

**UNIVERSIDAD NACIONAL
TORIBIO RODRÍGUEZ DE MENDOZA DE AMAZONAS**



**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

**TESIS PARA OBTENER
EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO AMBIENTAL**

**VARIABILIDAD ESTACIONAL DE LA CALIDAD DEL
AGUA EN EL SISTEMA DE CONDUCCIÓN DE
TILACANCHA A CHACHAPOYAS**

Autora: Bach. Llandercita Cuchca Ramos

Asesores: M.Sc. Jaris Emmanuel Veneros Guevara

Ing. Eli Morales Rojas

Registro: (código de proyecto/tesis)

CHACHAPOYAS – PERÚ

2020

DEDICATORIA

“Cada adversidad lleva consigo la semilla de un beneficio equivalente o mayor a dicha adversidad”, el recorrido de un estudiante para forjarse como un profesional, lleva por un camino lleno de dificultades, noches de desvelo, en los que los pilares fundamentales que garantizan un apoyo emocional y económico son mis padres quienes han sido mi motivo para lograr mis objetivos y fuerza para lograr llegar a la meta propuesta, por lo mismo quiero dedicarles esta tesis a ellos y a las personas que permanecieron en todo momento y creyeron en mi persona, hoy puedo decir que la meta está cumplida.

Llandercita Cuchca Ramos

AGRADECIMIENTO

En mi recorrido como estudiante he tenido el privilegio de conocer a personas maravillosas quienes fueron cómplices de esta victoria que hoy se ve concretada, mi agradecimiento a mis asesores M. Sc. Jaris Emmanuel Veneros Guevara, Ing. Eli Morales Rojas y a la Dra. Ligia Magali García Rosero, a los docentes miembros del jurado y a todos aquellos que me brindaron conocimientos para mi desarrollo como profesional y como un miembro importante en la sociedad.

Llandercita Cuchca Ramos

**AUTORIDADES DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL TORIBIO RODRÍGUEZ
DE MENDOZA**

**DR. POLICARPIO CHAUCA VALQUI
RECTOR**

**DR. MIGUEL ÁNGEL BARRENA GURBILLÓN
VICERRECTOR ACADÉMICO**

**DRA. FLOR TERESA GARCÍA HUAMÁN
VICERRECTORA DE INVESTIGACIÓN**

**ROSALYNN YOHANNA RIVERA LÓPEZ
DECANA DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL**

VISTO BUENO DEL ASESOR DE TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL



REGLAMENTO GENERAL
PARA EL OTORGAMIENTO DEL GRADO ACADÉMICO DE BACHILLER, MAESTRO O DOCTOR Y DEL TÍTULO PROFESIONAL

ANEXO 3-K

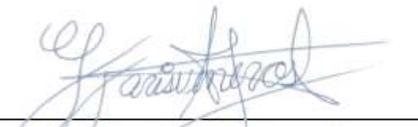
VISTO BUENO DEL ASESOR DE TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL

El que suscribe el presente, docente de la UNTRM (X)/Profesional externo (), hace constar que ha asesorado la realización de la Tesis titulada _____
VARIABILIDAD ESTACIONAL DE LA CANTIDAD DEL AGUA EN EL
SISTEMA DE CONDUCCIÓN DE TILACANCHA A CHACHAPOYAS ;
del egresado LIA ANDRÉS CAJAL RAMOS
de la Facultad de INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL
Escuela Profesional de INGENIERÍA AMBIENTAL
de esta Casa Superior de Estudios.

El suscrito da el Visto Bueno a la Tesis mencionada, dándole pase para que sea sometida a la revisión por el Jurado Evaluador, comprometiéndose a supervisar el levantamiento de observaciones que formulen en Acta en conjunto, y estar presente en la sustentación.

Chachapoyas, 06 de enero de 2021





M.Sc. Jaris Enmanuel Veneros Guevara
Asesor

VISTO BUENO DEL ASESOR DE TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO
PROFESIONAL



UNTRM

REGLAMENTO GENERAL
PARA EL OTORGAMIENTO DEL GRADO ACADÉMICO DE
BACHILLER, MAESTRO O DOCTOR Y DEL TÍTULO PROFESIONAL

ANEXO 3-K

VISTO BUENO DEL ASESOR DE TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL

El que suscribe el presente, docente de la UNTRM (X)/Profesional externo (), hace constar que ha asesorado la realización de la Tesis titulada _____
VARIABILIDAD ESTACIONAL DE LA CALIDAD DEL AGUA EN EL
SISTEMA DE CONDUCCIÓN DE TILACANCHA A CUACHABOYOS ;
del egresado LIANDESSA CUECA RAMOS
de la Facultad de INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL
Escuela Profesional de INGENIERÍA AMBIENTAL
de esta Casa Superior de Estudios.

El suscrito da el Visto Bueno a la Tesis mencionada, dándole pase para que sea sometida a la revisión por el Jurado Evaluador, comprometiéndose a supervisar el levantamiento de observaciones que formulen en Acta en conjunto, y estar presente en la sustentación.



Chachapoyas, 06 de enero de 2021

Ing. Eli Morales Rojas

Asesor



ANEXO 3-Q

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL

En la ciudad de Chachapoyas, el día 20 de julio del año 2021, siendo las 7:00 pm horas, el aspirante: Llandercita Cuchica Ramos, defiende en sesión pública presencial () / a distancia (x) la Tesis titulada:

...Variabilidad estacional de la calidad del agua en el sistema de conducción de Tilacancha a Chachapoyas...

...teniendo como asesor a M.Sc. Jarvis Emmanuel Venegas Guevara e Ing. Eli Morales Rojas, para obtener el Título Profesional de Ingeniería Ambiental...

...a ser otorgado por la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas, ante el Jurado Evaluador, constituido por:

Presidente: M.Sc. Jefferson Fitzgerald Reyes Farje

Secretario: Dra. Liz Stefany Hidalgo Sánchez

Vocal: Mg. Erick Sleyinson Arellano Carrón

Procedió el aspirante a hacer la exposición de la Introducción, Material y métodos, Resultados, Discusión y Conclusiones, haciendo especial mención de sus aportaciones originales. Terminada la defensa de la Tesis presentada, los miembros del Jurado Evaluador pasaron a exponer su opinión sobre la misma, formulando cuantas cuestiones y objeciones consideraron oportunas, las cuales fueron contestadas por el aspirante.

Tras la intervención de los miembros del Jurado Evaluador y las oportunas respuestas del aspirante, el Presidente abre un turno de intervenciones para los presentes en el acto de sustentación, para que formulen las cuestiones u objeciones que consideren pertinentes.

Seguidamente, a puerta cerrada, el Jurado Evaluador determinó la calificación global concedida a la sustentación de la Tesis para obtener el Título Profesional, en términos de:

Aprobado (x) Desaprobado ()

Otorgada la calificación, el Secretario del Jurado Evaluador lee la presente Acta en esta misma sesión pública. A continuación se levanta la sesión.

Siendo las 8:00 pm horas del mismo día y fecha, el Jurado Evaluador concluye el acto de sustentación de la Tesis para obtener el Título Profesional.

[Signature]

SECRETARIO

[Signature]

PRESIDENTE

[Signature]

VOCAL

OBSERVACIONES:

.....

JURADO EVALUADOR DE LA TESIS



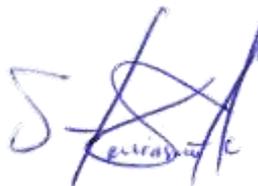
M.Sc. Jefferson Fitzgerald Reyes Farje

Presidente



Dra. Liz Stefany Hidalgo Sánchez

Secretaria



Mg. Erick Stevinsonn Arellanos Carrión

Vocal

ÍNDICE O CONTENIDO

| | |
|---|------|
| DEDICATORIA | ii |
| AGRADECIMIENTO | iii |
| AUTORIDADES DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL TORIBIO RODRÍGUEZ DE MENDOZA | iv |
| VISTO BUENO DEL ASESOR DE TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL | v |
| | v |
| VISTO BUENO DEL ASESOR DE TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL | vi |
| JURADO EVALUADOR DE LA TESIS | viii |
| ÍNDICE O CONTENIDO..... | ix |
| ÍNDICE DE TABLAS | xi |
| ÍNDICE DE FIGURAS | xii |
| RESUMEN | xiii |
| ABSTRACT..... | xiv |
| I INTRODUCCIÓN..... | 1 |
| II MATERIALES Y MÉTODOS..... | 3 |
| 2.1 Área de estudio..... | 3 |
| 2.1.1 Población | 4 |
| 2.1.2 Muestra | 4 |
| 2.1.3 Muestreo | 4 |
| 2.2 Metodología | 5 |
| 2.2.1 Puntos de muestreo | 5 |
| 2.2.2 Rotulado e identificación de muestras | 6 |
| 2.2.3 Medición de parámetros en campo | 6 |
| 2.2.4 Toma de muestras | 7 |
| 2.2.5 Conservación y traslado de muestras..... | 7 |
| 2.3 Análisis de parámetros fisicoquímico y microbiológico..... | 8 |
| 2.3.1 Parámetros | 8 |
| 2.3.2 Determinación de potencial de hidrógeno (pH)..... | 9 |
| 2.3.3 Determinación de Conductividad eléctrica (Ce)..... | 10 |

| | | |
|--------|---|----|
| 2.3.4 | Determinación de turbidez..... | 10 |
| 2.3.5 | Determinación de Sólidos Disueltos Totales (SDT)..... | 10 |
| 2.3.6 | Determinación de cloruros..... | 11 |
| 2.3.7 | Determinación de dureza | 11 |
| 2.3.8 | Determinación de sulfatos | 11 |
| 2.3.9 | Determinación de amoniaco | 12 |
| 2.3.10 | Determinación de metales totales: hierro, manganeso, aluminio, cobre, zinc, sodio..... | 12 |
| 2.3.11 | Determinación de coliformes totales, coliformes fecales y de <i>Escherichia Coli</i> 13 | 13 |
| 2.4 | Medición del caudal del río Tilacancha | 15 |
| 2.5 | Análisis de datos | 16 |
| III | RESULTADOS | 18 |
| 3.1 | Registro general de los parámetros | 18 |
| 3.2 | Registro de caudal | 20 |
| 3.3 | Análisis estadístico o procesamiento de datos | 21 |
| 3.3.1 | Relación de los parámetros con los LMP | 21 |
| 3.3.2 | Comportamiento de los parámetros físicos y químicos en épocas de lluvia y estiaje 22 | 22 |
| 3.3.3 | Correlación de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos en época de lluvia 26 | 26 |
| 3.3.4 | Correlación de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos en época de estiaje 28 | 28 |
| 3.3.5 | Relación de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos según la época 30 | 30 |
| 3.3.6 | Relación de metales totales en el río Tilacancha | 32 |
| IV | DISCUSIONES | 33 |
| V | CONCLUSIONES..... | 35 |
| VI | RECOMENDACIONES | 36 |
| VII | REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 37 |
| | ANEXOS | 42 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|---|----|
| Tabla 1. Coordenadas UTM de los puntos de muestreo | 5 |
| Tabla 2. Parámetros fisicoquímicos y microbiológicos a analizar | 8 |
| Tabla 3. Registros de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos según la época..... | 19 |
| Tabla 3. Registros de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos según la época..... | 20 |
| Tabla 4. Registro de caudales del río Tilacancha | 20 |
| Tabla 4. Registro de caudales del río Tilacancha | 21 |
| Tabla 5. Registros del caudal del río Tilacancha en dos épocas..... | 21 |
| Tabla 6. Resultados de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos para la época de lluvia | 25 |
| Tabla 7. Resultados de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos para la época de estiaje | 25 |
| Tabla 8. Diferencia estadística significativa de los parámetros fisicoquímicos por época de muestreo | 30 |
| Tabla 9. Diferencia estadística significativa de los metales totales por época de muestreo | 31 |
| Tabla 10. Diferencia estadística significativa de los parámetros microbiológicos por época de muestreo..... | 31 |
| Tabla 11. Diferencia estadística significativa del caudal en época de lluvia y estiaje.... | 31 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1. Ubicación del ACP Tilacancha | 4 |
| Figura 2 Ubicación de los Puntos de Muestreo en el río Tilacancha..... | 6 |
| Figura 3. Proceso de dilución de las muestras de agua..... | 14 |
| Figura 4. Parámetros que exceden los LMP establecidos en el DS N° 031-2010-SA.... | 22 |
| Figura 5. Comportamiento de los parámetros época de lluvia | 23 |
| Figura 6. Comportamiento de los parámetros en época de estiaje..... | 24 |
| Figura 7. Correlación de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos en época de lluvia: Correlación por tendencia de figura(7A), correlación con valor numérico (7B). | 27 |
| Figura 8 Correlación de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos en época de estiaje: Correlación por tendencia de figura (8A), correlación con valor numérico (8B). | 29 |
| Figura 9. Relación de los metales totales para la época de lluvia y estiaje | 32 |

RESUMEN

Esta investigación evaluó la variabilidad estacional de la calidad del agua del río Tilacancha, fuente que abastece a Chachapoyas y a las Comunidades Campesinas de Levanto y San Isidro del Maino. Se evaluó 18 parámetros entre físicos, químicos y microbiológicos del agua en cinco puntos de muestreo, para la época de lluvia y de estiaje. Los resultados obtenidos fueron comparados con los Límites Máximos Permisibles (LMP) de la norma DS N° 031-2010-SA. Se utilizó la función de relativización, el coeficiente de correlación de Pearson y la “t” de Student, para evaluar las relaciones entre los parámetros y las épocas, con valores de significancia de 0,05. Los parámetros microbiológicos, CT con 44 NMP/100ml, CF con 25 NMP/100ml y *E. coli* con 5,45 NMP/100 ml, superan los LMP en ambas épocas evidenciando que el agua del río Tilacancha no es apta para el consumo humano y se correlacionan de manera positiva con la turbidez, T°, SDT y caudal. Sucede lo contrario con los parámetros fisicoquímicos estos no superan los LMP, por ejemplo, el pH tiene una mediana de 7,70, Ce de 89,78 $\mu\text{S}/\text{cm}$, SDT de 24,85 mg/l. En cuanto a los metales totales, el de mayor concentración para ambas épocas fue el Na con una mediana de 2,51 mg Na/l.

Palabras clave: Calidad de agua, variabilidad estacional, consumo humano, parámetros fisicoquímicos y microbiológicos.

ABSTRACT

This research evaluated the seasonal variability of the water quality of the Tilacancha River, a source that supplies the Chachapoyas and the Peasant Communities of Levanto and San Isidro del Maino. Eighteen physical, chemical and microbiological parameters of the water were evaluated at five sampling points, for the rainy and dry season. The results obtained were compared with the Maximum Permissible Limits (LMP) of the DS N ° 031-2010-SA standard. The relativization function, Pearson's correlation coefficient and Student's "t" were used to evaluate the relationships between the parameters and the epochs, with significance values of 0,05. The microbiological parameters, TC with 44 MPN / 100ml, CF with 25 MPN / 100ml and E. coli with 5,45 MPN / 100 ml, exceed the MPL in both seasons, evidencing that the water from the Tilacancha River is not suitable for human consumption. and they are positively correlated with turbidity, T°, SDT, and flow rate. The opposite happens with the physicochemical parameters, these do not exceed the LMP, for example, the pH has a median of 7,70, Ce of 89,78 $\mu\text{S} / \text{cm}$, SDT of 24,85 mg / l. Regarding heavy metals, the one with the highest concentration for both periods was Na with a median of 2,51 mg Na / l.

Keywords: Water quality, seasonal variability, human consumption, physicochemical and microbiological parameters.

I INTRODUCCIÓN

En pleno siglo XXI, 2 000 millones de personas enfrentan problemas cruciales para acceder al agua y en un futuro dos tercios del planeta podría afrontar la misma situación, debido a la explotación excesiva de este recurso para el desarrollo de las actividades económicas y a los efectos del cambio climático. Entonces, para permitir una mejor gestión del agua, ciudades como California empezaron a cotizarla, debido a su escasez en las principales cuencas hidrográficas sirviendo como referente para el resto del mundo (DW, 2020).

Las investigaciones que se desarrollan en las cuencas hidrográficas son de gran importancia, porque las alteraciones que ocurren en las cabeceras de cuenca repercuten en las partes inferiores (Pino et al., 2017), así mismo, estas unidades hidrológicas, poseen características inherentes como el clima, las condiciones hidrológicas, los ecosistemas, la geología, entre otros, que contribuyen a potenciar la degradación de los recursos hídricos (Perez et al., 2018), por ejemplo, las precipitaciones que alteran la cantidad y calidad fisicoquímica y microbiológica de los cuerpos de agua, por los diferentes procesos mecánicos y químicos a los que da lugar, promoviendo las inundaciones, escorrentías, lavado de suelos, meteorización de las rocas y vertido de aguas residuales (Morales et al., 2019; Espinal, Sedeño y López, 2013), en consecuencia, varían las concentraciones de los parámetros físicos, químicos y microbiológicos (Montoya, et al., 2011). A todo esto, se suman las actividades antrópicas que deterioran la estructura natural del suelo aumentando la escorrentía y los procesos de erosión ejerciendo presión y fragilidad en los cuerpos de agua (Perez et al., 2018).

La composición física, química y microbiológica del agua va a definir su calidad, este es un factor determinante para el bienestar humano y está estrechamente ligado a la salud y el crecimiento económico (Baque et al., 2016; Villena, 2018), es por ello, que la calidad del agua designada para el consumo humano debe ser controlada y monitoreada mediante la medición de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos (Morales et al., 2019), porque ofrecen múltiples ventajas como indicadores de calidad, están presentes en la mayoría de los sistemas acuáticos continentales, los organismos son de naturaleza sedentaria y la metodología es simple y confiable (Baque et al., 2016). Para el control de la calidad del agua, diversos países han adoptado o desarrollado normas y herramientas basadas en la determinación de las concentraciones de parámetros físicos, químicos y microbiológicos, brindadas por la Organización Mundial de la Salud (OMS) (Rodríguez

et al., 2017). Perú, cuenta con las normas vigentes el D.S N° 004-2017-MINAM, que aprueba los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para designar la categoría de uso de agua según la Autoridad Nacional del Agua, y el Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano D.S N° 031-2010-SA, desarrollado por la Dirección General de Salud Ambiental (DIGESA) en el año 2010, que establece los Límites Máximos Permisibles (LMP) para el consumo humano asegurando su inocuidad.

