

**Evaluación de la calidad del agua subterránea de Riobamba mediante el índice de calidad
de agua ICA-NSF.**

Muñoz Shugulí, Gianela Patricia

Vicerrectorado de Investigación, Innovación y Transferencia de Tecnología

Centro de Posgrados

Maestría en Sistemas de Gestión Ambiental

Trabajo de titulación, previo a la obtención del título de Magíster en Sistemas de Gestión

Ambiental

PhD. Montenegro Córdova, Galo Briam

14 de octubre del 2020

Urkund Analysis Result

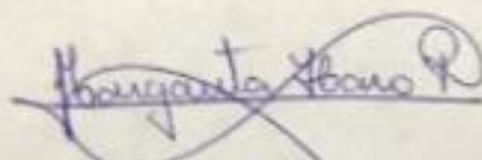
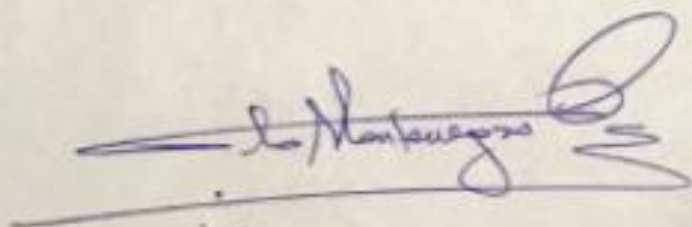
Analysed Document: TESIS FINAL Gianela Muñoz.docx (D60804956)
Submitted: 11/12/2019 14:58:00
Submitted By: mpharo@espe.edu.ec
Significance: 2 %

Sources included in the report:

tesis_Lopez_Karol.pdf (D48908018)
Anteproyecto ICA final - completo y listo.docx (D27120702)
TESIS SI.docx (D20869900)
TESIS Oswaldo febrero 2016 arreglada 1.docx (D18256889)
TESSS EMELY 5 AGOSTO 2018 URKUND.docx (D40832229)
<https://docplayer.es/140658353-Departamento-de-ciencias-de-la-tierra-y-construccion.html>
<https://docplayer.es/85609897-Escuela-superior-politecnica-de-chimborazo.html>
<https://www.redalyc.org/pdf/1694/169427489003.pdf>

Instances where selected sources appear:

11





**VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN, INNOVACIÓN Y TRANSFERENCIA
DE TECNOLOGÍA**

CENTRO DE POSGRADOS

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, "Evaluación de la calidad del agua subterránea de Riobamba mediante el índice de calidad de agua ICA-NSF" fue realizado por la señora **Muñoz Shugulí, Gianaela Patricia** el mismo que ha sido revisado en su totalidad, analizado por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

Sangolquí, 6 de diciembre de 2019

Firma

Montenegro Córdova Galo Briam

C.C.:040044975-7



VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN, INNOVACIÓN Y TRANSFERENCIA

DE TECNOLOGÍA

CENTRO DE POSGRADOS

RESPONSABILIDAD DE AUTORÍA

Yo, **Muñoz Shugulí, Gianaela Patricia**, con cédula de ciudadanía n° 060371644-0, declaro que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: **Evaluación de la calidad del agua subterránea de Riobamba mediante el índice de calidad de agua ICA-NSF** es de mi autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Sangolquí, 6 de diciembre de 2019

Firma

Muñoz Shugulí Gianaela Patricia

C.C.:060371644-0



**VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN, INNOVACIÓN Y TRANSFERENCIA
DE TECNOLOGÍA**

CENTRO DE POSGRADOS

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN

Yo, **Muñoz Shugulí, Gianela Patricia** autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: **Evaluación de la calidad del agua subterránea de Riobamba mediante el índice de calidad de agua ICA-NSF** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi responsabilidad.

Sangolquí, 6 de diciembre de 2019

Firma



Gianela Patricia Muñoz Shugulí

C.C: 060371644-0

Dedicatoria

A mis padres Enmita y Eduardo, por su comprensión y amor infinito.

A mis hermanas Pauly y Cris, por su apoyo y predisposición.

A Dylan, pedacito de mi vida y mi eterno amor.

Agradecimiento

A Dios, por ser el artífice de todo lo que existe en mi vida.

A mis padres Enmita y Eduardo, por su generosidad, por su ejemplo de constancia y superación,
por ser esos padres que impulsan a sus hijos a volar.

A David por su paciencia y su apoyo.

A Galo Montenegro por su apertura y colaboración.

A Martina por su amistad y por ser ese motor que me impulsó a culminar este trabajo.

Índice de Contenidos

Dedicatoria	6
Agradecimiento	7
Resumen	16
Abstract.....	17
Generalidades.....	1
Antecedentes.....	1
Problema.....	2
Justificación	3
Objetivos	6
<i>General</i>	6
<i>Específicos</i>	6
Marco Teórico.....	7
El Agua	7
Agua Subterránea	7
Agua Potable	7
Calidad de Agua	8
Evaluación de la Calidad de Agua.....	8
<i>Características Físicas del Agua</i>	8
<i>Características Químicas del Agua</i>	8
<i>Características Biológicas del Agua</i>	9
Índice de Calidad de Agua	9
Índice de Calidad de Agua Desarrollado por la Fundación Nacional de Sanidad Nacional de los Estados Unidos de Norteamérica (ICA-NSF).....	11
Parámetros Físicos, Químicos y Biológicos del ICA-NSF.....	12
<i>Oxígeno Disuelto (mg/L)</i>	12

	9
<i>Coliformes Fecales (UFC/mL)</i>	12
<i>Potencial Hidrógeno (pH)</i>	13
<i>Demanda Bioquímica de Oxígeno en 5 días (DBO5 mg/L)</i>	13
<i>Nitratos (mg/L)</i>	13
<i>Fosfatos (mg/L)</i>	13
<i>Temperatura (°C)</i>	13
<i>Turbidez (NTU)</i>	14
<i>Sólidos Totales Disueltos (mg/L)</i>	14
Metodología	14
Ubicación del Proyecto	14
Trabajo de Campo	15
Muestreo	15
Equipos y materiales para el muestreo	16
Análisis de Muestras	16
Análisis in Situ	16
Análisis de laboratorio	17
Determinación del ICA-NSF	18
Cálculos y Resultados	25
Comparación de los Resultados con la Norma Técnica INEN NTE 1108. Agua potable.	
Requisitos	25
Comparación de los Resultados con la Tabla 1 del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente TULSMA	34
Cálculo del ICA	43
Análisis de los Resultados	53
Conclusiones y Recomendaciones	54

	10
Conclusiones.....	54
Recomendaciones.....	55
Bibliografía.....	55
Anexos	59

Índice de tablas

Tabla 1	Pesos otorgados a cada parámetro según ICA-NSF.....	24
Tabla 2	Criterios, rangos de calidad de agua y colores representativos del ICA	25
Tabla 3	Comparación de los resultados Vertiente San Pablo con la Norma Técnica INEN NTE 1108.....	25
Tabla 4	Comparación de los resultados Pozo Llío 1 con la Norma Técnica INEN NTE 1108.....	26
Tabla 5	Comparación de los resultados Pozo Llío 2 con la Norma Técnica INEN NTE 1108.....	26
Tabla 6	Comparación de los resultados Pozo Llío 3 con la Norma Técnica INEN NTE 1108.....	27
Tabla 7	Comparación de los resultados Pozo Llío 4 con la Norma Técnica INEN NTE 1108.....	27
Tabla 8	Comparación de los resultados Pozo Llío 5 con la Norma Técnica INEN NTE 1108.....	27
Tabla 9	Comparación de los resultados Pozo Llío 6 con la Norma Técnica INEN NTE 1108.....	28
Tabla 10	Comparación de los resultados Pozo Llío 7 con la Norma Técnica INEN NTE 1108.....	29
Tabla 11	Comparación de los resultados Pozo 24 de Mayo con la Norma Técnica INEN NTE 1108.....	29
Tabla 12	Comparación de los resultados Pozo Huerta con la Norma Técnica INEN NTE 1108.....	30

Tabla 13 Comparación de los resultados Pozo Servidores con la Norma Técnica	
INEN NTE 1108.....	30
Tabla 14 Comparación de los resultados Pozo Las Hierbas con la Norma Técnica	
INEN NTE 1108.....	31
Tabla 15 Comparación de los resultados Pozo 21 de Abril con la Norma Técnica	
INEN NTE 1108.....	31
Tabla 16 Comparación de los resultados Pozo San Gabriel con la Norma Técnica	
INEN NTE 1108.....	32
Tabla 17 Comparación de los resultados Las Abras con la Norma Técnica	
INEN NTE 1108.....	32
Tabla 18 Comparación de los resultados Pozo Maldonado con la Norma Técnica	
INEN NTE 1108.....	33
Tabla 19 Comparación de los resultados Pozo Lascano con la Norma Técnica	
INEN NTE 1108.....	33
Tabla 20 Comparación de los resultados El Estadio con la Norma Técnica	
INEN NTE 1108.....	34
Tabla 21 Comparación de los resultados Vertiente San Pablo con la tabla 1 TULSMA.....	34
Tabla 22 Comparación de los resultados Pozo Llío 1 con la tabla 1 TULSMA	35
Tabla 23 Comparación de los resultados Pozo Llío 2 con la tabla 1 TULSMA	35
Tabla 24 Comparación de los resultados Pozo Llío 3 con la tabla 1 TULSMA	36
Tabla 25 Comparación de los resultados Pozo Llío 4 con la tabla 1 TULSMA	36
Tabla 26 Comparación de los resultados Pozo Llío 5 con la tabla 1 TULSMA	37
Tabla 27 Comparación de los resultados Pozo Llío 6 con la tabla 1 TULSMA	37

Tabla 28 Comparación de los resultados Pozo Llíó 7 con la tabla 1 TULSMA	38
Tabla 29 Comparación de los resultados Pozo 24 de Mayo con tabla 1 TULSMA	38
Tabla 30 Comparación de los resultados Pozo Huerta con la tabla 1 TULSMA.....	39
Tabla 31 Comparación de los resultados Pozo Servidores con la tabla 1 TULSMA.....	39
Tabla 32 Comparación de los resultados Pozo Hierbas con la tabla 1 TULSMA	40
Tabla 33 Comparación de los resultados Pozo 21 de Abril con la tabla 1 TULSMA	40
Tabla 34 Comparación de los resultados Pozo San Gabriel con la tabla 1 TULSMA	41
Tabla 35 Comparación de los resultados Pozo Las Abras con la tabla 1 TULSMA.....	41
Tabla 36 Comparación de los resultados Pozo Maldonado con la tabla 1 TULSMA	42
Tabla 37 Comparación de los resultados Pozo Lascano con la tabla 1 TULSMA.....	42
Tabla 38 Comparación de los resultados Pozo El Estadio con la tabla 1 TULSMA	43
Tabla 39 Cálculo del ICA Vertiente San Pablo.....	44
Tabla 40 Cálculo del ICA Pozo Llíó 1	44
Tabla 41 Cálculo del ICA Pozo Llíó 2	45
Tabla 42 Cálculo del ICA Pozo Llíó 3	45
Tabla 43 Cálculo del ICA Pozo Llíó 4	46
Tabla 44 Cálculo del ICA Pozo Llíó 5	46
Tabla 45 Cálculo del ICA Pozo Llíó 6	47
Tabla 46 Cálculo del ICA Pozo Llíó 7	47
Tabla 47 Cálculo del ICA Pozo 24 de Mayo	48
Tabla 48 Cálculo del ICA Pozo Huerta.....	48
Tabla 49 Cálculo del ICA Pozo Servidores.....	49
Tabla 50 Cálculo del ICA Pozo Las Hierbas.....	49

Tabla 51	Cálculo del ICA Pozo 21 de Abril	50
Tabla 52	Cálculo del ICA Pozo San Gabriel.....	50
Tabla 53	Cálculo del ICA Pozo Las Abras.....	51
Tabla 54	Cálculo del ICA Pozo Maldonado	51
Tabla 55	Cálculo del ICA Pozo Lascano	52
Tabla 56	Cálculo del ICA Pozo El Estadio	52
Tabla 57	Resultados índices de calidad de agua subterránea de Riobamba.....	53

Índice de Figuras

Figura 1 Mapa de cobertura de agua en el cantón Riobamba.....	15
Figura 2 Análisis de laboratorio.....	18
Figura 3 Función de calidad NSF oxígeno disuelto.....	19
Figura 4 Función de calidad NSF coliformes fecales.....	20
Figura 5 Función de calidad NSF pH.....	20
Figura 6 Función de calidad NSF demanda bioquímica de oxígeno.....	21
Figura 7 Función de calidad NSF nitratos.....	21
Figura 8 Función de calidad NSF fosfatos.....	22
Figura 9 Función de calidad NSF temperatura.....	22
Figura 10 Función de calidad NSF turbidez.....	22
Figura 11 Función de calidad NSF sólidos totales disueltos.....	23

Resumen

En este trabajo se evaluó la calidad del agua subterránea de Riobamba mediante la metodología ICA-NSF. En Riobamba no existe una base de datos oficial sobre la calidad del agua, ni un estudio referente al ICA (Índice de calidad de agua) y como en todo el Ecuador la calidad del agua se basa en la comparación de los informes que contienen los resultados de los análisis obtenidos a nivel de laboratorio con los límites permisibles establecidos en la Norma Técnica INEN NTE 1108. AGUA POTABLE. REQUISITOS y en la Tabla 1 del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente TULSMA. Esta comparación considera una gran cantidad de datos de diversos parámetros, los mismos que no dan cualidades al cuerpo de agua de forma clara y concisa, mientras que la aplicación de la metodología ICA-NSF redujo la información sobre un gran número de parámetros físico -químicos y microbiológicos a un solo índice de una forma simple, rápida, objetiva y reproducible permitió comparar el resultado obtenido con criterios establecidos: Excelente (E), aceptable (A), levemente contaminada (LC), contaminada (C), contaminada fuerte (CF), contaminada en exceso (CE). Con esta información se podría crear una base de datos oficial sobre la calidad de agua de Riobamba, facilitando la toma de decisiones para garantizar agua de calidad para la población y contribuir a la gestión del recurso más importante de la Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Riobamba (EP-EMAPAR).

