



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE CUENCA
CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

**ANÁLISIS DE LA VARIABILIDAD ESPACIAL Y TEMPORAL DE LOS PARÁMETROS
DE CALIDAD DE AGUA EN RÍOS DE MONTAÑA**

Trabajo de titulación previo a la obtención del
título de Ingeniera Ambiental

AUTORA: KARLA PATRICIA MUÑOZ SANANGO

TUTOR: ING. RUBÉN FERNANDO JERVES COBO, Ph.D.

CO-TUTORES: ING. MARIO GUALLPA

BLG. HARI GONZALES

BLG. PABLO MOSQUERA

Cuenca - Ecuador

2023

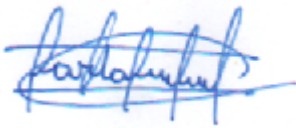
**CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE
TITULACIÓN**

Yo, Karla Patricia Muñoz Sanango con documento de identificación N° 0302686423, manifestó que:

Soy la autora y responsable del presente trabajo; y, autorizo a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Cuenca, 03 de agosto de 2023

Atentamente,



Karla Patricia Muñoz Sanango

0302686423

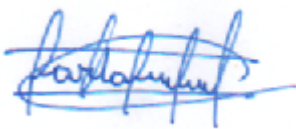
**CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE
TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Yo, Karla Patricia Muñoz Sanango con documento de identificación N° 0302686423, expreso mi voluntad y por medio del presente documento cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autora del Trabajo experimental: “Análisis de la variabilidad espacial y temporal de los parámetros de calidad de agua en ríos de montaña”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniera Ambiental, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribo este documento en el momento que hago la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 03 de agosto de 2023

Atentamente,



Karla Patricia Muñoz Sanango

030268642-3

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Rubén Fernando Jerves Cobo con documento de identificación N° 0102017027, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: “ANÁLISIS DE LA VARIABILIDAD ESPACIAL Y TEMPORAL DE LOS PARÁMETROS DE CALIDAD DE AGUA EN RÍOS DE MONTAÑA”, realizado por la Karla Patricia Muñoz Sanango con documento de identificación N° 0302686423, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Trabajo experimental que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 03 de agosto de 2023

Atentamente,



Ing. Rubén Fernando Jerves Cobo, Ph.D.

0102017027

DEDICATORIA

Con todo mi cariño dedico está tesis:

A mi madre, por su amor incondicional, por apoyarme en todo momento, por ser un pilar fundamental en mi vida y ser la razón de querer superarme cada día. Gracias por enseñarme a afrontar las dificultades, me has enseñado a ser la persona que soy hoy, mis principios, mis valores, mi perseverancia y mi empeño. Todo esto con una enorme dosis de amor y sin pedir nada a cambio.

A mis abuelos Manuel y María, a mis Tíos: Zoila, Luis, Ronny, Nora, Patricio, Nube y a mis primas: Karo, Dayeli por su cariño y apoyo incondicional, por estar conmigo en todo momento, gracias.

Gracias a todas esas personas importantes que han sido una parte integral de mi camino académico y personal, gracias por estar siempre presentes.

KARLA

AGRADECIMIENTO

Agradezco a mi Dios por brindarme sabiduría y salud para culminar esta etapa.

Gracias a toda mi familia, y de manera especial a mi madre que siempre ha sido mi guía y me ha brindado su apoyo en todo momento.

Un agradecimiento especial a mi tutor Ing. Rubén Fernando Jerves Cobo, Ph.D. por su brindarme sus tiempo, guía y asesoramiento muy valioso durante el desarrollo de este proyecto y sobre todo gracias por su paciencia.

A la empresa ETAPA E.P. por su buena disposición y por brindar la información necesaria para realizar el presente estudio

Mi gratitud a los cotutores: Ing. Mario Guallpa, Blog. Hari Gonzales, Blog. Pablo Mosquera por su guía, paciencia, tiempo brindado y por el aporte de sus conocimientos invertidos durante el desarrollo del mismo.

¡GRACIAS A TODOS!

KARLA

RESUMEN

El presente trabajo de titulación tuvo como finalidad analizar la variabilidad espacial y temporal de los parámetros de calidad de agua en las subcuencas de estudio identificar y ajustar los umbrales permisibles. El estudio se realizó con los datos de calidad de agua registrados por el “Programa de Monitoreo y Vigilancia de los Recursos Hídricos y de Clima” de ETAPA EP, el cual cuenta con 70 estaciones distribuidas a lo largo y ancho de las cuencas hidrográficas de los ríos Machángara, Tomebamba, Yanuncay, Tarqui.

Se elaboró una base de datos con información comprendida durante el periodo 1984 -2021, para el análisis de la variabilidad temporal se clasificó en estación seca y lluviosa además se realizó series de tiempo mediante el software Rstudio.

Mediante el análisis de diagrama de cajas y bigotes se tomó en cuenta 30 estaciones divididas en cuenca media, alta y baja, con el objetivo de agrupar de acuerdo a la similitud de sus datos y para su comprobación se realizaron las pruebas de distribución normal.

Además, se clasificó la información mediante el índice de calidad biológica BMWP-Col por pisos climáticos y se aplicaron técnicas estadísticas tales como: el Análisis de componentes principales, mostrando como resultado que a partir del tercer componente principal explica más del 70% de la varianza.

Finalmente, se realizó un análisis comparativo con la normativa ambiental que corresponde al Acuerdo Ministerial 097-A, y se determinó que los parámetros se encuentran dentro de los límites máximos permisibles y estos resultados fueron variando de acuerdo a la ubicación del piso climático.

Palabras claves: Variabilidad espacial, Variabilidad temporal, Análisis de componentes principales, Pisos Climáticos, Normativa Ambiental.

ABSTRACT

The purpose of this qualification work was to analyze the spatial and temporal variability of water quality parameters in the study sub-basins and to identify and adjust the permissible thresholds. The study was carried out with water quality data recorded by ETAPA EP's "Water Resources and Climate Monitoring and Surveillance Program", which has 70 stations distributed throughout the Machángara, Tomebamba, Yanuncay, and Tarqui river basins.

A database was prepared with information for the period 1984 -2021. For the analysis of temporal variability, it was classified into dry and rainy seasons and a time series was created using the Rstudio software.

By means of the box-and-whisker diagram analysis, 30 stations divided into middle, upper and lower basin were taken into account, with the objective of grouping according to the similarity of their data and for its verification, normal distribution tests were carried out.

In addition, the information was classified using the BMWP-Col biological quality index by climatic zones and statistical techniques were applied such as: Principal Component Analysis, showing as a result that the third principal component explains more than 70% of the variance. Finally, a comparative analysis was made with the environmental regulations corresponding to Ministerial Agreement 097-A, and it was determined that the parameters are within the maximum permissible limits and these results varied according to the location of the climatic floor.

Key words: Spatial variability, Temporal variability, Principal Component Analysis, Climatic Floors, Environmental Regulations.

INDICE

CAPITULO I	16
1. INTRODUCCION.....	16
1.1. Problemática	16
1.2. Justificación	17
1.3. Antecedentes	17
1.4. Delimitación.....	19
1.5. Objetivos.....	22
1.5.1. Objetivo General.....	22
1.5.2. Objetivos específicos	22
CAPÍTULO II	23
FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.....	23
2.1 Bases teóricas.....	23
2.1.1. Índice de calidad del agua.....	23
2.1.2. Índice BMWP–Col.....	26
2.1.3. Clasificación de periodos	28
2.1.4. Clasificación de pisos climáticos	28
2.1.5. Análisis de variabilidad temporal	28
2.1.5.1. Medidas estadísticas descriptivas	28
2.1.5.2. Coeficiente de correlación	29
2.1.5.3. Pruebas de normalidad.....	29
2.1.5.4. Series temporales	30
2.1.5.5. Clasificación descriptiva de series temporales	31
2.1.5.6. Análisis de tendencia	31
2.1.5.7. Análisis estacionalidad.....	32
2.1.6. Análisis de variabilidad espacial.....	32
CAPÍTULO III	35

MATERIALES Y MÉTODOS.....	35
3.1. Estaciones de muestreo	35
3.2. METODOLOGÍA	42
3.2.1. Análisis del caudal.....	42
3.2.2. Análisis de NSF Water Quality Index	44
3.2.3. Clasificación en periodo húmedo y periodo seco	46
3.2.3. Análisis de la variabilidad temporal mediante series de tiempo	47
3.2.4. Análisis de la variabilidad espacial mediante diagramas de cajas.....	47
3.2.5. Determinación de normalidad	49
3.2.6. Análisis estadístico de los parámetros fisicoquímicos, microbiológicos y biológicos mediante la aplicación de Análisis de componentes principales	50
3.2.7. Determinación de umbrales permisibles de acuerdo a la normativa ambiental	51
CAPÍTULO IV.....	53
RESULTADOS Y DISUSIÓN.....	53
4.1 Análisis del índice de calidad de agua NSF-WQI	53
4.2 Análisis de la variabilidad temporal	54
4.3. Análisis de la variabilidad espacial mediante diagramas de caja	58
4.3.1. Análisis de diagramas de cajas y bigotes.....	59
4.4. Análisis Pruebas de Normalidad.....	62
4.5. Análisis de componentes principales por pisos climáticos	62
4.5.1. Análisis piso climático frío	62
4.5.2. Análisis del piso climático páramo bajo	82
4.5.3. Análisis del piso climático páramo alto	94
4.5.4. Análisis de resultados de componentes principales por pisos climáticos	103
4.5.5. Análisis de resultados de componentes principales por el tipo de calidad	106
4.6. Resultados del análisis umbrales permisibles con la normativa ambiental	115
4.6.1. Piso climático frío.....	115

4.6.2.	Análisis piso climático páramo bajo	118
4.6.3.	Análisis piso climático páramo alto	119
CAPÍTULO V	121
5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	121
5.1.	Conclusiones	121
5.2.	Recomendaciones.....	122
6.	REFERENCAS BIBLIOGRAFICAS	123
7.	ANEXOS	128
	ANEXO I: Diagrama de cajas y bigotes	128
	ANEXO II: Diagrama de Cajas y Bigotes	132
	ANEXO III: Pruebas de Normalidad y Homogeneidad.....	135

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Principales características morfométricas de microcuencas de estudio.....	21
Tabla 2. Puntaje de las familias de macroinvertebrados acuáticos para el Índice BWMP/Col	27
Tabla 3. Estaciones de muestreo	35
Tabla 4 . Curvas de descarga de 1997 a 2007	43
Tabla 5. Valores predeterminados para la ecuación de la curva de descarga de 2007 a 2015 44	
Tabla 6. Factores de ponderación para el cálculo de NSF WQI.....	45
Tabla 7. Funciones de los Subíndices del WQI	45
Tabla 8. Subcuencas de estudio	47
Tabla 9. Clasificación de pisos climáticos	51
Tabla 10. Calidad del índice BMWP	51
Tabla 11. Criterios de calidad admisible.....	52
Tabla 12 . Matriz de correlación de Pearson en la calidad buena del piso climático frío.....	63
Tabla 13. Componentes principales calidad buena, piso climático frío.....	64
Tabla 14. Matriz de correlación de Pearson en la calidad aceptable del piso climático frío ..	67
Tabla 15. Componentes principales calidad aceptable, piso climático frío	68
Tabla 16. Matriz de correlación de Pearson en la calidad dudosa del piso climático frío	71
Tabla 17. Componentes principales calidad aceptable, piso climático frío	72
Tabla 18. Matriz de correlación de Pearson en la calidad crítica del piso climático frío	75
Tabla 19. Componentes principales calidad crítica, piso climático frío	76
Tabla 20 . Matriz de correlación de Pearson en la calidad muy crítica del piso climático frío	79
Tabla 21. Componentes principales calidad muy crítica, piso climático frío	80
Tabla 22. Matriz de correlación de Pearson en la calidad buena del piso climático paramo bajo	83
Tabla 23. Componentes principales calidad buena, piso climático paramo bajo	84
Tabla 24 . Matriz de correlación de Pearson en la calidad dudosa del piso climático paramo bajo.....	87
Tabla 25. Componentes principales calidad dudosa, piso climático paramo bajo.....	88
Tabla 26. Matriz de correlación de Pearson en la calidad aceptable del piso climático páramo bajo.....	91
Tabla 27. Componentes principales calidad aceptable, piso climático páramo bajo	92

Tabla 28. Matriz de correlación de Pearson en la calidad buena del piso climático páramo alto	95
Tabla 29. Componentes principales calidad buena, piso climático paramo alto	96
Tabla 30. Matriz de correlación de Pearson en la calidad aceptable del piso climático páramo alto.....	99
Tabla 31. Componentes principales calidad aceptable, piso climático páramo alto.....	101
Tabla 32. ACP, parámetros por piso climático	105
Tabla 33. ACP, parámetros por calidad de piso climático.....	110
Tabla 34. Evaluación de límites máximos permisibles en la calidad buena, piso climático frío.	115
Tabla 35. Evaluación de límites máximos permisibles en la calidad aceptable, piso climático frío.....	116
Tabla 36. Evaluación de límites máximos permisibles en la calidad dudosa, piso climático frío.	116
Tabla 37. Evaluación de límites máximos permisibles en la calidad critica, piso climático frío.	117
Tabla 38. Evaluación de límites máximos permisibles en la calidad muy crítica, piso climático frío.....	118
Tabla 39. Evaluación de límites máximos permisibles en la calidad aceptable, piso climático páramo bajo.....	119
Tabla 40. Evaluación de límites máximos permisibles en la calidad dudosa, piso climático páramo bajo.....	119
Tabla 41. Evaluación de límites máximos permisibles en la calidad aceptable, piso climático páramo alto.....	120
Tabla 42. Diagrama de cajas y bigotes	128

INDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 Ubicación de zona de estudio.....	20
Ilustración 2. Ejemplo de correlación.....	29
Ilustración 3. Ejemplo de tendencia creciente.....	31
Ilustración 4. Ejemplo de estacionalidad.....	32
Ilustración 5. Componentes de un diagrama de caja.....	33
Ilustración 6. Ubicación de estaciones de monitoreo.....	42
Ilustración 7. Estaciones de monitoreo dividida por grupos.....	49
Ilustración 8. Variación de Water Quality Index.....	53
Ilustración 9. Serie de tiempo para % de Saturación de Oxígeno Disuelto.....	54
Ilustración 10. Serie de tiempo para Coliformes Fecales (NMP/100ml).....	54
Ilustración 11. Serie de tiempo para DBO5 (mg/l).....	55
Ilustración 12. Serie de tiempo para Fósforo Total (ug/litro).....	55
Ilustración 13. Serie de tiempo para Nitratos + Nitritos (mg/l).....	56
Ilustración 14 . Serie de tiempo para pH.....	56
Ilustración 15. Serie de tiempo para Sólidos Totales (mg/l).....	57
Ilustración 16. Serie de tiempo para Temperatura.....	57
Ilustración 17. Serie de tiempo para Turbiedad (NTU).....	58
Ilustración 18. Diagrama de cajas estación Cue-Cue-020.....	59
Ilustración 19. Diagrama de cajas estación Mac-Com-Control.....	60
Ilustración 20. Diagrama de cajas estación Tar-Sal-Control.....	60
Ilustración 21. Diagrama de cajas estación Tom-Mz-Control.....	61
Ilustración 22. Diagrama de cajas estación Yan-Yan-Control.....	61
Ilustración 23. Porcentaje de varianza de la calidad buena, piso climático frío.....	65
Ilustración 24. ACP para la calidad buena del piso climático frío.....	65
Ilustración 25. Porcentaje de varianza de la calidad aceptable, piso climático frío.....	69
Ilustración 26. ACP para la calidad aceptable del piso climático frío.....	69
Ilustración 27. Porcentaje de varianza de la calidad dudosa, piso climático frío.....	73
Ilustración 28. ACP para la calidad dudosa del piso climático frío.....	73
Ilustración 29. Porcentaje de varianza de la calidad crítica, piso climático frío.....	77
Ilustración 30. ACP para la calidad crítica del piso climático frío.....	77
Ilustración 31. Porcentaje de varianza de la calidad muy crítica, piso climático frío.....	81
Ilustración 32. ACP para la calidad muy crítica del piso climático frío.....	81

Ilustración 33. Porcentaje de varianza de la calidad buena, piso climático paramo bajo	85
Ilustración 34 . ACP para la calidad buena del piso climático páramo bajo	85
Ilustración 35 . Porcentaje de varianza de la calidad dudosa, piso climático páramo bajo....	89
Ilustración 36. ACP para la calidad dudosa del piso climático páramo bajo	89
Ilustración 37. Porcentaje de varianza de la calidad aceptable, piso climático páramo bajo .	93
Ilustración 38 . ACP para la calidad aceptable del piso climático páramo bajo	93
Ilustración 39. Porcentaje de varianza de la calidad buena, piso climático páramo alto	97
Ilustración 40. ACP para la calidad buena del piso climático paramo alto	97
Ilustración 41. Porcentaje de varianza de la calidad aceptable, piso climático páramo alto	102
Ilustración 42. ACP para la calidad aceptable del piso climático páramo alto	102

CAPITULO I

1. INTRODUCCION

1.1. Problemática

Aproximadamente entre los 3500 y 5000 msnm en el norte de la cordillera de Los Andes, se encuentra el ecosistema de humedales alpino neotropical, conocido como "páramo". Este ecosistema representa la mayor fuente de agua para la comunidad Andina, principalmente para Colombia y Ecuador, y provee servicios ambientales a más de 100 millones de personas (Hofstede et al., 2014)

El abastecimiento de agua potable de las poblaciones ubicadas en los Andes del norte y en sus estribaciones, depende directamente del estado de los ecosistemas de páramo, según (Beltrán et al., 2009) que para ese entonces en Ecuador cubría aproximadamente el 5% del territorio nacional. Dada esta importancia, las instituciones encargadas de la dotación de agua han extendido su trabajo al manejo y protección de las cuencas hidrográficas de las que se abastecen, trabajo que se enmarca en el denominado Manejo Integral del Recurso Hídrico.

Los ríos altos andinos se originan en los ecosistemas de páramo que poseen gran biodiversidad, y son funcionalmente estratégicos porque constituyen estabilizadores de suelos, acumuladores de carbono y reguladores hídricos, debido a la interacción de sus condiciones climáticas de bajas temperaturas y grandes alturas, así como por la vegetación y riqueza orgánica de sus suelos (Mena Vásconez et al., 2011).

En el caso de las poblaciones del cantón Cuenca, las cuencas hidrográficas cuyas aguas escurren hacia la vertiente del Amazonas y que proporcionan el servicio ecosistémico de dotación de agua para consumo humano y riego son de los ríos: Machángara, Tomebamba, Yanuncay y Tarqui, los mismos que son afluentes del río Cuenca.

Las distintas masas superficiales de agua están expuestas a grandes presiones generadas principalmente por el urbanismo, la agricultura y la ganadería. Actividades que alteran los regímenes de caudales en las cuencas, la geomorfología de los cursos hídricos, la calidad y cantidad de aguas superficiales y subterráneas, la composición y estructura de las comunidades bióticas y la transformación del paisaje (Idarraga, 2013). En consecuencia, la gestión integral de las cuencas debe basarse en estrategias de investigación y conservación.

1.2. Justificación

Según (Jiménez, 2005) la gestión de cuencas hidrográficas puede contribuir de manera fundamental, se trata de un proceso para aprovechar y conservar los recursos naturales en función de las necesidades humanas.

En este contexto, ETAPA EP implementó el Programa de Monitoreo y Vigilancia de los Recursos Hídricos y de Clima, que inició con las primeras campañas de monitoreo de parámetros físicos, químicos y bacteriológicos de la calidad de agua en los tramos urbanos de la ciudad de Cuenca. Posteriormente, el monitoreo llegó a abarcar las cuencas de los ríos Machángara, Tomebamba, Yanuncay, Tarqui y Cuenca en su tramo inicial. La digitalización de los registros históricos de los parámetros se implementó a partir de 2018.

Al disponer de esta importante base de datos, ETAPA EP iniciará una nueva fase dentro del programa, fase que comprende el análisis de la evolución espacial y temporal de los parámetros.

En este trabajo se busca analizar espacial y temporalmente la calidad del agua, para identificar como los parámetros van variando, además se puede determinar la contaminación de los cuerpos de agua y así tomar medidas de mitigación sobre la contaminación a mediano o largo plazo en dichos cuerpos receptores.

De esta forma, la variación temporal refleja las diferencias interanuales lo que permite realizar un análisis del desarrollo de los cuerpos de agua según sea el grado de contaminación, en el caso de la variación espacial permite determinar las diferencias en las concentraciones de los parámetros del agua entre los cuerpos de agua analizados (Comas et al., 1998).

1.3. Antecedentes

El análisis de variabilidad espacial y temporal, permite establecer diferencias en la concentración de parámetros de calidad del agua, entre cuencas o sitios de monitoreo analizados (Ochoa Sánchez & Rodas Ochoa, 2009).

(Guamán, 2019); a través de su tesis denominada “Análisis de la variabilidad espacial y temporal de la calidad del agua en una zona de páramo húmedo al sur del Ecuador”, realizó el estudio en cinco microcuencas del páramo de Quimsacocha en el cual se desarrolló el análisis de la variabilidad temporal y espacial de la calidad del agua. Para el análisis de la variabilidad temporal se realizaron gráficos de series de tiempo con el objetivo de identificar posibles

patrones temporales o estacionalidad en las concentraciones de los parámetros durante el período de monitoreo y para el análisis de la variabilidad espacial se construyeron gráficos de caja y bigotes. Se evaluaron varios parámetros relacionados con la variación espacial de la calidad del agua. Este trabajo demostró la influencia de la cantidad de precipitación y caudal en la concentración de la mayoría de parámetros analizados; la variabilidad espacial encontrada permitió clasificar las aguas en tres grupos; y se han encontrado regresiones significativas entre parámetros de calidad del agua y variables meteorológicas. Los resultados obtenidos permitieron obtener una mejor comprensión de los procesos eco hidrológicos los cuales contribuyen a establecer una línea base sobre los parámetros controladores de la calidad del agua.

Un segundo trabajo de (J. Herrera et al., 2013) denominado “Variación temporal y espacial de la calidad de las aguas superficiales en la subcuenca del río Virilla (Costa Rica) entre 2006 y 2010”, se analizaron los datos correspondientes a 25 variables de calidad de agua recolectadas en 64 sitios de monitoreo distribuidos a lo largo de la subcuenca del río Virilla, en Costa Rica. El estudio presenta como objetivos: clasificar la calidad del agua en zonas de contaminación e identificar los principales factores que influyen en la calidad del agua de estas zonas, también se analizan los cambios espaciales y temporales en la calidad del agua para investigar posibles fuentes de contaminantes. La época de estudio se clasificó en lluviosa y seca, la temporada lluviosa va de mayo a noviembre, pero la mayoría de las lluvias se producen durante los meses de septiembre y octubre. Dentro de la metodología utilizada se realizaron pruebas de normalidad en las cuales las variables fisicoquímicas analizadas solamente el pH, Ca, K y SO_2^4 presentan una distribución normal, además se utilizó para el análisis temporal el método de análisis de componentes principales (ACP) y el análisis de factor, con lo cual se logró identificar dos fuentes principales de contaminación que explican el 80,9 % de la varianza total en zonas de baja contaminación, dos fuentes que explican el 77,1 % de la varianza total en zonas de moderada contaminación y dos fuentes que explican el 67,8 % de la varianza total en zonas de alta contaminación. La contaminación reflejada en las variables de calidad del agua es debido a la presencia de aguas residuales industriales, actividades agrícolas y descargas urbanas.

(Guzmán-Colis et al., 2011) en su estudio denominado “Evaluación espacio-temporal de la calidad del agua del río San Pedro en el Estado de Aguascalientes, México” analizaron los datos de 43 estaciones en época de sequía y de lluvia y fueron analizados 23 parámetros. Se realizó un análisis de componentes principales (ACP) para investigar si los contaminantes

evaluados en el cauce del río San Pedro variaban con el tiempo. El ACP muestra una variabilidad acumulada del 53% para los dos primeros componentes. Por otro lado, el ACP muestra que la contaminación comunal tiene poca correlación con la actividad de muestreo, ya que ambos ocurren en cuadrantes distintos a la parte positiva del componente 2. En contraste, este el mismo tipo de contaminación con DBO₅ y pH.

El ACP mostró que las concentraciones observadas de estos metales estaban inversamente correlacionadas con la actividad de muestreo, ya que estaban en cuadrantes opuestos. Esto confirmó diferencias significativas en las concentraciones de metales pesados entre campañas de muestreo. El alto contenido de materia orgánica resultó en bajas concentraciones de OD, de acuerdo con el análisis de componentes principales (ACP), que mostró que el OD se correlacionó negativamente con las variables de materia orgánica (DBO₅ y DQO).

El ACP mostro correlaciones significativas entre coliformes, materia orgánica y nutrientes, todas consistentes con las emisiones municipales. Por otro lado, fue independiente del muestreo, lo que indica que los altos niveles de contaminación de fuentes urbanas no variaron con la precipitación.

1.4. Delimitación

La zona del estudio corresponde a la cuenca hidrográfica del río paute que se encuentra en la región austral del Ecuador y corresponde geográficamente a las provincias de Azuay, Cañar y Morona Santiago, dentro de las mismas se encuentra el cantón Cuenca. La extensión del área es de aproximadamente 5066 Km², con un amplio rango altitudinal desde 1840 m.s.n.m. hasta los 4680 m.s.n.m (Mora et al., 2014).

Las subcuencas de los ríos Yanuncay (419 Km²), Tomebamba (380 Km²) y Machángara (325 Km²) nacen en el Parque Nacional Cajas, mientras que el río Tarqui (476 Km²) nace en los páramos de Cumbe y de la parte alta de la Victoria del Portete (Pauta et al., 2019).

La subcuenca del río Yanuncay nace en el macizo del Cajas, en el sur occidente de la ciudad de Cuenca, subcuenca que brinda 300 l/s de agua para consumo humano (Albarracín, 2019).

