



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIAS

CARRERA INGENIERÍA EN BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL

**“ANÁLISIS DE LA CAPACIDAD CATIONICA Y ANIÓNICA DEL
AGUA EN EL MANTO FREÁTICO DEL SISTEMA PALUSTRE DE
LA LAGUNA DE ANTEOJOS PARA EL USO DE ACTIVIDADES
AGRÍCOLAS”**

Trabajo de Titulación

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERA EN BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL

AUTORAS: JOHANA MARIBEL AUCANCELA GUAMÁN

MELANIE DAYANA VIVAS VIVAS

Riobamba – Ecuador

2022



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA INGENIERÍA EN BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL

**“ANÁLISIS DE LA CAPACIDAD CATIONICA Y ANIÓNICA DEL
AGUA EN EL MANTO FREÁTICO DEL SISTEMA PALUSTRE DE
LA LAGUNA DE ANTEOJOS PARA EL USO DE ACTIVIDADES
AGRÍCOLAS”**

Trabajo de Titulación

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERA EN BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL

AUTORAS: JOHANA MARIBEL AUCANCELA GUAMÁN

MELANIE DAYANA VIVAS VIVAS

DIRECTOR: Ing. CARLOS ROLANDO ROSERO ERAZO MSc.

Riobamba – Ecuador

2022

©2022, Johana Maribel Aucancela Guamán & Melanie Dayana Vivas Vivas

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

Nosotras, JOHANA MARIBEL AUCANCELA GUAMÁN y MELANIE DAYANA VIVAS VIVAS declaro que el presente Trabajo de Titulación 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 Titulación. El patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 20 de octubre de 2022



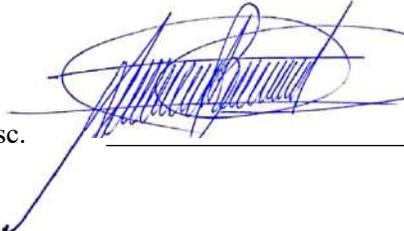
.....
Johana Maribel Aucancela Guamán
060502422-3



.....
Melanie Dayana Vivas Vivas
230072164-0

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA INGENIERÍA EN BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL

El Tribunal del Trabajo de Titulación certifica que: El Trabajo de Titulación; Tipo Proyecto de Investigación, “ANÁLISIS DE LA CAPACIDAD CATIONICA Y ANIÓNICA DEL AGUA EN EL MANTO FREÁTICO DEL SISTEMA PALUSTRE DE LA LAGUNA DE ANTEOJOS PARA EL USO DE ACTIVIDADES AGRÍCOLAS”, realizado por las señoritas **JOHANA MARIBEL AUCANCELA GUAMÁN** y **MELANIE DAYANA VIVAS VIVAS**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Titulación, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
Ing. Juan Carlos González García Msc. PRESIDENTE DEL TRIBUNAL	 _____	2022-10-20
Ing. Carlos Rolando Rosero Erazo Msc. DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN	 _____	2022-10-20
Ing. Andrés Agustín Beltrán Dávalos Msc. MIEMBRO DEL TRIBUNAL	 _____	2022-10-20

DEDICATORIA

Este trabajo le dedico plenamente a Dios, quien siempre guía mis pasos, es mi fortaleza y me llena de amor todos los días.

A mis padres Mariano y Ercilia quienes, con su amor, paciencia y lucha, me han permitido llegar a cumplir una meta más, gracias por inculcar en mí su humildad, valentía y esfuerzo, de no tener miedo a las adversidades por Dios y mi familia siempre sujetan mi mano.

A mis hermanos Jhonatan y Paúl, que son mi fuente de inspiración por su cariño y apoyo incondicional en todo momento. A toda mi familia que con sus palabras de apoyo, consejos y oraciones hicieron de mí una mejor mujer.

A todos mis amigos y amigas por extender su mano en momentos difíciles y estar en los mejores momentos de mi vida.

Johana

Este trabajo les dedico especialmente a mis padres Mirella y Bery que me han apoyado incondicionalmente en cada aspecto de mi vida, tomando siempre mi mano para guiarme con paciencia y amor, siendo los principales cimientos para la construcción de mi vida profesional.

A mi hermana Lisbeth por ser mi eterna cómplice y a ti Michael que desde el cielo sé estás observándome con tu sonrisa característica siempre orgulloso de mis logros.

Igualmente, a mi familia que ha sido mi fortaleza en los momentos más difíciles y me han brindado su apoyo día a día, son lo mejor y más valioso con lo que Dios me ha bendecido.

Finalmente, a mis amigos que han sido de gran ayuda y estímulo para la culminación de este trabajo.

Melanie

AGRADECIMIENTO

Nuestro sincero agradecimiento a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, por brindarnos la formación necesaria, una profesión y la oportunidad de servir a la sociedad y al país.

Al Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica por su colaboración y apoyo constante, para alcanzar los objetivos propuestos en el Trabajo de Titulación.

Al Grupo de Investigación, Desarrollo para el Ambiente y Cambio Climático "GIDAC" por su colaboración y apoyo, permitirnos ser partícipes en sus proyectos, mostrándonos la importancia y el cuidado del medio ambiente.

Al Ing. Carlos Rolando Rosero Erazo, por su gran muestra de afecto, paciencia y apoyo durante el transcurso del Trabajo de Titulación.

Al Ing. Freddy Armijos por su asistencia y guía durante el transcurso del presente trabajo investigativo.

A la Ing. Natali Figueroa por su total confianza, carisma y ayuda presente a lo largo de toda la investigación.

Finalmente, a todos los amigos, amigas y compañeros, que tuvieron la oportunidad de ser partícipes en las salidas a campo y durante los análisis de laboratorio.

Johana & Melanie

TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS	ix
ÍNDICE DE FIGURAS	x
ÍNDICE DE GRÁFICOS	xi
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xii
RESUMEN	xiii
ABSTRACT	xiv
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I	
1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL	4
1.1. Antecedentes	4
1.2. Marco Conceptual.....	5
1.2.1. <i>Parque Nacional Llanganates</i>	5
1.2.2. <i>Humedales altoandinos</i>	6
1.2.3. <i>Sistemas lacustres</i>	7
1.2.4. <i>Ciclo hidrológico en sistemas lacustres</i>	8
1.2.5. <i>Estudios de niveles freáticos y piezométricos</i>	8
1.2.6. <i>Estación meteorológica</i>	8
1.2.7. <i>Modelo de elevación digital</i>	9
1.2.8. <i>Calidad de agua</i>	9
1.2.9. <i>Monitoreo de variables físico- químicas</i>	10
1.2.9.1. <i>Temperatura</i>	10
1.2.9.2. <i>Conductiva eléctrica (CE)</i>	10
1.2.9.3. <i>Potencial de hidrógeno (pH)</i>	10
1.2.10. <i>Capacidad de intercambio catiónico y aniónico</i>	11
1.2.10.1. <i>Cationes</i>	11
1.2.10.2. <i>Aniones</i>	12
1.2.11. <i>Relación de adsorción de sodio (RAS)</i>	13
1.2.12. <i>Coefficiente de correlación de Pearson</i>	15
1.3. Base legal.....	15
1.3.1. <i>Constitución de la República del Ecuador</i>	15
1.3.2. <i>Ley orgánica de recursos hídricos, usos y aprovechamiento del agua</i>	17

1.3.3.	<i>Convención de Ramsar</i>	18
--------	-----------------------------------	----

CAPÍTULO II

2.	MARCO METODOLÓGICO	19
2.1.	Descripción del área de estudio	19
2.2.	Ubicación geográfica	19
2.3.	Clasificación ecológica	19
2.4.	Tipo de investigación	20
2.5.	Determinación de los puntos de muestreo	21
2.6.	Tamaño de la muestra	22
2.7.	Como crear un modelo de elevación digital	22
2.8.	Obtención de datos meteorológicos	23
2.8.1.	<i>Procesamiento de datos de la precipitación y temperatura</i>	25
2.8.1.1.	<i>Determinación climatológica del Parque Nacional Llanganates</i>	25
2.9.	Constucción e Instalación de Freatímetros	26
2.9.1.	<i>Materiales</i>	26
2.10.	Recolección y toma de muestras del agua intersticial	29
2.10.1.	<i>Materiales de campo</i>	29
2.10.1.1.	<i>Toma de la muestra en agua intersticial</i>	29
2.10.1.2.	<i>Identificación de la muestra</i>	30
2.10.1.3.	<i>Conservación y transporte de la muestra</i>	30
2.11.	Análisis de parámetros	31
2.11.1.	<i>Parámetros in situ</i>	31
2.11.1.2.	<i>Determinación de cationes</i>	32

CAPÍTULO III

3.	MARCO DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS	36
3.1.	Determinación climatológica de la zona de estudio del período 1991-2021	36
3.1.1.	<i>Precipitación media mensual de 1991-2021</i>	36
3.1.2.	<i>Temperatura media mensual de 1991-2021</i>	37
3.1.3.	<i>Precipitación y temperatura anual del período de 1991-2021</i>	37
3.1.4.	<i>Determinación de los meses secos y húmedos</i>	40
3.2.	Nivel Freático	41
3.2.1.	<i>Movimiento del agua superficial</i>	44

3.3.	Análisis de calidad del agua del manto freático	45
3.3.1.	<i>Análisis in situ</i>	45
3.3.1.1.	<i>pH</i>.....	45
3.3.1.2.	<i>Conductividad eléctrica</i>	46
3.3.2.	<i>Análisis ex situ</i>.....	47
3.3.3.	<i>Indicadores de calidad</i>	53
3.3.3.1.	<i>Relación de Absorción de Sodio (RAS o SAR)</i>	53
	CONCLUSIONES	56
	RECOMENDACIONES	58
	BIBLIOGRAFÍA	
	ANEXOS	

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1: Peligro de salinidad en términos de conductividad eléctrica	14
Tabla 2-1: Clasificación de peligrosidad sódica según Laboratorios Riverside.....	15
Tabla 1-2: Coordenadas geográficas de los puntos de monitoreo	22
Tabla 2-2: Coordenadas Estaciones Meteorológicas	24
Tabla 3-2: Materiales, equipos y reactivos	32
Tabla 4-2: Métodos usados para la medición de parámetros ex situ	33
Tabla 5-2: Criterios de calidad del agua a partir de valores de la RAS.....	35
Tabla 1-3: Valor de significancia de C.E.	47
Tabla 2-3: Clasificación Riverside del agua intersticial en los meses de muestreo	54

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1. Sistema propuesto por el Laboratorio de Salinidad	14
Figura 1-2. Sistema Palustre Laguna de Antejos.....	19
Figura 2-2. Localización de la zona de estudio	20
Figura 3-2. Selección de los puntos de muestreo	21
Figura 4-2. Mapa de Modelo de elevación digital.....	23
Figura 5-2. Estaciones Saquisilí, Pujilí, Patate y Tena Chaupi Shungo	24
Figura 6-2. Medición del nivel freático	27
Figura 7-2. Diagrama de procesos para la interpolación de los datos en ArcGIS.....	28
Figura 8-2. Muestreo de Agua Intersticial.....	30
Figura 9-2. Medición con el Multiparamétrico	31
Figura 1-3. Mapa de Isoyetas del área de estudio	38
Figura 2-3. Mapa de Isotermas del área de estudio	39
Figura 3-3. Niveles freáticos del mes de diciembre, enero y febrero.....	43
Figura 4-3. Movimiento superficial del agua con dirección horizontal (noreste)	44
Figura 5-3. Ubicación de los puntos P3, P4 y P7	55

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1-3. Precipitación (mm) media mensual del período de 1991-2021.....	36
Gráfico 2-3. Temperaturas medias mensuales de cuatro estaciones.....	37
Gráfico 3-3. Estación húmeda en un período de tiempo de 1991-2021	40
Gráfico 4-3. Estación seca en un período de tiempo de 1991-2021	40
Gráfico 5-3. Niveles freáticos (m) de los 9 pozos piezométricos de la Laguna de Antejos.....	41
Gráfico 6-3. Diferencias Significativas de la media del pH con ANOVA.....	45
Gráfico 7-3. Diferencias significativas de la Conductividad Eléctrica con ANOVA	46
Gráfico 8-3. Gráfico de bigotes de las medias de los cationes por punto con ANOVA.....	48
Gráfico 9-3. Gráfico de bigotes de las medias cationes por fecha con ANOVA	50
Gráfico 10-3. Gráfico de bigotes de las medias de los aniones por punto con ANOVA	51
Gráfico 11-3. Gráfico de bigotes de aniones por fecha con ANOVA.....	52
Gráfico 12-3. RAS del agua intersticial.....	53

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A. ZONA DE ESTUDIO LAGUNA DE ANTEOJOS UBICADO EN EL PARQUE NACIONAL LLANGANATES

ANEXO B. COLOCACIÓN DE LOS 9 POZOS PIEZOMÉTRICOS Y REGISTRO

ANEXO C. EXTRACCIÓN DE LAS MUESTRAS DE AGUA Y ANÁLISIS IN SITU

ANEXO D. PREPARACIÓN DE ESTÁNDARES Ca^{++} , K^{+} , Mg^{++} , AL^{+++} Y Na^{+}

ANEXO E. FILTRACIÓN DE LAS MUESTRAS PARA CATIONES Y ANIONES

ANEXO F. ANÁLISIS DE MUESTRAS EN EL EQUIPO DE ESPECTROFOTOMETRÍA DE ABSORCIÓN ATÓMICA PARA CATIONES Y ESPECTROFOTÓMETRO PARA ANIONES

ANEXO G. PRECIPITACIONES MEDIAS MENSUALES Y ANUALES, PROMEDIO ANUAL, TEMPERATURAS MÁXIMAS Y MÍNIMAS DE LA ESTACIÓN PATATE

ANEXO H. PRECIPITACIONES MEDIAS MENSUALES Y ANUAL, PROMEDIO ANUAL, TEMPERATURAS MÁXIMAS Y MÍNIMAS DE LA ESTACIÓN SAQUISILÍ

ANEXO I. PRECIPITACIONES MEDIAS MENSUALES, ANUAL Y PROMEDIO ANUAL, TEMPERATURAS MÁXIMAS Y MÍNIMAS DE LA ESTACIÓN PUJILÍ

ANEXO J. PRECIPITACIONES MEDIAS MENSUALES, ANUAL Y PROMEDIO ANUAL, TEMPERATURAS MÁXIMAS Y MÍNIMAS DE LA ESTACIÓN TENA CHAUPI SHUNGO

RESUMEN

La presente investigación analizó la capacidad catiónica y aniónica del agua en el manto freático del sistema palustre de la Laguna de Antojos para el uso de actividades agrícolas, ubicada en el parque Nacional Llanganates del Cantón Salcedo, provincia de Cotopaxi. Se establecieron nueve pozos freáticos, para su respectivo análisis durante el periodo diciembre 2021 y enero-febrero 2022. La incidencia de la precipitación y temperatura del período 1991-2021 se analizó por estadística descriptiva. El nivel freático se analizó mediante interpolación IDW a cada pozo. El pH y conductividad eléctrica (CE) se obtuvieron in situ con el multiparamétrico portátil. Se midió la concentración de sodio, potasio, calcio, magnesio, aluminio, nitrato, nitritos, fosfato y sulfato en los laboratorios de Análisis Instrumental y del Grupo de Investigación Desarrollo para el Ambiente y Cambio Climático (GIDAG) de la Facultad de Ciencias de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo con base a Standard Methods. Se calculó el índice de relación de adsorción de sodio (RAS). Los resultados de precipitación media anual oscilan entre 112.29 mm - 112.49 mm y temperatura media anual de 6.85 °C – 12.38 °C. Concluyendo, el 90 % del tiempo presenta un clima frío. El mayor nivel freático se dio en el mes de febrero de 125,17 m – 130, 86 m. Presentan una direccionalidad noreste del flujo hídrico. El pH del P1 y P8 están fuera del rango según el TULSMA. El RAS promedio fue de 0.201 meq/L y (CE) de 82,852 $\mu\text{S}/\text{cm}$. En los puntos P3, P4, P7 y P8 se clasificaron como C1S1 conforme al diagrama de Richards, presentan un valor bajo de peligrosidad salina y un valor medio de peligrosidad sódica, siendo agua apta para riego con fines agrícolas. Para obtener datos más precisos en futuras investigaciones se recomienda realizar periodos de muestreos más largos para mayor variabilidad.

Palabras clave: <NIVEL FREÁTICO>, <CATIONES>, <ANIONES>, <CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA>, <POTENCIAL DE HIDRÓGENO (pH)>, <PRECIPITACIÓN>, <TEMPERATURA>, <ÍNDICE DE RELACIÓN DE ADSORCIÓN DE SODIO (RAS)>.



2100-DBRA-UTP-2022

ABSTRACT

The aim of the current research was to analyze the cationic and anionic capacity of water in the groundwater table of the Laguna de Antejos marsh system, located in the Llanganates National Park, Salcedo County, Cotopaxi province, in order to develop agricultural activities. Nine phreatic wells were placed for their respective analysis during the period December 2021 and January-February 2022. The rainfall and temperature incidence from 1991 to 2021 was analyzed through descriptive statistics. The water table was analyzed by IDW interpolation for each well. The pH and electrical conductivity (EC) were obtained in situ with the use of a portable multiparameter. The concentration of sodium, potassium, calcium, magnesium, nitrate, phosphate and sulfate were measured using Standard Methods in the Instrumental Analysis laboratory and the (GIDAG) Environment and Climate Change Research Group laboratory, belonging to the Faculty of Science of Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. The sodium adsorption ratio (SAR) was calculated. The annual rainfall results are from 112.29 mm to 112.49 mm, as well as annual average temperature from 6.85 °C to 12.38 °C. It is concluded that it is usually cold (90%) during the year. The highest phreatic level was evidenced in February, with 125,17m to 130.86m and it presents a northeast directionality of the water flow. The pH of P1 and P8 are out of range according to TULSMA regulation. The average RAS was 0.201 meq/L and (EC) 82.852 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Pearson's method was applied between Cations and Anions variables, which revealed an existing correlation. P3, P4, P7 and P8 points were classified as C1S1 according to Richards diagram, since they present a low value of saline hazard and a medium value of sodium hazard; it means, this type of water is suitable for agricultural purposes. To obtain more accurate data, it is necessary to carry out longer sampling periods in future research; thus, a greater variability will be obtained.

Keywords: <PHREATIC LEVEL>, <CATIONS>, <ANIONS>, <ELECTRICAL CONDUCTIVITY>, <HYDROGEN POTENTIAL (pH)>, <RAINFALL>, <TEMPERATURE>, <SODIUM ADSORPTION RATIO INDEX (RAS)>.



Ing. Paul Rolando Armas Pesantes Msc.
C.I. 060328987-7

INTRODUCCIÓN

La agricultura es el sector que mayor demanda del agua supone a nivel mundial. El riego de tierras agrícolas requiere la utilización de un 70% de los recursos hídricos en el mundo. En los países en vías de desarrollo, muchas veces el agua utilizada para riego representa más del 95% del total de usos del agua, y juega un papel esencial en la producción y seguridad de los alimentos

(Dell'Amico et al., 2011; Citado en Roldán et al., 2020).

En la actualidad, el Parque Nacional Llanganates presenta varias problemáticas ambientales ligadas principalmente a la intensificación de actividades antrópicas que se desarrollan debido a la expansión de la frontera agrícola por parte de las comunidades indígenas localizadas en las faldas de la zona paramera, las cuales realizan prácticas agro productivas como principal fuente de ingresos económicos, en donde la ganadería y la agricultura son las más representativas. Estos factores han dado como resultado que se dé la quema de flora nativa, la eliminación de la capacidad de retención hídrica del páramo, la contaminación con residuos sólidos y líquidos por abonos y herbicidas, y la pérdida de biodiversidad (Garavito, 2015).

La perturbación de las turberas altoandinas, también influyen en la regulación hídrica, almacenamiento de carbono y mantenimiento de la calidad de agua (FONAG, 2020); las constantes lluvias en el área producen el movimiento de los mantos freáticos causando problemas de salinidad y drenaje (Coras et al., 2014), tomando en consideración que la cuenca del Río Yanayacu carece de planes manejo y monitoreo hidrológico. Todas estas alteraciones se ven incrementadas al no existir áreas definidas para el pastoreo ni los controles pertinentes en relación al desarrollo de dichas actividades, acarreando una de las principales problemáticas que es la degradación de los humedales, aumentando la vulnerabilidad de los sistemas hídricos para mantener su disponibilidad de agua.

La calidad del agua es importante no solo desde el punto de vista de la población, como agua para consumo humano, sino también como agua de riego para lograr rendimientos suficientes. Demasiada sal soluble puede afectar el crecimiento de los cultivos al inhibir la absorción de agua debido al potencial osmótico. No solo es importante la concentración de sal en el agua, sino también su composición, teniendo en cuenta los tipos de cationes y aniones presentes

(Baccaro et al., 2006; citado en Roldán et al., 2020).

JUSTIFICACIÓN

El Plan Nacional Creando Oportunidades 20-25 establece como eje de planificación la transición ecológica siendo el objetivo 13: Promover la gestión integral de los recursos hídricos y como política de estado promover, regenerar, recuperar y conservar el recurso hídrico y sus ecosistemas asociados; y promover la gestión sostenible del recurso hídrico en todos sus usos y aprovechamiento (Plan-de-Creación-de-Oportunidades-2021-2015, s.f, pp. 81-89).

El Parque Nacional Llanganates es considerado uno de los humedales más significativos a nivel mundial. Sin embargo, la (Convención de Ramsar sobre los humedales, 2018) menciona que hoy en día, sigue produciéndose pérdidas de humedales, con efectos negativos directos y mensurables en la naturaleza y las personas. No debe ser considerado únicamente como un ecosistema frágil, atendiendo a las permanentes amenazas antrópicas, sino que además tiene que considerarse también su carácter estratégico para la naturaleza, la sociedad y la economía nacional (Camacho, 2014) bajo este precepto, se ha identificado la necesidad de evaluar la calidad mineral y físico-química del agua del manto freático de la Laguna de Antiojos.

La investigación a realizar cuenta con los recursos económicos necesarios: transporte al sitio de muestreo, materiales para el muestreo y transporte, reactivos para el análisis de muestras e instrumentos para la medición de parámetros in situ y ex situ. Adicionalmente, cabe mencionar que el Grupo de Investigación y Desarrollo Ambiental y Cambio Climático (GIDAC) el cual promueve esta investigación, cuenta con permisos para ingresar al sistema de palustre de la Laguna de Antiojos.

OBJETIVOS

Objetivo general

Analizar la capacidad catiónica y aniónica del agua en el manto freático del sistema palustre de la Laguna de Antejos para el uso en actividades agrícolas.

Objetivos Específicos

Determinar la incidencia de la precipitación y temperatura del periodo de 1991-2021 en el manto freático del Parque Nacional Llanganates.

Determinar la variabilidad temporal-espacial del nivel freático del sector de la Laguna de Antejos.

Evaluar la calidad del agua del manto freático mediante la Relación de Adsorción de Sodio (RAS) para el aprovechamiento del recurso hídrico dirigido al sector agrícola.

CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

1.1. Antecedentes

El monitoreo con piezómetros de tubo abierto sirve para medir el nivel freático, conocer las características hidrodinámicas del muestreo hidro geoquímico del agua y toma de muestras de la calidad agua subterránea, mediante el uso de sensores eléctricos (Cisneros, 2019, pp. 10-15). De acuerdo Ridder (1978) citado en (Coras et al., 2018) indica que la presentación de las lecturas del nivel freático con respecto al tiempo se denominan hidrogramas de pozos de observación, los cuales son importantes para evaluar las condiciones del agua subsuperficial y proporciona información referida a: a) la velocidad de ascenso y descenso del nivel del agua; b) la profundidad de la capa de agua por debajo de la superficie del terreno, lo cual revela períodos del año crítico; c) en combinación con los componentes del balance del agua (precipitación, riego, bombeo de pozos, evaporación, etc.), ayuda a comprender la causa de las variaciones de la capa de agua; d) hidrogramas que cubren varios años, indican la tendencia del comportamiento del agua subsuperficial. La distribución de una red de observación debe estar planificada en base a una adecuada información topográfica, geológica, hidrológica y de suelos (Coras et al., 2018, pp. 4-5).