PALABRAS CLAVE:

- **CALIDAD DE AGUA**
- **ÍNDICE DE CALIDAD DE AGUA**
- **AGUA SUBTERRÁNEA**
- **CRITERIOS**

Abstract

In this work, Riobamba's groundwater quality was evaluated using the ICA-NSF methodology. In Riobamba there is no official database on water quality, nor a study concerning the ICA (Water Quality Index) and as in all Ecuador water quality is based on the comparison of the reports containing the results of the analyses obtained at laboratory level with the permissible limits established in the Technical Standard NTE INEN1108 DRINKING WATER. REQUISITOS and in Table 1 of the Unified Text of Secondary Legislation of the Ministry of environment TULSMA. This comparison considers a large amount of data of various parameters, the same that do not give qualities to the water body in a clear and concise way, while the application of the ICA-NSF methodology reduced information on a large number of physical parameters - chemical and microbiological to a single index in a simple, fast, objective and reproducible way allowed to compare the result obtained with established criteria : Excellent (E), acceptable (A), slightly contaminated (LC), contaminated (C), severely contaminated (CF), overcontapped (EC). This information could create an official database on the water quality of Riobamba, facilitating decision-making to ensure quality water for the population and contribute to the management of the most important resource of the Municipal Drinking Water and Sewerage Company of Riobamba (EP-EMAPAR).

KEY WORDS:

- **WATER QUALITY**
- **WATER QUALITY INDEX**
- **UNDERGROUND WATER**
- **CRITERIA**

Generalidades

Antecedentes

La Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Riobamba EP-EMAPAR fue creada mediante la Ordenanza No.010-2004, cuya misión es suministrar los servicios de Agua Potable y Alcantarillado para mejorar el nivel de vida de los habitantes del cantón Riobamba.

En la actualidad el sistema de agua potable que abastece a la ciudad de Riobamba, está compuesto de captaciones de agua subterránea, las dos principales son el pozo artesiano de San Pablo que se construyó el año de 1912 y siete pozos en el sector conocido como Llío que se perforaron en el año 1984, captaciones ubicadas cerca del peaje en el sector de San Andrés a 14 km de la ciudad de Riobamba y los pozos: 24 de mayo, Huerta, Servidores, Las Hierbas, San Gabriel, Las Abras, Maldonado, 21 de abril, Lascano y El Estadio ubicados en el perímetro urbano de la ciudad.

A través de la tubería de conducción el agua que llega desde San Pablo y Llío llega hacia la planta de tratamiento “Aireadores”, en donde se realizan los procesos de aireación y desinfección del agua con cloro gas. El agua una vez que ha sido tratada pasa a las reservas: Tratamiento, El Carmen, San José de Tapi, El Recreo, La Saboya, Maldonado y Piscin que sirven a las ocho redes de distribución de la ciudad: Tratamiento, El Carmen, San José de Tapi, El Recreo, La Saboya, Maldonado, San Martín de Veranillo y Piscin.

De manera independiente la Red Yaruquíes se abastece de la captación del pozo El Estadio ubicado en la parte baja de la población Yaruquíes, el agua sube por una línea de impulsión hasta la reserva ubicada en la parte alta, en donde se realiza el proceso de desinfección y almacenamiento para su posterior distribución.

A través del Laboratorio de Control de Calidad del agua de la EP-EMAPAR se realiza el monitoreo de la calidad de agua de todo el sistema: captaciones, reservas y redes domiciliarias y se compararan los resultados obtenidos en el análisis de campo y laboratorio con los parámetros físico, químico y microbiológicos con los límites permisibles establecidos en Norma Técnica INEN NTE 1108. AGUA POTABLE. REQUISITOS y en la Tabla 1 del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente TULSMA. Esta comparación considera una gran cantidad de datos de diversos parámetros, los mismos que no dan cualidades al cuerpo de agua de forma clara y concisa, mientras que la aplicación de la metodología ICA-NSF permite simplificar la interpretación de los datos del monitoreo, reduciendo una gran cantidad de parámetros a una expresión simple de fácil interpretación entre técnicos, administradores ambientales y el público en general. Además, permite comparar el resultado obtenido con criterios establecidos: Excelente, aceptable, levemente contaminada, contaminada, contaminada fuerte, contaminada en exceso. **(León, 2009)** Criterios que indudablemente contribuirán a la gestión del recurso más importante de la EP-EMAPAR.

Problema

En Riobamba no existe una base de datos oficial sobre la calidad del agua, así como tampoco no existe un estudio del Índice de Calidad de Agua -ICA. La finalidad del presente proyecto de investigación, es evaluar la calidad del agua de las fuentes subterráneas de Riobamba mediante la metodología ICA-NSF que se usa a nivel mundial, ya que en Ecuador la calidad del agua se basa en la comparación de los informes que contienen los resultados de los análisis obtenidos a nivel de laboratorio con los límites permisibles establecidos en la Norma la Norma Técnica INEN NTE 1108. AGUA POTABLE. REQUISITOS y en la Tabla 1 del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente TULSMA.

Esta comparación considera una gran cantidad de datos de diversos parámetros, los mismos que no dan cualidades al cuerpo de agua de forma clara y concisa, mientras que la aplicación de la metodología ICA-NSF permite simplificar la interpretación de los datos del monitoreo, reduciendo una gran cantidad de parámetros a una expresión simple de fácil interpretación entre técnicos, administradores ambientales y el público en general. Además, permite comparar el resultado obtenido con criterios establecidos: Excelente (E), aceptable (A), levemente contaminada (LC), contaminada (C), contaminada fuerte (CF), contaminada en exceso (CE). **(León, 2009)**. Criterios que indudablemente contribuirán a la gestión del recurso más importante de la EP-EMAPAR.

Justificación

El agua es un recurso renovable ya que a través del ciclo hidrológico se restablece. A medida que incrementa la población incrementa el consumo de agua.

La EP-EMAPAR a través del Laboratorio de control de calidad de agua cuenta con un plan de seguridad del agua que es una metodología que permite monitorear los parámetros físicos, químicos y microbiológicos del agua desde la fuente hasta las redes domiciliarias donde es consumida por los usuarios. Una vez obtenidos los resultados de los análisis realizados en el laboratorio se los compara con los límites permisibles establecidos en la Norma Técnica INEN NTE 1108. AGUA POTABLE. REQUISITOS y con la Tabla 1 del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente TULSMA. Esta comparación es un referente, pero no es un indicativo suficiente de la calidad de agua, ya que se considera datos de varios parámetros, mientras que la metodología ICA-NSF asociado a su valor numérico define seis rangos que evalúan al cuerpo de agua con criterios establecidos: Excelente, aceptable, levemente contaminada, contaminada, contaminada fuerte, contaminada en exceso, simplificando la interpretación de los datos del

monitoreo, reduciendo una gran cantidad de parámetros a una expresión simple, fácil de interpretar, permitiendo la gestión del recurso hídrico para los encargados de toma de decisiones.

(León, 2009)

Para simplificar la interpretación de los datos del monitoreo, existen índices de calidad de agua (ICA), los cuales reducen una gran cantidad de parámetros a una expresión simple de fácil interpretación entre técnicos, administradores ambientales y el público en general. **(Fernández Prada, Solano Ortega, & Ramos, 2005)**

El ICA-NSF es una herramienta de valoración simplificada que tiene las siguientes ventajas: Muestra la variación espacial y temporal de la calidad del agua. Es un procedimiento simple, sucinto y válido para expresar la importancia de los datos generados regularmente en el laboratorio. Es una metodología muy útil en la estimación de la calidad del agua para usos generales. Permite a los consumidores una fácil interpretación de los datos. Logra identificar tendencias de la calidad del agua y áreas problemáticas. Prioriza evaluaciones de calidad del agua más detalladas. Mejora la comunicación con el público y aumenta su conciencia sobre las condiciones de calidad del agua. Ayuda en la definición de prioridades con fines de gestión. **(Torres, Cruz, & Patiño, Índices de calidad de agua en fuentes superficiales utilizadas en la producción de agua para consumo humano. una revisión crítica, 2009)**

El ICA NSF es una metodología ventajosa para la estimación de la calidad del agua, ya que la aplicación de ecuaciones de tipo multiplicativo contribuye a la evaluación de la inseguridad sanitaria y evita que se oculten de manera total o parcial los cálculos de un valor satisfactorio, aunque uno o varios de los parámetros que forman parte del índice presenten alteración. **(Torres, Cruz, & Patiño, Índices de calidad de agua en fuentes superficiales utilizadas en la producción de agua para consumo humano. una revisión crítica, 2009)**

El índice de calidad de agua ICA NSF es una herramienta que permite identificar la calidad de agua de un cuerpo superficial o subterráneo. Esta metodología incorpora datos de múltiples parámetros físicos, químicos y biológicos, en una ecuación matemática, mediante la cual se evalúa el estado de un cuerpo de agua. **(Yogendra & Puttaiah, 2008)**

Una alternativa para la evaluación de la calidad del agua, interpretación, y difusión de los resultados obtenidos es mediante el índice de calidad de agua ICA-NSF, la cual a través de un número expresa la calidad del agua, proporcionando una visión de los fenómenos ambientales y permite la gestión del recurso. Es una metodología que permite agrupar información sobre un gran número de parámetros físico -químicos y microbiológicos y llevarlos a un solo índice de una forma simple, rápida, objetiva y reproducible.

El ICA NSF facilita el manejo de datos, ya que simplifica y resume, en un único valor numérico, la gran cantidad de información disponible sobre la calidad del agua, evita que las incertidumbres en las mediciones oculten las tendencias ambientales y permite comunicar, en forma simple y clara la condición del agua para un uso deseado o efectuar comparaciones temporales y espaciales entre cuerpos de agua. **(House, 1990)**

Por medio del ICA se puede realizar un análisis general de la calidad del agua en diferentes niveles, y determinar la vulnerabilidad del cuerpo frente a amenazas potenciales. Esta herramienta nace como una alternativa para la valoración de los cuerpos hídricos permitiendo que los procesos de formulación de políticas públicas y seguimientos de los impactos sean más eficaces. **(Torres, Cruz, & Patiño, Índices de calidad de agua en fuentes superficiales utilizadas en la producción de agua para consumo humano. una revisión crítica, 2009)**

Es necesario evaluar la calidad de agua, interpretar y difundir esta información a nivel de la EP-EMAPAR y a nivel general para determinar el estado de la calidad del agua de las

fuentes subterráneas de Riobamba y crear conciencia respecto a la calidad del agua. Al realizar la evaluación de la calidad del agua subterránea de Riobamba mediante el ICA-NSF se generará una base de datos oficial sobre la calidad del agua, y de esta forma se podrá conservar el patrimonio hídrico de la ciudad.

Objetivos

General

- Evaluar la calidad del agua subterránea de Riobamba mediante la metodología ICA-NSF.

Específicos

- Caracterizar el agua subterránea de Riobamba mediante los parámetros físicos, químicos y microbiológicos.
- Verificar el cumplimiento de los límites permisibles del agua subterránea de Riobamba en base a la Norma Técnica INEN NTE 1108. AGUA POTABLE. REQUISITOS y con la Tabla 1 del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente TULSMA.
- Determinar el índice de calidad del agua subterránea de Riobamba mediante la metodología ICA-NSF.
- Comparar la calidad del agua subterránea de Riobamba con la Norma Técnica INEN NTE 1108. AGUA POTABLE. REQUISITOS, con la Tabla 1 del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente TULSMA y con la metodología ICA-NSF.
- Comparar el índice de calidad de agua entre las fuentes subterráneas de Riobamba para la creación de una base de datos oficial de acceso público.

Marco Teórico

El Agua

El agua es un líquido incoloro e insípido, está compuesta por dos átomos de hidrógeno y uno de oxígeno. **(López, Gavidia, & Rueda, 2006)**. El átomo es la parte más pequeña de la materia. La molécula es una asociación de dos o más átomos, fuertemente ligados entre sí formando una unidad.