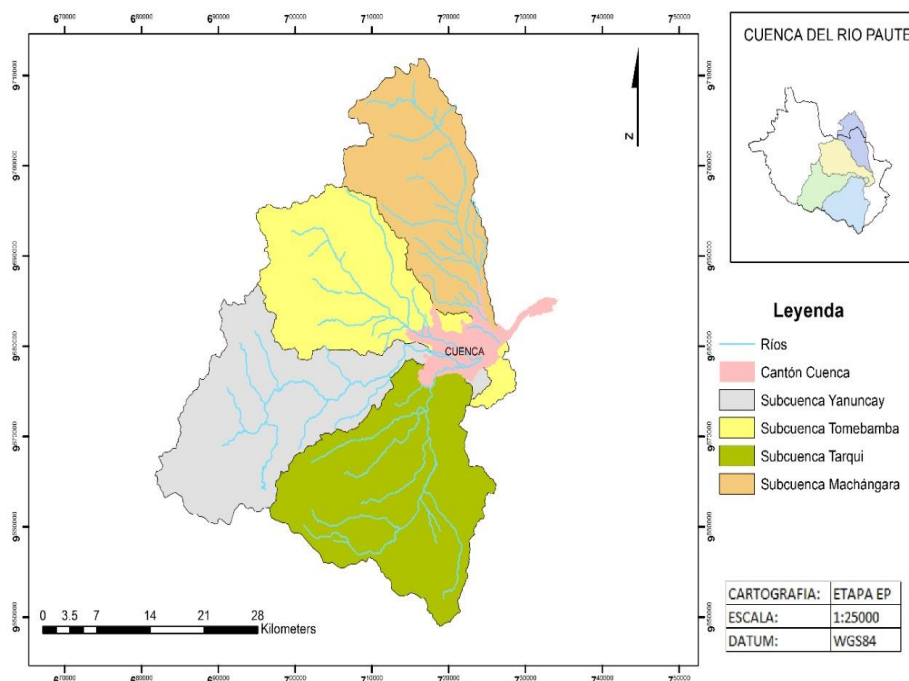
La subcuenca del río Tomebamba, se distribuyen en las parroquias de Sayausi (con un 80% de su territorio), San Joaquín (14%) y Cuenca (6%) (Pesántez, 2015).

La subcuenca del río Machángara, conciernen a las parroquias rurales: Checa, Chiquintad, Sinincay, Ricaurte, Octavio Cordero, Sayausi, Sidcay de la provincia del Azuay; y la parroquia de Nazón de la provincia del Cañar (Martínez, 2012).

La subcuenca del río Tarqui comprende varias parroquias como son: Cumbe, Victoria del Portete, Tarqui, Baños y Turi y parte de la ciudad de Cuenca (Pesántez & Suárez, 2019).

Ilustración 1 Ubicación de zona de estudio.

MAPA DE UBICACIÓN DE ZONA DE ESTUDIO



Fuente: Autor

En la Ilustración 1 se puede observar las 4 subcuencas principales de estudio: Yanuncay, Tomebamba, Tarqui y Machángara. En la Tabla 1 se presenta las principales características morfométricas de cada una de las subcuencas indicadas.

Tabla 1. Principales características morfométricas de microcuencas de estudio

SUBCUENCA	ÁREA (Km ²)	PERÍMETRO (Km ²)	COTA MIN (msnm)	COTA MAX (msnm)
YANUNCAY	414.82	135,3	2540	4340
MACHÁNGARA	322.18	96.83	2476	4420
TOMBAMBA	321.22	86.47	2600	4420
TARQUI	420,40	145.70	2520	3940

Fuente: Autor

Las subcuencas de estudio se caracterizan por tener una topografía montañosa y escarpada cubierta por bosques montanos, la vegetación de páramo de alta montaña es la principal en las subcuencas y el clima por su parte es muy variable (Pozo, 2018).

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo General

- Analizar históricamente la evolución de los parámetros de calidad de agua para ríos de alta montaña en zonas de páramo, a través de la información recopilada en los ríos Machángara, Tomebamba, Yanuncay y Tarqui.

1.5.2. Objetivos específicos

- Analizar la variabilidad temporal de los parámetros de calidad de agua en las subcuencas de estudio, en los periodos húmedos y secos identificados en el régimen hidrológico.
- Analizar la variabilidad espacial (gradiente altitudinal) de los parámetros de calidad de agua en las subcuencas de estudio.
- Determinar umbrales permisibles de los parámetros de calidad del agua considerando la variación morfológica, el régimen hidrológico y la cobertura vegetal de los cuatro ríos estudiados.

CAPÍTULO II

FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.1 Bases teóricas

2.1.1 Índice de calidad del agua

A principios de los años sesenta, ante la importancia de conocer la calidad de un cuerpo hídrico de manera accesible a la población, se desarrolló un método uniforme y consistente que requirió la medición física de los parámetros de contaminación del agua (Semarnat, 2013). A este método se lo conoce como el índice de calidad del agua (ICA), que incorpora datos de varios parámetros físicos, químicos y biológicos, en una ecuación matemática, mediante la cual se evalúa el estado de un cuerpo de agua.

En la actualidad se han desarrollado varias metodologías para evaluar la calidad del agua cuya diferencia radica en la manera de calcular y que parámetros tienen en cuenta en la formulación del índice correspondiente (Caho-Rodríguez & López-Barrera, 2017).

Entre los ICA más empleados es el propuesto por Brown en 1970, es una versión modificada del WQI que fue desarrollada por la National Sanitation Foundation de Estados Unidos (NSF), con el objetivo de crear sistemas que permitan comparar ríos de diferentes lugares, diseño el estándar llamado WQI (Water Quality Index) que en español se conoce como índice de calidad del agua (ICA) (Quiroz et al., 2017).

En la actualidad, la ciudad de Cuenca utiliza el índice WQI - NSF que considera nueve parámetros de calidad, ocho físico-químicos y uno bacteriológico. La empresa ETAPA EP, durante 27 años ha generado una base de datos de las subcuencas de los ríos Machángara, Tomebamba, Yanuncay y Tarqui. El monitoreo comenzó registrando 6 parámetros que con el paso del tiempo se ha incrementado hasta 15, dentro de los cuales se encuentran:

- **Temperatura:** Mide qué tan caliente o fría está el agua. Los valores obtenidos suelen utilizarse como datos adicionales para otras determinaciones como oxígeno disuelto, alcalinidad, salinidad, conductividad y actividad biológica. La temperatura se mide en grados centígrados (°C) (C. Herrera et al., 2018).

La temperatura cambia anualmente a consecuencia de la meteorología y del clima. Esta variación tiene mucha incidencia dentro del ecosistema fluvial, puesto que determinar la riqueza y abundancia de los organismos (Agroambiente, n.d.)

- **Oxígeno disuelto (porcentaje de saturación y concentración):** Es la cantidad de oxígeno disperso que se encuentra en el agua y en el aire, de este elemento dependen las especies vegetales, animales y microorganismos para vivir. Es un buen indicador de contaminación, puesto que muestra las actividades físicas, químicas y bioquímicas que suceden dentro del curso del agua. El oxígeno disuelto (OD) se mide en miligramos de oxígeno disuelto por litro de agua (mg/l) (C. Herrera et al., 2018).
- **Demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅):** Es una prueba de biotipo empírico que mide el oxígeno molecular que utilizan los microorganismos para descomponer la materia orgánica después de un período de incubación de 5 días. Incuba muestras de agua o muestras de agua adecuadamente diluidas a 20°C en la oscuridad durante 5 días. El proceso de descomposición o estabilización de las sustancias orgánicas en el agua se manifiesta en el lento consumo de oxígeno disuelto durante el período de incubación, es decir, la DBO₅ (INEN, 2013).
- **pH:** Según, (C. Herrera et al., 2018) “el potencial de actividad del ion hidrógeno, o pH, indica el grado de acidez o alcalinidad del agua. Es una de las pruebas más importantes en calidad de agua”. Dependiendo del valor del pH el agua puede ser ácida si va de un rango de 0-7, es neutra si pH=7 y es básica con un pH de 7-14 (García de la Fuente, 2013).
- **Turbiedad:** Indica el nivel de transparencia o claridad del agua. Es una manifestación de las propiedades ópticas del agua que hacen que la luz se disperse o absorba en lugar de propagarse a través de la muestra sin cambiar su dirección. La turbiedad se mide en unidades de turbidez nefelométrica, (NTU) (C. Herrera et al., 2018).
- **Sólidos totales:** Materia disuelta en el agua, es decir, que permanece después de pasar la muestra por un filtro de 2 micrones o más pequeño. En esto se diferencian de las sustancias en suspensión que quedan retenidas por los filtros. Los sólidos disueltos totales (SDT) se miden en partes de sólidos por un millón de partes agua (ppm) (C. Herrera et al., 2018).

- **Nitratos, Nitritos:** Son compuestos solubles formados por moléculas de nitrógeno y oxígeno. En el medio ambiente, los nitritos (NO_2^-) suelen convertirse fácilmente en nitratos (NO_3^-), lo que significa que rara vez se encuentran nitritos en las aguas subterráneas. Los nitratos son necesarios para el crecimiento de las plantas. Por lo tanto, se utiliza principalmente como fertilizante y se produce industrialmente en grandes cantidades (Bolaños Alfaro et al., 2017).
- **Fosforo total:** El fósforo es un elemento esencial para el crecimiento de plantas y animales. El fósforo que se encuentra actualmente en la naturaleza y en las aguas residuales se reconoce como uno de los nutrientes que controlan el crecimiento de las algas y es casi exclusivamente fosfato, que se divide en ortofosfato, fosfato concentrado (pirofosfato, metafosfato y otras polifosfatos) y organofosfatos (Suarez et al., 2007).
- **Coliformes fecales:** constituyen un subgrupo de los coliformes totales, y pueden ser tolerantes a temperaturas más altas, creciendo a 44.5°C , se denominan termo tolerantes por su habilidad de soportar temperaturas más elevadas (Salas & Martínez, 2004).
- **Coliformes Totales:** Bacterias gram negativas, no esporoformadoras, oxidasa negativa, con capacidad de crecimiento aeróbico y facultativamente anaeróbico en presencia de sales biliares, que a temperatura especificada de 35°C (Navarro, 2007).
- **Color Aparente:** Un agua con color delata la presencia de iones, materia orgánica o residuos industriales. El "color aparente" de la muestra se determinó sin filtrar. Sin embargo, el "color verdadero" se determina después de pasar la muestra a través de un filtro con un tamaño de poro de 2 micras o menos. El color se mide en unidades de color escala platino / cobalto (Pt/Co) (C. Herrera et al., 2018).
- **Conductividad:** La capacidad de una solución de transmitir una corriente eléctrica. Si la solución tiene compuestos inorgánicos (sales y metales) suele tener una conductividad alta; mientras que, si contiene sustancias orgánicas, suele tener una baja conductividad. La conductividad eléctrica (CE) se mide en microSiemens por centímetro ($\mu\text{S}/\text{cm}$) (C. Herrera et al., 2018)
- **Alcalinidad Total:** La alcalinidad total del agua es la medida de su capacidad para neutralizar ácidos. Le dice cuánto ácido puede absorber una solución sin cambiar el pH. En otras palabras, la alcalinidad refleja la capacidad amortiguadora de una solución. Si

el agua es baja en alcalinidad, agregarle ácido reducirá rápidamente su pH (Bautista, 2019).

- **Dureza:** El agua se puede clasificar como blanda, de dureza media y muy dura dependiendo de la cantidad de carbonato de calcio (Aconsa, 2021). Los componentes básicos de la dureza son los bicarbonatos, sulfatos y cloruros, puesto que los carbonatos y los hidróxidos son muy insolubles y están en pocas cantidades en el agua (García de la Fuente, 2013).
- **Medición de caudal:** Es una medición esencial para la gestión del agua porque nos indicacuánta agua está disponible.

2.1.2. Índice BMWP–Col

El Biological Monitoring Working Party (BMWP) es un método cualitativo utilizado para analizar la calidad del agua, que asigna un puntaje a todos los grupos de macroinvertebrados acuáticos a nivel de familia y se le asigna un puntaje según su nivel de contaminación orgánica. Las familias más sensibles son puntuadas con 10, mientras que las menos sensibles de contaminación reciben una puntuación de 1 (Leaño & Pérez, 2020) (Sánchez & García, 2018).

(Roldán Pérez, 2003), adaptó el índice como BMWP/Col. para evaluar la calidad del agua en Colombia a través del uso de los macroinvertebrados como una aproximación para evaluar los ecosistemas acuáticos de montaña.

Tabla 2. Puntaje de las familias de macroinvertebrados acuáticos para el Índice BWMP/Col

Familias	Puntaje
Anomalopsychidae, Atriplectididae, Blepharoceridae, Calamoceratidae, Ptilodactylidae, Chordodidae, Gomphidae, Hidridae, Lampyridae, Lymnessiidae, Odontoceridae, Oligoneuriidae, Perlidae, Polythoridae, Psephenidae	10
Ampullariidae, Dytiscidae, Ephemeridae, Euthyplociidae, Gyrinidae, Hydrobiosidae, Leptophlebiidae, Philopotamidae, Polycentropodidae, Xiphocentronidae.	9
Gerridae, Hebridae, Helicopsychidae, Hydrobiidae, Leptoceridae, Lestidae, Palaemonidae, Pleidae, Pseudothelpusidae, Saldidae, Simuliidae, Veliidae.	8
Baetidae, Caenidae, Calopterygidae, Coenagrionidae, Corixidae, Dixidae, Dryopidae, Glossosomatidae, Hyalellidae, Hydroptilidae, Hydropsychidae, Leptohipidae, Naucoridae, Notonectidae, Planariidae, Psychodidae, Scirtidae.	7
Aeshnidae, Ancylidae, Corydalidae, Elmidae, Libellulidae, Limnichidae, Lutrochidae, Megapodagrionidae, Sialidae, Staphylinidae.	6
Belostomatidae, Gelastocoridae, Hydropsychidae, Mesoveliidae, Nepidae, Planorbiidae, Pyralidae, Tabanidae, Thiaridae	5
Chrysomelidae, Stratiomyidae, Haliplidae, Empididae, Dolycopodidae, Sphaeridae, Lymnaeidae, Hydraenidae, Hydrometridae, Noteridae.	4
Ceratopogonidae, Glossiphoniidae, Cyclobdellidae, Hydrophilidae, Physidae, Tipulidae.	3
Culicidae, Chironomidae, Muscidae, Sciomyzidae,	2
Tubificidae	1

Fuente: (Roldán Pérez, 2003)

2.1.3. Clasificación de periodos

- **Periodo seco:** La escasez de agua es el resultado de precipitaciones insuficientes por tiempo prolongado, a esta condición hídrica se lo conoce como periodo seco o sequias. Es importante identificar la intensidad de las sequias y dar seguimiento en tiempo y espacio, puesto que la población depende del agua para cubrir sus necesidades (Carbone & Piccolo, 2004).

Las sequias afectan gravemente a las regiones que se dedican a la agricultura.

- **Periodo húmedo:** Es considerado cuando la precipitación es mayor o igual a 60 mm de precipitación (Cartaya et al., 2016).

2.1.4. Clasificación de pisos climáticos

El Ecuador cuenta con diferentes niveles de variación del clima, dependiendo de su altitud se clasifica:

Piso frío: También denominado micro térmico, se encuentra a una altitud de 2000-3000 metros sobre el nivel del mar. En este piso predomina temperaturas bajas con un promedio de 12 grados centígrados (Portillo, n.d.).

Piso páramo: Se encuentra a una altitud de 3400-3800 metros sobre el nivel del mar y las temperaturas varían desde los 12 a 8 grados centígrados llegando a 0 grados. En la noche llegan a puntos de congelación y puede presentarse precipitaciones en forma de nieve (Portillo, n.d.).

2.1.5. Análisis de variabilidad temporal

El análisis de la variabilidad temporal permite interpretar la evolución del río teniendo en consideración su nivel de contaminación (Comas et al., 1998a). Este estudio se relaciona con factores cósmicos y puede ser analizados en intervalos cortos, por ejemplo, de orden diario, mensual, estacional o anual, o intervalos más largos (décadas, centurias, milenios) (Pérez, 2006).

Las técnicas más utilizadas para analizar la variabilidad temporal son:

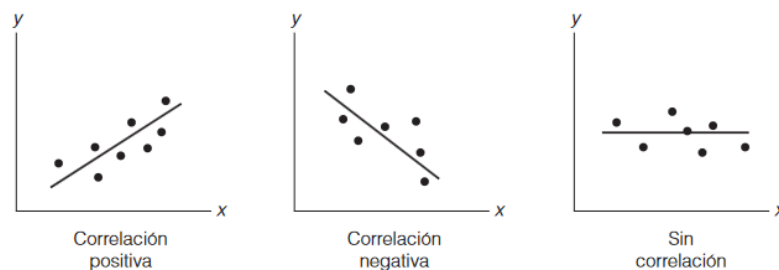
2.1.5.1. Medidas estadísticas descriptivas

- **Máximo:** es el valor mayor de un conjunto de datos y puede ser útil para identificar valores atípicos o error en la digitación de datos (Gorla, 2002)
- **Mínimo:** es el menor valor de un conjunto de datos y puede ser utilizado para presentar un valor atípico (Gorla, 2002)
- **Media:** es una medida central de un conjunto de datos, que otorga igual ponderación a todos los valores. (López, 2020)
- **Desviación estándar:** es una medida que representa la variabilidad en la estadística descriptiva la cual sugiere si la dispersión de los datos es pequeña indica que los puntos se acumulan alrededor de su media y si su valor es alto indica que los datos están dispersos. (Freund & Simon, 1994)

2.1.5.2. Coeficiente de correlación

De acuerdo a (Suarez, O), los coeficientes de correlación son medidas que indican el grado de relación que existe entre dos variables y en qué nivel se relacionan.

Ilustración 2. Ejemplo de correlación



Nota: Extraído de “Administración y Control de la Calidad”, por Evans & Lindsay, (2008).

2.1.5.3. Pruebas de normalidad

Existen varias pruebas estadísticas paramétricas y no paramétricas para analizar si un conjunto de datos cumple o no el supuesto de normalidad, su uso dependerá de la cantidad y calidad de la información (Castro & Carvajal, 2010). Las pruebas paramétricas presuponen que los datos siguen una distribución normal, mientras que las no paramétricas no presuponen una distribución normal, es por ello que se conoce como de distribución libre. (Scientific European Federation of Osteopaths, 2014)

Entre las pruebas de normalidad se encuentran:

Prueba de Anderson Darling:

El estadístico no paramétrico de Anderson Darling se utiliza cuando se requiere comprobar si los datos analizados cumplen con el supuesto de normalidad para una prueba t. Esta prueba tiene más ponderación en las colas de distribución, por lo tanto, un valor pequeño del estadístico indica que se ajusta mejor a los datos. (Flores & Flores, 2021)

Para calcular se sigue dos pasos:

- Crear una distribución acumulativa de los datos crudos y otra distribución acumulativa normal.
- Comparar las distribuciones y determinar la mayor diferencia absoluta entre las dos, si la variación es grande se rechaza la hipótesis nula, es decir, los datos siguen una distribución normal.

Prueba de Shapiro–Wilk.

Este test es utilizado en una muestra menor a 50 datos y sirve para contrastar la normalidad. Shapiro-Wilk, se basa en la hipótesis nula que una muestra proviene de una distribución normal. El resultado de la prueba se puede interpretar a partir de un valor p, que es la probabilidad que un conjunto de datos pertenece a una distribución normal. Si el valor de p es menor al nivel de significancia elegido previamente, entonces se rechaza la hipótesis nula, caso contrario se acepta (Flores & Flores, 2021).

Prueba de Kolmogorov-Smirnov

La prueba de Kolmogorov-Smirnov permite comparar el nivel de concordancia entre una distribución observada contra una distribución teórica determinada (IBM, 2022).

2.1.5.4. Series temporales

Desde el punto de vista de (Mauricio, 2007) “una serie temporal es una secuencia de N observaciones (datos) ordenadas y equidistantes cronológicamente sobre una característica (serie univariante o escalar) o sobre varias características (serie multivariante o vectorial) de una unidad observable en diferentes momentos” (p.1).

De acuerdo a (González Casimiro, 2009), el análisis de una serie de tiempos se puede utilizar un modelo que facilite reproducir el comportamiento de la variable en estudio, que pueden ser univariantes, cuando se analiza un conjunto de datos tomando como base su histórico y multivariantes cuando se analiza varias series temporales al mismo tiempo.

Una gráfica de una serie de tiempo permite analizar el comportamiento de los datos en un periodo determinado en el cual se puede establecer características como ciclos estacionales o cambios en la tendencia de la serie (Guenni et al., 2008).

2.1.5.5. Clasificación descriptiva de series temporales

- **Series estacionarias:** Se entiende por serie estacionaria cuando la media y variabilidad son constantes, es decir, no varían en el tiempo (Rey Graña & Ramil Diaz, 2007).
- **Series no estacionarias:** Se considera una serie no estacionaria cuando sistemáticamente la media y/o variabilidad crece o disminuye a través del tiempo. Los cambios en la media determinan una tendencia a crecer o decrecer a largo plazo, por lo que la serie no oscila alrededor de un valor constante (González Casimiro, 2009).

2.1.5.6. Análisis de tendencia

La tendencia en una serie temporal se determina a través de su comportamiento a largo plazo y se ajusta a varios esquemas que pueden presentar de forma creciente, decreciente y en ciertos casos permanece constante en un intervalo de tiempo (Universidad de Valladolid, n.d.).

Ilustración 3. Ejemplo de tendencia creciente

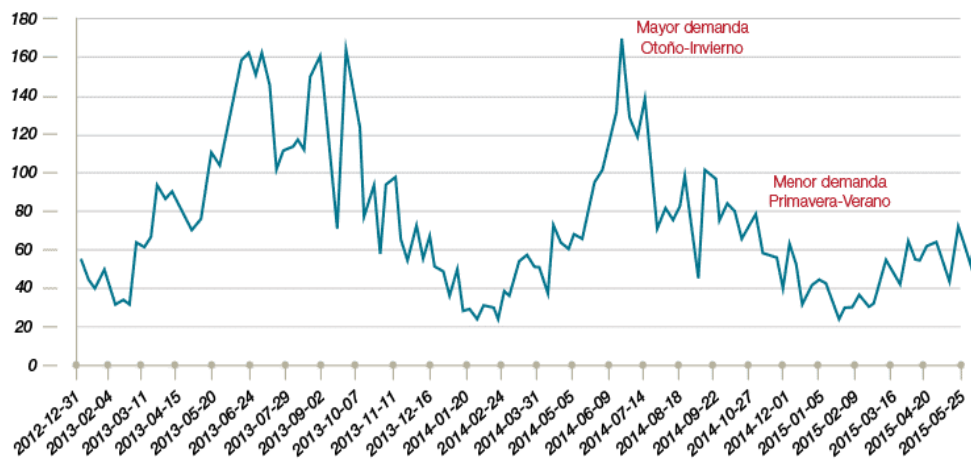


Nota: Adaptado de *Series temporales*, por (Universidad de Valladolid, n.d.),
<http://www5.uva.es/estadmed/datos/series/series1.htm>

2.1.5.7. Análisis estacionalidad

Una serie presenta estacionalidad cuando al analizar los datos presenta un patrón sistemático que se repite periódicamente, puede ser anual, trimestral, mensual, semanal etc.

Ilustración 4. Ejemplo de estacionalidad



Nota: Adaptado de Estacionalidad, por (Pricing revenue management, n.d.),
<https://www.pricing.cl/conocimiento/estacionalidad/>

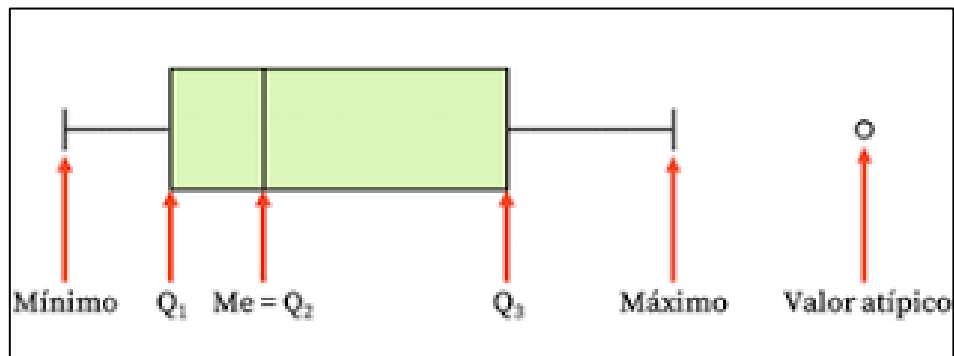
2.1.6. Análisis de variabilidad espacial

El análisis de variabilidad espacial permite resolver problemas complejos orientados a la ubicación, explorar y entender sus datos desde una perspectiva geográfica, determinar relaciones, detectar y cuantificar patrones, evaluar tendencias, y realizar predicciones y tomar decisiones.

Entre las principales herramientas estadísticas para el análisis de la variabilidad espacial de los parámetros del agua se encuentra:

- **Diagrama de cajas:** es una representación gráfica de un conjunto de observaciones, mediante el cual se puede analizar la simetría que presentan los datos y detectar los valores atípicos, para ello se cuenta con 5 medidas que son: mediana, cuartil primero, cuartil tercero, máximo y mínimo (Solano Llinás & Rojas Álvarez, 2017).

Ilustración 5. Componentes de un diagrama de caja



Nota: Adaptado de *Diagrama de cajas y bigotes*, por (Probabilidad y Estadística, 2023), <https://www.probabilidadyestadistica.net/diagrama-de-caja-y-bigotes-boxplot/>

Componentes de un diagrama de cajas.

