



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIAS

CARRERA INGENIERÍA AMBIENTAL

**EVALUACIÓN DE LA DINÁMICA DE CALIDAD DEL AGUA
SUPERFICIAL E INTERSTICIAL DE LA ZONA ALTA DEL RÍO
ATILLO**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERA AMBIENTAL

AUTORAS:

YADIRA JUDITH CACUANGO CUTIOPALA

ERIKA VALERIA QUIROZ SANI

Riobamba – Ecuador

2022



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA INGENIERÍA AMBIENTAL

**EVALUACIÓN DE LA DINÁMICA DE CALIDAD DEL AGUA
SUPERFICIAL E INTERSTICIAL DE LA ZONA ALTA DEL RÍO
ATILLO**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERA AMBIENTAL

AUTORAS: YADIRA JUDITH CACUANGO CUTIOPALA

ERIKA VALERIA QUIROZ SANI

DIRECTOR: Ing. ANDRÉS AGUSTÍN BELTRÁN DÁVALOS

Riobamba – Ecuador

2022

© 2022 Yadira Judith Cacuango Cutiopala & Erika Valeria Quiroz Sani

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

Nosotras, YADIRA JUDITH CACUANGO CUTIOPALA & ERIKA VALERIA QUIROZ SANI, declaramos que el presente Trabajo de Integración Curricular es de nuestra autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autoras asumimos la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este Trabajo de Integración Curricular; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 25 de noviembre del 2022



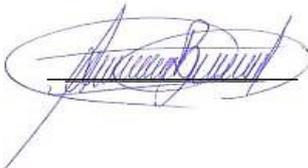
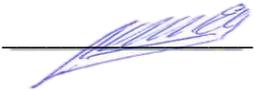
Yadira Judith Cacuango Cutiopala
0605478915-2



Erika Valeria Quiroz Sani
060397167-2

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA INGENIERÍA AMBIENTAL

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: El Trabajo de Integración Curricular; Tipo: Proyecto de Investigación, **EVALUACIÓN DE LA DINÁMICA DE CALIDAD DEL AGUA SUPERFICIAL E INTERSTICIAL DE LA ZONA ALTA DEL RÍO ATILLO**, realizado por las señoritas: **YADIRA JUDITH CACUANGO CUTIOPALA Y ERIKA VALERIA QUIROZ SANI**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Integración Curricular, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
Dr. José Gerardo León Chimbolema MSc. PRESIDENTE DEL TRIBUNAL		2022-11-25
Ing. Andrés Agustín Beltrán Dávalos MSc. DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR		2022-11-25
Dra. Magdy Mileni Echeverría Guadalupe PhD. ASESORA DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR		2022-11-25

DEDICATORIA

A Dios por guiarme en cada paso de mi vida y permitirme cumplir esta meta profesional. A mis padres, Juan y Carmen, por haberme enseñado a ser la persona que soy hoy, mis principios, mis valores y con su esfuerzo darme una carrera para mi futuro. A mis hermanas, Deysi y Jime, por siempre estar a mi lado dándome palabras de aliento y consejos para cumplir mis sueños. A Iván por escucharme, creer en mí y por su apoyo incondicional. A Erika por las experiencias vividas y por acompañarme en este proceso de formación. Sin ustedes nada de esto sería posible.

Yadira

Al concluir esta etapa universitaria agradezco en primer lugar a Dios por ser mi guía cada mañana, a mi madre Alicia Sani por ser mi motor de vida e impulsarme para ser mejor, y enseñarme a no rendirme jamás, a mis hermanos Alvaro, Geoconda y Jessica por apoyarme, cuidarme y darme lo mejor siempre. A mis amigas y a Wilson que hicieron que mis días sean maravillosos y únicos. A Vane por ser una amiga incondicional todo este tiempo. A Yadira porque la vida nos hizo compañeras y hoy grandes amigas, por cada momento vivido y por cada consejo brindado.

Erika

AGRADECIMIENTO

Agradecemos, a Dios por guiarnos a lo largo de nuestras vidas. A la ESPOCH por habernos permitido formarnos en sus aulas y a los docentes que impartieron sus conocimientos para transformarnos en profesionales. Al grupo GIDAC por permitirnos ser parte de sus proyectos de investigación para el cuidado del ambiente. A nuestro director de trabajo de integración curricular Ing. Andrés Beltrán por la acertada orientación en base a su experiencia en la investigación de sistemas lacustres y el tiempo dado. Al Ing. Luis Patiño quien con sus conocimientos nos guio y acompañó en el trabajo de campo. A los técnicos de laboratorio: Ing. José Luis Herrera, Ing. Freddy Armijos, BQF. Benjamín Román, Dr. Mauricio Alvarez, Quim. Jefferson Bautista, quienes con paciencia nos apoyaron durante todo el proceso de análisis de muestras. A todos nuestros familiares y amigos quienes de una u otra forma han hecho esto posible.

Yadira & Erika

TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	x
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	xi
ÍNDICE DE ANEXOS	xii
RESUMEN.....	xiii
ABSTRACT.....	xiii
INTRODUCCIÓN	1

CAPÍTULO I

1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	3
1.1. Planteamiento del Problema	3
1.2. Limitaciones y delimitaciones.....	4
1.2.1. Limitaciones	4
1.2.2. Delimitaciones.....	4
1.2.2.1. Delimitación del Contenido.....	4
1.2.2.2. Delimitación Espacial	4
1.2.2.3. Delimitación Temporal.....	4
1.3. Problema General de la Investigación	4
1.4. Problemas específicos de la Investigación	4
1.5. Objetivos.....	5
1.5.1. Objetivo General	5
1.5.2. Objetivos Específicos	5
1.6. Justificación.....	5
1.6.1. Justificación Teórica	6
1.6.2. Justificación Metodológica.....	6
1.6.3. Justificación Práctica	7
1.7. Hipótesis	7

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL.....	8
2.1. Antecedentes de la Investigación.....	8
2.2. Bases teóricas	9
2.2.1. Ciclo hidrológico.....	9

2.2.2.	<i>Recursos hídricos</i>	10
2.2.3.	<i>Interacción entre el agua superficial e intersticial</i>	11
2.2.4.	<i>Contaminación del agua</i>	11
2.2.4.1.	<i>Fuentes de contaminación</i>	11
2.2.5.	<i>Impacto de las actividades agropecuarias en el medio ambiente y salud</i>	12
2.2.5.1.	<i>Eutrofización</i>	12
2.2.5.2.	<i>Pérdida de biodiversidad</i>	13
2.2.5.3.	<i>Enfermedades</i>	14
2.2.6.	<i>Mecanismos de contaminación del agua</i>	14
2.2.6.1.	<i>Lixiviación de nutrientes en el suelo</i>	15
2.2.6.2.	<i>Infiltración del agua en los suelos</i>	15
2.2.7.	<i>Factores de vulnerabilidad a contaminación del agua</i>	16
2.2.7.1.	<i>Tipo Suelo</i>	16
2.2.7.2.	<i>Profundidad del agua</i>	16
2.2.7.3.	<i>Topografía</i>	16
2.2.8.	<i>Indicadores de la calidad del agua</i>	17
2.2.8.1.	<i>Funciones de los indicadores</i>	17
2.2.8.2.	<i>Indicadores Físico Químicos del Agua</i>	17
2.2.8.3.	<i>Indicadores Microbiológicos del agua</i>	19
2.3.	Bases conceptuales	20
2.3.1.	<i>Agua superficial</i>	20
2.3.2.	<i>Agua intersticial</i>	20
2.3.3.	<i>Sistema lacustre</i>	20
2.3.4.	<i>Sistema palustre</i>	20
2.3.5.	<i>Sistema fluvial</i>	20
2.3.6.	<i>Calidad del suelo</i>	21
2.3.7.	<i>Calidad del agua</i>	21
2.3.8.	<i>Enriquecimiento de nutrientes</i>	21
2.3.9.	<i>Indicador</i>	21
2.3.10.	<i>Parámetro</i>	21
2.3.11.	<i>Anión</i>	22
2.3.12.	<i>Catión</i>	22
2.3.13.	<i>Infiltración de agua:</i>	22
2.4.	Base Legal	22

CAPÍTULO III

3.	MARCO METODOLÓGICO	23
3.1.	Área de estudio	23
3.2.	Descripción de los puntos de muestreo	24
3.3.	Enfoque de la investigación	25
3.4.	Nivel de la investigación	25
3.5.	Diseño de la investigación	25
3.6.	Tipo de estudio	25
3.7.	Población de estudio y tamaño de muestra	26
3.7.1.	<i>Población de estudio</i>	26
3.7.2.	<i>Tamaño de muestra</i>	26
3.8.	Métodos, técnicas e instrumentos de investigación	26
3.8.1.	<i>Técnica de recolección de datos</i>	26
3.8.2.	<i>Instrumentos de la investigación</i>	27
3.8.3.	<i>Método de muestreo</i>	28
3.8.3.1.	<i>Muestreo</i>	28
3.8.4.	<i>Recolección y toma de muestras:</i>	28
3.8.4.1.	<i>Toma de muestras en Agua Superficial</i>	28
3.8.4.2.	<i>Toma de muestras en Agua Intersticial</i>	29
3.8.5.	<i>Almacenamiento, transporte y conservación</i>	29
3.8.6.	<i>Análisis de parámetros</i>	30
3.8.6.1.	<i>Parámetros in situ:</i>	30
3.8.6.2.	<i>Parámetro ex situ</i>	30
3.8.7.	<i>Análisis de Datos</i>	31
3.8.7.1.	<i>Balance Iónico</i>	31
3.8.7.2.	<i>Enriquecimiento de Nutrientes</i>	32
3.8.7.3.	<i>Indicadores de calidad de Agua</i>	32

CAPÍTULO III

4.	MARCO DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS	35
4.1.	Análisis estadístico	35
4.2.	Estimación de Error del Balance Iónico	41
4.3.	Análisis de la incidencia de parámetros físicos, químicos y microbiológicos	43
4.4.	Valoración de enriquecimiento	44
4.5.	Indicadores de Calidad	45

4.5.1.	<i>Relación de Absorción de Sodio (RAS)</i>	45
4.5.2.	<i>Estimación del porcentaje de Sodio Soluble (PSS)</i>	46
4.5.3.	<i>Carbonato de sodio residual (CSR)</i>	46
4.5.4.	<i>La salinidad agua de riego y su indicador de medida la conductividad eléctrica. ...</i>	47
	CONCLUSIONES	48
	RECOMENDACIONES	49
	BIBLIOGRAFÍA	
	ANEXOS	

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-3:	Ubicación geográfica y rango altitudinal.	25
Tabla 2-3:	Materiales, equipos y reactivos	27
Tabla 3-3:	Métodos para la determinación de parámetros ex situ	30
Tabla 4-3:	Coefficiente de correlación de Pearson	31
Tabla 5-3:	Error admisible de balance iónico	32
Tabla 6-3:	Criterios para determinar la calidad de agua a partir de valores RAS.....	33
Tabla 7-3:	Criterios para determinar la calidad de agua a partir de valores PSS.....	33
Tabla 8-3:	Valores de CSR y su criterio de calidad del agua	34
Tabla 9-3:	Criterios de salinidad y calidad del agua con relación de los valores de CE.....	34
Tabla 1-4:	Balance Iónico en los puntos de agua Superficial.	42
Tabla 2-4:	Balance Iónico en los puntos de agua Intersticial.....	42
Tabla 3-4:	Incidencia de nutrientes de Agua Superficial.	43
Tabla 4-4:	Incidencia de nutrientes de Agua Intersticial	43
Tabla 5-4:	Incidencia de nutrientes de Agua Superficial e Intersticial	43
Tabla 6-4:	Enriquecimiento de nutrientes en el agua Superficial	44
Tabla 7-4:	Cuartiles del indicador RAS para la Zona Alta del río Atillo, en el agua Superficial.	45
Tabla 8-4:	Cuartiles del indicador PSS para la Zona Alta del río Atillo, en el agua Superficial.	46
Tabla 9-4:	Cuartiles del indicador CSR para la Zona Alta del río Atillo, en el agua Superficial.	46
Tabla 10-4:	Cuartiles del indicador CE para la Zona Alta del río Atillo, agua Superficial. .	47

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1-2:	Ciclo del agua.....	10
Ilustración 2-2:	Eutrofización natural e inducida por el hombre	13
Ilustración 1-3:	Mapa de ubicación	23
Ilustración 2-3:	Ubicación de los puntos de monitoreo	24
Ilustración 3-3:	Columna de tubo PVC.....	27
Ilustración 4-3:	Muestreo Agua Superficial.....	28
Ilustración 5-3:	Muestreo Agua Intersticial	29
Ilustración 1-4:	Resultados de parámetro físicos y químicos	35
Ilustración 2-4:	Resultados de parámetro físicos, químicos y microbiológicos	39
Ilustración 3-4:	Resultados de parámetro físico en agua intersticial	41
Ilustración 4-4:	Enriquecimiento de nutrientes en el agua Superficial	44

ÍNDICE DE ANEXOS

- ANEXO A:** INCIDENCIA DE NUTRIENTES DE AGUA SUPERFICIAL
- ANEXO B:** INCIDENCIA DE NUTRIENTES DE AGUA INTERSTICIAL
- ANEXO C:** INCIDENCIA DE NUTRIENTES DE AGUA SUPERFICIAL E INTERSTICIAL
- ANEXO D:** SALIDAS DE CAMPO
- ANEXO E:** TOMA DE MUESTRAS
- ANEXO F:** DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS *IN SITU*
- ANEXO G:** ANÁLISIS DE PARÁMETROS QUÍMICOS
- ANEXO H:** ANÁLISIS DE PARÁMETROS MICROBIOLÓGICOS

RESUMEN

El presente trabajo evaluó la dinámica de calidad del agua superficial e intersticial de la zona alta del río Atillo mediante la caracterización de 7 puntos de agua intersticial y 5 de agua superficial, con 4 muestreos mensuales realizados en el período mayo - agosto 2022. Se aplicaron Sistemas de Información Geográfica (SIG), protocolos de recolección y almacenamiento de muestras (INEN 2169) y métodos estandarizados para análisis de agua. Continuando con una estadística descriptiva de los parámetros físicos, químicos y microbiológicos del agua superficial e intersticial, además, de la estimación del porcentaje de error del balance iónico y un análisis inferencial determinando la correlación de PEARSON entre las variables de estudio. Luego se valoró el porcentaje de enriquecimiento del agua superficial con respecto al agua intersticial. Para finalmente establecer indicadores de calidad de agua de riego como Relación Absorción de Sodio (RAS), Porcentaje de Sodio Soluble (PSS), Carbonato de Sodio Residual (CRS) y conductividad eléctrica (CE). El mayor porcentaje de enriquecimiento se valoró entre el sodio y calcio debido a que se infiltran por acción de la gravedad y pendiente de la zona de estudio. Los indicadores de calidad de agua para riego determinaron que las muestras tomadas en el agua superficial son excelentes, con valores RAS < 10, PSS < 20, CRS < 1,25, CE < 250 μ S/cm. La dinámica de concentración de nutrientes guarda similitud tanto en agua superficial como en la intersticial, manteniendo una heterogeneidad en los valores puede verse afectada por la interacción química entre cationes y aniones, debido al avance de la frontera agropecuaria y principalmente a la CE registrada en la Zona Alta de Atillo. Por lo que se recomienda realizar trabajos en conjunto para preservar el sistema lacustre con el fin de mantener un recurso hídrico de calidad.

Palabras clave: <AGUA SUPERFICIAL>, <AGUA INTERSTICIAL>, <SISTEMA LACUSTRE>, < CATIONES >, <PÁRAMO >, <CALIDAD DE AGUA>, <INFILTRACIÓN DE AGUA>, <ANIONES>.


D.B.R.A.
Ing. Cristian Castillo



2323-DBRA-UPT-2022

ABSTRACT

This study evaluated the dynamics of surface and interstitial water quality in the upper area of the Atillo River by characterizing seven interstitial water points and five surface water points, with four monthly samplings carried out in the period of May-August 2022. Geographic Information Systems (GIS), sample collection and storage protocols (INEN 2169) and standardized methods for water analysis were applied. Descriptive statistics of the physical, chemical, and microbiological parameters of surface and interstitial water were carried out, as the percentage error of the ionic balance and an inferential analysis determining the PEARSON correlation between the study variables. The percentage of enrichment of surface water concerning interstitial water was valued to finally establish irrigation water quality indicators such as Sodium Absorption Ratio (RAS), Percentage of Soluble Sodium (PSS), Residual Sodium Carbonate (CRS) and electrical conductivity (EC). The highest percentage of enrichment was valued between sodium and calcium because they infiltrate by gravity and slope of the study area. The water quality indicators for irrigation determined that the samples taken from surface water are excellent, with RAS values <10, PSS <20, CRS <1.25, and EC <250 $\mu\text{S}/\text{cm}$. The dynamics of nutrient concentration are similar both in surface and interstitial water, maintaining heterogeneity in the values, which may be affected by the chemical interaction between cations and anions, due to the advance of the agricultural frontier and mainly to the EC registered in the High Zone of Atillo. It is recommended to carry out joint work to preserve the lake system to maintain a quality water resource.

Keywords: <SURFACE WATER>, <INTERSTITIAL WATER>, <LAKE SYSTEM>, <CATIONS>, <PARAMO>, <WATER QUALITY>, <WATER INFILTRATION>, <ANIONS>.



Ing. Paul Obregón. Mgs
060192712

INTRODUCCIÓN

La calidad del agua es un término relativo, y este depende de la utilidad final que se le dé al recurso en función a las actividades desarrolladas en la cuenca hidrográfica, los estudios de calidad fisicoquímicos, biológicos y microbiológicos de las fuentes de aguas destinados a riego, consumo humano, preservación de flora y fauna en aguas dulces y pecuario constituyen como requisitos indispensables para evaluar su aptitud para su uso (CENTRO NACIONAL DE MEDIO AMBIENTE 2010, p.69).

Los ecosistemas de páramo son categorizados como sitios de mayor diversidad, en el Ecuador tienen franjas altitudinales entre 3000 – 45000 m.s.n.m. abarcan alrededor del 30% de especies de plantas vasculares demostrando la gran representatividad de este ecosistema, para que al conocer su diversidad florística sea este el factor de partida ante un monitoreo de cambio climático (Llambí et al., 2012, pp.32-46). La importancia de evaluación de estos ecosistemas radica en que, almacenan alrededor del 85% del agua dulce, al tener suelos negros y muy húmedos y al combinarlos con bajas temperaturas y alta humedad la descomposición de materia orgánica es lenta, por esta razón almacenan gran cantidad de carbono en el suelo actuando como fuentes o sumideros de carbono (Llambí et al., 2012, p. 249). Sin embargo, estos ecosistemas presentan una pérdida considerable de vegetación nativa y forraje natural debido a la alta tasa de cambio de uso de suelo ocasionado por actividades antropogénicas como plantaciones de pino y pastizal, avance de la frontera agropecuaria, quema de páramo, expansión de zonas urbanas; de modo que estas acciones desencadenan la reducción de funciones ecológicas de los páramos (Armas, 2013).

El sector agrícola representa una mayor demanda de agua a nivel mundial, sin embargo, en los páramos de Atillo y su Sistema Lacustre el mayor de uso de agua superficial es empleado para la preservación de flora nativa y emergente del lugar, seguido por el sector pecuario. El impacto antrópico generado en los suelos de humedales o cercanos al manto freático ocasionan un deterioro o baja filtración de contaminantes que son acarreados a las aguas superficiales siendo fuentes de contaminación los desechos agrícolas y vertidos de estiércol y purines.

