico que únicamente requieran de un tratamiento convencional**

Parámetros	Límites máximos permisibles	JULIO			AGOSTO			SEPTIEMBRE			OCTUBRE		
		J.P1	J.P2	J.P3	A.P1	A.P2	A.P3	S.P1	S.P2	S.P3	O.P1	O.P2	O.P3
Coliformes													
Fecales(NMP/100mL)	1000	141.96	603.2	1185.6	166.4	478.4	270.4	832	979.6	1206.4	374.4	1996.8	2018.31
DBO <sub>5</sub> (mg/L)	2	2.48	2.22	2.07	2.2	2.37	1.9	2.52	2.54	1.91	6.70	6.06	6.61
pH	6-9	7.87	7.78	7.87	7.77	7.96	7.92	8.2	8.3	8.19	7.98	8.2	8.1
Oxígeno Disuelto (mg/L)	>=80% y >=6 mg/L	7.96	7.56	7.59	7.31	7.58	7.64	7.45	7.4	7.18	6.92	6.21	6.78
Dureza (mg/L)	500	148	192	172	80	76	104	224	144	148	92	96	96
Cloruro (mg/L)	250	5.7	9.9	8.5	7.2	12.1	9.6	9.6	14.5	12.1	7.2	7.5	11.6
Fosfatos (mg/L)	No Especifica	1.4	1.37	0.96	0.73	1.1	0.73	3.52	2.57	1.73	0.24	0.35	0.43
Nitratos (mg/L)	10	2.1	2.6	3.6	5.4	2.8	5.3	3.6	4.3	4	3	3.3	4.3
Temperatura (°C)	+ ó - 3, Máx.20	9.6	10.8	12.1	12.1	11.02	12	10.9	12.6	12.6	14.9	19.4	16.44
Turbiedad NTU	100	7.1	27.1	37	153	158	200	3.04	2.71	4.21	9.5	10.3	8.2
STD (mg/L)	1000	132.8	167.2	182.5	191	210.1	217.4	113.9	117.9	119.1	133.6	126.8	136.1

ANEXO A

**ANEXO A2. Criterios de calidad de agua para el mantenimiento y conservación de fauna y flora en agua dulce del Ecuador**

Parámetros	LMP	JULIO			AGOSTO			SEPTIEMBRE			OCTUBRE		
		P1.1	P1.2	P1.3	P2.1	P2.2	P2.3	P3.1	P3.2	P3.3	P4.1	P4.2	P4.3
Coliformes													
Fecales(NMP/100mL)	200	141.96	603.2	1185.6	166.4	478.4	270.4	832	979.6	1206.4	374.4	1996.8	2018.31
DBO5 (mg/L)	2	2.48	2.22	2.07	2.2	2.37	1.9	2.52	2.54	1.91	6.70	6.06	6.61
pH	6,5-9	7.87	7.78	7.87	7.77	7.96	7.92	8.2	8.3	8.19	7.98	8.2	8.1
Oxígeno Disuelto (mg/L)	>=80% y >=6 mg/L	7.96	7.56	7.59	7.31	7.58	7.64	7.45	7.4	7.18	6.92	6.21	6.78
Sólidos Disueltos Totales (mg/L)	1000	132.8	167.2	182.5	191	210.1	217.4	113.9	117.9	119.1	133.6	126.8	136.1
Fosfatos (mg/L)	No Especifica	1.4	1.37	0.96	0.73	1.1	0.73	3.52	2.57	1.73	0.24	0.35	0.43
Nitratos (mg/L)	No Especifica	2.1	2.6	3.6	5.4	2.8	5.3	3.6	4.3	4	3	3.3	4.3
Temperatura (°C)	+ ó - 3, Máx.20	9.6	10.8	12.1	12.1	11.02	12	10.9	12.6	12.6	14.9	19.4	16.44