- **Máximo y mínimo:** Los valores máximos y mínimos en un diagrama de caja representan el valor más grande y el valor más pequeño de la muestra respectivamente. Estos datos son los límites o bigotes.
- **Mediana:** Es la línea que se encuentra dentro de la caja, si esta se encuentra en el centro significa que no existe asimetría en los datos.
- **Primer Cuartil (Q1):** Es el límite inferior de la caja. **Tercer Cuartil: (Q3):** Es el límite superior de la caja. Los cuartiles primero y tercero representan el 50% de la dispersión de los datos.

Si existe datos que se encuentran fuera del bigote izquierdo y derecho se conoce como valores atípicos. Estos elementos se debe analizar el origen que puede ser un error de digitación y debe ser eliminado para continuar con el análisis, mientras que, si el valor está ingresado correctamente, pero es poco común se debe mantener.

Análisis de componentes principales: El Análisis de Componentes Principales (ACP) tiene como objetivo transformar un conjunto de variables correlacionadas, a las que se denominan variables originales, en un nuevo conjunto de variables no correlacionadas o también denominadas componentes principales (Restrepo et al., 2012).

De acuerdo a los autores (Alkarkhi & Alqaraghuli, 2020):

El análisis de componentes principales (PCA) es un método multivariante empleado para minimizar el número de dimensiones a interpretar la varianza total en los datos disponibles con

unas pocas ecuaciones construidas a partir de las variables originales, llamadas componentes, que no están correlacionados. Si las variables seleccionadas están fuertemente correlacionadas positiva o negativamente, el análisis de componentes principales proporcionará resultados superiores. (p. 133)

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Estaciones de muestreo

Las estaciones de muestreo usadas fueron puestas a disposición previamente por parte de ETAPA EP, cada estación está ubicada estratégicamente por cada subcuenca de estudio como se puede observar en la Tabla 3 e Ilustración 6. La resolución temporal de la base de datos proporcionada fue de nivel diario, además su periodo de monitoreo varía desde 1984 a 2021, de todas las estaciones no existe registro desde 1984, ya que algunas estaciones se implementaron a partir del 2014 y dentro de los parámetros utilizados se enmarca la utilización de los parámetros físico – químicos, biológicos y bacteriológico.

Tabla 3. Estaciones de muestreo

Código	X	Y	Altura	Periodo de muestreo
RIO BALAO				
CHAU-AN-CONTROL	676526	9676998	1620	2013 – 2021
CHAU-JE-CONTROL	676459	9677428	1642	2013 – 2021
CHAU-CHAU-030	668701	9679059	887	2013 – 2021
CHAU-AN-015	685650	9679468	3334	2012 - 2021
CHAU-MA-010	676927	9679768	2073	2013 – 2021
CHAU-JE-005	682033	9680259	2773	2009 - 2015
CHAU-AN-025	688633	9681366	3814	2009 – 2013
CHAU-JE-010	684767	9682570	3764	2009 - 2015
CHA-CA-040	682838	9683820	3908	2009 - 2021
RIO CAÑAR				

Código	X	Y	Altura	Periodo de muestreo
CAÑ-CH-015	683563	9686908	3939	2009 - 2021
CAÑ-AT-005	687531	9687700	3756	2009 – 2012
CAÑ-GUA-010	688684	9688672	3743	2009 - 2012
CAÑ-AT-CONTROL	686879	9689247	3322	2009 - 2021
CAÑ-GUA-CONTROL	687491	9689642	3349	2009 - 2021
CAÑ-LU-CONTROL	692618	9690192	3747	2009 - 2015
CAÑ-LU-010	694425	9690633	3853	2012 - 2013
CAÑ-CH-CONTROL	680976	9690862	2766	2013 – 2021
CAÑ-MIG-015	691759	9691124	3760	2012 – 2015
CAÑ-MIG-010	693918	9693234	3972	2012 – 2015
CAÑ-MIG-005	694074	9693270	3972	2012 – 2015
RIO CUENCA				
CUE-CUE-020	728218	9681803	2420	1984 – 2021
CUE-CUE-030	729914	9683282	2319	1984 – 2021
CUE-CUE-050	734864	9685706	0	2013 - 2017
CUE-CUE-060	734807	9685394	2347	2018 - 2021
RIO MACHANGARA				
MAC-MAC-095	724730	9682763	2493	1994, 2010 - 2020
MAC-MAC-055	721768	9689957	2700	2005 - 2015

Código	X	Y	Altura	Periodo de muestreo
MAC-MAC-060	721591	9690159	2720	2011 - 2013
MAC-COR-CONTROL	720843	9691448	2955	2008 - 2020
MAC-CHA-CONTROL	720332	9693213	2955	2009 - 2015
MAC-BL-CONTROL	720696	9694473	2950	2008 - 2020
MAC-MAC-035	720919	9695163	2950	2005 - 2015
MAC-CHU-CONTROL	720775	9695234	2960	2007 - 2020
MAC-PIN-005	715273	9702422	3640	2008 - 2015
MAC-MAC-005	718949	9703109	3430	2005 - 2015
MAC-PIN-CONTROL	717746	9703478	3500	2008 - 2021
MAC-CHAN-CONTROL	717454	9704906	3475	2008 - 2021
MAC-BUL-CONTROL	717697	9704913	3580	2008 - 2021
MAC-CHAN-005	715794	9706023	3560	2008 - 2014
MAC-CHAN-010	713582	9706963	3660	2008 - 2015
MAC-MAC-020	721892	9699447	3090	2005 - 2021
MAC-MAC-030	721421	9696039	3021	2005 - 2021
MAC-CHU-003	719271	9696189	3161	2021
MAC-MAC-050	721496	9690417	2765	2004 - 2021
MAC-MAC-054	721513	9690259	2747	2015 - 2021
MAC-MAC-070	723951	9686693	2601	2005 - 2021

Código	X	Y	Altura	Periodo de muestreo
MAC-MAC-090	724291	9683903	2530	1991 – 2021
MAC-MAC-100	724812	9682757	2502	2015 - 2021
MAC-MAC-CONTROL	727145	9680815	2455	1985 - 2021
MAC-COM-CONTROL	724526	9682660	2499	1984 – 2021
RIO TARQUI				
TAR-CUM-015	720689	9659152	0	2012 - 2020
TAR-TAR-005	715688	9661259	2625	2010 - 2020
TAR-TAR-010	716241	9663165	2624	2010 - 2020
TAR-TAR-015	718038	9666359	2620	2010 - 2020
TAR-TAR-025	716971	9670027	2615	2010 - 2020
TAR-SH-CONTROL	716537	9672591	0	
TAR-POR-005	704504	9658768	3234	2015 - 2021
TAR-IRQ-005	710405	9660524	2777	2015 - 2021
TAR-GAÑ-020	719009	9651319	3137	2021
TAR-CUM-010	717596	9662997	2632	2010 – 2020
TAR-POR-CONTROL	713335	9659508	2650	2010 - 2021
TAR-IRQ-CONTROL	715688	9661259	2625	2010 - 2021
TAR-TAR-020	717690	9668062	2618	2010 - 2021
TAR-ZH-CONTROL	716537	9672591	2620	2013 - 2021

Código	X	Y	Altura	Periodo de muestreo
TAR-TU-CONTROL	716537	9672436	2620	2013 - 2021
TAR-TAR-030	716865	9673236	2588	1985 - 2021
TAR-SAL-CONTROL	719793	9677259	2569	1994 - 2021
TAR-TAR-050	719492	9677197	2573	2000 - 2021
TAR-TAR-CONTROL	722011	9677369	2528	1985 - 2021
RIO TOMBAMBA				
TOM-MIL-010	722255	9681646	0	2013 - 2015
TOM-MZ-010	709416	9682474	2913	2008 - 2021
TOM-MZ-CONTROL	712551	9682776	2770	1994 - 2021
TOM-LL-CONTROL	708353	9685557	3035	1994 - 2021
TOM-LL-005	706505	9685654	3146	2007 - 2021
TOM-QN-CONTROL	707390	9686980	3178	1994 - 2021
TOM-QN-005	705774	9688658	3293	2013 - 2021
TOM-QN-010	705590	9689078	3290	2013 - 2015
TOM-QN-015	704885	9689973	3362	2004 - 2020
TOM-QN-045	698621	9691536	3958	2011 - 2015
TOM-QN-030	701616	9692425	3604	2004 - 2020
TOM-QN-035	699440	9692429	3781	2004 - 2015
TOM-QN-060	696768	9692532	3940	2010 - 2015

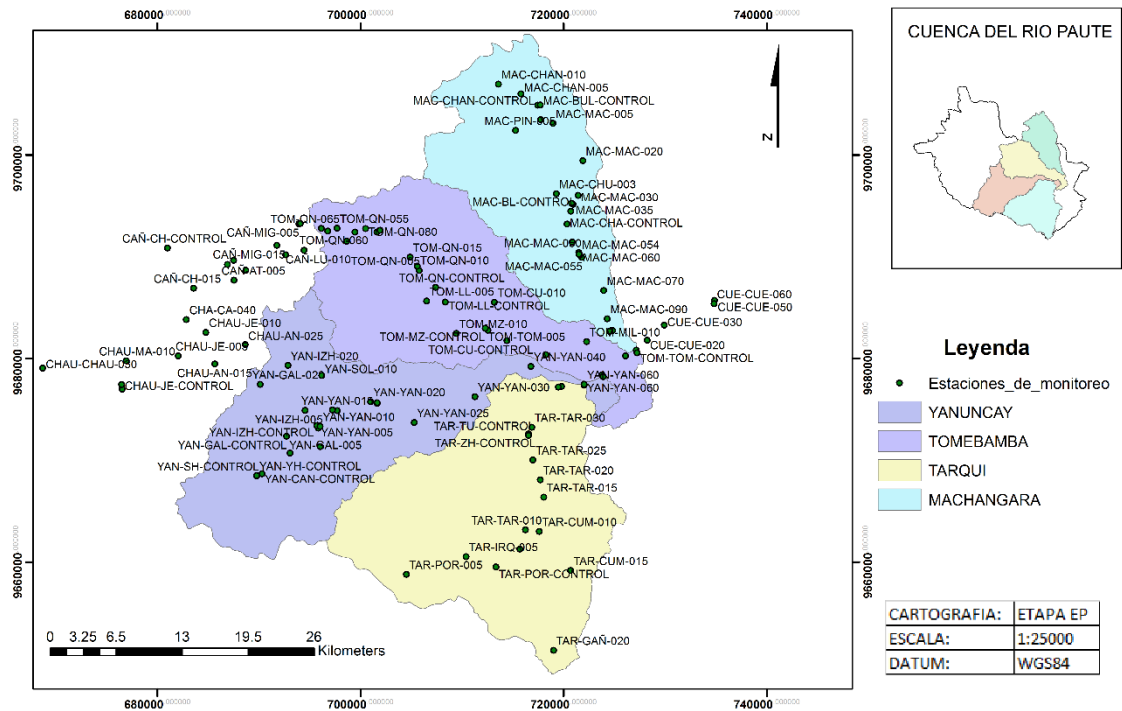
Código	X	Y	Altura	Periodo de muestreo
TOM-QN-025	701924	9692611	3551	2011 - 2021
TOM-QN-080	700490	9692766	3783	2009 - 2021
TOM-QN-065	696142	9692793	4047	2010 - 2015
TOM-QN-055	697680	9692802	3900	2013 - 2015
TOM-CU-010	713181	9685521	3029	2008 - 2021
TOM-CU-CONTROL	714412	9681762	2697	1984 - 2021
TOM-TOM-005	712280	9682972	2762	1994 - 2021
TOM-TOM-030	718238	9680372	2615	1991 - 2021
TOM-TOM-050	723775	9678389	2500	1984 - 2021
TOM-MIL-CONTROL	726100	9680251	2446	1984 - 2021
TOM-TOM-CONTROL	727235	9680568	2443	1984 - 2021
RIO YANUNCAY				
YAN-SH-CONTROL	689772	9668446	3575	2011 - 2020
YAN-YH-CONTROL	689764	9668485	3575	2011 - 2020
YAN-CAN-CONTROL	690289	9668664	3555	2011 - 2020
YAN-GAL-CONTROL	693056	9670700	3515	2011 - 2020
YAN-BER-CONTROL	696022	9671334	3380	2012 - 2020
YAN-GAL-005	692703	9672372	3655	2011 - 2015
YAN-YAN-005	695835	9673164	3330	2006 – 2015

Código	X	Y	Altura	Periodo de muestreo
YAN-IZH-CONTROL	695700	9673389	3366	2013 - 2021
YAN-SOL-CONTROL	697698	9674882	3197	2006 - 2020
YAN-IZH-005	694526	9674904	3550	2005 - 2015
YAN-YAN-015	697240	9674930	3230	2007 - 2020
YAN-YAN-020	701631	9675583	3076	2013 - 2021
YAN-COL-CONTROL	701637	9675641	3078	
YAN-GAL-020	690109	9677448	3942	2013 - 2015
YAN-SOL-010	696185	9678325	3449	2008 - 2013
YAN-IZH-020	692859	9679312	3816	2006 - 2021
YAN-YAN-030	711260	9676241	2785	2004 – 2021
YAN-YAN-025	705287	9673710	2959	2004 – 2021
YAN-YAN-020	700987	9675749	3093	2013 - 2021
YAN-YAN-010	696018	9673309	3332	2009 - 2021
YAN-YAN-040	716773	9679215	2620	1984 - 2021
YAN-YAN-060	722027	9677453	2546	1984 - 2021
YAN-YAN-CONTROL	723892	9678211	2496	1984 - 2021

Fuente: Base de datos Etapa EP

Ilustración 6. Ubicación de estaciones de monitoreo

ESTACIONES DE MONITOREO



Fuente: Autor

3.2. METODOLOGÍA

El punto de partida de este proyecto fue analizar históricamente la evolución de los parámetros de calidad del agua, para ello se inició con la recopilación y validación de datos que corresponden al periodo de 1985 a 2021, posteriormente se verificó que la información esté correctamente dividida por cada parámetro tanto físico – químicos, biológicos y bacteriológicos.

A continuación, se presenta los parámetros analizados:

3.2.1. Análisis del caudal

El caudal es un dato de vital importancia, puesto que posteriormente será utilizado para la obtención de datos del WQI.

No todas las estaciones registraban datos del caudal, es por ello que se calculó un caudal estimado para esto se aplicó curvas de descarga en las estaciones que disponían de esta

información. Para aquellas estaciones que no tenían curvas de descarga se tomó como referencia la estación más cercana.

Las curvas de descarga utilizadas fueron las mismas con las que trabaja ETAPA EP. En la Tabla 4 se presenta datos de las curvas en el periodo comprendido desde 1997 al 2007.

Tabla 4 . Curvas de descarga de 1997 a 2007

Estación	Curva de descarga	Validez
YANUNCAY EN PUCAN	$Q= 11.567 (h - 0.25)^{2.8688}$	
TARQUI A.J. YANUNCAY	$Q= 19.375 (h - 0.60)^{2.0735}$	$H \geq 1.14 \text{ m}$
	$Q= 3.28 h^{3.8125}$	$H < 1.14 \text{ m}$
MATADERO EN SAYAUSI	$Q= 11.663 (h - 0.15)^{2.9957}$	
TARQUI DJ CUMBE	$Q= 8.149 (h - 0.34)^{2.2629}$	
GUALACEO D.J. PAMAR	$Q= 23.317 (h - 0.25)^{1.8839}$	
YANUNCAY A.J. TARQUI	$Q= 13.109 (h - 0.25)^{2.5312}$	
TOMEBAMBA EN UCUBAMBA	$Q= 37.819 (h - 0.19)^{2.3248}$	$H \geq 1.09 \text{ m}$
	$Q= 22.93 h^{2.9562}$	$H < 1.09 \text{ m}$

Fuente: Etapa EP

Para la obtención de la curva de descarga del periodo que comprende al año 2007 o 2015 partimos de la ecuación y los resultados se presentan en la Tabla 5:

$$Q = a * (H - H_0)^P \quad (1)$$

Donde:

Q: Caudal estimado

a: Constante o coeficiente de descarga

H: Altura de la regleta (m)

H₀: Presión hidráulica de entrada del agua

P: Exponente de descarga caracterizado por el régimen de flujo

Tabla 5. Valores predeterminados para la ecuación de la curva de descarga de 2007 a 2015

CURVA DE DESCARGA				
ESTACION	a	p	H_o	r²
YANUNCAY EN PUCAN	1,08097E-8	4,46471	38	0.9889
TARQUI A.J. YANUNCAY	7,63569E-6	3.0185	26	0.9949
MATADERO EN SAYAUSI	5,31288E-6	3.1521	18	0.9927
MACHANGARA D.J. CHULCO (SAUCAY)	5,52674E-4	2.3085	50	0.8893
GUALACEO D.J. PAMAR	2,41664E-4	2.3997	8	0.9943
YANUNCAY A.J. TARQUI (BOMBEROS)	1,45966E-6	3.3435	20	0.9899
TOMBAMBAMBA EN LA PTAR	1,40811E-6	3.3653	10	0.9834

Fuente: (ETAPA EP)

3.2.2. Análisis de NSF Water Quality Index

El índice de calidad del agua es una escala de 100 puntos que resume los resultados de un total de nueve mediciones diferentes cuando se completa (Oxígeno Disuelto %, Coliformes Fecales, Demanda Biológica de oxígeno, Fósforo Total, Nitratos, pH, Sólidos Totales, Variación de temperatura, Turbidez), cada uno de ellos dispone de un valor de ponderación propio el cual fue utilizado para ser aplicado en la ecuación de su cálculo. Este es un dato de vital importancia para el análisis de la calidad del agua de los ríos.

$$WQI = \sum_{i=1}^n SI_i W_i \quad (2)$$

Donde:

WQI: índice de Calidad de Agua

SI_i: Subíndice del Parámetro i

W_i: Factor de Ponderación para el Subíndice i

Los pesos de los diversos coeficientes respectivos para cada parámetro se indican en la Tabla 6.

Tabla 6. Factores de ponderación para el cálculo de NSF WQI

Parámetros	Factor de ponderación
Oxígeno Disuelto	0.17
Coliformes Fecales	0.16
pH	0.11
DBO	0.11
Cambio de temperatura	0.10
Fosforo Total	0.10
Nitratos	0.10
Turbiedad	0.08
Solidos Totales	0.07

Fuente: (J. Jiménez & Vélez, 2006)

Para calcular los subíndices SI_i se aplicó las fórmulas indicadas en la Tabla 7

Tabla 7. Funciones de los Subíndices del WQI

PARÁMETRO	ECUACIÓN
Oxígeno Disuelto	$SI_{OD} = e^{(1,3663+0,063\%sat-0,000303\%sat^2)}$ $\%sat > 140, SI_{OD} = 50$
Coliformes Fecales	$SI_{CF} = e^{(4,5922-0,106 \ln(CF)-0,152[\ln(CF)]^2)}$ $\text{Coliformes Fecales} > 10^5/100 \text{ mL}, SI_{CF}=2$
pH	$SI_{pH}=e^{(-7,6434pH+18,53521pH+14,625[\ln pH]^2)}$ $2.0 > pH < 12.0, SI_{pH}=0$
DBO	$SI_{DBO_5} = e^{(4,5824-0,1078DBO_5+2,4581 \times 10^{-14} e^{\left(\frac{1}{DBO_5}\right)})}$ $DBO_5 > 30mg/l, SI_{DBO_5} = 2$
Cambio de temperatura	$SI_T = 1,9619E - 6(\Delta T)^6 - 1,3964E - 4(\Delta T)^5 + 2,5908E - 3(\Delta T)^4 + 1,5398E - 2(\Delta T)^3 - 6,7952E - 1(\Delta T)^2 - 6,7204E - 1(\Delta T) + 9,0392E + 1$

PARÁMETRO	ECUACIÓN
Fosforo Total	$SI_F = \frac{1}{0,0084 + 0,0143PO_4 + 0,00074(PO_4)^2}$ $PO_4 > 10 \frac{mg}{L}, SI_F = 2$
Nitratos	$SI_N = e^{(4,4706 - 0,043N + 2,8813 \times 10^{-5}N^2)}$ $N > 100 \text{ mg/L}, SI_N = 1$
Turbiedad	$SI_{Turb} = e^{(4,561 - 0,0196Turb + 2,4167 \times 10^{-5}Turb^2)}$ $Turb > 100 \text{ UNT}, SI_{Turb} = 5$
Solidos Totales	$SI_{ST} = \frac{1}{0,0123 - 1,3545 \times 10^{-5}ST + 9,265 \times 10^{-8}ST^2}$ $ST > 500 \text{ mg/L}, SI_{ST} = 20$

Fuente: (J. Jiménez & Vélez, 2006)

El WQI fue calculado nuevamente, puesto que inicialmente ya fue entregado en la base de datos principal, y se calculó de forma en la que la temperatura tuvo una variación con respecto a la calculada originalmente por parte de la empresa ETAPA EP se aplicó los datos de temperatura como se emplea en la fórmula original.

La temperatura utilizada en la fórmula original es la variación de la temperatura es por eso que se tomó en cuenta la temperatura del sitio más bajo menos la temperatura del sitio más alto debido a que mientras más bajo es el sitio o punto de monitoreo la temperatura tiende a ser más alta.

3.2.3. Clasificación en periodo húmedo y periodo seco

En Ecuador no se puede predecir como hace algunos años la época exacta en la que se va a producir lluvia y sequía o estiaje, debido a que el clima ha cambiado no solo en esta región sino en todo el mundo incrementando más la temperatura en época de veranos, así como el frío en época de invierno a nivel mundial (Bautista, 2012).

Para la determinación de los periodos húmedos y secos se trabajó con la información de datos de lluvia proporcionada ETAPA EP, la cual cuenta con estaciones pluviográficas y meteorológicas.

Se clasificó en periodo seco para la época de junio a septiembre y periodo húmedo de octubre a mayo. Además, se tomó en cuenta que los valores inferiores 0,3 mm de lluvia están dentro del rango de una época seca y los valores superiores a 0,4 mm de lluvia están dentro del rango de una época húmeda.

3.2.3. Análisis de la variabilidad temporal mediante series de tiempo

Para este análisis se crearon gráficos de series de tiempo en el software Rstudio para identificar posibles patrones temporales o estacionalidad de las concentraciones de parámetros. Para lo mencionado se seleccionó una estación por subcuenca hidrográfica y se tomó en cuenta los parámetros: % de saturación de oxígeno, coliformes fecales, DBO₅, fósforo total, nitritos + nitratos, pH, sólidos totales, temperatura y turbiedad.

3.2.4. Análisis de la variabilidad espacial mediante diagramas de cajas

Para analizar la variabilidad espacial de los parámetros de la calidad del agua se empleó los diagramas de cajas y bigotes, puesto que esta herramienta permitió analizar visualmente el comportamiento de los datos a través de sus cuartiles.

En este apartado se analizó cuál es la tendencia del agua, para ello se seleccionó 30 subcuencas de estudio, las cuales fueron seleccionadas por cuenca alta, media y baja. Además, se dividió por periodo seco y húmedo, los datos se presentan en la Tabla 8.

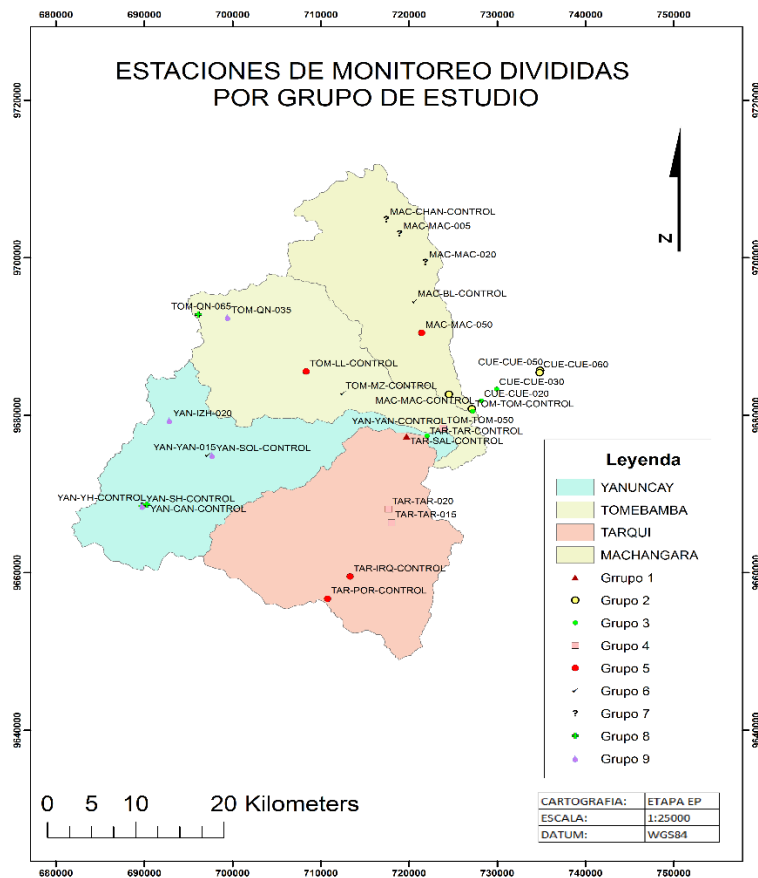
Tabla 8. Subcuencas de estudio

SUBCUENCA	CALIDAD	
	WQI_LLUVIA	WQI_SECO
TAR-SAL-CONTROL	MALA-MUY MALA	
CUE-CUE-050	MEDIA	MALA
CUE-CUE-060	MEDIA	
MAC-COM-CONTROL	MEDIA	MALA
MAC-MAC-CONTROL	MEDIA	MALA
CUE-CUE-020	MEDIA	MALA
CUE-CUE-030	MEDIA	MALA
TAR-TAR-CONTROL	MEDIA	MALA

SUBCUENCA	CALIDAD	
	WQI_LLUVIA	WQI_SECO
TOM-TOM-CONTROL	MEDIA	
TAR-TAR-015	MEDIA	MALA
TAR-TAR-020	MEDIA	MALA
TOM-TOM-050	MEDIA	
YAN-YAN-CONTROL	MEDIA	MALA
MAC-MAC-050	BUENA-MEDIA	
TAR-IRQ-CONTROL	BUENA-MEDIA	
TAR-POR-CONTROL	BUENA-MEDIA	
TOM-LL-CONTROL	BUENA-MEDIA	
MAC-BL-CONTROL	BUENA-MEDIA	
TOM-MZ-CONTROL	BUENA-MEDIA	
YAN-YAN-015	BUENA-MEDIA	
MAC-CHAN CONTROL	BUENA-MEDIA	
MAC-MAC-005	BUENA-MEDIA	
MAC-MAC-020	BUENA-MEDIA	
TOM-QN-065	BUENA	
YAN-CAN-CONTROL	BUENA	
YAN-YH-CONTROL	BUENA	
TOM-QN-035	BUENA	
YAN-IZH-020	BUENA	
YAN-SH-CONTROL	BUENA	
YAN-SOL-CONTROL	BUENA	

Fuente: Autor

Ilustración 7. Estaciones de monitoreo dividida por grupos



Fuente: Autor

Con los resultados obtenidos de la media, desviación estándar, mínimo, máximo, valor atípico, Q1, Q3, mediana, rango Inter cuartil y bigotes se clasificó en 9 grupos que presentaban valores o rangos similares para explicar de mejor carácter el análisis.