La microcuenca del río Atillo es una red de origen que cumple funciones esenciales para el mantenimiento ecológico del sector y en conjunto con la vertiente de Ozogoché forma la microcuenca del río Cebadas, que aguas abajo se alimenta por el Río Yasepán, en el trayecto se incrementa el caudal por otros afluentes hasta formar la cuenca del Río Chambo (Souza et al., 2013, p.61)

El desarrollo de la investigación corresponde a una exploración derivada de proyectos de Sistemas Lacustres Alto Andinos del Centro del Ecuador como sumideros o secuestradores de dióxido de carbono como determinante para su conservación, que efectúa el Grupo de Investigación – Desarrollo para el Ambiente y Cambio Climático (GIDAC) y tiene como objetivo Evaluar la dinámica de calidad del agua superficial e intersticial de la Zona Alta del Río Atillo.

CAPÍTULO I

1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Planteamiento del Problema

En las últimas décadas en Ecuador la importancia de preservar el recurso hídrico natural es una temática de interés central en las perspectivas del desarrollo. Los páramos en el país ocupan una extensión aproximada de 1 337 119 hectáreas correspondiendo al 5% de la extensión territorial (Minga et al., 2016, pp. 8-10).

La provincia de Chimborazo posee alrededor de 246 000 hectáreas de ecosistema de páramo, que abarcan el 38% de la superficie de la provincia, cuenta con dos áreas protegidas la Reserva de Producción Faunística de Chimborazo y el Parque Nacional Sangay (Hofstede et al., 2003, p.32).

Los páramos altoandinos se desempeñan como ecosistemas estratégicos de los que proviene el agua dulce, al ser lugares de almacenamiento y regulación hídrica además de actuar como repositorio natural de control del dióxido de carbono evitando el impacto de calentamiento global (Hofstede et al., 2003, p.32). Al actuar como prestadores de servicios ambientales proveen agua para el turismo y el bienestar humano, la comunidad de Atillo y sectores aledaños utilizan este recurso para la agricultura, ganadería y consumo.

La zona alta del Río Atillo enfrenta amenazas de alteración ecosistémica por el desarrollo de actividades antropogénicas entre las que se destaca el avance de la frontera agropecuaria, el uso de fertilizante químicos y enmiendas biológicas para los siembra de los cultivos, el sobrepastoreo que produce lixiviados de purines y orinas, generando altos contenidos de nitrógeno y fósforo elevadas concentraciones de nitritos, nitratos y fosfatos, y altas cargas de coliformes fecales; que alteran las características químicas, físicas y biológicas del agua superficial e intersticial del lugar. El desarrollo de estas actividades provoca el enriquecimiento del sistema hídrico generando el crecimiento acelerado de flora emergente, ocasionando la disminución de oxígeno disuelto por procesos de eutrofización y reducción del espejo de Agua del sistema Lacustre Atillo (Navarro et al. 2010, pp. 89-93).

¿La dinámica de la calidad del agua superficial e intersticial se ve afectada por el incremento de actividades antrópicas evidenciadas en la zona alta de Atillo?

1.2. Limitaciones y delimitaciones

1.2.1. Limitaciones

Existe escasas investigaciones de calidad de agua superficial e intersticial en la Zona alta del Río Atillo, de modo que, al determinar los datos de parámetros físicos, químicos y microbiológicos dificulta la discusión de resultados por la falta de accesibilidad a estudios de calidad de agua intersticial en la zona de estudio y a nivel del país, para de esta manera, constatar la fidelidad y veracidad de los resultados.

1.2.2. Delimitaciones

1.2.2.1. Delimitación del Contenido

Al ser un estudio de evaluación de la dinámica de calidad de agua superficial e intersticial, este se encuentra inmerso dentro del campo de la Ingeniería Ambiental.

1.2.2.2. Delimitación Espacial

La investigación se desarrollará en la Zona Alta del Río Atillo, cantón Guamote, parroquia Cebadas, provincia de Chimborazo.

1.2.2.3. Delimitación Temporal

Los datos que son considerados para el trabajo de titulación, son enmarcados en un tiempo estimado de cuatro meses, desde el mes de Mayo – Agosto del 2022.

1.3. Problema General de la Investigación

Deterioro de la calidad de agua superficial en la zona Alta de Río Atillo, por el avance de la frontera pecuaria en la zona.

1.4. Problemas específicos de la Investigación

El incremento de actividades agrícolas y ganaderas que se evidencian en la zona alta y el relieve inclinado de los suelos favorecen a la infiltración de nutrientes alterando las características del sistema Lacustre Atillo.

El desarrollo de actividades antropogénicas como la ganadería extensiva produce lixiviados de purines y orines, generando el enriquecimiento de nutrientes en el agua superficial por los altos contenidos de nitrógeno y fósforo, las elevadas concentraciones de nitritos, nitratos y fosfatos y altas cargas de coliformes fecales.

El río Atillo es uno de los afluentes que contribuyen a la formación de la subcuenca del río Chambo, este recurso hídrico aguas abajo, es utilizado para abastecer las zonas fértiles del catón Guamote, Riobamba, Guano y Chambo, por lo que es importante determinar su calidad en zonas altas para garantizar una sostenibilidad alimentaria.

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo General

Evaluar la dinámica de calidad del agua superficial e intersticial de la Zona Alta del Río Atillo

1.5.2. Objetivos Específicos

- Determinar la incidencia de las características físicas, químicas y microbiológicas del agua intersticial en la superficial de la zona Alta del Río Atillo.
- Valorar el enriquecimiento de nutrientes del agua superficial de la zona alta del Río Atillo
- Establecer indicadores de calidad del agua superficial de la Zona Alta del Río Atillo.

1.6. Justificación

El presente trabajo de integración curricular plantea un problema social y académico que tiene por objeto evaluar la dinámica de calidad del agua superficial e intersticial de la Zona Alta del Río Atillo en función al estudio de parámetros físicos, químicos y microbiológicos del agua, considerando que el término calidad de agua no sólo es importante desde el punto de vista de consumo doméstico, sino también para uso en riego, preservación de flora y fauna y uso pecuario. En el Ecuador la pérdida de ecosistema de páramo es constante, debido a las actividades antropogénicas que realizan los moradores de las comunidades cercanas a la zona de interés. El impacto antrópico en los suelos de humedales del sistema Lacustre Atillo o cercanos al manto freático ocasionan un deterioro o baja filtración de contaminantes que son acarreados a las aguas superficiales. En los sectores aledaños al sistema Lacustre Atillo y en la microcuenca se evidencian problemáticas como el avance de la frontera agropecuaria, el cambio de uso de suelo,

contaminación de cuerpos hídricos que afectan a la conservación de este ecosistema y del recurso hídrico superficial e intersticial (Suatunce y Véliz, 2009, p.38).

El GAD del cantón Guamote requieren información de calidad de agua al ser un afluente de origen, debido a que existen pocos estudios de incidencia de nutrientes del agua intersticial en la superficial en la Zona Alta del Río Atillo, por ello es necesario determinar indicadores de calidad a partir de las relaciones entre iones y cationes, valoraciones de enriquecimiento o pérdida de nutrientes, con el fin de contrarrestar las causas de contaminación en el área de estudio y promover la generación de políticas públicas que garanticen la conservación del ecosistema y del recurso hídrico, actividades de concientización de gestión racional uso de contaminantes que deterioren el agua de poro, mediante mecanismos de desarrollo sostenible para el lugar.

Esta investigación se realizó bajo la asesoría y coordinación del Grupo de Investigación – Desarrollo para el Ambiente y Cambio Climático (GIDAC) derivada dentro del proyecto “Los sistemas lacustres del centro del Ecuador como fuente o sumideros de dióxido de carbono como determinantes para su conservación”.

1.6.1. Justificación Teórica

La Escuela Superior Politécnica de Chimborazo cuenta con plataformas virtuales, libros digitales, revistas de ciencia y tecnología que brindan la facilidad de búsqueda de calidad ambiental, que permiten determinar la dinámica de calidad de agua superficial e intersticial en una zona de estudio mediante la determinación de parámetros físicos, químicos y microbiológicos y el establecimiento de indicadores, además de la contribución de revistas científicas online como ScienceDirect, Scielo, Springer.

1.6.2. Justificación Metodológica

Para la determinación de parámetros físicos, químicos y microbiológicos de la muestra de agua intersticial y superficial se considera la norma INEN 2169 que establecen protocolos de calidad de agua, muestreo, manejo y conservación de muestras. Además de metodologías para aniones: sulfatos, fosfatos, nitritos y nitratos con el uso de manuales y hojas de seguridad de HANNA, y metodologías empleadas por el laboratorio del Grupo de Investigación – Desarrollo para el Ambiente y Cambio Climático

1.6.3. Justificación Práctica

La Escuela Superior Politécnica de Chimborazo cuenta con laboratorios equipados que permiten determinar análisis de nitritos, nitratos, fosfatos, sulfatos, calcio, sodio, potasio, magnesio, SST y coliformes fecales, siendo estos los laboratorios del GIDAC, Investigación, Análisis instrumental, que además permiten el uso de reactivos específicos.

1.7. Hipótesis

La dinámica de la calidad del agua de la zona alta del río Atillo se ve afectada por el desequilibrio de aniones y cationes dentro del sistema lacustre.

Variables Dependiente: Dinámica de la calidad del agua de la zona alta del río Atillo

Variable Independiente: Desequilibrio de aniones y cationes dentro del sistema lacustre.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

2.1. Antecedentes de la Investigación

Los recursos hídricos son indispensables para cualquier requerimiento humano y de gran importancia en el aspecto económico, cultural y científico. En los ecosistemas alto andinos el uso y aprovechamiento del agua no ha sido el adecuado, por lo que no está exenta de un alto contenido de sólidos, los cuales son de distinto origen debido a los procesos que sufre el ciclo hidrológico (Arrieta, Trujillo et al., 2018).

Ecuador es un país agrícola y ganadero, actividades que en la actualidad plantea una amenaza al ecosistema por las prácticas insostenibles aplicadas que provocan el enriquecimiento del recurso hídrico, siendo necesario considerar la calidad del agua dentro de un manejo integrado del suelo y el agua. Las sustancias que ingresan al suelo pueden pasar el agua por distintos procesos, esto depende de la interacción entre el tipo de suelo y el agua (Encinas, 2011, p. 47).

La agricultura es responsable del vertido de grandes cantidades de agroquímicos, materia orgánica, sedimentos y sales en los cuerpos de agua (FAO, 2018). La actividad ganadera aporta con agentes contaminantes como los desechos animales, los antibióticos y las hormonas, los fertilizantes y pesticidas que se usan para fumigar los cultivos forrajeros. El sobrepastoreo afecta al ciclo del agua e impide que se renueven los recursos hídricos tanto de superficie como subterráneos (Llena, 2011, p. 32).

Por otro parte, los impactos del turismo sobre los recursos hídricos no son notados inmediatamente por lo que han recibido poca atención; aunque los esfuerzos para conservar el agua y sobre todo los páramos en los sectores rurales ha sido un trabajo permanente en los últimos años, este trabajo se perjudicó por los visitantes pues a su paso la contaminación aumenta (La Hora, 2020).

La composición química del agua intersticial (agua de poro), que está en contacto con el suelo, puede ser una herramienta útil para predecir el comportamiento ambiental de los elementos, debido a que sus características y propiedades puede indicar el grado de contaminación en una zona. Asimismo, el agua intersticial puede ser fuente de contaminación al liberar dichos

compuestos a corto plazo bajo condiciones físicas y químicas cambiantes de pH, potencial redox, temperatura y actividad microbiana entre otras (Hernández-Quiroz et al., 2019, p. 410).

En la actualidad no se han hecho avances interesantes en relación al impacto que tiene la interacción entre el agua intersticial en la degradación de contaminantes y por ende en la calidad del agua superficial. En su estudio Heredia et al., (2013) analizan la presencia de elementos traza en el agua intersticial, evaluando la composición catiónica mediante columnas del tubo PVC en suelos bajo producción intensiva de bovinos de carne, a fin de dar un diagnóstico de los efectos que tienen los distintos tiempos de confinamiento sobre los cationes en el suelo y el agua.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. *Ciclo hidrológico*

El ciclo hidrológico es el sistema normal de reciclaje de agua en la Tierra, donde este elemento vital para la vida sufre desplazamientos y transformaciones pasando por los tres estados de la materia: sólido, líquido y gaseoso. Es la suma total de todos los procesos en los que el agua se mueve desde la superficie terrestre y oceánica a la atmósfera y de regreso en forma de precipitación (Línea Verde, 2021). En este ciclo se evidencian cuatro etapas:

- **Evaporación.** La evaporación tiene lugar cuando la energía (calor) del Sol calienta el agua de un cuerpo hídrico, esto convierte parte del agua de un líquido en un gas y el vapor de agua se evapora a la atmósfera. Parte del vapor de agua también se evapora de las plantas mediante la transpiración, a medida que pierden agua a través de sus hojas, y sudoración en los animales.
- **Condensación.** Ocurre cuando el vapor de agua en el aire se enfría, este llega a altitudes mayores y las bajas temperaturas le permiten condensarse, es decir, se vuelve líquido y forma gotas de agua que se acumulan en las nubes.
- **Precipitación.** Cuando las gotas de agua en las nubes crecen lo suficiente, rompen su estado de equilibrio caen sobre la tierra y se producen las lluvias o precipitaciones. Por lo general, el agua cae en forma líquida, pero, en ciertas regiones donde las temperaturas son menores, puede hacerlo en forma de nieve o granizo.
- **Recolección.** El agua que llega a la superficie terrestre en forma de precipitación puede aterrizar en cualquier lugar: montañas, bosques, ciudades, praderas, océanos, lagos, ríos o arroyos. Dentro de esta etapa se da la infiltración en la que agua que alcanza el suelo, penetra y se transforma en agua subterránea; y la escorrentía en la que el agua cae sobre terrenos

saturados y se moviliza por la superficie hasta aguas superficiales. Después, viene la evaporación, y el ciclo del agua se completa.

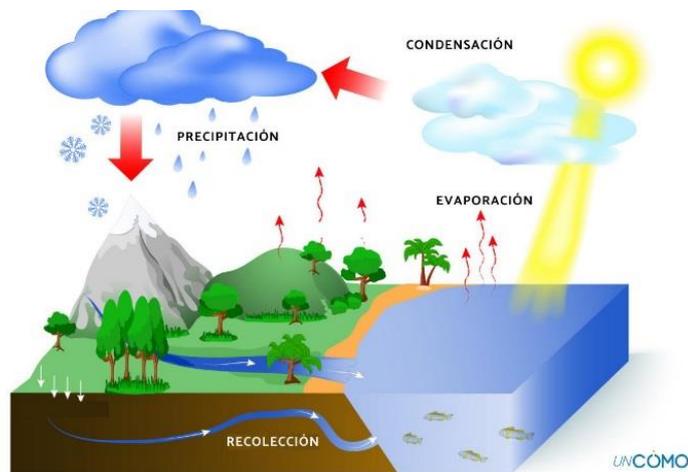


Ilustración 1-2: Ciclo del agua

Fuente: (Campos-Aranda, 1998)

Depende de varios factores y se ve afectado por los océanos y superficies terrestres. En el caso de la superficie terrestre, la presencia de vegetación juega un papel vital pues aumenta la capacidad de la superficie terrestre para retener la humedad (Campos-Aranda, 1998, p. 14). Las plantas mediante la evapotranspiración ayudan en la creación de una gran cantidad de vapor de agua. El escurrimiento superficial en el suelo desnudo es mayor que en terrenos con vegetación.

2.2.2. Recursos hídricos

Son parte del patrimonio natural del Estado, los recursos hídricos son bienes naturales de uso público que garantiza el bienestar económico, la protección a la vida y a la naturaleza. La información sobre el agua es fundamental para la evaluación de los recursos hídricos, el uso integrado de los recursos hídricos, la calidad del agua y la protección del ambiente (Alvarado Vélez, Naranjo Armijo y Ube Olvera, 2019, pp. 24-25).

Se entiende como recursos hídricos a los volúmenes de agua capaces de satisfacer las necesidades de agua en cantidad y calidad, tiempo y espacio, mismos que son condicionados por la explotación, la demanda, el recurso hídrico disponible en los sistemas de aguas superficiales y subterráneas, y las reglas de operación definidas para el sistema o las normas de gestión de la misma (Martínez Valdés y Villalejo García, 2018). Los dos sistemas que forman parte del área de estudio del agua dulce son:

- **Sistemas lóticos:** son sistemas en los que la corriente es visible pues las aguas fluyen de manera rápida, en una única dirección. Tienen una mayor diversidad de especies adaptadas a la fuerza del agua que actúa constantemente sobre ellas. Son muy diversos en su forma, desde un manantial con pocos centímetros de ancho hasta un río importante cuyo ancho se mide en kilómetros.
- **Sistemas lénticos:** son aquellos sistemas acuáticos en los que, debido a su estructura cerrada, el agua se mueve muy lentamente que parece estar estancada. Por lo general, existe menor diversidad de especies. Se trata de sistemas acuáticos interiores en los que no se da ningún flujo de corriente entre sus aguas. Se incluyen lagos, lagunas y humedales.

2.2.3. Interacción entre el agua superficial e intersticial

La relación entre las dos aguas se debe a que forman ambas partes del mismo Ciclo Hidrológico, formando parte al ciclo general del agua. El estudio de este tema es muy interesante desde el punto de vista de la Ingeniería Ambiental con relación al impacto que tiene el agua intersticial en la degradación de contaminantes y por ende en la calidad de los recursos hídricos superficiales. El concepto de que los sistemas de agua superficial e intersticial están interconectados, y que el manejo que se haga sobre uno de ellos afecta al otro se ha orientado a su uso como una herramienta útil para predecir el comportamiento ambiental de los distintos componentes que puede almacenar la zona no saturada y transmitir al agua superficial o subterránea (Baumgartem, Niencheski y Martins, 2005, p. 410).

2.2.4. Contaminación del agua

La contaminación del agua es una de las amenazas más graves a las que nos enfrentamos en la actualidad, se entiende como la introducción de sustancias tóxicas, microorganismos patógenos, desechos orgánicos, fertilizantes y nutrientes a los cuerpos de agua, resultado directa o indirectamente de las actividades humanas pudiendo así tener efectos negativos como el causar daños a los seres vivos. Los sistemas lóticos demuestran cierta capacidad para recuperarse de los efectos de ciertos contaminantes, pero los lénticos y océanos tienen poca resistencia a los efectos de la contaminación del agua (Larramendi Benítez, et al., 2021, p. 2).

2.2.4.1. Fuentes de contaminación

Los contaminantes del agua provienen de fuentes puntuales o dispersas. Una fuente puntual es una tubería o canal, como los que se utilizan para la descarga de una instalación industrial o un sistema de alcantarillado de la ciudad. Una fuente dispersa es un área muy amplia desde la cual

una variedad de contaminantes ingresa al cuerpo de agua, como la escorrentía de un área agrícola, son más fáciles de controlar (Samboni, Carvajal y Escobar, 2007, p. 175). Para la investigación se detallan los siguientes:

- Los desechos agrícolas que fluyen directamente a las aguas superficiales, suelen tener un alto contenido de nutrientes (fósforo y nitrógeno), carbono orgánico biodegradable, residuos de pesticidas y coliformes fecales, bacterias (bacterias que normalmente viven en el tracto intestinal de animales de sangre caliente e indican contaminación por desechos animales).
- Vertido de estiércol y purines: El estiércol sólido o fluido y los purines líquidos procedentes de la actividad ganadera son una fuente importante de nitrógeno, que pueden contaminar las aguas subterráneas cuando se incorporan al suelo con el riego en zonas inadecuadas desde el punto de vista hidrogeológico. Los lixiviados procedentes de la actividad ganadera intensiva suelen tener altas concentraciones de gérmenes patógenos. El riesgo de contaminación causado por la ganadería extensiva es escaso, ya que los residuos se dispersan por un área extensa, lo que favorece su autodepuración en el suelo

2.2.5. Impacto de las actividades agropecuarias en el medio ambiente y salud

La ganadería genera una enorme huella de carbono y tiene un potencial de calentamiento global muy alto, contribuye a la degradación de la tierra y el agua, la pérdida de biodiversidad, la lluvia ácida, la degeneración de los arrecifes de coral y la deforestación. La cría de ganado genera emisiones de gases de efecto invernadero que son muy perjudiciales para el medio ambiente (Machín Y López-Manzanares, 2012, p. 17).