En el año 2014, Coras, Ontiveros y Diakite establecieron un “Diagnóstico del movimiento del agua freática y concentración de sales en suelos agrícolas” en periodos de lluvias 223.8 ha en San Martín Netzahualcóyotl, Estado de México, elaboraron planos de isobatas para ubicar áreas de exceso de humedad y recolectaron 27 muestras de suelo y agua. Los resultados que se obtuvieron fueron que a niveles freáticos mayores a 1.51 m de profundidad los suelos presentaron baja salinidad y sodicidad, mientras que a niveles freáticos menores a 1.50 m de profundidad y aguas freáticas de mediana a alta, en sales (CE .25- 2.2. ds/m) y sodio (12 a 20 RAS), se localizaron suelos, salinos y sódicos (CE mayor a 4 ds/m; PSI mayor a 15 y pH 8.5) en 59.18 ha (26% de la superficie total), además las lluvias provocaron el ascenso del nivel freático y exceso de agua en el suelo en 0.58 ha a 0.65 ha por milímetro de precipitación según la relación de los planos isobatas y las precipitaciones registradas, la evaporación favoreció el ascenso de sales a la superficie por capilaridad. A su vez menciona que los estudios de fluctuación de los niveles freáticos subterráneos son de mucha importancia ya que el movimiento de los mantos freáticos es la principal causa de los problemas de salinidad y drenaje (Coras et al., 2018, pp. 2-10).

Acosta y Salvadori en el año 2017 publicaron una “Evaluación de la calidad de agua para riego mediante el empleo de criterios actualizados” en la provincia de La Pampa, Argentina, plantearon como objetivo general determinación y comparación de índices y normas que utilizan distintos criterios en la evaluación de la calidad para 17 muestras mediante los índices de salinidad: conductividad eléctrica (CE), salinidad efectiva (SE) y salinidad potencial (SP), de sodicidad: relación de adsorción de sodio (RAS), relación de adsorción de sodio corregida (RAS0) y carbonato de sodio residual (CSR) y de toxicidad, clasificaron las muestras mediante las Normas de calidad de Riverside, FAO, IPG-INTA, Wilcox y H. Greene. De los resultados obtenidos se pudo concluir que el 85% de las muestras analizadas resultaron aptas/aptas con precauciones para ser utilizadas en el riego de cultivos intensivos, el riesgo de salinización es detectado en mayor medida interpretando la SE y como mejor indicador del riesgo de alcalinización el que utiliza el RAS

(Acosta y Salvadori, 2017, pp. 2-46).

Quinteros et al., (2019) realizaron la “Evaluación de la cantidad y calidad de agua disponible para riego de un cultivo sustentable de quinua en la quebrada Togllahuayco”, parroquia Guangopolo, Ecuador. Tomaron 8 muestras de agua y midieron la concentración sodio, potasio, calcio, magnesio, carbonatos, bicarbonatos, sulfatos y cloruros y la conductividad eléctrica, calcularon el índice de relación de adsorción de sodio (RAS) y aplicaron el método de Pearson entre las variables RAS y la conductividad eléctrica encontrándose una correlación. Obtuvo entre sus resultados y conclusiones que el recurso hídrico de la quebrada puede ser usada para riego de cultivos, debido a que los valores de RAS de 3,94 meq/L y la conductividad eléctrica (CE) de 324 uS/cm, ubicándose en la clasificación C2S1 mediante la aplicación del método de Richards el cual indica que el agua presenta un valor bajo de peligrosidad salina y un valor medio de peligrosidad sódica, volviéndola factible para uso de agua para cultivos son tener repercusiones graves a corto o largo plazo (Quinteros et al., 2019, pp.47-55).

1.2. Marco Conceptual

1.2.1. Parque Nacional Llanganates

El Parque Nacional Llanganates fue decretado como tal en 1996 mediante la Resolución Ejecutiva 002 y publicado en el Registro Oficial No. 097 en el mismo año. Se localiza en las provincias de Cotopaxi, Napo, Pastaza y Tungurahua, con una extensión de 219931 hectáreas, y un rango altitudinal entre 860 y 4571 metros sobre el nivel del mar (Ministerio del Ambiente, 2015).

Posee un clima diverso desde húmedo sub tropical hasta páramo pluvial con variación de temperaturas entre 3 a 24°C (Lopez, 2019).

Geográficamente, se localiza en la cordillera de los andes del Ecuador. Su superficie presenta elevadas pendientes y riscos afilados debido a los sistemas montañosos que brindan al paisaje cierta dificultad para su acceso, a excepción de los sitios ocupados por lagunas. La montaña más importante es cerro hermoso con una altitud de 4571 m.s.n.m. (Ministerio del Ambiente, 2015).

De acuerdo con (Izurieta, 2007) menciona que, la palabra “Llanganate” proviene de 3 palabras quichuas: “Llanga” significa mina o fragua, “na” hace referencia a un lugar para laborar o realizar alguna actividad y “ati” puede traducirse como “señor de Píllaro”, un nombre perteneciente a una dinastía del período Inca; las cuales conforman el significado “lugar de laboreo minero de Ati” o la mina de Ati. Aunque originalmente el área fue denominada Llanganati en la lengua quichua, el término se ha castellanizado hasta designarse como Llanganates (Izurieta, 2007; citado en Bravo, 2021).

Además, en 2008 se lo declaró sitio de interés Ramsar a causa de la importancia biológica de los diversos ecosistemas de tipo alto andino presentes, así como los servicios ambientales derivados de estos (BirdLife International, 2014) y el conjunto de humedales ubicados en el complejo de lagunas Llanganates (Lopez, 2019).

1.2.2. Humedales altoandinos

Los humedales se pueden definir como: “ecosistemas de agua dulce o salada, que se encuentran cubiertos de forma temporal o permanente y que pueden ser considerados como un sistema de flujo volumétrico abierto o cerrado” (MAE, 2015, Citados en Rivera & Patarón, 2021).

Los humedales altoandinos son aquellos sistemas de humedales constituidos por ecosistemas de páramo, jalca y puna, así como otros medios naturales afines que se caracterizan por funcionar de forma conjunta, lo cual es primordial para una correcta dinámica de las unidades geográficas o más conocidas como micro cuencas y otros conjuntos hidrográficos (Convención de Ramsar y Grupo de Contacto EHAA, 2008, Citados en Rivera & Patarón, 2021).

Según su tipo y origen se pueden diferenciar los siguientes humedales altoandinos:

- Lagos y lagunas de agua dulce
- Aguas termales y géiseres
- Mallines
- Lagunas saladas
- Bofedales y Turberas
- Salares
- Lagunas salobres

Según su tipo de vegetación se puede encontrar los siguientes:

- Totorales
- Chuscales
- Vegas
- Entre otros (Convención de Ramsar y Grupo de Contacto EHAA, 2008, Citados en Rivera & Patarón, 2021).

1.2.3. Sistemas lacustres

Los lagos son generalmente considerados como fuentes estratégicas de agua dulce. El agua dulce se protege comúnmente cuando los lagos se integran incidentalmente en las reservas naturales. Sin embargo, la inclusión en áreas protegidas no garantiza la protección (Antunes y Rodrigues 2014). Los lagos poco profundos son los tipos más comunes de lagos en el mundo y estos representan una fracción significativa de la superficie total del agua del planeta, estos proporcionan servicios ecosistémicos importantes como agua para beber, irrigación, recreación, pesca y mantienen una alta biodiversidad, en el último medio siglo muchos de los lagos poco profundos sufrieron eutrofización y floraciones de algas (Van Colen et al. 2017).

Un sistema lenticó está dividido en zonas tanto a nivel vertical como horizontal en función de la penetración de la luz (Rivera & Patarón, 2021, pp. 7). Presentando varias zonas según la profundidad de las aguas; en el plano horizontal se encuentran la zona litoral y la zona pelágica, siendo la primera zona poco profunda donde crecen plantas acuáticas enraizadas al suelo; la segunda zona que es la más alejada de la orilla está conformada por algas fotosintetizadoras; en cuanto al plano vertical se observa la zona limnética, la cual recibe la mayor cantidad de luz solar allí predomina el fitoplancton, larvas de insectos y peces pequeños, seguida de la zona de transición lumínica donde habitan organismos

adaptados a las condiciones de poca luz, y la zona profunda en la que se encuentra el zooplancton, animales que consumen el fitoplancton y otros organismos (Erazo & Cárdenas, 2013; citado en Oña & Tonato, 2017, pp.3).

1.2.4. Ciclo hidrológico en sistemas lacustres

El ciclo hidrológico, proceso a través del cual se abastecen de agua los seres vivos, constituye una de las partes más importantes de las condiciones naturales de las cuencas hidrológicas. Es sabido que todos y cada uno de los elementos que conforman una cuenca hidrológica actúan de manera conjunta e interrelacionados, creando un ambiente natural definido. La modificación de alguno o algunos de estos elementos (atmosfera, suelo, vegetación, agua) ocasiona un desequilibrio ambiental que se refleja, con mayor o menor intensidad, en dicho ciclo hidrológico. Por estas razones es importante realizar una evaluación, previa al aprovechamiento de cualquier recurso de una cuenca, sobre la disponibilidad del mismo, entendiendo por esto la cantidad de agua que se puede utilizar, conforme a la capacidad de recuperación del recurso, sin que por ello se desequilibren las condiciones originales de la cuenca (Maderey & Jiménez, 2001).

1.2.5. Estudios de niveles freáticos y piezométricos

Es el estudio de las condiciones y características del agua subterránea presente en el acuífero freático como en acuíferos confinados o semiconfinados que se presentan en el perfil del suelo. Esto implica la determinación de la posición actual del nivel freático y la identificación de las causas que han provocado el problema (Bautista, 2013, pp.17).

1.2.6. Estación meteorológica

Es un punto estratégico que mide un conjunto de variables relacionadas con el medio ambiente; temperatura, precipitación, humedad relativa, evaporación, vientos, nubosidad (Morales, 2012).

- **Precipitación:** Conjunto de partículas líquidas o sólidas, que cae de una nube o grupo de nubes y que llega a alcanzar la superficie de la tierra (Morales, 2012).

1.2.7. Modelo de elevación digital

Un DEM, por sus siglas en inglés, son productos estándar del análisis fotogramétrico digital de fotografías aéreas o de imágenes satelitales y son la representación visual y matemática de altura con respecto al nivel del mar el cual nos permite caracterizar las formas del relieve y los elementos presentes en el mismo. Los valores representados se encuentran contenidos en un archivo tipo ráster el cual se los analiza ejecutándolos en software como ArcGIS (Peñañiel, 2021, pp.2-3).

A los modelos digitales se los conocen como la representación gráfica y matemática respecto a la altura sobre el nivel de mar m.s.n.m. de un determinado sitio o territorio, los cuales nos permiten la visualización del relieve del terreno y elementos que estos presenten, los modelos digitales de elevación se caracterizan por dos cualidades esenciales las cuales son exactitud y la resolución o el grado del detalle digital de representación (SIGLA, 2014; citado en Peñañiel, 2021, pp.7).

- **Generación de un modelo digital de elevación**

Para la generación de un modelo digital de elevaciones (MDE), existen 3 métodos los cuales son:

- **Métodos directos:** mediante sensores remotos, los cuales se dividen en dos sub métodos: altimetría y radargrametría (Peñañiel, 2021, pp.7).
- **Métodos directos:** Sobre el terreno conocido son los siguientes: topografía convencional y Sistemas de posicionamiento GPS (Peñañiel, 2021, pp.7).
- **Métodos indirectos:** Para la realización de estos se toma en consideración lo siguiente: Restitución fotogramétrica (Peñañiel, 2021, pp.7).

1.2.8. Calidad de agua

Es una manera de definir la riqueza biológica y el valor ambiental del agua en las comunidades de los seres vivos relacionando en un ecosistema. También se considera como un factor que describe características físicas, químicas y biológicas del agua que influyen tanto en la salud de los ecosistemas como en el bienestar de las personas (Fajardo, 2018).

La calidad de cualquier cuerpo de agua ya sea de tipo superficial o subterránea está sujeto a los factores naturales como factores de tipo antrópico. El daño de la calidad del agua es una preocupación

en la actualidad debido al crecimiento de la población humana, la actividad industrial /agrícola y el cambio climático causando ello alteraciones en el ciclo hidrológico (ONU, 2019).

1.2.9. Monitoreo de variables físico- químicas

1.2.9.1. Temperatura

La temperatura en el agua es considerada uno de los parámetros físicos más importantes debido a que desempeña un papel fundamental en los ecosistemas acuáticos de un humedal, disminuye su densidad y contribuye en la variación del oxígeno disuelto (Pérez, et al., 2017). La temperatura regula y controla las actividades biológicas de los seres vivos e influye en otras propiedades físicas del agua como la conductividad eléctrica, densidad, pH y viscosidad (Ortega y Pesántez, 2018; citados en Rivera & Patarón, 2021).

1.2.9.2. Conductiva eléctrica (CE)

Parámetro que indica la capacidad que tiene una solución acuosa de transmitir corriente eléctrica, a 25°C. Su evaluación puede darse en campo como en laboratorio. Este parámetro está relacionado con la concentración de iones presentes en el líquido y con la temperatura a la cual se efectúa la determinación (Dirección Nacional de Medio Ambiente, 1996).

La conductividad eléctrica, se determina en forma rápida y precisa y el agua utilizada para el riego tiene una CE normalmente entre 2,000 a 2,250 mmhos/cm (Vásquez, 2000; citado en Quishpe, 2016).

1.2.9.3. Potencial de hidrógeno (pH)

Este parámetro permite determinar el grado de acidez o alcalinidad de líquidos, su escala varía de 0 a 14, cuando el cuerpo de agua presenta valores menores a 7 se consideran aguas ácidas, valores mayores a 7 alcalinas y si se encuentra en un valor de 7 se califican como aguas neutras (Mansilla, 2014, pp.2076-2082; citado en Rivera & Patarón, 2021).

1.2.10. Capacidad de intercambio catiónico y aniónico

1.2.10.1. Cationes

La capacidad de intercambio catiónico se refiere a la cantidad total de cargas negativas disponibles sobre la superficie del suelo, es decir el número total de cationes intercambiables que un suelo en particular puede o es capaz de retener (Coras et al., 2018, pp. 2-3).

La diversidad de concentraciones iónicas en el agua superficial y subterránea se debe al contenido y tipo de minerales en las rocas y el suelo con los que tiene contacto durante su recorrido en el ciclo hidrológico. Los iones que se pueden encontrar varían ampliamente en tiempo y espacio, existen algunos que se encuentran siempre en cantidades considerables y por lo tanto son llamados mayoritarios (Coras et al., 2018, pp. 7-10).

Los más comunes son los que se presentan a continuación:

Calcio

La corteza contiene 3,2% de calcio. Es uno de los elementos más dispersos durante la cristalización del magma y se encuentra en rocas máficas y en menor medida en rocas félsicas. El calcio está presente en piroxeno, anfíboles y plagioclasas. El calcio es el ion dominante en la mayoría de las aguas superficiales y es el segundo más abundante en las aguas de formación después del sodio (Padilla, 2014, pp. 7-10).

Magnesio

El contenido de magnesio en la corteza terrestre es del 2,07%. Además del calcio, también está presente en el magma en grandes cantidades. Se encuentra ampliamente en rocas máficas y ultramarinas. Durante la calcinación del silicato de magnesio se forma carbonato de magnesio (Padilla, 2014, pp. 7-10).

Sodio

Su contenido en la corteza terrestre es de 2.35%. En las rocas del magma alcalino el contenido de Na + K es de 15 -20%, y en los basaltos se encuentra en 2.3%. Las sales de sodio se encuentran en grandes cantidades en las aguas freáticas de las regiones semidesérticas y desérticas. La mineralización de las aguas freáticas en las zonas áridas varía de 1-2 hasta 100-200 g/L. Generalmente se acumula en los suelos sódicos y salinos, donde puede reaccionar con el CO_3^{2-} y HCO_3^- para formar carbonato y bicarbonato de sodio (Padilla, 2014, pp. 7-10).

Potasio

La corteza terrestre contiene 2.3% de potasio. Al igual que el sodio, se encuentra en la composición de las rocas félsicas y máficas. El potasio está en la composición de la ortoclasa, muscovita y como trazas se encuentra en las plagioclasas y en la albita (Padilla, 2014, pp. 7-10).

1.2.10.2. Aniones

Nitratos y Nitritos

Estos son compuestos solubles conformados molecularmente por nitrógeno y oxígeno. En el ambiente, el nitrito (NO_2^-) generalmente se convierte a nitrato fácilmente (NO_3^-), lo que significa que el nitrito raramente está presente en aguas subterráneas. El nitrato es esencial en el crecimiento de las plantas (Singler & Bauder, s.f; citado en Bolaños et al., 2017).

Sulfato

Los sulfatos (SO_4^{2-}) son muy abundantes en la naturaleza y su presencia en el agua varía en algunas centenas de miligramos por litro; los niveles de sulfato en agua de lluvia y agua superficial se correlacionan con las emisiones de dióxido de azufre ocasionadas por la actividad humana, principalmente provenientes de motores que utilizan como combustible diésel (Keller & Pitblade, 1986; citado en Bolaños et al., 2017).

Fosfato

El anión fosfato PO_4^{-3} se forma a partir del fósforo inorgánico que existe como mineral y contribuye directamente en el ciclo de este elemento en el ambiente. También puede existir en solución como partículas, como fragmentos sueltos o en los cuerpos de organismos acuáticos. El agua de lluvia puede contener distintas cantidades de fosfatos que se filtran de los suelos agrícolas a los cursos de agua próximos (Sánchez et al., 2007; citado en Bolaños et al., 2017).

1.2.11. Relación de adsorción de sodio (RAS)

Es uno de los índices más evaluados para medir el peligro de sodificación que presenta el agua de riego. Su cálculo es sencillo y se correlaciona con el Porcentaje de Sodio Intercambiable (PSI) del suelo que está en equilibrio con el agua de riego. Así mientras mayor es el valor de RAS, mayor el valor del PSI del suelo y mayor peligro de sodificación (Bautista, 2013, p.31).

- **Norma de calidad de agua de agua de riego Riverside**

Según (Acosta García & Salvadori Verón, 2017), en 1954 propuso al Laboratorio de Salinidad de Riverside criterios de clasificación de salinidad, conductividad e índice S.A.R.

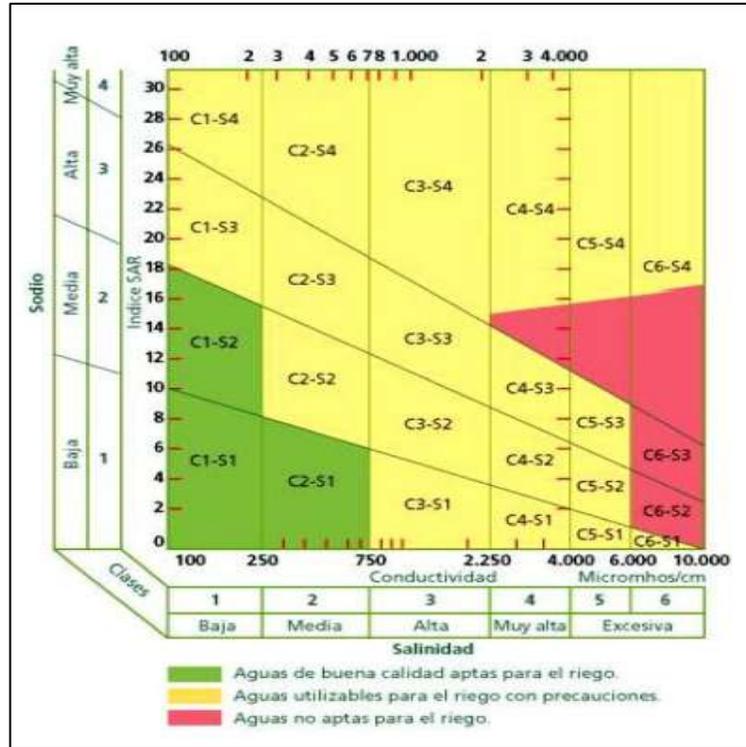


Figura 1-1. Sistema propuesto por el Laboratorio de Salinidad

Fuente: Acosta García & Salvadori Verón, 2017; citado en Quispe, 2016.

El Diagrama de Richards es ampliamente utilizado para la clasificación de aguas de riego sirve para determinar el nivel de peligrosidad por sodio y por la salinidad presente en el agua y como datos de entrada se coloca el (RAS) y la conductividad eléctrica de las muestras analizadas (Quinteros et al., 2019).

Tabla 1-1: Peligro de salinidad en términos de conductividad eléctrica

Categorías de clasificación	Rango de variación C.E. a 25 °C $\mu\text{S}/\text{cm}$	Observaciones a considerar
C1	0-250	Puede usarse para riego de la mayor parte de los cultivos, en casi cualquier tipo de suelo, con muy poca probabilidad de que se desarrolle salinidad.
C2	250-750	Puede usarse siempre y cuando haya un grado moderado de lavado.
C3	750-2250	No puede usarse en suelos cuyo drenaje sea deficiente, aun con drenaje adecuado.
C4	2250-5000	No es apropiado para riego

Fuente: USDA; citado por Quispe, 2016

Realizado por: Aucancela, J & Vivas, M, 2022.

Tabla 2-1: Clasificación de peligrosidad sódica según Laboratorios Riverside

Clases	Peligro de solidificación	RAS	Restricciones de uso
S1	Baja peligrosidad sódica	0-10	Apta
S2	Mediana peligrosidad sódica	10-18	Apta con precauciones
S3	Alta peligrosidad sódica	18-26	Apta con precauciones
S4	Muy alta peligrosidad sódica	> 26	No apta

Fuente: Acosta G., & Salvadori V., 2017; citado por Rodríguez et al., 2022.

Realizado por: Aucancela, J & Vivas, M, 2022.

1.2.12. Coeficiente de correlación de Pearson

Es una medida considerablemente utilizada en diversas áreas. Los términos relación o asociación son equivalentes y se usan para designar aquella área de la estadística en la que se evalúa la covariación entre al menos dos variables. Se ha establecido con suficiencia en la teoría estadística, que factores como el tamaño muestral, la falta de linealidad o la variabilidad en las características de interés pueden alterar considerablemente la magnitud de esta medida (Hernández, 2018, pp.1-9).

1.3. Base legal

1.3.1. Constitución de la República del Ecuador

En el Título II, Capítulo segundo, derechos del buen vivir, corresponde a la sección primera de Agua y alimentación, en el artículo 12 se refiere a:

“**Art. 12.-** El derecho humano al agua es fundamental e irrenunciable. El agua constituye patrimonio nacional estratégico de uso público, inalienable, imprescriptible, inembargable y esencial para la vida” (ASAMBLEA NACIONAL 2008).

En el título II, que corresponde al capítulo sexto, derechos de libertad, en el artículo 66 se refiere a:

“**Art. 66.-** Se reconoce y garantizará a las personas: El derecho a una vida digna, que asegure la salud, alimentación y nutrición, agua potable, vivienda, saneamiento ambiental, educación, trabajo, empleo, descanso y ocio, cultura física, vestido, seguridad social y otros servicios sociales necesarios” (ASAMBLEA NACIONAL 2008).

En el título V, Capítulo cuarto, que corresponde al régimen de competencias, en el artículo 264 se refiere a:

“**Art. 264.-** Los gobiernos municipales tendrán las siguientes competencias exclusivas sin perjuicio de otras que determine la ley: Prestar los servicios públicos de agua potable, alcantarillado, depuración de aguas residuales, manejo de desechos sólidos, actividades de saneamiento ambiental y aquellos que establezca la ley” (ASAMBLEA NACIONAL 2008).

En el Título VI, Régimen de desarrollo, Capítulo primero, corresponde a los principios generales, en el artículo 276 se refiere a:

“**Art. 276.-** El régimen de desarrollo tendrá los siguientes objetivos: Recuperar y conservar la naturaleza y mantener un ambiente sano y sustentable que garantice a las personas y colectividades el acceso equitativo, permanente y de calidad al agua, aire y suelo, y a los beneficios de los recursos del subsuelo y del patrimonio natural” (ASAMBLEA NACIONAL 2008).

En el Título VI, Régimen de desarrollo, corresponde al capítulo quinto de los sectores estratégicos, servicios y empresas públicas, en los artículos 314 y 318 se refieren a:

“**Art. 314.-** El Estado será responsable de la provisión de los servicios públicos de agua potable y de riego, saneamiento, energía eléctrica, telecomunicaciones, vialidad, infraestructuras portuarias y aeroportuarias, y los demás que determine la ley.