3.2.5. Determinación de normalidad

Con los datos de las subcuencas se determinó la normalidad aplicando distintas pruebas estadísticas, para esto se utilizó el programa estadístico Rstudio (R Foundation for Statistical Computing). Se aplicó la prueba de Shapiro Wilk para muestras menores a 50 datos y el test de Kolmogórov-Smirnov para muestras mayores a 50 datos, para este caso se utilizó el comando `lillie.test` de R, debido a que es una función modificada del test Kolmogórov-Smirnov, porque este asume que la media y varianza son desconocidos y de esta manera se constata la normalidad; mientras que la homogeneidad de su varianza se comprobó mediante la prueba de Levene.

Contrastación de hipótesis

- **Hipótesis**

Considerando los test de normalidad más comunes en la mayoría de libros y software estadístico, se aplicó el estudio de potencia de las siguientes pruebas para contrastar las hipótesis:

- ✓ H_0 : Los datos provienen de una distribución normal
- ✓ H_1 : Los datos no provienen de una distribución normal

Y para la toma de decisión, se basa en lo siguiente:

- ✓ La población tiene una distribución normal cuando: $p \text{ valor} > \alpha$: No rechazar H_0 .
- ✓ La población no tiene una distribución normal cuando: $p \text{ valor} < \alpha$: Rechazar H_0 .

3.2.6. Análisis estadístico de los parámetros fisicoquímicos, microbiológicos y biológicos mediante la aplicación de Análisis de componentes principales

Los parámetros considerados para este análisis son: el índice biológico BMWP, % de Saturación Oxígeno Disuelto, Coliformes Fecales (NMP/100ml), Coliformes Totales (NMP/100ml), Color Aparente (UC), Conductividad(us/cm), DBO5 (mg/l), Fosfatos a partir de Fósforo Total, Fósforo Total (ug/litro), Nitratos + Nitritos (ug/litro) [se presenta como (mg/litro)], Oxígeno Disuelto (mg/l), pH, Sólidos Totales (mg/l), Temperatura Agua 1 °C, Temperatura Ambiente °C Turbiedad (NTU), Water Quality Index.

Los datos del índice Biológico BMWP se obtuvo de la base de datos de ETAPA EP de integridad ecológica y el análisis se realizó a través del software estadístico Rstudio. Los resultados obtenidos fueron mediante la aplicación de análisis de componentes robustos (APC), esta herramienta es bastante confiable porque separa los datos atípicos de una matriz dispersa.

Para realizar el ACP robusto, como primer paso se clasificó los datos del índice biológico BMWP en pisos climáticos y calidad del índice, entre los pisos climáticos tenemos: Frío, Páramo Bajo y Páramo Alto.

Tabla 9. Clasificación de pisos climáticos

PISO TÉRMICO	M.S.N.M	TEMPERATURA
Frío	2000 - 3000	17.5 > 12
Páramo Bajo	3000 - 3700	12 > 17
Páramo Alto	3700 – 4200	12 > 17

Fuente: (Díaz et al., 2005)

Según (Arango et al., 2008) la clasificación del índice biológico BMWP por calidad es la siguiente:

Tabla 10. Calidad del índice BMWP

Nº	Calidad	Color indicador	Valor	Significado
I	Buena	Azul	101 > 120 >	Aguas muy limpias a limpias
II	Aceptable	Verde	61 – 100	Aguas ligeramente contaminadas
III	Dudosa	Amarillo	36 – 60	Aguas moderadamente contaminadas
IV	Crítica	Naranja	16 – 35	Aguas muy contaminadas
V	Muy Crítica	Rojo	<15	Aguas fuertemente contaminadas

Fuente: (Arango et al., 2008)

El ACP Robusto es un método estadístico de fácil aplicación que ayuda a simplificar el complejo estado en el que los datos se encuentran, debido a que se tiene 17 variables y como resultado nos da un resumen y muestra toda la información en sus componentes principales. Para determinar los componentes principales se determinó su número mediante el porcentaje de varianza, es decir, cuando se cumple más del 70% se determina como el número de componentes óptimos a ser utilizados.

3.2.7. Determinación de umbrales permisibles de acuerdo a la normativa ambiental

Para determinar si el cuerpo de agua se encuentra dentro de los límites permisibles, se establecieron parámetros los cuales se ven reflejados en la Tabla 11 y se procedió a

verificar mediante el Acuerdo Ministerial 097-A reforma el Texto Unificado de Legislación Secundaria, Registro oficial N° 387 edición especial, específicamente en la Norma de Calidad Ambiental y de descarga de efluentes: Recurso Agua.

Tabla 11. Criterios de calidad admisible

Parámetros	Expresados como	Unidad	Criterios de calidad
			Agua dulce
% de saturación de oxígeno		% de saturación	> 80
Coliformes Fecales	NMP	NMP/100 ml	2000
Coliformes totales	NMP	NMP/100 ml	20000
Color Aparente	CA	UC	500
Conductividad	σ	us/cm	1500
Demanda Biológica de oxígeno (5 días)	DBO ₅	mg/l	20
Fosfatos a partir del fósforo total	P	mg/l	10
Fósforo total	P	mg/l	10
Nitratos + Nitritos	N	mg/l	10
Oxígeno disuelto	OD	mg/l	> 6
pH	pH	Unidades de pH	6.5 - 9
Sólidos totales	ST	mg/l	1600
Temperatura	°C		< 35
Turbiedad		UTN	10

Fuente: (TULSMA, 2015)

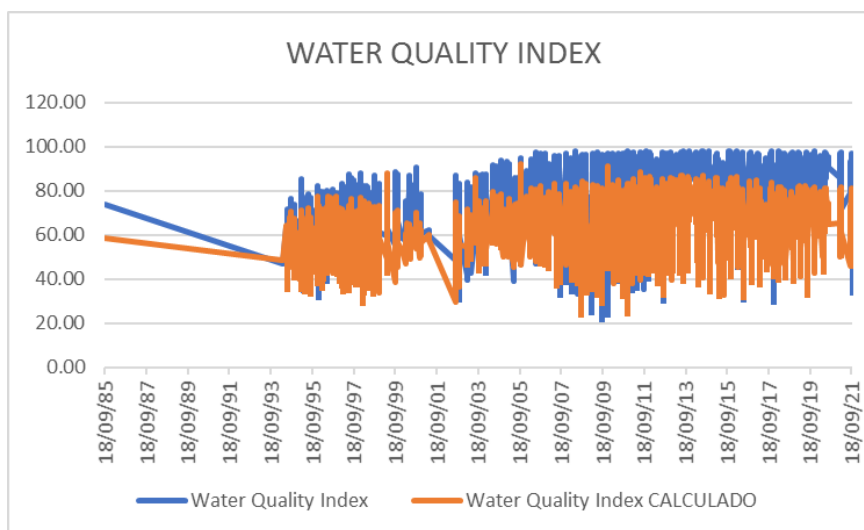
CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISUSIÓN

4.1 Análisis del índice de calidad de agua NSF-WQI

El Water Quality Index (WQI) calculado tiene una significativa variación con respecto a los datos entregados previamente por parte de la empresa ETAPA EP, por lo general estos varían por el cambio de la temperatura usada. En la Ilustración 8 se observa que el WQI en el periodo de 1985 a 1994 tuvo un descenso en sus valores de 60 a 49, ocasionando que su calidad baje de media a mala, esto se pudo dar porque en ese tiempo existía una pequeña cantidad de diversidad acuática y pudo enfrentar problemas de contaminación. Probablemente estos resultados se deben a que en este lapso de tiempo sobresale el periodo seco; mientras que en un periodo húmedo o de lluvia existe menos contaminación. Otro descenso significativo se dio en el periodo de 2001 a 2002 teniendo una baja en su calidad de 57 a 30 de igual manera bajó la calidad de media a mala.

Ilustración 8. Variación de Water Quality Index



Fuente: Autor

También se observa que apenas el 2% corresponde a la calidad excelente, es decir, que las aguas con “WQI” superior a 90 pueden albergar una gran diversidad de vida acuática y es adecuada para varios tipos de contacto directo con ella.

Se puede concluir que la calidad del agua WQI se encuentra en una calidad media y buena con valores que oscilan desde 51 a 90, es debido a que generalmente tiene una baja

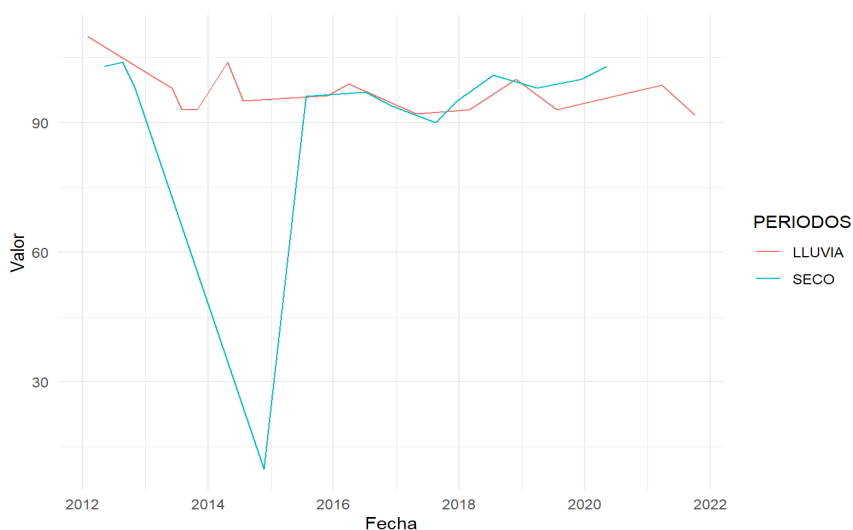
biodiversidad acuática y, a menudo, tiene un mayor crecimiento de algas, pero en este análisis predominan los resultados con calidad media.

4.2 Análisis de la variabilidad temporal

Para determinar si hubo variación estacional, se realizaron series de tiempo en la que se permiten visualizar las concentraciones de los parámetros en función de la variación estacional.

A continuación, se muestran resultados de la estación MAC-MAC-CONTROL.

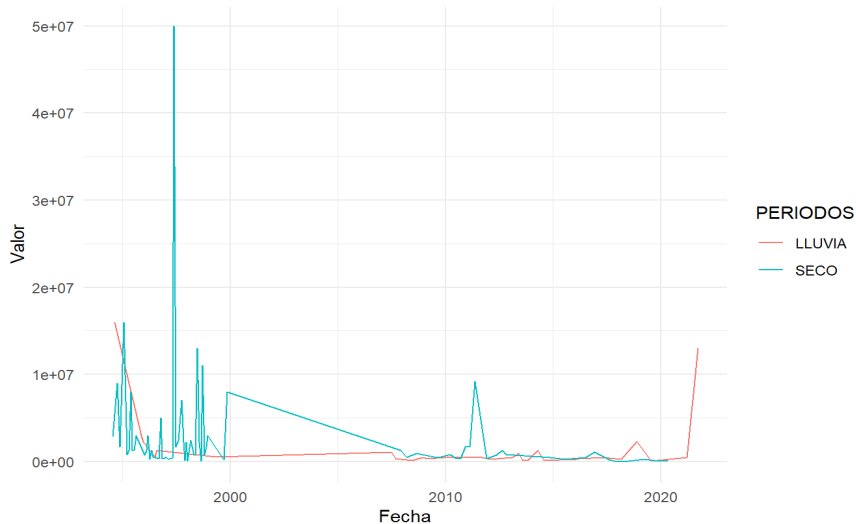
Ilustración 9. Serie de tiempo para % de Saturación de Oxígeno Disuelto



Fuente: Autor

En la Ilustración 9 se puede observar que teniendo en cuenta la serie a partir de 2018 (ignorando la caída previa a este año) podemos ver que el comportamiento es similar tanto en época seca como de lluvia, lo que podríamos decir que la estación no afecta de manera significativa la saturación de oxígeno.

Ilustración 10. Serie de tiempo para Coliformes Fecales (NMP/100ml)



Fuente: Autor

En el análisis de coliformes fecales podemos ver en la Ilustración 10 que los datos correspondientes a datos altos de coliformes son correspondientes a épocas secas. Esto puede tener sentido, ya que al estancarse las aguas éstas tienden a contaminarse más fácil.

Ilustración 11. Serie de tiempo para DBO₅ (mg/l)



Fuente: Autor

En la Ilustración 11 correspondiente a la serie de DBO₅, se observa hasta el año 2000 los valores eran muy similares tanto en época seca y de lluvia. De ahí en adelante hay picos para ambas épocas entonces podríamos decir que la variable DBO₅ es independiente de la estación.

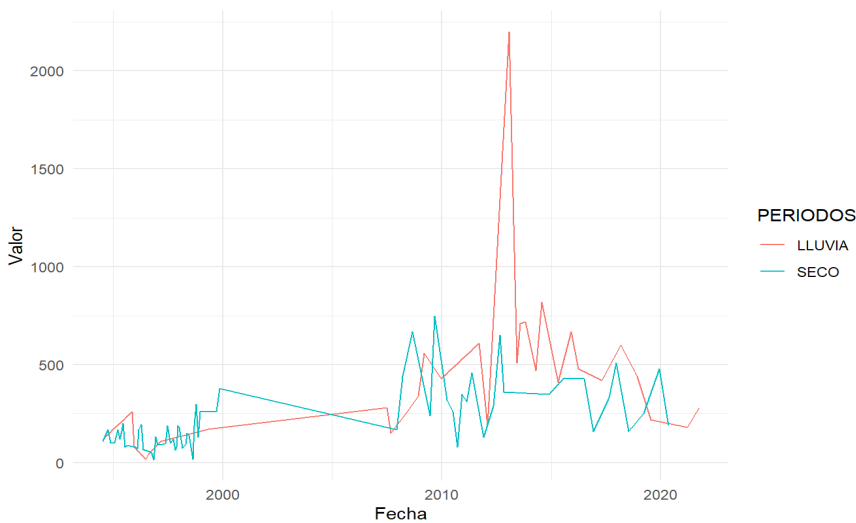
Ilustración 12. Serie de tiempo para Fósforo Total (ug/litro)



Fuente: Autor

Para la serie de tiempo de fósforo que se puede observar en la Ilustración 12 la dependencia de los valores de fósforo según la época o estación.

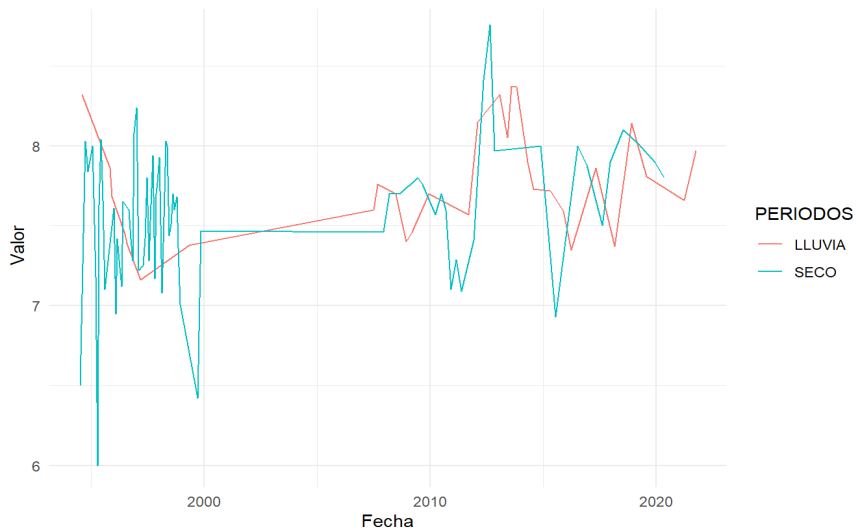
Ilustración 13. Serie de tiempo para Nitratos + Nitritos (mg/l)



Fuente: Autor

En la ilustración 13 respecto al contenido de nitratos este si se observa que es mayor en época de lluvia. Podría explicarse por qué al haber lluvia esta arrastra nutrientes al río.

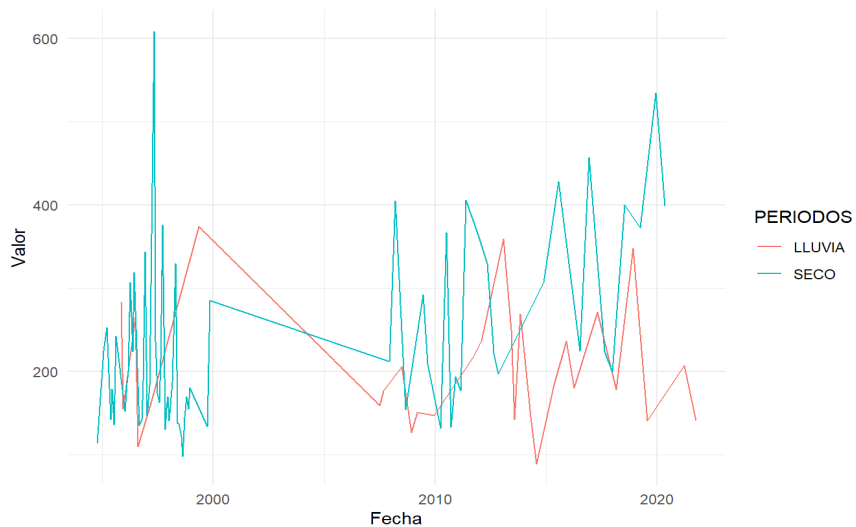
Ilustración 14 . Serie de tiempo para pH



Fuente: Autor

Como se evidencia en la Ilustración 14 se trata respecto a la serie para pH este se ha mantenido igual tanto en época de lluvia o época seca.

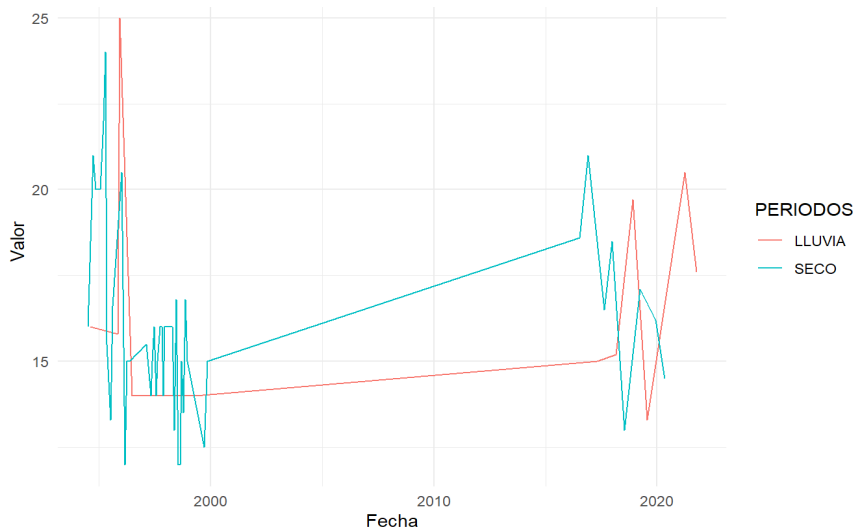
Ilustración 15. Serie de tiempo para Sólidos Totales (mg/l)



Fuente: Autor

Respecto a los sólidos totales que se evidencia en la Ilustración 15, si se observa una relación. Los valores son más altos para las épocas secas.

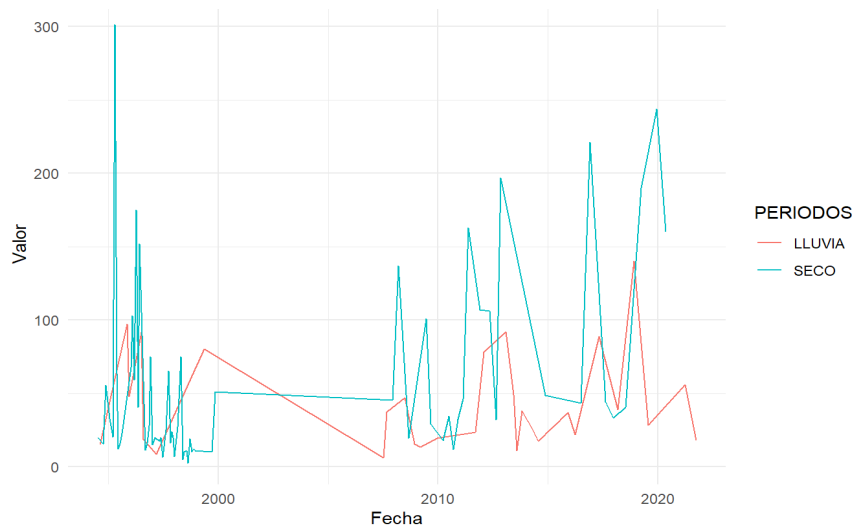
Ilustración 16. Serie de tiempo para Temperatura



Fuente: Autor

La Ilustración 16 trata de las mediciones de temperatura no hay efecto de la época en estos. Hay valores altos y bajos en las dos estaciones.

Ilustración 17. Serie de tiempo para Turbiedad (NTU)



Fuente: Autor

Respecto a la turbiedad como se observa en la Ilustración 17, si hay efecto de la época. En época seca los valores de turbiedad son mayores comparados a épocas de lluvia.

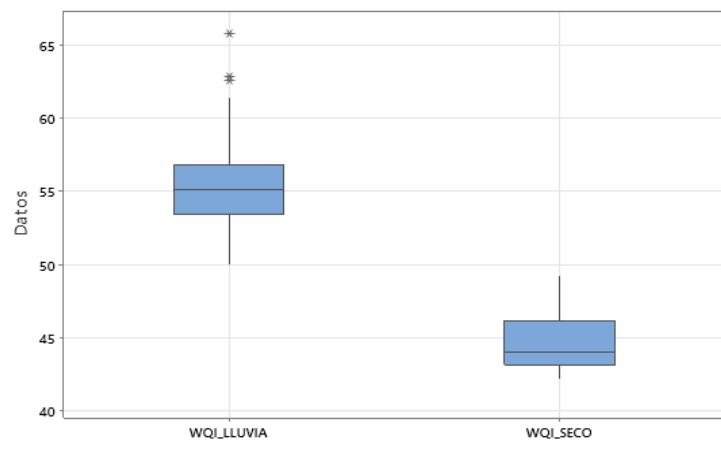
4.3. Análisis de la variabilidad espacial mediante diagramas de caja

El presente análisis se realizó mediante diagrama de cajas, la tabla de resultados se muestra en el Anexo I

4.3.1. Análisis de diagramas de cajas y bigotes

El análisis mediante diagramas de caja se realizó con la finalidad de observar cómo varía determinada subcuenca de acuerdo a la época del año ya sea época de lluvia o época seca.

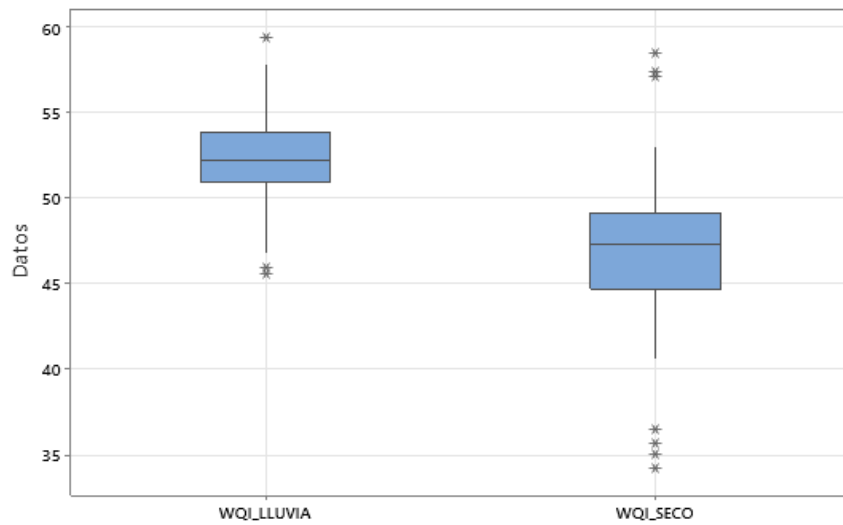
Ilustración 18. Diagrama de cajas estación Cue-Cue-020



Fuente: Autor

En la Ilustración 18 se puede observar el diagrama de cajas de la estación Cue-Cue-020 en la que muestra que los datos de lluvia son datos simétricos y de la época seca son sesgados, contando con una media de 55.35 y 44.85 respectivamente, además en la época de lluvia presento valores atípicos, el rango Intercuartil presentado es de 3.34 en lluvia y 3.03 en época seca.