Agua Subterránea

El agua subterránea es una parte de la hidrósfera que transita por debajo de la superficie del suelo, de un área determinada **(Rebouças, Braga, & Tundisi, 2002)**. Puede ser colectada mediante perforaciones o túneles de drenaje o la que puede fluir naturalmente hacia la superficie a través de manantiales o filtraciones a los cursos fluviales. **(Martínez, Martínez, & Castaño, 2006)**

Se puede considerar que el agua subterránea es segura incluso para beber ya que a través de la cubierta de subsuelo y lecho rocoso pasa por un proceso de filtración y limpieza que no tienen las aguas superficiales. No obstante, esto no garantiza la pureza del agua subterránea ya que sus características dependen de las condiciones naturales del terreno. **(Kiely & Veza, 1999)**

Agua Potable

El agua potable tiene características físicas, químicas microbiológicas que han sido tratadas de manera que sean aptas para el consumo humano. **(INEN, 2014)**. Es el agua que no implica ningún riesgo para la salud del consumidor y no produce daños en los bienes materiales. **(Weber, 2003)**

Calidad de Agua

La calidad del agua es el conjunto de características físicas, químicas y microbiológicas que presenta el agua, según el uso específico de acuerdo a las necesidades del usuario.

(Beamonte, Casino, Veres, & Bermúdez, 2004)

La calidad del agua subterránea se puede clasificar de acuerdo a los valores de los parámetros físico-químicos y bacteriológicos que muestra la misma. La OMS ha establecido valores máximos permisibles que regulan la calidad del agua destinada para consumo humano, valores que son utilizados en el índice de calidad de agua ICA para categorizar el agua según su aptitud. Los índices son una herramienta que permite catalogar al agua de acuerdo a su uso, con base en la valoración de una serie de parámetros indicadores de calidad que permiten tomar decisiones para mejorar la calidad del agua. **(Carrera & Estribi)**

Evaluación de la Calidad de Agua

La evaluación de la calidad del agua es el proceso de valoración total de la naturaleza física, química y biológica del agua en relación a la calidad natural, a los efectos humanos y a los usos intencionales y a la de los sistemas acuáticos. **(Chapman, 1996)**

Características Físicas del Agua

Las características físicas del agua son las que definen el aspecto del agua por su apariencia. **(Weber, 2003)**

Características Químicas del Agua

Las características químicas del agua son la que se relacionan con los compuestos químicos disueltos en ella. Estos compuestos pueden modificar sus propiedades. **(Weber, 2003)**. Las características químicas tienen su origen por efectos naturales, por la actividad industrial y la actividad humana.

Características Biológicas del Agua

Las características biológicas del agua se basan en la determinación de aquellos microorganismos que pueden afectar directamente al ser humano o que, por su presencia puedan señalar la posible existencia de otros, tales como los coliformes fecales, Escherichiacoli y Salmonella spp. **(Rojas, 2002)**

Índice de Calidad de Agua

El índice de calidad de agua es un número adimensional que determina la calidad del recurso hídrico obtenido en base a la medición de un conjunto de parámetros determinados en una muestra. **(Sainz, 2005)**. Su uso permite interpretar de manera rápida las tendencias en la calidad del cuerpo de agua. Es un valor numérico calculado a partir de los parámetros más representativos de la calidad del agua relacionados al uso de un cuerpo de agua.

(Pérez Castillo & Rodríguez, 2008)

Según **(Velasco, 2012)** los ICA se usan mediante escalas y descienden o incrementan con el aumento de la contaminación del agua. Las escalas permiten comprender el estado de la calidad del agua al concederle una calificación, que permite tomar decisiones referentes al mantenimiento de los pozos de los que se extrae el recurso hídrico.

Desde los años 70 se han elaborado índices de calidad de agua, que agrupan los registros de los parámetros analizados, para expresar de forma concisa y clara la calidad de agua, y suministrar información fácil de interpretar a diferentes audiencias. En sus inicios los ICA se desarrollaron para los ríos de Estados Unidos, pero consecutivamente fueron validados y empleados en distintos estudios a nivel mundial. Los ICA incluyen parámetros relacionados al nivel de riesgo sanitario que puede contener el agua y se fundamentan en los usos que se va a da al agua, tal es el caso del agua para consumo humano. **(Ramos & Andino, 2011)**

Según **(Shweta, Bhavtosh, Prashant, & Rajendra, 2013)** el índice de calidad de agua (ICA) incorpora datos de múltiples parámetros físicos, químicos y biológicos, en una ecuación matemática, mediante la cual se evalúa el estado de un cuerpo de agua, el ICA es una herramienta que permite identificar la calidad de agua de un cuerpo superficial o subterráneo.

(Castro, Almeida, Ferrer, & Diaz, 2014) en su estudio de indicadores de la calidad del agua manifiestan que el índice de calidad de agua se ha transformado en un instrumento principal para transmitir información sobre la calidad del recurso hídrico a las autoridades competentes y al público en general. El índice de calidad de agua ICA es un indicador combinado que está constituido por varios parámetros de calidad del agua.

El ICA es una herramienta matemática para determinar la calidad y se utiliza para convertir grandes cantidades de datos sobre la calidad del agua en un nivel de medición única. Los índices de calidad de agua manifiestan el grado de contaminación del agua a la fecha del muestreo y está expresado como porcentaje del agua pura; así, agua altamente contaminada tendrá un cercano o igual a 0%, en tanto que el agua en excelentes condiciones tendrá un valor de este índice cercano al 100%.

(Valcarcel Rojas, Alberro, & Frías, 2009) indican que un índice de calidad de agua, consiste en una expresión simple de una combinación de un número de parámetros que caracterizan la calidad del agua; su ventaja radica en que puede ser más fácilmente interpretado que una lista de valores numéricos.

Índice de Calidad de Agua Desarrollado por la Fundación Nacional de Sanidad Nacional de los Estados Unidos de Norteamérica (ICA-NSF)

Diferentes índices de calidad de agua ICA, han sido desarrollados en el mundo para evaluar la calidad del agua subterránea y superficial. Uno de los más destacados es el de la National Sanitation Foundation (ICA-NSF), desarrollado por **(Brown, McClelland, Deininger, & Tozer, 1970)** para ríos de Estados Unidos, y ampliamente empleado en diferentes estudios internacionales.

El índice de calidad de agua desarrollado por la Fundación Nacional de Saneamiento de los Estados Unidos de Norteamérica (ICA - NSF): El ICA, llamado WQI-Water Quality Index, que en español se conoce como Índice de Calidad Del Agua-ICA, tiene gran aplicación en estudios a nivel internacional. **(Boland & Labollita, 2011)**. La metodología incorporó el método DELPHI.

Según **(Mahajan, Linstone, & Turrof, 1976)** el método DELPHI se caracteriza por su utilidad para estructurar el proceso de comunicación grupal, busca acercarse al consenso de un grupo de expertos con base en el análisis y la reflexión de un problema definido.

Las etapas del método DELPHI son las siguientes:

1. Una vez que se ha identificado el problema se plantea una pregunta abierta a los expertos, el grupo coordinador recibe las respuestas y genera el segundo cuestionario.
2. Con la respuesta inicial se elaboran los reactivos, estas preguntas deben ser claras y precisas, cuantificable e independientes).
3. Las respuestas de los expertos recibidas individualmente deben ser integradas, ya sea para la realimentación de las fases intermedias o para la presentación de resultados finales. Para el tratamiento de las respuestas, en el caso de la valoración (usada frecuentemente) se

calcula la tendencia central de los valores asignados, a cada reactivo por cada experto y se reordenan en función de los valores medios obtenidos.

4. Se calcula la variación que consiste en calcular la desviación típica de las respuestas individuales. Los coordinadores integran y analizan la información y generan resultados cuantitativos.

Parámetros Físicos, Químicos y Biológicos del ICA-NSF

La apreciación de expertos y entidades gubernamentales ha marcado los parámetros a ser incluidos en el ICA NSF (**Fernández Prada, Solano Ortega, & Ramos, 2005**). Una recomendación realizada por (**Dunnette, 1979**) es seleccionar los parámetros de las cinco categorías más reconocidas: nivel de oxígeno, eutrofización (resultado del aumento de los niveles de fósforo y nitrógeno) , aspectos de salud, características físicas y sustancias disueltas para la determinación del ICA. Para la determinación del ICA-NSF intervienen los siguientes parámetros:

Oxígeno Disuelto (mg/L)

El oxígeno disuelto del agua proviene de la disolución del oxígeno atmosférico y de la fotosíntesis que realizan los organismos acuáticos. Se encuentra relacionado con la temperatura, mientras más caliente está el agua disuelve menor cantidad de oxígeno. (**Peña, 2007**)

Coliformes Fecales (UFC/mL)

Los coliformes fecales o termolábiles son un subgrupo de las bacterias del grupo coliforme, presentes en el intestino de animales de sangre caliente y humanos. Su origen es esencialmente fecal, tienen la capacidad de fermentar la lactosa, con producción de ácido y gas a $(44,0 \pm 0,2) ^\circ\text{C}$ en 24 h de incubación. (**Salud, 2011**)

Potencial Hidrógeno (pH)

El pH indica la acidez o alcalinidad que tiene el agua. La escala de pH comprende valores entre 0 y 14. **(Mendoza, y otros, 2014)**. Un valor igual a 7 indica que el pH es neutro, valores menores a 7 indican un pH ácido y valores superiores a 7 indican un pH básico o alcalino.

Demanda Bioquímica de Oxígeno en 5 días (DBO5 mg/L)

La Demanda Bioquímica de Oxígeno DBO5 es la cantidad de oxígeno necesario para que los microorganismos degraden la materia orgánica presente en el agua, en condiciones aerobias en un período de cinco días. **(Quintero, España, & Reyes, 2017)**

Nitratos (mg/L)

Son compuestos inorgánicos compuestos por tres átomos de oxígeno y uno de nitrógeno. Los nitratos en aguas subterráneas provienen de fertilizantes y de la descomposición de materia vegetal y animal. **(Martínez, Martínez, & Castaño, 2006)**

Fosfatos (mg/L)

Son compuestos formados por fósforo y oxígeno, los fosfatos provienen de fertilizantes, excremento de personas y animales y de los detergentes y ciertos productos de limpieza. **(Bolaños & Cordero Segura, 2017)**

Temperatura (°C)

La temperatura es la magnitud física que refleja la cantidad de calor de un cuerpo, objeto. Es importante por el efecto sobre las propiedades físicas, afecta la velocidad las reacciones químicas y la solubilidad de los gases, amplía sabores y olores del agua y determina el desarrollo de los organismos presentes. Se determina con un termómetro y se expresa en grados centígrados °C. **(Angulo, 2012)**

Turbidez (NTU)

La turbidez es una medida del grado en el cual el agua pierde su transparencia debido a la materia en suspensión; mide la claridad del agua. **(Angulo, 2012)**. Mientras más sucia será que ésta, más alta será la turbidez. Se mide en unidades nefelométricas de turbidez UNT.

Sólidos Totales Disueltos (mg/L)

Los sólidos totales disueltos son las sustancias disueltas en el agua, son la suma de minerales, sales, metales, iones disueltos en el agua como carbonatos, bicarbonatos, fosfatos, nitratos. **(Salud, 2011)**

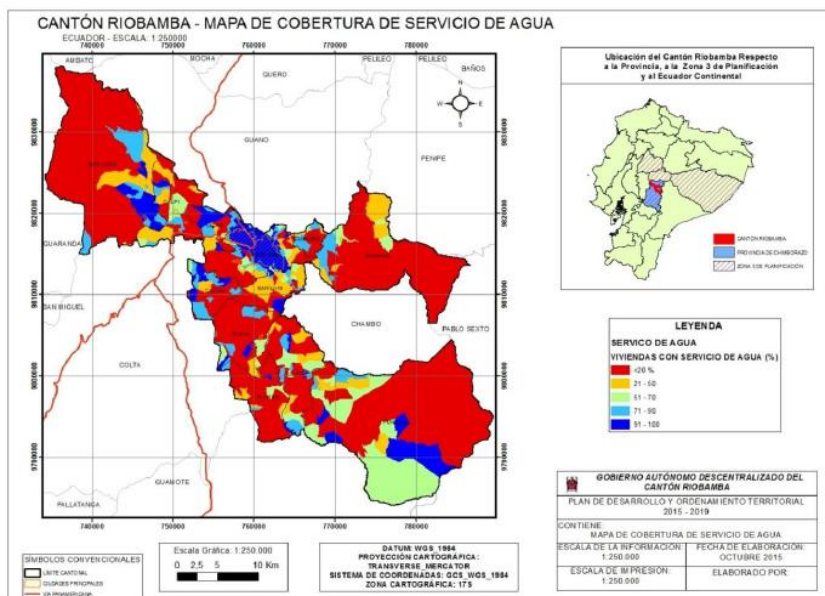
Metodología**Ubicación del Proyecto**

El cantón Riobamba tiene una superficie de 979,70 km², está situado a 2.754 metros sobre el nivel del mar, a 1° 41' 46" latitud Sur; 0° 3' 36" longitud Occidental del meridiano de Quito. Se encuentra a 175 km. al sur de la ciudad de Quito, en la región Sierra Central y es la capital de la Provincia de Chimborazo.

El cantón Riobamba obtiene el agua de pozos de captación de origen subterráneo. El estudio se realizó en el pozo artesiano San Pablo, en los siete pozos de Llío, captaciones que se encuentran cerca del peaje en el sector de San Andrés a 14 km de la ciudad de Riobamba y en 12 pozos ubicados en el perímetro urbano de Riobamba: 24 de mayo, 21 de abril, Huerta, Servidores, Las Hierbas, San Gabriel, Las Abras, Maldonado, Lascano, y El Estadio.