Muchas son las investigaciones enfocadas a determinar la calidad del agua, en las cuales se ha demostrado la influencia del clima mediante la determinación de diferencias significativas entre los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos para distintas épocas climáticas (Morales et al., 2019), además, Baque et al. (2016), demuestra que en las épocas lluviosas el agua tiende a presentar mayores concentraciones de bacterias fecales superando los LMP establecidos. Así mismo, Villamarín, Prat y Rieradevall (2014), realizaron la caracterización fisicoquímica e hidromorfológica de los ríos altoandinos tropicales de Ecuador y Perú, en general midieron parámetros físicos, químicos, hidromorfológicos y la cobertura vegetal. Concluyendo que, la mayor significancia de un factor u otro está determinado por el nivel espacial (localidad, cuenca, región). Para la región Amazonas, Leiva, Chávez y Corroto (2016), evaluaron la calidad fisicoquímica y microbiológica del río Shocol en la provincia de Rodríguez de Mendoza, concluyendo que sus aguas son aptas para las categorías III y IV, establecidos en los ECA para agua. Por las razones expuestas y dada la importancia de conocer la calidad del agua de la fuente que abastece a la Ciudad de Chachapoyas y a las Comunidades Campesinas de San Isidro del Maino y Levanto, se desarrolló la presente investigación, con el objetivo de determinar la variabilidad estacional de la calidad del agua del sistema de conducción de Tilacancha a Chachapoyas, proveniente del Área de Conservación Privada (ACP) Tilacancha, la cual brinda importantes servicios ecosistémicos relacionados con el aprovisionamiento y regulación de la cantidad y calidad de agua (Seitz, 2015). Pero viene siendo amenazada por la deforestación, quema de pajonales, agricultura y ganadería (CONDESAN, 2014), estos factores deterioran la calidad de los servicios ecosistémicos hídricos, al igual que el pastoreo de ganado (vacuno, caballar), animales salvajes y el cambio de usos del suelo, que aportan de coliformes y de sedimentos al agua (Arellanos, 2018), igualmente, la cantidad de agua o caudal ha disminuido en los últimos años según las mediciones mensuales que realiza EMUSAP S.R.L (Lucich et al., 2014).

II MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Área de estudio

El ACP Tilacancha se ubica en los Andes centrales, en la ecorregión páramo de la Cordillera Central, abarca las tierras de las Comunidades Campesinas de Levanto y San Isidro del Maino (Figura 1), entre los 2 650 y 3 491 msnm, tiene una extensión de 6 800.48 hectáreas ocupando el 4% del territorio de la región Amazonas (Salas *et al.*, 2018). Fue reconocida como ACP el 6 de julio del 2010, a través de Resolución Ministerial N° 118-2010-MINAM, con la intención de conservar las partes altas de las subcuencas Tilacancha y Cruzhuayco, los pajonales, los bosques montanos y la diversidad biológica, contribuyendo al adecuado manejo y funcionamiento de la cuenca Yuyac – Osmal, garantizando de esta forma los servicios ecosistémicos a lo largo del tiempo y contribuir al desarrollo sostenible (Lucich *et al.*, 2014).

Según el SENAMHI, el clima del ACP Tilacancha, varía de muy húmedo a templado frío, generalmente lluvioso (Salas *et al.*, 2018), la temperatura media anual oscila entre 17 °C y 12 °C, por otro lado, la precipitación promedio anual es de 850 mm, los registros de lluvias no son regulares a lo largo del año, los meses de octubre a abril corresponden a un periodo de lluvias con una precipitación promedio de 100mm/mes, en cambio en los meses de junio a septiembre la precipitación disminuye a 54 mm/mes, siendo agosto el mes con menos lluvia (CONDESAN, 2014), así mismo, el caudal promedio registrado por EMUSAP S.R.L del río Tilacancha es de 1,4 m³/s aproximadamente, presentando variaciones significativas entre épocas de lluvia y estiaje.

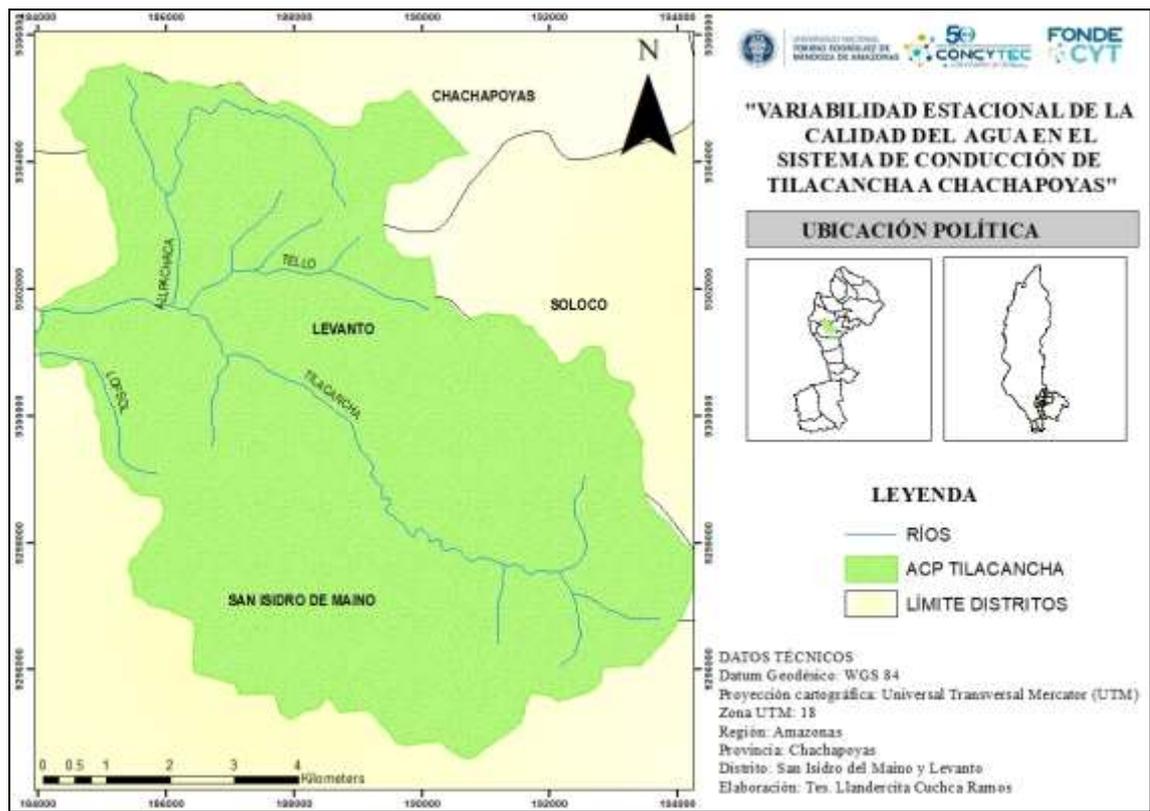


Figura 1. Ubicación del ACP Tilacancha

2.1.1 Población

La presente investigación no aplica la determinación de la población, debido a que el problema de investigación se ha enfocado al río Tilacancha y a la línea de conducción de agua para consumo humano de Tilacancha a Chachapoyas.

2.1.2 Muestra

Se colectaron quince muestras de agua, cinco muestras por cada mes de muestreo, octubre de 2019, febrero y agosto del 2020. La cantidad para los análisis fisicoquímicos fue de 1000 mililitros y para los análisis microbiológicos fue de 500 mililitros. Todo el proceso de análisis para obtener la concentración de los parámetros se realizó en el Laboratorio de Suelos y Aguas del Instituto de Investigación para el Desarrollo Sustentable de Ceja de Selva (INDES-CES) de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza (UNTRM).

2.1.3 Muestreo

Los muestreos fueron realizados en los cinco puntos de elegidos por su accesibilidad y representatividad a lo largo del río Tilacancha y en la línea de conducción que viene a

Chachapoyas, en los meses de febrero y agosto del 2020. El muestreo permitió medir parámetros fisicoquímicos, como pH, temperatura (T°), conductividad eléctrica (Ce), turbidez, sólidos disueltos totales (SDT), cloruros, sulfatos, dureza, amoníaco, hierro, manganeso, aluminio, cobre, zinc, sodio, y microbiológicos como coliformes totales (CT), coliformes fecales (CF) y *Escherichia coli*.

2.2 Metodología

2.2.1 Puntos de muestreo

Se establecieron cinco puntos de muestreo, cuatro de ellos en el tramo del río Tilacancha incluyendo la captación y uno en la parte final de la línea de conducción de agua. La selección se realizó teniendo en cuenta el Protocolo de Monitoreo de la Calidad Sanitaria de los Recursos Hídricos Superficiales Resolución Directoral N° 2254-2007-DIGESA (DIGESA, 2007). La ubicación de los puntos de muestreo se realizó según los siguientes criterios:

- Identificación: Fueron ubicados de manera que se identifiquen fácilmente, mediante el uso del Sistema de Posicionamiento Satelital (GPS) registrando sus coordenadas UTM (Tabla 1).

Tabla 1. Coordenadas UTM de los puntos de muestreo

| PM | Coordenadas UTM | | | Altitud (msnm) |
|------------|-----------------|--------|---------|-------------------|
| | Zona | Este | Norte | |
| PM1 | 18 | 189394 | 9298678 | 2939 |
| PM2 | 18 | 189112 | 9299257 | 2947 |
| PM3 | 18 | 188973 | 9299381 | 2946 |
| PM4 | 18 | 188898 | 9299661 | 2941 |
| PM5 | 18 | 183468 | 9309339 | 2463 |

- Accesibilidad: Fueron ubicados en lugares de rápido y fácil acceso para coleccionar las muestras.
- Representatividad: Se tuvo en cuenta las características del entorno, la cobertura vegetal y la existencia de posibles factores influyentes en la calidad del agua.

Teniendo en cuenta los tres criterios mencionado con anterioridad, los puntos de muestreo en el río Tilacancha se ubicaron de la siguiente manera (Figura 2):

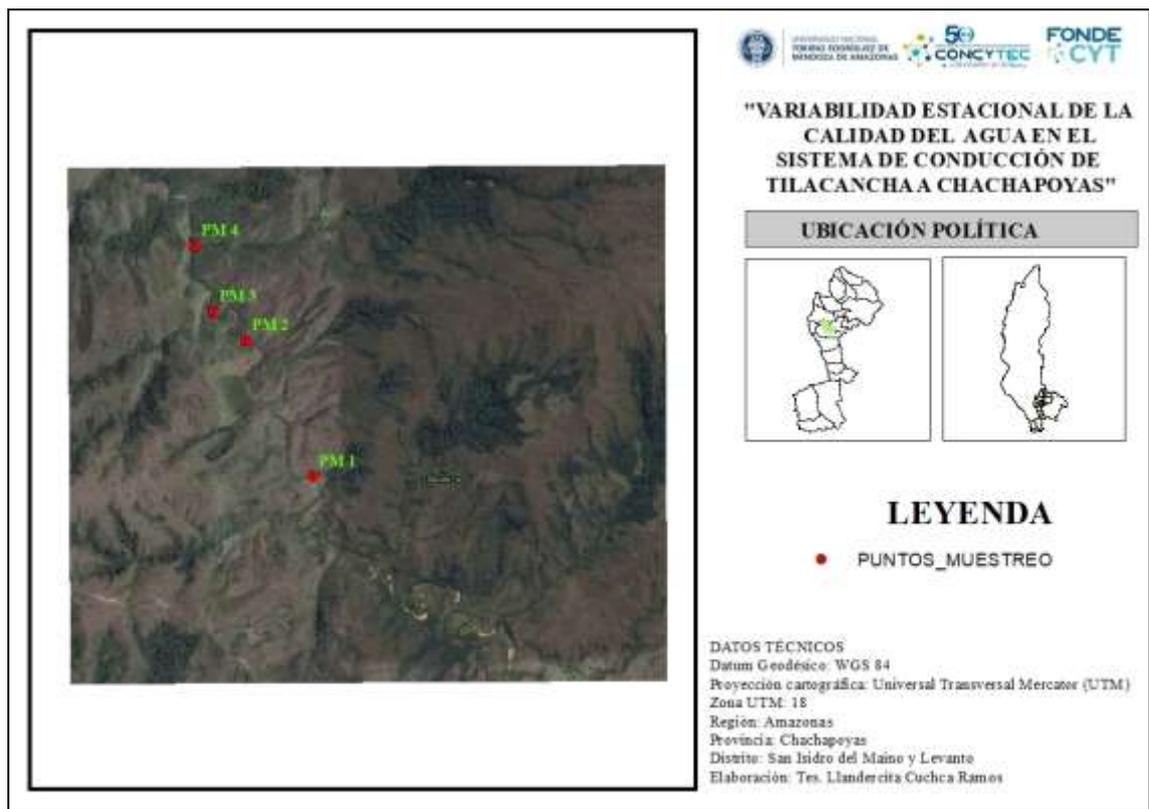


Figura 2 Ubicación de los Puntos de Muestreo en el río Tilacancha

2.2.2 Rotulado e identificación de muestras

Los frascos de vidrio y plástico utilizados fueron rotulados antes de recolectar la muestra, con plumón de tinta indeleble colocando un código de identificación, punto de muestreo, matriz, fecha y hora de muestreo, lugar, coordenadas y responsable del muestreo.

2.2.3 Medición de parámetros en campo

La medición de parámetros en campo, del pH, la Ce y la T°, se realizó de acuerdo a lo establecido en la Resolución Directoral N° 2254-2007-DIGESA-SA. Se utilizó un Multiparamétrico Hanna modelo HI 98194, previamente inspeccionado para verificar su mantenimiento y calibración, al momento de la medición se utilizó guantes quirúrgicos y así evitar el contacto directo con los sensores y/o contaminar las muestras produciendo alteraciones en los resultados, colocando los sensores de pH, Ce y T° directamente en la superficie del agua del río Tilacancha.

2.2.4 Toma de muestras

Las muestras de agua fueron recolectadas en los meses de octubre de 2019, febrero y agosto de 2020, para ello, se consideró la metodología establecida en la Resolución Directoral 160-2015-DIGESA-SA (DIGESA, 2015).

a. Recomendaciones para la toma de muestras microbiológicas

Para la toma de muestras microbiológicas se procedió de la siguiente manera:

- Al momento de la colecta se utilizó guantes quirúrgicos para evitar la contaminación de la muestra.
- Los frascos de vidrio de 500 ml utilizados fueron previamente esterilizados y cubiertos con papel sujetos con hilo pabilo.
- Al momento de retirar la tapa se evitó tocar el interior de la misma y del frasco, al instante fue sumergido en el río dejando un espacio para facilitar la agitación de la muestra.
- Finalmente se colocó la tapa en el frasco cubriéndola con papel sujetándola con hilo pabilo.

b. Recomendaciones para la colecta de muestras fisicoquímicas

Para el recojo de las muestras fisicoquímicas se procedió de la siguiente manera:

- Al momento de la colecta se utilizó guantes quirúrgicos para no contaminar la muestra.
- Se utilizó frascos de plástico de 1000 ml, antes de coleccionar la muestra fueron enjuagados tres veces con el fin de eliminar sustancias existentes.
- Se coleccionó el agua dejando un espacio para la homogenización de la muestra al momento de realizar los análisis.

2.2.5 Conservación y traslado de muestras

Las muestras recolectadas fueron conservadas y trasladadas en una caja térmica (Cooler) para mantener una temperatura de 4°C aproximadamente con preservantes de temperatura (Ice pack). Los frascos de vidrio fueron colocados cuidadosamente para evitar fracturas, derrames y contaminación de las muestras de agua hasta ser entregados al Laboratorio de Suelos y Aguas del INDES-CES de la UNTRM antes de las 24 horas para sus respectivos análisis.

2.3 Análisis de parámetros fisicoquímico y microbiológico

2.3.1 Parámetros

Los parámetros a analizar fueron elegidos teniendo en cuenta el Anexo I y II del Decreto Supremo N° 031-2010-SA, que hace referencia a los Límites Máximos Permisibles de parámetros microbiológicos y parasitológicos y a los Límites Máximos Permisibles de parámetros de calidad organoléptica, respectivamente. De los cuales, se consideraron 18 parámetros mostrados a continuación en la Tabla 2.