El Estado garantizará que los servicios públicos y su provisión respondan a los principios de obligatoriedad, generalidad, uniformidad, eficiencia, responsabilidad, universalidad, accesibilidad, regularidad, continuidad y calidad. El Estado dispondrá que los precios y tarifas de los servicios públicos sean equitativos, y establecerá su control y regulación”.

(ASAMBLEA NACIONAL 2008).

“**Art. 318.-** El agua es patrimonio nacional estratégico de uso público, dominio inalienable e imprescriptible del Estado, y constituye un elemento vital para la naturaleza y para la existencia de los seres humanos. Se prohíbe toda forma de privatización del agua.

La gestión del agua será exclusivamente pública o comunitaria. El servicio público de saneamiento, el abastecimiento de agua potable y el riego serán prestados únicamente por personas jurídicas estatales o comunitarias” (ASAMBLEA NACIONAL 2008).

En el Título VII, Régimen del buen vivir, corresponde a la sección sexta del agua, en los artículos 411 y 412 se refieren a:

“**Art. 411.-** 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.

1.3.2. Ley orgánica de recursos hídricos, usos y aprovechamiento del agua

De acuerdo con el Título II, Recursos Hídricos, corresponde al capítulo 1, en el artículo 12 y 18 que se refiere a:

“**Art. 12.-** Protección, recuperación y conservación de fuentes. Las competencias son:

El estado, los sistemas comunitarios, juntas de agua potable juntas de riego, los consumidores y usuarios corresponsables en la protección, recuperación y conservación de las fuentes de agua (...)” (Secretaría Nacional del Agua 2015).

“**Art 18.-** Competencias y atribuciones de la Autoridad Única del Agua. Las competencias son: (...)

o) Asegurar la protección, conservación, manejo integrado y aprovechamiento sustentable de las reservas de aguas superficiales y subterráneas (...)”

De acuerdo con el Título II, Recursos Hídricos, corresponde al capítulo II, Institucionalidad y gestión de los recursos hídricos, en el artículo 21 que se refiere a:

“**Art 21.-** Agencia y Regulación y Control del Agua. La agencia de Regulación y Control del Agua (ARCA). (...) o) La agencia de Regulación y Control del Agua, ejercerá la regulación y control de la gestión integral e integrada de los recursos Hídricos de la cantidad y calidad de agua en sus fuentes(...)” (Secretaría Nacional del Agua 2015).

1.3.3. Convención de Ramsar

De acuerdo con el manual de la convención de Ramsar, en reservas y formación de herbazales corresponde al artículo 4.5 que se refiere a:

“Art 4.5.- Las partes contratantes fomentarán la formación del personal para el estudio, la gestión y la custodia de los herbazales. El personal capacitado, sobre todo en los campos de la gestión, la enseñanza y la administración, es esencial para la conservación y el uso racional efectivos de los herbazales y sus recursos” (Secretaría de la Convención de Ramsar 2006).

CAPÍTULO II

2. MARCO METODOLÓGICO

2.1. Descripción del área de estudio

El Parque Nacional Llanganates se ubica en la inmediación de las provincias de Tungurahua, Cotopaxi, Pastaza y Napo, cuyo perímetro es de 348 km y una superficie de 219931. 81 hectáreas, repartida en un 90% entre Napo y Tungurahua (Ministerio del Ambiente, 2015). Una parte esencial de la investigación es la selección de pozos piezométricos en un área de menor envergadura como lo es el “Herbazal Inundable del Páramo” en la parroquia de San Miguel, se consideró áreas con fines de drenaje cercanas al acuífero freático de los ojos de agua que conforman la Laguna de Anteojos.



Figura 1-2. Sistema Palustre Laguna de Anteojos

Realizado por: Aucancela, J & Vivas, M, 2022.

2.2. Ubicación geográfica

El sistema palustre de la Laguna de Anteojos se encuentra en la zona sur 17 de América del Sur, con coordenadas UTM_WGS84 (788054; 9892094).

2.3. Clasificación ecológica

El sistema de clasificación de la zona de estudio según el (Ministerio del Ambiente, 2015) se clasifica en:

- Clasificación: Herbazal inundable de Páramo
- Fisinomía: Herbácea
- Bioclima: Pluvial
- Piso Bioclimático: Montano Alto
- Tipo de suelo: Vegetación arbustiva y herbácea

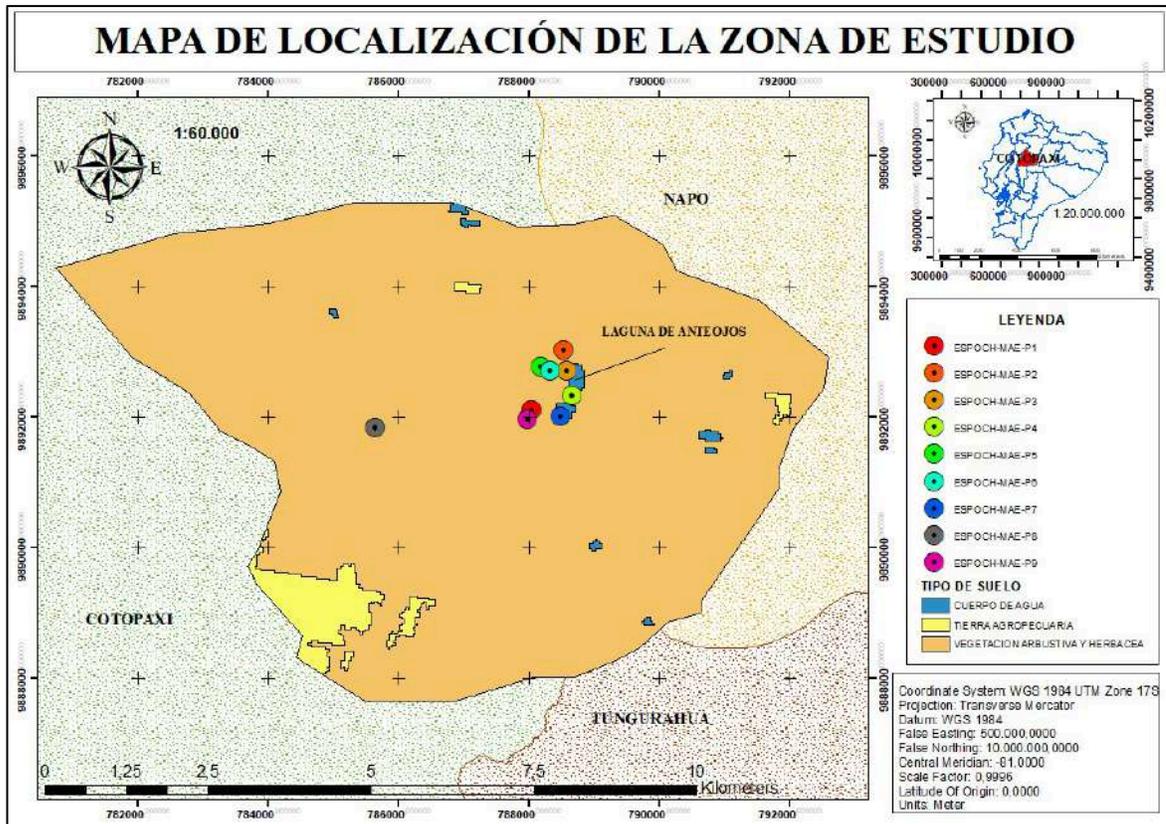


Figura 2-2. Localización de la zona de estudio

Realizado por: Aucancela, J & Vivas, M, 2022.

En la Figura 2-2 se representa la zona de estudio, según los puntos de muestreo, donde se presentan distintos tipos de suelo, cuerpo de agua, tierra agropecuaria y vegetación arbustiva y herbácea, esta última es la zona con mayor cobertura debido a que se encuentra a alturas superiores a los 3800 msnm.

2.4. Tipo de investigación

La presente investigación no es experimental, posee un enfoque cuantitativo, debido a que, este tipo de investigación utiliza la recolección de datos a través de distintas actividades de campo desde la

distribución de las estaciones de muestreo y su ubicación georreferenciada, es longitudinal por la recolección de datos mensuales. Descriptivo para los factores que afectan el intercambio catiónico, aniónico y la salinidad del agua de la Laguna de Antejos.

2.5. Determinación de los puntos de muestreo

El establecimiento del sitio óptimo y número de puntos de muestreo se realizó previo a una vista preliminar y tomando en consideración el asesoramiento brindado por el Grupo de Investigación y Desarrollo para el Ambiente y Cambio Climático (GIDAC). Se establecieron 9 pozos piezométricos a una profundidad de 1,50 m siguiendo estudios semejantes realizados por (URRUCHI, 2018, pp.23-25), para estimar la velocidad del descenso del nivel freático.



Figura 3-2. Selección de los puntos de muestreo

Realizado por: Aucancela, J & Vivas, M, 2022.

La recolección del agua de los pozos freáticos fue realizada en el período de tres meses, diciembre 2021 y enero-febrero del 2022, los pozos piezométricos fueron referenciados con un geoposicionador satelital (GPS), con el fin de estudiar las condiciones y características del agua del manto freático de la Laguna de Antejos, esto no solo implica la determinación de posición actual del nivel freático, sino también la identificación de las consecuencias que ha provocado las actividades antropogénicas como las ecoturísticas, ganadería y pesca.

2.6. Tamaño de la muestra

El tamaño de la muestra comprende 27 unidades experimentales extraídas de 9 pozos de observación establecidos de manera criterial y con base en los requerimientos del estudio, con un total de 3 muestreos realizados una vez por mes durante tres meses en diciembre del 2021 y enero - febrero del 2022. En la tabla 1 – 2, se enlistan las coordenadas de los puntos de muestreo.

Tabla 1-2: Coordenadas geográficas de los puntos de monitoreo

No	POZOS DE OBSERVACIÓN	ÁREA	LONGITUD	LATITUD	ALTURA (m.s.n.m.)
1	ESPOCH-MAE-P1	Herbazal Inundable del Páramo “Laguna de Anteojos”	0° 58' 30.922"	78° 24' 42.642"	3844
2	ESPOCH-MAE-P2	Herbazal Inundable del Páramo “Laguna de Anteojos”	0° 58' 0.846"	78° 24' 26.664"	3748
3	ESPOCH-MAE-P3	Herbazal Inundable del Páramo “Laguna de Anteojos”	0° 58' 11.028"	78° 24' 25.041"	3828
4	ESPOCH-MAE-P4	Herbazal Inundable del Páramo “Laguna de Anteojos”	0° 58' 23.391"	78° 24' 22.607"	3810
5	ESPOCH-MAE-P5	Herbazal Inundable del Páramo “Laguna de Anteojos”	0° 58' 9.021"	78° 24' 38.23"	4040
6	ESPOCH-MAE-P6	Herbazal Inundable del Páramo “Laguna de Anteojos”	0° 58' 11.36"	78° 24' 33.315"	3977
7	ESPOCH-MAE-P7	Herbazal Inundable del Páramo “Laguna de Anteojos”	0° 58' 33.839"	78° 24' 28.223"	3966
8	ESPOCH-MAE-P8	Herbazal Inundable del Páramo “rio”	0° 58' 39.604"	78° 26' 0.019"	3830
9	ESPOCH-MAE-P9	Herbazal Inundable del Páramo “Laguna de Anteojos”	0° 58' 35.153"	78° 24' 44.74"	3840
FECHA DE COLOCACIÓN DE LOS TUBOS PVC			28 de septiembre de 2021		

Realizado por: Aucancela, J & Vivas, M, 2022.

2.7. Como crear un modelo de elevación digital

Para crear el MED en ARGIS, necesitamos crear un artivo TIN, con la ayuda de los datos de topografía de la tabla 1-2, ingresamos los datos y esperamos que se genere el TIN. Se observa una rampa de colores que representa las diferentes elevaciones, se utilizó una distribución de tres niveles desde 50 hasta 6200 m.s.n.m. Los puntos de muestreo están comprendidos en una altura entre 3500 ha 4000 m.s.n.m.

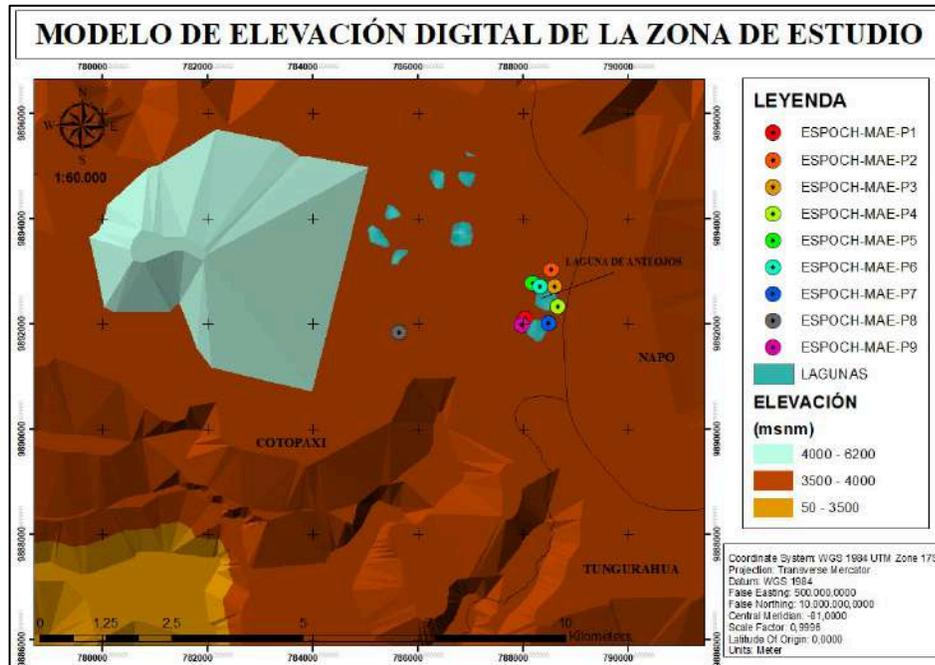


Figura 4-2. Mapa de Modelo de elevación digital

Realizado por: Aucancela, J & Vivas, M, 2022.

2.8. Obtención de datos meteorológicos

Para determinar la variabilidad climatológica del Parque Nacional Llanganates del período de 1991-2021, se analizó la información de 4 estaciones pluviométricas cercanas a la zona de estudio. Se utilizó las variables de precipitación y temperatura publicada en el anuario meteorológico generado por el INAMHI (Instituto Nacional de Meteorología e Hidrogeología), del período de 1991-2021, cuyos datos fueron procesados gracias al software Excel y la representación espacial de cada una de las variables se realizó con el Sistema de Información Geográfica (GIS).

En la siguiente Figura 5-2, se representa la localización de las cuatro estaciones meteorológicas ubicadas en la provincia de Napo, Tungurahua y Cotopaxi.

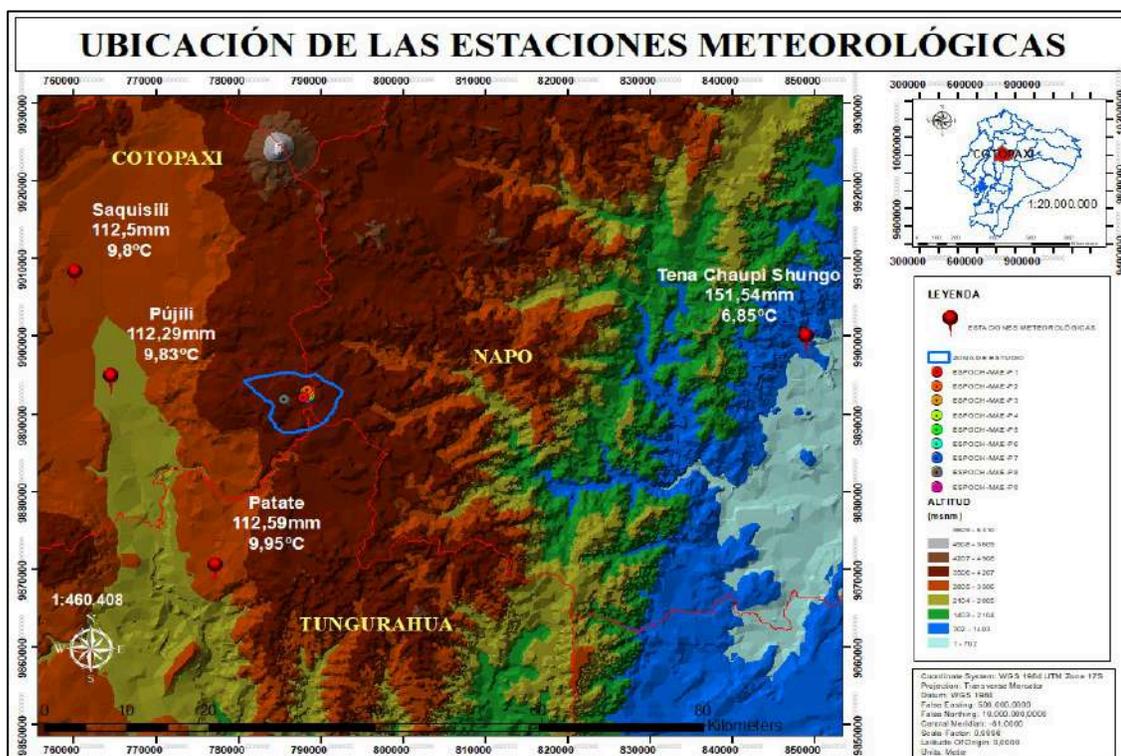


Figura 5-2. Estaciones Saquisilí, Pujilí, Patate y Tena Chaupi Shungo

Realizado por: Aucancela, J & Vivas, M, 2022.

En la siguiente Tabla 2-2, se encuentran los datos de las coordenadas de las estaciones en UTM y geograficas:

Tabla 2-2: Coordenadas Estaciones Meteorológicas

ID	NOM_ESTACIÓN	COORDENADAS	LATITUD	LONGITUD
M0375	Saquisilí	UTM	760057.6	9907660.8
		GG MM SS	0° 50 5'	78° 39 48'
M0126	Patate	UTM	777197.3	9869972.7
		GG MM SS	1° 10 31'	78° 30 33'
M1219	Tena HDA. Chaupi Shungo	UTM	848961.1	9899350.7
		GG MM SS	0° 55 1'	77° 49 9'
M1210	Pujilí	UTM	764505.9	9894270.6
		GG MM SS	0° 57 24'	78° 42 22'

Fuente: (INAMHI, 2022)

Realizado por: Aucancela, J & Vivas, M, 2022.

2.8.1. Procesamiento de datos de la precipitación y temperatura

Una vez descargadas las variables de precipitación y temperatura de las cuatro estaciones del anuario meteorológico del INAMHI se construyó la base de datos en Excel realizando una estadística descriptiva. Representamos en gráficos de barras la media mensual de las precipitaciones y temperaturas del período de 1991-2021.

2.8.1.1. Determinación climatológica del Parque Nacional Llanganates

Previamente, necesitamos los datos estadísticos de las medias mensuales de las cuatro estaciones meteorológicas del período de 1991-2021 para poder calcular la media anual, se realiza promedios de cada estación, obteniendo la media anual definimos el clima del Parque Nacional Llanganates por medio de mapas realizados en ARGIS de isoyetas e isotermas, determinamos los máximos, mínimos mediante la coloración.

2.8.1.2. Elaboración del mapa de isoyetas e isotermas

Para la obtención de datos, se trabajó con valores de precipitación y temperatura media anual de cada estación por medio del método aritmético realizado por (Linsley, Kohler, & Paulhus, 1988, pp. 350).

La representación gráfica de la variable climática precipitación del área de muestreo, se realizó en ARGIS mediante Inverse Distance Weighted (IDW), debido a que este método presenta valores de menor error cuadrático medio y genera mejores resultados.

Para precisar mejor la distribución de temperatura del aire sobre la superficie de la tierra en la zona de estudio se utilizó el mapa de isotermas, es una representación gráfica propuesta por Humbolt. Utilizando ARGIS se interpola los datos por el método de Kriging, permitiendo visualizar una línea que unen los puntos que tienen una misma temperatura media.

- **Determinación de los meses secos y húmedos**

Con los datos obtenidos de las precipitaciones medias mensuales de las 4 estaciones, se determinó en la hoja de cálculo de Excel los meses secos y húmedos usando la función SI, siendo una de las funciones lógicas, para devolver un valor si una condición es verdadera o es falsa. Posterior, a ello representamos en un gráfico de barra de los meses secos y húmedos durante del período 1991-2021.

2.9. Constucción e Instalación de Freatímetros

2.9.1. Materiales

- Tubos PVC 4"
- Tapas de tubos PVC
- Sierra para cortar tubo PVC
- Cinta métrica
- Hoyadora

2.9.2. Colocación del Freatímetros

Previa a la colocación de la columna de tubo PCV PVC 4'', se debe rayurar el tubo PVC a 8 cm de distancia desde el inicio del tubo hasta 1,40 m del tubo siguiendo el estudio realizado por (URRUCHI, 2018, pp.23-25).

- Se realiza un pozo con la hoyadora de unos 10 cm de diámetro y de 1,45 m de profundidad.
- Colocar el tubo PVC 4'' rayurado, enterrarlo dejando unos 85 cm sobre la superficie.
- Retirar el agua que ingresó y posteriormente colocar la tapa previamente etiquetada ESPOCH-MAE-P.
- Dejamos en reposo durante un mes previo a la toma de muestra. Dejamos desde el mes de octubre del 2021.

2.9.2.1. Toma del nivel del freatímetro

En el mes de diciembre de 2021, enero y febrero del 2022, se realizó la medición del nivel freático descrito por (URRUCHI, 2018, pp.23-25):

- Abrimos el tubo freático, y con el freatímetro o cinta métrica medimos la distancia con el contacto en el agua.
- Calculamos el nivel freático mediante una diferencia entre la primera medición del contacto con el agua y la profundidad del agua de poro.



Figura 6-2. Medición del nivel freático

Realizado por: Aucancela, J & Vivas, M, 2022.

2.9.2.2. Representación gráfica de los niveles del manto freático

El mapa de niveles freáticos del agua subterránea del sistema palustre de la Laguna de Antejos a partir de vectores otorgados por el Grupo de Investigación Desarrollo para el Ambiente y Cambio Climático (GIDAC), y el modelo de elevación digital se procedió con el desarrollo del mapa base, estos procesos se llevaron a cabo con la ayuda de ArcGIS. Para la determinación de los parámetros físicos: área, perímetro fueron calculados directamente a través de la tabla de atributos, mediante la herramienta Add file y Calculate Geometry.

La longitud máxima de la cuenca y el ancho de la cuenca fueron determinados mediante la herramienta de medición. Para las curvas de recesión se seleccionó un intervalo vertical adecuado entre curvas, acorde a la pendiente del nivel freático, en terrenos planos un intervalo recomendable es 25 a 50 cm. En terrenos con pendiente el intervalo vertical puede aumentarse hasta 1 ó 2 m, debe incluir también la cota del agua en cualquier superficie de agua libre que esté directamente conectada con el nivel freático. Para los planos de isoprofundidad se trazó curvas que unen puntos que tienen igual profundidad al nivel freático, las áreas comprendidas entre dos líneas de isoprofundidad indican que el nivel freático (Coras, Ontiveros, & Diakite, 2014, págs. 542-547).