Figura 1

Mapa de cobertura de agua en el cantón Riobamba



Nota: EMAPAR 2014

Trabajo de Campo

Muestreo

Para el muestreo de las 18 fuentes de agua subterránea de Riobamba, el proceso se realizó en base a los lineamientos establecidos en las Normas Técnicas Ecuatorianas: NTE INEN 2176:2013. Agua. Calidad del agua. Muestreo. Técnicas de muestreo y NTE INEN 2169:2013. Agua. Calidad del agua. Manejo y conservación de muestras.

1. Se rotuló cada muestra, con su código, nombre, fecha y hora.
2. Para la determinación de los parámetros químicos se utilizaron botellas de polietileno que previamente fueron homogenizadas.
3. Para la determinación de parámetros microbiológicos se utilizaron frascos esterilizados.

4. Para la conservación de las muestras se utilizó un contenedor con hielo para mantener una temperatura de 5°C.

Equipos y materiales para el muestreo

- Envases de polietileno de 1000 mL para la recolección de muestras para análisis químico.
- Envases esterilizados de 150 mL para la recolección de muestras para análisis microbiológico.
- Contenedor con hielo.
- Encendedor.
- Mechero.
- Torundas.
- Guantes.
- Mandil.
- Mascarilla.
- Hojas para registro de datos de las muestras.

Análisis de Muestras

El análisis se realizó a las muestras tomadas en los siguientes puntos: Vertiente San Pablo, Pozo Llío 1, Pozo Llío 2, Pozo Llío 3, Pozo Llío 4, Pozo Llío5, PozoLlío6, Pozo Llío 7, Pozo 24 de mayo, Pozo Huerta, Pozo Servidores, Pozo Las Hierbas, Pozo 21de abril, Pozo San Gabriel, Pozo Las Abras, Pozo Maldonado, Pozo Lascano y Pozo El Estadio.

Análisis in Situ

Las mediciones “in situ” se evalúan en la fuente hídrica, lo que otorga una lectura representativa y puntual de la calidad de la misma. Es importante realizar estos análisis en terreno debido a que este tipo de parámetros pueden ver afectados por la temperatura, conservación y

transporte, dando lugar a resultados de veracidad cuestionable en análisis posteriores. (Caparrós, 2012)

Se midieron *in situ* los siguientes parámetros físico, químicos:

- El pH y temperatura se determinaron con el equipo HACH sension 5.
- Los sólidos totales disueltos se determinaron con el equipo HACH sension 1.
- La turbidez se determinó con el equipo HACH 2100 Q.
- El oxígeno disuelto se determinó con kit para determinación de oxígeno disuelto marca HACH.

Análisis de Laboratorio

En el laboratorio de control de calidad de agua de la EP-EMAPAR se determinaron los siguientes parámetros físicos, químicos y microbiológicos:

- La demanda bioquímica de oxígeno en 5 días DBO_5 se determinó en la incubadora HACH MODEL 205 y el digestor DBO trucker.
- Los nitratos y fosfatos se determinaron en el espectrofotómetro HACH DR 2800.
- Los coliformes fecales se determinaron utilizando la cámara de flujo laminar Air Clean, el sistema de filtración al vacío y la incubadora para crecimiento de coliformes.

Figura 2

Análisis de laboratorio



Nota: EMAPAR 2019

Determinación del ICA-NSF

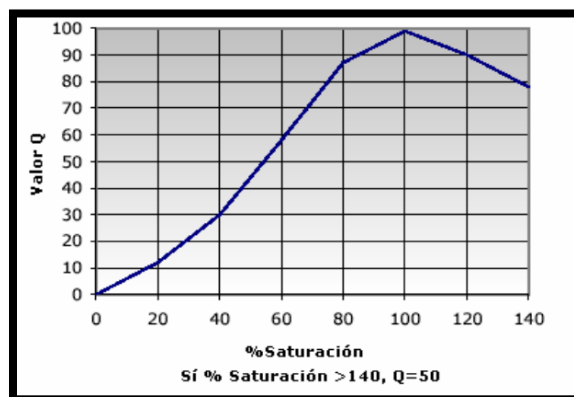
La National Sanitation Foundation (NSF) desarrolló un índice de calidad del agua (WQI) de uso común en 1970 (Brown et al., 1970). El NSF WQI fue desarrollado para proporcionar un método estandarizado y comparar la calidad del agua de varios cuerpos de agua, mediante la metodología DELPHI, basada en tres etapas:

1. Se encuestó a 142 científicos sobre 35 variables de calidad del agua y se les solicitó consideren que pruebas tendrían su posible inclusión en el ICA. Las variables debían ser calificadas en un rango del 1 al 5, donde 1 tuvo la significancia más alta y 5 la más baja. También los panelistas podían agregar algún parámetro si consideraban importante.
2. Se evaluó mediante comparación las respuestas emitidas por los expertos y como resultado se obtuvieron 9 variables, las de mayor importancia: oxígeno disuelto, coliformes fecales, pH, DBO5, nitratos, fosfatos, temperatura, turbidez y sólidos totales disueltos.

3. Se pidió a los expertos asignar valores a la calidad del agua según la variación en concentración para cada parámetro. Los expertos desarrollaron curvas de valoración de la calidad de agua para cada una de las nueve variables. Los niveles de calidad de agua Q_i en un rango de 0 a 100 se localizan en el eje y de cada gráfico, mientras que en el eje x se localizó la concentración del contaminante. Estas curvas conocidas como curvas de función indican como varía la calidad de agua como consecuencia de la contaminación de las variables. (IDEAM, 2014)

Figura 3

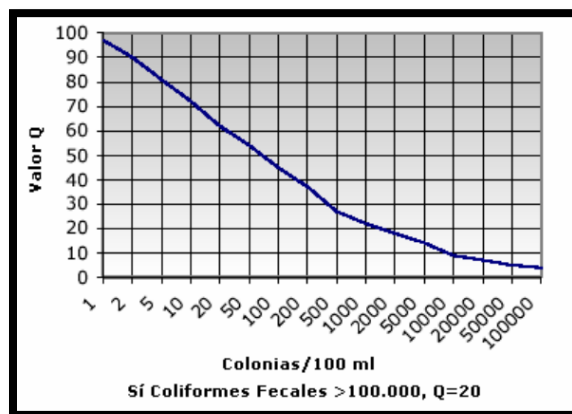
Función de calidad NSF oxígeno disuelto



Nota: (Fernández Prada, Solano Ortega, & Ramos, 2005)

Figura 4

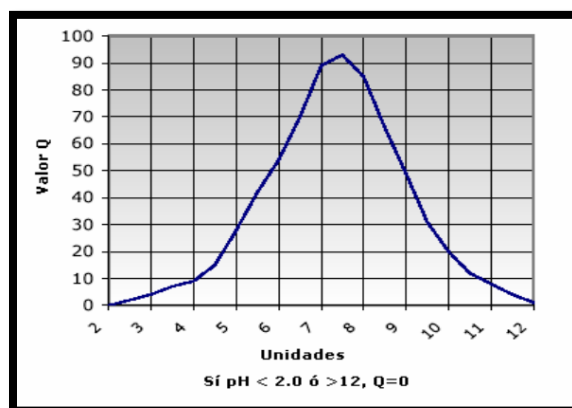
Función de calidad NSF coliformes fecales



Nota: (Fernández Prada, Solano Ortega, & Ramos, 2005)

Figura 5

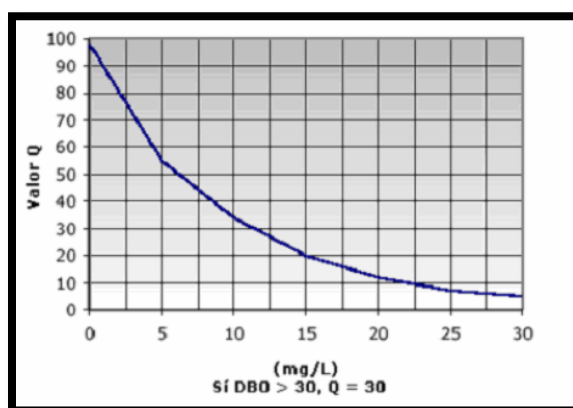
Función de calidad NSF pH



Nota: (Fernández Prada, Solano Ortega, & Ramos, 2005)

Figura 6

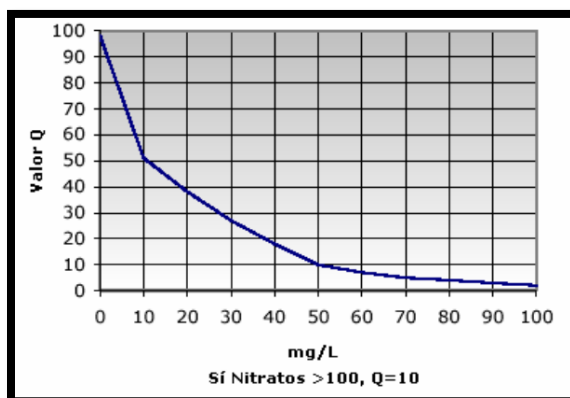
Función de calidad NSF demanda bioquímica de oxígeno



Nota: (Fernández Prada, Solano Ortega, & Ramos, 2005)

Figura 7

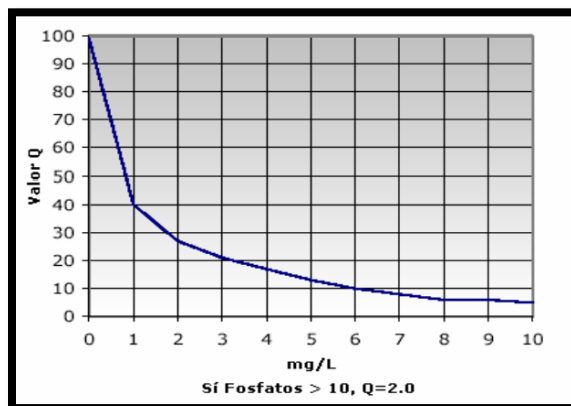
Función de calidad NSF nitratos



Nota: (Fernández Prada, Solano Ortega, & Ramos, 2005)

Figura 8

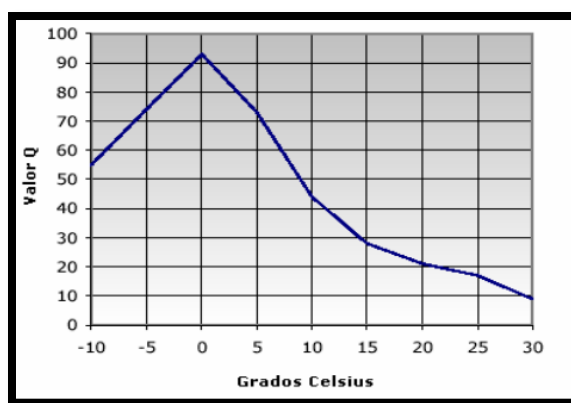
Función de calidad NSF fosfatos



Nota: (Fernández Prada, Solano Ortega, & Ramos, 2005)

Figura 9

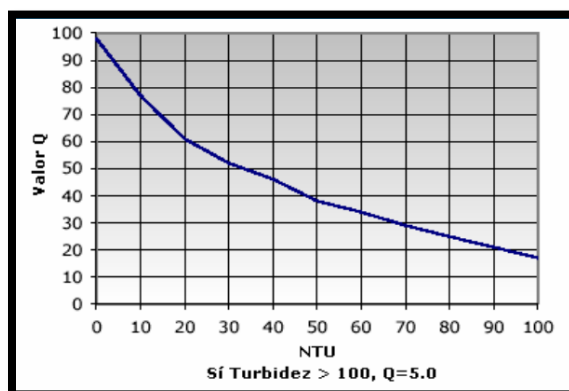
Función de calidad NSF temperatura



Nota: (Fernández Prada, Solano Ortega, & Ramos, 2005)

Figura 10

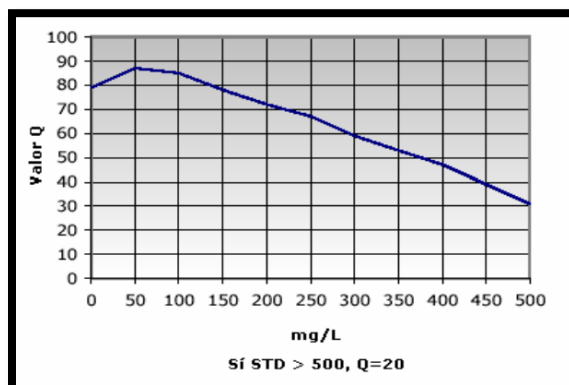
Función de calidad NSF turbidez



Nota: (Fernández Prada, Solano Ortega, & Ramos, 2005)

Figura 11

Función de calidad NSF sólidos totales disueltos



Nota: (Fernández Prada, Solano Ortega, & Ramos, 2005)

Para calcular el índice ICA-NSF, una vez determinadas las curvas para cada parámetro, se le otorga a cada uno un peso, el peso de cada factor es calculado dividiendo la importancia de cada parámetro sobre la valoración del peso de la variable de mayor importancia, es decir el oxígeno disuelto, obteniendo los pesos finales. **(Girardi, González, Jara, Charre, & Elorrieta, 2018)**

Así, los pesos temporales son divididos individualmente entre la suma de los pesos temporales, lo que produce los pesos finales.