Tabla 2. Parámetros fisicoquímicos y microbiológicos a analizar

| PARÁMETRO | UNIDAD | MÉTODO |
|----------------------------------|-------------------------|---|
| Temperatura | °C | Método 4500-O G; APHA, AWWA, WPFC: Electrodo de Membrana |
| Ph | Valor de pH | Método 4500-H+; APHA, AWWA, WPFC: Electrodométrico |
| Conductividad eléctrica | µS/cm | Método 2510 B; APHA, AWWA, WPFC: Electrodométrico |
| Turbidez | UNT | Método Nefelométrico |
| Sólidos totales disueltos | mg/l | Sólidos totales secados |
| Cloruros | mg Cl/l | Método 4500-Cl-- B APHA, AWWA, WEF: Argentico |
| Dureza | mg CaCO ₃ /l | Método 2340C APHA, AWWA, WEF: Titulación con EDTA |
| Sulfatos | mg SO ₄ /l | Método 375.4; EPA: Turbidométrico |
| Amonio | mg N/l | Método 4500-NH ₃ C; APHA, AWWA, WPFC: Nessler |
| Hierro | mg Fe/l | Método 200.7 |
| Manganeso | mg Mn/l | Método 200.7 |
| Aluminio | mg Al/l | Método 200.7 |
| Cobre | mg Cu/l | Método 200.7 |
| Zinc | mg Zn/l | Método 200.7 |
| Sodio | mg Na/l | Método 200.7 |

Tabla 3. Parámetros físicoquímicos y microbiológicos a analizar

| | | |
|--------------------------------|------------------------|---------------------------------|
| Coliformes totales | NMP/100 ml a 35°C | Método 9221-B; APHA, AWWA, WPFC |
| Coliformes fecales | NMP/100 ml a 44,5°C | Método 9221-C; APHA, AWWA, WPFC |
| <i>Escherichia coli</i> | NMP/100 ml a 44,5°C | Método 9225-B; APHA, AWWA, WPFC |

Para el análisis de cada parámetro físico (T°, Ce y turbidez), químico (SDT, cloruros, dureza, sulfatos, amonio, hierro, manganeso, aluminio, cobre, zinc y sodio) y microbiológico (CT, CF y E. coli), se aplicó la metodología correspondiente indicada en la Tabla 2, plasmada en las Normas Internacionales APHA, AWWA, WPFC, dichos análisis fueron realizados en el Laboratorio de Suelos y Aguas del INDES-CES de la UNTRM.

2.3.2 Determinación de potencial de hidrógeno (pH)

El pH nos permite conocer la actividad y concentración de los iones hidrógeno en una escala que va desde 0 a 14 siendo 7 el valor que representa la neutralidad, valores menores a 7 indican condiciones ácidas y mayores a 7 las condiciones básicas al agua (Sierra, 2011).

Para la medición de pH en campo se empleó el Multiparamétrico Hanna modelo HI 98194. Para iniciar la medición se enjuagó el recipiente por tres veces consecutivas para coleccionar la muestra, el electrodo de pH se enjuagó con agua destilada previamente a cada medición, posterior a esto se introdujo rápidamente el electrodo dentro de la muestra a ser analizada. Se presionó el botón medir del Multiparamétrico, se esperó a que se estabilice la lectura y se registraron los valores obtenidos en el cuaderno de campo.

La temperatura del agua fue medida con el mismo electrodo de pH, la medición de este parámetro es de gran importancia porque influye en la vida acuática y en el comportamiento de parámetros físicoquímicos como el pH, oxígeno disuelto, CE, entre otros (Muñoz *et al.*, 2015).

2.3.3 Determinación de Conductividad eléctrica (Ce)

La Ce expresa en forma numérica la capacidad del agua para conducir la electricidad, debido a la presencia de iones como el Ca, Mg, Na, P, bicarbonatos, cloruros y sulfato (Akindele, Adeniyi y Indabawa, 2013).

Se aplicó el Método 2510 B; APHA, AWWA, WPCF: Electrodométrico y se utilizó el equipo Multiparamétrico Hanna modelo HI 98194. Para iniciar la medición se enjuagó el recipiente por tres veces consecutivas para proceder a coleccionar la muestra directamente de la fuente, el electrodo de Ce se enjuagó con agua destilada previamente a cada medición, este fue sumergido en la muestra y se esperó a que se estabilice la lectura de Ce para registrar los datos obtenidos.

2.3.4 Determinación de turbidez

La turbidez es una característica del agua que impide la penetración de la luz o reduce su intensidad, debido al material suspendido o coloides como arcilla y limo, materia orgánica e inorgánica, compuestos orgánicos solubles y plancton presentes en el agua (Montoya *et al.*, 2011).

Para la medición de la turbidez se utilizó el equipo Turbidímetro HACH 2100Q, en primer lugar, las muestras fueron agitadas para su homogenización, seguidamente, en las celdas de vidrio se colocó las muestras de agua procediendo a sacarles brillo con una franela para permitir una lectura adecuada, entonces la celda fue colocada en el soporte portacubetas. Finalmente, se presionó la tecla medición y el valor registrado fue en Unidades Nefelométricas de Turbidez (UNT). Cabe recalcar, que la medición de la turbidez se realizó tres veces por muestra, para obtener mejores resultados.

2.3.5 Determinación de Sólidos Disueltos Totales (SDT)

Los (SDT) en gran cantidad alteran las características organolépticas del agua por la presencia de materia suspendida o disuelta (Sierra, 2011).

Para medir los SDT en primer lugar, las muestras fueron agitadas para su homogenización y se agregó 80 ml en un beakers, luego el electrodo del Multiparamétrico fue sumergido en dicha muestra, finalmente se registró los resultados obtenidos en el cuaderno de registros del laboratorio.

2.3.6 Determinación de cloruros

Los cloruros en las aguas naturales son aniones inorgánicos provenientes de la filtración de agua de mar en zonas costeras, lavado de suelos en zonas áridas y del vertido de aguas residuales (Sierra, 2011). El método utilizado, se basa en la Titulación con Nitrato de plata, utilizado para determinar concentraciones entre 1,5 y 100 mg/l, para ello, como indicador del punto final utilizamos Cromato de Potasio.

Para determinar la presencia de cloruros en las muestras de agua, se homogenizaron las muestras y en una probeta fueron medidas 50 ml para luego colocarlas en un matraz de Erlenmeyer, seguidamente se añadió 3 gotas de indicador Cromato de potasio 0,00955N agitando constantemente hasta que se torne de color amarillo, finalmente se tituló con solución estándar de AgNO_3 al 0,00955N hasta que vire a un color rojo ladrillo. El volumen gastado de AgNO_3 fue anotado en el cuaderno de registro.

2.3.7 Determinación de dureza

La dureza en el agua indica la presencia de sales provenientes del suelo y formación geológica o por contaminación directa, en altas concentraciones contribuye a la formación de incrustaciones (Awoyemi, Achudume y Okoya, 2014). El método utilizado se basa en el método volumétrico de ácido Etilendiaminotetra-acético disódico dihidratado (EDTA) a 0,0124N que forma complejos estables con los iones calcio y magnesio, como indicador se utiliza el indicador Negro de Ericromo T (NET) que indica el cambio de color.

Para la determinación de la dureza, primero se homogenizaron las muestras y con ayuda de una probeta se midió 50 ml de muestra que fue colocada en un matraz Erlenmeyer, a esto se agregó 2 ml de Buffer de Dureza más una pizca de NET con el cual adquirió un color fucsia, finalmente se tituló con solución estándar de EDTA a 0.0124N hasta que cambie a un color azul, el volumen gastado fue registrado.

2.3.8 Determinación de sulfatos

Los sulfatos (SO_4^{2-}) son aniones abundantes en aguas duras, procedentes de la oxidación de sulfuros en el suelo o contaminación por aguas residuales industriales, su presencia en exceso en el agua origina mal olor por la acción de bacterias que forman el ácido sulfúrico, disminuye el pH y ocasiona enfermedades gastrointestinales cuando se mezcla con el calcio y magnesio (Uriburu, 2018).

Para iniciar con la lectura de sulfatos, en primer lugar, se rotularon dos vasos precipitados con Blanco Muestra (BM) y M1, luego se agitaron las muestras de agua y se colocó 50 ml a ambos vasos, seguido a esto se utilizaron dos placas calefactoras para agitar por 1 minuto las muestras al adicionar 5 ml de solución amortiguadora de sulfatos a ambos y después se agregó 1 pisco de Cloruro de Bario al vaso M1.

Antes de la lectura en el colorímetro las muestras se dejaron reposando por 3 minutos, posteriormente, se prendió el colorímetro y en celdas de vidrio se colocó las muestras de los vasos BM y M1. En primer lugar, se colocó la celda con la muestra BM en el soporte portacubetas tapado correctamente y se pulsó la tecla cero hasta que en pantalla aparezca el número 0. Luego, se colocó la celda M1 y presionamos el botón leer para observar el resultado que fue anotado en el cuaderno de registro.

2.3.9 Determinación de amonio

El ion amonio es un gas presente de forma natural en aguas superficiales (hasta 0,10 mg de NH_3/l) si son aguas con alta concentración de oxígeno, si la concentración es superior indica que existe contaminación por aguas residuales, ocasionando la eutrofización de los cuerpos de agua (Rojas, 2019).

Para la lectura de amonio se utilizó el espectrofotómetro, para iniciar se rotularon las fiolas de la siguiente manera, BM, M1, M2, M3, M4 y M5 y se añadió 5ml de agua destilada a la fiola BM y 5ml de muestra de agua previamente agitadas a las demás fiolas. Luego, se agregó 2 gotas de sal de Rochelle a cada fiola y 2 ml de reactivo Nessler agitando constantemente, finalmente, se aforó cada fiola con agua destilada y se dejó reposando por 30 minutos para la lectura. Pasado el tiempo de reposo, el contenido de las fiolas se vació en las celdas de vidrio para luego colocarlas en la porta celdas del espectrofotómetro según el orden en las que se ubican, empezando con el BM. Este se configuró para la lectura de amonio y el resultado fue anotado en el cuaderno de registros.

2.3.10 Determinación de metales totales: hierro, manganeso, aluminio, cobre, zinc, sodio

La presencia de metales totales en el agua se debe en su gran mayoría a los vertidos directos de aguas residuales industriales, especialmente de la actividad minera que se ha convertido en un problema internacional por la contaminación a las fuentes de agua (Gómez, Villalba, Acosta, Castañeda y Kamp, 2004). Las elevadas concentraciones de

metales totales en las fuentes de agua ocasionan problemas a la salud de los consumidores, mortalidad de especies acuáticas y disminución de la productividad agrícola y ganadera (Barenys *et al.*, 2014).

Para la lectura de estos metales totales en las muestras, se filtraron 100 ml de muestras utilizando el papel filtro, este volumen filtrado fue traspasado a frascos de plástico y se añadió 0.3 ml de Ácido nítrico al 1% para su preservación, este procedimiento se realizó dentro de la cámara de extracción de gases y usando los equipos de protección (mascarilla, lentes y guantes) para evitar accidentes. Posteriormente, se colocaron 10 ml de muestra preservada en tubos de ensayo para su digestión y se llevó a la incubadora por 2 horas. Finalmente, se realizó la lectura de trazas de hierro, manganeso, aluminio, cobre, zinc, sodio en el espectrofotómetro de emisión atómica.

2.3.11 Determinación de coliformes totales, coliformes fecales y de *Escherichia Coli*

Las bacterias coliformes incluyen microorganismos provenientes del intestino de los animales, de las plantas, del suelo y del agua. Su estudio es de gran importancia porque son considerados como microorganismos indicadores de la calidad del agua de los ríos y su presencia afecta directa e indirectamente problemas a la salud de los consumidores (Seo, Lee y Kim, 2019).

Fase presuntiva de coliformes

La siembra se realizó en caldo Lauril Sulfato, para presuponer la posible presencia de coliformes totales y coliformes fecales mediante la observación de gas y turbidez.

Se realizó diluciones de la muestra, con el objetivo de aislar las colonias de microorganismos y obtener mejores resultados en el recuento de los mismos, las diluciones suelen ser decimales (1/10, 1/100, 1/1000, etc.) o expresado en 10-1, 10-2 y 10-3. Las diluciones se realizaron teniendo en cuenta la contaminación que puede presentar la muestra de agua, por ejemplo, para aguas de baño se realiza diluciones hasta 10-3, y para aguas residuales del orden de 10-10.

En la fase presuntiva de coliformes se realizó lo siguiente:

- Se diluyó las muestras en frascos de vidrio, 10-1, 10-2 y 10-3, a estos frascos se agregó 54 ml de agua destilada estéril y con ayuda de una pipeta de 10 ml y una punta se agregó 6 ml de muestra pura al frasco con dilución 10-1, de este frasco

se añadió al frasco con dilución 10-2 6 ml de muestra y de este 6 ml al tercer frasco, tal y como se aprecia en la Figura 2.



Figura 3. Proceso de dilución de las muestras de agua

- Teniendo en cuenta la serie de tubos de caldo Lauril sulfato de doble y simple concentración elegidos según la tabla del NMP, se eligieron 5 tubos de doble concentración y 15 tubos de simple concentración (dilución 10-3), ya que las aguas a analizar no se suponen muy contaminadas. Luego, se realizó la siembra de 10 ml de las muestras diluidas en los tubos de ensayo con Lauril Sulfato, siguiendo la serie de tubos.
- Finalmente, se llevó a incubar a 37°C de 24 a 48 horas.
- Para la lectura se consideró tubos presuntivamente positivos los que presentaron turbidez y gas en las campanas de Durham.

Fase de confirmación de coliformes totales (Método 9221-B; APHA, AWWA, WPFC)

Luego de descartar los tubos presuntivamente positivos en Lauril Sulfato, se preparó tantos tubos con Caldo Brilla de doble y simple concentración como tubos presuntivamente positivos de Lauril Sulfato.

La siembra se realizó con ayuda de una micropipeta y se agregó 1 ml a todos los tubos de ensayo que contienen el Caldo Brilla, se llevó a incubación a 37°C por 48 horas, cumplido el tiempo se realizó la lectura observando la presencia de gas en las campanas de Durham y la turbidez en el medio de cultivo.

Para la lectura, se anotó el número de tubos positivos de cada serie, para así obtener un número en la tabla de NMP.

Fase de confirmación de coliformes fecales o termotolerantes (Método 9221-C; APHA, AWWA, WPFC)

Se prepararon los tubos de doble y simple concentración con Caldo EC de acuerdo a los tubos que resultaron presuntivamente positivos en Lauril Sulfato. Luego, con una micropipeta se realizó la siembra agregando 1 ml de muestra de los tubos con Lauril Sulfato a los tubos con caldo EC y se llevó a incubar a 44°C por 24 horas. Finalmente, se realizó la lectura teniendo en cuenta gas y turbidez en los tubos.

Fase de confirmación de *Escherichia coli* (Método 9225-B; APHA, AWWA, WPFC)

La confirmación de la presencia de *E. coli* en una muestra de agua, resultó de la siembra de los tubos con caldo EC que se consideraron presuntivamente positivos en la lectura de coliformes fecales. La siembra se realizó en placas Petri que contienen Agar EMB previamente codificadas y divididas en secciones dependiendo del número de tubos positivos, mediante la técnica de siembra en estría.

Finalmente, se incubó a 37°C por 24 horas, la prueba de confirmación de consideró positiva si tuvo crecimiento de colonias de un color verde metálico. Se anotó el número de secciones que resultaron positivas, para obtener un número en la tabla de NMP.

2.4 Medición del caudal del río Tilacancha

Siendo el caudal el volumen de agua que transcurre por un área determinada del río en un determinado tiempo en m³/s o l/s, su medición es de suma importancia, porque en los ríos mediterráneos presenta significativas variaciones durante las épocas de verano e invierno, así mismo, el caudal puede ser un factor influyente en la concentración de los parámetros fisicoquímicos y microbiológico de los ríos (Prat *et al.*, 2012).

Para calcular el caudal del río Tilacancha en la época de lluvia y estiaje se aplicó la siguiente metodología:

Método del correntómetro

Este método permite medir la velocidad del agua haciendo uso del correntómetro de hélice, que mide la velocidad del agua en uno o más puntos desde la superficie hasta diferentes profundidades (DIGESA, 2007).

Procedimiento

- Para cada punto de muestreo se eligió una sección del río lo más uniforme posible y de fácil acceso.
- Se midió el ancho del río con una Wincha de 10 m y se señaló usando una rafia.
- La sección del río fue dividida en subsecciones con una distancia de 50 cm.
- En los límites de cada subsección se midió la velocidad del agua a los 20 y 80 cm de profundidad utilizando el Correntómetro GLOBAL WATER 800-876-1172, Modelo: FP111.
- Los valores obtenidos fueron anotados en el cuaderno de campo.

2.5 Análisis de datos

El análisis de datos se realizó mediante la aplicación de la función de relativización, transformando los valores de los diversos parámetros fisicoquímicos y microbiológicos a una escala que va de 0 a 1 (Sepúlveda, 2008).

Ecuación 1. Función de relativización

$$f(x) = \frac{x - m}{M - m}$$

Donde:

x: Valor correspondiente de la variable para una unidad de análisis determinada en un periodo de tiempo.

m: Valor mínimo de la variable en un determinado periodo.

M: Valor máximo de la variable en un determinado periodo.

Esta función permitió visualizar el comportamiento de los parámetros en las épocas de lluvia y estiaje con respecto a los Límites Máximos Permisibles, establecidos en el reglamento mediante DS N°031-2010-SA.

Además, se utilizó gráficos de cajas y bigotes para cada parámetro según la época de lluvia y estiaje, estos gráficos permiten mostrar el comportamiento de cada parámetro y la correlación de los mismos. Así mismo, se aplicó la prueba “t” de Student y el

coeficiente de correlación de Pearson para evaluar las relaciones entre los parámetros fisicoquímicos, microbiológicos y el caudal para la época de lluvia y estiaje, con valores de significancia de 0,05, los puntos para interpretar la correlación está basada en (Ratner, 2009) que determina, que de 0 a 0,3 (0 a -0,3) relación lineal débil, 0.3 a 0.7 (-0,3 a -0,7) relación lineal moderada y de 0.7 a 1 (-0,7 a -1) relación lineal fuerte.