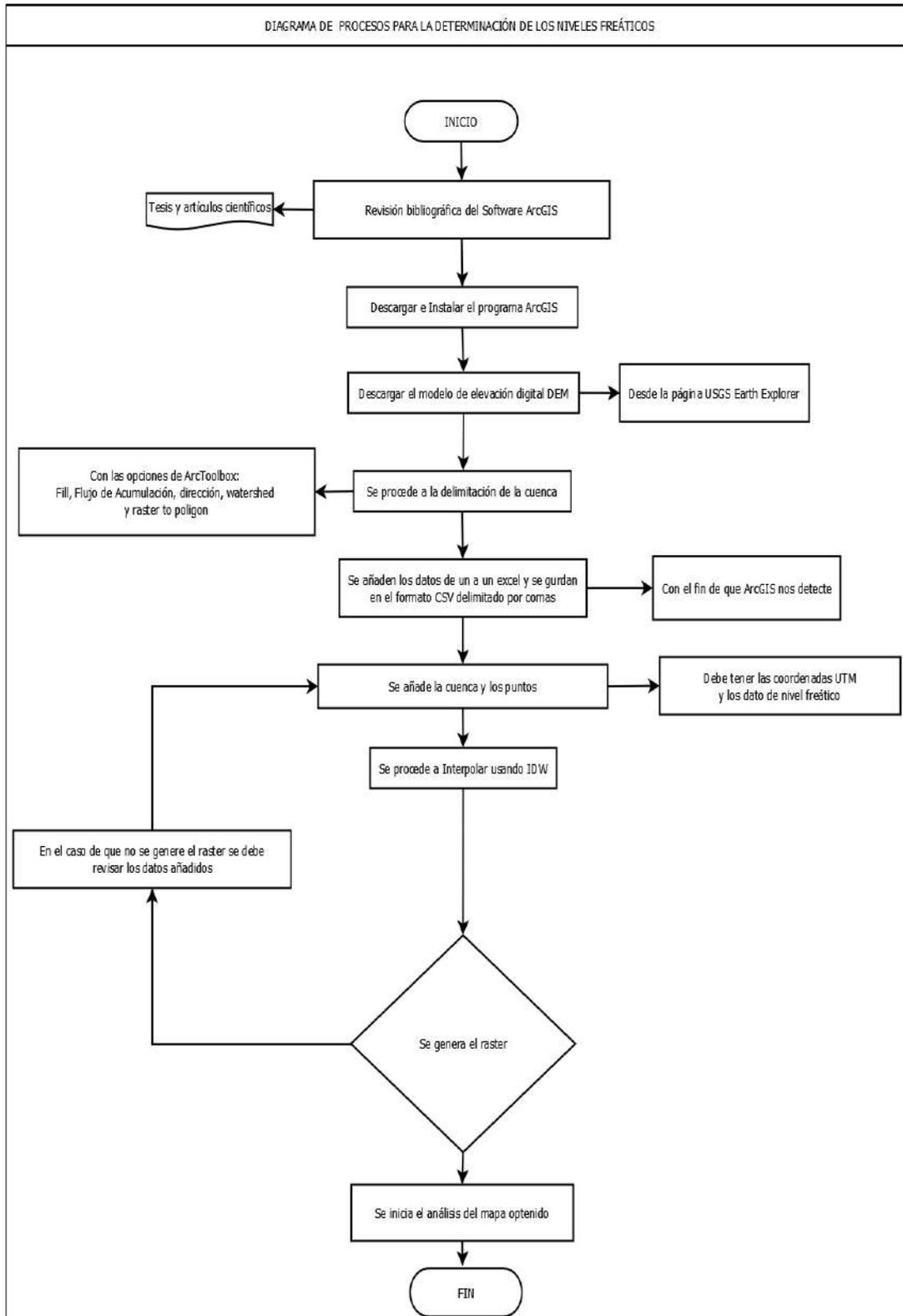


Figura 7-2. Diagrama de procesos para la interpolación de los datos en ArcGIS

Realizado por: Aucancela, J & Vivas, M, 2022.

2.9.2.3. Representación gráfica del movimiento del agua

- Las líneas de flujo del agua subterránea modeladas a partir de diferencias de las pendientes del techo freático (datos piezométricos) a través del software ArcGIS.
- Descargarse un DEM de la representación raster de la superficie de la zona de estudio.
- Con la herramienta XY To line, se realizó el mapa de flujos.

2.10. Recolección y toma de muestras del agua intersticial

2.10.1. Materiales de campo

- GPS Garmin
- Gotero
- Balde
- Botellas cilíndricas de vidrio ámbar 500 ml
- Ácido Nítrico 10 ml
- Marcador
- Trapo pequeño
- Cinta scotch
- Estilete
- Cooler
- Etiquetas para las botellas ámbar
- Libreta de apuntes

2.10.1.1. Toma de la muestra en agua intersticial

La toma de muestras se efectuó bajo los parámetros de Norma Ecuatoriana INEN 2169:1998 Agua, calidad del agua, muestreo, manejo y conservación de muestras, siguiendo los siguientes pasos:

- Se retira la primera capa de agua y colocamos en la tapa del tubo para medir parámetros como pH, conductividad eléctrica y temperatura
- Se recolecta toda el agua intersticial en un balde, posteriormente se metió dos botellas de ámbar de 500 ml, una muestra para el análisis de cationes y otra para aniones.

Con el fin de conservar la muestra de agua para el análisis de cationes se colocó 10 gotas de ácido nítrico en una botella ámbar, posteriormente cerramos con la tapa.



Figura 8-2. Muestreo de Agua Intersticial

Realizado por: Aucancela, J & Vivas, M, 2022.

2.10.1.2. *Identificación de la muestra*

A cada una de las botellas ámbar con muestra de agua, se le colocó una etiqueta con la siguiente información:

- Fecha y hora de muestreo
- Punto: ESPOCH-MAE-P

2.10.1.3. *Conservación y transporte de la muestra*

Las muestras se transportaron en una caja fría, este contiene hielo y se conserva a 4 ° C, el análisis de agua para aniones se realizó dentro de las 24 horas posteriores al muestreo.

2.11. Análisis de parámetros

2.11.1. Parámetros in situ

Se midieron aquellos parámetros que pueden ser determinados en el lugar de muestreo. Con la ayuda del Multiparamétrico HQ9908 que cuenta con 6 sondas, sin embargo, vamos a describir de 3 sondas que fueron utilizadas: 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 $\pm 3\%$ y conductividad eléctrica 0-199,9 μ S/cm con precisión $\pm 1 \mu$ S/cm, que previamente a su uso fue calibrado.



Figura 9-2. Medición con el Multiparamétrico

Realizado por: Aucancela, J & Vivas, M, 2022.

2.11.1.1. Parámetros ex situ:

El análisis de las muestras de agua intersticial fue analizado en el Laboratorio de la Facultad de Ciencias y el Laboratorio del Grupo de Investigación y Desarrollo para el Ambiente y Cambio Climático (GIDAG) de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Se determinó los elementos metálicos (Na^+ , K^+ , Mg^{++} , Ca^{++} y Al^{+++}) y aniones (SO_4^{2-} , NO_3^- , NO_2^- , PO_4^{3-}) del agua de poro, a través de los equipos de espectrofotometría de absorción atómica (EAA), y espectrofotómetro de HANNA cumpliendo con normas y procedimientos propios para el análisis de aguas.

Tabla 3-2: Materiales, equipos y reactivos

MATERIALES	EQUIPOS	REACTIVOS
Embudo	Multiparamétrico HQ9908	Ácido Nítrico
Vasos de precipitación de 100 ml	Unidad de filtración	Agua Destilada
Pipetas de 1,5, y 10 ml	Espectrofotómetro de HANNA	Agua Ultrapura
Balones de aforo de 50, 100 y 1000 ml	Espectrometría de llama	Estándares de Ca ⁺⁺
Pera de succión		Estándar de Na ⁺
Papel Filtro		Estándar de Al ⁺⁺⁺
Mandil		Estándares de K ⁺
Guantes quirúrgicos		Estándares de Mg ⁺⁺

Realizado por: Aucancela, J & Vivas, M, 2022.

2.11.1.2. Determinación de cationes

Utilizando el procedimiento indicado en (Standard Methods for The Examination of Water and Wastewater, 2012, pp. 3-100), este procedimiento se basa en el principio demostrado por kirchhoff el cual dice cualquier materia que pueda emitir luz a una cierta longitud de onda, también absorberá luz a esa longitud de onda (Alfaro, 2014, pp. 98).

$$(1) \quad C_1 V_1 = C_2 V_2$$

Donde:

C₁: Concentración de la solución concentrada (solución inicial)

V₁: Volumen necesario de la solución concentrada

C₂: Concentración de la solución diluida (solución final)

V₂: Volumen final de la solución diluida

Para determinar específicamente los cationes Na⁺, Al⁺⁺⁺, K⁺, Mg⁺⁺ y Ca⁺⁺, procedemos a leer la transmitancia en el espectrofotómetro de Adsorción Atómica, usamos una curva calibrada, cuyo estándar más alto es de 50 ppm Ca⁺⁺, las concentraciones fueron diluidas debido a que superaron el rango del espectro, por medio de una micropipeta en 50 ml de agua doblemente desionizada, las concentraciones utilizadas fueron 0.4 ppm, 0.8 ppm, 1.6 ppm, 2 ppm y 4 ppm de Ca⁺⁺.

Para la determinación de Magnesio, se realizó lo mismo que el Ca^{++} , las concentraciones utilizadas fueron 5 ppm, 10 ppm, 20 ppm, 40 ppm y 50 ppm de Mg^{++} . De la misma forma, para el Sodio las concentraciones utilizadas fueron 0.2 ppm, 0.4 ppm, 0.8 ppm, 1.6 ppm y 2 ppm.

Similarmente, se realizó el mismo procedimiento descrito del Ca^{++} , las concentraciones de Potasio utilizadas fueron de 0.4 ppm, 0.8 ppm, 1.6 ppm, 2 ppm y 4 ppm, finalmente, en cambio, las concentraciones de Aluminio utilizadas fueron de 5 ppm, 10 ppm, 20 ppm, 40 ppm y 50 ppm.

Tabla 4-2: Métodos usados para la medición de parámetros ex situ

PARÁMETRO	MÉTODO
Anión-Sulfato	ESPECTROFOTÓMETRO. Manual de Instrucciones Series C99 y C 200 Fotómetros, Multiparámetro de Sobremesa. HANNA instrumentos
Anión-Nitrito	ESPECTROFOTÓMETRO. Manual de Instrucciones Series C99 y C 200 Fotómetros, Multiparámetro de Sobremesa. HANNA instrumentos
Anión-Nitrato	ESPECTROFOTÓMETRO. Manual de Instrucciones Series C99 y C 200 Fotómetros, Multiparámetro de Sobremesa. HANNA instrumentos
Anión-Fosfato	ESPECTROFOTÓMETRO. Manual de Instrucciones Series C99 y C 200 Fotómetros, Multiparámetro de Sobremesa. HANNA instrumentos
Catión-Sodio	STANDARD METHODS 3111 B. Método de llama Aire-Acetileno directo. (Standard Methods 350-Na-B)
Catión-Potasio	STANDARD METHODS 3111 B. Método de llama Aire-Acetileno directo. (Standard Methods 350-k-B)
Catión-Calcio	STANDARD METHODS 3111 B. Método de llama Aire-Acetileno directo. (Standard Methods 350-Ca-B)
Catión-Magnesio	STANDARD METHODS 3111 B. Método de llama Aire-Acetileno directo. (Standard Methods 350-Mg-B)

Realizado por: Aucancela, J & Vivas, M, 2022.

2.11.2. Análisis de Datos de cationes y aniones

Una vez obtenidos los valores de las muestras de aguas del manto freático analizadas, se compara los parámetros mediante normativa vigente en el Ecuador, siendo esta la Norma de Calidad Ambiental y Descarga de efluentes: Recurso Agua, Libro VI, Anexo 1.

Los parámetros que fueron seleccionados para el análisis estadístico fueron las variables fisicoquímicas como pH, conductividad eléctrica, cationes y aniones presentes en el agua del manto freático de la Laguna de Antejos. Se determinó mediante estadística descriptiva y empleando los diagramas de caja (Box-plots) para ver su comportamiento respecto a la media y mediana. Armada la base de datos, se procedió a utilizar la prueba de normalidad de Shapiro al 5% para verificar si las variables son normales.

ANOVA utiliza la prueba F para determinar si la variabilidad entre las medias de los grupos es mayor que la variabilidad de las observaciones dentro de los grupos. La prueba del Test Diferencias mínimas significativas de Fisher (LSD), se utilizó para crear intervalos de confianza para todas las diferencias en parejas entre las medias de los niveles de los factores, controlando al mismo tiempo la tasa de error individual en un nivel especificado.

2.11.3. Indicadores de la calidad del agua

2.11.3.1. *Cálculo de la relación de adsorción de sodio (RAS)*

Para realizar la determinación del índice de RAS en la Laguna de Antejos en los meses de diciembre de 2021, enero y febrero del 2022, con los datos de las concentraciones de Mg^{2+} , Ca^{2+} y Na^+ en meq/L, es posible determinar la sodicidad (Betancout & Tartabull, 2017). Para ello debemos aplicar la siguiente ecuación:

$$(7) \text{ RAS} = \frac{Na}{\sqrt{\frac{(Ca+Mg)}{2}}}$$

Donde:

- **RAS:** Relación de adsorción de sodio (adimensional)
- Na^+ , Ca^{++} y Mg^{++} Cationes en (meq/l).

2.11.3.2. *Análisis de datos del RAS*

Representamos en gráficos de barras el RAS obtenido en los meses de diciembre, enero y febrero. Realizando un análisis de acuerdo con la norma de Riverside, es posible determinar la calidad de agua y establecer si es apta para riego, para ello se va utilizar criterios de dos autores, en la siguiente tabla se muestran los valores de clasificación de agua de riego según su RAS.

Tabla 5-2: Criterios de calidad del agua a partir de valores de la RAS

Según Cánovas (1986)		Según Richards (1954)
RAS	Riesgo de sodicidad	Criterio de uso de calidad
< 10	Bajo	Excelente
10-8	Medio	Buena
18-26	Alto	Dudosa
> 26	Muy alto	No recomendable

Fuente: Acosta García & Salvadori Verón, 2017; citado por Rodríguez et al., 2022.

Realizado por: Aucancela, J & Vivas, M, 2022.

CAPÍTULO III

3. MARCO DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

3.1. Determinación climatológica de la zona de estudio del período 1991-2021

A partir del procesamiento de datos de las estaciones meteorológicas, las cuales son Saquisilí (M0375), Patate (M0126), Pujilí (M1219) y Tena Chaupi Shungo (M1210), cercanas a la zona de estudio se define el clima del Parque Nacional de Llanganates, por medio de datos de las precipitaciones y temperaturas medias mensuales y medias anuales del período de 1991-2021.

3.1.1. Precipitación media mensual de 1991-2021

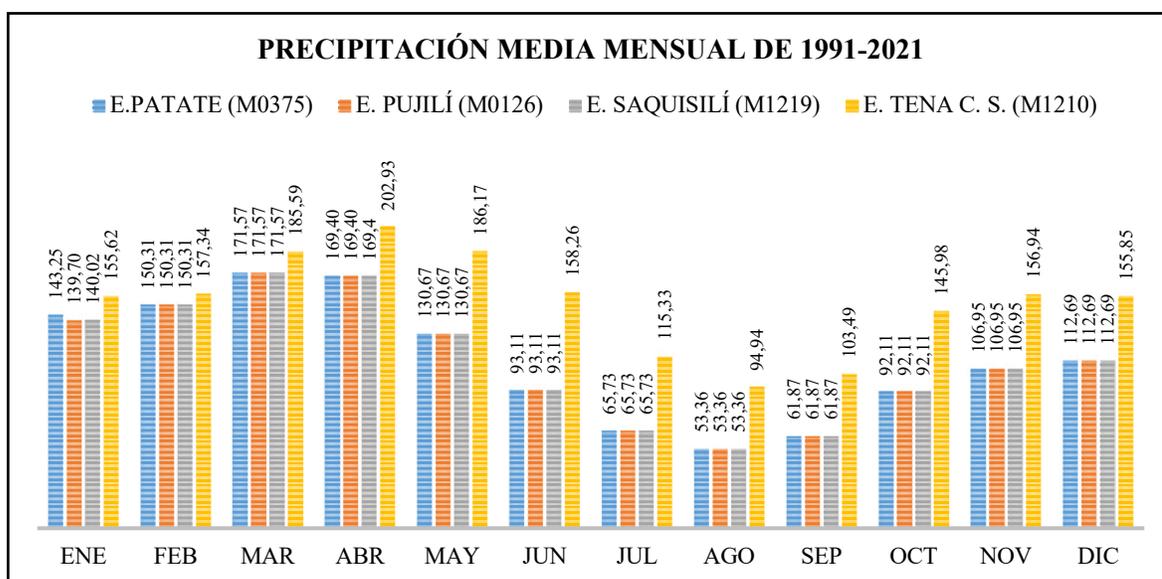


Gráfico 1-3. Precipitación (mm) media mensual del período de 1991-2021

Realizado por: Aucancela, J & Vivas, M, 2022.

En el Gráfico 1-2, se detallan los resultados de la precipitación media mensual del período de 1991 – 2021. Las concentraciones de la precipitación media mensual de mayor concentración se encuentran en estación M1219, oscilando entre 155.62 mm – 202.93 mm en el mes de enero y abril respectivamente. Por el contrario, en la estación M0375 presenta menores concentraciones de precipitación, con valores entre 53.36 mm - 61.87 mm en los meses de agosto y septiembre.

3.1.2. Temperatura media mensual de 1991-2021

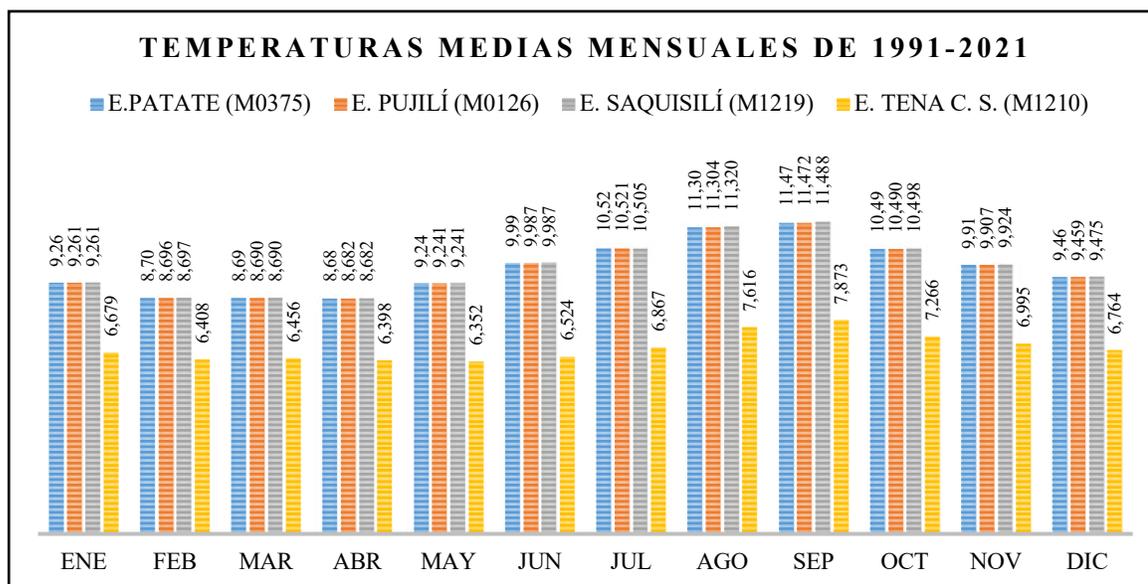


Gráfico 2-3. Temperaturas medias mensuales de cuatro estaciones

Realizado por: Aucancela, J & Vivas, M, 2022.

En el Gráfico 2-2, se observa la temperatura media mensual del Parque Nacional Llanganates, en donde, la temperatura media mensual máxima fue registrada en la estación de M0375, M1219 y M0126 en el mes de septiembre, oscilando entre 11.47 °C - 11.47 °C, posteriormente, el valor mínimo en temperatura media mensual fue registrado en la estación M1210. en el mes de mayo con un valor de 6.35 °C.

3.1.3. Precipitación y temperatura anual del período de 1991-2021

A partir de los datos obtenidos de precipitación y temperatura media mensual del período de 1991-2021, se obtuvo los datos de las medias anuales de ambos parámetros, para poder describir la variación que tiene el clima en la zona de estudio, la representamos a continuación en mapas de isoyetas e isotermas

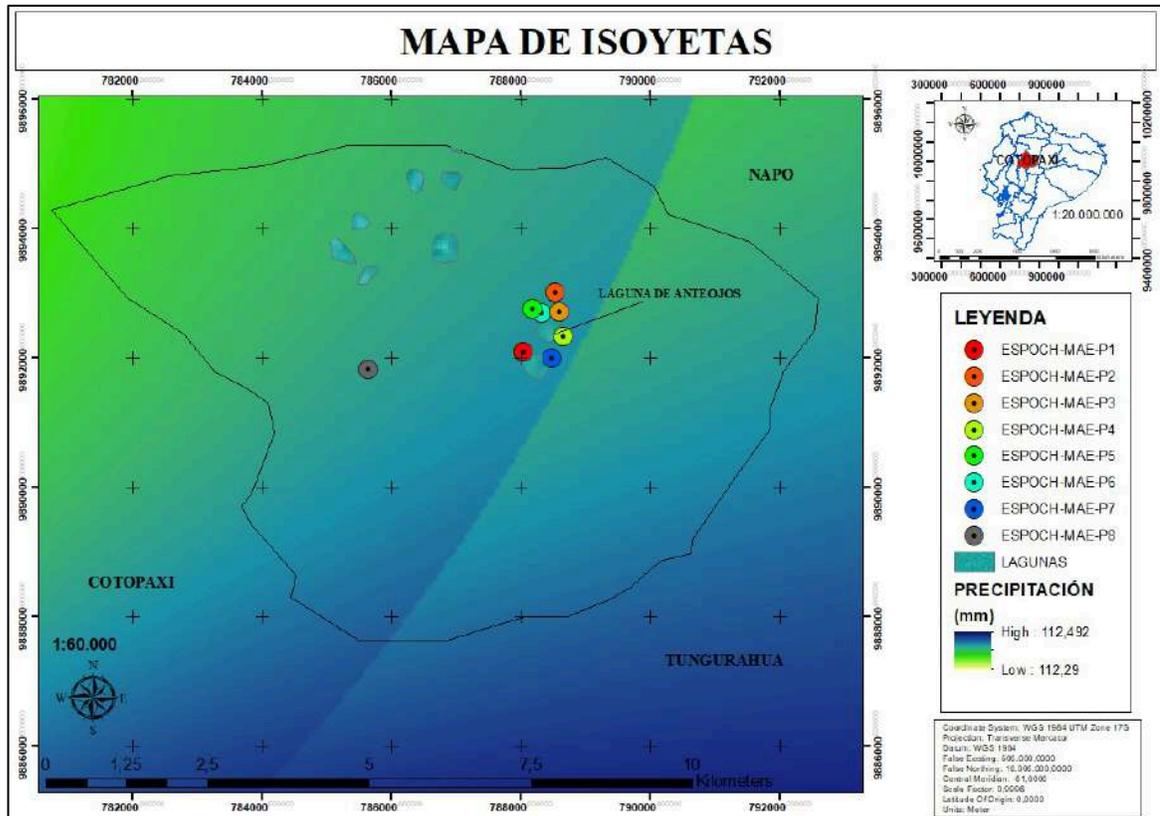


Figura 1-3. Mapa de Isoyetas del área de estudio

Realizado por: Aucancela, J & Vivas, M, 2022.

En la Figura 1-3, se observa con dos coloraciones de amarillo hasta azul la precipitación media anual del Parque Nacional Llangates fluctúa entre 112,29 mm – 112,49 mm del período de 1991-2021, demostrando que en aproximadamente el 90 % del tiempo pasa lloviendo. La altitud es uno de los factores que influyen en la cantidad de lluvias, se registra en la Figura 4-2, la altura de la zona de estudio va desde los 3500 m.s.n.m – 4000 m.s.n.m. Gran parte de la precipitación registrada en zonas de alta montaña escurre y no infiltra en el suelo por las constantes lluvias (Ministerio del Ambiente, 2015).