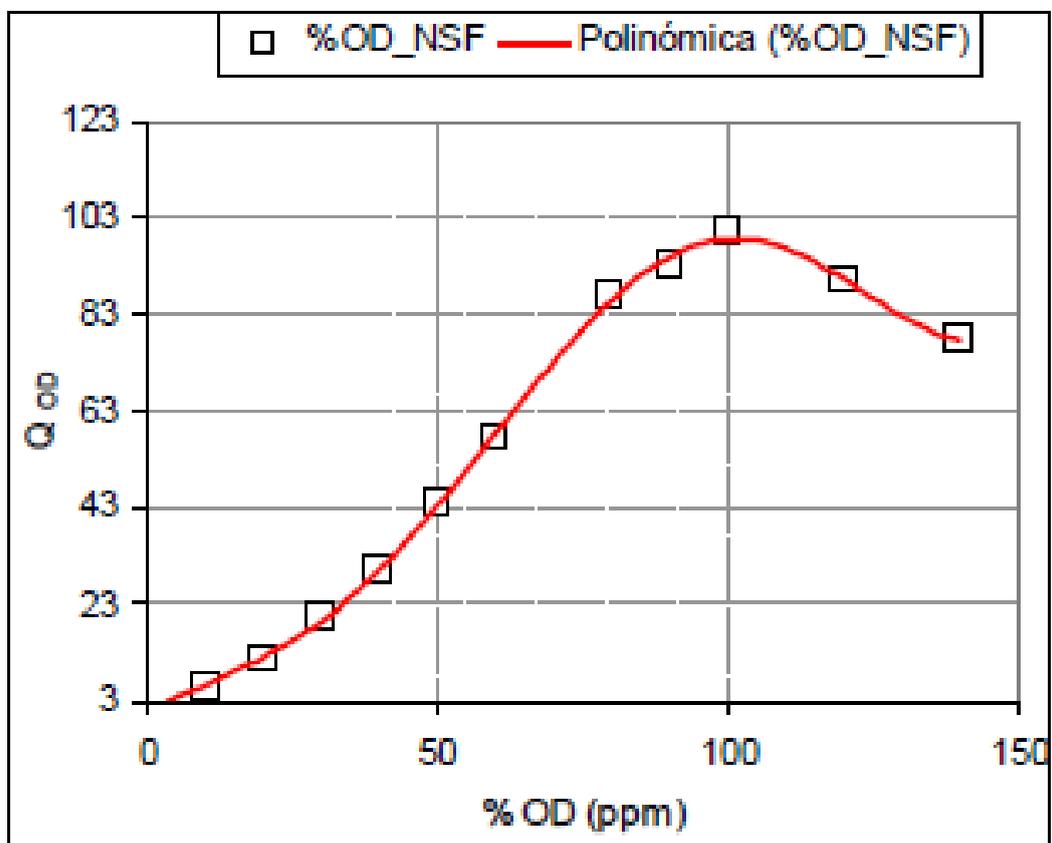
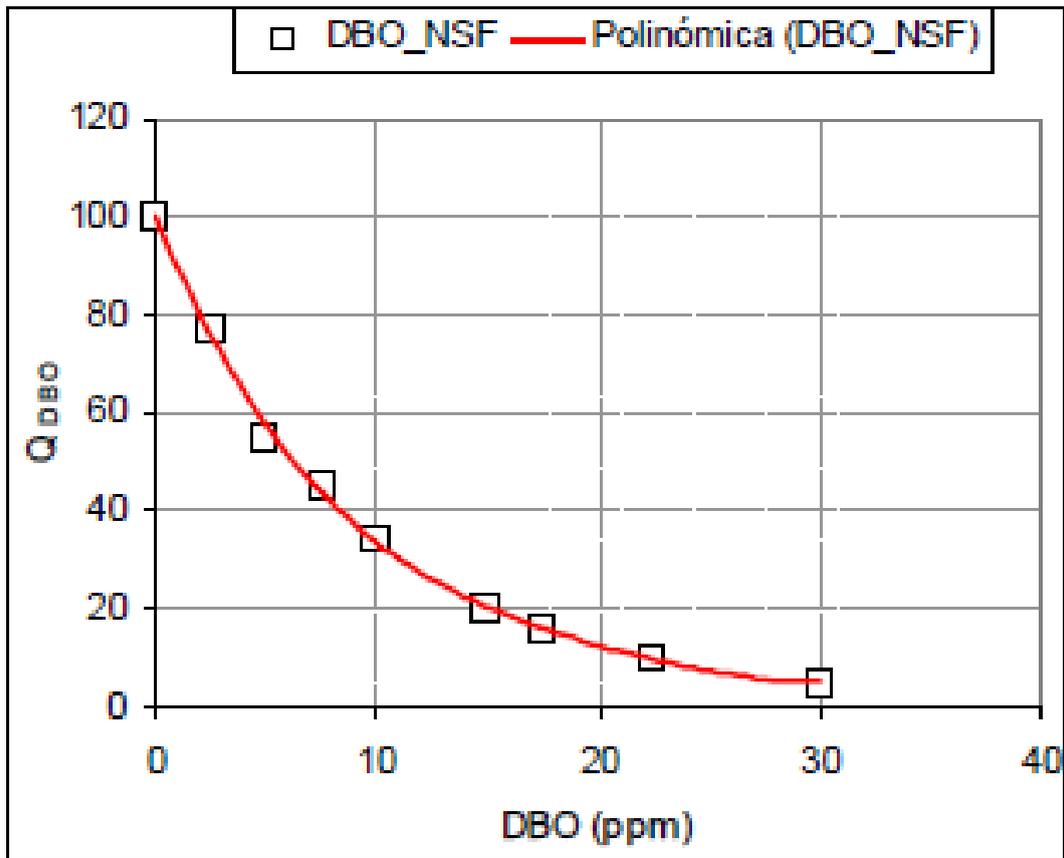
ANEXO A