III RESULTADOS

3.1 Registro general de los parámetros

A partir de las muestras de agua recolectadas en la época de lluvia y de estiaje de los cinco puntos de muestreo y de los análisis realizados en laboratorio, se obtuvieron los siguientes resultados, los mismos que fueron comparados con los LMP establecidos en el D.S N° 031-2010-SA. En la Tabla 4 y 5, se observa que los parámetros microbiológicos, CT, CF y E. coli superan los LMP en época de lluvia y estiaje. En cuanto a los parámetros fisicoquímicos todos cumplen con los LMP, sin ser condicionados por las épocas en las que fueron tomadas las muestras de agua. Por ejemplo, del pH el mayor valor se obtuvo en la época de lluvia con 8,38, al igual que la T° con 13,70°C y la turbidez con 3,70 UNT, la Ce, SDT, cloruros y dureza fueron mayores en la época de estiaje con valores de 100,70 $\mu\text{S}/\text{cm}$, 43,80 mg/l, 7,26 mg Cl/l y 49,35 mg CaCO₃/l. En lo que se refiere a sulfatos y amonio la concentración mayor fue en la época de estiaje con 4,23 mg SO₄/l y 0,12 mg N/l. Finalmente, los metales totales como Al y el Mn superan los LMP con valores de 0,26 mg Al/l y 1,41 mg Mn/l en época de lluvia y estiaje respectivamente, luego el Fe que tuvo mayor concentración en época de lluvia con 0,11 mg Fe/l, el Na y el Zn aumentaron en estiaje con concentraciones de 2,57 mg Na/l y 0,04 mg Zn/l.

Tabla 4. Registros de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos según la época

| VARIABLES | | ÉPOCAS | | |
|-----------|------|--------|---------|----------------------------|
| | | Lluvia | estiaje | LMP |
| pH | Prom | 8.38 | 7.70 | 6,5 a 8,5 |
| | SDV | 0.15 | 0.09 | |
| | CV | 0.02 | 0.01 | |
| T° | Prom | 13.70 | 12.70 | ** |
| | SDV | 0.79 | 0.84 | |
| | CV | 0.06 | 0.07 | |
| Turb | Prom | 1.25 | 0.77 | 5 UNT |
| | SDV | 0.75 | 0.19 | |
| | CV | 0.60 | 0.25 | |
| Ce | Prom | 55.40 | 89.78 | 1 500 µS/cm |
| | SDV | 1.42 | 2.89 | |
| | CV | 0.03 | 0.03 | |
| SDT | Prom | 24.85 | 43.80 | 1 000 mg/l |
| | SDV | 0.33 | 1.59 | |
| | CV | 0.01 | 0.03 | |
| Cloruros | Prom | 3.11 | 7.26 | 250 mg Cl-/l |
| | SDV | 2.12 | 1.73 | |
| | CV | 0.68 | 0.24 | |
| Dureza | Prom | 33.79 | 49.35 | 500mg CaCO ₃ /l |
| | SDV | 2.35 | 5.50 | |
| | CV | 0.07 | 0.11 | |
| Sulfatos | Prom | 0.00 | 4.23 | 250 mg SO ₄ /l |
| | SDV | 0.00 | 2.75 | |
| | CV | 0.00 | 0.65 | |
| Amonio | Prom | 0.02 | 0.12 | 1,5 mg N/l |
| | SDV | 0.00 | 0.20 | |
| | CV | 0.00 | 1.76 | |
| CT | Prom | 48.5* | 25.6* | <1,8 NMP/100 ml |
| | SDV | 21.70 | 25.40 | |
| | CV | 0.45 | 0.99 | |
| CF | Prom | 49* | 25* | <1,8 NMP/100 ml |
| | SDV | 22.00 | 26.00 | |
| | CV | 0.40 | 1.10 | |
| E. coli | Prom | 5.45* | 24* | <1,8 NMP/100 ml |
| | SDV | 3.18 | 26.45 | |
| | CV | 0.58 | 1.10 | |

** El parámetro no aplica según el DS N° 031-2010-SA.

* Indica los valores que sobrepasan los LMP del DS N° 031-2010-SA.

Tabla 5. Registros de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos según la época

| | | | | |
|------------------|-------------|-------|-------|-------------|
| Aluminio | Prom | 0.26* | 0.17 | 0,2 mg Al/l |
| | SDV | 0.08 | 0.03 | |
| | CV | 0.31 | 0.19 | |
| Cobre | Prom | 0.01 | 0.01 | 2 mg Cu/l |
| | SDV | 0.00 | 0.00 | |
| | CV | 0.48 | 0.25 | |
| Hierro | Prom | 0.11 | 0.08 | 0,3 mg Fe/l |
| | SDV | 0.01 | 0.02 | |
| | CV | 0.11 | 0.22 | |
| Manganeso | Prom | 0.01 | 1.41* | 0,4 mg Mn/l |
| | SDV | 0.00 | 0.70 | |
| | CV | 0.34 | 0.50 | |
| Sodio | Prom | 1.90 | 2.57 | 200 mg Na/l |
| | SDV | 0.05 | 0.42 | |
| | CV | 0.03 | 0.16 | |
| Zinc | Prom | 0.01 | 0.04 | 3,0 mg Zn/l |
| | SDV | 0.01 | 0.01 | |
| | CV | 0.73 | 0.16 | |

* Indica los valores que sobrepasan los LMP del DS N° 031-2010-SA.

3.2 Registro de caudal

En la Tabla 6 y 7, se muestran las mediciones de caudales del río Tilacancha realizados por EMUSAP S.R.L para los años 2009 hasta 2013, esto nos sirve para comparar la variación del caudal a lo largo de los años.

Tabla 6. Registro de caudales del río Tilacancha

| MESES | CAUDALES (m ³ /s) | | | | | |
|----------------|------------------------------|-------|-------|-------|-------|--------|
| | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2020 |
| Enero | 0,338 | 1,229 | 1,672 | 1,316 | 1,419 | |
| Febrero | 2,447 | 1,808 | 0,766 | 2,694 | 4,341 | 0,2835 |
| Marzo | 2,174 | 1,261 | 4,043 | 2,337 | 2,532 | |
| Abril | 12,341 | 1,108 | 1,874 | 1,733 | 0,886 | |
| Mayo | 2,434 | 1,542 | 8,937 | 1,495 | 1,172 | |
| Junio | 1,872 | 0,945 | 0,946 | 6,809 | 0,978 | |
| Julio | 1,319 | 0,424 | 0,700 | 0,547 | 0,784 | |
| Agosto | 1,211 | 0,324 | 0,210 | 0,279 | 2,088 | 0,1062 |

Tabla 7. Registro de caudales del río Tilacancha

| | | | | | | |
|------------------|--------|-------|-------|-------|-------|---------|
| Setiembre | 0,795 | 0,650 | 0,290 | 1,051 | 0,781 | |
| Octubre | 1,814 | 0,494 | 2,395 | 1,034 | 0,639 | |
| Noviembre | 1,516 | 0,675 | 1,308 | 0,794 | 0,498 | |
| Diciembre | 1,074 | 1,141 | 0,997 | 0,639 | 0,666 | |
| Mínimo | 0,795 | 0,324 | 0,210 | 0,279 | 0,498 | |
| Promedio | 2,528 | 0,967 | 1,989 | 1,727 | 1,399 | 0,29485 |
| Máximo | 12,341 | 1,808 | 8,937 | 6,809 | 4,341 | |

Fuente: Lucich *et al.*, (2014)

Mientras que en la Tabla 8, se muestra el caudal del río Tilacancha tomado en las épocas de lluvia y de estiaje, en la cual se advierte que presenta mayor valor en la época de lluvia con $0,28 \text{ m}^3/\text{s}$ y en estiaje disminuye a $0,11 \text{ m}^3/\text{s}$, con CV de 0,48 y 0,14 respectivamente.

Tabla 8. Registros del caudal del río Tilacancha en dos épocas

| | caudal m^3/s | |
|-------------|------------------------------|---------|
| | Lluvia | Estiaje |
| Prom | 0.28 | 0.11 |
| SDV | 0.14 | 0.01 |
| CV | 0.48 | 0.14 |

3.3 Análisis estadístico o procesamiento de datos

3.3.1 Relación de los parámetros con los LMP

La figura 4, indica la relación que existe entre los valores de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos con los LMP establecidos en el reglamento, se utilizó la función de relativización (ecuación 1), en el gráfico se observa que la concentración de parámetros microbiológicos supera los LMP cuyo valor estandarizado es 0, mientras que los demás parámetros se encuentran dentro de los LMP o valor estándar 1. Donde la línea de color azul representa la época de lluvia, la línea de color amarillo representa la época de estiaje y finalmente la línea de color rojo representa los LMP.

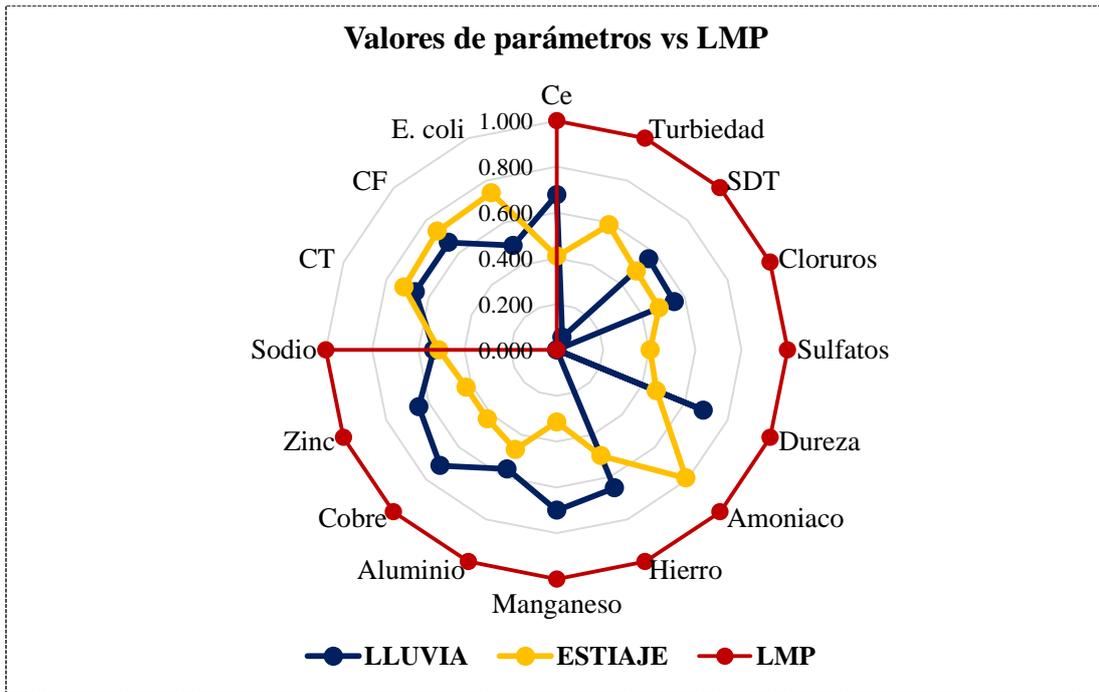


Figura 4. Parámetros que exceden los LMP establecidos en el DS N° 031-2010-SA

3.3.2 Comportamiento de los parámetros físicos y químicos en épocas de lluvia y estiaje

En la Figura 5 y 6, Tabla 9 y 10, se representan los resultados obtenidos de los parámetros en gráficos de cajas y bigotes, diferenciando estos resultados según la época climática (lluvia y estiaje) en el que se realizó el muestreo. En las figuras, se muestran los valores de las medianas para los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos de las muestras de agua del río Tilacancha. El pH en la época de lluvia arroja una mediana de 8,36 (CV=0,02) mientras que en estiaje 7,73 (0,01), la T° tiene una mediana de 13,6 °C (CV=0,06) en lluvia y de 12,8 °C (CV=0,07) en estiaje, la turbidez tiene valor de 1 UNT (CV=0,6) en lluvia y en estiaje disminuye a 0,7 UNT (CV=0,25).

Con respecto a la Ce tiene una mediana de 54,85 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (CV=0,03) en la época de lluvia y 89,4 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (CV=0,03) en estiaje, de los SDT la mediana se encuentra en 24,8 mg/l (CV=0,01) en la época de lluvia y en 43,7 mg/l (CV= 0,04) en época de estiaje. Para los cloruros la mediana en época de lluvia y estiaje está en 2,87 mg Cl-/l (CV=0,68) y 7,64 mg Cl-/l (CV=0,24) respectivamente, de la dureza la mediana se encuentra en 32,86 mg CaCO_3/l (CV=0,07) en lluvia y 52,08 mg CaCO_3/l (CV=0,11) en estiaje, los sulfatos en lluvia presentan una mediana y CV que está en 0 mg SO_4/l y en estiaje la mediana se encuentra en 5,78 mg SO_4/l (CV=0,65). Para el amonio la mediana se encuentra en 0,02 mg N/l tanto en lluvia y estiaje con CV=0 y CV=1,76 respectivamente.

En cuanto a los metales totales del aluminio la mediana se encuentra en 0,25 mg Al/l (CV=0,31) para lluvia y en 0,18 mg Al/l (CV=0,19) para estiaje, para el cobre la mediana está en 0,01 mg Cu/l en lluvia y estiaje y con CV= 0,48 y CV=0,25 respectivamente, la mediana para el hierro en época de lluvia se encuentra en 0,11 mg Fe/l (CV=0,11) y en estiaje en 0.07 mg Fe/l (CV=0,22), el manganeso tiene una mediana que se encuentra en 0,01 mg Mn/l y 1,65 mg Mn/l con CV= 0,34 y CV= 0,50 para lluvia y estiaje respectivamente. El sodio presenta una mediana de 1,89 mg Na/l y 2,62 mg Na/l con CV=0,03 y CV=0,16 para lluvia y estiaje respectivamente, por último, el zinc tiene una mediana que se ubica en 0,01 y 0,04 mg Zn/l con CV=0,16 y CV=0,73 en época de lluvia y de estiaje.

En lo que se refiere a parámetros microbiológicos, los CT y CF tienen una mediana que se encuentra en 41 NMP/100 ml y 14 NMP/100 ml, para lluvia y estiaje respectivamente. Finalmente, E. coli arroja una mediana que se encuentra en 5.5 NMP/100 ml (CV=0,58) para lluvia y 11 NMP/100 ml (CV=1,10) para estiaje.

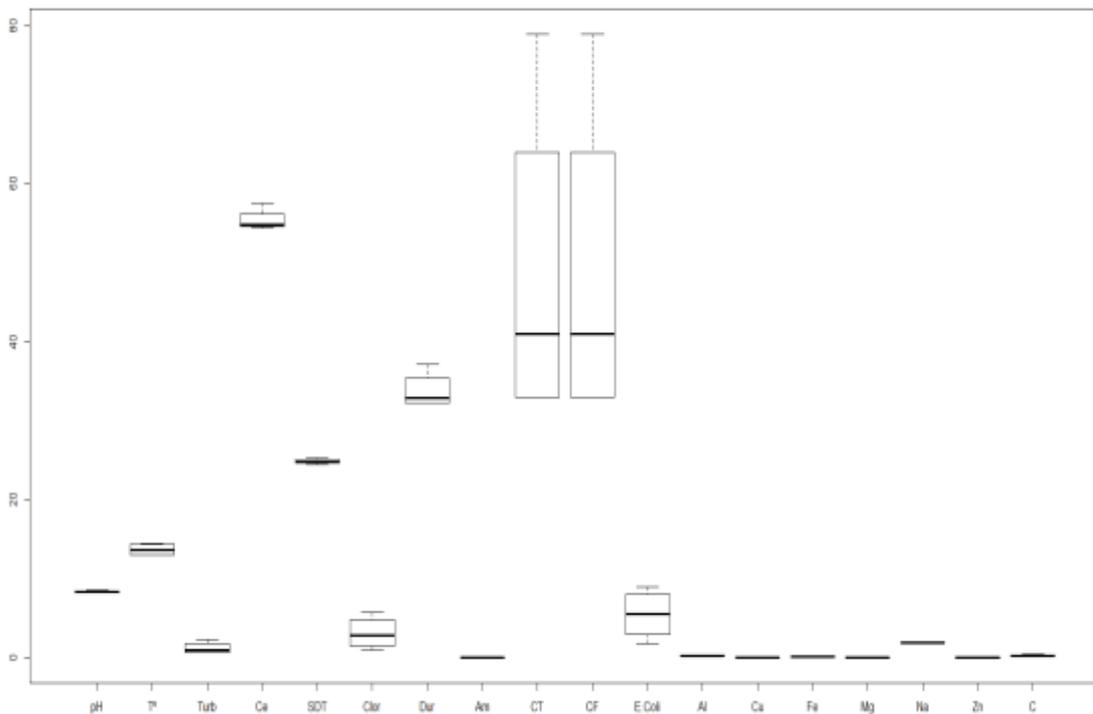


Figura 5. Comportamiento de los parámetros época de lluvia

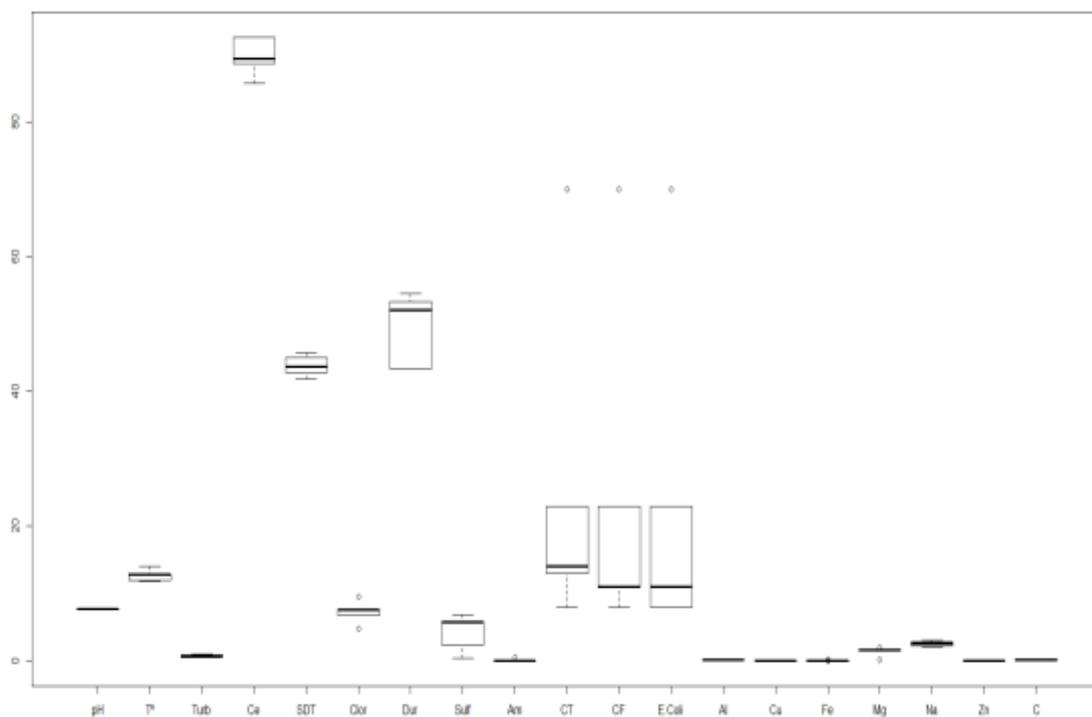


Figura 6. Comportamiento de los parámetros en época de estiaje

Tabla 9. Resultados de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos para la época de lluvia