En comparación a otras especies, la mala calidad del agua no provoca la muerte de los rumiantes, pero causa otros efectos como el retraso de su ciclo de crecimiento, afecta su producción con menores tasas de ganancia de peso, bajos índices de reproducción y menor producción lechera. Dicho esto, conservar una buena calidad del agua en las actividades agropecuarias es esencial para mantener la salud de los animales y el suelo, y conservar la calidad de los productos (Hipólito Gomes, 2021).

La agricultura es responsable de generar alimentos para una multitud de especies, al mismo tiempo que genera trabajo. Cuando las operaciones agrícolas se gestionan de manera sostenible, pueden preservar y restaurar hábitats críticos, ayudar a proteger las cuencas hidrográficas y mejorar la calidad del suelo y agua. Pero las prácticas insostenibles tienen graves impactos en las personas y el medio ambiente.

2.2.5.1. Eutrofización

La eutrofización es el proceso deterioro de la calidad del recurso agua, en el que un cuerpo de agua se enriquece demasiado con nutrientes, lo que lleva a un crecimiento abundante de vida vegetal simple. El crecimiento excesivo de algas y plancton en un cuerpo de agua son indicadores de este proceso. Se considera una preocupación ambiental grave, ya que condiciona la utilización del nitrógeno y fósforo, principalmente, y ejerce grandes impactos ecológicos, sanitarios y económicos a escala regional. Las aguas eutróficas pueden eventualmente convertirse en “zonas muertas” que son incapaces de albergar vida (Romero, 2020, p. 17).

Los lagos son naturalmente eutróficos y en algunos casos hay una eutrofización progresiva a medida que el lago madura. El término eutrofización es más conocido en relación con las actividades humanas en las que la introducción artificial de nutrientes o fertilizantes para las plantas ha provocado cambios en la comunidad y un deterioro de la calidad del agua en muchos sistemas de agua dulce. Por esta razón, se ha convertido en una tarea urgente en el campo de la protección de los recursos hídricos y la gestión de la seguridad del agua (García et al., 2018, p. 22).



Ilustración 2-2: Eutrofización natural e inducida por el hombre

Fuente: (Goretti, Miranda y Rosales, 2018, pp. 357)

Los lagos son la principal fuente de agua dulce continental, proveen el agua para el consumo humano y permiten realizar una serie de funciones ambientales sumamente valiosas (Ledezma, et al., 2013) y la eutrofización se está convirtiendo en un problema ambiental cada vez más grave. En los últimos años, los ecosistemas de agua dulce, estuarios y marinos han sido degradados, por lo que la vulnerabilidad de los cuerpos de agua se ha acrecentado.

2.2.5.2. Pérdida de biodiversidad

La biodiversidad, es un término que se refiere a la cantidad de genes, especies, organismos individuales dentro de una especie determinada y comunidades biológicas dentro de un área geográfica definida. Los ríos contaminados sufren graves caídas en los niveles de Oxígeno

disuelto debido al uso de Oxígeno en la descomposición de los contaminantes orgánicos, como las aguas residuales y la escorrentía agrícola, por lo que son más susceptibles a la pérdida de su biodiversidad (Lara, 2019)).

Los hábitats naturales juegan un papel importante en la regulación del agua. Con el aumento de la deforestación los hábitats como los pastizales, los humedales y los sistemas fluviales, que también sustentan el ciclo del agua, se degradan. La contaminación por nutrientes, con productos químicos, pesticidas y plásticos provocan una degradación ambiental y son una amenaza importante para la biodiversidad acuática y terrestre (CEPAL, 2018).

2.2.5.3. Enfermedades

Los contaminantes del agua pueden causar enfermedades o actuar como venenos para los humanos, y provocar la muerte o afectar el desarrollo de plantas y animales. Las bacterias y los parásitos pueden entrar en los suministros de agua potable, los productos químicos, pesticidas y herbicidas pueden causar toxicidad aguda. Muchos contaminantes del agua ingresan en el tracto digestivo, pueden llegar a otros órganos del cuerpo y causar diversas enfermedades (FCAS, 2019, p. 6):

- Las transmitidas por agua contaminada debido a materia orgánica procedente de humanos o animales (disentería amebiana, disentería bacilar, diarreas, cólera, hepatitis A y E, fiebres tifoideas, poliomiéлитis, shigelosis, meningitis y leptospirosis).
- Las transmitidas por agua contaminada debido a sustancias químicas procedentes de la minería y de plaguicidas agrícolas fundamentalmente (saturismo, fluorismo, envenenamiento con arsénico).
- Las producidas por organismos acuáticos parasitarios que infectan directamente al ser humano, penetrando a través de la piel o del sistema digestivo (ascariasis, clonorquiasis, dracunculosis, paragonimiasis,
- Las transmitidas por vectores como los mosquitos y las moscas que se crían y viven cerca de aguas contaminadas y no contaminadas (malaria, dengue, fiebre amarilla, leishmaniasis, zika, chikunguya);

2.2.6. Mecanismos de contaminación del agua

El suelo es un medio importante para transportar la contaminación a las aguas subterráneas y superficiales a través de interacciones complejas. Las impurezas suspendidas y los contaminantes bacterianos se eliminan en el proceso de filtración por el suelo que actúa como absorbente y filtro, y el agua como disolvente. Dado que el movimiento del agua intersticial a través de las capas

porosas del suelo es lento, los contaminantes no se diluyen fácilmente. Además, al no estar en contacto con el aire, a diferencia del agua superficial, la oxidación de los contaminantes no se produce (Encinas 2011, pp. 46-47).

2.2.6.1. Lixiviación de nutrientes en el suelo

La lixiviación es la pérdida de nutrientes vegetales solubles en agua del suelo debido a la lluvia y al riego. Se tienen en cuenta la estructura del suelo, la siembra de cultivos, el tipo y las tasas de aplicación de fertilizantes y otros factores para evitar una pérdida excesiva de nutrientes. La lixiviación también puede referirse a la práctica de aplicar una pequeña cantidad de exceso de riego donde el agua tiene un alto contenido de sal para evitar que las sales se acumulen en el suelo (control de la salinidad). Donde esto se practica, drenaje también debe emplearse habitualmente, para eliminar el exceso de agua (FAO, 2019).

La lixiviación es una preocupación del medio ambiente natural cuando contribuye a la contaminación de las aguas subterráneas. A medida que el agua de la lluvia, las inundaciones u otras fuentes se filtra en el suelo, puede disolver los productos químicos y llevarlos al suministro de agua subterránea. De particular preocupación son los vertederos de desechos peligrosos y, en la agricultura, el exceso de fertilizantes, el estiércol animal almacenado incorrectamente y los biocidas (por ejemplo, plaguicidas, fungicidas, insecticidas y herbicidas) (Intagri, 2017).

2.2.6.2. Infiltración del agua en los suelos

La infiltración es el proceso por el cual el agua en la superficie de la tierra entra en el suelo. La tasa de infiltración, en la ciencia del suelo, es una medida de la tasa a la cual el suelo es capaz de absorber la precipitación o la irrigación. Las disminuciones de tasa hacen que el suelo se sature. Si la tasa de precipitación excede la tasa de infiltración, se producirá escorrentía a menos que haya alguna barrera física. Está relacionada con la conductividad hidráulica saturada del suelo cercano a la superficie (Úbeda Rivera y Delgado Dallatorre 2018, p.7). Cada uno de los procesos en este caso se van dando según el trato que se le da al suelo, de eso depende su capacidad de infiltración, cuando un suelo es demasiado trabajado con elementos que lo compacten fuertemente pierde su capacidad de infiltración o baja su nivel de infiltración.

La infiltración está gobernada por dos fuerzas: la gravedad y la acción capilar. Los poros muy pequeños empujan el agua por la acción capilar además de contra la fuerza de la gravedad. La tasa de infiltración se ve afectada por características del suelo como la facilidad de entrada, la capacidad de almacenaje y la tasa de transmisión por el suelo. En el control de la tasa y capacidad

infiltración desempeñan un papel la textura y estructura del suelo, los tipos de vegetación, el contenido de agua del suelo, la temperatura del suelo y la intensidad de precipitación. Por ejemplo, los suelos arenosos de grano grueso tienen espacios grandes entre cada grano y permiten que el agua se infiltre rápidamente. La vegetación crea más suelos porosos, protegiendo el suelo del estancamiento de la precipitación, que puede cerrar los huecos naturales entre las partículas del suelo, y soltando el suelo a través de la acción de las raíces (Ávila-Dávila et al. 2019, p, 890).

2.2.7. Factores de vulnerabilidad a contaminación del agua

La vulnerabilidad se define como la sensibilidad natural que tiene el agua a contaminarse. La vulnerabilidad constituye parte de la base técnica para la formulación de un plan general de protección para las aguas. Según (Ramírez Mejía, 2003, p. 62) es importante considerar que, para determinar el impacto de la contaminación que tiene una fuente contaminante es necesario conocer las condiciones geológicas e hidrogeológicas y la sensibilidad que estas condiciones tienen a la contaminación.

2.2.7.1. Tipo Suelo

El suelo representa la primera zona donde puede ocurrir la atenuación de la carga contaminante, debido a los procesos de filtración, biodegradación, absorción, volatilización, y otros. La intensidad de los mismos está influida directamente por el tipo de arcilla, características granulométricas del sedimento y contenido de materia orgánica (Ramírez Mejía, 2003, p. 65) .

2.2.7.2. Profundidad del agua

A mayor profundidad del nivel freático, hay mayor oportunidad para la atenuación, dilución, volatilización, de los contaminantes, debido a que implica mayor tiempo de desplazamiento de los mismos hacia el espesor saturado (Ramírez Mejía, 2003, p. 66) .

2.2.7.3. Topografía

Se conoce como topografía a la variación de pendiente, la cual está expresada en porcentaje. Es importante porque permite que un contaminante depositado sobre la superficie del suelo se escurra o permanezca el tiempo suficiente en la superficie. Las pendientes menores están asociadas a un potencial de contaminación mayor, ya que favorecen la infiltración a causa de su bajo escurrimiento superficial (Ramírez Mejía, 2003, p. 66).

2.2.8. Indicadores de la calidad del agua

En la actualidad la buena calidad del agua y su disponibilidad en cantidad suficiente en una de las necesidades principales de cualquier población, la descripción de la calidad del agua puede realizarse midiendo variables físicas, químicas o biológicas; y utilizando un índice de calidad del agua (Castro et al. 2014, p. 112). Los indicadores de contaminación sirven para minimizar el elevado costo de tratar de monitorear organismos patógenos individuales en suministros de agua. Para (Ramírez Mejía, 2003. p, 61) las características de un indicador de contaminación ideal son: a) Su procedimiento analítico debe ser simple, rápido y económico. b) No debe presentar problemas serios de muestreo, debido a modificación fisicoquímica. c) Su variación debería mostrar correlación positiva con la de los contaminantes correspondientes.

2.2.8.1. Funciones de los indicadores

Los indicadores cumplen con funciones principales: reducen el número de mediciones y los parámetros que normalmente se requieran para hacer una representación exacta de una situación; y simplifican el proceso de comunicación de los resultados de la medición (Castro et al. 2014, p. 110).

2.2.8.2. Indicadores Físico Químicos del Agua

Estos indicadores brindan una información extensa de las propiedades físicas y la naturaleza química del agua. Sus métodos de medición son rápidos y pueden ser monitoreados con mayor frecuencia para determinar la calidad del agua de diferentes tipos de uso.

Temperatura

Cuando se determina la temperatura exactamente es esencial para diferentes procesos de tratamiento y los análisis de laboratorio, ya que el grado de saturación del OD, la actividad biológica y el valor de saturación con carbonato de calcio relacionado con la temperatura. Para la determinación en suministro de pozos, polución de ríos además de estudios de fuentes la temperatura no es un dato necesario para poder determinarlo.

pH

El potencial de hidrógeno (pH) determina la acidez o alcalinidad del agua provocado por la presencia de iones hidrógeno e hidróxido respectivamente. El agua que contenga más iones hidrógeno demuestra que tiene mayor acidez, mientras que al contener mayor cantidad de iones de hidróxido indica que tiene mayor alcalinidad.

Conductividad Eléctrica (CE)

La conductividad eléctrica es una propiedad que nos indica la calidad del agua y un importante parámetro de la línea base de los estudios de aguas de ríos, lagos y lagunas. La conductividad está relacionada con la concentración de las sales en disolución, y los iones comúnmente cuantificados.

Oxígeno disuelto (OD)

Es muy importante porque es un factor que nos da a conocer cada una de las condiciones aeróbicas o anaeróbicas en el medio determinado. Al determinar el OD da el eje principal para considerar DBO, los procesos de tratamiento, las tasas de aireación en los tratamientos aireación en los procesos aeróbicos y el grado de polución de una fuente hídrica. El OD está presente en cantidades diferentes e incluso bajas en el agua, la cantidad de OD en el agua depende de la concentración y estabilidad del material orgánico existente,

Nitratos

En un ecosistema acuático el nitrógeno se encuentra presente en muchas formas, al combinarse el nitrógeno con el oxígeno se da paso o forma un compuesto llamado nitrato. Los nitratos vienen de fertilizantes, aguas negras y también de desechos industriales. Pueden ser causantes de la eutrofización de lagos o pozas. Esto ocurre cuando los nutrientes se añaden a las masas de agua, los nutrientes generalmente provienen de los restos o escurrimientos de agua en las tierras agrícolas, aguas negras, detergentes, desechos de animales y sistemas sépticos con fugas.

Sulfatos

Dado que los sulfatos son solubles en agua, se encuentra en casi todas las aguas naturales, y sus concentraciones se dan en un rango bastante variado, el (SO_4^{2-}) proceden fundamentalmente de los procesos de disolución de los yesos, así como de la oxidación bacteriana de sulfuros, el drenaje de minas pueden aportar grandes cantidades de sulfato provenientes de la oxidación de la pirita y del uso del ácido sulfúrico, así como también de la oxidación de menas de sulfuro, desechos industriales y fertilizantes agrícolas.

Fosfatos

Los fosfatos es la forma principal en la que se encuentra el fósforo dentro del agua, estos se encuentran en los fertilizantes, detergentes y llegan al agua junto con el deslizamiento agrícola, los desechos industriales y las fuentes de aguas negras. Las masas de agua con altos niveles de fosfatos generalmente tienen niveles altos de Demanda Biológica de Oxígeno (DBO) debido a las bacterias que consumen los desechos orgánicos de las plantas y posteriormente a los niveles bajos de OD.

Calcio

El calcio forma sales moderadamente solubles y por esa razón el ion (Ca^{2+}), está presente en la mayoría de las aguas naturales es el catión mayoritario, ya que está presente en las rocas ígneas, sedimentarias y metamórficas, en rocas sedimentarias aparece fundamentalmente en forma de carbonatos como calcita, aragonito y dolomita y en sulfatos como yeso y anhidrita.

Magnesio

El ion magnesio (Mg^{2+}), es menos abundante que el ion calcio en aguas naturales, aunque puede proceder de la disolución de rocas carbonatadas como dolomías y calizas magnesianas, evaporitas y de la alteración de silicatos ferromagnesianos, así como del agua marina.

Sodio

El ion sodio (Na^{+}), se origina de la meteorización de silicatos y la disolución de rocas sedimentarias de origen marino. Es una fuente importante la constituyen los aportes de agua marina, tanto por intrusión marina, como por infiltración desde la superficie.

Potasio

El ion potasio (K^{+}), procede de la meteorización de los feldespatos y corresponde a sales de muy elevada solubilidad y difícil de precipitar. El ion potasio tiende a ser fijado irreversiblemente en la formación de arcillas y por adsorción en la superficie de minerales con alta capacidad de intercambio iónico.

2.2.8.3. Indicadores Microbiológicos del agua

El agua puede ser vector de gérmenes peligrosos, por lo cual es necesario determinar su calidad, es por ello que deben realizarse análisis de este tipo microbiológico para ver si existe o no presencia de contaminación animal o humana y así poder determinar si el agua es apta para sus usos.

Coliformes fecales

Las heces humanas y animales son la principal fuente de contaminación y por la cual se introduce gran cantidad de coliformes en el ambiente. Es por esto que la mayor cantidad de coliformes que se encuentran en el ambiente son fecales, a la vez se encuentran muchos coliformes de vida libre.

2.3. Bases conceptuales

2.3.1. *Agua superficial*

Es el agua que se encuentra en la superficie terrestre, se forma por la escorrentía generada por las precipitaciones o por el afloramiento de las aguas subterráneas. Se puede presentar en forma correntosa donde su calidad depende de las precipitaciones y vertidos que recibe, o en formas quietas la calidad de estas aguas está sujeta a la actividad microbiana pudiendo generar un mayor impacto.

2.3.2. *Agua intersticial*

Comúnmente llamada agua de poro, el agua intersticial es la que ocupa el espacio entre las partículas del suelo. Se ha evidenciado su utilidad como indicadora de impacto ambiental por constituir un sumidero de contaminantes biodisponibles. El análisis de contaminantes en el agua intersticial es relevante porque se encuentran biodisponibles, y esto permite determinar la exposición del organismo a estos compuestos (Hernández-Quiroz et al. 2019, p. 409)

2.3.3. *Sistema lacustre*

Se refiere a los fenómenos, elementos y al tipo de ecosistema de los lagos y lagunas dependiendo de las condiciones climáticas en un lugar, su capacidad de autodepuración es muy limitada por lo que se degrada rápidamente. Se caracteriza por ser dinámico debido a que el agua de los lagos o lagunas puede incrementar el nivel limnimétrico por las lluvias intensas o evaporarse en climas áridos (Guerra, Riquelme y Skewes, 2019, p. 24)

2.3.4. *Sistema palustre*

Son los ecosistemas que contiene agua permanente, dentro de estos sistemas se encuentran los humedales que se ubican cerca de ríos o lagunas por lo que reciben agua dulce únicamente, la vegetación de este sistema contiene especies similares.

2.3.5. *Sistema fluvial*

Es un sistema que está asociado a los procesos de formación del relieve continental como los ríos y arroyos; empleando el agua como agente de erosión y transporte. Los procesos fluviales

esculpen el paisaje, erosionan los accidentes geográficos, transportan sedimentos y los depositan para crear nuevos Accidentes Geográficos (Guzñay & Ortega, 2022, p. 31)

2.3.6. Calidad del suelo

La calidad del suelo permite comprender la utilidad del este recurso, está asociado con el estado de las propiedades dinámicas del suelo como contenido de materia orgánica, diversidad de organismos, o productos microbianos, fertilidad, productividad potencial, sostenibilidad y calidad ambiental. Una buena calidad del suelo permite maximizar la producción y minimizar la erosión (Cruz et al., 2004, p. 92)

2.3.7. Calidad del agua

La calidad del agua se mide de acuerdo con parámetros físicos, químicos y biológicos mediante los cuales se cuantifica el grado de alteración de las características naturales y se clasifica para un uso en específico, depende de los factores naturales y de las actividades antrópicas. El deterioro de la calidad del agua es preocupante por el crecimiento de la población, la expansión de la actividad agrícola e industrial, mismos que provocan alteraciones en el ciclo hidrológico (Castro et al., 2014, p. 114)

2.3.8. Enriquecimiento de nutrientes

Enriquecimiento es la adición de nutrientes a un cuerpo hídrico aumentando su concentración de las que contiene naturalmente. La eutrofización es un proceso por el cual el cuerpo de agua es enriquecido por fósforo y nitrógeno, principalmente, generando condiciones anóxicas y deterioro de la calidad del agua (García Lozano, 2016)

2.3.9. Indicador

La Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico (OCDE, 2003) define un indicador como “un parámetro o un valor derivado de parámetros que proporciona información sobre un fenómeno, ambiente, área, con un significado que se extiende más allá de un valor directamente relacionado con un parámetro”.