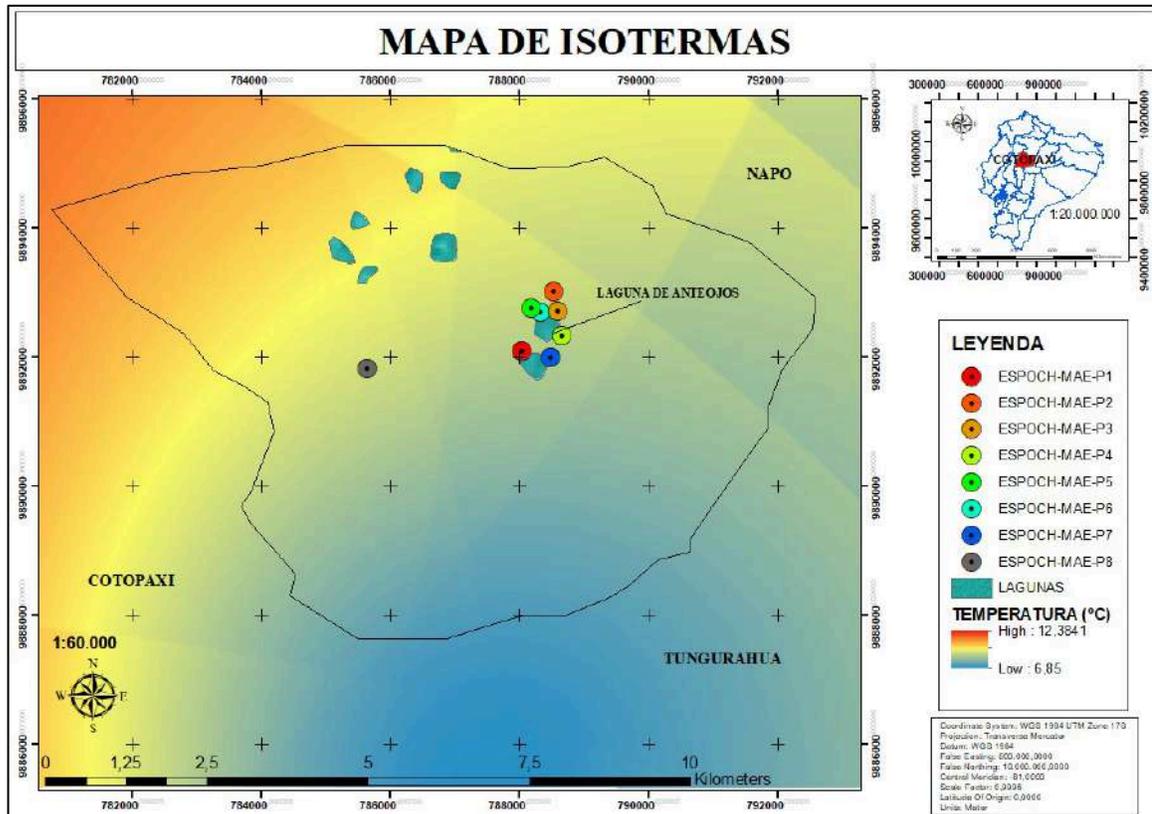


Figura 2-3. Mapa de Isotermas del área de estudio

Realizado por: Aucancela, J & Vivas, M, 2022.

En la Figura 2-3, observamos tres coloraciones desde azul, amarillo y naranja, indicando que la temperatura media anual oscila entre 6.85 °C- 12, 38 °C del período de 1991-2021, es decir, que la mayor parte del tiempo existen temperaturas frías, debido a que son zonas altas de páramo la temperatura baja a mayor altitud.

En síntesis, el clima del Parque Nacional Llanganates en el período de 1991-2021, aproximadamente el 90 % del tiempo es frío, en definitiva, la altitud en la se encuentra la zona de estudio es la responsable de que las precipitaciones aumentan y temperaturas bajen. Comparando con información de evolución interanual de precipitación y temperatura en zonas de páramo en montañas altas, se encuentra dentro del rango de precipitación media anual con un valor de 173,6 mm y temperatura media anual menor a 10 °C (Ministerio del Ambiente, 2015) .

3.1.4. Determinación de los meses secos y húmedos

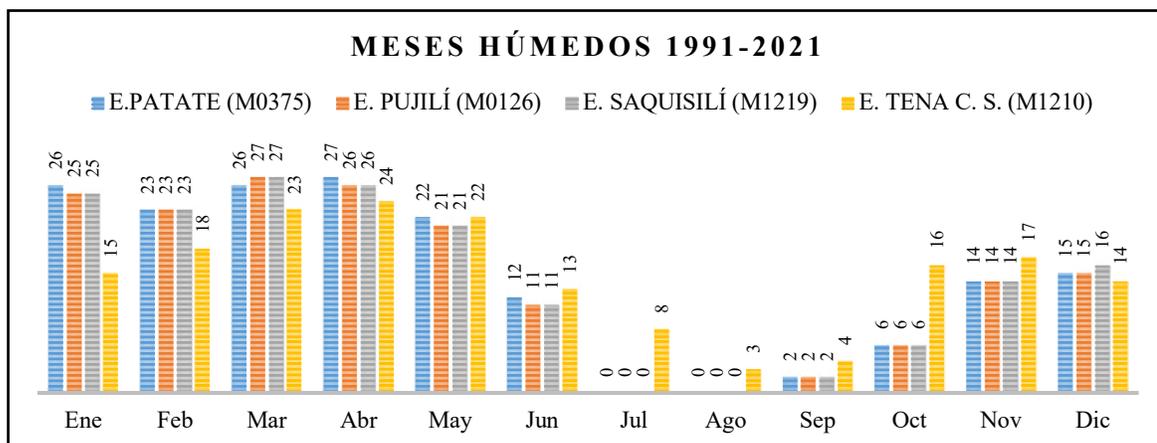


Gráfico 3-3. Estación húmeda en un período de tiempo de 1991-2021

Realizado por: Aucancela, J & Vivas, M, 2022.

En el Gráfico 3-3, se observa que las mayores precipitaciones en el Parque Nacional Llanganates en el período de 1991-2021, estos se dan en los meses de: enero, febrero, marzo, abril y mayo, con valores que oscilan 155,62 mm, 157,34 mm, 185,59 mm, 202,93 mm y 186,17 mm respectivamente, corrobora los datos el Gráfico 1-3.

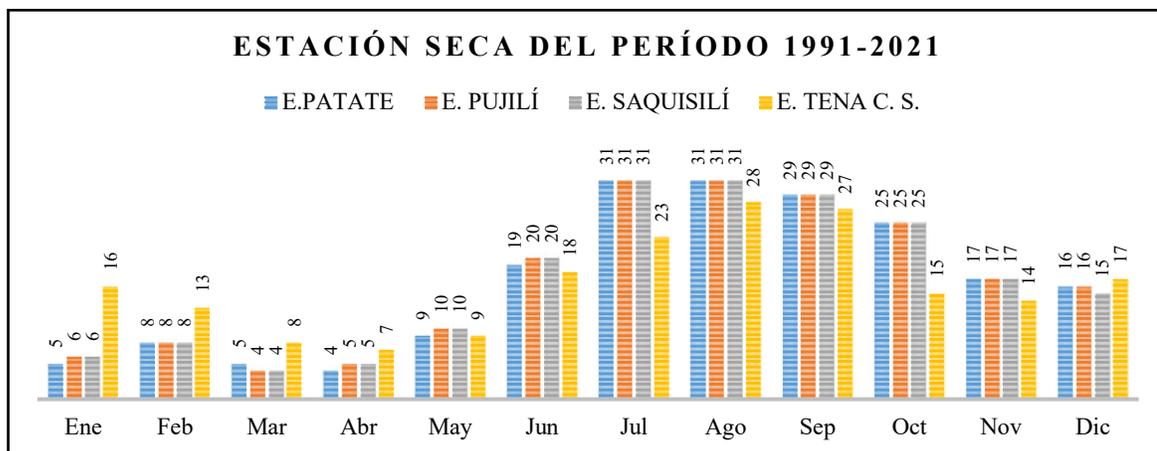


Gráfico 4-3. Estación seca en un período de tiempo de 1991-2021

Realizado por: Aucancela, J & Vivas, M, 2022.

El Gráfico 4-3, representa las menores precipitaciones del área de estudio, estos se presentaron en los meses de junio, julio, agosto, septiembre y octubre, cuyos valores fueron 93,11 mm, 65,73 mm, 53,36 mm, 61,87 mm y 92,11 mm respectivamente, corrobora los datos el Gráfico 1-3.

En los tres meses de monitoreo en el Parque Nacional Llangantes específicamente Laguna de Anteojos, se determinó, por medio del análisis de datos del período 1991-2021, el mes de diciembre de 2021 es un mes con menor precipitación, por lo cual, es considerado como mes seco, por el contrario, en los meses de enero y febrero de 2022 debido a que presenta las mayores fluctuaciones les consideramos como meses húmedos.

3.2. Nivel Freático

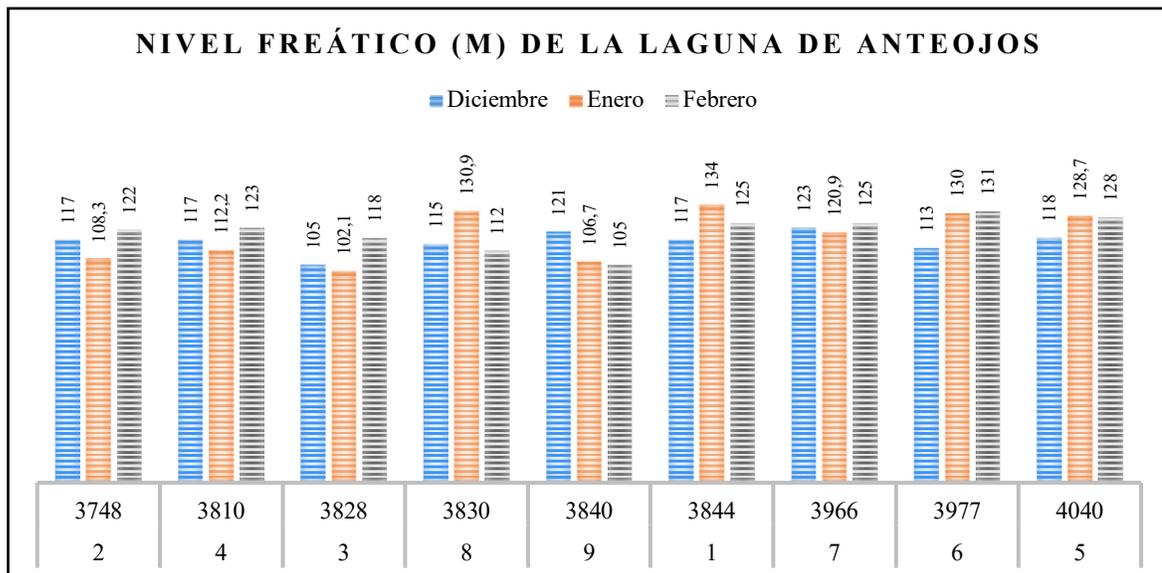


Gráfico 5-3. Niveles freáticos (m) de los 9 pozos piezométricos de la Laguna de Anteojos

Realizado por: Aucancela, J & Vivas, M, 2022.

El Gráfico 5-3, muestran los niveles freáticos obtenidos de los 9 pozos piezométricos en el mes de diciembre de 2021, enero y febrero del 2022, estos se encuentran representados en orden altitudinal del pozo piezométrico de menor altitud al de mayor altitud. Los valores de profundidad del nivel freático varían debido, a las estaciones de un año a otro, porque la adición de agua al sistema de aguas subterráneas está estrechamente relacionada con la cantidad, la distribución y la frecuencia de las precipitaciones (Urruchi, 2018, pp. 21-26). En el mes de diciembre se obtuvo valores que oscilan entre 113 m – 123 m, en el mes de enero desde 105 m - 130 m y por último el mes de febrero presenta valores de 112 m- 131 m.

En el siguiente Figura 3-3, se observa los niveles freáticos que van desde la coloración verde que presenta descenso del nivel freático, por el contrario, la coloración blanca representa un mayor nivel freático.

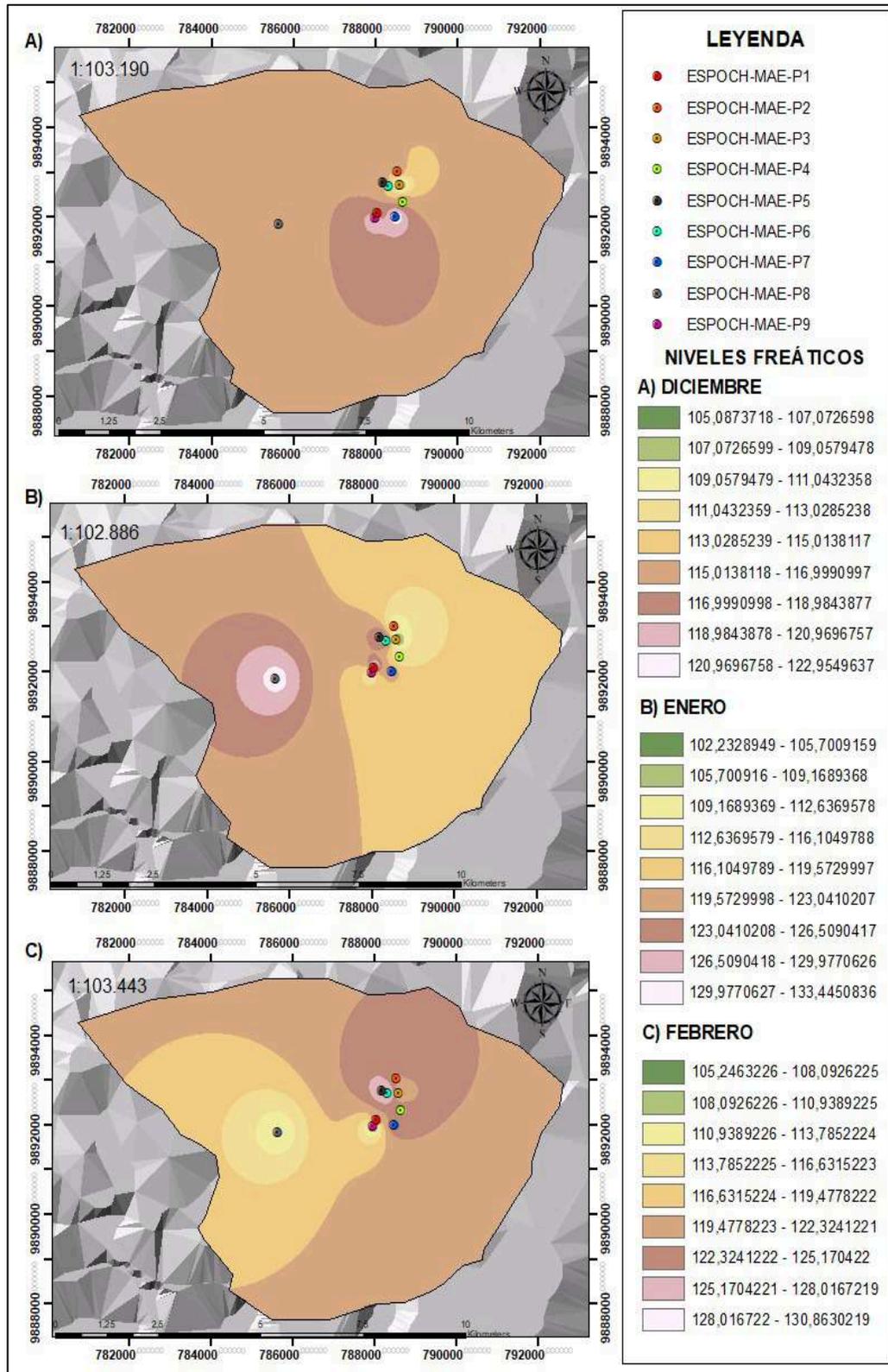


Figura 3-3. Niveles freáticos del mes de diciembre, enero y febrero

Realizado por: Aucancela, J & Vivas, M, 2022.

En el mes de diciembre, el menor nivel freático se registra en el punto P3 con un valor de 107,07 m - 109,16 m, esto debido, a la zona topográfica en la que se encuentra, con una altitud de 3820, en zonas topográficas bajas el nivel freático desciende (Urruchi, 2018, pp. 21-26), por el contrario, el mayor nivel freático se encuentra en el P7 con un valor que oscila 120.96 m -122.95 m, seguido por el P9 con un valor de 118,98- 120.96 m.

En el mes de enero se registró el mayor nivel freático en el P8 con un valor de 129,97 m -133, 44 m, debido a las constantes lluvias existió un ascenso de agua, mientras tanto, en el punto P3 se obtuvo el menor nivel freático con un valor que oscila entre 105,70 m -109,16 m. Finalmente, para el mes de febrero el mayor nivel freático se presenta en los puntos P5 y P6 con valores que oscilan entre 125,17 m – 130, 86 m, por otro lado, en los punto P8 y P9 tienen menores niveles freáticos de 110,93 m – 113,78m.

3.2.1. *Movimiento del agua superficial*

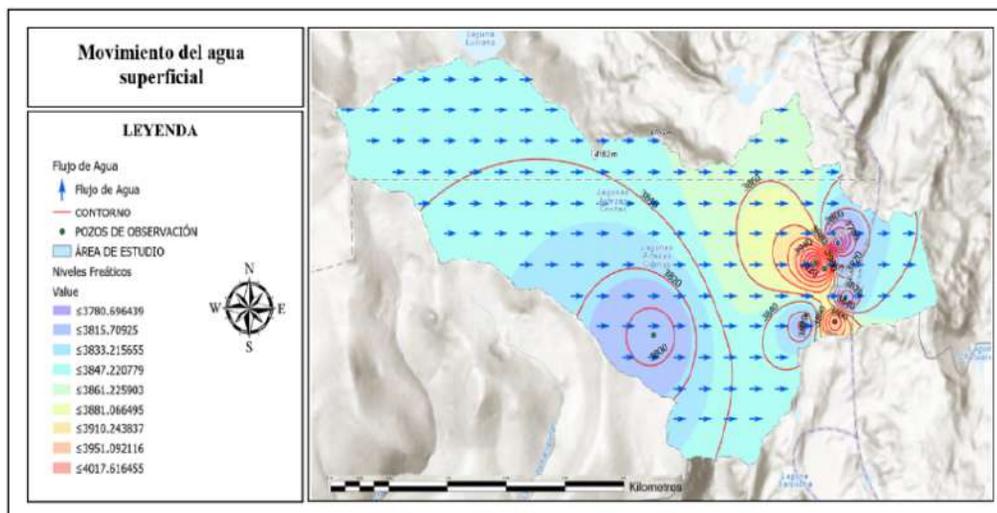


Figura 4-3. Movimiento superficial del agua con dirección horizontal (noreste)

Realizado por: Aucancela, J & Vivas, M, 2022.

La figura 4 – 3, en el sub-suelo el agua fluye en dirección horizontal (noreste), el agua generalmente se mueve de las áreas de mayor altura a las de menor altura, es decir, se observa con una coloración rosada correspondiente a los puntos P7, P6 y P5 con alturas de 3966 m.s.n.m, 3997 m.s.n.m y 4040 m.s.n.m respectivamente, estas se mueve hacia menores alturas almacenandose el agua en el herbazal inundable de páramo, caracterizado por tener una vegetación que forma parches aislados de vegetación flotante o se almacena en nuevos ojos de agua pequeños.

3.3. Análisis de calidad del agua del manto freático

3.3.1. Análisis *in situ*

Con el Test ANOVA de un factor, se utilizó para examinar si los valores de las medias de cada una de las variables son significativamente diferentes partiendo de un valor de significancia menor a 0.05 que es el más comúnmente aplicado (Matamoros, 2022, pp. 26-30).

3.3.1.1. pH

El pH medio de la zona de estudio es de $6,14 \pm 0,504$, la variabilidad por cada punto nos muestra una media más alta en el punto ESPOCH-MAE-P5 que corresponde a un ojo de agua pequeño con un valor de $6,67 \pm 0,0681$ y el mínimo en los puntos ESPOCH-MAE-P1 con un valor de $4,98 \pm 0,0608$ y ESPOCH-MAE-P8 con un valor de $5,26 \pm 0,0173$.

Respecto al análisis mensual, observamos que el valor de la media más alta se encuentra en el mes de enero con un valor de $6,26 \pm 0,555$, en el mes de diciembre es considerado seco presento menor temperatura lo cual favoreció que el pH aumente, caso contrario ocurrió en los meses de enero y febrero que presentaron menor temperatura y mayor precipitación.

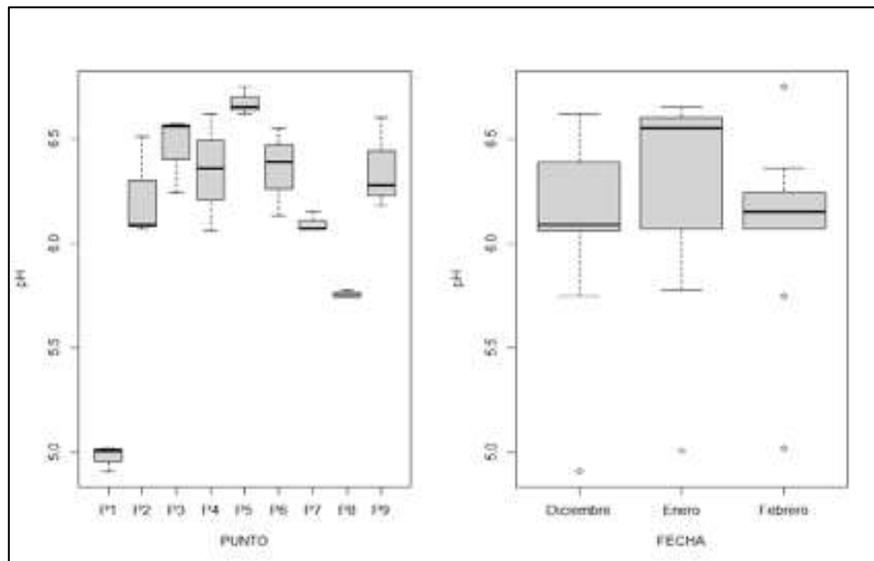


Gráfico 6-3. Diferencias Significativas de la media del pH con ANOVA

Realizado por: Aucancela, J & Vivas, M, 2022.

Comparando con la normativa de Calidad y descarga de efluentes: Recurso Agua, los puntos P1 y P8 presentan un pH ligeramente ácido debido, a que en esos puntos fueron afectados por actividades humanas de ecoturismo en el mes de enero sacaron la tapa de pozo freático, estos no se encuentran dentro del límite para aguas de uso agrícola el rango está entre 6-9 de acuerdo con la tabla 6 del anexo 1, libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente.

3.3.1.2. Conductividad eléctrica

La conductividad eléctrica del manto freático de la Laguna de Antejos tiene una media de 82.9 ± 65.1 , la variabilidad por cada punto nos muestra una media más alta en el punto ESPOCH-MAE-P4 que corresponde a dos lagunas que se encuentran separadas por una pequeña prolongación dando la forma tan similar a los anteojos por esta razón su nombre con un valor de 183 ± 82.0 debido a esto existe mayor arrastre de concentración de iones disueltos en el agua. La media más baja se encontró en los puntos P1, P2, P5, P6 y P9 con los siguientes valores de 55.3 ± 1.53 , 34.7 ± 1.53 , 43.3 ± 14.5 , 54 ± 34.1 y 47 ± 32.2 respectivamente, conforme, la ubicación de los estos puntos no existió mayor arrastre de iones disueltos del suelo hacia el agua.

Respecto al análisis mensual, la media más alta se encuentra en el mes de diciembre, con un valor de 61.3 ± 46.3 , debido al aumento de temperatura aumenta la CE y al ser un mes seco se presentaron valores más altos de CE, por otro lado, existió una gran variación en los meses de enero y febrero al ser húmedos.

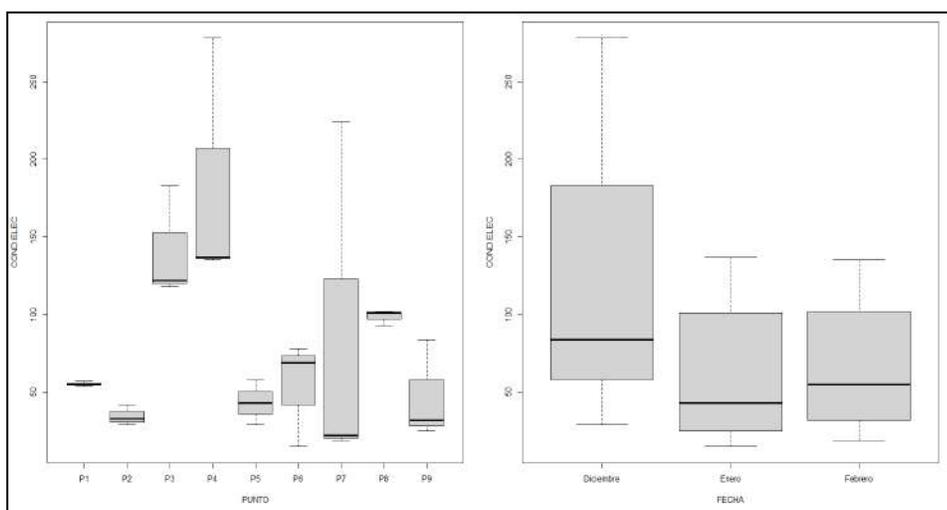


Gráfico 7-3. Diferencias significativas de la Conductividad Eléctrica con ANOVA

Realizado por: Aucancela, J & Vivas, M, 2022.