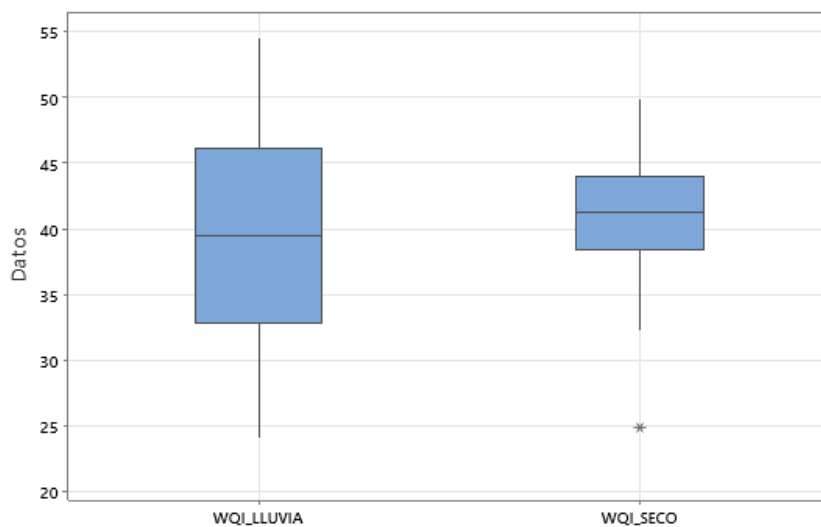
Ilustración 19. Diagrama de cajas estación Mac-Com-Control



Fuente: Autor

En la Ilustración 19 se puede observar el diagrama de cajas de la estación Mac-Com-Control en la que muestra que los datos de lluvia son datos simétricos y de la época seca son sesgados, contando con una media de 52.10 y 46.77 respectivamente, además en las dos estaciones se presentan datos atípicos, el rango Intercuartil presentado es de 2.89 en lluvia y 4.77 en época seca.

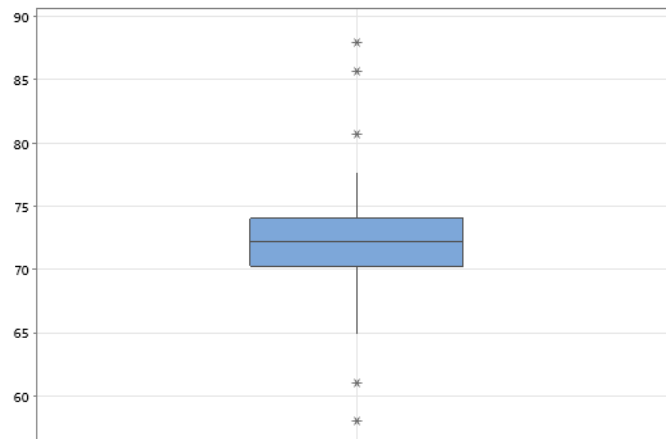
Ilustración 20. Diagrama de cajas estación Tar-Sal-Control



Fuente: Autor

Como se observa en la Ilustración 20, el diagrama de cajas de la estación Tar-Sal-Control en la que muestra que los datos de lluvia son datos simétricos tanto en la época de lluvia como en la época seca, contando con una media de 39.07 y 40.78 respectivamente y se presentan datos atípicos en la estación seca, el rango Intercuartil presentado es de 13.30 en lluvia y 5.68 en época seca.

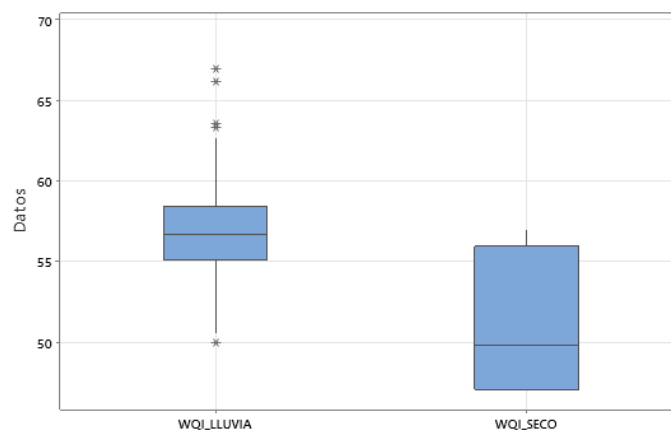
Ilustración 21. Diagrama de cajas estación Tom-Mz-Control



Fuente: Autor

En la estación Tom-Mz-Control que se puede observar en la ilustración 21 se presentan solo datos de lluvia y son datos simétricos, presentando así una media de 72.16 y el rango Intercuartil es de 3.81.

Ilustración 22. Diagrama de cajas estación Yan-Yan-Control



Fuente: Autor

Como se observa en la Ilustración 22, el diagrama de cajas de la estación Yan-Yan-Control muestra que los datos de lluvia son datos simétricos tanto en la época de lluvia

como en la época seca, contando con una media de 56.94 y 51.12 respectivamente y se presentan datos atípicos en la estación seca, el rango Intercuartil presentado es de 3.29 en lluvia y 8.89 en época seca.

4.4. Análisis Pruebas de Normalidad

En el resultado de las pruebas estadísticas se mostró que la prueba de Shapiro-Wilks y Kolmogórov-Smirnov dieron como resultado en su mayoría que los datos pertenecen a una distribución normal dando a conocer que se acepta la hipótesis nula, pero también se presentaron resultados en los cuales no pertenecen a una distribución normal teniendo en cuenta que el % de significancia utilizada fue de 0.05.

En la prueba de Wilcoxon y T-Student fueron aplicados de acuerdo a la prueba de normalidad siendo así que la prueba de T-Student aplicada para los datos que dieron resultado de una distribución normal y la prueba de Wilcoxon para los que dieron que no tienen una distribución normal.

En la prueba de Levene se comprobó que las muestras utilizadas presentan homogeneidad en su varianza a excepción de la estación Mac-Mac-Control, Tom-Tom-Control, Tar-Tar-015, Tar-Tar-020 y Tar-Sal-Control. Los resultados se muestran en el anexo III.

4.5. Análisis de componentes principales por pisos climáticos

4.5.1. Análisis piso climático frío

Análisis de calidad buena del piso climático frío.

Como primer paso se determinó el nivel de correlación existente entre el indicador de calidad biológica BMWP y los parámetros de calidad del agua del piso climático frío, mediante la aplicación de correlación de Pearson. En la Tabla 12, se puede observar que el índice BMWP están altamente relacionados de manera positiva con 8 parámetros: WQI ($r= 0.95$), oxígeno disuelto ($r= 0.94$), pH ($r= 0.94$), temperatura del agua ($r= 0.94$), % de saturación de oxígeno disuelto ($r= 0.90$), conductividad ($r= 0.89$), sólidos totales ($r= 0.81$) y temperatura ambiente ($r= 0.77$).

Tabla 12 . Matriz de correlación de Pearson en la calidad buena del piso climático frío

	BM WP	Saturación OD	Coli. Fecales	Coli. Totales	Color A	Conductividad	DB O5	Fosfatos	Fósforo T.	Nitratos	OD	Ph	S.T.	T. 1 °C	T. Ambiente °C	Turbiedad	WQI
BMWP	1.00	0.90	-0.83	-0.77	0.45	0.89	0.10	-0.61	-0.61	-0.60	0.94	0.94	0.81	0.94	0.77	0.18	0.95
Saturación OD	0.90	1.00	-0.93	-0.92	0.59	0.89	-0.14	-0.40	-0.40	-0.68	0.98	0.98	0.84	0.96	0.80	0.36	0.98
Coli. Fecales	-0.83	-0.93	1.00	0.98	-0.73	-0.86	0.13	0.22	0.22	0.65	-0.92	-0.92	-0.83	-0.92	-0.74	-0.52	-0.93
Coli. Totales	-0.77	-0.92	0.98	1.00	-0.70	-0.81	0.20	0.11	0.11	0.65	-0.90	-0.89	-0.79	-0.89	-0.74	-0.51	-0.90
Color A	0.45	0.59	-0.73	-0.70	1.00	0.60	-0.25	-0.15	-0.15	-0.45	0.52	0.52	0.61	0.56	0.32	0.78	0.53
Conductividad	0.89	0.89	-0.86	-0.81	0.60	1.00	0.02	-0.58	-0.58	-0.62	0.89	0.92	0.91	0.91	0.66	0.40	0.90
DBO5	0.10	-0.14	0.13	0.20	-0.25	0.02	1.00	-0.24	-0.24	-0.15	0.01	-0.01	-0.11	0.03	-0.14	-0.43	0.00
Fosfatos	-0.61	-0.40	0.22	0.11	-0.15	-0.58	-0.24	1.00	1.00	0.16	-0.43	-0.46	-0.49	-0.45	-0.36	-0.02	-0.45
Fósforo T.	-0.61	-0.40	0.22	0.11	-0.15	-0.58	-0.24	1.00	1.00	0.16	-0.43	-0.46	-0.49	-0.45	-0.36	-0.02	-0.45
Nitratos	-0.60	-0.68	0.65	0.65	-0.45	-0.62	-0.15	0.16	0.16	1.00	-0.70	-0.69	-0.70	-0.71	-0.52	-0.34	-0.70
OD	0.94	0.98	-0.92	-0.90	0.52	0.89	0.01	-0.43	-0.43	-0.70	1.00	0.99	0.83	0.99	0.82	0.25	1.00
Ph	0.94	0.98	-0.92	-0.89	0.52	0.92	-0.01	-0.46	-0.46	-0.69	0.99	1.00	0.85	0.99	0.82	0.28	1.00
S.T.	0.81	0.84	-0.83	-0.79	0.61	0.91	-0.11	-0.49	-0.49	-0.70	0.83	0.85	1.00	0.83	0.64	0.52	0.85
T. agua °C	0.94	0.96	-0.92	-0.89	0.56	0.91	0.03	-0.45	-0.45	-0.71	0.99	0.99	0.83	1.00	0.83	0.26	0.98
T. Ambiente °C	0.77	0.80	-0.74	-0.74	0.32	0.66	-0.14	-0.36	-0.36	-0.52	0.82	0.82	0.64	0.83	1.00	0.14	0.82
Turbiedad	0.18	0.36	-0.52	-0.51	0.78	0.40	-0.43	-0.02	-0.02	-0.34	0.25	0.28	0.52	0.26	0.14	1.00	0.29
WQI	0.95	0.98	-0.93	-0.90	0.53	0.90	0.00	-0.45	-0.45	-0.70	1.00	1.00	0.85	0.98	0.82	0.29	1.00

Fuente: (Autor)

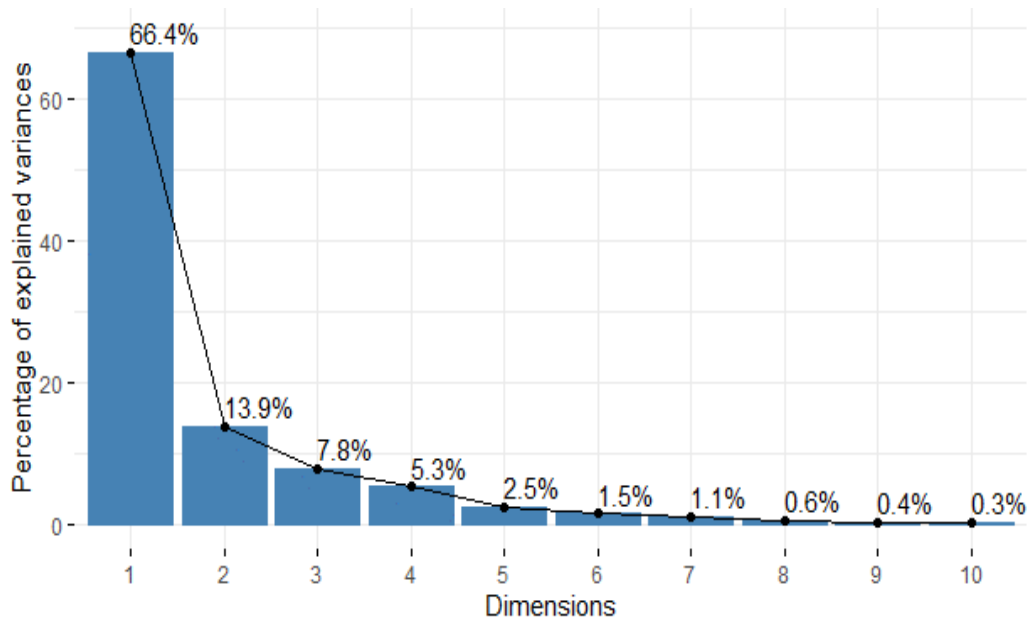
En la Tabla 13, se presenta los resultados del análisis de componentes principales robusto, el número de componentes principales fue determinado mediante el porcentaje de varianza acumulada que se observa en la Ilustración 23, es decir, que cumplan más del 70% en la suma de los componentes. En este análisis, se obtuvo tres componentes principales (PC1, PC2 y PC3) a partir de las variables originales. Cada componente representa una combinación lineal de las variables originales, de tal manera que la mayor parte de la varianza total de los datos se explica por los primeros componentes

Tabla 13. Componentes principales calidad buena, piso climático frío.

PARÁMETROS	COMPONENTES PRINCIPALES		
	PC1	PC2	PC3
% de Saturación Oxígeno Disuelto	-0.350	0.044	-0.065
Coliformes Fecales (NMP/100 ml)	0.407	0.144	-0.177
Coliformes Totales (NMP/100 ml)	0.355	0.217	-0.250
Color Aparente (UC)	-0.205	-0.314	-0.059
Conductividad(us/cm)	-0.222	0.093	-0.174
DBO5 (mg/l)	0.017	0.529	0.440
Fosfatos a partir de Fósforo Total	0.085	-0.281	0.478
Fósforo Total (ug/litro)	0.085	-0.281	0.478
Nitratos + Nitritos (ug/litro)	0.187	-0.049	-0.365
Oxígeno Disuelto (mg/l)	-0.278	0.143	0.040
pH	-0.242	0.117	-0.017
Sólidos Totales (mg/l)	-0.208	-0.004	-0.187
Temperatura Agua 1 °C	-0.265	0.139	0.042
Temperatura Ambiente °C	-0.257	0.147	-0.004
Turbiedad (NTU)	-0.169	-0.516	-0.196
Water Quality Index	-0.272	0.127	0.006

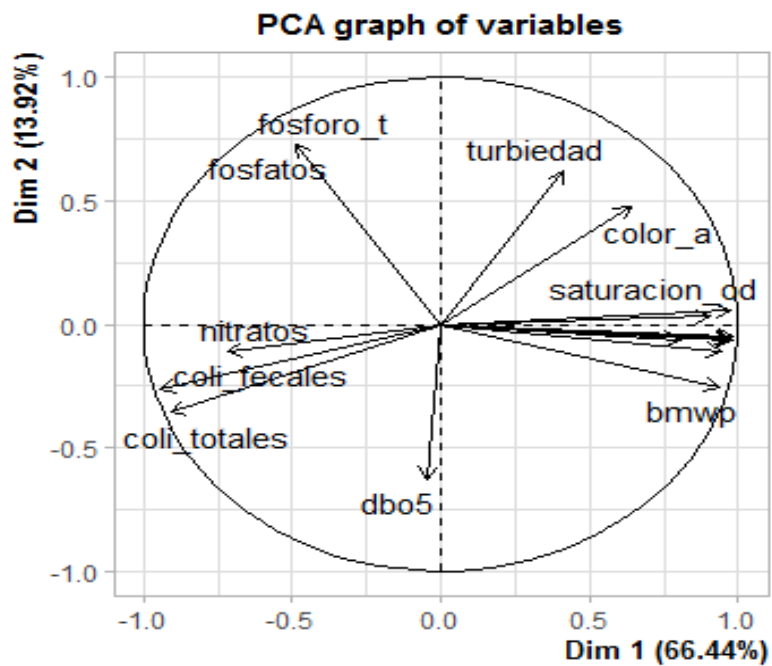
Fuente: Autor

Ilustración 23. Porcentaje de varianza de la calidad buena, piso climático frío



Fuente: Autor

Ilustración 24. ACP para la calidad buena del piso climático frío



Fuente: Autor

En la Ilustración 24 se puede observar que, el componente PC1 explica el 66.44% de la varianza total, lo que sugiere que es un componente importante y está representado fuertemente por coliformes fecales, coliformes totales, % de saturación de oxígeno disuelto y oxígeno disuelto. El índice de calidad biológica BMWP está relacionado directamente con % de saturación de oxígeno disuelto, conductividad, oxígeno disuelto, pH, sólidos totales, temperatura del agua, temperatura ambiente y WQI. La correlación que tiene con él % de saturación de oxígeno ($r= 0.90$), conductividad ($r= 0.89$), oxígeno disuelto ($r= 0.94$), pH ($r= 0.94$), sólidos totales ($r= 0.81$), temperatura del agua ($r= 0.94$), temperatura ambiente ($r= 0.77$) y WQI ($r= 0.95$). La variable nitratos están estrechamente relacionados con las coliformes fecales ($r= 0.64$) y coliformes totales ($r= 0.65$). Los nitratos son indicadores de la descomposición de la materia orgánica, principalmente bacterias.

El componente 2 explica alrededor del 13.92% de la varianza y está representado fuertemente por la DBO5, y la turbidez; este parámetro tiene una correlación directa con el color aparente ($r= 0.78$) y los sólidos totales ($r= 0.52$), a esto se le puede atribuir que el color del agua se debe a la presencia de materia orgánica natural, como pueden ser partículas disueltas o en suspensión y estas son responsables de la turbidez del agua.

El componente 3 indica el 7.8% de la varianza y está representado por el Fósforo total, el cual presenta una alta correlación con los Fosfatos a partir de Fósforo Total ($r= 1$), debido a que es un compuesto que parte del fósforo total y son nutrientes de las plantas que conducen al crecimiento de algas en el agua.

Análisis de la calidad aceptable del piso climático frío.

En la Tabla 14 se presenta la correlación de Pearson realizada para el análisis del piso climático frío calidad aceptable, en el cual se determinó que el índice de calidad biológica BMWP está altamente relacionado positivamente con los parámetros: WQI ($r= 0.98$), % saturación de oxígeno disuelto ($r= 0.98$), oxígeno disuelto ($r= 0.98$), pH ($r= 0.98$), Temperatura agua ($r= 0.97$), temperatura ambiente ($r= 0.95$), conductividad ($r= 0.87$), sólidos totales ($r= 0.855$).

Tabla 14. Matriz de correlación de Pearson en la calidad aceptable del piso climático frío

	BMW P	% Satura ción de OD	Coli. Fecale s	Coli. Totale s	Color A	Cond uctivi dad	DBO5	Fosfat os	Fósfor o T.	Nitrat os	OD	Ph	Solido s T.	T. agua °C	T. Ambi ente	Turbie dad	WQI
BMWP	1.000	0.989	-0.922	-0.918	0.456	0.876	-0.259	-0.695	-0.696	-0.058	0.988	0.988	0.855	0.976	0.955	0.166	0.981
% Saturación OD	0.989	1.000	-0.939	-0.929	0.485	0.896	-0.251	-0.716	-0.716	-0.074	1.000	0.997	0.887	0.992	0.972	0.203	0.993
Coli. Fecales	-0.922	-0.939	1.000	0.977	-0.618	-0.823	0.102	0.541	0.541	0.019	-0.938	-0.939	-0.869	-0.936	-0.930	-0.359	-0.941
Coli. Totales	-0.918	-0.929	0.977	1.000	-0.616	-0.785	0.094	0.500	0.500	0.004	-0.928	-0.926	-0.850	-0.927	-0.932	-0.342	-0.933
Color Aparente	0.456	0.485	-0.618	-0.616	1.000	0.335	-0.178	-0.246	-0.246	-0.342	0.481	0.471	0.466	0.484	0.520	0.803	0.510
Conductividad	0.876	0.896	-0.823	-0.785	0.335	1.000	-0.270	-0.840	-0.840	0.075	0.896	0.910	0.912	0.895	0.829	0.158	0.891
DBO5	-0.259	-0.251	0.102	0.094	-0.178	-0.270	1.000	0.325	0.325	-0.055	-0.250	-0.236	-0.205	-0.230	-0.224	-0.199	-0.235
Fosfatos	-0.695	-0.716	0.541	0.500	-0.246	-0.840	0.325	1.000	1.000	-0.004	-0.715	-0.728	-0.746	-0.720	-0.656	-0.120	-0.721
Fósforo T.	-0.696	-0.716	0.541	0.500	-0.246	-0.840	0.325	1.000	1.000	-0.004	-0.715	-0.728	-0.746	-0.720	-0.656	-0.120	-0.721
Nitratos	-0.058	-0.074	0.019	0.004	-0.342	0.075	-0.055	-0.004	-0.004	1.000	-0.077	-0.054	0.026	-0.050	-0.077	-0.315	-0.078
OD	0.988	1.000	-0.938	-0.928	0.481	0.896	-0.250	-0.715	-0.715	-0.077	1.000	0.997	0.887	0.989	0.969	0.204	0.992
pH	0.988	0.997	-0.939	-0.926	0.471	0.910	-0.236	-0.728	-0.728	-0.054	0.997	1.000	0.890	0.990	0.966	0.198	0.991
Sólidos T.	0.855	0.887	-0.869	-0.850	0.466	0.912	-0.205	-0.746	-0.746	0.026	0.887	0.890	1.000	0.885	0.846	0.297	0.884
T. agua °C	0.976	0.992	-0.936	-0.927	0.484	0.895	-0.230	-0.720	-0.720	-0.050	0.989	0.990	0.885	1.000	0.983	0.175	0.990
T. Ambiente	0.955	0.972	-0.930	-0.932	0.520	0.829	-0.224	-0.656	-0.656	-0.077	0.969	0.966	0.846	0.983	1.000	0.205	0.970
Turbiedad	0.166	0.203	-0.359	-0.342	0.803	0.158	-0.199	-0.120	-0.120	-0.315	0.204	0.198	0.297	0.175	0.205	1.000	0.233
WQI	0.981	0.993	-0.941	-0.933	0.510	0.891	-0.235	-0.721	-0.721	-0.078	0.992	0.991	0.884	0.990	0.970	0.233	1.000

Fuente: Autor

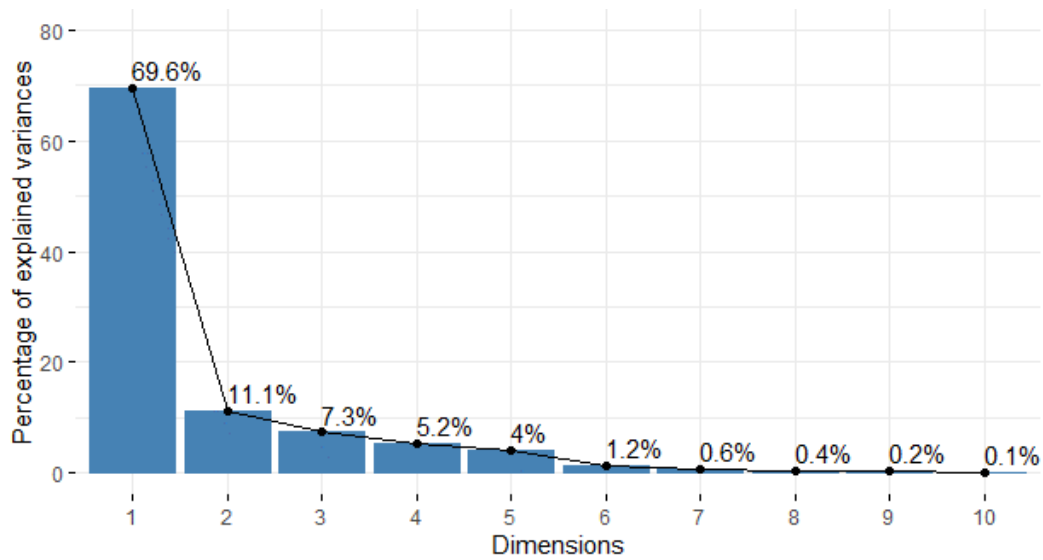
Tabla 15. Componentes principales calidad aceptable, piso climático frío

	PC1	PC2	PC3
BMWP	-0.247	-0.111	0.054
% de Saturación Oxígeno Disuelto	-0.265	-0.096	0.039
Coliformes Fecales (NMP/100ml)	0.395	-0.264	0.006
Coliformes Totales (NMP/100ml)	0.345	-0.294	0.002
Color Aparente (UC)	-0.139	0.280	-0.509
Conductividad(us/cm)	-0.266	-0.046	0.132
DBO5 (mg/l)	0.045	0.186	0.306
Fosfatos a partir de Fósforo Total	0.202	0.320	-0.052
Fósforo Total (ug/litro)	0.202	0.320	-0.052
Nitratos + Nitritos (ug/litro)	0.030	0.558	0.590
Oxígeno Disuelto (mg/l)	-0.262	-0.098	0.039
Ph	-0.259	-0.088	0.054
Sólidos Totales (mg/l)	-0.276	0.182	0.034
Temperatura Agua 1 °C	-0.266	-0.084	0.063
Temperatura Ambiente °C	-0.251	-0.058	0.023
Turbiedad (NTU)	-0.072	0.355	-0.510
Water Quality Index	-0.263	-0.059	0.024

Fuente: (Autor)

En la Tabla 15 se puede observar los componentes principales obtenidos mediante el análisis de componentes principales robusto, el número de componentes principales fue determinado mediante el porcentaje de varianza acumulada que se presenta en la Ilustración 25, es decir que cumplan más del 70% en la suma de los componentes. En este análisis, se obtuvo tres componentes principales (PC1, PC2 y PC3) a partir de las variables originales. Cada componente representa una combinación lineal de las variables originales, de tal manera que la mayor parte de la varianza total de los datos se explica por los primeros componentes.