2.3.10. Parámetro

Un parámetro es una propiedad que se mide o se observa (Castro et al. 2014, p. 112).

2.3.11. Anión

Es un ion que está cargado negativamente, tiene más electrones que protones. Su carga, el número de electrones ganados, se indica después del símbolo químico (Planas, 2015).

2.3.12. Cation

Es un ion que está cargado positivamente, tiene más protones que electrones. Su carga, el número de electrones perdidos, se indica después del símbolo químico (Steward, 2018).

2.3.13. Infiltración de agua:

Proceso en el cual el agua que se encuentra en la superficie entra al suelo y éste es capaz de absorber la precipitación y la irrigación (Úbeda Rivera y Delgado Dallatorre 2018b).

2.4. Base Legal

Por la importancia de los recursos hídricos, es indispensable aplicar la normativa vigente para el uso del mismo. El Código orgánico ambiental COA, es una norma que regula temas de materia ambiental para una adecuada gestión, tiene por objetivo garantizar el derecho a las personas a vivir en un ambiente sano y equilibrado, y proteger los derechos de la naturaleza para, realizando el buen vivir. En el Art. 411 menciona que la “Constitución de la República del Ecuador dispone que el Estado garantizará la conservación, recuperación y manejo integral de los recursos hídricos, cuencas hidrográficas y caudales ecológicos asociados al ciclo hidrológico. Se regulará toda actividad que pueda afectar la calidad y cantidad de agua, y el equilibrio de los ecosistemas, en especial en las fuentes y zonas de recarga de agua. La sustentabilidad de los ecosistemas y el consumo humano serán prioritarios en el uso y aprovechamiento del agua” (COA, 2017).

La Ley de Recursos Hídricos, Usos y Aprovechamiento del Agua “reconoce el papel transcendental de la gestión social del recurso mediante el reconocimiento de los sistemas comunitarios de agua como las Juntas de Agua Potable y Riego, Comités, y demás” (Ley Orgánica de recursos hídricos 2014). En el Art. 1 menciona que “Los recursos hídricos son parte del patrimonio natural del estado y serán de su competencia exclusiva, la misma que se ejercerá concurrentemente entre el Gobierno Central y los Gobiernos Autónomos Descentralizados, de conformidad con la Ley”.

CAPÍTULO III

3. MARCO METODOLÓGICO

3.1. Área de estudio

El área de estudio de este proyecto de investigación se encuentra ubicado en la provincia de Chimborazo, cantón Guamote, parroquia de Cebadas y dista alrededor de 35 km de la ciudad de Riobamba. El río Atillo nace de las vertientes y lagunas de Atillo, esta microcuenca contribuye con el recurso hídrico para actividades productivas de los cantones Riobamba, Guano y Chambo. Atillo es una comunidad situada a 3600 msnm, en lo que constituyen territorios de la zona de amortiguamiento del Parque Nacional Sangay, por donde atraviesa la carretera Guamote-Macas (GAD Cebadas, 2021).

La parroquia Cebadas, conforma un territorio de 566,55 km² lo que la hace la segunda parroquia más grande de la provincia de Chimborazo. Dispone de una temperatura media anual de 13,7 °C, presenta dos tipos de climas: invierno húmedo frío en los meses de octubre a mayo y verano seco, ventoso, cálido en los meses de junio septiembre; además presenta una precipitación de 681 mm, una humedad relativa del 96,8% y una nubosidad de 3,1 horas/día, según los datos ofrecidos por el INAMHI 2014 (GAD Cebadas, 2021). La parroquia tiene una topografía irregular por la influencia de la cordillera central y la cordillera de los Andes, este fenómeno sumado a la acción fluvial son las principales causas de erosión de los suelos de las comunidades.

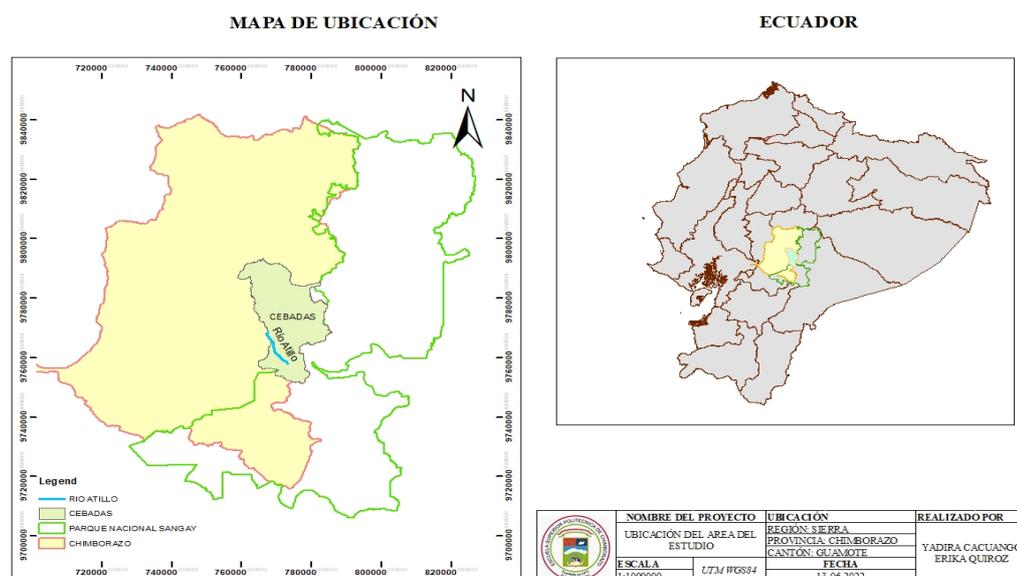


Ilustración 1-3: Mapa de ubicación

Realizado por: Cacungo Y., Quiroz E., GIDAC, 2022.

3.2. Descripción de los puntos de muestreo

Los puntos de muestreo se delimitaron mediante el enfoque criterial del autor de un trabajo de investigación en desarrollo vinculado al proyecto de Sistemas Lacustres Alto andinos del centro del Ecuador como sumideros de dióxido de carbono propuesto por el grupo de investigación GIDAC cuyos resultados permitieron el fortalecimiento de la investigación. Se consideran 7 en agua intersticial (PI) y 5 en agua superficial (PS) con un total de 12 puntos de muestreo. En la Laguna Magdalena y Kuyuk se evidencia la actividad turística se toman dos muestras, una de cada tipo, denominadas PI01 y PS01, PI02 y PS02, respectivamente. En el punto definido como PI03 se toma una muestra de agua intersticial entre dos lagunas donde se ve presencia de ganado. En el siguiente punto se muestra la presencia abundante de ganado donde se toma una muestra de cada tipo nombrados PI04 y PS03. Seguido se encuentran los puntos PI05 y PS04, PI06 y finalmente PI07 Y PS07 en los que se evidencia actividades antrópicas como la ganadería y el turismo.

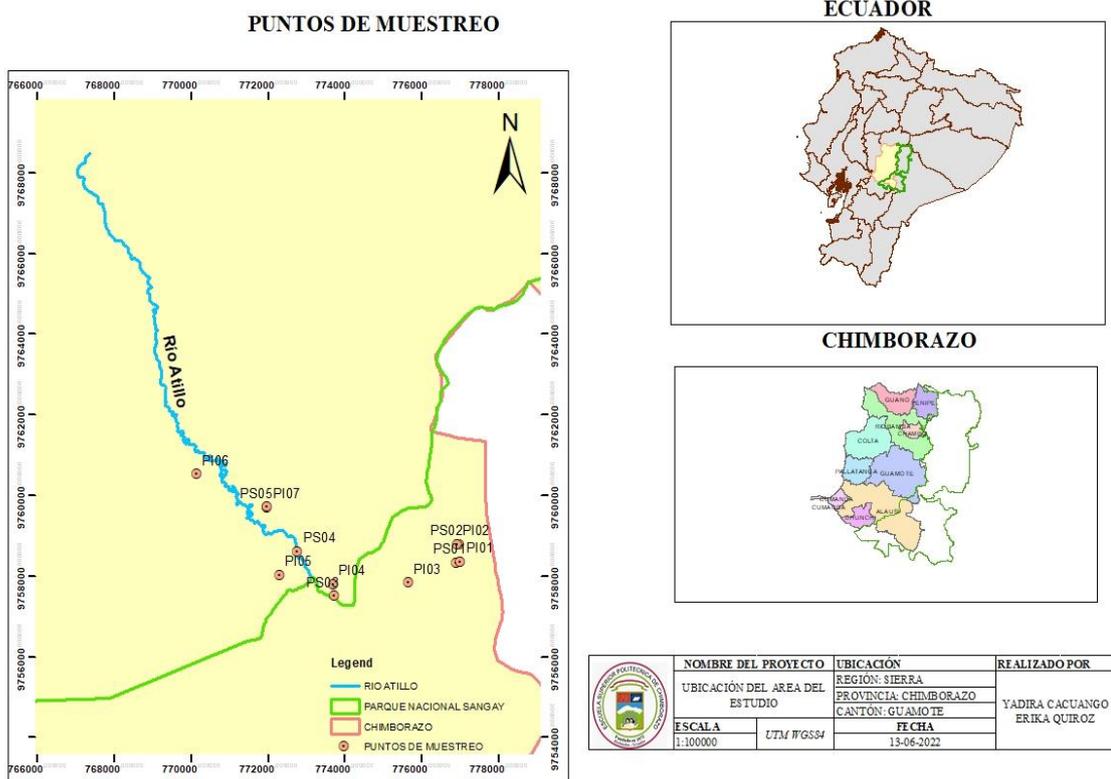


Ilustración 2-3: Ubicación de los puntos de monitoreo

Realizado por: Cacuango Y., Quiroz E., GIDAC, 2022

Tabla 1-3: Ubicación geográfica y rango altitudinal.

Punto de muestreo	Y	X	Altitud
PI05	2°18'71'' S	78°55'19'' O	3493,5 m.s.n.m
PS07	2°10'18,60'' S	78°33'17,4'' O	3466,2 m.s.n.m

Realizado por: Cacuango Y., Quiroz E., GIDAC, 2022.

3.3. Enfoque de la investigación

El presente trabajo de integración curricular empleó un método cuantitativo debido a que se obtienen mediciones de las variables físicas, químicas y microbiológicas del agua superficial e intersticial con el fin de utilizar herramientas estadísticas para comprobar o rechazar la hipótesis.

3.4. Nivel de la investigación

Se empleó un nivel de investigación descriptiva, debido a que se caracteriza física, química y microbiológicamente el agua superficial e intersticial. Correlacional por que se estudió la relación estadística entre los parámetros del agua intersticial en el agua superficial, esto permitió conocer la variación de un parámetro al modificar otro. Y explicativa porque se centra en la explicación de las variables de estudio.

3.5. Diseño de la investigación

Se utilizó un diseño longitudinal porque se centra en estudiar cómo evolucionan, cambian o se relacionan las variables en un periodo de tiempo, para hacer inferencias dependiendo a los resultados obtenidos.

3.6. Tipo de estudio

Se usó un tipo de estudio no experimental, porque las variables de investigación no son manipuladas, únicamente se observaron los parámetros de forma mensual en su ambiente natural, para después analizarlos.

3.7. Población de estudio y tamaño de muestra

3.7.1. Población de estudio

La población estudio comprende a el sistema lacustre Atillo, donde se obtuvo información de la caracterización del agua superficial e intersticial en la Zona Alta de la microcuenca, el total aproximado de la microcuenca del río Atillo es de 9091,2 Ha y la zona lacustre e inundable 251,6 Ha (GAD Cebadas, 2021).

3.7.2. Tamaño de muestra

El tamaño de la muestra comprende 48 unidades experimentales, considerando 12 puntos de muestreo: 7 puntos de agua intersticial donde cada muestra aproximadamente se ubicada por cada 40 Ha y 5 de agua superficial, seleccionados mediante un análisis criterial en base a la accesibilidad y conocimiento de la zona, con 4 muestreos mensuales realizados en el período mayo - agosto 2022.

3.8. Métodos, técnicas e instrumentos de investigación

3.8.1. Técnica de recolección de datos

Análisis documental: Recolección de información a través de fuentes primarias y secundarias, mediante la revisión de libros, artículos, informes técnicos y científicos, etc.; que contribuyen en el desarrollo del estudio.

Técnica de observación no experimental: Técnica utilizada para recolección de información de campo, mediante toma de muestra in situ para posterior análisis ex situ de parámetros, considerando los siguientes instrumentos.

- Manual de Standard Methods 23rd Edition
- GPS instrumento para establecer coordenadas de puntos de muestreo
- Multiparámetro RaeSung AZ86031
- Espectrofotómetro
- Medidor de ORP HI98120
- Reactivos para análisis de aniones de las muestras
- Fotómetro multiparamétrico C 2000

Tabla 2-3: Materiales, equipos y reactivos

Materiales	Equipos	Reactivos
Botella Ambar de 1 L	Multiparámetro RaeSung AZ86031	Hielo
Matraz 50 mL	Flexómetro	Agua destilada
Probeta 50 mL	Caja fría	Alcohol Industrial
Vasos de precipitación 50 y 200 mL	Espectrofotómetro	Naranja de metilo
Pipeta de 1, 5, 10 mL	GPS Garmín	Fenolftaleína
Pera de succión	Cámara	Ácido sulfúrico
Filtro de microfibra de vidrio	Unidad de filtración	Kit de sulfatos
Cajas Petri	Incubadora	Kit de nitratos
Asa de sembrar	Medidor de ORP HI98120	Kit de fosfatos
Mechero	Fotómetro multiparamétrico C 2000	Agar Green Brillant

Realizado por: Cacuango Y., Quiroz E., GIDAC, 2022.

3.8.2. Instrumentos de la investigación

Para la toma de muestra del agua intersticial es necesario realizar un procedimiento previo, el cual consiste en colocar columnas de tubo PVC, de 1,5 m de largo y 4 in de diámetro, con cortes longitudinales alrededor que permitan la filtración del agua contenida en el suelo en los 7 puntos considerados; sin obstruir el desplazamiento del caudal normal.



Ilustración 3-3: Columna de tubo PVC

Realizado por: Cacuango Y., Quiroz E., GIDAC, 2022.

3.8.3. Método de muestreo

Se empleó el método estratificado considerando a la masa de agua superficial e intersticial, continuando con una muestra aleatoria simple en cada estrato mediante un enfoque criterial ante un previo reconocimiento de lugares estratégicos en la zona y accesibilidad.

3.8.3.1. Muestreo

Se realizaron salidas de campo mensuales en el periodo de mayo-agosto del 2022, que corresponde a una temporada lluviosa en el área de estudio, para afianzar los datos y resultados obtenidos al realizar los análisis respectivos.

3.8.4. Recolección y toma de muestras:

3.8.4.1. Toma de muestras en Agua Superficial

La toma de muestras se efectuó bajo los parámetros de la norma ecuatoriana INEN 2169, para la determinación de calidad de agua, muestreo, manejo y conservación.

Se procedió a tomar una muestra compuesta en una botella ámbar de 1L previamente lavada con detergente y agua, para posteriormente añadir 1 ml de ácido nítrico al 0,1 N y enjuagarla con agua destilada, el envase fue sumergido a una profundidad de 10 cm y a una distancia aproximada de 1 metro tomando como referencia al perfil de cuerpo hídrico, para la determinación de parámetros químicos y físicos ex situ. Para determinar el parámetro microbiológico se tomó la muestra en frasco estéril de orina, que fue sumergido a 10 cm de profundidad y son abiertos y cerrados bajo el agua.



Ilustración 4-3: Muestreo Agua Superficial

Realizado por: Cacuango Y., Quiroz E., GIDAC, 2022

3.8.4.2. Toma de muestras en Agua Intersticial

Se procedió a tomar las muestras intersticiales de los tubos de 1,5 metros de profundidad que fueron enterrados, el agua ascendió en el interior del tubo y se procedió a sumergir el frasco de orina estéril obteniendo la muestra para el parámetro microbiológico, para posteriormente con la ayuda de un extractor de agua manual tomar la 1L de muestra compuesta en una botella ámbar, sin manipular las paredes del tubo. Al obtener la muestra se procede a vaciar el tubo de modo que permita obtener nuevas características en el próximo muestreo.



Ilustración 5-3: Muestreo Agua Intersticial

Realizado por: Cacuango Y., Quiroz E., GIDAC, 2022.

3.8.5. Almacenamiento, transporte y conservación

Los envases fueron etiquetados y depositados en una caja fría, con el propósito de mantener las condiciones de la muestra, luego del muestreo las botellas fueron trasladadas a un refrigerador de 5°C por 12 h, para continuar con la determinación de parámetros químicos (nitritos, nitratos, fosfatos, sulfatos, carbonatos, bicarbonatos), físicos (SST), microbiológicos (coliformes fecales). Para la determinación de Na, K, Ca, Mg, las muestras son aciduladas con 1 mL de HNO₃ al 65% y son congeladas a -5 °C como método de preservación, teniendo en consideración que el tiempo máximo de conservación es de 1 mes para su análisis (INEN, 1998).

3.8.6. Análisis de parámetros

3.8.6.1. Parámetros in situ:

Se refiere a aquellos parámetros que pueden ser determinados en el lugar de muestreo. Con la ayuda del multiparámetro (modelo AZ86031) que cuenta con cuatro sondas: temperatura con un rango de medición de 0-60°C precisión de $\pm 0,5^\circ$, pH con un rango de 2 -12,0 con precisión de $\pm 0,1$, OD 0-199,9% con precisión $\pm 3\%$, conductividad eléctrica 0-199,9 μ S/cm con precisión $\pm 1 \mu$ S/cm, que previamente a su uso fue calibrado. Para determinar el Potencial Redox se utilizó el Medidor de ORP modelo HI98120 con un rango de medición de ± 999 mV con precisión de ± 5 mV.

3.8.6.2. Parámetro ex situ

Hace referencia a las muestras de agua intersticial y superficial, que fueron analizadas en los laboratorios de la Facultad de Ciencias en el Laboratorio del GIDAC, Laboratorio de Investigación, Laboratorio de Química Analítica, Laboratorio de Biotecnología Ambiental.