Turbiedad (NTU)	100	7.1	27.1	37	153	158	200	3.04	2.71	4.21	9.5	10.3	8.2
-----------------	-----	-----	------	----	-----	-----	-----	------	------	------	-----	------	-----

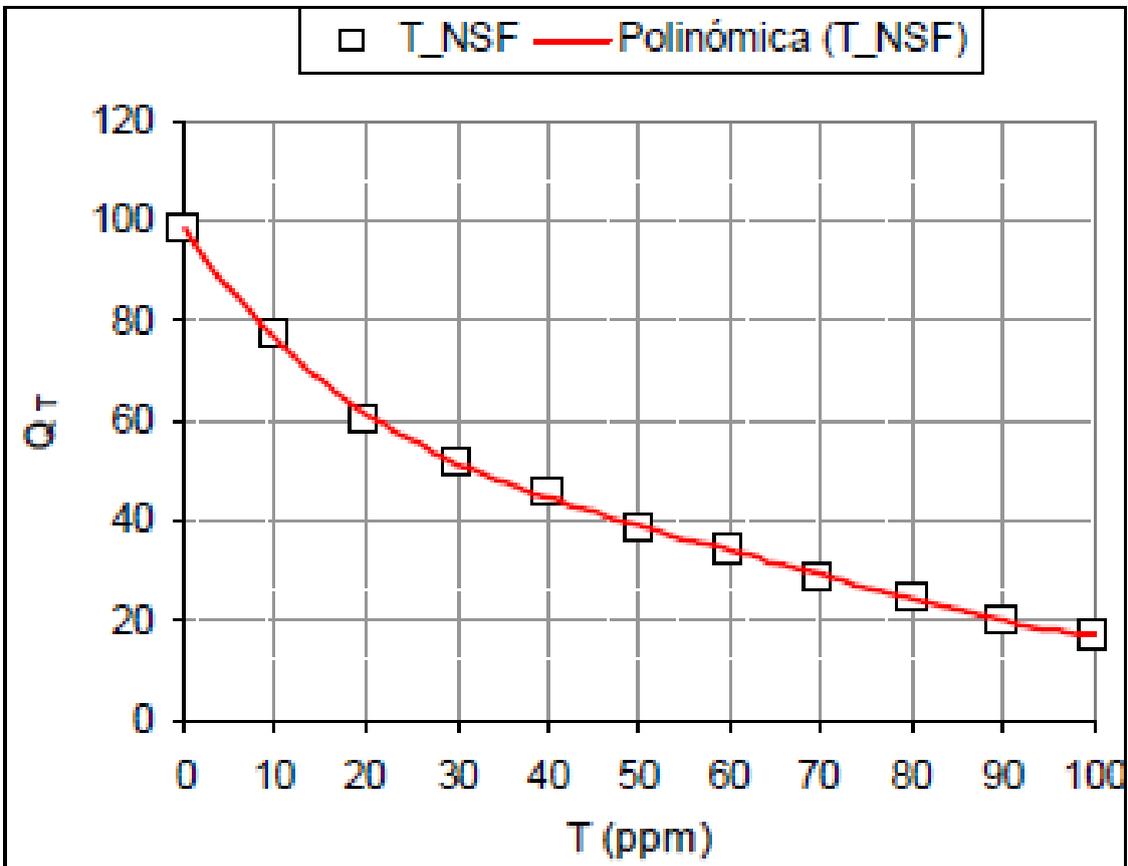
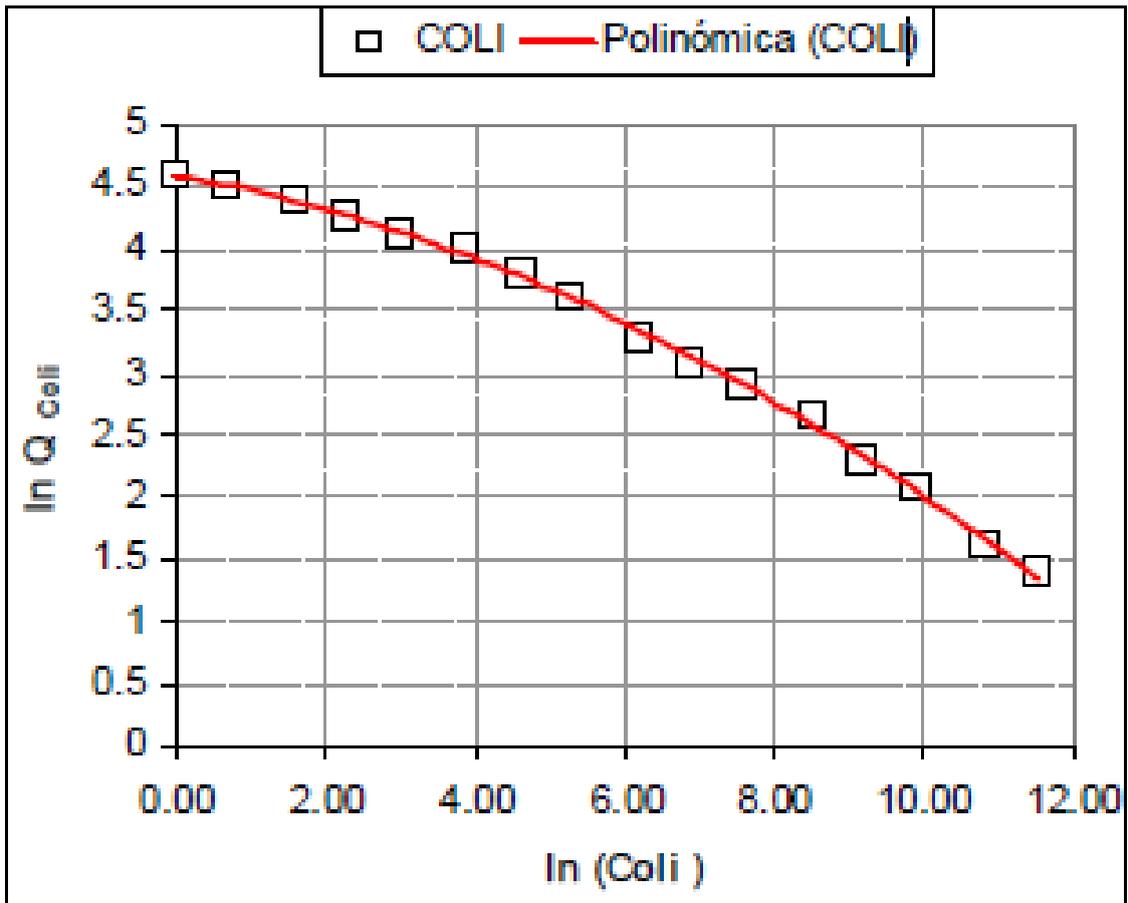
---