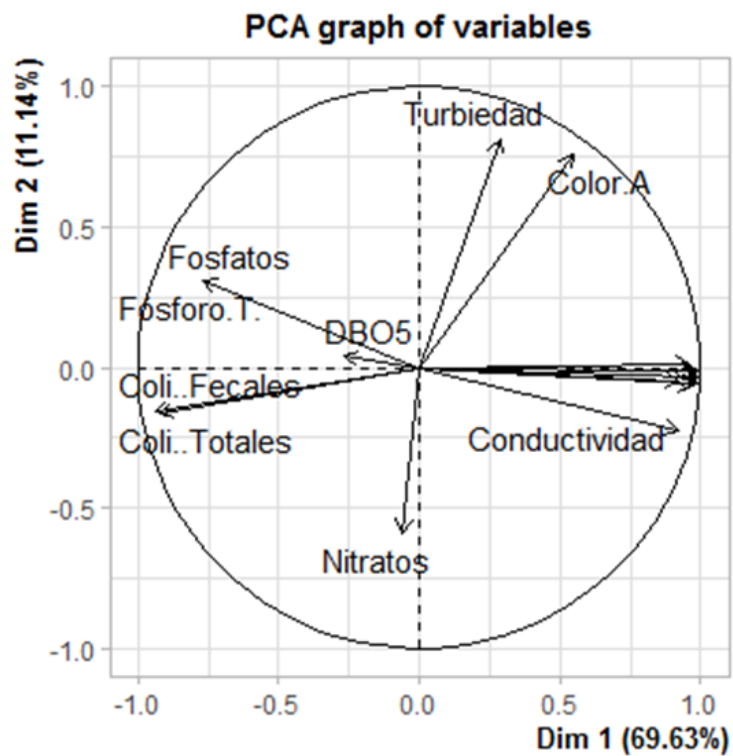
Ilustración 25. Porcentaje de varianza de la calidad aceptable, piso climático frío



Fuente: Autor

Componentes principales de la calidad aceptable del piso climático frío

Ilustración 26. ACP para la calidad aceptable del piso climático frío



Fuente: Autor

Se puede observar en la Ilustración 26, el componente PC1 explica el 69.63% de la varianza total, lo que sugiere que es un componente importante y se puede observar que está representado fuertemente por coliformes fecales, coliformes totales. La conductividad está correlacionada directamente con el índice de calidad biológica BMWP, % de saturación de oxígeno disuelto, oxígeno disuelto, pH, sólidos totales, temperatura del agua, temperatura ambiente y WQI. La correlación que tiene con el índice de calidad biológica BMWP ($r= 0,87$), % de saturación de oxígeno ($r= 0.89$), oxígeno disuelto ($r= 0.89$), pH ($r= 0.91$), sólidos totales ($r= 0.91$), temperatura del agua ($r= 0.89$), temperatura ambiente ($r= 0.89$) y WQI ($r= 0.89$). La variable fosfatos a partir del fósforo total está estrechamente relacionado con el fósforo total ($r=1$), coliformes fecales ($r= 0.54$), coliformes totales ($r= 0,50$), y DBO_5 ($r= 0.32$) todas las variables relacionadas son indicadores de la contaminación del agua, por ejemplo, la presencia de coliformes en el agua indica que existe una vía de contaminación entre una fuente de bacterias.

El componente 2 explica alrededor del 11.1% de la varianza y está representado fuertemente por los Nitratos + Nitritos; este parámetro no cuenta con correlaciones fuertes, también se puede observar que está apartado. La presencia de nitratos y nitritos en el agua natural es un indicador importante de la calidad del agua. Ambos están involucrados en el ciclo del nitrógeno en el suelo y las plantas superiores, aunque los nitratos se agregan con los fertilizantes, lo que puede hacer que aumenten sus niveles.

El componente 3 indica el 7.3% de la varianza y está representado por turbiedad y color aparente los cuales tienen una alta correlación ($r= 0.80$), se relacionan debido a que el color del agua es presentado por las partículas en suspensión y estas son responsables de la turbidez en el agua.

Análisis de la calidad dudosa del piso climático frío.

En la Tabla 16 mediante la correlación de Pearson realizada para el análisis del piso climático frío de calidad dudosa, se determinó que el índice de calidad biológica BMWP está altamente relacionado con los parámetros: % de saturación de oxígeno ($r= 0.97$), pH ($r= 0.96$), oxígeno disuelto ($r= 0.96$), WQI ($r=0.96$), temperatura del agua ($r= 0.91$), temperatura ambiente ($r=0.87$), sólidos totales ($r= 0.77$) y conductividad (0.74).

Tabla 16. Matriz de correlación de Pearson en la calidad dudosa del piso climático frío

	BM WP	Saturación OD	Coli. Fecales	Coli. Totales	Color A	Conductividad	DBO5	Fosfatos	Fósforo T.	Nitratos	OD	Ph	S.T.	T. 1 °C	T. Ambiente °C	Turbiedad	WQI
BMWP	1.00	0.97	-0.85	-0.86	0.01	0.74	-0.55	-0.63	-0.63	0.05	0.96	0.96	0.77	0.91	0.87	-0.09	0.96
Saturación OD	0.97	1.00	-0.87	-0.86	-0.01	0.80	-0.50	-0.68	-0.68	0.04	1.00	0.99	0.82	0.93	0.87	-0.09	0.99
Coli. Fecales	-0.85	-0.87	1.00	0.92	-0.08	-0.82	0.34	0.49	0.49	-0.17	-0.86	-0.89	-0.80	-0.87	-0.83	-0.17	-0.87
Coli. Totales	-0.86	-0.86	0.92	1.00	-0.21	-0.77	0.41	0.48	0.48	-0.14	-0.87	-0.87	-0.80	-0.83	-0.79	-0.23	-0.86
Color A	0.01	-0.01	-0.08	-0.21	1.00	-0.04	-0.05	-0.21	-0.21	-0.36	-0.01	-0.05	0.20	0.02	0.02	0.55	-0.05
Conductividad	0.74	0.80	-0.82	-0.77	-0.04	1.00	-0.24	-0.68	-0.68	0.05	0.79	0.84	0.79	0.83	0.80	0.03	0.82
DBO5	-0.55	-0.50	0.34	0.41	-0.05	-0.24	1.00	0.24	0.24	-0.11	-0.51	-0.49	-0.31	-0.48	-0.49	-0.07	-0.48
Fosfatos	-0.63	-0.68	0.49	0.48	-0.21	-0.68	0.24	1.00	1.00	0.14	-0.67	-0.68	-0.73	-0.70	-0.67	-0.04	-0.68
Fósforo T.	-0.63	-0.68	0.49	0.48	-0.21	-0.68	0.24	1.00	1.00	0.14	-0.67	-0.68	-0.73	-0.70	-0.67	-0.04	-0.68
Nitratos	0.05	0.04	-0.17	-0.14	-0.36	0.05	-0.11	0.14	0.14	1.00	0.03	0.07	0.00	0.02	-0.02	-0.14	0.07
OD	0.96	1.00	-0.86	-0.87	-0.01	0.79	-0.51	-0.67	-0.67	0.03	1.00	0.99	0.82	0.92	0.86	-0.09	0.98
pH	0.96	0.99	-0.89	-0.87	-0.05	0.84	-0.49	-0.68	-0.68	0.07	0.99	1.00	0.82	0.94	0.89	-0.09	0.99
S.T.	0.77	0.82	-0.80	-0.80	0.20	0.79	-0.31	-0.73	-0.73	0.00	0.82	0.82	1.00	0.80	0.75	0.10	0.81
T. 1 °C	0.91	0.93	-0.87	-0.83	0.02	0.83	-0.48	-0.70	-0.70	0.02	0.92	0.94	0.80	1.00	0.96	-0.03	0.92
T. Ambiente °C	0.87	0.87	-0.83	-0.79	0.02	0.80	-0.49	-0.67	-0.67	-0.02	0.86	0.89	0.75	0.96	1.00	0.01	0.86
Turbiedad	-0.09	-0.09	-0.17	-0.23	0.55	0.03	-0.07	-0.04	-0.04	-0.14	-0.09	-0.09	0.10	-0.03	0.01	1.00	-0.09
WQI	0.96	0.99	-0.87	-0.86	-0.05	0.82	-0.48	-0.68	-0.68	0.07	0.98	0.99	0.81	0.92	0.86	-0.09	1.00

Fuente: (Autor)

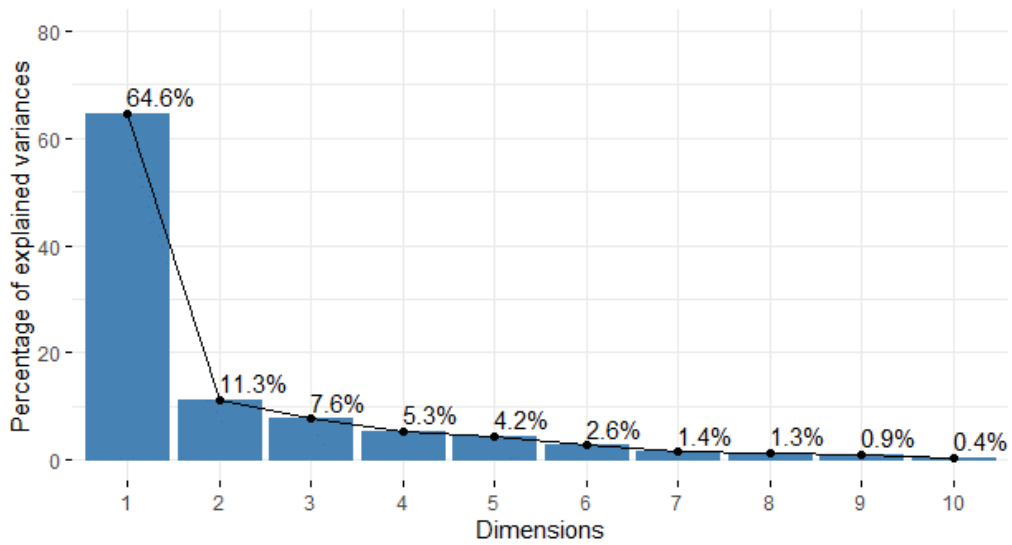
Tabla 17. Componentes principales calidad aceptable, piso climático frío

	PC1	PC2	PC3
BMWP	-0.282	-0.125	-0.017
% de Saturación Oxígeno Disuelto	-0.327	-0.128	-0.056
Coliformes Fecales (NMP/100ml)	0.320	-0.189	-0.286
Coliformes Totales (NMP/100ml)	0.343	-0.303	-0.247
Color Aparente (UC)	-0.039	0.503	-0.143
Conductividad(us/cm)	-0.190	0.045	0.051
DBO5 (mg/l)	0.131	0.074	0.106
Fosfatos a partir de Fósforo Total	0.090	-0.027	0.602
Fósforo Total (ug/litro)	0.090	-0.027	0.602
Nitratos + Nitritos (ug/litro)	-0.016	-0.174	0.287
Oxígeno Disuelto (mg/l)	-0.317	-0.115	-0.046
Ph	-0.340	-0.161	-0.015
Sólidos Totales (mg/l)	-0.249	0.343	0.045
Temperatura Agua 1 °C	-0.286	-0.118	-0.039
Temperatura Ambiente °C	-0.230	-0.095	-0.049
Turbiedad (NTU)	-0.010	0.587	-0.050
Water Quality Index	-0.332	-0.157	-0.025

Fuente: Autor

En la Tabla 17, se puede observar los componentes principales obtenidos mediante el análisis de componentes principales robusto, el número de componentes principales fue determinado mediante el porcentaje de varianza acumulada que se presenta en la Ilustración 27, es decir, que cumplan más del 70% en la suma de los componentes. En este análisis, se obtuvo tres componentes principales (PC1, PC2 y PC3) a partir de las variables originales. Cada componente representa una combinación lineal de las variables originales, de tal manera que la mayor parte de la varianza total de los datos se explica por los primeros componentes.

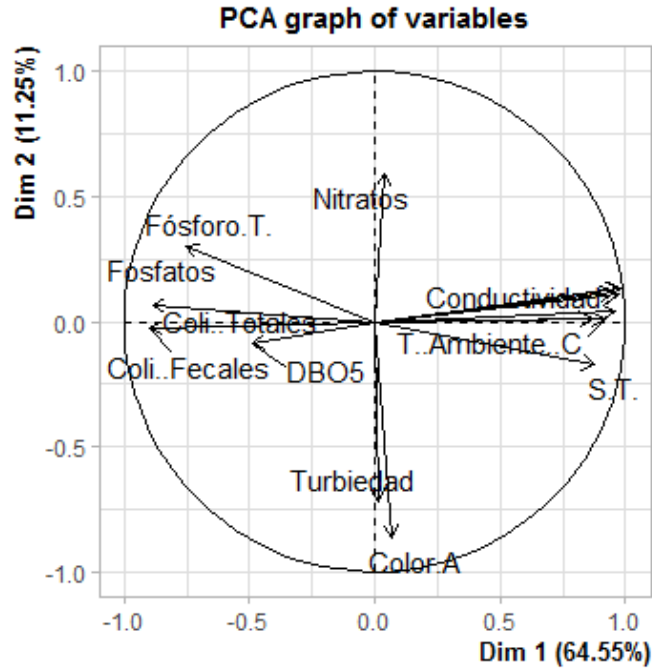
Ilustración 27. Porcentaje de varianza de la calidad dudosa, piso climático frío



Fuente: Autor

Componentes principales para la calidad dudosa del piso climático frío

Ilustración 28. ACP para la calidad dudosa del piso climático frío



Fuente: Autor

En la Ilustración 28, se presenta el componente PC1 explica el 64.55% de la varianza total, lo que sugiere que es un componente importante y se puede observar que está representado por coliformes totales y pH. La conductividad está relacionada con el índice de calidad biológica BMWP, % de saturación de oxígeno disuelto, oxígeno disuelto, pH, sólidos totales, temperatura del agua, temperatura ambiente, WQI. La correlación que tiene con el índice de calidad biológica BMWP ($r= 0.74$), % de saturación de oxígeno ($r= 0.80$), oxígeno disuelto ($r= 0.79$), pH ($r= 0.84$), sólidos totales ($r= 0.79$), temperatura del agua ($r= 0.83$), temperatura ambiente ($r= 0.80$) y WQI ($r= 0.82$). La variable fósforo total está estrechamente relacionado con los fosfatos a partir del fósforo total ($r= 1$), coliformes fecales ($r= 0.49$), coliformes totales ($r= 0.48$), DBO5 ($r= 0.24$). Tanto el fósforo total como los fosfatos a partir del fósforo total, coliformes fecales, coliformes totales y la DBO₅ son indicadores de la contaminación del agua. La contaminación del agua por fósforo tiene como fuente principal el uso de fertilizantes agrícolas, aunque también es causada por la erosión del suelo y la descomposición de la materia orgánica vertida por la industria, la ciudad, las granjas y la ganadería. Las coliformes fecales se originan principalmente en el tracto digestivo de los animales de sangre caliente, por lo que su presencia se asocia al vertido reciente de aguas residuales domésticas y ganaderas sin tratar, la DBO₅; la falta de oxígeno en el agua provoca condiciones sépticas y de mal sabor y olor propias de la putrefacción, impidiendo el uso práctico de este recurso. Las emisiones de materia orgánica a los cuerpos de agua pueden afectar la concentración de este componente, ya que los microorganismos que descomponen estos desechos consumen el oxígeno disponible.

El componente 2, explica alrededor del 11.30% de la varianza y está representado fuertemente por la turbiedad y color aparente, estas variables tienen una relación alta ($r=0.55$), la turbidez y el color puede resultar por la presencia de partículas, materia orgánica (materia vegetal en descomposición), plancton (presencia de fertilizantes).

El componente 3, indica el 7.6% de la varianza y está representado por el fósforo total el cual presenta una alta correlación con los fosfatos a partir de fósforo total ($r= 1$) esto se debe a que es un compuesto que parte del fósforo total y son nutrientes de las plantas que conducen al crecimiento de algas en el agua.

Análisis de la calidad crítica del piso climático frío

Tabla 18. Matriz de correlación de Pearson en la calidad crítica del piso climático frío

	BMW P	Satur ation OD	Coli. Fecales	Coli. Total es	Colo r A	Cond uctiv idad	DBO 5	Fosf atos	Fósfo ro T.	Nitra tos	OD	Ph	S.T.	T. agua	T. Amb iente	Turb iedad	WQI
BMWP	1.00	0.82	-0.74	-0.82	-0.01	0.59	-0.19	-0.62	-0.62	-0.17	0.81	0.93	0.44	0.89	0.85	-0.29	0.93
Saturación OD	0.82	1.00	-0.69	-0.76	-0.12	0.55	-0.14	-0.59	-0.59	-0.17	0.80	0.89	0.35	0.85	0.83	-0.35	0.91
Coli. Fecales	-0.74	-0.69	1.00	0.85	-0.20	-0.71	0.02	0.22	0.22	0.10	-0.65	-0.78	-0.54	-0.79	-0.74	0.08	-0.75
Coli. Totales	-0.82	-0.76	0.85	1.00	-0.25	-0.60	0.00	0.39	0.39	0.21	-0.74	-0.82	-0.55	-0.82	-0.81	0.03	-0.81
Color A	-0.01	-0.12	-0.20	-0.25	1.00	-0.17	-0.20	-0.04	-0.04	-0.47	-0.05	-0.09	0.41	-0.08	-0.02	0.77	-0.10
Conductividad	0.59	0.55	-0.71	-0.60	-0.17	1.00	0.06	-0.28	-0.28	0.07	0.51	0.69	0.30	0.75	0.68	-0.47	0.66
DBO5	-0.19	-0.14	0.02	0.00	-0.20	0.06	1.00	0.10	0.10	-0.09	-0.12	-0.15	-0.10	-0.13	-0.19	0.00	-0.17
Fosfatos	-0.62	-0.59	0.22	0.39	-0.04	-0.28	0.10	1.00	1.00	0.33	-0.64	-0.64	-0.36	-0.60	-0.58	0.12	-0.65
Fósforo T.	-0.62	-0.59	0.22	0.39	-0.04	-0.28	0.10	1.00	1.00	0.33	-0.64	-0.64	-0.36	-0.60	-0.58	0.12	-0.65
Nitratos	-0.17	-0.17	0.10	0.21	-0.47	0.07	-0.09	0.33	0.33	1.00	-0.17	-0.20	-0.43	-0.13	-0.19	-0.43	-0.18
OD	0.81	0.80	-0.65	-0.74	-0.05	0.51	-0.12	-0.64	-0.64	-0.17	1.00	0.85	0.38	0.81	0.76	-0.33	0.85
pH	0.93	0.89	-0.78	-0.82	-0.09	0.69	-0.15	-0.64	-0.64	-0.20	0.85	1.00	0.47	0.96	0.92	-0.39	0.98
S.T.	0.44	0.35	-0.54	-0.55	0.41	0.30	-0.10	-0.36	-0.36	-0.43	0.38	0.47	1.00	0.42	0.41	0.26	0.43
T. agua	0.89	0.85	-0.79	-0.82	-0.08	0.75	-0.13	-0.60	-0.60	-0.13	0.81	0.96	0.42	1.00	0.93	-0.40	0.95
T. Ambiente °C	0.85	0.83	-0.74	-0.81	-0.02	0.68	-0.19	-0.58	-0.58	-0.19	0.76	0.92	0.41	0.93	1.00	-0.32	0.90
Turbiedad	-0.29	-0.35	0.08	0.03	0.77	-0.47	0.00	0.12	0.12	-0.43	-0.33	-0.39	0.26	-0.40	-0.32	1.00	-0.40
WQI	0.93	0.91	-0.75	-0.81	-0.10	0.66	-0.17	-0.65	-0.65	-0.18	0.85	0.98	0.43	0.95	0.90	-0.40	1.00

Fuente: Autor

En la Tabla 18, podemos determinar que mediante la correlación de Pearson realizada para el análisis del piso climático frío de la calidad crítica, se determinó que el índice de calidad biológica BMWP está altamente relacionado con los parámetros: WQI ($r= 0.93$), pH ($r= 0.93$), temperatura del agua ($r= 0.89$), temperatura ambiente ($r=0.85$) % de saturación de oxígeno ($r= 0.82$), oxígeno disuelto ($r= 0.81$) y conductividad (0.59).

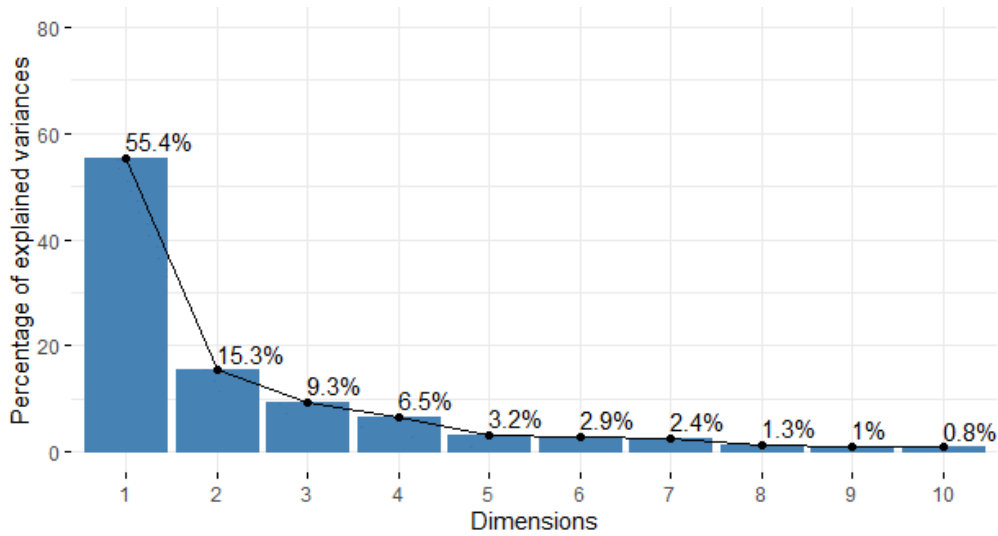
Tabla 19. Componentes principales calidad crítica, piso climático frío

	PC1	PC2	PC3
BMWP	0.275	0.012	-0.040
% de Saturación Oxígeno Disuelto	0.343	0.010	-0.071
Coliformes Fecales (NMP/100ml)	-0.221	-0.224	-0.420
Coliformes Totales (NMP/100ml)	-0.226	-0.316	-0.309
Color Aparente (UC)	-0.080	0.530	-0.027
Conductividad(us/cm)	0.180	-0.204	0.376
DBO5 (mg/l)	-0.126	-0.109	0.317
Fosfatos a partir de Fósforo Total	-0.187	-0.015	0.449
Fósforo Total (ug/litro)	-0.187	-0.015	0.449
Nitratos + Nitritos (ug/litro)	0.077	-0.295	0.221
Oxígeno Disuelto (mg/l)	0.331	0.017	-0.089
Ph	0.342	-0.025	-0.022
Sólidos Totales (mg/l)	0.063	0.478	0.066
Temperatura Agua 1 °C	0.369	-0.024	0.092
Temperatura Ambiente °C	0.278	0.048	0.026
Turbiedad (NTU)	-0.139	0.439	-0.041
Water Quality Index	0.336	-0.047	-0.063

Fuente: Autor

En la Tabla 19, se puede observar los componentes principales obtenidos mediante el análisis de componentes principales robusto, el número de componentes principales fue determinado mediante el porcentaje de varianza acumulada presentada en la Ilustración 29, es decir, que cumplan más del 70% en la suma de los componentes. En este análisis, se obtuvo tres componentes principales (PC1, PC2 y PC3) a partir de las variables originales. Cada componente representa una combinación lineal de las variables originales, de tal manera que la mayor parte de la varianza total de los datos se explica por los primeros componentes.

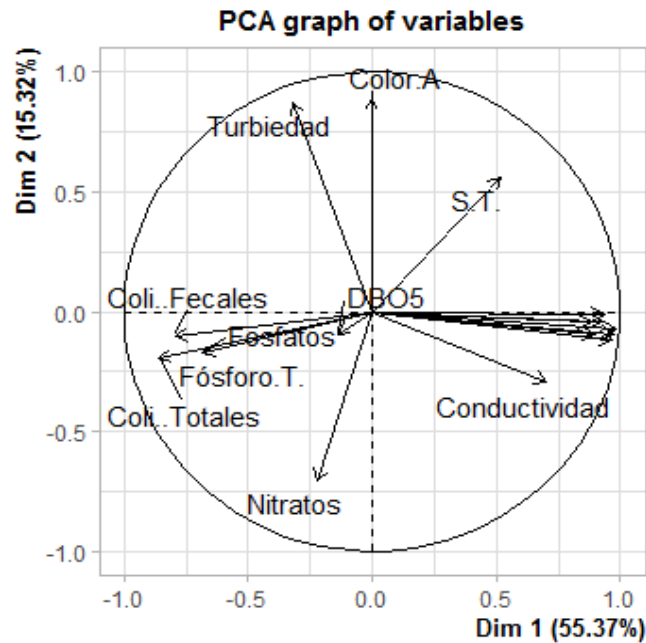
Ilustración 29. Porcentaje de varianza de la calidad crítica, piso climático frío



Fuente: Autor

Componentes de la calidad crítica del piso climático frío.

Ilustración 30. ACP para la calidad crítica del piso climático frío



Fuente: Autor

En la Ilustración 30, se puede observar que el componente principal 1 explica el 55.37% de la varianza total, lo que sugiere que es un componente importante y está representado por temperatura de agua, % de saturación de oxígeno disuelto y pH. La temperatura del agua se aglutina directamente con el índice de calidad biológica BMWP, % de saturación

de oxígeno disuelto, oxígeno disuelto, pH, temperatura ambiente, conductividad y WQI. La correlación que tiene con el índice de calidad biológica BMWP es de $r= 0.89$, % de saturación de oxígeno de $r= 0.85$, conductividad de $r= 0.75$, oxígeno disuelto de $r= 0.81$, pH de $r= 0.96$, temperatura ambiente de $r= 0.93$ y WQI de $r= 0.95$. La variable temperatura puede tener relación de manera directa e inversamente proporcional con los parámetros antes mencionados, por ejemplo, si existe un incremento de la temperatura el valor del pH disminuye y viceversa, la misma relación inversa existe entre la temperatura y la variable de oxígeno disuelto. Mientras que para el caso de la conductividad se relaciona de manera directa, es decir, cuando la temperatura se incrementa, la conductividad aumenta igual. La variable de coliformes fecales obtuvo una correlación con coliformes totales, fósforo total, fosfatos a partir del fósforo total y DBO_5 .