Tabla 3-3: Métodos para la determinación de parámetros ex situ

Parámetro	Unidad	Método	Principio	Cita
SST	mg/L	Método Normalizado APHA-AWWA – WPCF - 2540 D.	Filtración al vacío con micro filtros de vidrio Secado a 103-105°C hasta un peso constante, para aplicar diferencia de pesos	(Baird, Eaton y Rice, 2017, pp. 187-188)
NO ₃ ⁻	mg/L	Fotómetro multiparamétrico C 2000	Selección de numeración preestablecida para nitratos, con longitud de onda 525 nm.	(HANNA, 2020)
NO ₂ ⁻	mg/L	Fotómetro multiparamétrico C 2000	Selección de numeración preestablecida para nitritos, con longitud de onda 525 nm.	(HANNA, 2020)
SO ₄ ²⁻	mg/L	Espectrofotómetro visible 3s UV	Selección de numeración preestablecida para sulfatos, con longitud de onda 466 nm.	(HANNA, 2020)
PO ₄ ³⁻	mg/L	Fotómetro multiparamétrico C 2000	Selección de numeración preestablecida para fosfatos, con longitud de onda 610 nm.	(HANNA, 2020)
HCO ₃ ⁻	mg/L	Método Normalizado APHA-AWWA – WPCF - 2310B. 4b.	Titulación colorimétrica	(Baird, Eaton y Rice 2017)
Na	mg/L	Método Normalizado APHA-AWWA – WPCF 3500-Na B	Espectrofotometría de absorción atómica	(Baird, Eaton y Rice 2017)

K	mg/L	Método Normalizado APHA-AWWA – WPCF 3500-K B	Espectrofotometría de absorción atómica	(Baird, Eaton y Rice 2017)
Ca	mg/L	Método Normalizado APHA-AWWA – WPCF 3500-Ca B	Espectrofotometría de absorción atómica	(Baird, Eaton y Rice 2017)
Mg	mg/L	Método Normalizado APHA-AWWA – WPCF 3500-Mg B	Espectrofotometría de absorción atómica	(Baird, Eaton y Rice 2017)
Coliformes fecales	Nmp/100mL	Método de diluciones sucesivas, por colorimetría confirmativa	Técnica del número más probable	(Baird, Eaton y Rice 2017)

Realizado por: Cacuango Y., Quiroz E., GIDAC, 2022.

3.8.7. Análisis de Datos

Para el estudio se aplicó una estadística descriptiva con el propósito de determinar y describir las medidas de tendencia central de los parámetros físicos, químicos y biológicos del agua superficial e intersticial de la Zona Alta del Río Atillo, considerando valores máximos y mínimos, media, mediana, desviación estándar, error estándar, cuartiles y coeficientes de variación.

Se continuó con un análisis inferencial para establecer conclusiones de relación de parámetros, mediante la determinación del coeficiente de correlación de PEARSON, haciendo uso del programa Statgraphics.

Tabla 4-3: Coeficiente de correlación de Pearson

Valor del coeficiente	Correlación
$r = 0$	Nula
$0 < r < 2$	Muy baja
$0,2 < r < 0,4$	Baja
$0,4 < r < 0,6$	Moderada
$0,6 < r < 0,8$	Alta
$0,8 < r < 1,0$	Muy alta
$r = 1$	Perfecta

Fuente: (Lahura, 2003)(El coeficiente de correlación y correlaciones espúreas)

Realizado por: Cacuango Y., Quiroz E., GIDAC, 2022.

3.8.7.1. Balance Iónico

El cálculo del balance iónico da como resultado el porcentaje que permite estimar la fiabilidad de un análisis químico (Mis Juárez, 2017. p, 79). Partiendo de la premisa de que el agua debe ser eléctricamente neutra por lo que la suma de (meq/L) de cationes debe ser igual a la suma de (meq/L) de aniones, dando así la siguiente expresión:

$$e = \frac{\sum \text{cationes} - \sum \text{aniones}}{\sum \text{cationes} + \sum \text{aniones}} \times 100$$

- Los cationes considerados en el trabajo son: Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , H^+
- Los aniones considerados en el trabajo son: SO_4^{2-} , PO_4^{3-} , NO_2^- , NO_3^- , HCO_3^-

Según (Custodio y Llamas 1983. p, 223) la conductividad eléctrica se introduce como un parámetro capaz de alterar el error, por lo que se consideró el criterio de Anderson en 1966.

Tabla 5-3: Error admisible de balance iónico

Conductividad	$\mu\text{S/cm}$	50	200	500	2000	>20000
Error admisible	%	30	10	8	4	4

Realizado por: Cacuango Y., Quiroz E., GIDAC, 2022.

3.8.7.2. Enriquecimiento de Nutrientes

Este parámetro permite estimar el enriquecimiento de un nutriente específico con respecto a una fuente de tipo natural, donde un elemento muy abundante es tomado como indicador (García et al., 2002). En este trabajo, se determinaron los diferentes porcentajes de enriquecimiento del agua superficial con respecto al agua intersticial de la zona alta del río Atillo como referencia, al no tener análisis de referencia en aguas prístinas en la zona de estudio no se considera el elemento indicador. El modelo para valorar el porcentaje de enriquecimiento de nutrientes se presenta como:

$$\% E = \frac{[X_{intersticial}]}{[X_{superficial}]} \times 100$$

Donde los términos $[X_{intersticial}]/[X_{superficial}]$ denotan la relación entre la concentración del nutriente X del agua intersticial en el agua superficial.

3.8.7.3. Indicadores de calidad de Agua

Relación de Adsorción del Sodio

Este indicador se utilizó para predecir la degradación de suelo física, química y microbiológica, pues al tener una baja carga de microorganismos la descomposición de materia orgánica es menor; y a largo plazo generará el deterioro de las propiedades del suelo, ocasionando baja tasa de infiltración y restricción de drenaje.

La ecuación que se utilizó para determinar RAS fue:

$$RAS = \frac{Na^+}{\sqrt{\frac{Ca^{2+} + Mg^{2+}}{2}}}$$

Las concentraciones de los cationes se expresan en meq/L.

Los resultados obtenidos en el agua de la zona alta del río Atillo fueron comparados con los criterios de Cánovas en 1986 y Richards en 1954 para determinar la calidad del agua de riego, cuyos valores se muestran en la tabla 6-3.

Tabla 6-3: Criterios para determinar la calidad de agua a partir de valores RAS

Según Cánovas (1986)		Según Richards (1954)
RAS	Riesgo de sodicidad	Criterio de uso de calidad
<10	Bajo	Excelente
10-18	Medio	Buena
18-26	Alto	Dudosa
>26	Muy alto	No recomendado

Fuente: (Tartabull Puñales y Betancourt Aguilarm, 2016. pp. 49-50)

Realizado por: Cacuango Y., Quiroz E., GIDAC, 2022.

Porcentaje de Sodio Soluble (PSS)

Este indicador evaluó el riesgo producido por el sodio al tener altos valores, estos afectan a la permeabilidad del suelo limitando la circulación del aire y agua, dispersión de arcillas; ocasionando la reducción de infiltración e incremento de erodabilidad, limitando el crecimiento de plantas.

El PSS fue determinado mediante la siguiente ecuación:

$$PSS = \frac{Na^+ + K^+}{Ca^{2+} + Mg^{2+} + Na^+ + K^+}$$

Se utilizó el criterio de Wilcox (1955), para evaluar la calidad de agua para riego; considerando que las concentraciones de los cationes se expresan en meq/l.

Tabla 7-3: Criterios para determinar la calidad de agua a partir de valores PSS

PSS	Criterio de calidad
<20	Excelente
20-40	Buena
40-60	Aceptable
60-80	Dudosa
>80	No aceptable

Fuente: (Tartabull Puñales y Betancourt Aguilarm, 2016. pp. 50-51)

Realizado por: Cacuango Y., Quiroz E., GIDAC, 2022.

Carbonato de sodio residual (CSR)

Este indicador se utilizó para predecir la tendencia del calcio y magnesio a precipitar en el suelo cuando se riega con aguas carbonatadas, al suceder esto el riesgo a sodificación del suelo aumentará. La ecuación que se utilizó para determinar el CSR fue:

$$CSR = (CO_3^{2-} + HCO_3^-) - (Ca^{2+} + Mg^{2+})$$

Las concentraciones de los iones y cationes se expresan en meq/L.

Los resultados obtenidos en el agua de la zona alta del río Atillo son comparados con el criterio de Richards (1954), uno de los más utilizados para evaluar la calidad del agua de riego, cuyos valores se muestran en la tabla 8-3:

Tabla 8-3: Valores de CSR y su criterio de calidad del agua

CSR	Criterio de calidad
< 1,25	Buena
1,25 < CSR < 2,50	Condicionada
> 2,50	No recomendable

Fuente: (Tartabull Puñales y Betancourt Aguilarm, 2016. p, 51)

Realizado por: Cacuango Y., Quiroz E., GIDAC, 2022.

La salinidad del agua de riego y su indicador de medida. La conductividad eléctrica (CE)

La conductividad eléctrica es un indicador utilizado para determinar el daño que causa la salinidad en los suelos. La clasificación del agua para riego según los valores del indicador CE, se señalan en la siguiente tabla:

Tabla 9-3: Criterios de salinidad y calidad del agua con relación de los valores de CE.

CE	Criterio de salinidad	Criterio de calidad
< 250 $\mu S/cm$	Buena	Excelente
250 $\mu S/cm$ < CE < 750 $\mu S/cm$	Media	Buena
750 < CE < 2250 $\mu S/cm$	Alta	Aceptable
> 2250 $\mu S/cm$	Muy Alta	Dudosa

Fuente: (Tartabull Puñales y Betancourt Aguilarm, 2016. p, 52)

Realizado por: Cacuango Y., Quiroz E., GIDAC, 2022.

CAPÍTULO III

4. MARCO DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

4.1. Análisis estadístico

Se realizó una estadística descriptiva de la concentración y medición de parámetros físicos, químicos y microbiológicos para el agua superficial e intersticial.

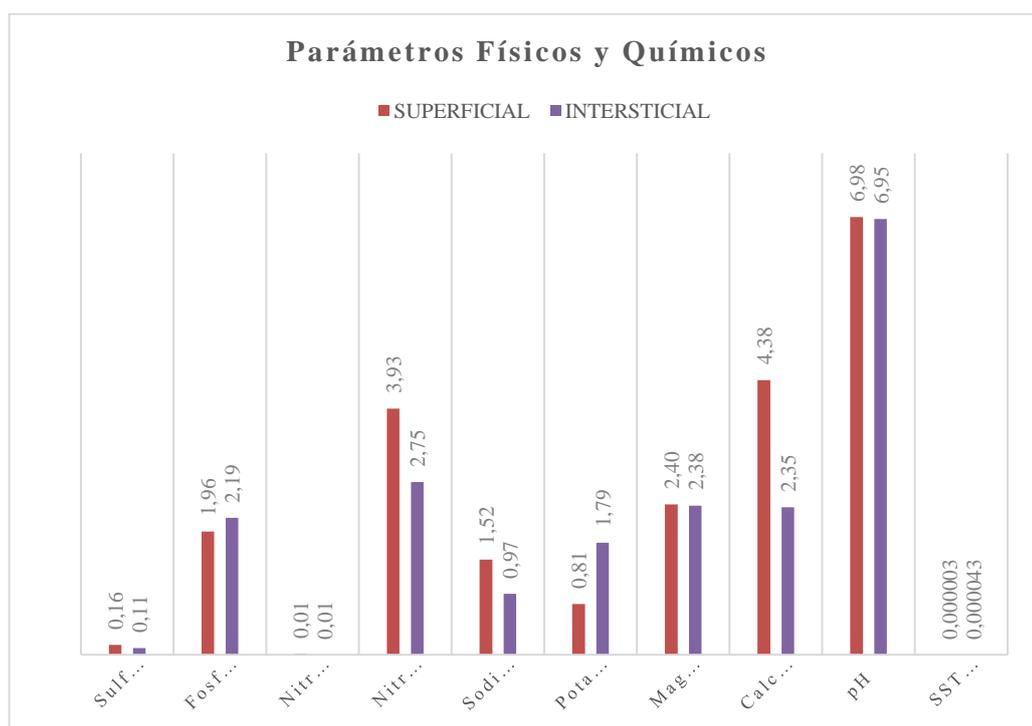


Ilustración 1-4: Resultados de parámetro físicos y químicos

Realizado por: Cacuango Y., Quiroz E., GIDAC, 2022

En el gráfico 1-4, se detallan los resultados de parámetros físicos, químicos y microbiológico obtenidos durante 4 muestreos de análisis de agua superficial e intersticial en la Zona Alta del Río Atillo.

La concentración de sulfatos en el agua superficial tiene un promedio de 0,16 mg/L \pm 0,02 con una desviación estándar de 0,11 con valores mínimos y máximos de 0,05-0,45 mg/L; la concentración más baja se registró en punto PS02 y el mayor en el punto PS01, donde se evidencia lechos rocosos que contienen sulfatos de hierro (Bolaños-Alfaro, Cordero-Castro y Segura-Araya, 2017, pp. 3-4), además es el de mayor cercanía a la vía interprovincial Riobamba – Macas, que influye en la emisión de gases de dióxido de azufre aportada por los motores de combustión a diésel,

generando concentraciones de sulfato en el agua lluvia que a su vez al cumplir con su ciclo incrementa la concentración en el agua superficial. En el agua intersticial la concentración promedio es de $0,11\text{mg/L} \pm 0,02$ con una desviación estándar de 0.13, la concentración más baja se registró en los puntos PI01-PI04 con valores de 0,00 mg/L y el mayor en PI02 con 0,65 mg/L, donde se observa gran cantidad a su alrededor de lechos rocosos y su proximidad a la vía interprovincial.

Los valores de sulfatos obtenidos en el monitoreo de agua superficial se clasifican como aguas de baja concentración de acuerdo con la Norma de calidad ambiental y descarga de efluentes: Recurso agua; siendo la concentración permisible de 250 mg/L para el agua de consumo humano y uso doméstico que para su potabilización requiere desinfección (Ministerio del Ambiente, 2015)..

La concentración de fosfatos en el agua superficial tiene un promedio de $1,96\text{ mg/L} \pm 0,38$ con una desviación estándar de 1,69 con valores mínimos y máximos de 0,27-5,48 mg/L; la concentración más baja se registró en punto PS02-PS05 y el mayor en el punto PS01, donde se evidencia actividades agropecuarias que generan el enriquecimiento de nutrientes por el alto contenido de nitrógeno y fósforo por el uso de enmiendas orgánicas (Pütz, 2010), fertilizantes, excreciones humanas y de animales; ocasionando a futuro procesos eutrofización (Bolaños-Alfaro, Cordero-Castro y Segura-Araya, 2017, p.4). En el agua intersticial la concentración promedio es de $2,19\text{ mg/L} \pm 0,30$ con una desviación estándar de 1,60 la concentración más baja se registró en los puntos PI03 con un valor de 0,28 mg/L y el mayor en PI04 con 5,4 mg/L, donde se observa gran cantidad de excrementos de ganado que generan el enriquecimiento de este nutriente por la infiltración en el suelo como producto de precipitaciones (Larenas, Lavín y Obreque, 2018, p.16).

La concentración de nitritos en el agua superficial tiene un promedio de $0,01\text{ mg/L} \pm 0,004$ con una desviación estándar de 0,02 con valores mínimos y máximos de 0,00-0,05 mg/L; la concentración más baja se registró en los puntos PS01, PS02, PS03, PS05 y el mayor en el punto PS04. La concentración de nitratos en el agua superficial tiene un promedio de $3,93\text{ mg/L} \pm 0,27$ con una desviación estándar de 1,21 con valores mínimos y máximos de 2,1-6,2 mg/L; la concentración más baja se registró en el punto PS03 y el mayor en el punto PS02, debido a la solubilidad el nitrito se convierte en nitrato con gran facilidad y éste es esencial para el desarrollo de las plantas, por lo cual se observó excrementos de ganado y aves, además del uso de fertilizantes que aportan principalmente al incremento de estos nutrientes en suelo y agua, que a futuro causarán procesos de eutrofización debido a su carga excesiva (Bolaños-Alfaro, Cordero-Castro y Segura-Araya, 2017, p.3).

En el agua intersticial la concentración promedio de nitritos es de $0,01\text{mg/L} \pm 0,001$ con una desviación estándar de 0,01 la concentración más baja se registró en los puntos PI01-PI02-PI03-PI04-PI06-PI07 con valores de 0,00 mg/L y el mayor en PI05 con 0,03 mg/L. La concentración

de nitratos en el agua intersticial tiene un promedio de 2,75 mg/L \pm 0,28 con una desviación estándar de 1,48 con valores mínimos y máximos de 0,2-5,3 mg/L; la concentración más baja se registró en el punto PI07 y el mayor en el punto PI03, debido a que se observó excrementos de ganado que incrementan los niveles de concentración en el suelo por su solubilidad, además que por su topografía existe transporte de nutrientes de zonas altas que utilizan fertilizantes y estos son retenidos de forma eventual en zonas planas (Ávila et al. 2007, p.32).

Los valores de nitritos y nitratos obtenidos en el monitoreo de agua superficial se clasifican como aguas de baja concentración de acuerdo con la Norma de calidad ambiental y descarga de efluentes: Recurso Agua; siendo la concentración permisible en nitritos de 0,2 mg/L y nitratos de 50 mg/L para el agua de consumo humano y uso doméstico que para su potabilización requiere desinfección, además cumplen con los criterios de calidad para preservación de vida acuática en aguas dulces en comparativa al límite permisible para nitritos de 0,2 mg/L y nitratos de 13 mg/L. Los valores de Na en el agua superficial tiene un promedio de 1,56 \pm 0,09 con una desviación estándar de 0,40 con valores mínimos y máximos de 0,72- 2,07 mg/L, la concentración más baja se registró en el punto PS05 y el mayor en el punto PS03; el Ca tiene un promedio de 4,38 \pm 0,27 con una desviación estándar de 1,19 con valores mínimos y máximos de 1,61- 5,93 mg/L, la concentración más baja se registró en el punto PS02 y el mayor en el punto PS04, el promedio de Mg es de 2,40 \pm 0,14 con una desviación estándar de 0,60 con valores mínimos y máximos de 1,04- 3,85 mg/L, la concentración más baja se registró en el punto PS05 y el mayor en el punto PS04, para el K el valor promedio es de 0,81 \pm 0,09 con una desviación estándar de 0,38 con valores mínimos y máximos de 0,5- 1,99 mg/L, la concentración más baja se registró en el punto PS03 y el mayor en el punto PS05 (Ministerio del Ambiente, 2015).

Los valores de Na en el agua intersticial tiene un promedio de 0,97 \pm 0,07 con una desviación estándar de 0,39 con valores mínimos y máximos de 0,34- 1,87 mg/L, la concentración más baja se registró en el punto PI01 y el mayor en el punto PI07; el Ca tiene un promedio de 2,35 \pm 0,25 con una desviación estándar de 1,31 con valores mínimos y máximos de 0,44- 5,01 mg/L, la concentración más baja se registró en el punto PI05 y el mayor en el punto PI01, el promedio de Mg es de 2,38 \pm 0,12 con una desviación estándar de 0,66 con valores mínimos y máximos de 1,07- 3,77 mg/L, la concentración más baja se registró en el punto PI03 y el mayor en el punto PI07, para el K el valor promedio es de 1,79 \pm 0,16 con una desviación estándar de 0,86 con valores mínimos y máximos de 0,59- 3,30 mg/L, la concentración más baja se registró en el punto PI04 y el mayor en el punto PI05.

Los elementos de Na, K, Ca y Mg se encuentran de manera natural en los ríos al transportar sales disueltas debido a las precipitaciones, por la acción del agua tienden a disolver los minerales de

las rocas (Farguell, 2017). Por ello la concentración de Na, K, Ca y Mg se clasifica como aguas de baja concentración de acuerdo con los criterios de calidad de agua para uso agrícola, en vista de que el agua tiene poco contacto con el suelo o con el sustrato de las rocas pues éstas, al infiltrarse por características propias de las zonas de páramo son expulsados hacia las zonas de recarga de las fuentes de origen, por lo que se evidencia que el agua no tiene tiempo para disolver a los minerales que contienen las rocas y al ser fuentes de origen de agua superficial no tiene mucho contacto con la geología del lugar.

Se estimó el valor de $0,15 \pm 0,14$ como indicador Relación de Adsorción de Sodio, y al relacionarlo con el parámetro de conductividad indica que cumple con los límites permisibles de calidad para agua de riego sin restricción, de acuerdo con la Norma de calidad ambiental (Ministerio del Ambiente, 2015).