Tabla 1*Pesos otorgados a cada parámetro según ICA-NSF*

Parámetro	Peso
Oxígeno disuelto	0,17
Coliformes fecales	0,15
pH	0,12
DBO	0,10
Temperatura	0,10
Fosfatos	0,10
Nitratos	0,10
Turbidez	0,08
Sólidos totales disueltos	0,08

Nota: (Girardi et al., 2018)

Para determinar el índice de calidad de agua ICA-NSF se utilizó la fórmula de un promedio ponderado. (Fernández Prada et al., 2005)

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

Donde

I_i : calidad del parámetro i

W_i : es el peso de cada parámetro

Finalmente, para determinar el ICA se realiza una comparación basada en los criterios, rangos de calidad, y colores establecidos para los índices de calidad de agua. Con la aplicación de estos, se pretende interpretar los resultados de calidad, considerando los valores establecidos para cada uno de ellos. El color azul indica que el agua Excelente (E), el color celeste la califica como aceptable (A), el verde oscuro indica que el agua se encuentra levemente contaminada (LC), el color verde se relaciona con agua contaminada (C), el color amarillo indica que el agua está contaminada fuerte (CF), y el color rojo representa al agua contaminada en exceso (CE). (León, 2009)

Tabla 2

Criterios, colores y rangos de calidad de agua representativos del ICA

Criterio	Color	Rangos	Criterio para consumo humano
Excelente	Azul	91-100	No requiere purificación para su consumo
Aceptable	Celeste	81-90	Requiere purificación menor
Levemente contaminada	Verde oscuro	71-80	Dudoso su consumo sin purificación
Contaminada	Verde claro	51-70	Tratamiento de potabilización indispensable
Contaminada fuerte	Amarillo	41-50	Dudoso par consumo
Contaminada en exceso	Rojo	0-40	Inaceptable para consumo

Cálculos y Resultados

Comparación de los Resultados con la Norma Técnica INEN NTE 1108. Agua potable.

Requisitos

Tabla 3

Comparación de los resultados Vertiente San Pablo con la Norma Técnica INEN NTE 1108

Sitio muestra	Parámetro	Unidades	Límite permisible	Resultado	Calificación
Vertiente San Pablo	Color	Pt-Co	15	1	Cumple
	Turbiedad	NTU	15	0,21	Cumple
	Cianuros	mg/L	0,07	0,07	Cumple
	Cobre	mg/L	2	0,01	Cumple
	Cromo	mg/L	0,05	0,013	Cumple
	Flúor	mg/L	1,5	0,41	Cumple
	Nitratos	mg/L	50	2	Cumple
	Coliformes fecales	UFC	<1	0	Cumple

Tabla 4

Comparación de los resultados Pozo Llío 1 con la Norma Técnica INEN NTE 1108

Sitio muestra	Parámetro	Unidades	Límite permisible	Resultado	Calificación
Pozo Llío # 1	Color	Pt-Co	15	1	Cumple
	Turbiedad	NTU	15	0,2	Cumple
	Cianuros	mg/L	0,07	0,06	Cumple
	Cobre	mg/L	2	0,06	Cumple
	Cromo	mg/L	0,05	0,011	Cumple
	Flúor	mg/L	1,5	0,76	Cumple
	Nitratos	mg/L	50	1	Cumple
	Coliformes fecales	UFC	<1	0	Cumple

Tabla 5

Comparación de los resultados Pozo Llío 2 con la Norma Técnica INEN NTE 1108

Sitio muestra	Parámetro	Unidades	Límite permisible	Resultado	Calificación
Pozo Llío # 2	Color	Pt-Co	15	1	Cumple
	Turbiedad	NTU	15	0,22	Cumple
	Cianuros	mg/L	0,07	0,007	Cumple
	Cobre	mg/L	2	0,01	Cumple
	Cromo	mg/L	0,05	0,014	Cumple
	Flúor	mg/L	1,5	0,79	Cumple
	Nitratos	mg/L	50	1,1	Cumple
	Coliformes fecales	UFC	<1	0	Cumple

Tabla 6

Comparación de los resultados Pozo Llío 3 con la Norma Técnica INEN NTE 1108

Sitio muestra	Parámetro	Unidades	Límite permisible	Resultado	Calificación
Pozo Llío # 3	Color	Pt-Co	15	1	Cumple
	Turbiedad	NTU	15	0,21	Cumple
	Cianuros	mg/L	0,07	0,008	Cumple
	Cobre	mg/L	2	0,02	Cumple
	Cromo	mg/L	0,05	0,019	Cumple
	Flúor	mg/L	1,5	0,82	Cumple
	Nitratos	mg/L	50	1,7	Cumple
	Coliformes fecales	UFC	<1	0	Cumple

Tabla 7

Comparación de los resultados Pozo Llío 4 con la Norma Técnica INEN NTE 1108

Sitio muestra	Parámetro	Unidades	Límite permisible	Resultado	Calificación
Pozo Llío # 4	Color	Pt-Co	15	1	Cumple
	Turbiedad	NTU	15	0,22	Cumple
	Cianuros	mg/L	0,07	0,004	Cumple
	Cobre	mg/L	2	0,03	Cumple
	Cromo	mg/L	0,05	0,011	Cumple
	Flúor	mg/L	1,5	0,97	Cumple
	Nitratos	mg/L	50	1,7	Cumple
	Coliformes fecales	UFC	<1	0	Cumple

Tabla 8

Comparación de los resultados Pozo Llío 5 con la Norma Técnica INEN NTE 1108

Sitio muestra	Parámetro	Unidades	Límite permisible	Resultado	Calificación
Pozo Llío # 5	Color	Pt-Co	15	1	Cumple
	Turbiedad	NTU	15	0,15	Cumple
	Cianuros	mg/L	0,07	0,006	Cumple
	Cobre	mg/L	2	0,03	Cumple
	Cromo	mg/L	0,05	0,01	Cumple
	Flúor	mg/L	1,5	0,67	Cumple
	Nitratos	mg/L	50	1,6	Cumple
	Coliformes fecales	UFC	<1	0	Cumple

Tabla 9

Comparación de los resultados Pozo Llío 6 con la Norma Técnica INEN NTE 1108

Sitio muestra	Parámetro	Unidades	Límite permisible	Resultado	Calificación
Pozo Llío # 6	Color	Pt-Co	15	1	Cumple
	Turbiedad	NTU	15	0,14	Cumple
	Cianuros	mg/L	0,07	0,001	Cumple
	Cobre	mg/L	2	0,01	Cumple
	Cromo	mg/L	0,05	0,02	Cumple
	Flúor	mg/L	1,5	0,5	Cumple
	Nitratos	mg/L	50	1,2	Cumple
	Coliformes fecales	UFC	<1	0	Cumple

Tabla 10

Comparación de los resultados Pozo Llío 7 con la Norma Técnica INEN NTE 1108

Sitio muestra	Parámetro	Unidades	Límite permisible	Resultado	Calificación
Pozo Llío # 7	Color	Pt-Co	15	1	Cumple
	Turbiedad	NTU	15	0,21	Cumple
	Cianuros	mg/L	0,07	0,009	Cumple
	Cobre	mg/L	2	0,01	Cumple
	Cromo	mg/L	0,05	0,007	Cumple
	Flúor	mg/L	1,5	0,79	Cumple
	Nitratos	mg/L	50	2	Cumple
	Coliformes fecales	UFC	<1	0	Cumple

Tabla 11

Comparación de los resultados Pozo 24 de Mayo con la Norma Técnica INEN NTE 1108

Sitio muestra	Parámetro	Unidades	Límite permisible	Resultado	Calificación
Pozo 24 de mayo	Color	Pt-Co	15	1	Cumple
	Turbiedad	NTU	15	0,18	Cumple
	Cianuros	mg/L	0,07	0,011	Cumple
	Cobre	mg/L	2	0,36	Cumple
	Cromo	mg/L	0,05	0,005	Cumple
	Flúor	mg/L	1,5	0,43	Cumple
	Nitratos	mg/L	50	2,3	Cumple
	Coliformes fecales	UFC	<1	0	Cumple

Tabla 12

Comparación de los resultados Pozo Huerta con la Norma Técnica INEN NTE 1108

Sitio muestra	Parámetro	Unidades	Límite permisible	Resultado	Calificación
Pozo Huerta	Color	Pt-Co	15	1	Cumple
	Turbiedad	NTU	15	0,27	Cumple
	Cianuros	mg/L	0,07	0,007	Cumple
	Cobre	mg/L	2	0,19	Cumple
	Cromo	mg/L	0,05	0,009	Cumple
	Flúor	mg/L	1,5	0,34	Cumple
	Nitratos	mg/L	50	1,7	Cumple
	Coliformes fecales	UFC	<1	0	Cumple

Tabla 13

Comparación de los resultados Pozo Servidores con la Norma Técnica INEN NTE 1108

Sitio muestra	Parámetro	Unidades	Límite permisible	Resultado	Calificación
Pozo Servidores	Color	Pt-Co	15	1	Cumple
	Turbiedad	NTU	15	0,14	Cumple
	Cianuros	mg/L	0,07	0,023	Cumple
	Cobre	mg/L	2	0,81	Cumple
	Cromo	mg/L	0,05	0,008	Cumple
	Flúor	mg/L	1,5	0,38	Cumple
	Nitratos	mg/L	50	1,1	Cumple
	Coliformes fecales	UFC	<1	0	Cumple

Tabla 14

Comparación de los resultados Pozo Las Hierbas con la Norma Técnica INEN NTE 1108

Sitio muestra	Parámetro	Unidades	Límite permisible	Resultado	Calificación
Pozo Las Hierbas	Color	Pt-Co	15	1	Cumple
	Turbiedad	NTU	15	0,21	Cumple
	Cianuros	mg/L	0,07	0,021	Cumple
	Cobre	mg/L	2	0,06	Cumple
	Cromo	mg/L	0,05	0,035	Cumple
	Flúor	mg/L	1,5	1,03	Cumple
	Nitratos	mg/L	50	1,9	Cumple
	Coliformes fecales	UFC	<1	0	Cumple

Tabla 15

Comparación de los resultados Pozo 21 de abril con la Norma Técnica INEN NTE 1108

Sitio muestra	Parámetro	Unidades	Límite permisible	Resultado	Calificación
Pozo 21 De abril	Color	Pt-Co	15	1	Cumple
	Turbiedad	NTU	15	0,17	Cumple
	Cianuros	mg/L	0,07	0,002	Cumple
	Cobre	mg/L	2	0,02	Cumple
	Cromo	mg/L	0,05	0,048	Cumple
	Flúor	mg/L	1,5	0,97	Cumple
	Nitratos	mg/L	50	1,9	Cumple
	Coliformes fecales	UFC	<1	0	Cumple

Tabla 16

Comparación de los resultados Pozo San Gabriel con la Norma Técnica INEN NTE 1108

Sitio muestra	Parámetro	Unidades	Límite permisible	Resultado	Calificación
Pozo San Gabriel	Color	Pt-Co	15	1	Cumple
	Turbiedad	NTU	15	0,16	Cumple
	Cianuros	mg/L	0,07	0,017	Cumple
	Cobre	mg/L	2	1,53	Cumple
	Cromo	mg/L	0,05	0,01	Cumple
	Flúor	mg/L	1,5	0,42	Cumple
	Nitratos	mg/L	50	2	Cumple
	Coliformes fecales	UFC	<1	0	Cumple

Tabla 17

Comparación de los resultados Las Abras con la Norma Técnica INEN NTE 1108

Sitio muestra	Parámetro	Unidades	Límite permisible	Resultado	Calificación
Pozo Las Abras	Color	Pt-Co	15	1	Cumple
	Turbiedad	NTU	15	0,16	Cumple
	Cianuros	mg/L	0,07	0,006	Cumple
	Cobre	mg/L	2	0,05	Cumple
	Cromo	mg/L	0,05	0,019	Cumple
	Flúor	mg/L	1,5	0,84	Cumple
	Nitratos	mg/L	50	3,7	Cumple
	Coliformes fecales	UFC	<1	0	Cumple

Tabla 18

Comparación de los resultados Pozo Maldonado con la Norma Técnica INEN NTE 1108

Sitio muestra	Parámetro	Unidades	Límite permisible	Resultado	Calificación
Pozo Maldonado	Color	Pt-Co	15	1	Cumple
	Turbiedad	NTU	15	0,13	Cumple
	Cianuros	mg/L	0,07	0,007	Cumple
	Cobre	mg/L	2	0,28	Cumple
	Cromo	mg/L	0,05	0,044	Cumple
	Flúor	mg/L	1,5	1,6	Cumple
	Nitratos	mg/L	50	1,7	Cumple
	Coliformes fecales	UFC	<1	0	Cumple

Tabla 19

Comparación de los resultados Pozo Lascano con la Norma Técnica INEN NTE 1108

Sitio muestra	Parámetro	Unidades	Límite permisible	Resultado	Calificación
Pozo Lascano	Color	Pt-Co	15	1	Cumple
	Turbiedad	NTU	15	0,17	Cumple
	Cianuros	mg/L	0,07	0,002	Cumple
	Cobre	mg/L	2	0	Cumple
	Cromo	mg/L	0,05	0,041	Cumple
	Flúor	mg/L	1,5	1,5	Cumple
	Nitratos	mg/L	50	2,1	Cumple
	Coliformes fecales	UFC	<1	0	Cumple