El componente 2 explica alrededor del 15.32% de la varianza y está representado por el color aparente y este tiene una alta correlación con la turbiedad ($r= 0.77$), esto se le puede atribuir a que el color del agua se debe a la presencia de materia orgánica natural, como pueden ser partículas disueltas o en suspensión y estas son responsables de la turbidez del agua.

El componente 3 indica el 9.3% de la varianza y está representado por el Fósforo total el cual presenta una alta correlación con los Fosfatos a partir de Fósforo Total ($r= 1$) esto se debe a que es un compuesto que parte del fósforo total y son nutrientes de las plantas que conducen al crecimiento de algas en el agua.

Análisis de calidad muy crítica del piso climático frío.

Se puede observar en la Tabla 20 que mediante la correlación de Pearson realizada para el análisis del piso climático frío de calidad muy crítica, se determinó que el índice de calidad biológica BMWP está altamente relacionado con los parámetros: WQI ($r= 0.98$), pH ($r= 0.97$), % de saturación de oxígeno ($r= 0.97$), oxígeno disuelto ($r= 0.97$), temperatura ambiente ($r=0.90$) y temperatura del agua ($r= 0.89$).

Tabla 20 . Matriz de correlación de Pearson en la calidad muy crítica del piso climático frío

	BMW P	Saturación OD	Coli. Fecales	Coli. Totales	Color A	Conductividad	DBO 5	Fosfatos	Fósforo T.	Nitratos	OD	Ph	S.T.	T. 1 °C	T. Ambiente °C	Turbiedad	WQI
BMWP	1.00	0.97	-0.52	-0.46	-0.27	-0.45	0.09	-0.69	-0.69	-0.47	0.97	0.97	-0.47	0.89	0.90	-0.32	0.98
Saturación OD	0.97	1.00	-0.65	-0.49	-0.14	-0.50	0.06	-0.72	-0.72	-0.57	0.99	0.98	-0.35	0.89	0.91	-0.16	0.96
Coli. Fecales	-0.52	-0.65	1.00	0.61	-0.35	0.31	0.17	0.36	0.36	0.36	-0.63	-0.62	-0.29	-0.64	-0.66	-0.37	-0.58
Coli. Totales	-0.46	-0.49	0.61	1.00	-0.15	-0.22	0.16	0.16	0.16	-0.10	-0.44	-0.49	-0.29	-0.70	-0.66	0.00	-0.53
Color A	-0.27	-0.14	-0.35	-0.15	1.00	-0.38	-0.40	-0.23	-0.23	-0.25	-0.15	-0.20	0.76	-0.20	-0.19	0.94	-0.23
Conductividad	-0.45	-0.50	0.31	-0.22	-0.38	1.00	0.00	0.71	0.71	0.81	-0.54	-0.44	0.15	-0.18	-0.23	-0.39	-0.39
DBO5	0.09	0.06	0.17	0.16	-0.40	0.00	1.00	0.06	0.06	0.04	0.08	0.10	-0.58	-0.09	-0.14	-0.49	0.01
Fosfatos	-0.69	-0.72	0.36	0.16	-0.23	0.71	0.06	1.00	1.00	0.55	-0.74	-0.71	0.20	-0.57	-0.58	-0.18	-0.70
Fósforo T.	-0.69	-0.72	0.36	0.16	-0.23	0.71	0.06	1.00	1.00	0.55	-0.74	-0.71	0.20	-0.57	-0.58	-0.18	-0.70
Nitratos	-0.47	-0.57	0.36	-0.10	-0.25	0.81	0.04	0.55	0.55	1.00	-0.60	-0.53	0.11	-0.26	-0.34	-0.34	-0.43
OD	0.97	0.99	-0.63	-0.44	-0.15	-0.54	0.08	-0.74	-0.74	-0.60	1.00	0.98	-0.37	0.86	0.88	-0.16	0.95
pH	0.97	0.98	-0.62	-0.49	-0.20	-0.44	0.10	-0.71	-0.71	-0.53	0.98	1.00	-0.39	0.91	0.92	-0.23	0.98
S.T.	-0.47	-0.35	-0.29	-0.29	0.76	0.15	-0.58	0.20	0.20	0.11	-0.37	-0.39	1.00	-0.24	-0.22	0.77	-0.39
T. 1 °C	0.89	0.89	-0.64	-0.70	-0.20	-0.18	-0.09	-0.57	-0.57	-0.26	0.86	0.91	-0.24	1.00	0.99	-0.25	0.94
T. Ambiente °C	0.90	0.91	-0.66	-0.66	-0.19	-0.23	-0.14	-0.58	-0.58	-0.34	0.88	0.92	-0.22	0.99	1.00	-0.22	0.95
Turbiedad	-0.32	-0.16	-0.37	0.00	0.94	-0.39	-0.49	-0.18	-0.18	-0.34	-0.16	-0.23	0.77	-0.25	-0.22	1.00	-0.28
WQI	0.98	0.96	-0.58	-0.53	-0.23	-0.39	0.01	-0.70	-0.70	-0.43	0.95	0.98	-0.39	0.94	0.95	-0.28	1.00

Fuente: Autor

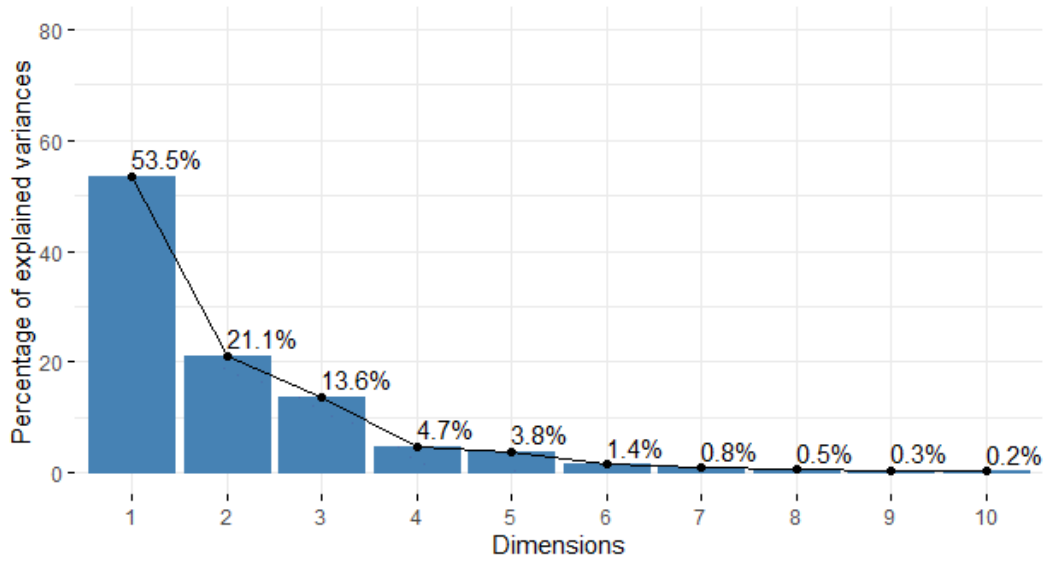
Tabla 21. Componentes principales calidad muy crítica, piso climático frío

	PC1	PC2	PC3
BMWP	-0.125	0.337	0.007
% de Saturación Oxígeno Disuelto	-0.037	0.343	-0.044
Coliformes Fecales (NMP/100ml)	-0.151	-0.165	0.360
Coliformes Totales (NMP/100ml)	0.026	-0.112	0.439
Color Aparente (UC)	0.417	-0.022	-0.120
Conductividad(us/cm)	-0.282	-0.157	-0.348
DBO5 (mg/l)	-0.206	0.003	0.276
Fosfatos a partir de Fósforo Total	-0.253	-0.309	-0.310
Fósforo Total (ug/litro)	-0.253	-0.309	-0.310
Nitratos + Nitritos (ug/litro)	-0.150	-0.111	-0.141
Oxígeno Disuelto (mg/l)	-0.031	0.346	0.004
pH	-0.065	0.283	-0.031
Sólidos Totales (mg/l)	0.245	-0.072	-0.307
Temperatura Agua °C	-0.099	0.255	-0.233
Temperatura Ambiente °C	-0.091	0.286	-0.255
Turbiedad (NTU)	0.645	-0.048	-0.171
Water Quality Index	-0.119	0.382	-0.090

Fuente: Autor

En la Tabla 21 se puede observar los componentes principales obtenidos mediante el análisis de componentes principales robusto, el número de componentes principales fue determinado mediante el porcentaje de varianza acumulada que se presenta en la Ilustración 31, es decir, que cumplan más del 70% en la suma de los componentes. En este análisis, se obtuvo tres componentes principales (PC1, PC2 y PC3) a partir de las variables originales. Cada componente representa una combinación lineal de las variables originales, de tal manera que la mayor parte de la varianza total de los datos se explica por los primeros componentes.

Ilustración 31. Porcentaje de varianza de la calidad muy crítica, piso climático frío

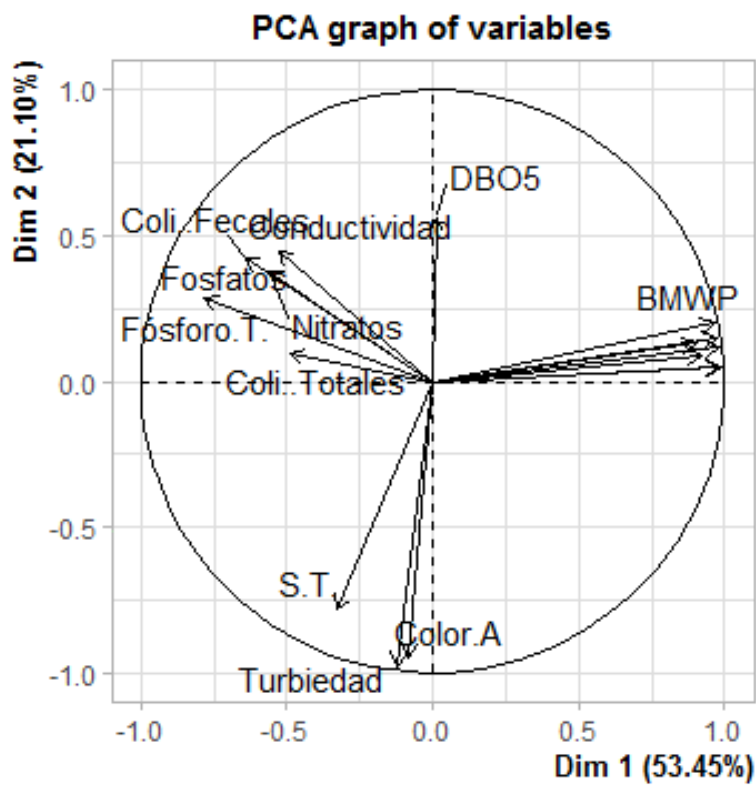


Fuente:

Autor

Componentes principales de la calidad muy crítica del piso climático frío.

Ilustración 32. ACP para la calidad muy crítica del piso climático frío



Fuente: Autor

Se puede observar en la Ilustración 32 que el componente PC1 explica el 53.45% de la varianza total, lo que sugiere que es un componente importante y se puede observar que está representado fuertemente por la turbiedad. El índice de calidad biológica BMWP está relacionado directamente con % de saturación de oxígeno disuelto, oxígeno disuelto, pH, temperatura del agua, temperatura ambiente y WQI. La correlación que tiene con él % de saturación de oxígeno ($r= 0.97$), oxígeno disuelto ($r= 0.97$), pH ($r= 0.97$), temperatura del agua ($r= 0.89$), temperatura ambiente ($r= 0.90$) y WQI ($r= 0.98$). La variable conductividad está relacionada fuertemente con coliformes fecales, fosfatos a partir del fósforo total, fósforo total, nitratos + nitritos y coliformes totales.

El componente 2 explica alrededor del 21.10% de la varianza y está representado por el oxígeno disuelto, tiene una correlación directa con: % de saturación de oxígeno disuelto ($r= 0.99$), pH ($r= 0.98$), índice de calidad biológica BMWP ($r= 0.97$), WQI ($r= 0.95$), temperatura ambiente ($r=0.88$) y temperatura del agua ($r= 0.86$). Para una buena calidad del agua requiere niveles adecuados de oxígeno disuelto, el mismo que es un elemento esencial para todas las formas de vida.

El componente 3 indica el 13.6% de la varianza y está representado por las coliformes fecales que tiene una alta correlación con las coliformes fecales ($r=0.61$), y estas poseen relación, ya que son indicadores de contaminación del agua.

4.5.2. Análisis del piso climático páramo bajo

Análisis de calidad buena del piso climático páramo bajo

Los resultados del análisis de correlación de Pearson realizada para la calidad buena del piso climático páramo bajo se presenta en la Tabla 22, en la cual se observa que el índice de calidad biológica BMWP está altamente relacionado con los parámetros: % de saturación de oxígeno disuelto ($r= 0.87$), WQI ($r= 0.87$), pH ($r=0.86$), oxígeno disuelto ($r= 0.86$), sólidos totales (0.78), temperatura del agua ($r= 0.70$), temperatura ambiente ($r= 0.68$) y conductividad ($r= 0.66$).

Tabla 22. Matriz de correlación de Pearson en la calidad buena del piso climático paramo bajo

	BMW P	Saturación OD	Coli. Fecales	Coli. Totales	Color A	Condu ctivida d	DBO5	Fosfat os	Fósfo ro T.	Nitrat os	OD	Ph	S.T.	T. agua °C	T. Ambi ente °C	Turbi edad	WQI
BMWP	1.00	0.87	-0.67	-0.65	-0.04	0.66	-0.01	-0.26	-0.26	-0.01	0.86	0.86	0.78	0.70	0.68	-0.15	0.87
Saturación OD	0.87	1.00	-0.76	-0.71	0.04	0.81	-0.04	-0.39	-0.39	0.09	0.99	0.99	0.87	0.76	0.74	-0.09	0.98
Coli. Fecales	-0.67	-0.76	1.00	0.80	-0.42	-0.48	-0.14	0.01	0.01	-0.21	-0.72	-0.75	-0.60	-0.66	-0.67	-0.13	-0.73
Coli. Totales	-0.65	-0.71	0.80	1.00	-0.39	-0.50	-0.29	0.03	0.03	-0.28	-0.69	-0.69	-0.62	-0.56	-0.58	-0.19	-0.65
Color A	-0.04	0.04	-0.42	-0.39	1.00	-0.30	0.19	0.32	0.32	-0.02	0.04	-0.05	-0.02	-0.17	-0.09	0.62	-0.01
Conductividad	0.66	0.81	-0.48	-0.50	-0.30	1.00	-0.11	-0.59	-0.59	0.23	0.80	0.85	0.79	0.76	0.72	-0.35	0.81
DBO5	-0.01	-0.04	-0.14	-0.29	0.19	-0.11	1.00	-0.09	-0.09	0.07	-0.04	0.00	0.09	-0.13	-0.24	0.34	-0.12
Fosfatos	-0.26	-0.39	0.01	0.03	0.32	-0.59	-0.09	1.00	1.00	-0.48	-0.39	-0.44	-0.57	-0.31	-0.32	0.16	-0.36
Fósforo T.	-0.26	-0.39	0.01	0.03	0.32	-0.59	-0.09	1.00	1.00	-0.48	-0.39	-0.44	-0.57	-0.31	-0.32	0.16	-0.36
Nitratos	-0.01	0.09	-0.21	-0.28	-0.02	0.23	0.07	-0.48	-0.48	1.00	0.08	0.14	0.14	0.13	0.21	-0.16	0.02
OD	0.86	0.99	-0.72	-0.69	0.04	0.80	-0.04	-0.39	-0.39	0.08	1.00	0.98	0.85	0.70	0.67	-0.09	0.97
Ph	0.86	0.99	-0.75	-0.69	-0.05	0.85	0.00	-0.44	-0.44	0.14	0.98	1.00	0.88	0.79	0.75	-0.15	0.98
S.T.	0.78	0.87	-0.60	-0.62	-0.02	0.79	0.09	-0.57	-0.57	0.14	0.85	0.88	1.00	0.74	0.70	-0.15	0.87
T. agua	0.70	0.76	-0.66	-0.56	-0.17	0.76	-0.13	-0.31	-0.31	0.13	0.70	0.79	0.74	1.00	0.94	-0.28	0.79
T. Ambiente °C	0.68	0.74	-0.67	-0.58	-0.09	0.72	-0.24	-0.32	-0.32	0.21	0.67	0.75	0.70	0.94	1.00	-0.23	0.77
Turbiedad	-0.15	-0.09	-0.13	-0.19	0.62	-0.35	0.34	0.16	0.16	-0.16	-0.09	-0.15	-0.15	-0.28	-0.23	1.00	-0.15
WQI	0.87	0.98	-0.73	-0.65	-0.01	0.81	-0.12	-0.36	-0.36	0.02	0.97	0.98	0.87	0.79	0.77	-0.15	1.00

Fuente: Autor

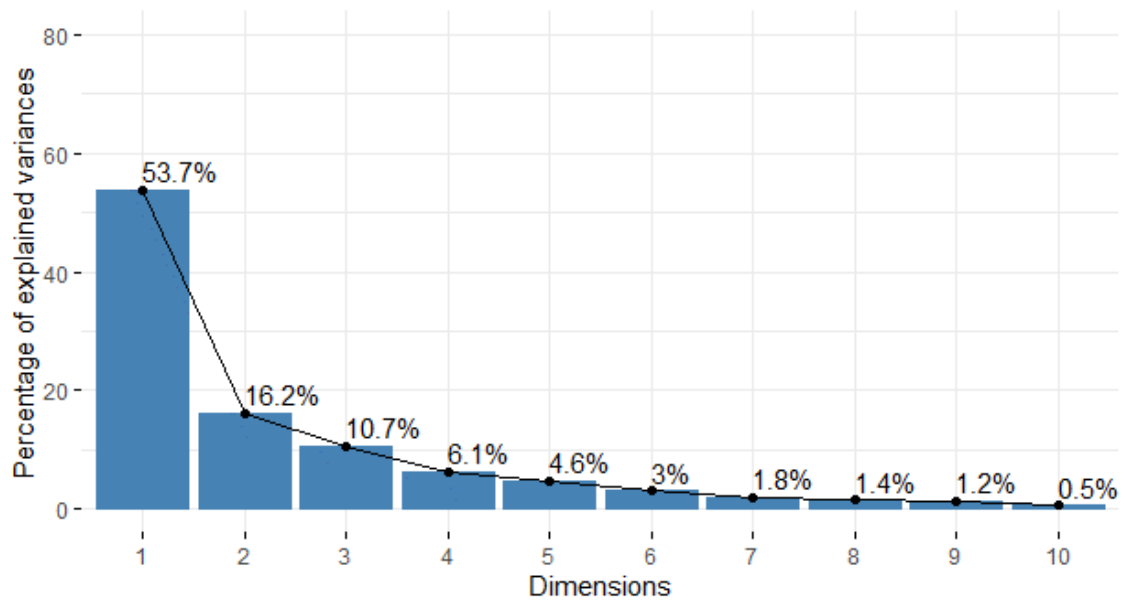
Tabla 23. Componentes principales calidad buena, piso climático paramo bajo

	PC1	PC2	PC3
BMWP	0.304	0.099	-0.188
% de Saturación Oxígeno Disuelto	0.324	0.074	-0.071
Coliformes Fecales (NMP/100ml)	-0.248	-0.317	-0.036
Coliformes Totales (NMP/100ml)	-0.226	-0.319	-0.110
Color Aparente (UC)	-0.015	0.600	0.090
Conductividad(us/cm)	0.316	-0.190	-0.030
DBO5 (mg/l)	-0.017	0.245	0.491
Fosfatos a partir de Fósforo Total	-0.156	0.278	-0.365
Fósforo Total (ug/litro)	-0.156	0.279	-0.365
Nitratos + Nitritos (ug/litro)	0.127	-0.128	0.593
Oxígeno Disuelto (mg/l)	0.291	0.069	-0.064
pH	0.321	0.025	-0.026
Sólidos Totales (mg/l)	0.269	0.002	0.036
Temperatura Agua 1 °C	0.292	-0.089	-0.098
Temperatura Ambiente °C	0.283	-0.066	-0.086
Turbiedad (NTU)	-0.059	0.369	0.192
Water Quality Index	0.310	0.032	-0.134

Fuente: Autor

En la Tabla 23, se puede observar los componentes principales obtenidos mediante el análisis de componentes principales robusto, el número de componentes principales fue determinado mediante el porcentaje de varianza acumulada que se presenta en la Ilustración 33, es decir, que cumplan más del 70% en la suma de los componentes. En este análisis, se obtuvo tres componentes principales (PC1, PC2 y PC3) a partir de las variables originales. Cada componente representa una combinación lineal de las variables originales, de tal manera que la mayor parte de la varianza total de los datos se explica por los primeros componentes.

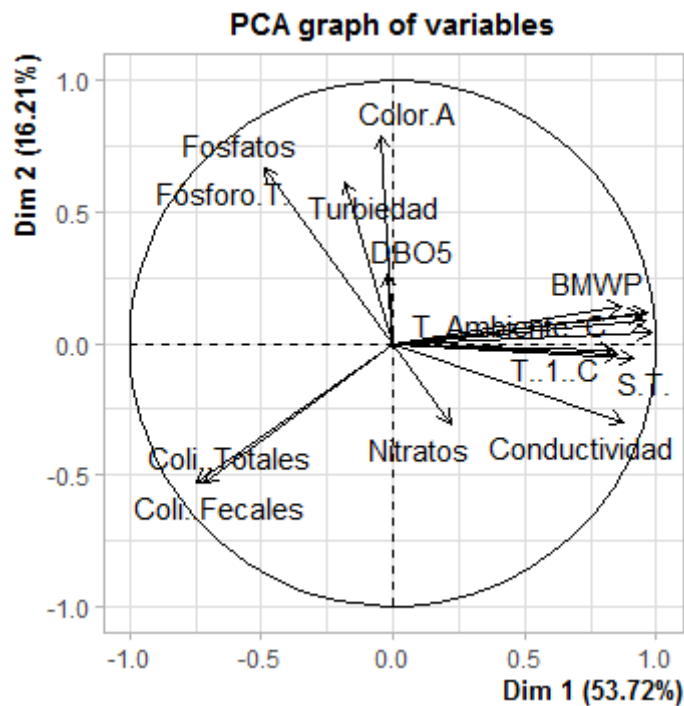
Ilustración 33. Porcentaje de varianza de la calidad buena, piso climático páramo bajo



Fuente: Autor

Componentes principales de la calidad buena del piso climático páramo bajo.

Ilustración 34 . ACP para la calidad buena del piso climático páramo bajo



Fuente: Autor

En la Ilustración 34, el componente PC1 explica el 53.72% de la varianza total, lo que sugiere que es un componente importante y se puede observar que está representado por % de saturación de oxígeno, pH y conductividad. El índice de calidad biológica BMWP está relacionado directamente con % de saturación de oxígeno disuelto, oxígeno disuelto, pH, sólidos totales, temperatura del agua, temperatura ambiente y WQI. La correlación que tiene con los parámetros: % de saturación de oxígeno disuelto ($r= 0.87$), WQI ($r= 0.87$), pH ($r=0.86$), oxígeno disuelto ($r= 0.86$), sólidos totales (0.78), temperatura del agua ($r= 0.70$), temperatura ambiente ($r= 0.68$) y conductividad ($r= 0.66$). Las variables coliformes fecales y coliformes totales están relacionadas entre sí y estas se consideran como indicadores de la presencia de patógenos y contaminación del agua.

El componente 2 explica alrededor del 16.21% de la varianza y está representado fuertemente por el color aparente; este parámetro tiene una correlación directa con la turbidez ($r= 0.62$), se le puede atribuir a que el color del agua se debe a la presencia de materia orgánica natural, como pueden ser partículas disueltas o en suspensión y estas son responsables de la turbidez del agua.

El componente 3 indica el 10.7% de la varianza y está representado por los Nitratos + Nitritos los cuales presenta correlación con la conductividad.

Análisis de la calidad dudosa del piso climático páramo bajo

En la Tabla 24 se puede observar que la correlación de Pearson realizada para el análisis del piso climático páramo bajo de la calidad dudosa, se determinó que el índice de calidad biológica BMWP está altamente relacionado con los parámetros: WQI ($r= 1$), % de saturación de oxígeno disuelto ($r= 0.99$), oxígeno disuelto ($r= 0.98$), temperatura del agua ($r= 0.97$), temperatura ambiente ($r= 0.96$), pH ($r= 0.94$), conductividad ($r= 0.94$), DBO₅ ($r=0.77$) y sólidos totales ($r=0.76$).