ANEXO B

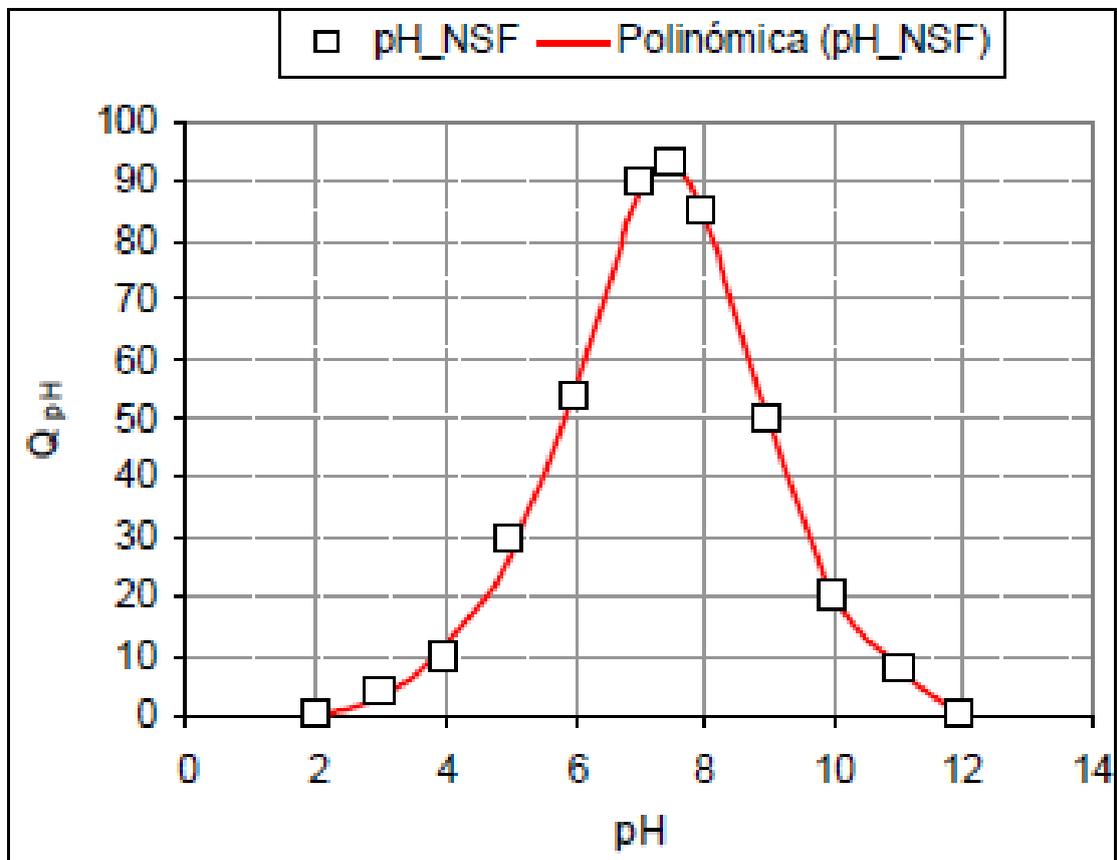