Tabla 20

Comparación de los resultados El Estadio con la Norma Técnica INEN NTE 1108

Sitio muestra	Parámetro	Unidades	Límite permisible	Resultado	Calificación
POZO EL ESTADIO	Color	Pt-Co	15	1	Cumple
	Turbiedad	NTU	15	0,4	Cumple
	Cianuros	mg/L	0,07	0,037	Cumple
	Cobre	mg/L	2	0,14	Cumple
	Cromo	mg/L	0,05	0,02	Cumple
	Flúor	mg/L	1,5	1,47	Cumple
	Nitratos	mg/L	50	3,4	Cumple
	Coliformes fecales	UFC	<1	0	Cumple

Comparación de los Resultados con la Tabla 1 del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente TULSMA

Tabla 21

Comparación de los resultados Vertiente San Pablo con la tabla 1 TULSMA

Sitio muestra	Parámetro	Unidades	Límite permisible	Resultado	Calificación
VERTIENTE SAN PABLO	Coliformes fecales	NMP/1000 ml	1000	0	Cumple
	Cianuro total	mg/L	0,1	0,007	Cumple
	Cobre	mg/L	2	0,01	Cumple
	Color	Pt-Co	75	1	Cumple
	Cromo hexavalente	mg/L	0,05	0,013	Cumple
	Flúor	mg/L	1,5	0,41	Cumple
	DBO	mg/L	< 2	0	Cumple
	Hierro	mg/L	1	0,02	Cumple
	Nitratos	mg/L	50	2	Cumple
	pH	-	6-9	6,89	Cumple
	Sulfatos	mg/L	500	14	Cumple
	Turbidez	UNT	100	0,21	Cumple

Tabla 22

Comparación de los resultados Pozo Lío 1 con la tabla 1 TULSMA

Sitio muestra	Parámetro	Unidades	Límite permisible	Resultado	Calificación
Pozo Lío # 1	Coliformes fecales	NMP/1000 ml	1000	0	Cumple
	Cianuro total	mg/L	0,1	0,006	Cumple
	Cobre	mg/L	2	0,06	Cumple
	Color	Pt-Co	75	1	Cumple
	Cromo hexavalente	mg/L	0,05	0,011	Cumple
	Flúor	mg/L	1,5	0,76	Cumple
	DBO	mg/L	< 2	5	No cumple
	Hierro	mg/L	1	0,02	Cumple
	Nitratos	mg/L	50	1	Cumple
	pH	-	6-9	7,13	Cumple
	Sulfatos	mg/L	500	9	Cumple
	Turbidez	UNT	100	0,2	Cumple

Tabla 23

Comparación de los resultados Pozo Lío 2 con la tabla 1 TULSMA

Sitio muestra	Parámetro	Unidades	Límite permisible	Resultado	Calificación
Pozo Lío # 2	Coliformes fecales	NMP/1000 ml	1000	0	Cumple
	Cianuro total	mg/L	0,1	0,007	Cumple
	Cobre	mg/L	2	0,01	Cumple
	Color	Pt-Co	75	1	Cumple
	Cromo hexavalente	mg/L	0,05	0,014	Cumple
	Flúor	mg/L	1,5	0,79	Cumple
	DBO	mg/L	< 2	2	Cumple
	Hierro	mg/L	1	0,02	Cumple
	Nitratos	mg/L	50	1,1	Cumple
	pH	-	6-9	6,58	Cumple
	Sulfatos	mg/L	500	9	Cumple
	Turbidez	UNT	100	0,22	Cumple

Tabla 24

Comparación de los resultados Pozo Llío 3 con la tabla 1 TULSMA

Sitio muestra	Parámetro	Unidades	Límite permisible	Resultado	Calificación
Pozo Llío # 3	Coliformes fecales	NMP/1000 ml	1000	0	Cumple
	Cianuro total	mg/L	0,1	0,008	Cumple
	Cobre	mg/L	2	0,02	Cumple
	Color	Pt-Co	75	1	Cumple
	Cromo hexavalente	mg/L	0,05	0,019	Cumple
	Flúor	mg/L	1,5	0,82	Cumple
	DBO	mg/L	< 2	5	No cumple
	Hierro	mg/L	1	0,01	Cumple
	Nitratos	mg/L	50	1,7	Cumple
	pH	-	6-9	7,12	Cumple
	Sulfatos	mg/L	500	10	Cumple
	Turbidez	UNT	100	0,21	Cumple

Tabla 25

Comparación de los resultados Pozo Llío 4 con la tabla 1 TULSMA

sitio muestra	Parámetro	Unidades	Límite permisible	Resultado	Calificación
pozo Llío # 4	Coliformes fecales	NMP/1000 ml	1000	0	Cumple
	Cianuro total	mg/L	0,1	0,004	Cumple
	Cobre	mg/L	2	0,03	Cumple
	Color	Pt-Co	75	1	Cumple
	Cromo hexavalente	mg/L	0,05	0,011	Cumple
	Flúor	mg/L	1,5	0,97	Cumple
	DBO	mg/L	< 2	3	No cumple
	Hierro	mg/L	1	0,01	Cumple
	Nitratos	mg/L	50	1,7	Cumple
	pH	-	6-9	6,7	Cumple
	Sulfatos	mg/L	500	12	Cumple
	Turbidez	UNT	100	0,22	Cumple

Tabla 26

Comparación de los resultados Pozo Llíó 5 con la tabla 1 TULSMA

Sitio muestra	Parámetro	Unidades	Límite permisible	Resultado	Calificación
POZO LLIO # 5	Coliformes fecales	NMP/1000 ml	1000	0	Cumple
	Cianuro total	mg/L	0,1	0,006	Cumple
	Cobre	mg/L	2	0,03	Cumple
	Color	Pt-Co	75	1	Cumple
	Cromo hexavalente	mg/L	0,05	0,01	Cumple
	Flúor	mg/L	1,5	0,67	Cumple
	DBO	mg/L	< 2	1	Cumple
	Hierro	mg/L	1	0,04	Cumple
	Nitratos	mg/L	50	1,6	Cumple
	pH	-	6-9	6,52	Cumple
	Sulfatos	mg/L	500	9	Cumple
	Turbidez	UNT	100	0,15	Cumple

Tabla 27

Comparación de los resultados Pozo Llíó 6 con la tabla 1 TULSMA

Sitio muestra	Parámetro	Unidades	Límite permisible	Resultado	Calificación
Pozo Llíó # 6	Coliformes fecales	NMP/1000 ml	1000	0	Cumple
	Cianuro total	mg/L	0,1	0,001	Cumple
	Cobre	mg/L	2	0,01	Cumple
	Color	Pt-Co	75	1	Cumple
	Cromo hexavalente	mg/L	0,05	0,02	Cumple
	Flúor	mg/L	1,5	0,5	Cumple
	DBO	mg/L	< 2	1	Cumple
	Hierro	mg/L	1	0,01	Cumple
	Nitratos	mg/L	50	1,2	Cumple
	pH	-	6-9	6,6	Cumple
	Sulfatos	mg/L	500	4	Cumple
	Turbidez	UNT	100	0,14	Cumple

Tabla 28

Comparación de los resultados Pozo Llíó 7 con la tabla 1 TULSMA

Sitio muestra	Parámetro	Unidades	Límite permisible	Resultado	Calificación
Pozo Llíó # 7	Coliformes fecales	NMP/1000 ml	1000	0	Cumple
	Cianuro total	mg/L	0,1	0,009	Cumple
	Cobre	mg/L	2	0,01	Cumple
	Color	Pt-Co	75	1	Cumple
	Cromo hexavalente	mg/L	0,05	0,007	Cumple
	Flúor	mg/L	1,5	0,79	Cumple
	DBO	mg/L	< 2	0	Cumple
	Hierro	mg/L	1	0	Cumple
	Nitratos	mg/L	50	2	Cumple
	pH	-	6-9	6,7	Cumple
	Sulfatos	mg/L	500	8	Cumple
	Turbidez	UNT	100	0,21	Cumple

Tabla 29

Comparación de los resultados Pozo 24 de mayo con tabla 1 TULSMA

Sitio muestra	Parámetro	Unidades	Límite permisible	Resultado	Calificación
Pozo 24 de mayo	Coliformes fecales	NMP/1000 ml	1000	0	Cumple
	Cianuro total	mg/L	0,1	0,011	Cumple
	Cobre	mg/L	2	0,36	Cumple
	Color	Pt-Co	75	1	Cumple
	Cromo hexavalente	mg/L	0,05	0,005	Cumple
	Flúor	mg/L	1,5	0,43	Cumple
	DBO	mg/L	< 2	7	No cumple
	Hierro	mg/L	1	0,03	Cumple
	Nitratos	mg/L	50	2,3	Cumple
	pH	-	6-9	7,1	Cumple
	Sulfatos	mg/L	500	430	Cumple
	Turbidez	UNT	100	0,18	Cumple

Tabla 30

Comparación de los resultados Pozo Huerta con la tabla 1 TULSMA

Sitio muestra	Parámetro	Unidades	Límite permisible	Resultado	Calificación
Pozo Huerta	Coliformes fecales	NMP/1000 ml	1000	0	Cumple
	Cianuro total	mg/L	0,1	0,007	Cumple
	Cobre	mg/L	2	0,19	Cumple
	Color	Pt-Co	75	1	Cumple
	Cromo hexavalente	mg/L	0,05	0,009	Cumple
	Flúor	mg/L	1,5	0,34	Cumple
	DBO	mg/L	< 2	5	No cumple
	Hierro	mg/L	1	0,02	Cumple
	Nitratos	mg/L	50	1,7	Cumple
	pH	-	6-9	7,38	Cumple
	Sulfatos	mg/L	500	60	Cumple
	Turbidez	UNT	100	0,27	Cumple

Tabla 31

Comparación de los resultados Pozo Servidores con la tabla 1 TULSMA

Sitio muestra	Parámetro	Unidades	Límite permisible	Resultado	Calificación
Pozo Servidores	Coliformes fecales	NMP/1000 ml	1000	0	Cumple
	Cianuro total	mg/L	0,1	0,023	Cumple
	Cobre	mg/L	2	0,81	Cumple
	Color	Pt-Co	75	1	Cumple
	Cromo hexavalente	mg/L	0,05	0,008	Cumple
	Flúor	mg/L	1,5	0,38	Cumple
	DBO	mg/L	< 2	1	Cumple
	Hierro	mg/L	1	0,01	Cumple
	Nitratos	mg/L	50	1,1	Cumple
	pH	-	6-9	7,44	Cumple
	Sulfatos	mg/L	500	70	Cumple
	Turbidez	UNT	100	0,14	Cumple

Tabla 32

Comparación de los resultados Pozo Hierbas con la tabla 1 TULSMA

Sitio muestra	Parámetro	Unidades	Límite permisible	Resultado	Calificación
Pozo las Hierbas	Coliformes fecales	NMP/1000 ml	1000	0	Cumple
	Cianuro total	mg/L	0,1	0,021	Cumple
	Cobre	mg/L	2	0,06	Cumple
	Color	Pt-Co	75	1	Cumple
	Cromo hexavalente	mg/L	0,05	0,035	Cumple
	Flúor	mg/L	1,5	1,03	Cumple
	DBO	mg/L	< 2	6	No cumple
	Hierro	mg/L	1	0,06	Cumple
	Nitratos	mg/L	50	1,9	Cumple
	pH	-	6-9	7,22	Cumple
	Sulfatos	mg/L	500	96	Cumple
	Turbidez	UNT	100	0,21	Cumple

Tabla 33

Comparación de los resultados Pozo 21 de abril con la tabla 1 TULSMA

Sitio muestra	Parámetro	Unidades	Límite permisible	Resultado	Calificación
Pozo 21 de abril	Coliformes fecales	NMP/1000 ml	1000	0	Cumple
	Cianuro total	mg/L	0,1	0,002	Cumple
	Cobre	mg/L	2	0,02	Cumple
	Color	Pt-Co	75	1	Cumple
	Cromo hexavalente	mg/L	0,05	0,048	Cumple
	Flúor	mg/L	1,5	0,97	Cumple
	DBO	mg/L	< 2	0	Cumple
	Hierro	mg/L	1	0,06	Cumple
	Nitratos	mg/L	50	1,9	Cumple
	pH	-	6-9	7,63	Cumple
	Sulfatos	mg/L	500	200	Cumple
	Turbidez	UNT	100	0,17	Cumple

Tabla 34

Comparación de los resultados Pozo San Gabriel con la tabla 1 TULSMA

Sitio muestra	Parámetro	Unidades	Límite permisible	Resultado	Calificación
Pozo San Gabriel	Coliformes fecales	NMP/1000 ml	1000	0	Cumple
	Cianuro total	mg/L	0,1	0,017	Cumple
	Cobre	mg/L	2	1,53	Cumple
	Color	Pt-Co	75	1	Cumple
	Cromo hexavalente	mg/L	0,05	0,01	Cumple
	Flúor	mg/L	1,5	0,42	Cumple
	DBO	mg/L	< 2	0	Cumple
	Hierro	mg/L	1	0,04	Cumple
	Nitratos	mg/L	50	2	Cumple
	pH	-	6-9	7,39	Cumple
	Sulfatos	mg/L	500	98	Cumple
	Turbidez	UNT	100	0,16	Cumple