Los puntos ESPOCH-MAE-P3 y ESPOCH-MAE-P4 presenta una diferencia altamente significativa de 141.00 y 183.33 respectivamente, debido a los tiempos en los cuales se hicieron los muestreos y el arrastre de iones del suelo. La temperatura del agua afecta a la conductividad eléctrica, de forma que su valor aumenta de un 2 a un 3% por grado Celsius (Lenntech, 2009; citado en Batidas & Tapia, 2017, pp. 30-31), es por ello que se obtuvo concentraciones de CE mayores que en los otros puntos. Por otro lado, los puntos ESPOCH-MAE-P1, ESPOCH-MAE-P2, ESPOCH-MAE-P5, ESPOCH-MAE-P6 y ESPOCH-MAE-P9 presentan una leve significancia con valores de 55.33, 34.66, 43.33, 54.00 y 47.00 respectivamente.

Tabla 1-3: Valor de significancia de C.E.

Variable C.E.	P
PUNTO	0.00724
FECHA	0.018002

Realizado por: Aucancela, J & Vivas, M, 2022.

Hay una diferencia altamente significativa entre los puntos analizados $p < 0.05$, en este caso indica que al menos uno de nuestros puntos y fechas, específicamente el punto 8 con un valor de 0.00724 y en el mes enero con un valor de 0.018002, es distinto del resto por lo que se procedió a realizar el Test Diferencias mínimas significativas de Fisher (LSD) agrupando en intervalos de confianza las medias, en consecuencia, los puntos ESPOCH-MAE-P3 y ESPOCH-MAE-P4 forman un grupo de datos altos, mientras que el resto forman el grupo de datos (c) es decir, no son significativamente diferentes.

3.3.2. *Análisis ex situ*

3.3.2.1. *Cationes*

En el siguiente Gráfico 6-3, se empleó los diagramas de caja (Box-plots) mediante el estadístico ANOVA usando el software R Studio, con el fin de observar el comportamiento de las medias de los cationes representados en unidades de (mg/L) de los nueve pozos piezométricos.

- **Análisis de cationes Sodio, Potasio, Magnesio, Calcio y Aluminio por la variable punto**

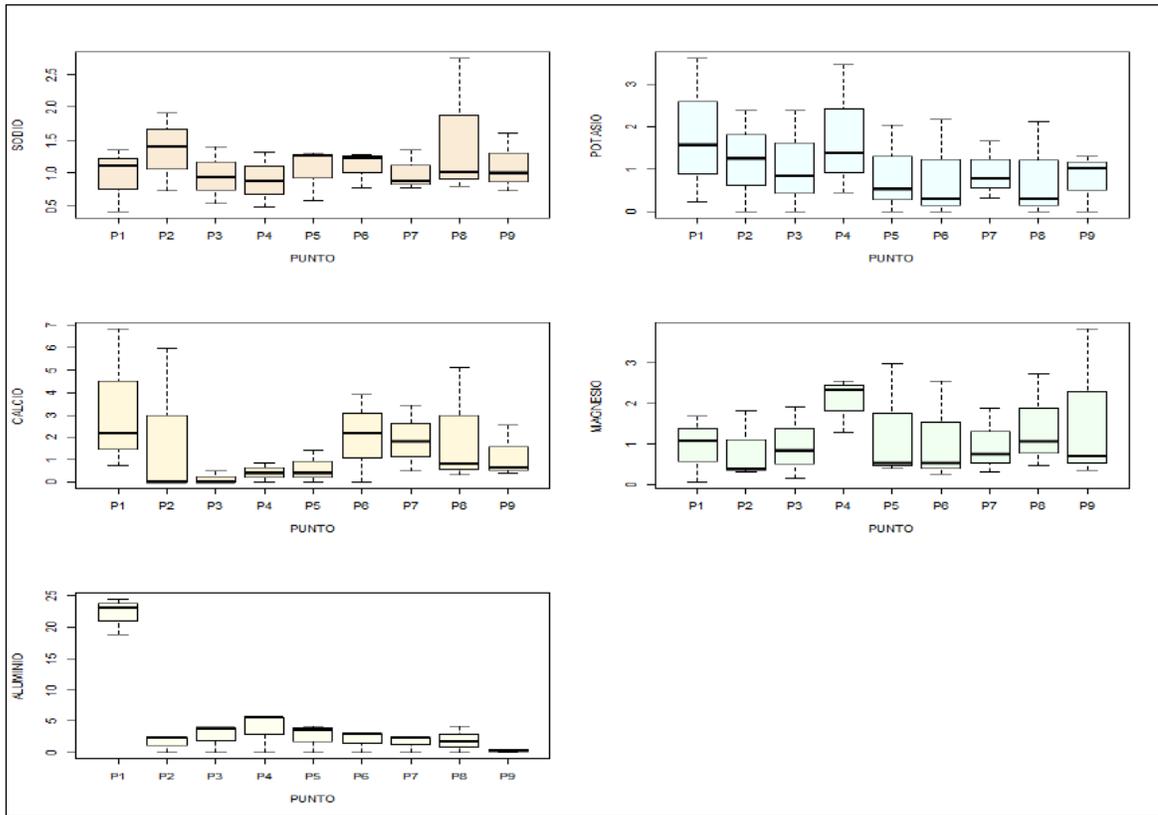


Gráfico 8-3. Gráfico de bigotes de las medias de los cationes por punto con ANOVA

Realizado por: Aucancela, J & Vivas, M, 2022.

El peligro de tener agua con elevado catión sodio se debe a que este elemento es considerado tóxico, es responsable de la impermeabilización de los suelos (Quispe, 2016, pp. 50-51) el sodio presenta un promedio de 1.104 mg/L (± 0.4936), la media máxima corresponde al punto ESPOCH-MAE-P8 con un valor de 1.52 mg/L. De acuerdo con la tabla 7 del anexo 1, libro VI del texto Unificado de Legislación Secundaria del Medio Ambiente parámetros de los niveles guía de la calidad del agua para riego, establece que el límite de sodio para aguas superficiales es de 9 meq/L, las concentraciones de sodio del agua del manto freático de la Laguna de Antejos está por debajo del límite de peligro.

El nivel promedio del catión potasio es de 1.120 (± 1.1469), mientras que sus medias máximas se presentan en los puntos ESPOCH-MAE-P1 y ESPOCH-MAE-P4 con unos valores de 1.81 mg/L y 1.77 mg/L respectivamente. Los parámetros que un agua debe reunir y los valores se obtiene de numerosos estudios por la FAO sobre riego y drenaje, y estudios que aún están en revisión, mencionan

que, los valores normales de potasio se encuentran de 0-2 mg/L, comparando con nuestros valores estos se encuentran dentro del rango (Monge, 2017).

El ión calcio juega un papel muy importante en regular la estructura y las propiedades físicas del suelo (Quispe, 2016, pp. 52-52), el promedio es de 1.522mg/L (\pm 1.7020) y las medias máximas corresponden a los puntos ESPOCH-MAE-P1, ESPOCH-MAE-P6 y ESPOCH-MAE-P8 con valores de 3.26, 2.04 y 2.09 mg/L respectivamente, esto puede ser debido a la formación geológica que se presenta en cada punto, estudios similares arrojaron valores entre 1,96 y 23 mg/L cumpliendo con las normas reglamentarios para uso doméstico y agrícola del agua (Madilonga et al., 2021, pp.1-16).

La dureza del agua es un indicador de la mineralización del catión magnesio, siendo este un nutriente esencial, el promedio fue de 1.256 mg/L (\pm 1.0883) y las concentraciones máximas se presentan en el punto ESPOCH-MAE-P4 con un valor de 2.06 mg/L. Según (Monge, 2017), varios estudios realizados por la FAO establecen el límite permisible del catión magnesio de 0-5 meq/L, transformando los valores que se obtuvo de mg/L a meq/L se encuentran dentro del rango establecido.

El catión aluminio tiene un promedio de 4.298 mg/L (\pm 1.9573) y una máxima media en el punto ESPOCH-MAE-P1 con un valor de 22.2 mg/L. Según la tabla 6 del anexo 1, libro VI del texto Unificado de Legislación Secundaria del Medio Ambiente criterios de calidad admisibles para aguas de uso agrícola, el aluminio tiene un límite máximo permisible de 5.0 mg/L por lo que el agua del manto freático en el punto ESPOCH-MAE-P1 no es apta para uso agrícola, lo que podría deberse a la abundante sedimentación en el pozo piezométrico y al impacto de las actividades antropogénicas como las ecoturísticas realizadas en la zona. En Las aguas superficiales y sedimentos están más cargados de metales pesados que las aguas subterráneas, los niveles de aluminio son más altos aguas arriba que aguas abajo (Kabriti et al., 2021, pp. 1-14).

- *Análisis de cationes Sodio, Potasio, Magnesio, Calcio y Aluminio por la variable de fecha*

En el siguiente gráfico se empleó los diagramas de caja (Box-plots), se presenta la variación de las medias de los cationes, las unidades se encuentran (mg/L) en los tres meses de muestreo:

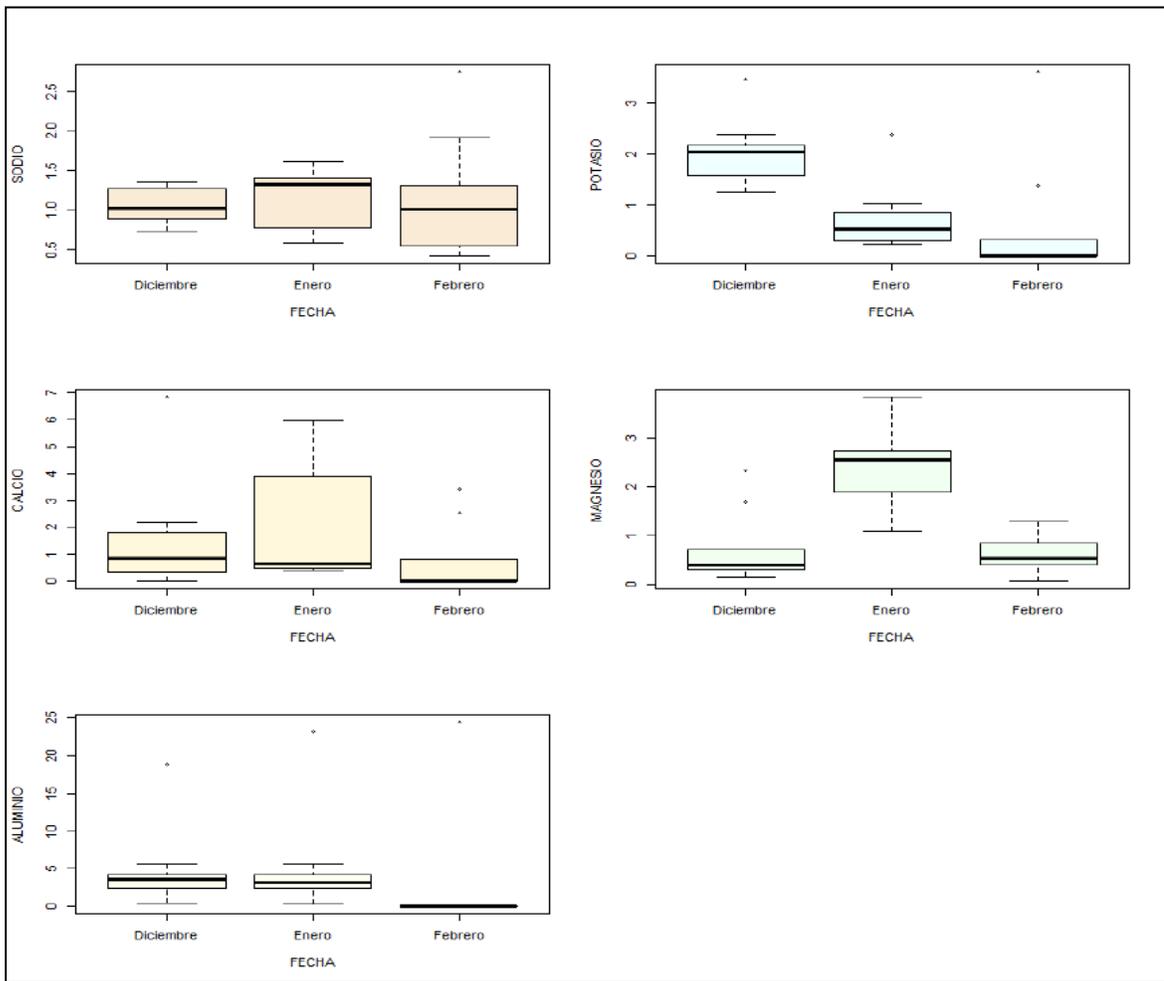


Gráfico 9-3. Gráfico de bigotes de las medias cationes por fecha con ANOVA

Realizado por: Aucancela, J & Vivas, M, 2022.

El catión sodio aumenta en época húmeda comprendida los meses de enero y febrero, llegando a obtener valores de 1,11 mg/L y 1,17 mg/L respectivamente. Frente a estos datos, el catión potasio aumenta en época seca, teniendo un valor de 2.00 mg/L correspondiente al mes de diciembre, mientras disminuye su media en época lluviosa.

El catión calcio fue el de mayor valor en la época húmeda, con un valor de 2.18 mg/L, no obstante, en el mes de febrero disminuyó a 0.840 mg/L esto probablemente a costa del catión sodio. Por otro lado, el catión magnesio en época lluviosa aumentó su valor hasta 2.37 mg/L, a diferencia de los meses secos, que disminuyó su concentración. Además, la concentración del aluminio en la época seca aumentó a 5.22 mg/L, en cambio, en la época húmeda la concentración disminuyó a 2.72 mg/L

3.3.2.2. Aniones

- **Análisis de aniones Nitratos, Nitritos, Fosforo y Sulfato por la variable punto**

El Gráfico 8-3, se empleó los diagramas de caja (Box-plots) mediante el estadístico ANOVA usando el software R Studio, con el fin de observar el comportamiento de las medias de los aniones representados en unidades de (mg/L) de los nueve pozos piezométricos.

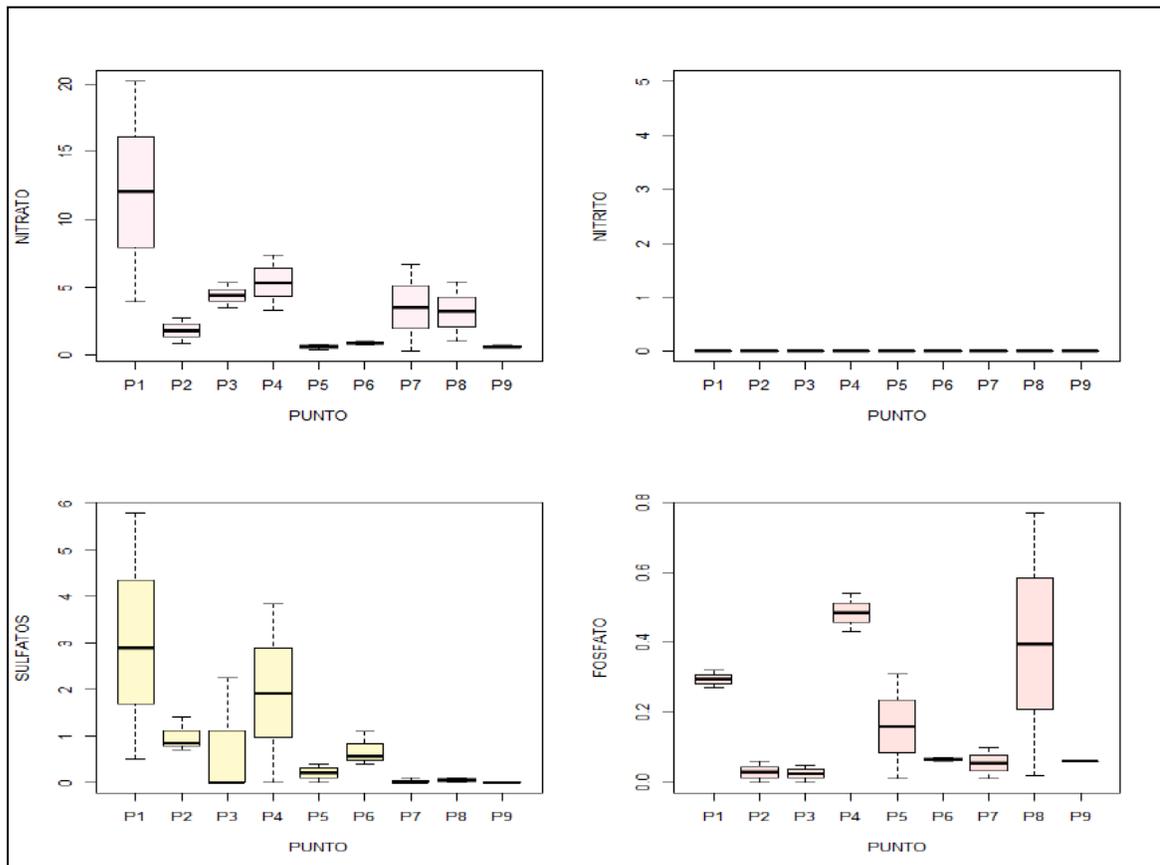


Gráfico 10-3. Gráfico de bigotes de las medias de los aniones por punto con ANOVA

Realizado por: Aucancela, J & Vivas, M, 2022.

El agua del manto freático registro valores del anión nitrato promedio de 3,58 mg/L (± 1.9833), la media máxima corresponde al punto ESPOCH-MAE-P1 con un valor de 12.00 mg/L, los valores normales en aguas de riego están fijados en < 10 mg/L (Phocaidés, 2000; citados en Corazón, 2018, pp. 39-46), en definitiva, se considera restrictivo para uso agrícola el agua del pozo piezométrico P1, ya que este supera los límites permisibles, las concentraciones de nitrato de los demás puntos se encuentran por debajo del límite permisible.

No existió presencia de anión nitrito. Según (Bolaños et al., 2017, pp.1-6), el anión nitrito generalmente se convierte fácilmente en nitrato, lo que significa que raramente está presente en aguas subterráneas. El sulfato es perjudicial para el riego por su aporte de salinidad. Siendo uno de los principales elementos compuestos disueltos en el agua de lluvia, parte de ella tiene origen natural procedente de la disolución de rocas sedimentarias (Kabriti et al., 2021, pp.23). El anión sulfato en el agua del manto freático promedio son de 0.8544 mg/L ($\pm 0,7695$), la media máxima corresponde al punto ESPOCH-MAE-P1 con un valor de 3.07 mg/L.

De acuerdo con (Phocaidés, 2000; citados en Corazón, 2018, pp. 39-46) el valor normal del anión sulfato para su uso como agua de riego se encuentra en 11.5 meq/L, por consiguiente, los valores del agua del manto freático se encuentran dentro del rango permitido.

Los valores del anión fosfato obtenido de promedio es de 0,1744 mg/L ($\pm 0,0789$), la media máxima corresponde al punto ESPOCH-MAE-P4 con un valor de 0.485 mg/L, un estudio realizado por (Madilonga et al., 2021. pp. 1-16) registro valores similares de 0,03 y 0,22 mg/L cumpliendo con lineamientos normativos para uso doméstico, riego y uso de agua para ganado.

- *Análisis de aniones Nitratos, Nitritos, Fosforo y Sulfato por la variable de fecha*

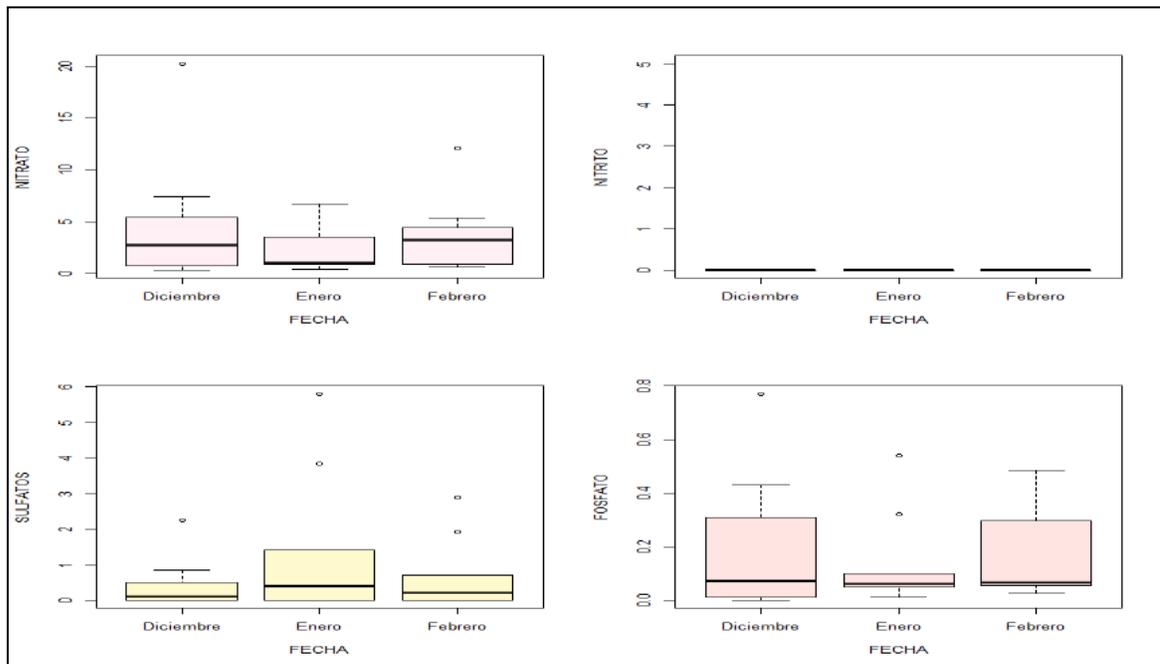


Gráfico 11-3. Gráfico de bigotes de aniones por fecha con ANOVA

Elaborado por: Aucancela, J. &Vivas, M.,2022

En el siguiente Gráfico 11-3, se muestra la variación de las medias de los aniones de los tres meses de estudio. El anión nitrato aumentan en la época húmeda que es el mes de diciembre llegando a obtener un valor de 4.83 mg/L, por otro lado, existió mayor anión sulfato en la época seca correspondiente al mes de enero con 1.41 mg/L, por último, existió mayor anión fosfato en la época húmeda llegando a obtener un valor de 0.213 mg/L.

3.3.3. Indicadores de calidad

3.3.3.1. Relación de Absorción de Sodio (RAS o SAR)

En el siguiente Gráfico 10-3, se puede evidenciar que la mayor concentración de RAS se obtuvo en 3 muestras de agua intersticial en el mes de febrero en el P2 con 0,65 meq/L, seguido de la muestra P8 con 0,47 meq/L y posterior de la muestra P5 con 0,38 meq/L. El menor valores de RAS se obtuvo en enero en el punto P5 con un valor 0,07 meq/L, considerados niveles bajos para todas las muestras, según las normas establecidas en la tabla 7 anexo 1 del libro VI del texto Unificado de Legislación Secundaria del Medio Ambiente (TULSMA), parámetros de los niveles guía de calidad del agua para riego $RAS < 3$, son aguas que pueden usarse para riego en la mayoría de los suelos y dar como resultado pocas probabilidades de alcanzar niveles peligrosos de sodio intercambiable.