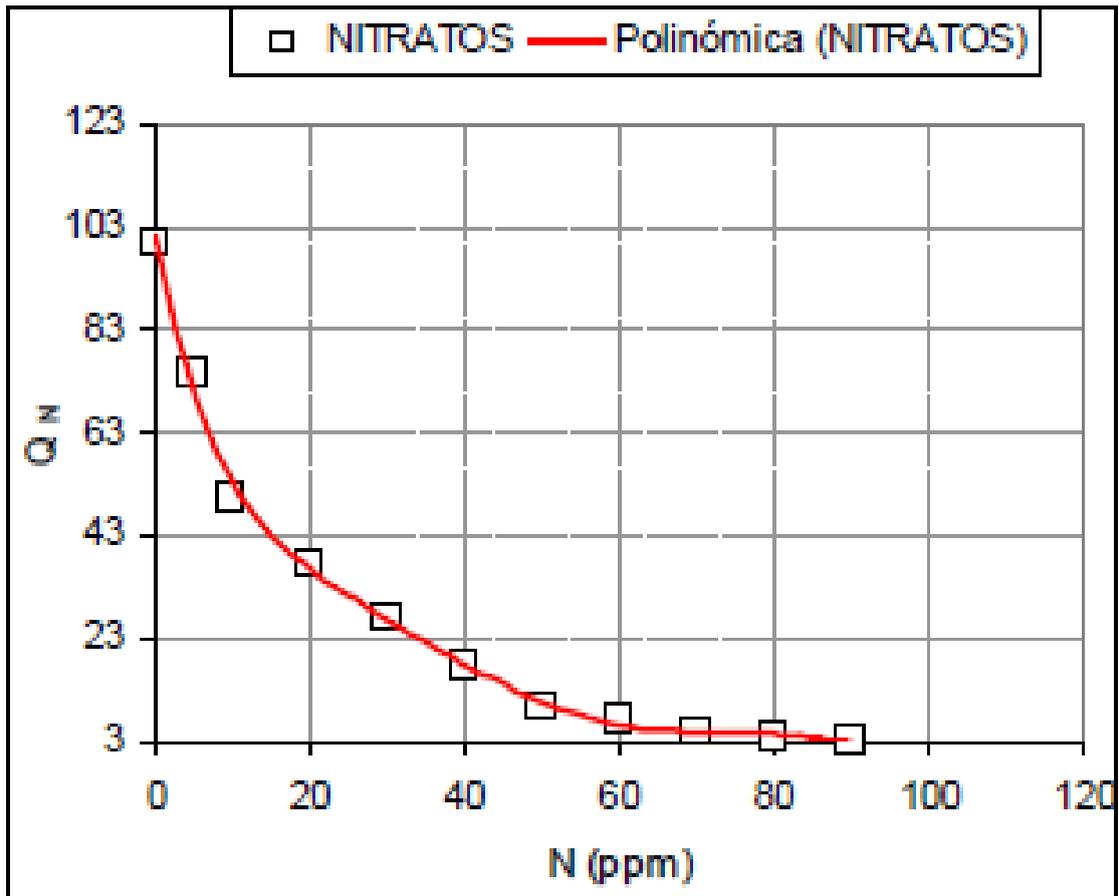
ANEXO B. CURVAS DE FUNCIÓN ICA-NSF.