El valor de pH en el agua superficial tiene un promedio de $6,98 \pm 0,08$ con una desviación estándar de 0,37 con valores mínimos y máximos de 6,00- 7,63 mg/L; el valor de pH en el agua intersticial tiene un promedio de $6,95 \pm 0,07$ con una desviación estándar de 0,37 con valores mínimos y máximos de 6,37- 7,639mg/L tendiendo a la neutralidad, permitiendo clasificar el agua como ligeramente ácida, lo que contribuye al intercambio de cationes pues a pH ácido mayor factibilidad de intercambio de iones (Abbar et al. 2017, p.642).

Los valores de pH obtenidos en el monitoreo de agua superficial se clasifican como aguas neutras de acuerdo con la Norma de calidad ambiental y descarga de efluentes: Recurso agua; siendo el rango permisible de 6-9 para el agua de consumo humano y uso doméstico que para su potabilización requiere desinfección; cumplen con los criterios de calidad para preservación de vida acuática en aguas dulces en comparativa al rango permisible de 6,5-9,5, además de ser aguas de calidad para uso agrícola en riego (Ministerio del Ambiente, 2015).

De manera general, los Sólidos suspendidos totales (SST) tienen su origen por procesos de erosión hídrica o agua residuales, la presencia de SST en el agua de la zona alta del río Atillo se atribuye a la primera causa al no presenciar contaminación con aguas residuales. Al tener concentraciones insignificantes se descarta la problemática principal asociada a este parámetro, que es el ocasionar turbiedad, disminuir el paso de luz solar e impedir la actividad fotosintética de organismos acuáticos (Pérez-Osorio et al. 2016. p, 160).

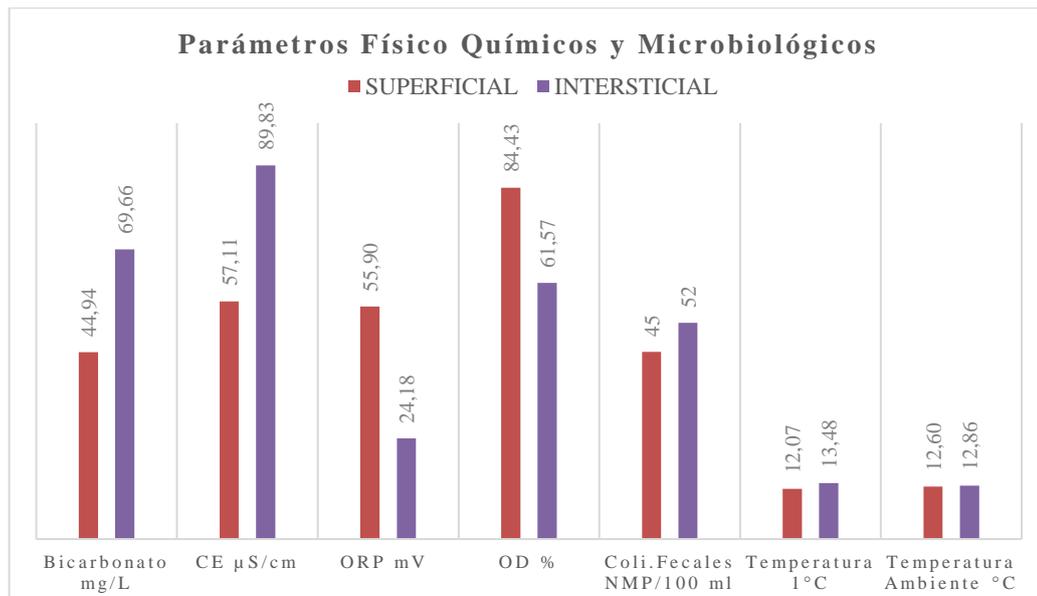


Ilustración 2-4: Resultados de parámetro físicos, químicos y microbiológicos

Realizado por: Cacuango Y., Quiroz E., GIDAC, 2022

En el gráfico 2-4, se observa la concentración de bicarbonatos, sales que a mayor concentración aumentan el pH, de manera natural se origina del lavado o disolución de rocas carbonatadas, o de actividad biológica como intervención antrópica, es uno de los parámetros que condiciona la calidad del agua para riego con relación a la de cationes divalentes (calcio más magnesio) (Camacho-Ballesteros et al. 2020, p. 369). Está expresada en mg/L, en el agua superficial tiene un promedio de 44,94 ($\pm 3,15$), con una desviación estándar de 14,06 y varía entre 24,40 a 70,76. El valor mínimo se observó en el punto PS01 y el máximo en el punto PS02, siendo ambos en laguna muy similares con respecto a la actividad turística, donde se evidencia poca intervención antrópica y presencia de ganado. En el agua Intersticial la concentración promedio es de 69,67 ($\pm 6,64$), con una desviación estándar de 35,13 y varía entre 24,40 a 178,73. El valor más bajo se observó en el punto PI04 y PI05, y el más alto en el punto PI06.

La conductividad eléctrica (CE), expresada en uS/cm, y la concentración de sales totales disueltas están relacionadas estrechamente, pero no proporciona información de la concentración de cada nutriente (Castellón Gómez, Bernal Muñoz y de Lourdes Hernández Rodríguez 2015, p. 42). Su concentración en el agua superficial tiene un promedio de 57,11 ($\pm 2,93$), con una desviación estándar de 13,08 y varía entre 41,5 a 89,6. El valor más bajo se observó en el punto PS01 y el más alto en el punto PS05, donde se evidencia la presencia de ganado como aportado de sales en el agua del río. En el agua Intersticial la concentración promedio es de 89,83 ($\pm 8,59$) (0 a 0.15cm), con una desviación estándar de 45,45 y varía entre 29,7 a 176,2. El valor más bajo se observó en el punto PI03, y el más alto en el punto PI06, donde se evidencia la presencia de heces de ganado, ovejas y gallinas como aportado de sales en el agua.

Cuando el nitrato esté disponible en el agua, el valor de potencial redox (ORP) estará más alto del requerido para la reducción del hierro y liberación de P en los sedimentos, determina la estabilidad y la transformación bioquímica de la materia orgánica, así también la distribución de microorganismos presentes en los sedimentos (Madrigal, López y Favari 2003, p. 153). El ORP se expresa en mV, tiene un valor promedio de 55,90 ($\pm 3,72$) en el agua superficial con una desviación estándar de 16,61, con un valor mínimo de 31 y un máximo de 81. El valor más bajo se observó en el punto PS02 y el más alto en el punto PS03, (cita). En el agua Intersticial el valor promedio es de 24,18 ($\pm 10,39$), con una desviación estándar de 54,96 con un valor mínimo de -84 y un máximo de 89. El valor más bajo se observó en el punto PI07 y el más alto en el punto PI01.

Las actividades humanas han disminuido la concentración de oxígeno disuelto (OD) debido a que, a mayor cantidad de materia orgánica, más cantidad de oxígeno es consumida por los microorganismos para degradarla (Muñoz et al. 2015, p. 60). El porcentaje promedio en aguas superficiales es de 84,43 ($\pm 1,37$), con una desviación estándar de 6,14, con un valor mínimo de 73,90 y un máximo de 97. El valor más bajo se observó en el punto PS04 y el más alto en el punto PS03. En el agua Intersticial el valor promedio es de 61,57 ($\pm 2,38$), con una desviación estándar de 12,57, con un valor mínimo de 34,40 y un máximo de 88,40. El valor más bajo se observó en el punto PI06 y el más alto en el punto PI07. De acuerdo con la Norma de calidad ambiental y descarga de efluentes, los ríos deben estar saturados de al menos 80% de OD, y de acuerdo con los valores obtenidos cumple con los criterios de calidad admisibles para la preservación de la vida acuática y silvestre.

Los coliformes son organismos patógenos intestinales procedentes de heces humanas y animales, por lo que las comunidades de cada región deben considerarla como un indicador de calidad de agua para desarrollar estrategias para su conservación (Olivas-Enriquez et al. 2011. P, 450). Las concentraciones obtenidas de Coliformes fecales se expresan en NMP/100ml, en aguas superficiales se tiene un promedio de 45 ($\pm 5,88$), con una desviación estándar de 26,28 con un valor mínimo de 23 y un máximo de 93. En el agua Intersticial la concentración promedio es de 51,95 ($\pm 11,62$), con una desviación estándar de 61,49, con un valor mínimo de 9,10 y un máximo de 240. De acuerdo a criterios de calidad de fuentes de agua de la Norma de calidad ambiental y descarga de efluentes, recursos agua, no se requiere un tratamiento convencional, únicamente una desinfección para ser apta para consumo humano y doméstico.

La temperatura es un parámetro elemental para comprender la dinámica del agua, que varía dependiendo de la temperatura ambiente y la velocidad del viento que influyen en el enfriamiento por la evaporación (Manta y Alcántara 2018. P, 20). Medida en °C, tiene un valor promedio de 12,07

($\pm 0,60$) en el agua superficial, con una desviación estándar de 2,66, con un valor mínimo de 8,30 y un máximo de 17,40. El valor más bajo se observó en el punto PS02 y el más alto en el punto PS04, dichos valores se registraron con una temperatura ambiente promedio de 12,60. En el agua Intersticial el valor promedio es de 13,48 ($\pm 0,61$), con una desviación estándar igual a 3,21, con un valor mínimo de 9,20 y un máximo de 22. El valor más bajo se observó en el punto PI01 y el más alto en el punto PI06, dichos valores se registraron con una temperatura ambiente promedio de 12,86.

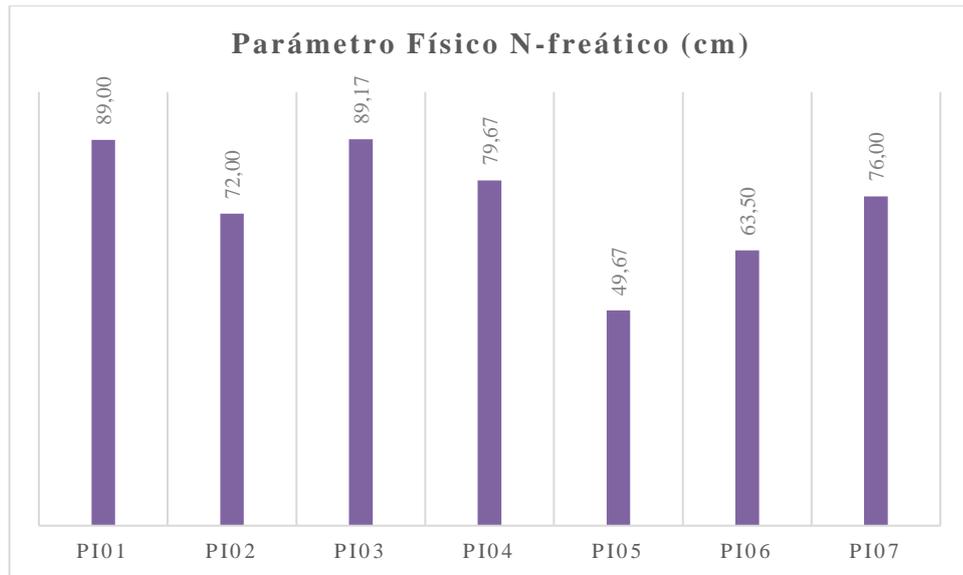


Ilustración 3-4: Resultados de parámetro físico en agua intersticial

Realizado por: Cacuangó Y., Quiroz E., GIDAC, 2022.

En el gráfico 3-4, se observan los resultados del nivel freático, en los 7 puntos monitoreados el promedio de este parámetro es de 74,15 cm ($\pm 2,69$). El punto PI03 tiene el valor máximo con un nivel de 89,17 cm, seguido por los puntos PI01, PI04, PI07, PI02 Y PI06 con niveles de 89 cm, 79,67 cm, 76 cm, 72 cm y 63,50 cm, respectivamente. El valor mínimo se registra en el punto PI05 con un nivel de 49,67 cm. Los valores están relacionados con el tiempo que tarda el nivel freático en regresar al estado natural después de retirar el volumen de agua del tubo, a menor tiempo de regresión mayor será el nivel freático y viceversa.

4.2. Estimación de Error del Balance Iónico.

Para verificar el análisis físico químico realizado se muestran los resultados obtenidos del balance iónico de los puntos de agua intersticial y superficial de la zona alta del río Atillo.

Tabla 1-4: Balance Iónico en los puntos de agua Superficial.

	Concentración en meq/L		Balance %
	Cationes	Aniones	
PS01	1,34	0,80	25,18
PS02	1,27	0,82	21,92
PS03	1,40	0,74	30,72
PS04	1,35	0,91	19,16
PS05	1,40	1,06	14,02

Realizado por: Cacuango Y., Quiroz E., GIDAC, 2022.

La tabla 10-4 muestra el resultado de balance iónico de los 5 puntos de agua superficial, en la que el porcentaje de error en los puntos PS01, PS02, PS04, PS05 cumplen con el criterio de Anderson en 1996 donde, para valores de CE entre 50-200 $\mu\text{S}/\text{cm}$ el error admisible es 10-30%; mientras que en el PS03 sobrepasa el porcentaje existiendo la probabilidad de que se haya cometido un error instrumental o a la presencia de elementos traza que no fueron considerados en el estudio.

Tabla 2-4: Balance Iónico en los puntos de agua Intersticial

	Concentración en meq/L		Balance %
	Cationes	Aniones	
PI01	1,28	1,58	-10,55
PI02	1,16	0,86	14,81
PI03	1,29	1,69	-13,29
PI04	1,32	1,00	13,72
PI05	1,17	0,87	14,75
PI06	1,20	1,71	-17,69
PI07	1,30	1,10	8,18

Realizado por: Cacuango Y., Quiroz E., GIDAC, 2022.

La tabla 11-4 muestra el resultado de balance iónico de los 7 puntos de agua intersticial, en la que el porcentaje de error en los puntos PI01, PI02, PI03, PI04, PS05, PI06, PI07 cumplen con el criterio de Anderson en 1996 donde, para valores de CE entre 50-200 $\mu\text{S}/\text{cm}$ el error admisible es 10-30%.

4.3. Análisis de la incidencia de parámetros físicos, químicos y microbiológicos

Tabla 3-4: Incidencia de nutrientes de Agua Superficial.

Parámetros del Agua Superficial		Valor del coeficiente
Conductividad eléctrica	Potasio	0,91
Temperatura Ambiente	Oxígeno Disuelto	0,68
Bicarbonatos	Nitritos	0,62
Temperatura 1	Oxígeno Disuelto	0,61
Conductividad eléctrica	Sodio	-0,69

* Tabla completa de correlaciones: Anexo A.

Realizado por: Cacuango Y., Quiroz E., GIDAC, 2022.

El análisis de Pearson, determina la correlación entre parámetros, la tabla 12-4 muestra las correlaciones entre cada par de variables del agua superficial, donde se destaca la correlación alta entre los parámetros Bicarbonatos- Nitritos (0,62), Temperatura 1 -OD (0,61), Tem. Ambiente-OD (0,68); y una correlación muy alta para el CE-Potasio (0,91). Esto quiere decir que, a medida que la concentración de un parámetro aumente el otro también lo hará. Los parámetros que tienen una correlación inversa alta son CE-Sodio (-0,69), esto quiere decir que, a medida que la concentración de CE aumente, la de Sodio disminuirá.

Tabla 4-4: Incidencia de nutrientes de Agua Intersticial

Parámetros del Agua Intersticial		Valor del coeficiente
Nivel Freático	Calcio	0,70
Coliformes Fecales	Potencial REDOX	-0,70
Potencial REDOX	Conductividad eléctrica	-0,82

* Tabla completa de correlaciones: Anexo B.

Realizado por: Cacuango Y., Quiroz E., GIDAC, 2022.

La tabla 13-4 muestra las correlaciones entre cada par de variables del agua intersticial, donde se destaca la correlación alta entre el Nivel Freático y el Calcio (0,70); esto quiere decir que, a medida que el nivel freático aumente, la concentración de calcio también lo hará. Los parámetros que tienen una correlación inversa alta son Coli. Fecales- ORP (-0,70); y una correlación inversa muy alta entre ORP-CE (-0,82) esto quiere decir que, a medida que el valor de un parámetro aumente el otro disminuirá.

Tabla 5-4: Incidencia de nutrientes de Agua Superficial e Intersticial

Parámetros de incidencia		Valor del coeficiente
Agua Intersticial	Agua Superficial	
Temperatura 1	Temperatura 1	0,89
Coliformes fecales	Potasio	0,78

Fosfatos	Fosfatos	0,76
Sólidos suspendidos totales	Oxígeno Disuelto	0,76
Temperatura 1	Oxígeno Disuelto	0,76
Temperatura Ambiente	Conductividad eléctrica	0,74
Calcio	Potencial Redox	0,72
Coliformes fecales	Conductividad Eléctrica	0,67
Temperatura Ambiente	Temperatura Ambiente	0,64
Temperatura 1	Temperatura Ambiente	0,63
Temperatura Ambiente	Potasio	0,62
Temperatura Ambiente	Oxígeno Disuelto	0,62
Nivel Freático	Potencial Redox	0,60
Nivel Freático	Bicarbonatos	-0,70
Nivel Freático	Potasio	-0,73
Nivel Freático	Conductividad Eléctrica	-0,79

* Tabla completa de correlaciones: Anexo C.

Realizado por: Cacuango Y., Quiroz E., GIDAC, 2022.

En la tabla 14-4, se observa la correlación entre los parámetros de agua intersticial con agua superficial, donde se destaca una correlación muy alta entre los parámetros Temperatura 1 AI – Temperatura 1 AS (0,89), una correlación alta entre los parámetros Fosfatos AI-Fosfatos AS (0,76), Calcio AI - ORP AS (0,72), SST AI – OD AS (0,76), Nivel Freático AI – ORP AS (0,60), Coliformes Fecales AI – Potasio AS (0,78), Coliformes Fecales AI – CE AS (0,67), Temperatura 1 AI – OD AS (0,76), Temperatura 1 AI – Temperatura Ambiente AS (0,63), Temperatura Ambiente AI – Potasio AS (0,62), Temperatura Ambiente AI – CE AS (0,74), Temperatura Ambiente AI – OD AS (0,62), Temperatura Ambiente AI – Temperatura Ambiente AS (0,64), esto indica que a medida que la concentración de un parámetro aumenta el otro también lo hará. Los parámetros que mantienen una correlación inversa alta son Nivel Freático AI – Bicarbonatos AS (-0.70), Nivel Freático AI – Potasio AS (-0,73), Nivel Freático AI – CE AS (-0,79), indicando que a medida que la concentración de un parámetro aumenta el otro disminuye.

4.4. Valoración de enriquecimiento

Tabla 6-4: Enriquecimiento de nutrientes en el agua Superficial

	Sulfatos (mg/L)	Fosfatos (mg/L)	Nitritos (mg/L)	Nitratos (mg/L)	Bicarbonatos (mg/L)	Sodio (mg/L)	Potasio (mg/L)	Magnesio (mg/L)	Calcio (mg/L)	Coli. Fecales NMP
P01	+	-	-	+	-	+	-	-	+	+
P02	-	+	+	+	-	+	-	-	+	+
P04	+	-	+	-	-	+	-	-	+	-
P05	-	+	+	+	-	+	-	+	+	+
P07	+	-	+	+	-	+	-	+	+	-

Realizado por: Cacuango, Y. & Quiroz, E., 2022.