| Muestreo | PM | Repetición | pH | T° | Turb | Ce | SDT | Cloruros | Dureza | Sulfatos | Amonio | CT | CF | E. c | Al | Cu | Fe | Mn | Na | Zn | |
|----------|----------------|------------|------|------|------|------|-------|----------|--------|----------|--------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| LLUVIA | 1 | 2 | 8.33 | 13 | 0.7 | 57.5 | 25.3 | 0.96 | 32.24 | 0 | 0.02 | 79 | 79 | 1.8 | 0.36 | 0.01 | 0.13 | 0.02 | 1.92 | 0.02 | |
| | 2 | 2 | 8.57 | 14.2 | 0.7 | 54.8 | 24.8 | 1.91 | 37.2 | 0 | 0.02 | 33 | 33 | 4 | 0.21 | 0.01 | 0.11 | 0.01 | 1.95 | 0.01 | |
| | 3 | 2 | 8.39 | 13 | 2.3 | 54.4 | 24.8 | 3.82 | 33.48 | 0 | 0.02 | 49 | 49 | 9 | 0.29 | 0.01 | 0.12 | 0.01 | 1.86 | 0.01 | |
| | 4 | 2 | 8.22 | 14.5 | 1.3 | 54.9 | 24.5 | 5.73 | 32.24 | 0 | 0.02 | 33 | 33 | 7 | 0.18 | 0.01 | 0.10 | 0.01 | 1.85 | 0.01 | |
| | Prom. | | | 8.38 | 13.7 | 1.25 | 55.4 | 24.85 | 3.11 | 33.79 | 0 | 0.02 | 48.5 | 49 | 5.45 | 0.26 | 0.01 | 0.11 | 0.01 | 1.89 | 0.01 |
| | SDV. | | | 0.15 | 0.79 | 0.75 | 1.42 | 0.33 | 2.12 | 2.35 | 0 | 0 | 21.7 | 22 | 3.18 | 0.08 | 0.00 | 0.01 | 0.00 | 0.05 | 0.01 |
| | CV. | | | 0.02 | 0.06 | 0.6 | 0.03 | 0.01 | 0.68 | 0.07 | 0 | 0 | 0.45 | 0.4 | 0.58 | 0.31 | 0.48 | 0.11 | 0.34 | 0.03 | 0.73 |
| | MEDIANA | | | 8.36 | 13.6 | 1 | 54.85 | 24.8 | 2.87 | 32.86 | 0 | 0.02 | 41 | 41 | 5.5 | 0.25 | 0.01 | 0.11 | 0.01 | 1.89 | 0.01 |

Tabla 10. Resultados de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos para la época de estiaje

| Muestreo | PM | Repetición | pH | T° | Turb | Ce | SDT | Cloruros | Dureza | Sulfatos | Amonio | CT | CF | E. c | Al | Cu | Fe | Mn | Na | Zn | |
|----------|----------------|------------|------|------|------|------|-------|----------|--------|----------|--------|------|------|------|-------|------|------|------|------|------|------|
| ESTIAJE | 1 | 3 | 7.62 | 12 | 0.6 | 92.5 | 45.7 | 9.55 | 54.56 | 5.84 | 0.48 | 70 | 70 | 70 | 0.21 | 0.02 | 0.10 | 1.97 | 3.06 | 0.04 | |
| | 2 | 3 | 7.73 | 11.9 | 0.7 | 92.6 | 45 | 4.78 | 43.4 | 0.4 | 0.02 | 23 | 23 | 23 | 0.14 | 0.01 | 0.07 | 1.68 | 2.19 | 0.04 | |
| | 3 | 3 | 7.82 | 12.8 | 0.6 | 89.4 | 43.7 | 6.69 | 43.4 | 2.3 | 0.02 | 13 | 11 | 8 | 0.18 | 0.01 | 0.07 | 1.65 | 2.88 | 0.04 | |
| | 4 | 3 | 7.6 | 12.8 | 0.93 | 88.7 | 42.8 | 7.64 | 52.08 | 6.83 | 0.04 | 8 | 8 | 8 | 0.19 | 0.02 | 0.08 | 0.19 | 2.62 | 0.05 | |
| | 5 | 3 | 7.75 | 14 | 1.01 | 85.7 | 41.8 | 7.64 | 53.32 | 5.78 | 0.02 | 14 | 11 | 11 | 0.13 | 0.01 | 0.05 | 1.55 | 2.10 | 0.05 | |
| | Prom. | | | 7.7 | 12.7 | 0.77 | 89.78 | 43.8 | 7.26 | 49.35 | 4.23 | 0.12 | 25.6 | 25 | 24 | 0.17 | 0.01 | 0.08 | 1.41 | 2.57 | 0.04 |
| | SDV. | | | 0.09 | 0.84 | 0.19 | 2.89 | 1.59 | 1.73 | 5.50 | 2.75 | 0.20 | 25.4 | 26 | 26.45 | 0.03 | 0.00 | 0.02 | 0.70 | 0.42 | 0.01 |
| | CV. | | | 0.01 | 0.07 | 0.25 | 0.03 | 0.04 | 0.24 | 0.11 | 0.65 | 1.76 | 0.99 | 1.1 | 1.10 | 0.19 | 0.25 | 0.22 | 0.50 | 0.16 | 0.16 |
| | MEDIANA | | | 7.73 | 12.8 | 0.7 | 89.4 | 43.7 | 7.64 | 52.08 | 5.78 | 0.02 | 14 | 11 | 11 | 0.18 | 0.01 | 0.07 | 1.65 | 2.62 | 0.04 |

3.3.3 Correlación de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos en época de lluvia

Las Figuras 7A y 7B, muestran la correlación que existe entre los parámetros evaluados junto con el caudal para la época de lluvia. Para el caso del pH, está fuertemente correlacionado de forma positiva (color azul y diagonal a la derecha) con la dureza y el Na, mientras que, con los cloruros, tiene una correlación moderada negativa (color anaranjado y diagonal a la izquierda) y con los demás parámetros como T°, turbidez, Ce, CT, CF, E coli, metales totales y caudal, tiene una correlación fuerte de forma negativa (color rojo y diagonal a la izquierda).

La T° se correlaciona moderadamente de forma positiva con los cloruros, dureza y débilmente con *E. coli*, se correlaciona fuertemente de manera negativa con los SDT, CT, CF, Zn, Fe y Al. Además, tiene una correlación moderada de forma negativa con la turbidez, Ce, Cu, Mn correlación débil con el caudal y el Na.

La turbidez presenta una correlación fuerte de manera positiva con *E. coli* y moderada con los cloruros. Con el Na tiene una correlación fuerte de manera negativa, con la Ce, SDT, Cu, Mn y el caudal tiene una correlación moderada y una correlación débil con el Zn, CF, CT y dureza, mientras que con el aluminio no hay ninguna correlación lineal.

La Ce está fuertemente correlacionada de manera positiva con los SDT, CT, CF, Al, Cu, Mn, Zn y caudal, con el Fe tiene una correlación moderada. Negativamente presenta una correlación fuerte con *E. coli* y una correlación moderada con los cloruros y dureza.

Los SDT están correlacionados fuertemente de manera positiva con CT, CF, Al, Cu, Fe, Mn, Zn, caudal y moderadamente solo con el Na. De forma negativa tiene una correlación fuerte con los cloruros y *E. coli*, y una correlación débil solo con la dureza.

Los cloruros tienen una fuerte correlación positiva solo con *E. coli*, una correlación fuerte negativa solo con el Na y correlación moderada con CT, CF, Al, Cu, Fe, Mn, Zn y caudal y una correlación débil solo con la dureza.

Los parámetros microbiológicos como los CT y CF tienen una correlación fuerte de manera positiva entre ellos, con el Al, Cu, Fe, Mn, Zn y caudal. En cambio *E. coli*, presenta una correlación fuertemente negativa con el Mn, Na y caudal.

Finalmente, los metales totales presentan una correlación positiva entre ellos generalmente una fuerte y moderada. Cabe resaltar que los sulfatos y amonio tiene un valor de 0 y no existe correlación lineal con ninguno de los parámetros.

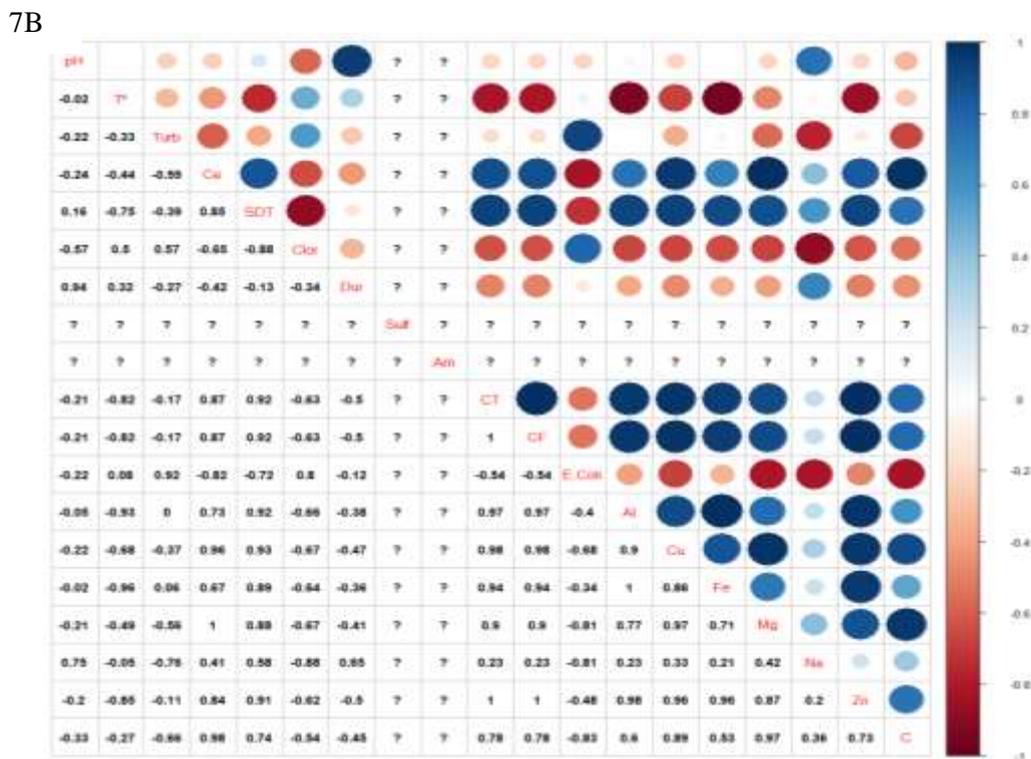
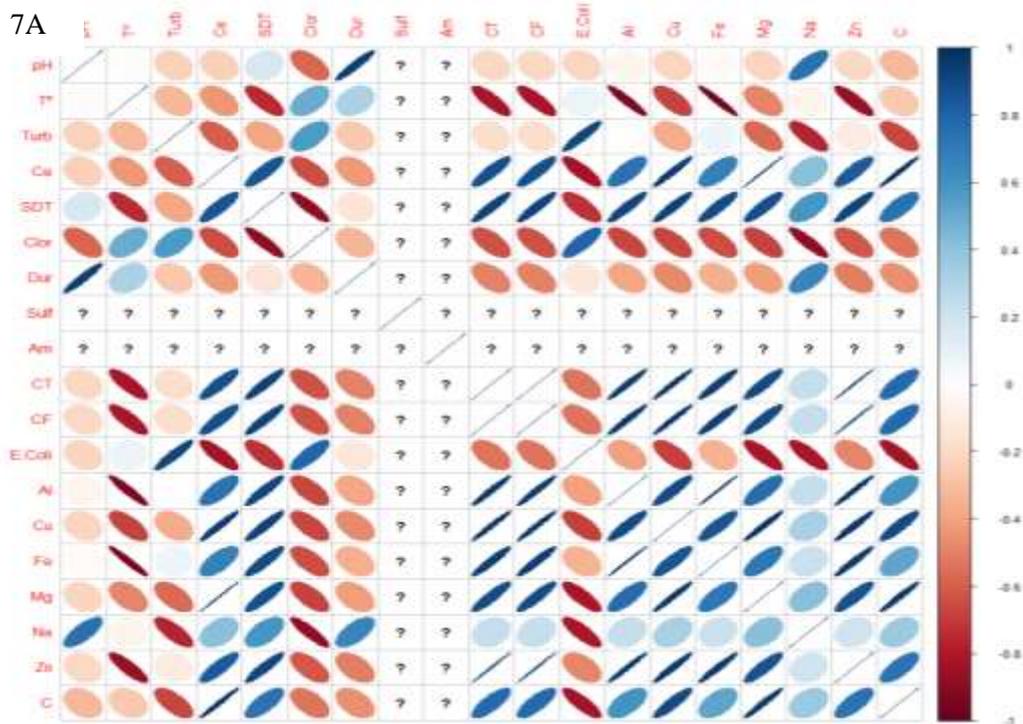


Figura 7. Correlación de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos en época de lluvia: Correlación por tendencia de figura(7A), correlación con valor numérico (7B).

3.3.4 Correlación de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos en época de estiaje

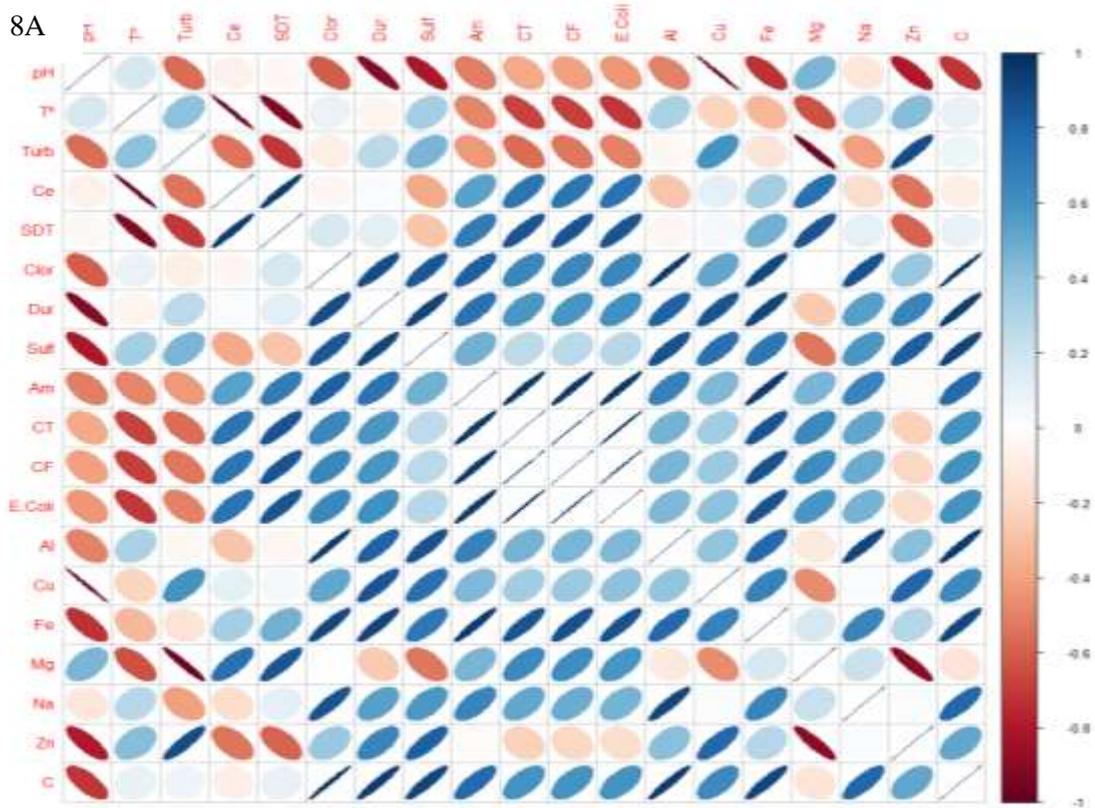
Las figuras 8A y 8B, reflejan la correlación entre parámetros para la época de estiaje, por ejemplo, en este caso el pH, mayormente presenta una correlación fuerte y moderada de forma negativa con la dureza, sulfatos, Cu, Fe, Zn, caudal, turbidez, cloruros, amonio, CT, CF, *E. coli* y Al. Lo mismo sucede con la T° que presenta una correlación de forma negativa fuerte con la Ce y SDT, moderada con el amonio, CT, CF, *E. coli* y Mn. La turbidez presenta una correlación fuerte de manera positiva con el Zn y de manera negativa con el Mn. Sucede lo contrario con la Ce y SDT, generalmente se correlación fuerte y moderada de forma positiva entre ellos y con los CT, CF, *E. coli*, Mn, amonio y Fe. Así mismo, los cloruros presentan una correlación fuerte y moderada de forma positiva con la dureza, sulfatos, amonio, Al, Fe, Na y caudal, al igual que la dureza que también presenta una correlación fuerte y moderada de forma positiva con los sulfatos, amonio, Al, Cu, Fe y caudal.