Tabla 35

Comparación de los resultados Pozo Las Abras con la tabla 1 TULSMA

Sitio muestra	Parámetro	Unidades	Límite permisible	Resultado	Calificación
Pozo Las Abras	Coliformes fecales	NMP/1000 ml	1000	0	Cumple
	Cianuro total	mg/L	0,1	0,006	Cumple
	Cobre	mg/L	2	0,05	Cumple
	Color	Pt-Co	75	1	Cumple
	Cromo hexavalente	mg/L	0,05	0,019	Cumple
	Flúor	mg/L	1,5	0,84	Cumple
	DBO	mg/L	< 2	5	No cumple
	Hierro	mg/L	1	0,02	Cumple
	Nitratos	mg/L	50	3,7	Cumple
	pH	-	6-9	7,65	Cumple
	Sulfatos	mg/L	500	210	Cumple
	Turbidez	UNT	100	0,16	Cumple

Tabla 36

Comparación de los resultados Pozo Maldonado con la tabla 1 TULSMA

Sitio muestra	Parámetro	Unidades	Límite permisible	Resultado	Calificación
Pozo Maldonado	Coliformes fecales	NMP/1000 ml	1000	0	Cumple
	Cianuro total	mg/L	0,1	0,007	Cumple
	Cobre	mg/L	2	0,28	Cumple
	Color	Pt-Co	75	1	Cumple
	Cromo hexavalente	mg/L	0,05	0,044	Cumple
	Flúor	mg/L	1,5	1,5	Cumple
	DBO	mg/L	< 2	4	No cumple
	Hierro	mg/L	1	0,04	Cumple
	Nitratos	mg/L	50	1,7	Cumple
	pH	-	6-9	7,76	Cumple
	Sulfatos	mg/L	500	14	Cumple
	Turbidez	UNT	100	0,13	Cumple

Tabla 37

Comparación de los resultados Pozo Lascano con la tabla 1 TULSMA

Sitio muestra	Parámetro	Unidades	Límite permisible	Resultado	Calificación
Pozo Lascano	Coliformes fecales	NMP/1000 ml	1000	0	Cumple
	Cianuro total	mg/L	0,1	0,002	Cumple
	Cobre	mg/L	2	0	Cumple
	Color	Pt-Co	75	1	Cumple
	Cromo hexavalente	mg/L	0,05	0,041	Cumple
	Flúor	mg/L	1,5	1,5	Cumple
	DBO	mg/L	< 2	4	No cumple
	Hierro	mg/L	1	0,03	Cumple
	Nitratos	mg/L	50	2,1	Cumple
	pH	-	6-9	7,89	Cumple
	Sulfatos	mg/L	500	480	Cumple
	Turbidez	UNT	100	0,17	Cumple

Tabla 38

Comparación de los resultados Pozo El Estadio con la tabla 1 TULSMA

Sitio muestra	Parámetro	Unidades	Límite permisible	Resultado	Calificación
Pozo El Estadio	Coliformes fecales	NMP/1000 ml	1000	0	Cumple
	Cianuro total	mg/L	0,1	0,037	Cumple
	Cobre	mg/L	2	0,14	Cumple
	Color	Pt-Co	75	1	Cumple
	Cromo hexavalente	mg/L	0,05	0,02	Cumple
	Flúor	mg/L	1,5	1,47	Cumple
	DBO	mg/L	< 2	5	No cumple
	Hierro	mg/L	1	0,01	Cumple
	Nitratos	mg/L	50	3,4	Cumple
	pH	-	6-9	7,75	Cumple
	Sulfatos	mg/L	500	105	Cumple
	Turbidez	UNT	100	0,4	Cumple

Cálculo del ICA

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

Donde

I_i : calidad del parámetro i

W_i : es el peso de cada parámetro

Tabla 39

Cálculo del ICA Vertiente San Pablo

Variable	Medida	li	Wi	li*Wi
Oxígeno Disuelto (mg/L)	5,83	4	0,17	0,68
Coliformes Fecales (ufc/100 mL)	0	97	0,15	14,55
pH	6,89	82	0,12	9,84
DBO5 (mg/L)	0	98	0,10	9,80
Nitratos (mg/L)	2	95	0,10	9,50
Fosfatos (mg/L)	0,63	55	0,10	5,50
Temperatura (° C)	1,7	88	0,10	8,80
Turbidez (NTU)	0,21	98	0,08	7,84
Solidos Totales Disueltos (mg/L)	187	72	0,08	5,76
			1,00	72,27

Tabla 40

Cálculo del ICA Pozo Llío 1

Variable	Medida	li	Wi	li*Wi
Oxígeno Disuelto (mg/L)	5,1	3	0,17	0,51
Coliformes Fecales (ufc/100 mL)	0	97	0,15	14,55
pH	7,13	90	0,12	10,80
DBO5 (mg/L)	5	55	0,10	5,50
Nitratos (mg/L)	1	96	0,10	9,60
Fosfatos (mg/L)	0,92	42	0,10	4,20
Temperatura (° C)	1,3	89	0,10	8,90
Turbidez (NTU)	0,2	99	0,08	7,92
Solidos Totales Disueltos (mg/L)	199	71	0,08	5,68
			1,00	67,66

Tabla 41

Cálculo del ICA Pozo Llío 2

Variable	Medida	li	Wi	li*Wi
Oxígeno Disuelto (mg/L)	4,88	3	0,17	0,51
Coliformes Fecales (ufc/100 mL)	0	97	0,15	14,55
pH	6,58	75	0,12	9,00
DBO5 (mg/L)	2	80	0,10	8,00
Nitratos (mg/L)	1,4	93	0,10	9,30
Fosfatos (mg/L)	1,03	40	0,10	4,00
Temperatura (° C)	1,2	89	0,10	8,90
Turbidez (NTU)	0,22	98	0,08	7,84
Solidos Totales Disueltos (mg/L)	208	70	0,08	5,60
			1,00	67,70

Tabla 42

Cálculo del ICA Pozo Llío 3

Variable	Medida	li	Wi	li*Wi
Oxígeno Disuelto (mg/L)	4,37	2	0,17	0,34
Coliformes Fecales (ufc/100 mL)	0	97	0,15	14,55
pH	7,12	90	0,12	10,80
DBO5 (mg/L)	5	50	0,10	5,00
Nitratos (mg/L)	1,7	94	0,10	9,40
Fosfatos (mg/L)	0,76	50	0,10	5,00
Temperatura (° C)	1,7	88	0,10	8,80
Turbidez (NTU)	0,21	98	0,08	7,84
Solidos Totales Disueltos (mg/L)	204	70	0,08	5,60
			1,00	67,33

Tabla 43

Cálculo del ICA Pozo Llío 4

Variable	Medida	li	Wi	li*Wi
Oxígeno Disuelto (mg/L)	5,5	3	0,17	13,94
Coliformes Fecales (ufc/100 mL)	0	97	0,15	14,55
pH	6,7	75	0,12	9,00
DBO5 (mg/L)	3	78	0,10	7,80
Nitratos (mg/L)	2,2	95	0,10	9,50
Fosfatos (mg/L)	0,89	42	0,10	4,20
Temperatura (° C)	1,2	89	0,10	8,90
Turbidez (NTU)	0,22	98	0,08	7,84
Solidos Totales Disueltos (mg/L)	226	69	0,08	5,52
			1,00	81,25

Tabla 44

Cálculo del ICA Pozo Llío 5

Variable	Medida	li	Wi	li*Wi
Oxígeno Disuelto (mg/L)	3,1	2,5	0,17	0,43
Coliformes Fecales (ufc/100 mL)	0	97	0,15	14,55
pH	6,52	73	0,12	8,76
DBO5 (mg/L)	1	90	0,10	9,00
Nitratos (mg/L)	1,6	93	0,10	9,30
Fosfatos (mg/L)	1,04	40	0,10	4,00
Temperatura (° C)	1,6	97	0,10	9,70
Turbidez (NTU)	0,15	99	0,08	7,92
Solidos Totales Disueltos (mg/L)	254	65	0,08	5,20
			1,00	68,86

Tabla 45

Cálculo del ICA Pozo Llío 6

Variable	Medida	li	Wi	li*Wi
Oxígeno Disuelto (mg/L)	4,5	4	0,17	0,68
Coliformes Fecales (ufc/100 mL)	0	97	0,15	14,55
pH	6,6	75	0,12	9,00
DBO5 (mg/L)	1	90	0,10	9,00
Nitratos (mg/L)	1,2	95	0,10	9,50
Fosfatos (mg/L)	0,89	42	0,10	4,20
Temperatura (° C)	1,9	85	0,10	8,50
Turbidez (NTU)	0,14	99	0,08	7,92
Solidos Totales Disueltos (mg/L)	224	69	0,08	5,52
			1,00	68,87

Tabla 46

Cálculo del ICA Pozo Llío 7

Variable	Medida	li	Wi	li*Wi
Oxígeno Disuelto (mg/L)	5,37	4	0,17	0,68
Coliformes Fecales (ufc/100 mL)	0	97	0,15	14,55
pH	6,7	83	0,12	9,96
DBO5 (mg/L)	2	80	0,10	8,00
Nitratos (mg/L)	1,5	93	0,10	9,30
Fosfatos (mg/L)	0,66	48	0,10	4,80
Temperatura (° C)	1,6	97	0,10	9,70
Turbidez (NTU)	0,21	98	0,08	7,84
Solidos Totales Disueltos (mg/L)	205	70	0,08	5,60
			1,00	70,43

Tabla 47

Cálculo del ICA Pozo 24 de mayo

Variable	Medida	li	Wi	li*Wi
Oxígeno Disuelto (mg/L)	4	2	0,17	0,34
Coliformes Fecales (ufc/100 mL)	0	97	0,15	14,55
pH	7,1	90	0,12	10,80
DBO5 (mg/L)	7	45	0,10	4,50
Nitratos (mg/L)	2,3	95	0,10	9,50
Fosfatos (mg/L)	0,67	55	0,10	5,50
Temperatura (° C)	1,1	90	0,10	9,00
Turbidez (NTU)	0,18	95	0,08	7,60
Solidos Totales Disueltos (mg/L)	518	20	0,08	1,60
			1,00	63,39

Tabla 48

Cálculo del ICA Pozo Huerta

Variable	Medida	li	Wi	li*Wi
Oxígeno Disuelto (mg/L)	4,5	3	0,17	0,51
Coliformes Fecales (ufc/100 mL)	0	97	0,15	14,55
pH	7,38	92	0,12	11,04
DBO5 (mg/L)	5	50	0,10	5,00
Nitratos (mg/L)	1,7	94	0,10	9,40
Fosfatos (mg/L)	0,46	70	0,10	7,00
Temperatura (° C)	1,4	88	0,10	8,80
Turbidez (NTU)	0,27	93	0,08	7,44
Solidos Totales Disueltos (mg/L)	544	20	0,08	1,60
			1,00	65,34

Tabla 49

Cálculo del ICA Pozo Servidores

Variable	Medida	li	Wi	li*Wi
Oxígeno Disuelto (mg/L)	5	3	0,17	0,51
Coliformes Fecales (ufc/100 mL)	0	97	0,15	14,55
pH	7,44	92	0,12	11,04
DBO5 (mg/L)	1	89	0,10	8,90
Nitratos (mg/L)	1,1	96	0,10	9,60
Fosfatos (mg/L)	0,74	53	0,10	5,30
Temperatura (° C)	1,7	85	0,10	8,50
Turbidez (NTU)	0,14	97	0,08	7,76
Solidos Totales Disueltos (mg/L)	547	20	0,08	1,60
			1,00	67,76

Tabla 50

Cálculo del ICA Pozo Las Hierbas

Variable	Medida	li	Wi	li*Wi
Oxígeno Disuelto (mg/L)	4	2	0,17	0,34
Coliformes Fecales (ufc/100 mL)	0	97	0,15	14,55
pH	7,22	90	0,12	10,80
DBO5 (mg/L)	6	47	0,10	4,70
Nitratos (mg/L)	1,9	95	0,10	9,50
Fosfatos (mg/L)	0,32	80	0,10	8,00
Temperatura (° C)	1,1	90	0,10	9,00
Turbidez (NTU)	0,21	98	0,08	7,84
Solidos Totales Disueltos (mg/L)	564	20	0,08	1,60
			1,00	66,33

Tabla 51*Cálculo del ICA Pozo 21 de Abril*

Variable	Medida	li	Wi	li*Wi
Oxígeno Disuelto (mg/L)	4	2	0,17	0,34
Coliformes Fecales (ufc/100 mL)	0	97	0,15	14,55
pH	7,63	91	0,12	10,92
DBO5 (mg/L)	0	98	0,10	9,80
Nitratos (mg/L)	1,9	95	0,10	9,50
Fosfatos (mg/L)	0,87	50	0,10	5,00
Temperatura (° C)	1,9	86	0,10	8,60
Turbidez (NTU)	0,17	96	0,08	7,68
Solidos Totales Disueltos (mg/L)	578	20	0,08	1,60
			1,00	67,99

Tabla 52*Cálculo del ICA Pozo San Gabriel*

Variable	Medida	li	Wi	li*Wi
Oxígeno Disuelto (mg/L)	4,5	3	0,17	0,51
Coliformes Fecales (ufc/100 mL)	0	97	0,15	14,55
pH	7,39	92	0,12	11,04
DBO5 (mg/L)	0	98	0,10	9,80
Nitratos (mg/L)	2	95	0,10	9,50
Fosfatos (mg/L)	0,32	80	0,10	8,00
Temperatura (° C)	2,2	84	0,10	8,40
Turbidez (NTU)	0,16	99	0,08	7,92
Solidos Totales Disueltos (mg/L)	705	20	0,08	1,60
			1,00	71,32