En la tabla 15-4 se observa el enriquecimiento (+) o no enriquecimiento (-) de nutrientes del agua intersticial a la superficial, valorados en los 5 puntos donde se monitorearon los dos tipos de aguas. El bicarbonato y potasio del agua intersticial no enriquece a ningún punto de agua superficial. En el P01 se registra que el agua superficial se enriquece con el 25% de sulfatos, 92,57% de nitratos, 36,62% de sodio, 62,75% de calcio y 42,23% de coliformes fecales del agua intersticial; mientras que no se enriquece con los fosfatos, nitritos, magnesio. El agua superficial del P02 presenta enriquecimiento del 74,47% de fosfatos, 40% de nitritos, 42,07 % de nitratos, 44,53 de sodio, 38,56% de calcio y 42,24 de coliformes fecales del agua intersticial; y un no enriquecimiento de sulfatos y magnesio. El P04 tiene un enriquecimiento de 33,33% de sulfatos, 42,86% de nitritos, 53,01% de sodio y 70,97% de calcio; mientras que los fosfatos, nitratos, magnesio y los coliformes fecales presentan un no enriquecimiento. En el P05 se tiene un enriquecimiento del 44,32% de fosfatos, 55,56% de nitritos, 36,67% de nitratos, 56,22% de sodio, 76,36% de magnesio, 21,28% de calcio y 92,06% de coliformes fecales; y un no enriquecimiento de sulfatos. Y por último el punto P07, tiene un enriquecimiento de 45,45% de sulfatos, 16,67% de nitritos, 63,29% de nitratos, 98,21% de sodio, 91,59% de magnesio y 62,02% de calcio; y presenta un no enriquecimiento de fosfatos y coliformes fecales.

4.5. Indicadores de Calidad

4.5.1. Relación de Absorción de Sodio (RAS)

En el agua superficial de la zona alta del río Atillo se establece al RAS como indicador de la calidad del agua de riego con los siguientes valores:

Tabla 7-4: Cuartiles del indicador RAS para la Zona Alta del río Atillo, en el agua Superficial.

		Puntos de monitoreo
Q0	0,07	M2P5, M4P5
Q1	0,14	M2P1, M2P2, M2P3, M3P4, M3P5
Q2	0,15	M4P2, M3P3, M4P3, M2P4
Q3	0,18	M1P1, M3P1, M4P1, M1P2, M3P2, M1P5
Q4	0,20	M1P3, M1P4, M4P4

Realizado por: Cacuango, Y. & Quiroz, E., 2022.

En la tabla 16-4 se determina que todos los datos distribuidos en los cuartiles (Q0 –Q4) del indicador RAS para la zona alta del río Atillo en el agua superficial corresponden a valores <10, considerándolas como aguas de excelente calidad para riego, según el criterio Cánovas en 1986 y

Richards en 1954, indicando que el suelo tiene una buena permeabilidad y circulación de aire que a su vez mejoran las condiciones de humedad.

4.5.2. Estimación del porcentaje de Sodio Soluble (PSS)

En el agua superficial de la zona alta del río Atillo se establece el PSS como indicador de la calidad del agua de riego con los siguientes valores:

Tabla 8-4: Cuartiles del indicador PSS para la Zona Alta del río Atillo, en el agua Superficial.

		Puntos de monitoreo
Q0	0,10	M3P4
Q1	0,15	M2P1, M2P3, M3P3, M2P5, M4P5
Q2	0,18	M3P1, M2P2, M4P2, M4P3, M1P5
Q3	0,20	M1P1, M1P2, M1P3, M2P4, M3P5
Q4	0,23	M4P1, M3P2, M1P4, M4P4

Realizado por: Cacuango, Y. & Quiroz, E., 2022.

En la tabla 17-4 se determina que todos los datos distribuidos en los cuartiles (Q0 –Q4) del indicador PSS para la zona alta del río Atillo en el agua superficial corresponden a valores <20, cumpliendo con un criterio de calidad excelente para agua de riego según Wilcox en 1955; indicando que el suelo tiene una buena permeabilidad y circulación de gases-agua, de modo que bajo estas características evitan procesos de erosión; por su buena estabilidad estructural.

4.5.3. Carbonato de sodio residual (CSR)

En el agua superficial de la zona alta del río Atillo se establece el CSR como indicador de la calidad del agua de riego con los siguientes valores:

Tabla 9-4: Cuartiles del indicador CSR para la Zona Alta del río Atillo, en el agua Superficial.

		Puntos de monitoreo
Q0	-0,09	M3P1
Q1	0,18	M2P1, M3P2, M4P2, M3P3, M3P4
Q2	0,25	M4P1, M2P3, M4P3, M4P4, M4P5
Q3	0,52	M2P2, M1P3, M2P4, M2P5
Q4	0,81	M1P1, M1P2, M1P4, M1P5, M3P5

Realizado por: Cacuango, Y. & Quiroz, E., 2022.

En la tabla 18-4 se determina que todos los datos distribuidos en los cuartiles (Q0 – Q4) del indicador CSR para la zona alta del río Atillo en el agua superficial corresponden a valores <1,25, cumpliendo con un criterio de calidad bueno para agua de riego según Richards en 1954; debido a que los cationes de calcio y magnesio no tiene suficientes aniones de carbonato y bicarbonato para reaccionar, por lo que los suelos que se riegan con esta agua no están siendo degradados (López-García et al. 2016. p, 150).

4.5.4. La salinidad del agua de riego y su indicador de medida la conductividad eléctrica.

En el agua superficial de la zona alta del río Atillo se establece la CE como indicador de la calidad del agua de riego con los siguientes valores:

Tabla 10-4: Cuartiles del indicador CE para la Zona Alta del río Atillo, en el agua Superficial.

		Puntos de monitoreo
Q0	41,50	M3P1
Q1	49,59	M3P3, M3P2, M4P3, M4P1
Q2	54,25	M3P4, M2P3, M1P3, M2P1, M1P1
Q3	57,65	M4P2, M4P4, M1P4, M1P2, M1P5
Q4	89,60	M2P2, M2P4, M4P5, M2P5, M3P5

Realizado por: Cacuango, Y. & Quiroz, E., 2022

En la tabla 19-4 determina que los datos distribuidos en los cuartiles (Q0-Q4) para el criterio de indicador CE en la Zona Alta del Río Atillo son <250 $\mu S/cm$, cumpliendo con un criterio de calidad excelente para agua de riego según el criterio Lingaswamy y Saxena en 2015; lo que significan la ausencia de sales capaces de disminuir la cantidad del agua disponible para ser absorbida por las plantas e impedir el crecimiento de los cultivos que se riegan cuencas abajo con el agua del río Atillo.

CONCLUSIONES

Se determinó la correlación muy alta entre la temperatura 1 AI y la Temperatura 1 AS a causa de que éstas varían dependiendo de la temperatura ambiente, CE AS y Potasio AS por la estrecha relación entre de CE y la concentración de sales totales disueltas, e inversa muy alta entre ORP AI y CE AI, debido a que agua se oxida actuando como agente contra virus y bacterias, de modo que incrementa el OD y reduce el contenido de sales en el agua.

El mayor enriquecimiento de nutrientes del agua intersticial a la superficial se generó en los elementos de sodio y calcio con 57,72% y 51,12 % respectivamente. Los nutrientes que no se enriquecen son los bicarbonatos y el potasio. Considerando que el sistema lacustre Atillo mantiene un estado oligotrófico con características de buena oxigenación y claridad en sus aguas.

Los indicadores de calidad de agua para riego RAS, PSS, CRS y CE, determinaron que las muestras tomadas en el agua superficial son excelentes para uso en riego, indicando que el suelo tiene una buena permeabilidad y estabilidad estructural, con una óptima circulación de aire-agua, evitando procesos de erosión en la Zona Alta del río Atillo.

La dinámica de concentración de nutrientes guarda similitud tanto en el agua superficial como en la intersticial. Manteniendo una heterogeneidad en los valores que puede verse afectada por la interacción química entre cationes y aniones para ello se determinó el error de balance iónico; siendo la mayor diferencia PS03 y PI06, debido al avance de la frontera agropecuaria y principalmente a la CE registrada en la Zona Alta de Atillo. Determinando que el agua superficial e intersticial bajo los parámetros químicos, físicos y microbiológicos analizados son de excelente calidad.

RECOMENDACIONES

Usar el estudio para establecer políticas públicas como delimitación de áreas de agricultura y ganadería, con el fin de mantener un recurso hídrico de calidad

Realizar estudios posteriores sobre la geología del sistema lacustre Atillo y su aportación de cationes en el agua, debido a su escasa referencia bibliográfica.

BIBLIOGRAFÍA

ABBAR, B., ALEM, A., MARCOTTE, S., et. al. *Process Safety and Environmental Protection*, Experimental investigation on removal of heavy metals (Cu²⁺, Pb²⁺, and Zn²⁺) from aqueous solution by flax fibres. vol. 109, pp. 639-647. ISSN 09575820. DOI 10.1016/j.psep.2017.05.012.

ALVARADO VÉLEZ, J.A., NARANJO ARMIJO, F.G. & UBE OLVERA, J., *Buen Vivir y Políticas públicas en Ecuador: una revisión del proceso formativo de la Ley Orgánica de Recursos Hídricos. Pro Sciences: Revista de Producción, Ciencias e Investigación*, vol. 3, no. 26. DOI 10.29018/issn.2588-1000vol3iss26.2019pp24-30.

ARMAS, R., *Proyecto de manejo de los recursos naturales de Chimborazo - Descargar libre.* [en línea]. [Consulta: 6 octubre 2022]. Disponible en: <https://docplayer.es/62171711-Proyecto-de-manejo-de-los-recursos-naturales-de-chimborazo.html>.

ARRIETA, P., TRUJILLO, J. & ARRIETA, A., *Revista ESPACIOS*, Análisis de aspectos ambientales generados por las prácticas ganaderas en el área de influencia de la ciénaga de Betancí en el municipio de Montería. vol. 39, no. 44.

ÁVILA, H., TUDARES, C., SÁNCUIZ, M., et. al. *Revista Técnica de la Facultad de Ingeniería Universidad del Zulia* Nitrogen and phosphorus in superficial waters of the low part of the River Catatumbo . [en línea], vol. 38, no. 2, pp. 1-8. [Consulta: 6 octubre 2022]. ISSN 0254-0770. Disponible en: http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0254-07702015000200001&lng=es&nrm=iso&tlng=es.

ÁVILA-DÁVILA, L., SOLER-MÉNDEZ, M., MADRONA-SÁNCHEZ, P., et. al. *Análisis de la velocidad de infiltración del agua en el suelo saturados mediante lisímetros de pesada.* . S.l.: s.n., DOI 10.26754/c_agroing.2019.com.3370.

BAIRD, R., EATON, A. & RICE, E., *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* 23 RD [en línea]. 23. S.l.: s.n. Disponible en: <https://doi.org/10.2105/SMWW.2882.216>.

BAUMGARTEM, M.G.Z., NIENCHESKI, L.F.H. & MARTINS, B. a D., *Saco do Justino (RS-Brasil): amônio e fosfato na coluna d'água e na água intersticial de uma enseada não contaminada.* *Revista Atlântica*, vol. 27, no. 2.

BOLAÑOS-ALFARO, J.D., CORDERO-CASTRO, G. & SEGURA-ARAYA, G., 2017a. *Revista Tecnología en Marcha*, 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). vol. 30, no. 4, pp. 15. ISSN 0379-3982. DOI 10.18845/tm.v30i4.3408.

BOLAÑOS-ALFARO, J.D., CORDERO-CASTRO, G. & SEGURA-ARAYA, G., 2017b. *Revista Tecnología en Marcha*, 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). vol. 30, no. 4, pp. 15. ISSN 0379-3982. DOI 10.18845/tm.v30i4.3408.

CAMACHO-BALLESTEROS, A., ORTEGA-ESCOBAR, H.M., et. al. *Terra Latinoamericana*, Quality indicators physical chemistry of wastewater of state Oaxaca, Mexico. vol. 38, no. 2, pp. 361-34736. ISSN 23958030. DOI 10.28940/TERRA.V38I2.610.

CAMPOS-ARANDA, D.F., *Procesos del ciclo hidrológico.* Procesos del ciclo hidrológico. 1998. S.l.: s.n. 1998.

CASTELLÓN GÓMEZ, J.J., BERNAL MUÑOZ, R. et. al. *Calidad del agua para riego en la agricultura protegida en Tlaxcala* Irrigation water quality in greenhouse in Tlaxcala. . S.l.:

CASTRO, M., ALMEIDA, J., FERRER, J. & DIAZ, D., *Ingeniería Solidaria*, Indicadores de la calidad del agua: evolución y tendencias a nivel global. vol. 10, no. 17, pp. 111-124. ISSN 1900-3102. DOI 10.16925/in.v9i17.811.

CENTRO NACIONAL DE MEDIO AMBIENTE, Agua Introducción - Metodología. , vol. II, pp. 69.

CEPAL, *Daño y pérdida de biodiversidad* | Comisión Económica para América Latina y el Caribe. [en línea]. [Consulta: 15 octubre 2022]. Disponible en: <https://www.cepal.org/es/temas/biodiversidad/perdida-biodiversidad>.

COA, *Código Orgánico del Ambiente.* Quito, Ecuador: Asamblea Nacional de la República de Ecuador. [en línea], [Consulta: 10 octubre 2022]. Disponible en: www.lexis.com.ec.

CRUZ, A.B., BARRA, J.E., CASTILLO, R.F. & GUTIÉRREZ, C., La calidad del suelo y sus indicadores. *Ecosistemas* [en línea], vol. 13, no. 2. [Consulta: 10 octubre 2022]. ISSN 1697-2473. Disponible en: <https://www.revistaecosistemas.net/index.php/ecosistemas/article/view/572>.

CUSTODIO, E. & LLAMAS, M., *Syria Studies* Hidrología Subterránea Custodio y Llamas Tomo I. En: S.A. OMEGA (ed.), [en línea], vol. 1, no. 1, pp. 614-995. [Consulta: 13 octubre 2022]. ISSN 84-282-0447-0. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/269107473_What_is_governance/link/548173090cf22525dcb61443/download%0Ahttp://www.econ.upf.edu/~reynal/Civilwars_12December2010.pdf%0Ahttps://thinkasia.org/handle/11540/8282%0Ahttps://www.jstor.org/stable/41857625.

DE SOUZA, A.L.T.D., FONSECA, D.G., LIBÓRIO, R.A. & TANAKA, M.O., *Forest Ecology and Management*, Influence of riparian vegetation and forest structure on the water quality of rural low-order streams in SE Brazil. vol. 298, pp. 12-18. ISSN 03781127. DOI 10.1016/j.foreco.2013.02.022.

ENCINAS, M., *Medio ambiente y contaminación*. Principios básicos. S.l.: s.n. 2011.

FAO, *Hidrología, arquitectura del suelo y movimiento del agua*. [en línea]. [Consulta: 15 octubre 2022]. Disponible en: <https://www.fao.org/3/y4690s/y4690s06.htm>.

FARGUELL, J., *La salinización de los ríos: un proceso de cambio global* UNIBA. [en línea]. [Consulta: 6 octubre 2022]. Disponible en: <https://www.unibarcelona.com/int/actualidad/noticias/la-salinizacion-de-los-rios-un-proceso-de-cambio-global>.

FCAS, *Centro de Formación de la Cooperación Española en La Antigua*, La importancia de las aguas subterráneas en la gestión integrada de los recursos hídricos: aplicaciones prácticas en proyectos de cooperación internacional para el desarrollo.

GAD CEBADAS, *Plan de desarrollo y ordenamiento territorial de la parroquia Cebadas*. [en línea]. [Consulta: 4 octubre 2022]. Disponible en: <https://gadcebadas.gob.ec/gad-parroquial/plan-de-desarrollo/910-pdot-final-gad-cebadas-2021/file.html>.

GARCÍA LOZANO, M., Eutrofización: una visión general – CienciAcierta. [en línea]. [Consulta: 10 octubre 2022]. Disponible en: <http://www.cienciacierta.uadec.mx/2016/09/26/eutrofizacion-una-vision-general/>.

GARCÍA MIRANDA, F.G. & MIRANDA ROSALES, V., *Volumen II de la Colección: Agenda pública para el desarrollo regional, la metropolización y la sostenibilidad*, Eutrofización, una amenaza para el recurso hídrico.

GARCÍA, N., MACHADO, A., GARCÍA, C., SOCORRO, E., HERNÁNDEZ, H. & GRANDA, N., *Interciencia*. Concentraciones atmosféricas de pts y su contenido de metales en una zona adyacente a una planta de cemento. [en línea], vol. 27, no. 9, pp. 476-481. [Consulta: 8 octubre 2022]. ISSN 0378-1844. Disponible en: http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0378-18442002000900006&lng=es&nrm=iso&tlng=es.

GUERRA, D., RIQUELME MAULÉN, W. & SKEWES, J.C., *Estudios Avanzados*, ISSN 0718-5022, ISSN-e 0718-5014, N°. 31, 2019 (*Ejemplar dedicado a: Dossier Medioambiente, represas y cultura*), págs. 21-41 ¿Qué es un lago? El lago Maihue y los otros modos de vivir los paisajes lacustres en el sur de Chile. [en línea], no. 31, pp. 21-41. [Consulta: 10 octubre 2022]. ISSN 0718-5022. DOI 10.35588/idea.v0i31.4273. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7186321&info=resumen&idioma=ENG>.

GUZÑAY CAIZAGUANO, J.F. & ORTEGA SALINAS HERMANT EMANUEL, *Evaluación del comportamiento del aluminio en suelos de sistemas lacustres y valles periglaciares* de las microcuencas de atillo y ozogoche,

HANNA, *Instruction Manual C 200 Series Multiparameter Bench Photometers*. Instruction Manual C 200 Series Multiparameter Bench Photometers. S.l.:

HEREDIA, O.S., MENGONI, H., FERNÁNDEZ CIRELLI, A. & MONTEVIDEO, G., *Augmdomus*. Elementos traza en el agua de poro de suelos bajo producción intensiva de bovinos de carne.

[en línea], vol. 5, pp. 64-89. [Consulta: 11 octubre 2022]. ISSN 1852-2181. Disponible en: <https://revistas.unlp.edu.ar/domus/article/view/441>.

HERNÁNDEZ-QUIROZ, M., RUIZ-MEZA, D., ROJO-CALLEJAS, F. & PONCE DE LEÓN-HILL, C., *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*. Determinación de la distribución de contaminantes emergentes en agua intersticial en sedimentos de humedal mediante la optimización y validación de un método analítico. [en línea], vol. 35, no. 2, pp. 407-419. [Consulta: 10 octubre 2022]. ISSN 0188-4999. DOI 10.20937/RICA.2019.35.02.12. Disponible en: <https://www.revistascca.unam.mx/rica/index.php/rica/article/view/RICA.2019.35.02.12>.

HIPÓLITO GOMES, L., *Importancia de la calidad del agua para una buena producción ganadera* Totalpec. [en línea]. [Consulta: 15 octubre 2022]. Disponible en: <https://totalpec.com/blog/107/importancia-de-la-calidad-del-agua-para-una-buena-produccion-ganadera>.

HOFSTEDE, Robert., SEGARRA, Pool., MENA V., Patricio. *Los páramos del mundo*. Proyecto atlas mundial de los páramos., S.l.: UICN. ISBN 9978435050.

INEN, *Instituto Ecuatoriano De Normalización Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2 169:98 Agua*. Calidad del agua. muestreo. manejo y conservación de muestras. S.l.:

INTAGRI, *Lixiviación de nitratos en agricultura* | Intagri S.C. [en línea]. [Consulta: 15 octubre 2022]. Disponible en: <https://www.intagri.com/articulos/suelos/lixiviacion-de-nitratos-en-agricultura>.

LA HORA, *Páramos amenazados con el incremento del turismo – Diario La Hora*. [en línea]. [Consulta: 11 octubre 2022]. Disponible en: <https://www.lahora.com.ec/noticias/paramos-amenazados-con-el-incremento-del-turismo/>.

LAHURA, E., *El coeficiente de correlación y correlaciones Espúreas*. S.l.: Pontificia Universidad Católica del Perú .