Los sulfatos en su mayoría tienen una correlación fuerte positiva con los parámetros como el Al, Cu, Fe, Zn y caudal y solo tiene una correlación moderada negativa con el Mn. El amonio está fuertemente correlacionado de forma positiva con todos los parámetros microbiológicos, con el Fe y caudal.

Los parámetros microbiológicos CT, CF y *E. coli*, están fuertemente correlacionados en forma positiva entre sí y con el Fe, y moderadamente correlacionados con el caudal y demás metales totales.

Por último, la figura 8B nos muestra que los metales totales como el Al está correlacionado fuertemente de manera positiva con el Na y caudal, al igual que el Cu con el Zn, el Fe y Na con el caudal.

8A



8B

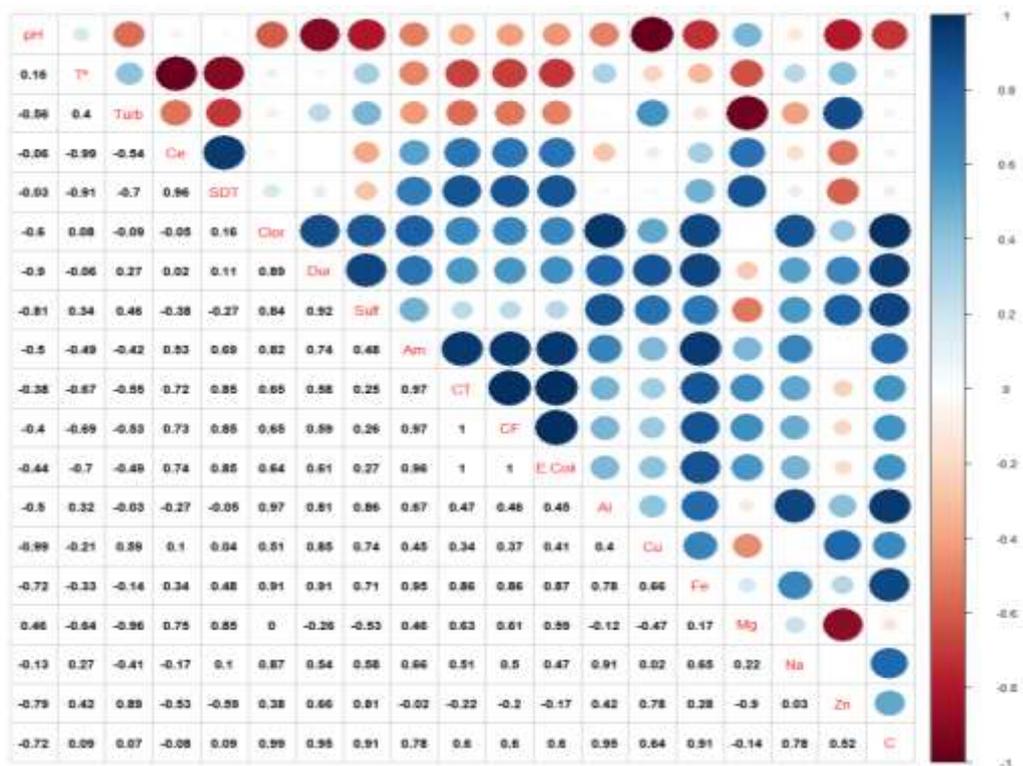


Figura 8 Correlación de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos en época de estiaje: Correlación por tendencia de figura (8A), correlación con valor numérico (8B).

3.3.5 Relación de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos según la época

Del análisis para demostrar varianzas diferentes o iguales de los parámetros fisicoquímicos entre la época de lluvia y estiaje, haciendo uso de la prueba “t” de Student con $p < 0,05$, se observa que existen diferencias altamente significativas para pH, Ce, SDT, cloruros, dureza y sulfatos (Tabla 11), lo cual indica que se rechaza la hipótesis nula (varianzas iguales) y se acepta la hipótesis alternativa, demostrando que las varianzas de los parámetros son diferentes en la época de lluvia y estiaje.

Tabla 11. Diferencia estadística significativa de los parámetros fisicoquímicos por época de muestreo

| | Lluvia | Estiaje | Valor t | p value |
|-----------------|--------|---------|-----------|------------|
| pH | 8.3775 | 7.704 | 8.468253 | 3.16E-05** |
| T° | 13.675 | 12.7 | 1.772361 | 0.059811 |
| Turb | 1.25 | 0.768 | 1.395452 | 0.102775 |
| Ce | 55.4 | 89.78 | -21.62209 | 5.71E-08** |
| SDT | 24.85 | 43.8 | -23.18698 | 3.52E-08** |
| Cloruros | 3.105 | 7.26 | -3.249099 | 0.007037** |
| Dureza | 33.79 | 49.352 | -5.230626 | 0.000606** |
| Sulfatos | 0 | 4.23 | -3.038442 | 0.009444** |
| Amonio | 0.02 | 0.116 | -0.929533 | 0.191774 |
| n | 9 | 9 | | |

*Significativo, ** Altamente significativo de acuerdo a la prueba t de Student ($p < 0.05$)

Lo mismo ocurre con la concentración de metales totales como el Fe, Mn, Na y Zn, que presentan diferencias estadísticas altamente significativas y el Cu y Al presentan diferencias estadísticas significativas, siendo la época de estiaje en la que el Cu tiene mayor concentración y el Al en época lluviosa (Tabla 12).

Tabla 12. Diferencia estadística significativa de los metales totales por época de muestreo

| | Lluvia | Estiaje | Valor t | p value |
|------------------|--------|---------|-----------|------------|
| Aluminio | 0.2565 | 0.1688 | 2.256562 | 0.029314* |
| Cobre | 0.007 | 0.0126 | -2.581519 | 0.018196* |
| Hierro | 0.114 | 0.076 | 3.739845 | 0.003632** |
| Manganeso | 0.014 | 1.406 | -3.935055 | 0.002819** |
| Sodio | 1.8945 | 2.5686 | -3.16871 | 0.007868** |
| Zinc | 0.011 | 0.0432 | -6.508039 | 0.000166** |
| n | 9 | 9 | | |

*Significativo, ** Altamente significativo de acuerdo a la prueba t de Student ($p < 0.05$)

A diferencia de los parámetros microbiológicos, en los cuales no se observa diferencias estadísticas entre las épocas de muestreo (Tabla 13).

Tabla 13. Diferencia estadística significativa de los parámetros microbiológicos por época de muestreo

| | Lluvia | Estiaje | Valor t | p value |
|-----------------------|--------|---------|----------|----------|
| CT | 48.5 | 25.6 | 1.42946 | 0.097972 |
| CF | 48.5 | 24.6 | 1.468526 | 0.092705 |
| <i>E. coli</i> | 5.45 | 24 | -1.37567 | 0.105664 |
| n | 9 | 9 | | |

En lo que se refiere al caudal (Tabla 14), la diferencia estadística es significativa entre las épocas de muestreo, siendo mayor en la época de lluvia con 0,284 m³/s.

Tabla 14. Diferencia estadística significativa del caudal en época de lluvia y estiaje

| | Lluvia | Estiaje |
|--|-------------|------------|
| Media | 0.284 | 0.1062 |
| Varianza | 0.0186355 | 0.00022003 |
| Observaciones | 4 | 4 |
| Varianza agrupada | 0.00942776 | |
| Diferencia hipotética de las medias | 0 | |
| Grados de libertad | 6 | |
| Estadístico t | 2.58237553 | |
| P(T<=t) una cola | 0.02081814* | |
| Valor crítico de t (una cola) | 1.94318028 | |
| P(T<=t) dos colas | 0.04163629 | |
| Valor crítico de t (dos colas) | 2.44691185 | |

*Significativo, ** Altamente significativo de acuerdo a la prueba t de Student ($p < 0,05$)

3.3.6 Relación de metales totales en el río Tilacancha

La Figura 9, muestra la relación de metales totales del río Tilacancha, el que mayor concentración presentó tanto para época de lluvia y estiaje fue el Na con 1,9 y 2.57 mg Na/l, respectivamente. Luego está el Mn con mayor concentración en estiaje con 1,41 seguido por el Al, cuya concentración mayor es en época lluviosa con 0,26 mgAl/l. Además, el que menor concentración arrojó fue el cobre con 0,01 mgCu/l.

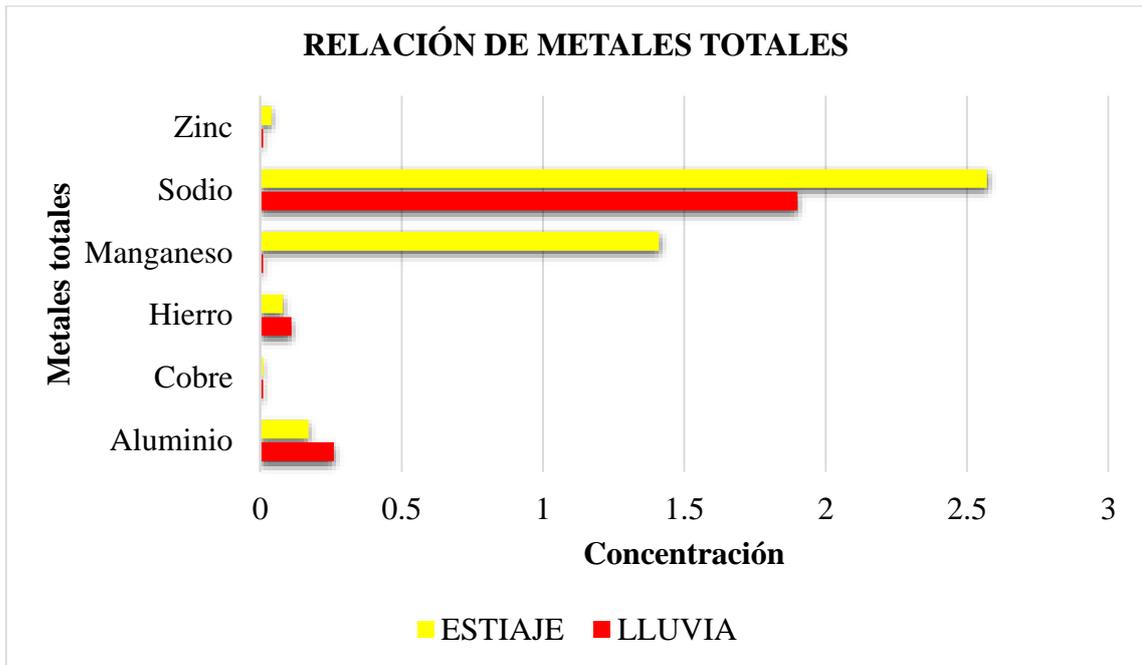


Figura 9. Relación de los metales totales para la época de lluvia y estiaje

IV DISCUSIONES

La calidad del agua es un factor determinante para el desarrollo sostenible y es monitoreada permanentemente (Salvador et al., 2020), mediante la medición de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos (Elsayed et al., 2020). Razón por la cual, se midieron 18 parámetros fisicoquímicos y microbiológicos en el río Tilacancha y la línea de conducción de agua para Chachapoyas en una época de lluvia y de estiaje.

Con los análisis realizados en laboratorio se determinó las concentraciones para cada uno de ellos y al realizar una comparación con respecto a los LMP del D.S N° 031-2010-SA, se observó que las concentraciones de los parámetros microbiológicos (CT, CF y E. coli) superan estos límites convirtiéndola en agua no apta para el consumo humano, esto puede deberse a las actividades ganaderas que se desarrollan en la zona, amenazando la conservación del ACP Tilacancha y aportando contaminantes al agua disminuyendo su calidad (Seitz, 2015). Dichas concentraciones tendieron a ser más elevadas en la época de lluvia (febrero), indicando que la precipitación es el factor más influyente en la concentración de bacterias coliformes (Seo, Lee y Kim, 2019), debido a que la escorrentía lava los suelos, arrastra sedimentos y todo tipo de contaminantes producto de la actividad ganadera hacia los ríos (Rodríguez et al., 2017), razón por la cual también ha aumentado la turbiedad en época de lluvia.

Las concentraciones de metales totales del río Tilacancha se produjeron en la siguiente secuencia: Na > Al > Fe > Cu > Mn > Zn en época de lluvia y Na > Mn > Al > Fe > Zn > Cu en estiaje, las bajas concentraciones de metales totales no representan efectos significativos contra la idoneidad del agua para el consumo humano, esto se puede relacionar a la inexistencia de actividades mineras e industriales en la zona y que solo se ve influenciado por las características mineralógicas del suelo, estos resultados fueron similares a los determinados por Villamarín et al. (2014) en los ríos altoandinos tropicales de Perú y Ecuador. Sin embargo, las concentraciones de Al con 0,26 mg Al/l en época de lluvia y Mn con 1,41 mg Mn/l en estiaje, están por encima de lo permitido en los LMP, atribuyendo estos resultados a las clases texturales del suelo del ACP determinadas como suelos arenosos y arcillosos según (Pereyra, 2019), además, Valencia (2006), explica que las aguas superficiales en contacto con rocas las areniscas, silicatadas, calizas y dolomitas, acumulan aluminio, manganeso y hierro, debido a la descomposición de la materia orgánica.

En lo que se refiere al Na, sus valores fluctuaron de 1,90 a 2,57 mg Na/l siendo el metal pesado de mayor concentración. Formica, Sacchi y Campodonico (2015), atribuye estos resultados a la meteorización de los minerales silicatados de las rocas, dado que no hay contaminación de tipo antrópico alrededor del río.

Por otra parte, los valores de dureza, SDT y Ce son mayores en época de estiaje, esto es similar a los resultados de Rodríguez et al. (2017) que sugiere que se debe al proceso de concentración del caudal en esta época y con los resultados obtenidos por Akindele et al. (2013), que mencionan, que la Ce disminuye en los periodos húmedos por la dilución de las sales. Del mismo modo, Awoyemi et al. (2014), afirman, que los altos valores de la Ce refleja altos valores de Na y cloruros para la época de estiaje, tal y como se encontró en los resultados de esta investigación.

Para explicar, las correlaciones entre la turbidez, T, SDT, caudal y el contenido de CT, CF y E. coli, indican que el agua del río Tilacancha al tener menor concentración de turbidez, SDT, disminución de T° y caudal, contribuyen a la mejor calidad microbiológica del agua. Montoya et al. (2011), en sus resultados, refiere que la elevada turbidez del agua incrementa la concentración de microorganismos afectando la calidad del agua potable. Lo mismo sucede con la T°, si esta aumenta las reacciones químicas y la tasa de respiración de los microorganismos también aumentan y disminuye la solubilidad de los gases (Akindele et al., 2013).

El caudal del río Tilacancha presentó una diferencia estadística significativa entre épocas de lluvia y estiaje con 0,28 m³/s a 0,11 m³/s, demostrando que las pocas precipitaciones en el mes de agosto según (CONDESAN, 2014), tiene una gran influencia en el nivel del agua disminuyendo el caudal entre 8 y 14 l/s, Lucich et al. (2014), explica que se debe a los impactos del cambio climático, la deforestación, quema periódica de bosques y pajonales a falta de conciencia ambiental, disminuyendo la oferta de agua mientras que la demanda va en crecimiento.

Finalmente, con la prueba t de Student se refutó la hipótesis nula que determina que las varianzas de los parámetros son iguales para ambas épocas y se aceptó la hipótesis alternativa que indica que las varianzas son diferentes para ambas épocas, dado que los valores de p fueron menores a 0,05. Entonces, la mayoría de parámetros fisicoquímicos presentaron diferencias significativas entre épocas: lluviosa y seca, estos son similares a los resultados obtenidos por (Baque et al. 2016).

V CONCLUSIONES

A partir de la caracterización de dieciocho parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del río Tilacancha en la época de lluvia y de estiaje (febrero y agosto) respectivamente, y apoyados en los LMP para agua de consumo humano del DS N° 031-2010-SA, se concluye que los parámetros fisicoquímicos a excepción del Al y Mn, se encuentran dentro del rango permitido, mientras que, los microbiológicos superan estos límites en ambas épocas. Estos resultados brindan información acerca del estado en la que se encuentra el ACP evidenciando si está cumpliendo o no el rol de regulación hídrica, además, es una base para conocer la calidad de agua que consumen las poblaciones de las Comunidades Campesinas de San Isidro del Maino y Levanto.

El agua proveniente del río Tilacancha no resultó apta para el consumo humano desde la perspectiva microbiológica, tanto en la época de lluvia como en la de estiaje. Las bacterias del grupo Coliformes superan los LMP prescritos en el DS N° 031-2010-SA, atribuyendo estos resultados a las actividades ganaderas que se desarrollan dentro del ACP o es alterada por fuentes naturales de contaminación.

Finalmente, con la aplicación de la prueba t de Student a un 95% para las varianzas de los diferentes parámetros en la época de lluvia y estiaje, se concluyó lo siguiente: En los parámetros fisicoquímicos solamente tres de nueve, T°, turbidez y amonio tienen varianzas iguales. De otra manera, los seis metales totales tienen varianzas diferentes, los parámetros microbiológicos tienen varianzas iguales y los caudales tienen varianzas diferentes cuyo valor mayor fue en la época de lluvia.

VI RECOMENDACIONES

En posteriores investigaciones interesadas en utilizar los resultados alcanzados por esta investigación, se sugiere establecer modelos lineales para explicar el comportamiento de las diferentes variables, estudiar la relación entre la precipitación y el caudal del río Tilacancha.

Se sugiere a las entidades públicas implementar proyectos enfocados en fortalecer la participación activa de los pobladores de las Comunidades Campesinas de San Isidro del Maino y Levanto para asegurar el cuidado y prevención de los diferentes ecosistemas del ACP Tilacancha.