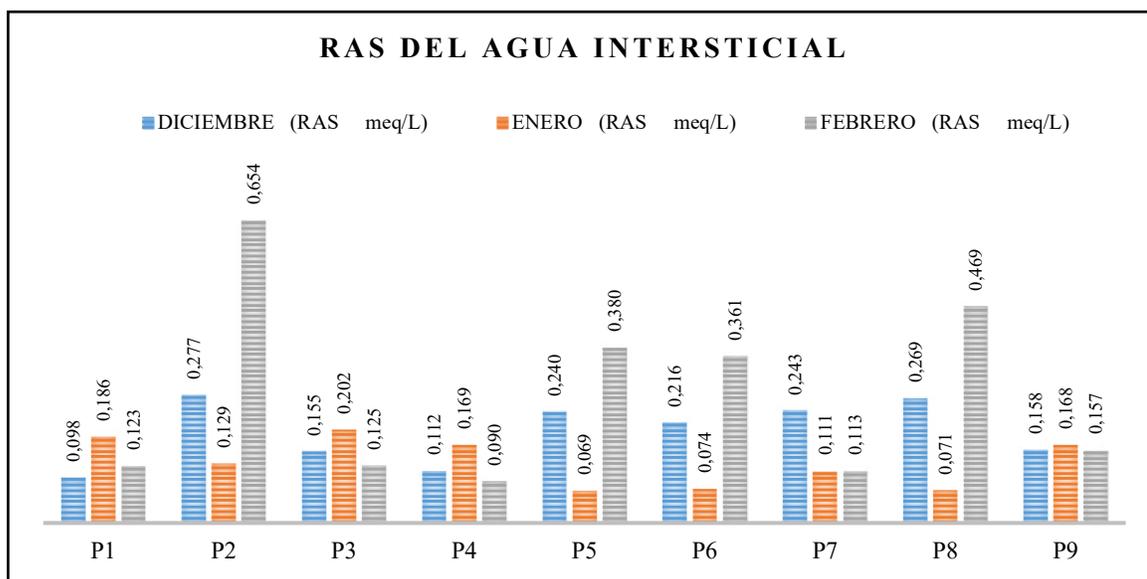


Gráfico 12-3. RAS del agua intersticial

Elaborado por: Aucancela, J. & Vivas, M., 2022.

- **Aptitud del agua de riego**

La relación de CE y RAS se ha interpretado mediante el diagrama de Riverside para la clasificación del agua para riego. Según con la clasificación de Riverside o diagrama de Richards, los valores menores a 100 Microsiemens/cm de conductividad eléctrica y valores a 1 RAS no entran dentro de la categoría C1-S1 (aguas de excelente calidad aptas para riego), por lo cual se les clasificó siguiendo estudios similares por (Cantú et al., 2018), como valores menores a 100 Microsiemens/cm de conductividad eléctrica con la letra C, y RAS con S, quedando C-S1 (aguas bajas en sodio) en la siguiente tabla se puede apreciar la clasificación del agua del manto freático Laguna de Antejos.

Tabla 2-3: Clasificación Riverside del agua intersticial en los meses de muestreo

Nº Pozo de Agua Intersticial	DICIEMBRE DE 2021	ENERO DE 2022	FEBRERO DE 2022
P 1	C-S1	C-S1	C-S1
P 2	C-S1	C-S1	C-S1
P 3	C1-S1	C1-S1	C1-S1
P 4	C2-S1	C1-S1	C1-S1
P 5	C-S1	C-S1	C-S1
P 6	C-S1	C-S1	C-S1
P 7	C1-S1	C-S1	C-S1
P 8	C-S1	C1-S1	C1-S1
P 9	C-S1	C-S1	C-S1

Realizado por: Aucancela, J & Vivas, M, 2022.

De acuerdo con los resultados expuestos en la tabla anterior, el agua del manto freático de la Laguna de Antejos de los puntos P3, P4, P7 y P8 pertenecen a la clasificación C1-S1, significando que el agua es apta para usarse para riego por gran parte de los cultivos, en casi cualquier tipo de suelo con muy poca probabilidad de que se desarrolle salinidad (Acosta & Salvadori, 2017). Así, mismo los puntos P1, P2, P5, P6 y P9 presentan baja sodicidad, en consecuencia, no existe peligro de salinización de los suelos con la aplicación del riego con estas aguas, no obstante, estos puntos presentan baja conductividad eléctrica y al usarse en cultivos esta no aportaría con los nutrientes necesarios para el desarrollo de la planta.

Los valores de conductividad eléctrica son más bajos en los ojos de agua de los puntos P1, P2, P5, P6 y P9, esto se debe, a que recién se están empezando a formar ojos de agua grandes, en vista de ello, la cantidad de sales es menor debido a que no existe tanto arrastre de iones. En cierta medida, los valores de CE van aumentando debido a la zona en la que se encuentran, los dos ojos de agua que poseen mayor cantidad de agua se encuentran en mayor contacto con la superficie, produciendo un arrastre de cationes y aniones que enriquecen el agua en los puntos P3, P4 y P7.



Figura 5-3. Ubicación de los puntos P3, P4 y P7

Realizado por: Aucancela, J & Vivas, M, 2022.

El valor promedio total obtenido de RAS fue de 0.201 meq/L y de la conductividad eléctrica fue de 82,852 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

CONCLUSIONES

- Se analizó la capacidad catiónica y aniónica del agua del manto freático de la Laguna de Antejos mediante tres repeticiones en los meses de diciembre del 2021 y enero-febrero del 2022, los valores los cationes y aniones en los puntos (P2, P3, P4, P5, P6, P7, P8 y P9) arrojan que el agua del manto freático se encontraron dentro de los rangos adecuados mencionados por el TULSMA, FAO y estudios similares, por el contrario, en el punto P1, existen elevadas cantidades del catión Al^{3+} con un valor de 22,2 mg/L y del anión NO_3^- registra un valor de 12,00 mg/L, esto se debe a la abundante sedimentación y las altas actividades antrópicas como el ecoturismo presente en aquel punto generando daños al tubo freático y contaminación al ojo del agua.
- Se determinó la incidencia de la precipitación y temperatura del período de 1991-2021 en el manto freático del Parque Nacional Llanganates, en donde se registraron precipitaciones medias anuales que fluctúan entre 112,29 mm – 112,49 mm y las temperaturas medias anuales oscilan entre 6.85 °C - 12, 38 °C, por consiguiente, aproximadamente el 90 % del tiempo de Parque Nacional Llanganates presenta un clima frío, debido, a la altitud en la se encuentra la zona de estudio es la responsable de que las precipitaciones aumentan y temperaturas bajen. Finalmente, en los tres meses de estudio se define al mes de diciembre de 2021 como mes seco, no obstante, los meses de enero y febrero de 2022 son considerados como meses húmedos.
- Se determinó la variabilidad temporal- espacial del nivel freático del sector de la Laguna de Antejos, en el mes de diciembre el mayor nivel freático se encuentra en los puntos P7 y P9 con un valores que oscila entre (120.96 m -122.95 m) y (118,98- 120.96 m) respectivamente, mientras que el nivel freático bajo se dio en el P3 con un valor entre 107,07 m - 109,16 m. Por otro lado, en el mes de enero se registró el mayor nivel freático en el P8 de 129,97 m -133, 44 m y un descenso en el P3 de 105,70 m -109,16 m. Finalmente, en el mes de febrero presento mayores niveles freáticos en los puntos P5 y P6 con valores de 125,17 m – 130, 86 m y los menores niveles freático punto P8 y P9 de 110,93 m – 113,78m Las fluctuaciones del nivel freático son altos en los meses de enero y febrero, debido, a las zonas topográficas el nivel freático asciende o descende. El movimiento del agua superficial presenta una direccionalidad horizontal (noreste) presentando un aporte favorable tanto para la cobertura vegetal como para el suministro constante del recurso hídrico.

- Se evaluó la calidad fisicoquímica del agua proveniente del manto freático del Sistema Palustre de la Laguna de Antejos de los nueve pozos piezométricos representa un valioso aporte para los productores de la zona. De acuerdo con los resultados obtenidos de pH, el 22,22% correspondiente a los puntos P1 y P8 presentaron mayor contaminación por actividades antrópicas como el ecoturismo y la ganadería, es por esta razón, existió una variación en el pH de estos puntos siendo ligeramente ácidos, es decir, no son aptas para aguas de uso agrícola. Bajo la norma Riverside, los valores de RAS del agua del manto freático de la Laguna de Antejos, el 44,44% de las muestras son de buena calidad y recomendables para uso agrícola, las muestras de los pozos piezométricos P3, P4, P7 y P8 tuvieron clasificación C1S1 aptos para usarse para riego en la mayor parte de cultivos, en casi cualquier tipo de suelo, con muy poca probabilidad de que se desarrolle salinidad, además, de baja peligrosidad salina y sódica. Asimismo, el 33,33% del agua de los pozos freáticos del P1, P2, P5, P6 y P9, presentan baja sodicidad, no existe peligro de salinidad al ser usada como agua de riego, sin embargo, presentan valores bajos de (CE), esta agua no aportaría con muchos nutrientes hacia la planta de manera que garantice un rendimiento óptimo el agua-suelo-planta. Sin duda, el agua de los pozos freáticos P3, P4, P7 y P8 bajo normativa vigente TULSMA y Riverside los valores obtenidos del RAS y pH se encuentran en rangos permitidos, siendo esta agua de buena calidad y apta para riego con fines agrícolas.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar trabajos referentes a este tema de estudio para conocer los servicios ambientales de los ecosistemas de páramo, con el fin de ejecutar proyectos enfocados al cuidado de las fuentes hídricas.
- Después de analizar los datos meteorológicos de las estaciones meteorológicas más cercanos al área de muestreo se recomienda al Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica (MAATE) coloque una estación meteorológica dentro del Parque Nacional Llanganates específicamente cercano a la Laguna de Antojos, basada en una red jerárquica de sensores, software libre y sistemas, con el fin de obtener datos precisos para más investigaciones.
- Posteriormente, al analizar los resultados obtenidos, se recomienda alargar los meses de muestreo para mayor variabilidad de resultados.

BIBLIOGRAFÍA

ACOSTA, J. y SALVADORI, J. «Evaluación de la calidad de agua para riego mediante el empleo de criterios actualizados». 2017. pp. 57.

ALFARO, D. “Determinación de cationes en agua potable del cantón de Grecia, Costa Rica por absorción atómica”. *Revista de las Sedes Regionales*. 2014. (Costa Rica) XV. 30, pp. 95-106. [Consulta: 2022-01-10]. ISSN 2215-2458. Disponible en: <https://www.scielo.sa.cr/pdf/is/v15n30/a05v15n30.pdf>

ANTUNES, P. y RODRIGUES, F.C. Hydro geochemistry assessment of volcanic lakes in the Flores Island Protected Areas (Azores, Portugal). *Revista de Gestão Costeira Integrada*, vol. 14, no. 2. 2014. pp. 321-334. ISSN 1646-8872. DOI 10.5894/rgci494.

BASTIDAS, A., & TAPIA, Y. *Determinación de los índices de la calidad de agua a partir de macro y micro invertebrados en la Laguna de Anteojos del Parque Nacional Llanganates*. Universidad Técnica de Cotopaxi. Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales. Latacunga - Ecuador. 2017. pp. 30-31. [Consulta: 2022-03-14]. Disponible en: <http://repositorio.utc.edu.ec/bitstream/27000/4210/1/UTC-PC-000096.pdf>

BAUTISTA, H. Condiciones actuales de Drenaje y calidad de agua freática del Ejido San Isidro, Municipio Nadadores, Coahuila. Universidad Autónoma Agrario Antonio Narro, Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. 2013. [Consulta: 2021-09-31]. Disponible en: <http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/5665/T19704%20BAUTISTA%20DOMINGUEZ%2C%20HUGO%20CESAR%20TESIS.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

BRAVO, C. Evaluación espacio-temporal de procesos de fragmentación y redes ecológicas en el Parque Nacional Llanganates. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias. (Trabajo de titulación). Riobamba-Ecuador. 2021. pp. 25-35.

BETANCOURT, C. TARTABULL, M. & LABAUT, M. El manejo integrado del agua en la agricultura: necesidad de implementación y aspectos vinculados. *Revista Científica Agroecosistemas*. 2017. pp. 40-54.

BOLAÑOS-ALFARO, J., CORDERO-CASTRO, G. & SEGURA-ARAYA, G. 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). *Revista Tecnología en Marcha*, (2017), Alajuela-Costa Rica, vol. 30, no. 4, pp. 1-6. [Consulta: 2022-09-10]. ISSN 0379-3982. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.18845/tm.v30i4.3408>.

BIRDLIFE INTERNATIONAL. *Aves y Conservacion*. 2014. [Consulta: 26 septiembre 2021]. Disponible en: <http://datazone.birdlife.org/userfiles/file/TESSA/TESSA-Llanganates-Ecuador.pdf>

CAMACHO, M. Los páramos ecuatorianos: caracterización y consideraciones para su conservación y aprovechamiento sostenible. *Revista Anales*, vol. 1, no. 372. 2014. pp. 77-92. ISSN 1390-7891. DOI 10.29166/anales. v1i372.1241.

CANTU-MEDINA, F.G., VENTURA-HOULE, R., HEYER-RODRÍGUEZ, L. y GUEVARA-GARCÍA, N. Calidad de agua para riego agrícola en el agua subterránea de la zona árida del suroeste de Tamaulipas, México. *Agroproductividad*. vol. 11, no. 1. 2018. pp. 56-61.

CoRRAZÓN, J. Manual práctico para el diseño de sistemas de minirriego. *Programa Especial para la Seguridad Alimentaria (PESA)*, vol. 9, no. 5 (2018), pp. 39-46.

CISNEROS, H. Investigación Geotécnica E Instrumentación Para El Diseño De Construcción E Instalación De Piezómetros Y Pozos De Drenaje En La Mina Pierina Año 2019. *Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo*, vol. 1. 2019. pp. 1-127.

CONVENCIÓN DE RAMSAR SOBRE LOS HUMEDALES., Perspectiva mundial sobre los humedales: Estado de los humedales del mundo y sus servicios a las personas. S.l.: s.n. 2018.

CORAS MERINO, P.M., ONTIVEROS CAPURATA, R. y DIAKITE DIAKITE, L. Movimiento del agua freática y concentración de sales en suelos agrícolas. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, vol. 5, no. 4. 2018. pp. 537-548. ISSN 2007-0934. DOI 10.29312/remexca. v5i4.917.

DIRECCIÓN NACIONAL DE MEDIO AMBIENTE. Manual de procedimientos analíticos para aguas y efluentes. 1996.

FAJARDO, N. Evaluación de la calidad microbiológica y fisicoquímica de las aguas en el Área de Conservación Regional Humedales de Ventanilla (Tesis de maestría). Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Callao, Perú. 2018.

FONDO PARA LA PROTECCIÓN DEL AGUA. *Turberas altoandinas: sus implicaciones en la mitigación y adaptación al cambio climático* [blog]. [Consulta: 14 noviembre 2021]. Disponible en: <https://www.fonag.org.ec/web/turberas-altoandinas-sus-implicaciones-en-la-mitigacion-y-adaptacion-al-cambio-climatico/>

GARAVITO, L. Los páramos en Colombia, un ecosistema en riesgo. *Ingeniare*, no. 19. 2015. pp. 127. ISSN 909-2458.

HERNÁNDEZ, D., Sobre el uso adecuado del coeficiente de correlación de Pearson: definición, propiedades y suposiciones On the proper use of the Pearson correlation coefficient: definitions, properties and assumptions [en línea]. S.l.: Sociedad Venezolana de Farmacología Clínica y Terapéutica. 2018. [Consulta: 12 febrero 2022]. Disponible en: <https://orcid.org/0000-0003->

KABRITI, M., LÉONCE, E., MERBOUH, C., ABDELFAH, B. & ACHKIR, A. Physical-chemical characterization and heavy metals assessment of waters and sediments of sebou watershed (top Sebou, Morocco). *Karbala International Journal of Modern Science*, (2021), Kerbala, vol. 7, no. 1. [Consulta: 2022-09-10]. ISSN 24056103. Disponible en: <https://doi.org/10.33640/2405-609X.2229>

LINSLEY R.K., M.A.KOHLER, J.L.H.PAULHUS. Hydrology for Engineers, SI Metric Edition, Mc Graw-Hill (existe edicion es español Hidrología para ingenieros. Trad. de la 2ª ed., de 1977, McGraw-Hill Latinoamericana). 1988.

LOPEZ, L. *Valoracion economica de los bienes y servicios ambientales esteticos y recreativos e hidricos del parque nacional Llanganates*. Pontificia Universidad Catolica del Ecuador. Quito-Ecuador. 2019.

MADEREY RASCÓN, L.E. & JIMÉNEZ ROMÁN, A. Alteración del ciclo hidrológico en la parte baja de la cuenca alta del río Lerma por la transferencia de agua a la Ciudad de México. *Investigaciones Geográficas* [en línea], vol. 1, no. 45. 2001. [Consulta: 2021-11-06]. ISSN 0188-4611. DOI 10.14350/rig.59143. Disponible en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-46112001000200003.

MADILONGA, R., EDOKPAYI, J., VOLENZO, E., DUROWOJU, O. & ODIYO, J. Water quality assessment and evaluation of human health risk in mutangwi river, *International Journal of Environmental Research and Public Health*, (2021), Limpopo province, South Africa., vol. 18, no. 13, pp. 1-16. [Consulta: 2022-09-10]. ISSN 16604601. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/ijerph18136765>

MATAMOROS, N. Evaluación de la calidad de agua e integridad ecológica del herbazal inundable de páramo sector de la laguna de anteojos perteneciente al parque nacional Llanganates. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias. Riobamba-Ecuador. 2021. [Consulta: 2022-02-01]. 2022.

MINISTERIO DEL AMBIENTE. Parque Nacional Llanganates. 2015. [Consulta: 26 septiembre 2021]. Disponible en: [de https://www.ambiente.gob.ec/](https://www.ambiente.gob.ec/)

MONGE REDONDO, Miguel. *Interpretación de un agua de riego.* iAgua, 24-04-2017. [Consulta: 2022-09-09]. Disponible en: <https://www.iagua.es/blogs/miguel-angel-monge-redondo/interpretacion-analisis-agua-riego>

MORALES, I. Evaluación del descenso del nivel freático en la parte norte del acuífero metropolitano en el valle de Guatemala. 2012. [Consulta: 16 noviembre 2021]. Disponible en: http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_0424_MT.pdf

ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS. El agua fuente de vida. 2019. [Consulta: 26 septiembre 2021]. Disponible en: <https://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/quality.shtml>

OÑA, J. & TONATO, C. Determinación Del Estado Trófico De Las Lagunas De Mojanda a Través De La Cuantificación De Clorofila “a”. [en línea]. Universidad Central del Ecuador, Facultad de

Ingeniería en Geología, Minas, Petróleos y ambiental. Quito-Ecuador. 2017. pp. 36-56. Disponible en: <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/13140/1/T-UCE-0012-38.pdf>.

PADILLA, A. **Procesos** hidrogeoquímicos que dan origen a la salinidad en el sistema acuífero de Tierra Nueva, San Luis Potos. [en línea]. Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Baja California. Ensenada, Baja California. 2014. pp.7-10 [Consulta: 31 de septiembre de 2021]. Disponible en: <https://cicese.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1007/927/1/235211.pdf>

PLAN-DE-CREACIÓN-DE-OPORTUNIDADES-2021-2025., *secretaria nacional de Planificación* [Consulta: 13 de noviembre 2021]. Disponible en: <https://www.planificacion.gob.ec/wp-content/uploads/2021/09/Plan-de-Creacio%CC%81n-de-Oportunidades-2021-2025-Aprobado.pdf>

PÉREZ, R., RIVEIRO, F., JIMÉNEZ, M., MANGANIELLO, L., VEGA, C., COVA, R., Y MORENO, J. Evaluación de la calidad del agua en un humedal de agua salada del Caribe. Ingeniería UC, 24(3). 2017. pp.417-427.

PEÑAFIEL, H. Modelo de elevación digital (MED) y selección de sitios para rellenos sanitarios en el cantón paján. Universidad Estatal del Sur de Manabí, Facultad de Ciencias Técnicas. 2021. [Consulta: 2022-09-31]. Disponible en: <http://repositorio.unesum.edu.ec/bitstream/53000/3002/1/PROYECTO%20FINAL%20DE%20TITULACION-%20HENRY%20PE%c3%91AFIEL.pdf>

QUINTEROS CARABALÍ, J., GÓMEZ-GARCÍA, J., SOLANO, M., LLUMIQUINGA, G., BURGOS, C. & CARRERA-VILLACRÉS, D. Evaluación de la calidad de agua para riego y aprovechamiento del recurso hídrico de la quebrada Toglhuayco. *Siembra*, (2019), vol. 6, no. 2, pp. 1-12. [Consulta: 2022-03-05]. ISSN 1390-8928. Disponible en: <https://doi.org/10.29166/siembra.v6i2.1641>

QUISPE, J., 2016. Evaluacion de la calidad fisico, quimica y bacteriologica del agua de riego de la estacion experimental de Cota Cota. Universidad Mayor de San Andres. Facultad de Agronomia. La Paz-Bolivia. 2016. pp. 50-52. [Consulta: 2022-03-14]. Disponible en: <https://repositorio.umsa.bo/bitstream/handle/123456789/6781/T-2215.pdf?sequence=1>

RAMÓN, M. Estimación de la fracción de agua de evento y pre evento que aportan al caudal, mediante el uso de isótopos estables, en la cuenca del río Zhurucay. [en línea], 2015. pp. 64. Disponible en: <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/22781>.

RIVERA, B. & PATARÓN, N. *Influencia de la estructura térmica en los parámetros fisicoquímicos y químicos de la Laguna Magdalena-Atillo del Parque Nacional Sangay*" [en línea]. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias. Riobamba-Ecuador. 2021. pp.6-8. [Consulta: 2022-08-10]. ISBN 2100789805. Disponible en: <http://dspace.espoch.edu.ec/bitstream/123456789/14776/1/236T0536.pdf>.

ROLDÁN, M., YFRAN ELVIRA, M. de las M. & RODRÍGUEZ, S. Correlación entre cationes y aniones presentes en aguas de perforación del departamento de Saladas-Corrientes. *Agrotecnia*, no. 30. 2020. pp. 97. ISSN 0328-4077. DOI 10.30972/agr.0304662.

STANDARD METHODS FOR THE EXAMINATION OF WATER AND WASTEWATER. 22th Edition. Washington DC. American Public Health Associations. 2012, pp. 3-100.

URRUCHI, H. Evaluación de la variación del nivel freático y su influencia en la salinización de las aguas subterráneas en las Pampas de Villacurí – Ica. [En línea] (Trabajo de titulación) (Ingeniería) Universidad Nacional del Callao. Callao-Perú 2018, pp. 23-25. [Consulta: 2022-01-10]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/20.500.12952/3257>

VAN COLEN, W., PORTILLA, K., OÑA, T., WYSEURE, G., GOETHALS, P., VELARDE, E. & MUYLAERT, K. Limnology of the neotropical high elevation shallow lake Yahuarcocha (Ecuador) and challenges for managing eutrophication using biomanipulation. *Limnologica*, vol. 67. 2017. pp. 37-44. ISSN 00759511. DOI 10.1016/j.limno.2017.07.008.