LARA, M., *Pérdida de biodiversidad: Causas y Consecuencias*. [en línea]. [Consulta: 15 octubre 2022]. Disponible en: <https://www.ecologiaverde.com/perdida-de-la-biodiversidad-causas-y-consecuencias-1094.html>.

LARENAS, C., LAVÍN, L. & OBREQUE, F., *El problema de la contaminación de los cuerpos de agua en la comuna de Laja*. Determinación de parámetros bioquímicos y físicos en la Laguna Señoraza y su posible aplicación en el aula. . Loja:

LARRAMENDI BENÍTEZ, E., MILLÁN VERDECIA, G. & PLANA CASTELL, M., *Revista estudiantil 16 de abril*. Escasez y contaminación del agua, realidades del siglo XXI., vol. 60, no. 259.

LEY ORGÁNICA DE RECURSOS HÍDRICOS, *Usos y aprovechamiento del agua*, Ley orgánica de recursos hídricos usos y aprovechamiento del agua. [en línea], [Consulta: 10 octubre 2022]. Disponible en: www.lexis.com.ec.

LINEA VERDE, 2021. *Ciclo hidrológico*. Ciclo hidrológico - Ceuta.

LLAMBÍ, L., SOTO, A., BORJA, P., OCHOA, B., CELLERI, R. & BIEVRE, B., *Páramos Andinos: Ecología, hidrología y suelos de páramos*. S.l.: s.n. ISBN 9789942115492.

LLENA, J., *La calidad del agua y sus usos diferentes en ganadería*. [en línea], pp. 31-35. [Consulta: 11 octubre 2022]. Disponible en: <https://seleccionesavicolas.com/pdf-files/2011/2/5840-la-calidad-del-agua-y-sus-usos-diferentes-en-ganaderia.pdf>.

LÓPEZ-GARCÍA, A.D., MANUEL ORTEGA-ESCOBAR, H.M., RAMÍREZ-AYALA, C., et. al. Physico-Chemical Characterization of Urban and Industrial Wastewater and its Importance in Agriculture. *Ciencias del Agua*, vol. VII, no. 6, pp. 139-157. ISSN 0187-8336.

MACHÍN, N. & LÓPEZ-MANZANARES, F., AGRICULTURA Y MEDIO AMBIENTE EQUILIBRIO TERRITORIAL. [en línea]. [Consulta: 15 octubre 2022]. Disponible en: https://www.agrocabildo.org/publica/Publicaciones/pta_458_Criterios%20ambientales.pdf.

MADRIGAL, M., LÓPEZ, E. & FAVARI, L., Efecto del agua del embalse De la Vega en la lipoperoxidación y los niveles de la acetilcolinesterasa en el hígado y en el músculo de *Xiphophorus helleri*. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, pp. 145-155.

MANTA, G. & ALCÁNTARA, I., Variabilidad y tendencia de la temperatura superficial de los grandes embalses del Río Negro. *INNOTECH*, no. 16, pp. 17-26. DOI 10.26461/16.07.

MARTÍNEZ VALDÉS, Y. & VILLALEJO GARCÍA, V.M., La gestión integrada de los recursos hídricos: una necesidad de estos tiempos. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, vol. XXXIX, no. 1.

MINGA, D., ANSALONI, R., VERDUGO, A. & ULLOA ULLOA, C., *Flora del páramo del Cajas*. S.l.: s.n. ISBN 9789978325445.

MINISTERIO DEL AMBIENTE, *Libro-VI-Calidad-Ambiental*. Especial N° 270. S.l.: s.n.
MIS JUAREZ, K., 2017. APLICACIÓN DEL BALANCE IÓNICO Y CONSTRUCCIÓN DEL DIAGRAMA DE PIPER PARA LA EVALUACIÓN DEL POTENCIAL INDUSTRIAL DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS DE LA CIUDAD DE GUATEMALA. [en línea], Disponible en: <http://www.repositorio.usac.edu.gt/6637/1/Karla%20Anabella%20Mis%20Juarez.pdf>.

MUÑOZ, H., OROZCO, S., VERA, A., et. al., Relación entre oxígeno disuelto, precipitación pluvial y temperatura: río Zahuapan, Tlaxcala, México. *Tecnología y Ciencias del Agua* [en línea], vol. VI, pp. 59-74. ISSN 0187-8336. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=353543300005>.

NAVARRO, G., ÁVILA, I., ANTONIO, J., MOLLINEDO, P., VILA, C. & LUIS, J., Valoración De La Toxicidad Aguda in Vivo Del Ácido Úsnico. *Revista Boliviana de Química*, vol. 27, no. 2, pp. 89-93. ISSN 0250-5460.

OLIVAS-ENRIQUEZ, E., PEDRO FLORES-MARGEZ, J., SERRANO-ALAMILLO, M., et. al. INDICADORES FECALES Y PATÓGENOS EN AGUA DESCARGADA AL RÍO BRAVO, Fecal Indicators and Pathogens in Water Discharged into the Rio Grande. . S.l.:

PÉREZ-OSORIO, G., ARRIOLA-MORALES, J., GARCÍA-LUCERO, T., et. al. EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA DE CUATRO JAGÜEYES DEL PARQUE ESTATAL «FLOR DEL BOSQUE», PUEBLA, MÉXICO ASSESSMENT OF THE QUALITY OF THE WATER OF FOUR JAGÜEYES IN THE STATE PARK «FLOR DEL BOSQUE», PUEBLA, MEXICO. *Ra Ximhai*, vol. 12, pp. 153. ISSN 1665-0441.

PLANAS, O., ¿Qué es un ion en química? Aniones y cationes. [en línea]. [Consulta: 3 noviembre 2022]. Disponible en: <https://energia-nuclear.net/que-es-la-energia-nuclear/atomo/ion>.

PÜTZ, P., Eliminación y determinación de fosfato - Química. [en línea]. [Consulta: 6 octubre 2022]. Disponible en: <https://www.interempresas.net/Quimica/Articulos/37743-Eliminacion-y-determinacion-de-fosfato.html>.

RAMÍREZ MEJÍA, L.L., Estudio sobre la calidad de agua subterránea del área noreste del valle de la ciudad capital de Guatemala. [en línea]. [Consulta: 12 octubre 2022]. Disponible en: http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_2305_C.pdf.

ROMERO, M., El Proceso de Eutrofización: otra de las múltiples caras de la contaminación. *MoleQla: revista de Ciencias de la Universidad Pablo de Olavide*, vol. 36. ISSN 2173-0903.

SAMBONI, N., CARVAJAL, Y. & ESCOBAR, J.C., A review of physical-chemical parameters as water quality and contamination indicators. *DICIEMBRE DE*, vol. 27, no. 3, pp. 172-181.

STEWART, K., Cation vs anión: definición, gráfico y tabla periódica | Redes de tecnología. [en línea]. [Consulta: 3 noviembre 2022]. Disponible en: <https://www.news-courier.com/analysis/articles/cation-vs-anion-definition-chart-and-the-periodic-table-322863>.

SUATUNCE, J. & VÉLIZ, D., Vista de Composición Florística y Estructura del Remanente de Bosque de Galería de la Corporación Agrícola San Juan, Cantón La Maná, Provincia de Cotopaxi, Ecuador. [en línea]. [Consulta: 6 octubre 2022]. Disponible en: <http://www.rte.espol.edu.ec/index.php/tecnologica/article/view/89/52>.

TARTABULL PUÑALES, T. & BETANCOURT AGUILAR, C., La calidad del agua para el riego. Principales indicadores de medida y procesos que la impactan Water quality for irrigation water, main measurement indicators and processes that affect them. [en línea]. S.I.: Disponible en: <http://aes.ucf.edu.cu/index.php/ras>.

ÚBEDA RIVERA, J.S. & DELGADO DALLATORRE, Y., 2018a. La infiltración del agua en los suelos y componentes artificiales y materia orgánica que se utilizan en ellos para la agricultura. *Rev. iberoam. bioecon. cambio clim.*, vol. 4, no. 7. DOI 10.5377/ribcc.v4i7.6299.

ÚBEDA RIVERA, J.S. & DELGADO DALLATORRE, Y., 2018b. La infiltración del agua en los suelos y componentes artificiales y materia orgánica que se utilizan en ellos para la agricultura. *Rev. iberoam. bioecon. cambio clim.* [en línea], vol. 4, no. 7, pp. 889-896. [Consulta: 7 noviembre 2022]. DOI 10.5377/ribcc.v4i7.6299. Disponible en: <http://portal.amelica.org/ameli/jatsRepo/394/3941754001/index.html>.


Ing. Cristian Castillo



ANEXOS

ANEXO A: INCIDENCIA DE NUTRIENTES DE AGUA SUPERFICIAL

	SO₄⁻²-AS																		
SO₄⁻²-AS	1	PO₄⁻³-AS																	
PO₄⁻³-AS	-0,13	1	NO⁻²-AS																
NO⁻²-AS	-0,03	-0,22	1	NO⁻³-AS															
NO⁻³-AS	0,11	0,13	0,26	1	HCO₃⁻-AS														
HCO₃⁻-AS	0,27	-0,46	0,62	0,26	1	Na-AS													
Na-AS	-0,09	0,23	0,25	-0,17	-0,08	1	K-AS												
K-AS	-0,05	-0,34	0,04	-0,08	0,57	-0,55	1	Mg-AS											
Mg-AS	0,10	-0,18	0,23	0,26	0,17	-0,02	-0,07	1	Ca-AS										
Ca-AS	0,01	0,20	-0,21	-0,58	-0,17	-0,18	0,20	-0,09	1	pH-AS									
pH-AS	0,11	0,09	0,44	0,08	0,27	0,09	0,07	0,14	-0,09	1	CE-AS								
CE-AS	-0,04	-0,39	0,10	0,18	0,58	-0,69	0,91	0,01	0,02	0,02	1	SST-AS							
SST-AS	-0,26	0,44	0,21	0,30	0,02	-0,17	0,07	-0,11	0,05	0,26	0,21	1	ORP-AS						
ORP-AS	-0,08	0,41	0,17	-0,39	-0,26	0,32	-0,27	-0,23	0,27	0,30	-0,34	0,46	1	OD-AS					
OD-AS	-0,18	-0,24	0,35	-0,25	0,14	0,14	0,01	0,25	-0,11	0,31	0,10	0,06	0,43	1	Coli.F-AS				
Coli.F-AS	0,00	0,25	-0,46	0,23	-0,04	-0,52	0,46	-0,04	0,25	-0,14	0,45	0,38	-0,19	-0,37	1	Tem 1-AS			
Tem 1-AS	-0,28	0,01	0,44	-0,01	0,28	0,47	-0,14	0,34	-0,19	0,00	-0,07	0,27	0,32	0,61	-0,28	1	Tem Amb-AS		
Tem Amb-AS	-0,04	-0,33	0,38	0,20	0,27	-0,16	0,07	0,30	-0,15	0,18	0,34	0,09	0,08	0,68	-0,25	0,35	1		

ANEXO B: INCIDENCIA DE NUTRIENTES DE AGUA INTERSTICIAL

	SO₄⁻²-AI																		
SO₄⁻²-AI	1	PO₄⁻³-AI																	
PO₄⁻³-AI	-0,32	1	NO₂⁻-AI																
NO₂⁻-AI	0,27	0,01	1	NO₃⁻-AI															
NO₃⁻-AI	-0,05	0,06	0,36	1	HCO₃⁻-AI														
HCO₃⁻-AI	-0,24	-0,02	-0,15	0,31	1	Na-AI													
Na-AI	-0,11	-0,18	-0,16	0,18	0,28	1	K-AI												
K-AI	-0,03	-0,50	-0,20	-0,03	0,25	0,47	1	Mg-AI											
Mg-AI	-0,18	0,42	-0,35	-0,03	-0,17	-0,20	-0,33	1	Ca-AI										
Ca-AI	-0,31	0,46	0,00	0,23	0,19	0,02	-0,31	0,19	1	pH-AI									
pH-AI	-0,13	0,28	0,35	0,02	-0,05	-0,21	-0,22	-0,14	-0,03	1	CE-AI								
CE-AI	-0,26	-0,18	-0,43	-0,02	0,29	0,27	0,34	-0,03	-0,15	-0,11	1	SST-AI							
SST-AI	-0,11	0,00	-0,14	-0,25	0,02	0,02	-0,10	-0,17	0,12	0,07	0,26	1	ORP-AI						
ORP-AI	0,21	0,28	0,39	0,08	-0,03	-0,35	-0,27	0,01	0,13	0,05	-0,82	-0,39	1	OD-AI					
OD-AI	0,12	-0,05	0,10	0,01	-0,17	-0,15	-0,46	-0,03	0,26	0,14	-0,13	0,16	-0,22	1	N-Freático AI				
N-Freático AI	-0,19	0,36	-0,14	0,23	0,22	0,02	-0,28	0,33	0,70	-0,42	-0,15	0,15	0,19	-0,04	1	Coli,F,-AI			
Coli.F,-AI	-0,14	-0,26	-0,16	0,11	-0,15	0,29	0,23	-0,02	-0,01	0,11	0,45	0,11	-0,70	0,40	-0,23	1	Tem 1-AI		
Tem 1-AI	-0,03	-0,09	0,10	0,25	0,30	0,41	0,02	-0,14	-0,18	0,26	0,29	-0,07	-0,28	-0,03	-0,36	0,08	1	Tem Ambi-AI	
Tem Ambi-AI	0,02	-0,16	0,16	0,06	-0,01	0,11	0,45	-0,26	-0,12	0,30	0,13	-0,18	-0,12	-0,05	-0,53	0,26	0,35	1	

ANEXO C: INCIDENCIA DE NUTRIENTES DE AGUA SUPERFICIAL E INTERSTICIAL

	SO ₄ ⁻² -AS	PO ₄ ⁻³ -AS	NO ⁻² -AS	NO ⁻³ -AS	HCO ₃ ⁻ -AS	Na-AS	K-AS	Mg-AS	Ca-AS	pH-AS	CE-AS	SST-AS	ORP-AS	OD-AS	Coli.F-AS	Tem 1-AS	Tem Ambi-AS
SO ₄ ⁻² -AI	-0,17	-0,47	0,02	0,20	-0,02	-0,24	0,01	0,07	-0,52	-0,29	0,20	-0,15	-0,38	0,04	-0,16	-0,01	0,24
PO ₄ ⁻³ -AI	-0,20	0,76	-0,11	0,07	-0,20	0,09	-0,20	-0,09	0,04	0,10	-0,24	0,48	0,42	-0,05	0,12	0,26	-0,25
NO ⁻² -AI	-0,22	-0,15	0,38	0,18	0,29	-0,32	0,25	0,09	0,17	-0,13	0,40	0,19	-0,02	0,12	-0,17	0,20	0,44
NO ⁻³ -AI	-0,38	0,38	0,00	-0,04	-0,36	0,10	-0,31	-0,12	0,20	-0,07	-0,22	0,18	0,35	0,26	-0,08	0,28	0,26
HCO ₃ ⁻ -AI	0,26	-0,08	0,00	-0,39	0,03	0,37	-0,32	-0,11	-0,03	0,26	-0,36	-0,19	0,33	0,33	-0,56	0,26	0,10
Na-AI	-0,17	-0,04	0,32	-0,46	-0,08	0,10	0,09	-0,17	0,14	0,39	-0,02	0,07	0,37	0,43	-0,31	0,03	0,02
K-AI	0,13	-0,50	-0,05	-0,57	0,11	-0,35	0,51	-0,22	0,36	0,07	0,38	-0,32	-0,03	0,19	0,00	-0,38	-0,01
Mg-AI	-0,06	0,55	-0,40	0,06	-0,38	0,22	-0,31	-0,47	-0,11	-0,14	-0,38	-0,03	-0,04	-0,42	0,16	-0,25	-0,47
Ca-AI	0,10	0,52	0,05	-0,18	-0,28	0,27	-0,41	-0,22	0,22	0,45	-0,47	0,50	0,72	0,08	-0,10	0,13	-0,19
pH-AI	-0,17	0,10	0,17	0,34	0,45	-0,30	0,53	0,42	-0,08	0,30	0,58	0,37	-0,12	0,15	0,33	0,32	0,19
CE-AI	0,21	0,00	-0,12	0,03	-0,02	0,16	-0,10	-0,32	-0,23	0,10	-0,22	-0,16	-0,04	-0,41	-0,05	-0,23	-0,39
SST-AI	-0,13	-0,16	0,24	-0,19	0,03	0,10	-0,13	0,12	-0,06	0,25	-0,04	-0,06	0,27	0,76	-0,24	0,44	0,49
ORP-AI	0,13	0,18	-0,34	-0,25	-0,13	-0,07	-0,04	-0,07	0,18	-0,24	-0,05	-0,09	0,12	-0,11	-0,09	0,10	0,03
OD-AI	0,03	-0,25	0,43	0,44	0,32	0,19	-0,25	0,51	-0,37	0,29	-0,10	0,18	-0,01	0,25	-0,16	0,39	0,46
N-Freático AI	0,08	0,58	-0,22	-0,28	-0,70	0,42	-0,73	-0,39	0,12	0,04	-0,79	0,04	0,60	-0,08	-0,34	-0,13	-0,28
Coli.F-AI	0,10	-0,32	-0,13	-0,22	0,31	-0,50	0,78	0,06	0,24	-0,01	0,67	0,04	-0,18	0,09	0,56	-0,06	-0,10
Tem 1-AI	-0,32	-0,14	0,57	0,13	0,39	0,20	0,07	0,41	-0,23	0,23	0,22	0,41	0,30	0,76	-0,20	0,89	0,63
Tem Ambi-AI	-0,03	-0,41	0,37	0,00	0,55	-0,45	0,62	0,10	0,01	0,41	0,74	0,35	0,16	0,62	0,10	0,26	0,64

ANEXO D: SALIDAS DE CAMPO



Salidas de campo

ANEXO E: TOMA DE MUESTRAS



Toma de muestra en agua superficial



Método de recolección de muestra de agua intersticial



Toma de muestra en agua intersticial



Vaciado de columnas de tubo PVC

	
<p>Toma de muestra para coliformes fecales en agua superficial</p>	<p>Toma de muestra para coliformes fecales en agua intersticial</p>

ANEXO F: DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS *IN SITU*

	
<p>Determinación de ORP en Aguas Intersticiales</p>	<p>Determinación de ORP en Aguas superficiales</p>



Uso de multiparámetros para la determinación de T, OD; CE y pH en agua intersticial



Uso de multiparámetros para la determinación de T, OD; CE y pH en agua superficial

ANEXO G: ANÁLISIS DE PARÁMETROS QUÍMICOS



Titulación para la determinación de Bicarbonatos



Preparación de estándares para la curva de calibración



Diluciones para la determinación de cationes



Equipo de AA



Equipo para la determinación de aniones con reactivos HANNA



Filtración de las muestras

ANEXO H: ANÁLISIS DE PARÁMETROS MICROBIOLÓGICOS



Conteo de tubos +



Prueba confirmativa: Coliformes fecales +



Prueba confirmativa: Coliformes fecales -



epoch

Dirección de Bibliotecas y
Recursos del Aprendizaje

UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS Y ANÁLISIS BIBLIOGRÁFICO Y
DOCUMENTAL

REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA

Fecha de entrega: 06 / 01 / 2023

INFORMACIÓN DEL AUTOR/A (S)
Nombres – Apellidos: Yadira Judith Cacuango Cutiopala Erika Valeria Quiroz Sani
INFORMACIÓN INSTITUCIONAL
Facultad: Ciencias
Carrera: Ingeniería Ambiental
Título a optar: Ingeniera Ambiental
f. responsable: Ing. Cristhian Fernando Castillo Ruiz



Ing. Cristhian Castillo



2323-DBRA-UTP-2022