Formar e involucrar promotores locales ambientales para el desarrollo de actividades que sensibilicen a la población beneficiaria de la cuenca para su contribución con el cuidado del ACP Tilacancha.

VII REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Akindele, E., Adeniyi, I., y Indabawa, I. I. (2013). Spatio-Temporal Assessment and Water Quality Characteristics of Lake Tiga, Kano, Nigeria. *Research Journal of Environmental and Earth Sciences*, 5(2), 67–77. <https://doi.org/10.19026/rjees.5.5640>
- Arellanos, E. (2018). *Escenarios de sostenibilidad del servicio hídrico en la microcuenca del río Tilacancha a partir de la disposición a pagar estimada con dos modelos econométricos*. Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas. Retrieved from [http://repositorio.untrm.edu.pe/bitstream/handle/UNTRM/1482/CHAPA GRANDEZ SALLY PATRICIA.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.untrm.edu.pe/bitstream/handle/UNTRM/1482/CHAPA_GRANDEZ_SALLY_PATRICIA.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Awoyemi, O., Achudume, A., y Okoya, A. (2014). The Physicochemical Quality of Groundwater in Relation to Surface Water Pollution in Majidun Area of Ikorodu, Lagos State, Nigeria. *American Journal of Water Resources*, 2(5), 126–133. <https://doi.org/10.12691/ajwr-2-5-4>
- Baque, R., Simba, L., González, B., Suatunce, P., Diaz, E., y Cadme, L. (2016). Calidad de agua destinada al consumo humano. *Revista Ciencia UNEMI*, 9, 109–117.
- Barenys, M., Boix, N., Farran, A., Palma, I., Montserrat, R., Curto, A., ... Llobet, J. (2014). Heavy metal and metalloids intake risk assessment in the diet of a rural population living near a gold mine in the Peruvian Andes (Cajamarca). *Food and Chemical Toxicology*, 71, 254–263. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2014.06.018>
- CONDESAN. (2014). Informe del DHR en la Microcuenca del Río Tilacancha. Amazonas: CONDESAN. Retrieved from http://servicioecosistemas.minam.gob.pe/rseh_ficha/22
- DIGESA. (2007). Protocolo de monitoreo de la calidad sanitaria de los recursos hídricos superficiales. Lima, Perú: Ministerio de Slud.
- DIGESA. (2015). Protocolo de procedimientos para la toma de muestras, preservación, conservación, transporte, almacenamiento y recepción de agua para consumo humano. Lima, Perú: Ministerio de Slud.
- DW. (8 de 12 de 2020). El agua comienza a cotizar en el mercado de futuros de Wall

- Street en medio del temor a su escasez: DW Made for Minds. Obtenido de Ecología:
<https://p.dw.com/p/3mQkO>
- Elsayed, S., Hussein, H., Moghanm, F., Khendher, K., Eid, E., y Gad, M. (2020). Application of Irrigation Water Quality Indices and Multivariate Statistical Techniques for Surface Water Quality Assessments in the Northern Nile Delta, Egypt. *MDPI: Water*, 12(12), 3–26.
<https://doi.org/https://doi.org/10.3390/w12123300>
- Espinal, T., Sedeño, J., y López, E. (2013). Evaluación de la calidad del agua en la laguna de Yuriria, Guanajuato, México, mediante técnicas multivariadas: un análisis de valoración para dos épocas 2005, 2009-2010, 29(3), 209–216.
- Formica, S. M., Sacchi, G. A., y Campodonico, V. A. (2015). Modelado de calidad de agua en ríos de montaña con impacto antrópico. caso de estudio: Sierra Chica de Córdoba, Argentina, 31(4), 327–341.
- Gómez, A., Villalba, A., Acosta, G., Castañeda, M., y Kamp, D. (2004). Metales totales en el agua superficial del río San Pedro durante 1997 y 1999. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 20(1), 5–12.
- Leiva, D., Chávez, J., y Corroto, F. (2016). Evaluación de la calidad fisicoquímica y microbiológica del río Shocol, provincia de Rodríguez de Mendoza, Amazonas. *Revista Indes*, 2(1), 62–70. <https://doi.org/10.25127/indes.201401.00>
- Lucich, I., Alvarado, A., Bohorquez, E., Villar, D., y Pineda, R. (2014). *Avances en el marco regulatorio de los mecanismos de retribución por servicios ecosistémicos hidrológicos: El caso del Área de Conservación Privada Tilacancha*. Lima, Perú: NEGRAPATA S.A.C.
- Montoya, C., Loaiza, D., Torres, P., Cruz, C., y Escobar, J. (2011). Efecto Del Incremento En La Turbiedad Del Agua Cruda Sobre La Eficiencia De Procesos Convencionales De Potabilización (Effect of Increase of Raw Water Turbidity on Efficiency of Conventional Drinking Water Treatment Processes). *Revista EIA*, 8(16), 137–148.
 Retrieved from <http://repository.eia.edu.co/revistas/index.php/reveia/article/view/438>
- Morales, E., Solano, M., Morales, R., Reyes, L., Barrantes, K., Achí, R., y Chacón, L. (2019). Evaluación de la influencia de la estacionalidad climática en calidad del agua

- de consumo humano en un sistema de abastecimiento en San José, Costa Rica, periodo 2017-2018. *Revista Costarricense de Salud Pública*, 28(1), 48–58.
- Muñoz, H., Orozco, S., Vera, A., Suárez, J., García, E., Neria, M., y Jiménez, J. (2015). Relación entre oxígeno disuelto, precipitación pluvial y temperatura : río Zahuapan , Tlaxcala , México, VI, 59–74.
- Perez, D., Segovia, J., Cabrera, P., Delgado, I., y Martins, M. (2018). Uso del suelo y su influencia en la presión y degradación de los recursos hídricos en cuencas hidrográficas. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 9(1), 41–57. <https://doi.org/10.22490/21456453.2089>
- Pereyra, C. (2019). Situación actual y futura de la erosión hídrica de suelo en el ACP Tilacancha, Chachapoyas. Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza.
- Pino, E., Tacora, P., Steenken, A., Alfaro, L., Valle, A., Chávarri, E., ... Mejía Marcacuzco, J. A. (2017). Efecto de las características ambientales y geológicas sobre la calidad del agua en la cuenca del río Caplina, Tacna, Perú. *Tecnología y Ciencias Del Agua*, 8(6), 77–99. <https://doi.org/10.24850/j-tyca-2017-06-06>
- Prat, N., Rieradevall, M., y Fortuño, P. (2012). Metodología F.E.M para la evaluación del estado ecológico de los ríos mediterráneos. Barcelona: Freshwater Ecology and Management.
- Ratner, B. (2009). The correlation coefficient: Its values range between +1/-1, or do they? *J Target Meas Anal Mark*, 17, 139–142. <https://doi.org/https://doi.org/10.1057/jt.2009.5>
- Rodriguez, M., Moraña, L., Salusso, M., y Seghezzi, L. (2017). Caracterización espacial y estacional del agua de consumo proveniente de diversas fuentes en una localidad periurbana de Salta. *Revista Argentina de Microbiología*, 49(4), 366–376. <https://doi.org/10.1016/j.ram.2017.03.006>
- Rojas, J. (2019). *Determinación de la eficiencia de las bacterias nitrosomonas y nitrobacter para remover concentraciones de amonio, ion nitrito e ion nitrato en agua del río Torococha a distintos niveles de pH y temperatura, 2018*. Universidad Peruana Unión.
- Salas, R., Barboza, E., Rojas, N., Mamani, J., y Rodriguez, N. (2018). Deforestación en

- el área de conservación privada Tilacancha: zona de recarga hídrica y de abastecimiento de agua para Chachapoyas. *Rev. de Investig. Agroproducción Sustentable*, 2(3), 54–64. <https://doi.org/10.25127/aps.20182.393>.
- Salvador, D., Caeiro, M., Serejo, F., Nogueira, P., Neves, R., y Neto, C. (2020). Monitoring Waterborne Pathogens in Surface and Drinking Waters. Are Water Treatment Plants (WTPs) Simultaneously Efficient in the Elimination of Enteric Viruses and Fecal Indicator Bacteria (FIB)? *MDPI: Water*, 12(10), 2–17. <https://doi.org/10.3390/w12102824>
- Seitz, G. (2015). Retribuciones individuales y colectivas en el marco de conformación del fondo virtual del agua de Tilacancha. Chacapoyas, Amazonas: Iniciativa para la Conservación en la Amazonía Andina.
- Seo, M., Lee, H., y Kim, Y. (2019). Relationship between Coliform Bacteria and WaterQuality Factors at Weir Stations in the Nakdong River, South Korea. *MDPI-Water*, 11(6), doi:10.3390/w11061171 www.mdpi.com/journal/water. Retrieved from <https://www.mdpi.com/2073-4441/11/6/1171/htm>
- Sepúlveda, S. (2008). *Metodología para estimar el nivel de desarrollo sostenible de territorios*. Biograma. San José, Costa Rica: IICA. Retrieved from <http://www.iica.int/Esp/regiones/sur/chile/Documents/BIOGRAMA 2008.pdf>
- Sierra, C. (2011). *Calidad del agua: Evaluación y diagnóstico* (1° edición). Bogotá, Colombia: Ediciones de la U.
- SUNASS. (30 de enero de 2015). *Emusap invertirá S/. 2.8 millones para mejorar servicio de agua potable en Chachapoyas: SUNASS*. Obtenido de SUNASS en Acción: <https://www.sunass.gob.pe/doc/Boletin/2015/febrero/notacentral3.html>
- Uriburu, L. (2018). *Determinación del índice de calidad del agua de consumo humano, del centro poblado de agua fresca, distrito de Chontabamba – 2018*. Universidad Nacional Daniel Alcides Carrion.
- Valencia, C. (2015). *Química del hierro y manganeso en el agua, métodos de remoción*. Universidad de Cuenca.
- Villamarín, C., Prat, N., y Rieradevall, M. (2014). Caracterización física, química e hidromorfológica de los ríos altoandinos tropicales de Ecuador y Perú. *Latin*

American Journal of Aquatic Research, 42(5), 1072–1086.
<https://doi.org/10.3856/vol42-issue5-fulltext-12>

Villena, J. (2018). Calidad del agua y desarrollo sostenible. *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Pública*, 35(2), 304.
<https://doi.org/10.17843/rpmesp.2018.352.3719>

ANEXOS

Anexo 1: Resultados de análisis físicos, químicos y microbiológicos de las muestras de agua del río Tilacancha.

| Variables | Muestreo 1 | Muestreo 2 | Muestreo 3 | Unidad medida |
|------------------|------------|------------|------------|---------------------|
| pH | 7.55 | 8.38 | 7.70 | Valor de pH |
| T° | 13.10 | 13.70 | 12.70 | °C |
| Turb | 3.70 | 1.25 | 0.77 | UNT |
| Ce | 100.70 | 55.4 | 89.78 | µmho/cm |
| SDT | 21.47 | 24.85 | 43.8 | mgL-1 |
| Cloruros | 5.26 | 3.11 | 7.26 | mg Cl - L-1 |
| Dureza | 19.84 | 33.79 | 49.35 | mg CaCO3 L-1 |
| Sulfatos | 5.40 | 0 | 4.23 | mg SO4 = L-1 |
| Amonio | 0.02 | 0.02 | 0.12 | mg N L-1 |
| CT | 44.00 | 48.5 | 25.6 | NMP = < 1,8 /100 ml |
| CF | 5.5 | 49 | 25 | NMP = < 1,8 /100 ml |
| E. Coli | 4 | 5.45 | 24 | NMP = < 1,8 /100 ml |
| Aluminio | 0.02 | 0.26 | 0.17 | mg Al L-1 |
| Cobre | 0.01 | 0.01 | 0.01 | mg Cu L-1 |
| Hierro | 0.10 | 0.11 | 0.08 | mg Fe L-1 |
| Manganeso | 0.55 | 0.01 | 1.41 | mg Mn L-1 |
| Sodio | 2.51 | 1.9 | 2.57 | mg Na L-1 |
| Zinc | 0.02 | 0.01 | 0.04 | mg Zn L-1 |

Anexo 2: Matriz de información para el procesamiento de datos

| Muestreo | PM | Repetición | pH | T° | Turb | Ce | SDT | Cloruros | Dureza | Sulfatos | Amonio | CT | CF | E. c | Al | Cu | Fe | Mn | Na | Zn |
|----------------|----------------|------------|------|------|------|-------|-------|----------|--------|----------|--------|------|-----|-------|------|------|------|------|------|------|
| A | 3 | 1 | 7.42 | 14.2 | 4.7 | 154.2 | 19.24 | 4.78 | 18.6 | 5.99 | 0.02 | 9 | 9 | 6 | 0.03 | 0.01 | 0.10 | 0.37 | 1.77 | 0.01 |
| | 5 | 1 | 7.68 | 12 | 2.7 | 47.1 | 23.7 | 5.73 | 21.08 | 4.8 | 0.02 | 79 | 2 | 2 | 0.01 | 0.01 | 0.10 | 0.74 | 3.25 | 0.02 |
| | Prom. | | 7.55 | 13.1 | 3.7 | 100.7 | 21.47 | 5.26 | 19.84 | 5.40 | 0.02 | 44 | 5.5 | 4 | 0.02 | 0.01 | 0.10 | 0.55 | 2.51 | 0.02 |
| | SDV. | | 0.18 | 1.56 | 1.41 | 75.73 | 3.15 | 0.67 | 1.75 | 0.84 | 0 | 49.5 | 4.9 | 2.83 | 0.01 | 0.00 | 0.00 | 0.26 | 1.05 | 0.00 |
| | CV. | | 0.02 | 0.12 | 0.38 | 0.75 | 0.15 | 0.13 | 0.09 | 0.16 | 0 | 1.12 | 0.9 | 0.71 | 0.74 | 0.47 | 0.01 | 0.48 | 0.42 | 0.27 |
| | MEDIANA | | 7.55 | 13.1 | 3.7 | 100.7 | 21.47 | 5.255 | 19.84 | 5.40 | 0.02 | 44 | 5.5 | 4 | 0.02 | 0.01 | 0.10 | 0.55 | 2.51 | 0.02 |
| B | 1 | 2 | 8.33 | 13 | 0.7 | 57.5 | 25.3 | 0.96 | 32.24 | 0 | 0.02 | 79 | 79 | 1.8 | 0.36 | 0.01 | 0.13 | 0.02 | 1.92 | 0.02 |
| | 2 | 2 | 8.57 | 14.2 | 0.7 | 54.8 | 24.8 | 1.91 | 37.2 | 0 | 0.02 | 33 | 33 | 4 | 0.21 | 0.01 | 0.11 | 0.01 | 1.95 | 0.01 |
| | 3 | 2 | 8.39 | 13 | 2.3 | 54.4 | 24.8 | 3.82 | 33.48 | 0 | 0.02 | 49 | 49 | 9 | 0.29 | 0.01 | 0.12 | 0.01 | 1.86 | 0.01 |
| | 4 | 2 | 8.22 | 14.5 | 1.3 | 54.9 | 24.5 | 5.73 | 32.24 | 0 | 0.02 | 33 | 33 | 7 | 0.18 | 0.01 | 0.10 | 0.01 | 1.85 | 0.01 |
| | Prom. | | 8.38 | 13.7 | 1.25 | 55.4 | 24.85 | 3.11 | 33.79 | 0 | 0.02 | 48.5 | 49 | 5.45 | 0.26 | 0.01 | 0.11 | 0.01 | 1.89 | 0.01 |
| | SDV. | | 0.15 | 0.79 | 0.75 | 1.42 | 0.33 | 2.12 | 2.35 | 0 | 0 | 21.7 | 22 | 3.18 | 0.08 | 0.00 | 0.01 | 0.00 | 0.05 | 0.01 |
| | CV. | | 0.02 | 0.06 | 0.6 | 0.03 | 0.01 | 0.68 | 0.07 | 0 | 0 | 0.45 | 0.4 | 0.58 | 0.31 | 0.48 | 0.11 | 0.34 | 0.03 | 0.73 |
| | MEDIANA | | 8.36 | 13.6 | 1 | 54.85 | 24.8 | 2.87 | 32.86 | 0 | 0.02 | 41 | 41 | 5.5 | 0.25 | 0.01 | 0.11 | 0.01 | 1.89 | 0.01 |
| C | 1 | 3 | 7.62 | 12 | 0.6 | 92.5 | 45.7 | 9.55 | 54.56 | 5.84 | 0.48 | 70 | 70 | 70 | 0.21 | 0.02 | 0.10 | 1.97 | 3.06 | 0.04 |
| | 2 | 3 | 7.73 | 11.9 | 0.7 | 92.6 | 45 | 4.78 | 43.4 | 0.4 | 0.02 | 23 | 23 | 23 | 0.14 | 0.01 | 0.07 | 1.68 | 2.19 | 0.04 |
| | 3 | 3 | 7.82 | 12.8 | 0.6 | 89.4 | 43.7 | 6.69 | 43.4 | 2.3 | 0.02 | 13 | 11 | 8 | 0.18 | 0.01 | 0.07 | 1.65 | 2.88 | 0.04 |
| | 4 | 3 | 7.6 | 12.8 | 0.93 | 88.7 | 42.8 | 7.64 | 52.08 | 6.83 | 0.04 | 8 | 8 | 8 | 0.19 | 0.02 | 0.08 | 0.19 | 2.62 | 0.05 |
| | 5 | 3 | 7.75 | 14 | 1.01 | 85.7 | 41.8 | 7.64 | 53.32 | 5.78 | 0.02 | 14 | 11 | 11 | 0.13 | 0.01 | 0.05 | 1.55 | 2.10 | 0.05 |
| | Prom. | | 7.7 | 12.7 | 0.77 | 89.78 | 43.8 | 7.26 | 49.35 | 4.23 | 0.12 | 25.6 | 25 | 24 | 0.17 | 0.01 | 0.08 | 1.41 | 2.57 | 0.04 |
| | SDV. | | 0.09 | 0.84 | 0.19 | 2.89 | 1.59 | 1.73 | 5.50 | 2.75 | 0.20 | 25.4 | 26 | 26.45 | 0.03 | 0.00 | 0.02 | 0.70 | 0.42 | 0.01 |
| | CV. | | 0.01 | 0.07 | 0.25 | 0.03 | 0.04 | 0.24 | 0.11 | 0.65 | 1.76 | 0.99 | 1.1 | 1.10 | 0.19 | 0.25 | 0.22 | 0.50 | 0.16 | 0.16 |
| MEDIANA | | 7.73 | 12.8 | 0.7 | 89.4 | 43.7 | 7.64 | 52.08 | 5.78 | 0.02 | 14 | 11 | 11 | 0.18 | 0.01 | 0.07 | 1.65 | 2.62 | 0.04 | |