Tabla 53

Cálculo del ICA Pozo Las Abras

Variable	Medida	li	Wi	li*Wi
Oxígeno Disuelto (mg/L)	3	2,5	0,17	0,43
Coliformes Fecales (ufc/100 mL)	0	97	0,15	14,55
pH	7,65	92	0,12	11,04
DBO5 (mg/L)	5	55	0,10	5,50
Nitratos (mg/L)	2,1	95	0,10	9,50
Fosfatos (mg/L)	0,58	60	0,10	6,00
Temperatura (° C)	1,7	85	0,10	8,50
Turbidez (NTU)	0,16	99	0,08	7,92
Solidos Totales Disueltos (mg/L)	539	20	0,08	1,60
			1,00	65,04

Tabla 54

Cálculo del ICA Pozo Maldonado

Variable	Medida	li	Wi	li*Wi
Oxígeno Disuelto (mg/L)	5	3	0,17	0,51
Coliformes Fecales (ufc/100 mL)	0	97	0,15	14,55
pH	7,76	88	0,12	10,56
DBO5 (mg/L)	4	61	0,10	6,10
Nitratos (mg/L)	1,7	94	0,10	9,40
Fosfatos (mg/L)	0,54	70	0,10	7,00
Temperatura (° C)	2,1	89	0,10	8,90
Turbidez (NTU)	0,13	98	0,08	7,84
Solidos Totales Disueltos (mg/L)	494	30	0,08	2,40
			1,00	67,26

Tabla 55

Cálculo del ICA Pozo Lascano

Variable	Medida	li	Wi	li*Wi
Oxígeno Disuelto (mg/L)	5	3	0,17	0,51
Coliformes Fecales (ufc/100 mL)	0	97	0,15	14,55
pH	7,89	88	0,12	10,56
DBO5 (mg/L)	4	61	0,10	6,10
Nitratos (mg/L)	2,1	95	0,10	9,50
Fosfatos (mg/L)	0,36	80	0,10	8,00
Temperatura (° C)	1,5	88	0,10	8,80
Turbidez (NTU)	0,17	96	0,08	7,68
Solidos Totales Disueltos (mg/L)	203	71	0,08	5,68
			1,00	71,38

Tabla 56

Cálculo del ICA Pozo El Estadio

Variable	Medida	li	Wi	li*Wi
Oxígeno Disuelto (mg/L)	4,5	3	0,17	0,51
Coliformes Fecales (ufc/100 mL)	0	97	0,15	14,55
pH	7,85	88	0,12	10,56
DBO5 (mg/L)	5	55	0,10	5,50
Nitratos (mg/L)	3,4	85	0,10	8,50
Fosfatos (mg/L)	0,52	70	0,10	7,00
Temperatura (° C)	0,3	93	0,10	9,30
Turbidez (NTU)	0,4	92	0,08	7,36
Solidos Totales Disueltos (mg/L)	789	20	0,08	1,60
			1,00	64,88

Análisis de los Resultados.**Tabla 57***Resultados índices de calidad de agua subterránea de Riobamba*

Fuente	Criterio	Valor ICA	Rangos	Criterio para consumo humano
	EXCELENTE		91-100	No requiere purificación para su consumo
Pozo Llíó 4	ACEPTABLE	81,25	81-90	Requiere purificación menor
Vertiente San Pablo		72,27		
Pozo San Gabriel	LEVEMENTE CONTAMINADA	71,32	71-80	Dudoso su consumo sin purificación
Pozo Lascano		71,38		
Pozo Llíó 1		67,66		
Pozo Llíó 2		67,7		
Pozo Llíó 3		67,33		
Pozo Llíó 5		68,86		
Pozo Llíó 6		68,87		
Pozo Llíó 7		63,39		
Pozo 24 de mayo		63,39		
Pozo Huerta		65,34		
Pozo Servidores	CONTAMINADA	67,76	51-70	Tratamiento de potabilización indispensable
Pozo Las Hierbas		66,33		
Pozo 21 de abril		67,99		
Pozo Las Abras		65,04		
Pozo Maldonado		67,26		
Pozo El Estadio		64,88		
	CONTAMIANDA FUERTE CONTAMINADA EN EXCESO		0-40	Inaceptable para consumo

La tabla 57 presenta la evaluación de la calidad del agua subterránea de Riobamba basada en la metodología ICA-NSF.

De los 18 puntos muestreados, 14 presentan un criterio de calidad de agua contaminada que representa el 77,78%; 3 presentan un criterio de calidad de agua levemente contaminada que representa el 16,67 % y solo uno es aceptable que representa el 5,55%.

Conclusiones y Recomendaciones

Conclusiones

- Al aplicar la metodología ICA-NSF, la calidad de agua subterránea de Riobamba en un 77,78% representa agua contaminada, el 16,67% representa agua levemente contaminada y el 5,55% representa agua aceptable.
- Una vez realizado el análisis de las 18 muestras se caracterizaron los parámetros físicos, químicos y microbiológicos del agua subterránea de Riobamba, descritos desde la tabla 3 hasta la tabla 20.
- De los 18 puntos de agua subterránea de Riobamba muestreados, en base a la Norma Técnica INEN NTE 1108. AGUA POTABLE. REQUISITOS todos cumplen los límites permisibles.
- De los 18 puntos de agua subterránea de Riobamba muestreados, en base con la Tabla 1 del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente TULSMA, 7 no cumplen con el límite permisible de DBO.
- Se determinó el índice de calidad del agua subterránea de Riobamba mediante la metodología ICA-NSF, lo que permitió evaluar el recurso hídrico.
- Al comparar la calidad del agua subterránea de Riobamba con la Norma Técnica INEN NTE 1108. AGUA POTABLE. REQUISITOS, cumple con los establecido en esta norma, mientras que al comparar la calidad del agua subterránea de Riobamba con la Tabla 1 del Texto Unificado

de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente TULSMA, a excepción de la DBO cumple con los demás parámetros establecidos en esta Norma, siendo éstas dos metodologías de comparación muy extensas y complejas para interpretar los datos mientras que al determinar la calidad de agua con la metodología ICA-NSF se obtuvo una interpretación concisa.

- Al comparar el índice de calidad de agua entre las fuentes subterráneas de Riobamba la mayoría de fuentes corresponde a agua contaminada y levemente contaminada y solo una fuente es aceptable.

Recomendaciones

- Las fuentes de agua subterránea Pozo San Gabriel y Pozo Lascano requieren un proceso de purificación previo al consumo.
- Las fuentes de agua subterránea Pozo 24 de mayo, Pozo Huerta, Pozo Servidores, Pozo Las Hierbas, Pozo 21 de abril, Pozo Las Abras, Pozo Maldonado, Pozo El Estadio requieren un tratamiento de potabilización previo al consumo.
- Se sugiere un tratamiento para disminuir la DBO de los pozos que no cumplen con los límites permisibles establecidos en el TULSMA y de esta manera obtener una mejora en la calidad de agua.

Bibliografía

- Angulo, A. (2012). *Control de la calidad del agua*.
- Beamonte, E., Casino, A., Veres, E., & Bermúdez, J. (2004). *Un indicador global para la calidad del agua. Aplicación a las aguas superficiales de la Comunidad Valenciana*. Valencia: Estadística Española.

- Boland, H., & Labollita, H. (2011). *Indices de calidad de agua*. Cipolletti: Autoridad Interjurisdiccional de las Cuencas de los Ríos Limay, Neuquén y Negro.
- Bolaños, J., & Cordero Segura, G. (2017). Determinación de nitritos, nitratos, sulfatos y fosfatos en agua potable como indicadores de contaminación ocasionada por el hombre, en dos cantones de Alajuela (Costa Rica). *Tecnología en marcha*, 15-27.
- Brown, R., McClelland, N., Deininger, R., & Tozer, R. (1970). "A Water Quality Index Do We Dare" ? *Water Sewage Works*, 339-343.
- Carrera, T. I., & Estribí, M. (s.f.). Evaluación del Agua subterránea en puntos de captura y consumo en cinco municipios del oriente de Honduras. *Agua subterránea en puntos de captura y consumo en cinco municipios del oriente de Honduras*. Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano Honduras, Honduras.
- Castro, M., Almeida, J., Ferrer, J., & Diaz, D. (2014). Indicadores de la calidad del agua: evolución y tendencias a nivel global. *Ingeniería Solidaria*, 111-124.
- Chapman, D. (1996). Water Quality Assessments-A Guide to Use of Biota, Sediments and Water in Environmental Monitoring. *Water Quality Assessments-A Guide to Use of Biota, Sediments and Water in Environmental Monitoring*. London.
- Dunnette, D. (1979). A Geographically Variable Water Quality Index Used in Oregon. *Journal (Water Pollution Control Federation)*, 51.
- Fernández Prada, N. J., Solano Ortega, F., & Ramos, G. (2005). Indices de Calidad y de Contaminación del Agua. En U. d. Pamplona, *Índices de calidad (ICAs) y de contaminación (ICOs) del agua de importancia mundial* (pág. 142). Colombia: Pamplona.
- Girardi, C., González, F., Jara, S., Charre, R., & Elorrieta, M. (2018). *Metodología de Construcción de Índice de Calidad para aguas superficiales*.

- House, M. (1990). Water quality indices as indicators of ecosystem change. *Environmental Monitoring and Assessment*, 255-263.
- INEN, I. E. (2014). *Norma técnica ecuatoriana NTE INEN 1108. Agua potable. Requisitos*. Quito: Instituto Ecuatoriano de Normalización.
- Kiely, G., & Veza, J. (1999). *Ingeniería ambiental : fundamentos, entornos, tecnologías y sistemas de gestión*. España: Mc-Graw-Hill International de España.
- León, L. (2009). Índices de Calidad del Agua (ICA), Forma de Estimarlos y Aplicación en la Cuenca Lerma-Chapala. *Water Resources*, 7.
- López, C., Gavidia, V., & Rueda, J. (2006). *¡¡Agua!!* España: María Barreno.
- Mahajan, V., Linstone, H. A., & Turrof, M. (1976). The Delphi Method: Techniques and Applications. *Journal of Marketing Research*, 317.
- Martínez, P. E., Martínez, P., & Castaño, S. (2006). Hidrogeología. En M. d. Hídrica. Mundi Prensa.
- Mendoza, M., González, R., Remírez, S., Flores, I., Alvarado, G., & De Los Santos, M. (2014). *Determinación de acidez y alcalinidad en aguas naturales, residuales y tratadas*.
- Peña, E. (2007). *OXIGENO DISUELTO (OD)*. Guayaquil: Escuela Superior Politécnica del Litoral.
- Pérez Castillo, A. G., & Rodríguez, A. (2008). Índice fisicoquímico de la calidad de agua para el manejo de lagunas tropicales de inundación. *Revista de Biología Tropical*, 1905-1918.
- Quintero, D., España, L., & Reyes, S. (2017). *Demanda Química y Biológica de oxígeno*. Cali.

- Ramos, A. C., & Andino, L. F. (2011). Caracterización regional de la calidad del agua subterránea y superficial en el Departamento de El Paraíso, Honduras. *Caracterización regional de la calidad del agua subterránea y superficial en el Departamento de El Paraíso, Honduras.*
- Rebouças, A., Braga, B., & Tundisi, J. (2002). *Aguas doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação.* Brasil: Escrituras.
- Rojas, R. (2002). *Guía para la vigilancia y control de la calidad del agua para consumo humano.* Lima: OPS/CEPIS.
- Sainz, J. A. (2005). *Tecnologías para la sostenibilidad : procesos y operaciones unitarias en depuración de aguas residuales.* Fundación EOI.
- Salud, O. M. (2011). *Guías para la calidad del agua de consumo humano.* España.
- Shweta, T., Bhavtosh, S., Prashant, S., & Rajendra, D. (2013). Water Quality Assessment in Terms of Water Quality Index. *American Journal of Water Resources*, 34-38.
- Torres, P., Cruz, H., & Patiño, P. (2009). ÍNDICES DE CALIDAD DE AGUA EN FUENTES SUPERFICIALES UTILIZADAS EN LA PRODUCCIÓN DE AGUA PARA CONSUMO HUMANO. UNA REVISIÓN CRÍTICA. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 79-94.
- Valcarcel Rojas, L., Alberro, M. N., & Frías, F. D. (2009). El Índice de Calidad de Agua como herramienta para la gestión de los recursos hídricos. Water Quality Index, a tool for water resources management. *Revista electrónica de la Agencia de Medio Ambiente*, 1-5.
- Velasco, H. G. (2012). Caracterización del agua subterránea por medio de índices de calidad en el departamento El Paraíso, Honduras. *Caracterización del agua subterránea por medio de índices de calidad en el departamento El Paraíso, Honduras.*

- Weber, W. J. (2003). *Control de Calidad del Agua: Procesos fisicoquímicos*. Cinara: Universidad del Valle.
- Yogendra, K., & Puttaiah, E. (2008). Determination of water quality index and sustainability of an urban waterbody in Shimoga Town, Karnataka. *Department of G.P studies and Research in Environmental science*, 342-346.

Anexos