VÁSCONEZ, M., MANCHENO, A., ÁLVAREZ, C., PREHN, C., CEVALLOS, C., ORTIZ, L. & ARELLANO, M. Cuenas Hidrográficas. Publicación arbitrada de la Universidad Politécnica Salesiana, vol. 1. 2019


DIRECCION DE BIBLIOTECAS
Y RECURSOS PARA EL APRENDIZAJE
Y LA INVESTIGACION
 **Ing. Jonathan Parreño Ugullas MSc**
DIRECCION DE BIBLIOTECAS Y RECURSOS PARA EL APRENDIZAJE Y LA INVESTIGACION
ANALISTA DE BIBLIOTECA 1

ANEXOS

ANEXO A. ZONA DE ESTUDIO LAGUNA DE ANTEOJOS UBICADO EN EL PARQUE NACIONAL LLANGANATES



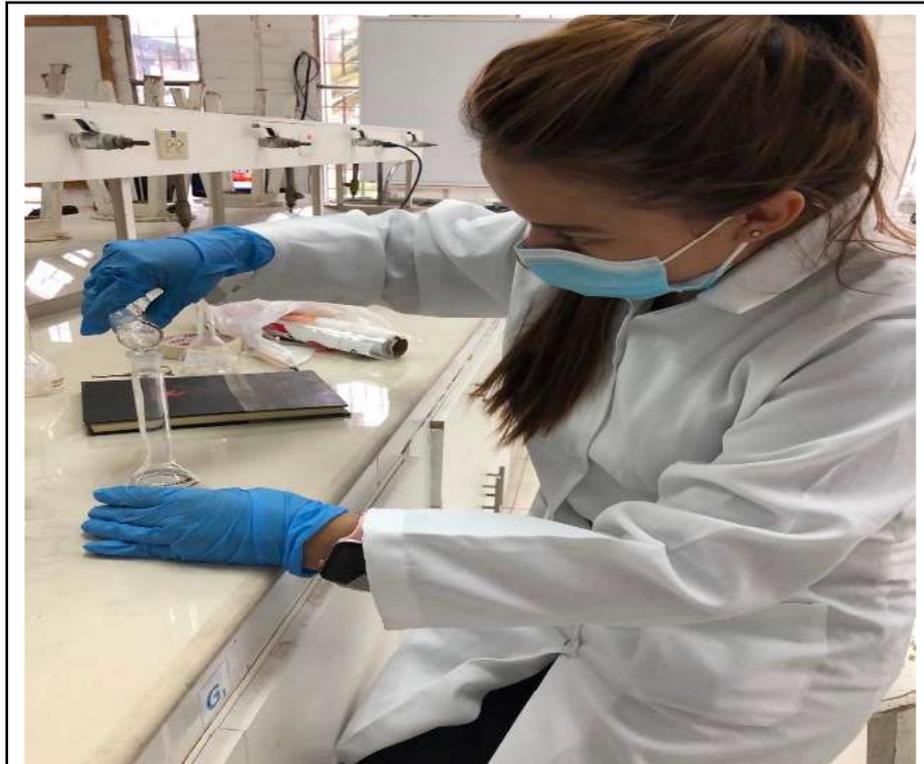
ANEXO B. COLOCACIÓN DE LOS 9 POZOS PIEZOMÉTRICOS Y REGISTRO



ANEXO C. EXTRACCIÓN DE LAS MUESTRAS DE AGUA Y ANÁLISIS IN SITU



ANEXO D. PREPARACIÓN DE ESTÁNDARES Ca^{++} , K^+ , Mg^{++} , Al^{+++} Y Na^+



ANEXO E. FILTRACIÓN DE LAS MUESTRAS PARA CATIONES Y ANIONES



ANEXO F. ANÁLISIS DE MUESTRAS EN EL EQUIPO DE ESPECTROFOTOMETRÍA DE ABSORCIÓN ATÓMICA PARA CATIONES Y ESPECTROFOTÓMETRO PARA ANIONES.



ANEXO G. PRECIPITACIONES MEDIAS MENSUALES Y ANUALES, PROMEDIO ANUAL, TEMPERATURAS MÁXIMAS Y MÍNIMAS DE LA ESTACIÓN PATATE

ESTACIÓN M0126 PATATE															
PRECIPITACIÓN MENSUAL DESDE EL AÑO 1991-2021 (ppm)														PRO. ANUAL TEMP. (°C)	
AÑO	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Pro. Anual	Temp. Máx.	Temp. Min.
1991	118,04	177,56	164,48	141,87	109,87	122,44	56,52	34,55	73,81	63,13	113,34	104,54	106,679	12,5	7,24
1992	145	156,18	189,65	254,41	161	76,57	59,49	59,21	86,57	67,82	86,71	87,77	119,198	12	7,4
1993	180,4	205,6	228,05	219,72	137,97	71,36	102,89	71,8	76,17	82,91	102	128,76	133,969	12	7,0
1994	181,4	162,3	215,03	172,61	121,59	79,45	75,57	67,57	78,2	103,79	119,77	119,83	124,759	12	6,9
1995	118,26	106,2	131,88	176,31	106,91	85,12	101,75	57,98	46,57	70,15	130,94	100,76	102,736	13	6,8
1996	155,68	185,32	166,01	146,86	121,02	88,73	59,92	50,12	74,71	108,53	80,04	81,93	109,906	12	7,0
1997	150,2	156,64	201,27	157,12	159,33	142,32	94	80,1	166,27	118,23	343,5	194,73	163,643	12	6,3
1998	207,23	201,39	257,42	281,98	282,28	134,14	85,12	56,81	38,48	135	88,91	219,28	165,670	12	6,3
1999	147,81	188,52	248,88	196,94	152,66	122	44,22	67,62	126,91	69,8	93,59	165,93	135,407	12	6,4
2000	123,31	149,69	142,86	126,25	187,25	72,2	26,64	23,95	66,6	29,69	18,48	63,02	85,828	13	7,0
2001	179,81	81,98	112,38	99,97	95,75	62,81	60,38	29,74	29,54	41,79	69,79	102,67	80,551	13	7,0
2002	93,89	126,52	194,56	215,33	107,77	76,29	83,15	42,95	38,38	129,57	109,54	122,15	111,675	13	6,9
2003	121,62	134,59	143,75	168	113,34	111,87	87,84	35,5	63,29	107,22	113,63	113,42	109,506	13	7,2
2004	172,56	104,34	126,16	166,21	179,57	65,29	76,31	51,12	74,67	90,65	120,84	93,53	110,104	13	6,9
2005	27,15	27,26	110,7	94,25	54,02	32,98	11,23	11,82	24,8	64,02	85,94	78,17	51,862	14	7,2
2006	83,08	180,96	154,53	123,07	76,35	103,42	50,81	56,9	13,44	21,86	16,08	75,83	79,694	14	7,2
2007	58,25	11,72	65,01	45,96	54,5	62,08	24,38	75,16	55,1	132,07	162,78	113,06	71,673	14	7,7
2008	181,85	197,43	226,33	242,46	180,74	115,33	82,19	93,39	93	109,4	36,14	37,6	132,988	13	6,2
2009	112,81	188,3	179,61	84,72	17,55	16,58	39,62	65,73	41,38	102,11	62,55	121,87	86,069	13	7,1
2010	60,55	150,37	153,32	208,86	83,73	52,2	50,21	19,76	60,55	72,9	143,93	155,49	100,989	13	6,2
2011	127,12	188,95	117,12	267,65	84,58	63,78	92,11	58,63	58,13	91,26	121,75	106,56	114,803	13	6,8
2012	221,05	215,4	223,23	198,94	127,93	80,19	68,67	52,24	49,66	108,75	115,85	70,03	127,662	12	6,6
2013	118,57	181,41	189,28	158,17	144,69	75,57	86,3	73,12	58,38	115,49	80,92	89,42	114,277	13	6,8
2014	166,99	110,86	88,2	30,38	152,98	79,54	54,71	62,33	64,41	109,69	103,88	85,87	92,487	13	7,2
2015	140,44	134,63	185,7	193,26	138,52	103,54	85,9	48,17	37,26	101,7	135,54	104,21	117,406	13	7,2
2016	119,22	110,27	215,45	220,7	129,29	121,17	60,29	43,44	93,76	90,18	84,66	95,94	115,364	13	6,6
2017	214,35	171,29	277,87	173,82	183,64	127,49	66,42	73,48	65,12	87,08	111,37	140,65	141,048	13	6,3
2018	132,76	222,21	138,5	156,26	151,39	116,4	70,95	76,17	38,55	97,47	153,68	113,96	122,358	12	7,1
2019	124,68	170,02	176,72	192,71	156,27	113,35	70,46	47,55	36,2	100,61	130,93	116,2	119,642	13	6,8
2020	121,8	110,32	99,8	155,71	138,89	112,35	78,09	36,75	37,05	61,56	65,15	139,83	96,442	13	6,6
2021	334,88	151,4	195,02	181,02	139,29	199,82	31,4	30,65	51,04	170,89	113,25	150,3	145,747	12	6,8
MEDIA	132,76	156,64	176,72	172,61	137,97	85,12	68,67	56,81	58,38	97,47	109,54	106,56	114,277	12,629	6,919

ANEXO H. PRECIPITACIONES MEDIAS MENSUALES Y ANUAL, PROMEDIO ANUAL, TEMPERATURAS MÁXIMAS Y MÍNIMAS DE LA ESTACIÓN SAQUISILÍ.

ESTACIÓN M0375 SAQUISILÍ															
PRECIPITACIÓN MENSUAL DESDE EL AÑO 1991-2021 (ppm)														PRO. ANUAL TEMP. (°C)	
AÑO	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Pro. Anual	Temp. Máx.	Temp. Min.
1991	118,04	177,56	164,48	141,87	109,87	122,44	56,52	34,55	73,81	63,13	113,34	104,54	106,68	12,5	7,2
1992	145	156,18	189,65	254,41	161	76,57	59,49	59,21	86,57	67,82	86,71	87,77	119,20	12,2	7,4
1993	180,4	205,6	228,05	219,72	137,97	71,36	102,89	71,8	76,17	82,91	102	128,76	133,97	12,3	7,0
1994	181,4	162,3	215,03	172,61	121,59	79,45	75,57	67,57	78,2	103,79	119,77	119,83	124,76	12,0	6,9
1995	118,26	106,2	131,88	176,31	106,91	85,12	101,75	57,98	46,57	70,15	130,94	100,76	102,74	12,9	6,8
1996	155,68	185,32	166,01	146,86	121,02	88,73	59,92	50,12	74,71	108,53	80,04	81,93	109,91	12,3	7,0
1997	150,2	156,64	201,27	157,12	159,33	142,32	94	80,1	166,27	118,23	343,5	194,73	163,64	12,0	6,3
1998	207,23	201,39	257,42	281,98	282,28	134,14	85,12	56,81	38,48	135	88,91	219,28	165,67	11,9	6,3
1999	147,81	188,52	248,88	196,94	152,66	122	44,22	67,62	126,91	69,8	93,59	165,93	135,41	12,2	6,4
2000	123,31	149,69	142,86	126,25	187,25	72,2	26,64	23,95	66,6	29,69	18,48	63,02	85,83	12,6	7,0
2001	179,81	81,98	112,38	99,97	95,75	62,81	60,38	29,74	29,54	41,79	69,79	102,67	80,55	13,4	7,0
2002	93,89	126,52	194,56	215,33	107,77	76,29	83,15	42,95	38,38	129,57	109,54	122,15	111,68	13,5	6,9
2003	121,62	134,59	143,75	168	113,34	111,87	87,84	35,5	63,29	107,22	113,63	113,42	109,51	13,0	7,2
2004	72,56	104,34	126,16	166,21	179,57	65,29	76,31	51,12	74,67	90,65	120,84	93,53	101,77	13,1	6,9
2005	27,15	27,26	110,7	94,25	54,02	32,98	11,23	11,82	24,8	64,02	85,94	78,17	51,86	13,8	7,2
2006	83,08	180,96	154,53	123,07	76,35	103,42	50,81	56,9	13,44	21,86	16,08	75,83	79,69	13,8	7,2
2007	58,25	11,72	65,01	45,96	54,5	62,08	24,38	75,16	55,1	132,07	162,78	113,06	71,67	13,8	7,7
2008	181,85	197,43	226,33	242,46	180,74	115,33	82,19	93,39	93	109,4	36,14	37,6	132,99	12,6	6,2
2009	112,81	188,3	179,61	84,72	17,55	16,58	39,62	65,73	41,38	102,11	62,55	121,87	86,07	13,2	7,1
2010	60,55	150,37	153,32	208,86	83,73	52,2	50,21	19,76	60,55	72,9	143,93	155,49	100,99	13,1	6,2
2011	127,12	188,95	117,12	267,65	84,58	63,78	92,11	58,63	58,13	91,26	121,75	106,56	114,80	12,5	6,8
2012	221,05	215,4	223,23	198,94	127,93	80,19	68,67	52,24	49,66	108,75	115,85	70,03	127,66	12,4	6,6
2013	118,57	181,41	189,28	158,17	144,69	75,57	86,3	73,12	58,38	115,49	80,92	89,42	114,28	12,7	6,8
2014	166,99	110,86	88,2	30,38	152,98	79,54	54,71	62,33	64,41	109,69	103,88	85,87	92,49	12,8	7,2
2015	140,44	134,63	185,7	193,26	138,52	103,54	85,9	48,17	37,26	101,7	135,54	104,21	117,41	12,8	7,2
2016	119,22	110,27	215,45	220,7	129,29	121,17	60,29	43,44	93,76	90,18	84,66	95,94	115,36	12,8	6,7
2017	214,35	171,29	277,87	173,82	183,64	127,49	66,42	73,48	65,12	87,08	111,37	140,65	141,05	12,5	6,3
2018	132,76	222,21	138,5	156,26	151,39	116,4	70,95	76,17	38,55	97,47	153,68	113,96	122,36	12,4	7,2
2019	124,68	170,02	176,72	192,71	156,27	113,35	70,46	47,55	36,2	100,61	130,93	116,2	119,64	12,6	6,8
2020	121,8	110,32	99,8	155,71	138,89	112,35	78,09	36,75	37,05	61,56	65,15	139,83	96,44	13,4	6,6
2021	334,88	151,4	195,02	181,02	139,29	199,82	31,4	30,65	51,04	170,89	113,25	150,3	145,75	12,4	6,8
MEDIANA	127,12	156,64	176,72	172,61	137,97	85,12	68,67	56,81	58,38	97,47	109,54	106,56	114,28	12,61	6,92

ANEXO I. PRECIPITACIONES MEDIAS MENSUALES, ANUAL Y PROMEDIO ANUAL, TEMPERATURAS MÁXIMAS Y MÍNIMAS DE LA ESTACIÓN PUJILÍ

ESTACIÓN M1210 PUJILÍ															
AÑO	PRECIPITACIÓN MENSUAL DESDE EL AÑO 1991-2021 (ppm)													TEMP.	
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Pro. Anual	Temp. Máx.	Temp. Min.
1991	118,04	177,56	164,5	141,87	109,87	122,44	56,52	34,55	73,81	63,13	113,34	104,54	106,68	12,5	7,24
1992	145	156,18	189,7	254,41	161	76,57	59,49	59,21	86,57	67,82	86,71	87,77	119,20	12,2	7,42
1993	180,4	205,6	228,1	219,72	137,97	71,36	102,89	71,8	76,17	82,91	102	128,76	133,97	12,3	7,04
1994	181,4	162,3	215	172,61	121,59	79,45	75,57	67,57	78,2	103,79	119,77	119,83	124,76	12,0	6,92
1995	118,26	106,2	131,9	176,31	106,91	85,12	101,75	57,98	46,57	70,15	130,94	100,76	102,74	12,9	6,83
1996	155,68	185,32	166	146,86	121,02	88,73	59,92	50,12	74,71	108,53	80,04	81,93	109,91	12,3	7,00
1997	150,2	156,64	201,3	157,12	159,33	142,32	94	80,1	166,27	118,23	343,5	194,73	163,64	12,0	6,28
1998	207,23	201,39	257,4	281,98	282,28	134,14	85,12	56,81	38,48	135	88,91	219,28	165,67	11,9	6,32
1999	147,81	188,52	248,9	196,94	152,66	122	44,22	67,62	126,91	69,8	93,59	165,93	135,41	12,2	6,38
2000	123,31	149,69	142,9	126,25	187,25	72,2	26,64	23,95	66,6	29,69	18,48	63,02	85,83	12,6	7,05
2001	179,81	81,98	112,4	99,97	95,75	62,81	60,38	29,74	29,54	41,79	69,79	102,67	80,55	13,4	6,98
2002	83,89	126,52	194,6	215,33	107,77	76,29	83,15	42,95	38,38	129,57	109,54	122,15	110,84	13,4	6,86
2003	121,62	134,59	143,8	168	113,34	111,87	87,84	35,5	63,29	107,22	113,63	113,42	109,51	13,0	7,18
2004	72,56	104,34	126,2	166,21	179,57	65,29	76,31	51,12	74,67	90,65	120,84	93,53	101,77	13,1	6,92
2005	27,15	27,26	110,7	94,25	54,02	32,98	11,23	11,82	24,8	64,02	85,94	78,17	51,86	13,8	7,20
2006	83,08	180,96	154,5	123,07	76,35	103,42	50,81	56,9	13,44	21,86	16,08	75,83	79,69	13,8	7,16
2007	58,25	11,72	65,01	45,96	54,5	62,08	24,38	75,16	55,1	132,07	162,78	113,06	71,67	13,8	7,66
2008	181,85	197,43	226,3	242,46	180,74	115,33	82,19	93,39	93	109,4	36,14	37,6	132,99	12,6	6,23
2009	112,81	188,3	179,6	84,72	17,55	16,58	39,62	65,73	41,38	102,11	62,55	121,87	86,07	13,2	7,11
2010	60,55	150,37	153,3	208,86	83,73	52,2	50,21	19,76	60,55	72,9	143,93	155,49	100,99	13,1	6,23
2011	127,12	188,95	117,1	267,65	84,58	63,78	92,11	58,63	58,13	91,26	121,75	106,56	114,80	12,5	6,76
2012	221,05	215,4	223,2	198,94	127,93	80,19	68,67	52,24	49,66	108,75	115,85	70,03	127,66	12,4	6,61
2013	118,57	181,41	189,3	158,17	144,69	75,57	86,3	73,12	58,38	115,49	80,92	89,42	114,28	12,7	6,83
2014	166,99	110,86	88,2	30,38	152,98	79,54	54,71	62,33	64,41	109,69	103,88	85,87	92,49	12,8	7,22
2015	140,44	134,63	185,7	193,26	138,52	103,54	85,9	48,17	37,26	101,7	135,54	104,21	117,41	12,8	7,16
2016	119,22	110,27	215,5	220,7	129,29	121,17	60,29	43,44	93,76	90,18	84,66	95,94	115,36	12,8	6,58
2017	214,35	171,29	277,9	173,82	183,64	127,49	66,42	73,48	65,12	87,08	111,37	140,65	141,05	12,6	6,35
2018	132,76	222,21	138,5	156,26	151,39	116,4	70,95	76,17	38,55	97,47	153,68	113,96	122,36	12,3	7,11
2019	124,68	170,02	176,7	192,71	156,27	113,35	70,46	47,55	36,2	100,61	130,93	116,2	119,64	12,6	6,81
2020	121,8	110,32	99,8	155,71	138,89	112,35	78,09	36,75	37,05	61,56	65,15	139,83	96,44	13,4	6,58
2021	334,88	151,4	195	181,02	139,29	199,82	31,4	30,65	51,04	170,89	113,25	150,3	145,75	12,4	6,81
MEDIA	127,12	156,64	176,72	172,61	137,97	85,12	68,67	56,81	58,38	97,47	109,54	106,56	114,28	12,63	6,92

ANEXO J. PRECIPITACIONES MEDIAS MENSUALES, ANUAL Y PROMEDIO ANUAL, TEMPERATURAS MÁXIMAS Y MÍNIMAS DE LA ESTACIÓN TENA CHAUPI SHUNGO

ESTACIÓN M1219 TENA CHAUPI SHUNGO															
AÑO	PRECIPITACIÓN MENSUAL DESDE EL AÑO 1991-2021 (ppm)													PRO. ANUAL TEMP. (°C)	
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Pro. Anual	Temp. Máx.	Temp. Min.
1991	127,45	140,58	175,16	187,26	167,11	222,18	90,49	48,95	126,71	109,68	155,44	120,78	139,32	9,46	4,2
1992	127,35	131,64	137,3	218,72	156,12	108,51	93,07	106,49	135,62	112,73	144,19	117,7	132,45	9,25	4,4
1993	195,22	166,86	244,03	234,34	207,87	122,07	181,14	130,55	123,72	120,22	143,44	155,51	168,75	9,07	4,3
1994	172,49	142,01	237,15	197,09	187,3	129,36	115,49	106,87	135,32	165,61	173,09	144,09	158,82	8,84	4,1
1995	92,02	102,17	169,69	168,24	165,68	142,23	169,64	87,41	89,6	100,47	177,68	146,53	134,28	9,43	4,2
1996	175,09	176,13	166,28	187,32	176,43	146,43	99,23	78,27	127,42	176,73	126,89	114,32	145,88	8,91	3,9
1997	163,99	169,05	179,53	169,07	207,06	155,92	83,42	105,11	171,32	131,82	272	142,79	162,59	9,31	4,1
1998	123,07	152,71	187,97	268,57	270,5	197,14	111,26	88,03	59,39	190,8	119,14	235,97	167,05	9,29	4,4
1999	203,16	185,06	205,32	233,51	191,01	191,81	69,89	111,92	170,45	117,63	142,87	220,9	170,29	9,21	4,1
2000	143,93	137,99	113,94	125,41	200,58	82,3	31,87	28,48	77,4	33,51	20,6	64,39	88,37	10,09	4,6
2001	170,25	66,54	89,8	78,28	133,31	118,18	105,85	56,66	53,29	82,76	102,39	149,96	100,61	10,11	4,3
2002	115,04	111,59	198,63	227,34	145,43	115,12	166,33	84,33	66,42	182,68	158,89	155,63	143,95	9,35	4,2
2003	133,76	142,35	186,43	216,82	174,81	171,59	129,03	67,33	109,69	167,21	157,59	171,78	152,37	9,57	4,1
2004	90,78	100,41	155,49	213,13	272,61	126,65	129,05	97,04	120,36	153,18	198,44	144,24	150,12	9,48	4,1
2005	30,71	29,69	113,47	101,66	60,91	37,1	12,85	13,52	27,97	95,62	129,33	88,09	61,74	10,50	4,4
2006	91,11	186,86	151,74	146,96	110,55	139,84	82,07	91,77	14,76	25,66	17,67	85,98	95,41	10,34	4,5
2007	58,21	13,07	66,71	52,23	67,4	84,8	26,72	113,05	83,71	195,36	227,55	148,9	94,81	10,89	4,6
2008	192,5	205,3	213,52	277,99	239,83	175,93	138,9	135,41	144,41	148,58	42,2	41,97	163,05	9,38	4,0
2009	124,46	227,55	200,93	125,32	19,54	18,42	65,55	121,7	72,05	168,77	92,31	174,11	117,56	9,78	4,2
2010	64,8	153,44	166,13	231,78	94,37	56,04	55,99	24,94	79,67	113,37	183,12	171,14	116,23	10,06	4,2
2011	166,98	199,75	150,7	267,27	127,54	90,5	138,27	79,89	83,64	149,76	174,86	135,25	147,03	9,61	4,1
2012	237,79	208,22	243,7	219,64	149,59	137,22	118,44	89,61	82,36	159,75	170,12	102,39	159,90	9,66	3,9
2013	128,2	194,29	216,84	204,69	196,11	135,02	156,3	131,66	106,64	180,67	135,09	139,19	160,39	10,13	3,7
2014	196,32	123,67	103,95	33,12	161,63	114,65	101,59	106,27	102,2	158,72	139,1	135,77	123,08	9,43	4,3
2015	235,46	220,59	299,11	359,11	259,08	204,96	202,63	163,9	115,04	205,83	257,82	219,66	228,60	9,46	4,1
2016	113,65	211,03	323,72	293,37	287,51	301,65	176,9	123,91	260,04	188,23	217,6	163,75	221,78	9,09	3,9
2017	324,46	207,62	269,3	217,95	268,4	266,62	177,38	172,34	167,92	141,76	250,39	265,77	227,49	9,35	3,9
2018	256,32	209,41	241,08	250,56	267,06	350,34	195,51	157,13	88,29	228,43	273,06	169,85	223,92	8,87	3,9
2019	195,45	220,67	197,31	244,01	243,98	252,88	150,96	129,08	84,65	218,82	179,01	231,88	195,73	8,91	4,1
2020	124,44	123,17	83,19	249,75	303,19	198,85	134,12	40,06	76,54	91,91	73,14	203,79	141,85	9,90	4,1
2021	249,66	218,17	265,1	290,26	258,81	311,82	65,21	51,56	51,71	209,24	210,04	269,42	204,25	9,27	3,8
MEDIA	143,93	166,86	186,43	217,95	187,3	139,84	115,49	97,04	89,6	153,18	157,59	148,9	150,12	9,43	4,14



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: 18 / 11 / 2022

INFORMACIÓN DEL AUTOR/A (S)

Nombres – Apellidos: Johana Maribel Aucancela Guaman

Melanie Dayana Vivas Vivas

INFORMACIÓN INSTITUCIONAL

Facultad: Ciencias

Carrera: Ingeniería en Biotecnología Ambiental

Título a optar: Ingeniera en Biotecnología Ambiental

f. Analista de Biblioteca responsable: Ing. Leonardo Medina Ñuste MSc.


DIRECCION DE BIBLIOTECAS
Y RECURSOS PARA EL APRENDIZAJE
Y LA INVESTIGACION
Ing. Leonardo Medina Ñuste MSc.
DBRA - ANALISTA DE BIBLIOTECA 1

2100-DBRA-UTP-2022