Anexo 3: Matriz de información para la aplicación de la función de relativización.

| VALOR ESTANDARIZADO ÉPOCA LLUVIA Y ESTIAJE | | | | |
|---|-------------------|-------------------|-------------------|------------|
| | MUESTREO 1 | MUESTREO 2 | MUESTREO 3 | LMP |
| Conductividad eléctrica | 0.500 | 0.677 | 0.409 | 1.000 |
| Turbiedad | 0.500 | 0.060 | 0.590 | 1.000 |
| Sólidos totales disueltos | 0.500 | 0.562 | 0.487 | 1.000 |
| Cloruros | 0.500 | 0.550 | 0.480 | 1.000 |
| Sulfatos | 0.500 | 0.000 | 0.404 | 1.000 |
| Dureza | 0.500 | 0.688 | 0.467 | 1.000 |
| Amoniaco | 0.500 | 0.000 | 0.791 | 1.000 |
| Hierro | 0.500 | 0.652 | 0.500 | 1.000 |
| Manganeso | 0.500 | 0.700 | 0.315 | 1.000 |
| Aluminio | 0.500 | 0.562 | 0.470 | 1.000 |
| Cobre | 0.500 | 0.714 | 0.425 | 1.000 |
| Zinc | 0.500 | 0.647 | 0.425 | 1.000 |
| Sodio | 0.500 | 0.533 | 0.510 | 1.000 |
| Coliformes totales | 1.050 | 0.663 | 0.716 | 0.000 |
| Coliformes fecales | 0.500 | 0.663 | 0.732 | 0.000 |
| <i>Escherichia coli</i> | 0.500 | 0.493 | 0.742 | 0.000 |

Anexo 4: Prueba t de Student para los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos

Tabla 1. Prueba t de Student para pH

| | <i>Lluvia</i> | <i>Estiaje</i> |
|-------------------------------------|---------------|----------------|
| Media | 8.3775 | 7.704 |
| Varianza | 0.021425 | 0.00853 |
| Observaciones | 4 | 5 |
| Varianza agrupada | 0.01405643 | |
| Diferencia hipotética de las medias | 0 | |
| Grados de libertad | 7 | |
| Estadístico t | 8.46825346 | |
| P(T<=t) una cola | 3.1639E-05 | |
| Valor crítico de t (una cola) | 1.89457861 | |
| P(T<=t) dos colas | 6.3278E-05 | |
| Valor crítico de t (dos colas) | 2.36462425 | |

Tabla 2. Prueba t de Student para Temperatura

| | <i>Lluvia</i> | <i>Estiaje</i> |
|-------------------------------------|---------------|----------------|
| Media | 13.675 | 12.7 |
| Varianza | 0.6225 | 0.71 |
| Observaciones | 4 | 5 |
| Varianza agrupada | 0.6725 | |
| Diferencia hipotética de las medias | 0 | |
| Grados de libertad | 7 | |
| Estadístico t | 1.77236112 | |
| P(T<=t) una cola | 0.059811498 | |
| Valor crítico de t (una cola) | 1.894578605 | |
| P(T<=t) dos colas | 0.119622997 | |
| Valor crítico de t (dos colas) | 2.364624252 | |

Tabla 3. Prueba t de Student para Turbidez

| | <i>Lluvia</i> | <i>Estiaje</i> |
|-------------------------------------|---------------|----------------|
| Media | 1.25 | 0.768 |
| Varianza | 0.57 | 0.03647 |
| Observaciones | 4 | 5 |
| Varianza agrupada | 0.265125714 | |
| Diferencia hipotética de las medias | 0 | |
| Grados de libertad | 7 | |
| Estadístico t | 1.395451849 | |
| P(T<=t) una cola | 0.102774672 | |
| Valor crítico de t (una cola) | 1.894578605 | |
| P(T<=t) dos colas | 0.205549343 | |
| Valor crítico de t (dos colas) | 2.364624252 | |

Tabla 4. Prueba t de Student para conductividad eléctrica

| | <i>Lluvia</i> | <i>Estiaje</i> |
|-------------------------------------|---------------|----------------|
| Media | 55.4 | 89.78 |
| Varianza | 2.006666667 | 8.327 |
| Observaciones | 4 | 5 |
| Varianza agrupada | 5.61828571 | |
| Diferencia hipotética de las medias | 0 | |
| Grados de libertad | 7 | |
| Estadístico t | -21.6220917 | |
| P(T<=t) una cola | 5.7066E-08 | |
| Valor crítico de t (una cola) | 1.89457861 | |
| P(T<=t) dos colas | 1.1413E-07 | |
| Valor crítico de t (dos colas) | 2.36462425 | |

Tabla 5. Prueba t de Student para sólidos disueltos totales

| | <i>Lluvia</i> | <i>Estiaje</i> |
|-------------------------------------|---------------|----------------|
| Media | 24.85 | 43.8 |
| Varianza | 0.11 | 2.515 |
| Observaciones | 4 | 5 |
| Varianza agrupada | 1.48428571 | |
| Diferencia hipotética de las medias | 0 | |
| Grados de libertad | 7 | |
| Estadístico t | -23.1869809 | |
| P(T<=t) una cola | 3.5201E-08 | |
| Valor crítico de t (una cola) | 1.89457861 | |
| P(T<=t) dos colas | 7.0402E-08 | |
| Valor crítico de t (dos colas) | 2.36462425 | |

Tabla 6. Prueba t de Student para cloruros

| | <i>Lluvia</i> | <i>Estiaje</i> |
|-------------------------------------|---------------|----------------|
| Media | 3.105 | 7.26 |
| Varianza | 4.47696667 | 3.00205 |
| Observaciones | 4 | 5 |
| Varianza agrupada | 3.63415714 | |
| Diferencia hipotética de las medias | 0 | |
| Grados de libertad | 7 | |
| Estadístico t | -3.24909882 | |
| P(T<=t) una cola | 0.0070374 | |
| Valor crítico de t (una cola) | 1.89457861 | |
| P(T<=t) dos colas | 0.01407481 | |
| Valor crítico de t (dos colas) | 2.36462425 | |

Tabla 7. Prueba t de Student para dureza

| | <i>Lluvia</i> | <i>Estiaje</i> |
|-------------------------------------|---------------|----------------|
| Media | 33.79 | 49.352 |
| Varianza | 5.50973333 | 30.29072 |
| Observaciones | 4 | 5 |
| Varianza agrupada | 19.6702971 | |
| Diferencia hipotética de las medias | 0 | |
| Grados de libertad | 7 | |
| Estadístico t | -5.23062631 | |
| P(T<=t) una cola | 0.00060581 | |
| Valor crítico de t (una cola) | 1.89457861 | |
| P(T<=t) dos colas | 0.00121162 | |
| Valor crítico de t (dos colas) | 2.36462425 | |

Tabla 8. Prueba t de Student para sulfatos

| | <i>Lluvia</i> | <i>Estiaje</i> |
|-------------------------------------|---------------|----------------|
| Media | 0 | 4.23 |
| Varianza | 0 | 7.5371 |
| Observaciones | 4 | 5 |
| Varianza agrupada | 4.30691429 | |
| Diferencia hipotética de las medias | 0 | |
| Grados de libertad | 7 | |
| Estadístico t | -3.03844232 | |
| P(T<=t) una cola | 0.00944418 | |
| Valor crítico de t (una cola) | 1.89457861 | |
| P(T<=t) dos colas | 0.01888835 | |
| Valor crítico de t (dos colas) | 2.36462425 | |

Tabla 9. Prueba t de Student para amonio

| | <i>Lluvia</i> | <i>Estiaje</i> |
|-------------------------------------|---------------|----------------|
| Media | 0.02 | 0.116 |
| Varianza | 0 | 0.04148 |
| Observaciones | 4 | 5 |
| Varianza agrupada | 0.02370286 | |
| Diferencia hipotética de las medias | 0 | |
| Grados de libertad | 7 | |
| Estadístico t | -0.9295326 | |
| P(T<=t) una cola | 0.19177421 | |
| Valor crítico de t (una cola) | 1.89457861 | |
| P(T<=t) dos colas | 0.38354842 | |
| Valor crítico de t (dos colas) | 2.36462425 | |

Tabla 10. Prueba t de Student para coliformes totales

| | <i>Lluvia</i> | <i>Estiaje</i> |
|-------------------------------------|---------------|----------------|
| Media | 48.5 | 25.6 |
| Varianza | 470.333333 | 645.3 |
| Observaciones | 4 | 5 |
| Varianza agrupada | 570.314286 | |
| Diferencia hipotética de las medias | 0 | |
| Grados de libertad | 7 | |
| Estadístico t | 1.42946031 | |
| P(T<=t) una cola | 0.09797245 | |
| Valor crítico de t (una cola) | 1.89457861 | |
| P(T<=t) dos colas | 0.19594491 | |
| Valor crítico de t (dos colas) | 2.36462425 | |

Tabla 11. Prueba t de Student para coliformes fecales

| | <i>Lluvia</i> | <i>Estiaje</i> |
|-------------------------------------|---------------|----------------|
| Media | 48.5 | 24.6 |
| Varianza | 470.333333 | 677.3 |
| Observaciones | 4 | 5 |
| Varianza agrupada | 588.6 | |
| Diferencia hipotética de las medias | 0 | |
| Grados de libertad | 7 | |
| Estadístico t | 1.46852558 | |
| P(T<=t) una cola | 0.09270525 | |
| Valor crítico de t (una cola) | 1.89457861 | |
| P(T<=t) dos colas | 0.18541049 | |
| Valor crítico de t (dos colas) | 2.36462425 | |

Tabla 12. Prueba t de Student para *Escherichia Coli*

| | <i>Lluvia</i> | <i>Estiaje</i> |
|-------------------------------------|---------------|----------------|
| Media | 5.45 | 24 |
| Varianza | 10.1433333 | 699.5 |
| Observaciones | 4 | 5 |
| Varianza agrupada | 404.061429 | |
| Diferencia hipotética de las medias | 0 | |
| Grados de libertad | 7 | |
| Estadístico t | -1.37566903 | |
| P(T<=t) una cola | 0.10566351 | |
| Valor crítico de t (una cola) | 1.89457861 | |
| P(T<=t) dos colas | 0.21132701 | |
| Valor crítico de t (dos colas) | 2.36462425 | |

Tabla 13. Prueba t de Student para aluminio

| | <i>Lluvia</i> | <i>Estiaje</i> |
|-------------------------------------|---------------|----------------|
| Media | 0.2565 | 0.1688 |
| Varianza | 0.006423 | 0.0010567 |
| Observaciones | 4 | 5 |
| Varianza agrupada | 0.00335654 | |
| Diferencia hipotética de las medias | 0 | |
| Grados de libertad | 7 | |
| Estadístico t | 2.25656183 | |
| P(T<=t) una cola | 0.02931396 | |
| Valor crítico de t (una cola) | 1.89457861 | |
| P(T<=t) dos colas | 0.05862792 | |
| Valor crítico de t (dos colas) | 2.36462425 | |

Tabla 14. Prueba t de Student para cobre

| | <i>Lluvia</i> | <i>Estiaje</i> |
|-------------------------------------|---------------|----------------|
| Media | 0.007 | 0.0126 |
| Varianza | 1.1333E-05 | 0.0000098 |
| Observaciones | 4 | 5 |
| Varianza agrupada | 1.0457E-05 | |
| Diferencia hipotética de las medias | 0 | |
| Grados de libertad | 7 | |
| Estadístico t | -2.58151855 | |
| P(T<=t) una cola | 0.01819585 | |
| Valor crítico de t (una cola) | 1.89457861 | |
| P(T<=t) dos colas | 0.0363917 | |
| Valor crítico de t (dos colas) | 2.36462425 | |

Tabla 15. Prueba t de Student para fierro

| | <i>Lluvia</i> | <i>Estiaje</i> |
|-------------------------------------|---------------|----------------|
| Media | 0.114 | 0.076 |
| Varianza | 0.00016467 | 0.000278 |
| Observaciones | 4 | 5 |
| Varianza agrupada | 0.00022943 | |
| Diferencia hipotética de las medias | 0 | |
| Grados de libertad | 7 | |
| Estadístico t | 3.73984488 | |
| P(T<=t) una cola | 0.00363212 | |
| Valor crítico de t (una cola) | 1.89457861 | |
| P(T<=t) dos colas | 0.00726424 | |
| Valor crítico de t (dos colas) | 2.36462425 | |

Tabla 16. Prueba t de Student para manganeso

| | <i>Lluvia</i> | <i>Estiaje</i> |
|-------------------------------------|---------------|----------------|
| Media | 0.014 | 1.406 |
| Varianza | 2.2E-05 | 0.4866175 |
| Observaciones | 4 | 5 |
| Varianza agrupada | 0.27807657 | |
| Diferencia hipotética de las medias | 0 | |
| Grados de libertad | 7 | |
| Estadístico t | -3.93505474 | |
| P(T<=t) una cola | 0.0028195 | |
| Valor crítico de t (una cola) | 1.89457861 | |
| P(T<=t) dos colas | 0.00563899 | |
| Valor crítico de t (dos colas) | 2.36462425 | |

Tabla 17. Prueba t de Student para sodio

| | <i>Lluvia</i> | <i>Estiaje</i> |
|-------------------------------------|---------------|----------------|
| Media | 1.8945 | 2.5686 |
| Varianza | 0.002615 | 0.1740373 |
| Observaciones | 4 | 5 |
| Varianza agrupada | 0.1005706 | |
| Diferencia hipotética de las medias | 0 | |
| Grados de libertad | 7 | |
| Estadístico t | -3.1687104 | |
| P(T<=t) una cola | 0.00786805 | |
| Valor crítico de t (una cola) | 1.89457861 | |
| P(T<=t) dos colas | 0.01573609 | |
| Valor crítico de t (dos colas) | 2.36462425 | |

Tabla 18. Prueba t de Student para zinc

| | <i>Lluvia</i> | <i>Estiaje</i> |
|-------------------------------------|---------------|----------------|
| Media | 0.011 | 0.0432 |
| Varianza | 6.4667E-05 | 4.67E-05 |
| Observaciones | 4 | 5 |
| Varianza agrupada | 5.44E-05 | |
| Diferencia hipotética de las medias | 0 | |
| Grados de libertad | 7 | |
| Estadístico t | -6.50803927 | |
| P(T<=t) una cola | 0.00016581 | |
| Valor crítico de t (una cola) | 1.89457861 | |
| P(T<=t) dos colas | 0.00033162 | |
| Valor crítico de t (dos colas) | 2.36462425 | |

Tabla 19. Prueba t de Student para caudal

| | <i>Lluvia</i> | <i>Estiaje</i> |
|-------------------------------------|---------------|----------------|
| Media | 0.284 | 0.1062 |
| Varianza | 0.0186355 | 0.00022003 |
| Observaciones | 4 | 4 |
| Varianza agrupada | 0.00942776 | |
| Diferencia hipotética de las medias | 0 | |
| Grados de libertad | 6 | |
| Estadístico t | 2.58237553 | |
| P(T<=t) una cola | 0.02081814 | |
| Valor crítico de t (una cola) | 1.94318028 | |
| P(T<=t) dos colas | 0.04163629 | |
| Valor crítico de t (dos colas) | 2.44691185 | |

Anexo 5: Panel fotográfico



Fotografía 1: Captación de agua del río Tilacancha



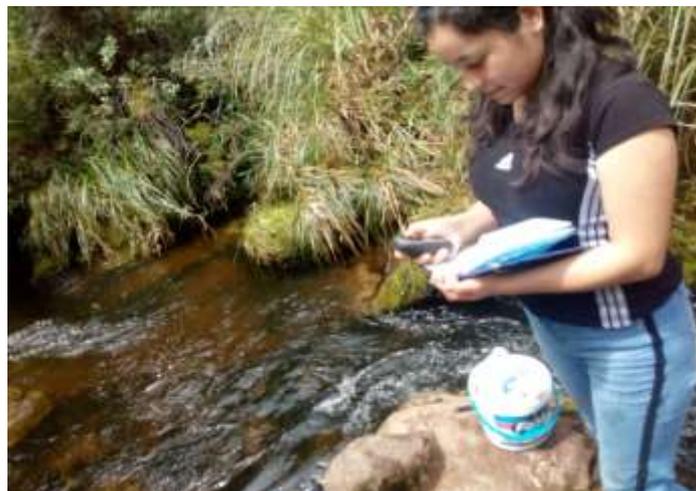
Fotografía 2: Medición de caudales



Fotografía 3: Recolección de muestras de agua



Fotografía 4: Medición de parámetros en campo



Fotografía 5: Toma de puntos GPS



Fotografía 6: Análisis de amonio en las muestras de agua



Fotografía 7: Análisis de cloruros en las muestras de agua



Fotografía 8: Análisis de bacterias coliformes en las muestras de agua