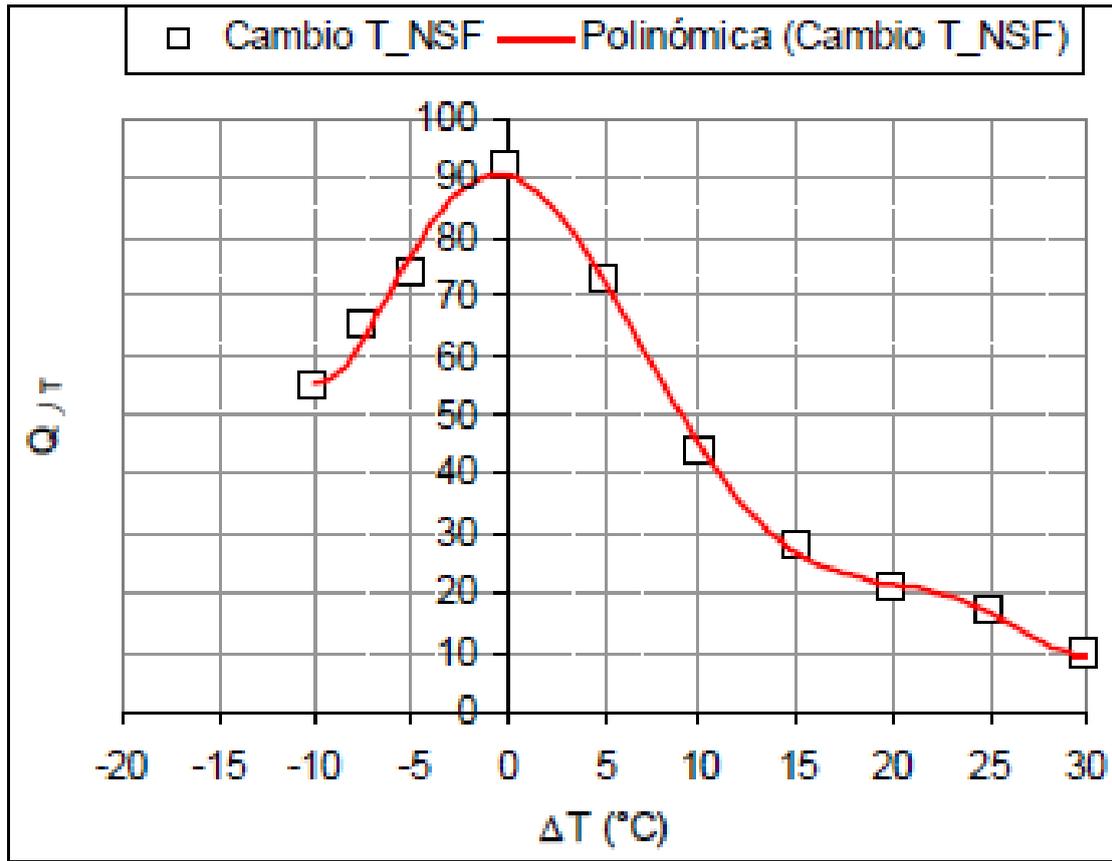
ANEXO B



ANEXO B



ANEXO B



## ANEXO C

## ANEXO C. Validación analítica iónica

N <sup>o</sup>	Código de muestra	Σ aniones (mg/L)	Σ cationes (mg/L)	Σ aniones (meq/L)	Σ cationes (meq/L)	Error (%)	Error (%)	Error admisible	Validación (v)/(nv)
1	J.P1	105.80	181.10	1.88	8.51	-26.25	26.25	30	<sup>1</sup> v
2	J.P2	111.50	105.08	2.03	5.69	2.96	2.96	30	v
3	J.P3	111.10	153.62	2.0	7.55	-16.06	16.06	30	v
4	A.P1	103.63	246.47	1.88	10.46	-40.80	40.80	30	<sup>2</sup> nv
5	A.P2	100.85	96.48	1.91	4.28	2.22	2.22	30	v
6	A.P3	94.94	158.62	1.78	7.10	-25.11	25.11	30	v
7	S.P1	151.24	179.74	2.81	9.29	-8.61	8.61	30	v
8	S.P2	177.76	91.25	3.30	4.80	32.16	32.16	30	nv
9	S.P3	158.05	149.36	2.96	7.21	2.83	2.83	30	v
10	O.P1	187.23	266.70	3.18	11.33	-17.51	17.51	30	v
11	O.P2	205.77	105.31	3.48	4.89	32.30	32.30	30	nv
12	O.P3	220.87	167.12	3.82	7.28	13.85	13.85	30	v

Nota: <sup>1</sup>v: Valido. <sup>2</sup>nv: No valido

ANEXO E

**ANEXO D. Cálculos para la obtención del índice de calidad ICA NSF**

JULIO									
Parámetros	Punto 1			Punto 2			Punto 3		
	Qi*w			Qi*w					
	Dato	Qí	i	Dato	Qí	i	Dato	Qí	Qi*wi
DBO5 (mg/L)	2.48	76	7.6	2.22	80	8	2.07	80	8
pH	7.87	87	10.44	7.78	85	10.2	7.87	85	10.2
Nitratos (mg/L)	2.1	83	8.3	2.60	86	8.6	3.6	86	8.6
Fosfatos (mg/L)	1.4	34	3.4	1.37	36	3.6	0.96	36	3.6
Variación Temperatura(°C)	10.4	23	2.3	9.2	24	2.4	7.9	26	2.6
STD (mg/L)	132.8	78	6.24	167.2	76	6.08	182.5	76	6.08
Turbidez (NTU)	7.1	80	6.4	27.10	54	4.32	37	54	4.32
Oxígeno Disuelto (%)	7.96	68.92	11.72	73.50	74	12.58	70.5	74	12.58
Coliformes Fecales (NMP/ 100ml)	141.96	66	9.9	603.2	48	7.20	1185.6	22	3.3
<b>ΣICA_NSF</b>	66.30			62.98			59.28		

AGOSTO									
Parámetros	Punto 1			Punto 2			Punto 3		
	Qi*w			Qi*w			Qi*w		
	Dato	Qí	Qi*wi	Dato	Qí	Qi*wi	Dato	Qí	i
DBO5 (mg/L)	2.2	80	8	2.37	0	8	1.9	5	8.5
pH	7.77	88	10.56	7.96	7	10.44	7.92	6	10.32
Nitratos (mg/L)	5.4	70	7	2.8	0	8	5.3	8	6.8

ANEXO E

					3			4	
Fosfatos (mg/L)	0.73	52	5.2	1.1	8	3.8	0.73	6	4.6
					2			2	
Variación Temperatura(°C)	7.9	26	2.6	7.9	6	2.6	8	6	2.6
					7			6	
STD (mg/L)	191	73	5.84	191	3	5.84	217.4	6	5.28
Turbidez (NTU)	153	5	0.4	158	5	0.4	200	5	0.4
					7			7	
Oxígeno Disuelto (%)	67.94	74	12.58	70.44	3	12.41	71	4	12.58
Coliformes Fecales (NMP/ 100ml)	166.4	40	6	478.4	6	3.9	270.4	4	5.1
<b>ΣICA_NSF</b>			58.18			55.39			56.18

SEPTIEMBRE

Parámetros	Punto 1			Punto 2			Punto 3		
	Dato	Qí	Qi*wi	Dato	Qí	Qi*wi	Dato	Qí	Qi*wi
DBO5 (mg/L)	2.52	7	7.5	2.54	7	7.2	1.91	81	8.1
		5			2				
pH	8.2	7	8.88	8.2	7	9.24	8.19	77	9.24
		4			7				
Nitratos (mg/L)	3.6	8	8	4.3	7	7.5	4	76	7.6
		0			5				
Fosfatos (mg/L)	3.52	1	1.9	2.57	2	2.4	1.73	31	3.1
		9			4				
Variación Temperatura(°C)	9.1	2	2.2	7.4	2	2.8	7.4	28	2.8
		2			8				
STD (mg/L)	113.9	8	6.64	117.9	8	6.64	119.1	84	6.72
		3			3				

ANEXO E

Turbidez (NTU)	3.04	8	7.04	2.71	9	7.36	4.21	88	7.04
		8			2				
Oxígeno Disuelto (%)	67.66	7	11.9	69.81	7	12.07	67.74	68	11.56
		0			1				
Coliformes Fecales (NMP/ 100ml)	832	2	3.6	979.6	2	3.45	1206.4	18	2.7
		4			3				
<b>ΣICA_NSF</b>			57.66			55.19			56.66

OCTUBRE

Parámetros	Punto 1			Punto 2			Punto 3		
	Dato	Q <sub>i</sub>	Q <sub>i</sub> *w <sub>i</sub>	Dato	Q <sub>i</sub>	Q <sub>i</sub> *w <sub>i</sub>	Dato	Q <sub>i</sub>	Q <sub>i</sub> *w <sub>i</sub>
		4						4	
DBO5 (mg/L)	6.7	9	4.9	6.06	50	5	6.61	8	4.8
		8						8	
pH	7.98	5	10.2	8.2	74	8.88	8.1	0	9.6
		8						7	
Nitratos (mg/L)	3	0	8	3.3	85	8.5	4.3	6	7.6
		8						7	
Fosfatos (mg/L)	0.24	3	8.3	0.35	77	7.7	0.43	4	7.4
		4						6	
Variación Temperatura(°C)	5.1	2	4.2	4	50	5	3.56	0	6
		8						7	
STD (mg/L)	133.6	0	6.4	126.8	82	6.56	136.1	9	6.32
		7						8	
Turbidez (NTU)	9.5	8	6.24	10.3	72	5.76	8.2	0	6.4
		7						7	12.0
Oxígeno Disuelto (%)	68.72	2	12.24	67	73	12.41	68.83	1	7

ANEXO E

Coliformes Fecales (NMP/ 100ml)	2							1	
	374.4	8	4.2	1996.8	18	2.7	2018.31	7	2.55
									62.7
<b>DBO5 (mg/L)</b>			64.68			62.51			4