Tabla 24 . Matriz de correlación de Pearson en la calidad dudosa del piso climático paramo bajo

	BM WP	Saturación OD	Coli. Fecales	Coli. Totales	Color A	Conductividad	DBO5	Fosfatos	Fósforo T.	Nitratos	OD	Ph	S.T.	T. 1 °C	T. Ambiente °C	Turbiedad	WQI
BMWP	1.00	0.99	-1.00	-0.94	-0.60	0.94	0.77	-0.69	-0.69	-0.56	0.98	0.94	0.76	0.97	0.96	-0.06	1.00
Saturación OD	0.99	1.00	-1.00	-0.92	-0.68	0.97	0.83	-0.72	-0.72	-0.54	0.99	0.94	0.73	0.95	0.93	-0.13	1.00
Coli. Fecales	-1.00	-1.00	1.00	0.93	0.65	-0.96	-0.80	0.71	0.71	0.55	-0.99	-0.95	-0.75	-0.96	-0.95	0.10	-1.00
Coli. Totales	-0.94	-0.92	0.93	1.00	0.48	-0.85	-0.67	0.40	0.40	0.80	-0.93	-0.98	-0.93	-0.99	-0.88	0.15	-0.95
Color A	-0.60	-0.68	0.65	0.48	1.00	-0.84	-0.97	0.60	0.60	0.31	-0.73	-0.66	-0.43	-0.56	-0.39	0.69	-0.63
Conductividad	0.94	0.97	-0.96	-0.85	-0.84	1.00	0.94	-0.72	-0.72	-0.51	0.98	0.93	0.70	0.90	0.82	-0.35	0.95
DBO5	0.77	0.83	-0.80	-0.67	-0.97	0.94	1.00	-0.64	-0.64	-0.45	0.87	0.81	0.59	0.74	0.58	-0.60	0.80
Fosfatos	-0.69	-0.72	0.71	0.40	0.60	-0.72	-0.64	1.00	1.00	-0.19	-0.68	-0.47	-0.07	-0.49	-0.71	-0.16	-0.67
Fósforo T.	-0.69	-0.72	0.71	0.40	0.60	-0.72	-0.64	1.00	1.00	-0.19	-0.68	-0.47	-0.07	-0.49	-0.71	-0.16	-0.67
Nitratos	-0.56	-0.54	0.55	0.80	0.31	-0.51	-0.45	-0.19	-0.19	1.00	-0.59	-0.78	-0.97	-0.76	-0.43	0.47	-0.60
OD	0.98	0.99	-0.99	-0.93	-0.73	0.98	0.87	-0.68	-0.68	-0.59	1.00	0.97	0.78	0.96	0.90	-0.23	0.99
Ph	0.94	0.94	-0.95	-0.98	-0.66	0.93	0.81	-0.47	-0.47	-0.78	0.97	1.00	0.91	0.99	0.84	-0.32	0.96
S.T.	0.76	0.73	-0.75	-0.93	-0.43	0.70	0.59	-0.07	-0.07	-0.97	0.78	0.91	1.00	0.90	0.64	-0.39	0.78
T. 1 °C	0.97	0.95	-0.96	-0.99	-0.56	0.90	0.74	-0.49	-0.49	-0.76	0.96	0.99	0.90	1.00	0.90	-0.19	0.98
T. Ambiente °C	0.96	0.93	-0.95	-0.88	-0.39	0.82	0.58	-0.71	-0.71	-0.43	0.90	0.84	0.64	0.90	1.00	0.22	0.94
Turbiedad	-0.06	-0.13	0.10	0.15	0.69	-0.35	-0.60	-0.16	-0.16	0.47	-0.23	-0.32	-0.39	-0.19	0.22	1.00	-0.12
WQI	1.00	1.00	-1.00	-0.95	-0.63	0.95	0.80	-0.67	-0.67	-0.60	0.99	0.96	0.78	0.98	0.94	-0.12	1.00

Fuente: Autor

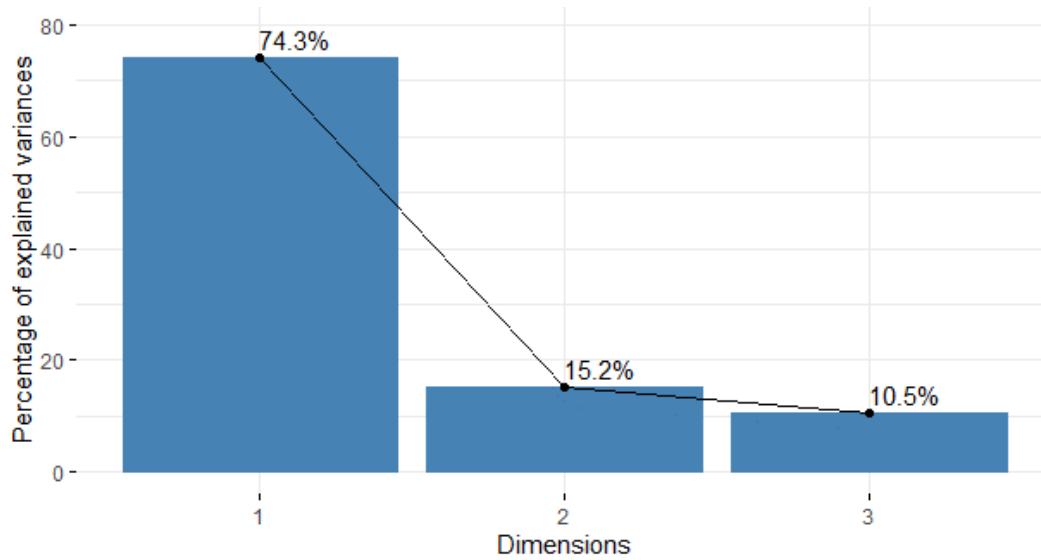
Tabla 25. Componentes principales calidad dudosa, piso climático paramo bajo

	PC1	PC2	PC3
BMWP	0.242	0.067	0.100
% de Saturación Oxígeno Disuelto	0.216	0.067	0.038
Coliformes Fecales (NMP/100ml)	-0.226	-0.066	-0.062
Coliformes Totales (NMP/100ml)	-0.315	0.133	-0.221
Color Aparente (UC)	-0.228	-0.035	0.497
Conductividad(us/cm)	0.228	0.052	-0.099
DBO5 (mg/l)	0.327	0.024	-0.433
Fosfatos a partir de Fósforo Total	-0.180	-0.447	0.095
Fósforo Total (ug/litro)	-0.180	-0.447	0.095
Nitratos + Nitritos (ug/litro)	-0.219	0.520	-0.144
Oxígeno Disuelto (mg/l)	0.204	0.027	0.004
pH	0.291	-0.112	0.048
Sólidos Totales (mg/l)	0.234	-0.323	0.131
Temperatura Agua 1 °C	0.279	-0.075	0.136
Temperatura Ambiente °C	0.321	0.205	0.339
Turbiedad (NTU)	-0.083	0.357	0.544
Water Quality Index	0.229	0.039	0.073

Fuente: Autor

En la Tabla 25 se puede observar los componentes principales obtenidos mediante el análisis de componentes principales robusto, el número de componentes principales fue determinado mediante el porcentaje de varianza acumulada que se presenta en la Ilustración 35, es decir, que cumplan más del 70% en la suma de los componentes. En este análisis, se obtuvo tres componentes principales (PC1, PC2 y PC3) a partir de las variables originales. Cada componente representa una combinación lineal de las variables originales, de tal manera que la mayor parte de la varianza total de los datos se explica por los primeros componentes.

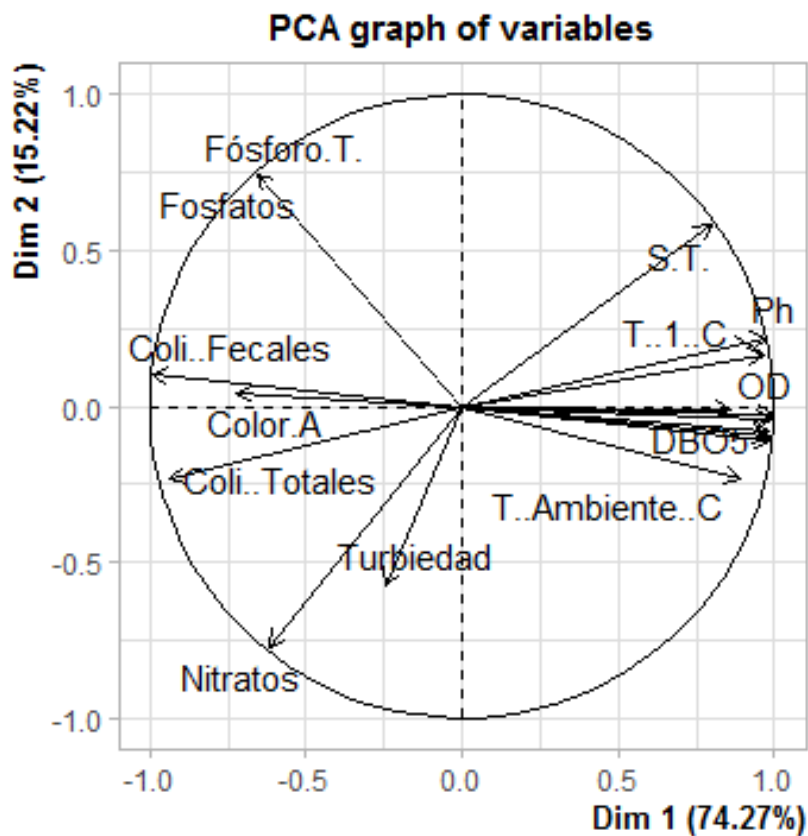
Ilustración 35 . Porcentaje de varianza de la calidad dudosa, piso climático páramo bajo



Fuente: (Autor)

Componentes principales de la calidad dudosa del piso climático páramo bajo

Ilustración 36. ACP para la calidad dudosa del piso climático páramo bajo



Fuente: Autor

En la Ilustración 36 se observa que el componente PC1 explica el 74.27% de la varianza total, lo que sugiere que es un componente importante y se puede observar que está representado por DBO₅, temperatura ambiente y coliformes totales. Los sólidos totales están relacionados directamente con % de saturación de oxígeno disuelto, conductividad, DBO₅, oxígeno disuelto, pH, temperatura del agua, temperatura ambiente y WQI. La correlación que tiene con el pH ($r= 0.91$), temperatura del agua ($r= 0.90$), WQI ($r= 0.78$), oxígeno disuelto ($r=0.78$), índice de calidad biológica BMWP ($r= 0.76$), % de saturación de oxígeno ($r= 0.73$), conductividad ($r= 0.70$), temperatura ambiente ($r= 0.64$), DBO₅ ($r= 0.59$). Los sólidos totales son la materia que permanece como residuo después de la evaporación.

El componente 2 explica alrededor del 15.22% de la varianza y está representado fuertemente por los nitritos + nitratos; este parámetro tiene una correlación directa con las coliformes fecales y coliformes totales, esta correlación se da debido a que tienen las dos variables dan origen a la contaminación del agua.

El componente 3 indica el 10.5% de la varianza y está representado por la turbiedad la cual presenta una alta correlación con el color aparente ($r= 0.67$).

Análisis de la calidad aceptable del piso climático páramo bajo.

Se puede observar en la Tabla 26 la correlación de Pearson realizada para el análisis del piso climático paramo bajo de la calidad aceptable, se determinó que el índice de calidad biológica BMWP está altamente relacionado con los parámetros: % de saturación de oxígeno disuelto ($r= 0.85$), pH ($r= 0.84$), oxígeno disuelto ($r= 0.81$), WQI ($r= 0.80$), temperatura ambiente ($r= 0.73$), temperatura del agua ($r=0.72$) y sólidos totales ($r= 0.59$)

Tabla 26. Matriz de correlación de Pearson en la calidad aceptable del piso climático páramo bajo

	BM WP	Saturación OD	Coli. Fecales	Coli. Totales	Color A	Conductividad	DBO5	Fosfatos	Fósforo T.	Nitratos	OD	Ph	S.T.	T. 1 °C	T. Ambiente °C	Turbiedad	WQI
BMWP	1.00	0.85	-0.53	-0.60	0.15	0.35	0.09	-0.35	-0.35	0.18	0.81	0.84	0.59	0.72	0.73	-0.05	0.80
Saturación OD	0.85	1.00	-0.56	-0.71	0.14	0.43	0.14	-0.45	-0.45	0.23	0.96	0.97	0.68	0.73	0.68	0.07	0.94
Coli. Fecales	-0.53	-0.56	1.00	0.77	-0.32	-0.22	-0.35	-0.13	-0.13	-0.13	-0.53	-0.55	-0.44	-0.51	-0.51	-0.49	-0.58
Coli. Totales	-0.60	-0.71	0.77	1.00	-0.33	-0.32	-0.41	0.13	0.13	-0.22	-0.70	-0.75	-0.65	-0.51	-0.57	-0.40	-0.72
Color A	0.15	0.14	-0.32	-0.33	1.00	-0.66	0.34	0.37	0.37	-0.56	0.23	0.11	0.18	-0.23	-0.22	0.27	0.31
Conductividad	0.35	0.43	-0.22	-0.32	-0.66	1.00	-0.08	-0.63	-0.63	0.75	0.34	0.47	0.36	0.56	0.59	-0.08	0.26
DBO5	0.09	0.14	-0.35	-0.41	0.34	-0.08	1.00	0.02	0.02	-0.33	0.28	0.18	0.41	-0.16	-0.16	0.23	0.24
Fosfatos	-0.35	-0.45	-0.13	0.13	0.37	-0.63	0.02	1.00	1.00	-0.54	-0.38	-0.46	-0.39	-0.39	-0.43	0.06	-0.33
Fósforo T.	-0.35	-0.45	-0.13	0.13	0.37	-0.63	0.02	1.00	1.00	-0.54	-0.38	-0.46	-0.39	-0.39	-0.43	0.06	-0.33
Nitratos	0.18	0.23	-0.13	-0.22	-0.56	0.75	-0.33	-0.54	-0.54	1.00	0.05	0.22	0.00	0.47	0.57	-0.17	0.01
OD	0.81	0.96	-0.53	-0.70	0.23	0.34	0.28	-0.38	-0.38	0.05	1.00	0.94	0.72	0.58	0.55	0.09	0.95
Ph	0.84	0.97	-0.55	-0.75	0.11	0.47	0.18	-0.46	-0.46	0.22	0.94	1.00	0.74	0.74	0.70	0.09	0.95
S.T.	0.59	0.68	-0.44	-0.65	0.18	0.36	0.41	-0.39	-0.39	0.00	0.72	0.74	1.00	0.44	0.46	0.13	0.76
T. 1 °C	0.72	0.73	-0.51	-0.51	-0.23	0.56	-0.16	-0.39	-0.39	0.47	0.58	0.74	0.44	1.00	0.88	0.01	0.62
T. Ambiente °C	0.73	0.68	-0.51	-0.57	-0.22	0.59	-0.16	-0.43	-0.43	0.57	0.55	0.70	0.46	0.88	1.00	0.02	0.58
Turbiedad	-0.05	0.07	-0.49	-0.40	0.27	-0.08	0.23	0.06	0.06	-0.17	0.09	0.09	0.13	0.01	0.02	1.00	0.14
WQI	0.80	0.94	-0.58	-0.72	0.31	0.26	0.24	-0.33	-0.33	0.01	0.95	0.95	0.76	0.62	0.58	0.14	1.00

Fuente: Autor

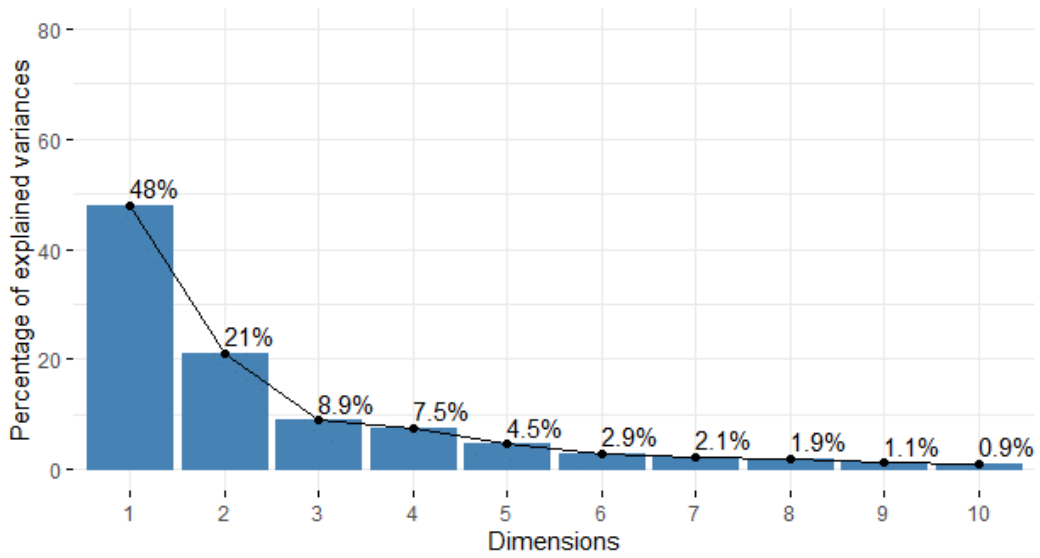
Tabla 27. Componentes principales calidad aceptable, piso climático páramo bajo

	PC1	PC2	PC3
BMWP	0.024	0.255	-0.209
% de Saturación Oxígeno Disuelto	-0.001	0.357	-0.184
Coliformes Fecales (NMP/100ml)	0.127	-0.243	-0.245
Coliformes Totales (NMP/100ml)	0.085	-0.282	-0.303
Color Aparente (UC)	-0.356	0.061	-0.135
Conductividad(us/cm)	0.324	0.140	0.282
DBO5 (mg/l)	-0.290	0.071	0.649
Fosfatos a partir de Fósforo Total	-0.335	-0.127	0.029
Fósforo Total (ug/litro)	-0.335	-0.127	0.026
Nitratos + Nitritos (ug/litro)	0.517	0.103	0.290
Oxígeno Disuelto (mg/l)	-0.125	0.400	-0.185
Ph	0.002	0.359	-0.115
Sólidos Totales (mg/l)	-0.147	0.295	0.272
Temperatura Agua 1 °C	0.162	0.223	-0.095
Temperatura Ambiente °C	0.169	0.198	-0.035
Turbiedad (NTU)	-0.234	0.072	0.041
Water Quality Index	-0.147	0.358	-0.183

Fuente: (Autor)

En la Tabla 27 se puede observar los componentes principales obtenidos mediante el análisis de componentes principales robusto, el número de componentes principales fue determinado mediante el porcentaje de varianza acumulada que se presenta en la Ilustración 37, es decir, que cumplan más del 70% en la suma de los componentes. En este análisis, se obtuvo tres componentes principales (PC1, PC2 y PC3) a partir de las variables originales. Cada componente representa una combinación lineal de las variables originales, de tal manera que la mayor parte de la varianza total de los datos se explica por los primeros componentes.

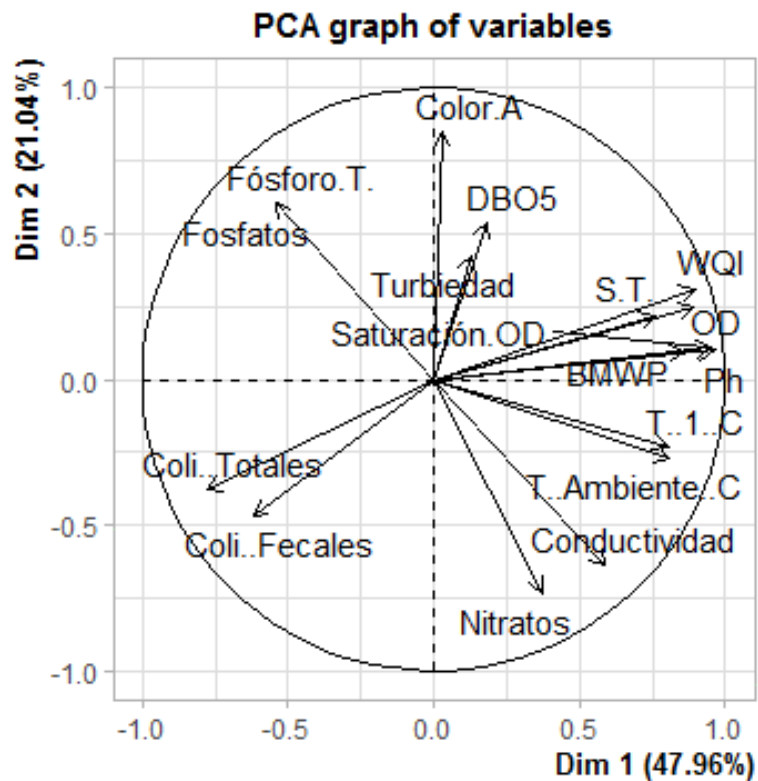
Ilustración 37. Porcentaje de varianza de la calidad aceptable, piso climático páramo bajo



Fuente: Autor

Componentes principales de la calidad aceptable del piso climático páramo bajo

Ilustración 38 . ACP para la calidad aceptable del piso climático páramo bajo



Fuente: Autor

En la Ilustración 38 explica el 47.96% de la varianza total de componente 1, lo que sugiere que es un componente importante y se puede observar que está representado fuertemente por los nitritos + nitratos. El índice de calidad de agua WQI presentan una alta correlación con: Oxígeno disuelto, pH, % de saturación de oxígeno disuelto, índice de calidad biológica BMWP, sólidos totales, temperatura del agua y temperatura ambiente. La correlación que tiene con el oxígeno disuelto ($r= 0.95$), pH ($r= 0.94$), % de saturación de oxígeno disuelto ($r= 0.94$), índice de calidad biológica BMWP ($r= 0.79$), sólidos totales ($r= 0.76$), temperatura del agua ($r=0.62$), temperatura ambiente ($r= 0.58$). El WQI o índice de calidad de agua está altamente correlacionado con todos los parámetros anteriormente mencionados, puesto que todos indican que existe la presencia de una calidad del agua. Además, de acuerdo a los datos analizados en el estudio se encuentra dentro del rango de calidad buena.

El componente 2 explica alrededor del 21% de la varianza y está representado fuertemente por el oxígeno disuelto y se presenta una alta correlación con % de saturación de oxígeno ($r= 0.95$), WQI ($r= 0.95$), pH ($r= 0.93$), índice de calidad biológica BMWP ($r= 0.80$), sólidos totales ($r= 0.71$), temperatura del agua ($r= 0.58$) y temperatura del agua ($r= 0.55$). Esta relación se le atribuye a que la mayoría de organismos necesitan de organismos para sobrevivir y crecer, la insuficiencia de oxígeno disuelto puede causar reducción en el crecimiento, muerte de especies, cambios en las especies, así como también al aumentar la temperatura, disminuye la cantidad de oxígeno disuelto en el agua.

El componente 3 indica el 8.9% de la varianza y está representado por la DBO_5 , el cual presenta correlación con el color aparente. La presencia de materia en suspensión puede producir el color aparente en el agua.

4.5.3. Análisis del piso climático páramo alto

Análisis de la calidad buena del piso climático páramo alto

En la Tabla 28 se puede observar la correlación de Pearson realizada para el análisis del piso climático páramo alto de la calidad buena, se determinó que el índice de calidad biológica BMWP está altamente relacionado con los parámetros: WQI ($r= 0.99$), % de saturación de oxígeno disuelto ($r= 0.98$), oxígeno disuelto ($r= 0.96$), pH (0.93), temperatura ambiente ($r= 0.71$).

Tabla 28. Matriz de correlación de Pearson en la calidad buena del piso climático páramo alto

	BMW P	Satu ración n OD	Coli. Fecales	Coli. Total es	Color A	Cond uctivi dad	DBO 5	Fosf atos	Fósfo ro T.	Nitra tos	OD	Ph	S.T.	T. 1 °C	T. Ambi ente °C	Turb ieda d	WQI
BMWP	1.00	0.98	-0.23	-0.02	0.00	0.54	0.26	-0.68	-0.68	-0.53	0.96	0.93	0.50	0.54	0.71	-0.28	0.99
Saturación OD	0.98	1.00	-0.04	0.08	-0.13	0.49	0.20	-0.81	-0.81	-0.46	0.99	0.95	0.47	0.52	0.62	-0.28	0.98
Coli. Fecales	-0.23	-0.04	1.00	0.65	-0.44	-0.57	-0.08	-0.44	-0.44	0.19	0.03	-0.13	-0.12	-0.45	-0.61	-0.21	-0.22
Coli. Totales	-0.02	0.08	0.65	1.00	-0.18	-0.48	0.47	-0.31	-0.31	-0.56	0.18	-0.12	-0.04	-0.70	-0.60	-0.35	0.03
Color A	0.00	-0.13	-0.44	-0.18	1.00	-0.21	-0.01	0.27	0.27	-0.19	-0.19	-0.13	0.50	-0.15	0.16	0.22	-0.07
Conductividad	0.54	0.49	-0.57	-0.48	-0.21	1.00	-0.29	-0.28	-0.28	-0.05	0.42	0.60	0.35	0.71	0.57	0.39	0.58
DBO5	0.26	0.20	-0.08	0.47	-0.01	-0.29	1.00	0.17	0.17	-0.76	0.31	0.01	-0.40	-0.29	0.09	-0.83	0.28
Fosfatos	-0.68	-0.81	-0.44	-0.31	0.27	-0.28	0.17	1.00	1.00	0.18	-0.79	-0.78	-0.58	-0.29	-0.17	0.02	-0.70
Fósforo T.	-0.68	-0.81	-0.44	-0.31	0.27	-0.28	0.17	1.00	1.00	0.18	-0.79	-0.78	-0.58	-0.29	-0.17	0.02	-0.70
Nitratos	-0.53	-0.46	0.19	-0.56	-0.19	-0.05	-0.76	0.18	0.18	1.00	-0.53	-0.25	-0.17	0.25	-0.18	0.38	-0.56
OD	0.96	0.99	0.03	0.18	-0.19	0.42	0.31	-0.79	-0.79	-0.53	1.00	0.90	0.40	0.42	0.56	-0.38	0.96
Ph	0.93	0.95	-0.13	-0.12	-0.13	0.60	0.01	-0.78	-0.78	-0.25	0.90	1.00	0.50	0.72	0.63	-0.16	0.93
S.T.	0.50	0.47	-0.12	-0.04	0.50	0.35	-0.40	-0.58	-0.58	-0.17	0.40	0.50	1.00	0.15	0.23	0.46	0.47
T. 1 °C	0.54	0.52	-0.45	-0.70	-0.15	0.71	-0.29	-0.29	-0.29	0.25	0.42	0.72	0.15	1.00	0.73	0.11	0.53
T. Ambiente °C	0.71	0.62	-0.61	-0.60	0.16	0.57	0.09	-0.17	-0.17	-0.18	0.56	0.63	0.23	0.73	1.00	-0.08	0.66
Turbiedad	-0.28	-0.28	-0.21	-0.35	0.22	0.39	-0.83	0.02	0.02	0.38	-0.38	-0.16	0.46	0.11	-0.08	1.00	-0.27
WQI	0.99	0.98	-0.22	0.03	-0.07	0.58	0.28	-0.70	-0.70	-0.56	0.96	0.93	0.47	0.53	0.66	-0.27	1.00

Fuente: Autor

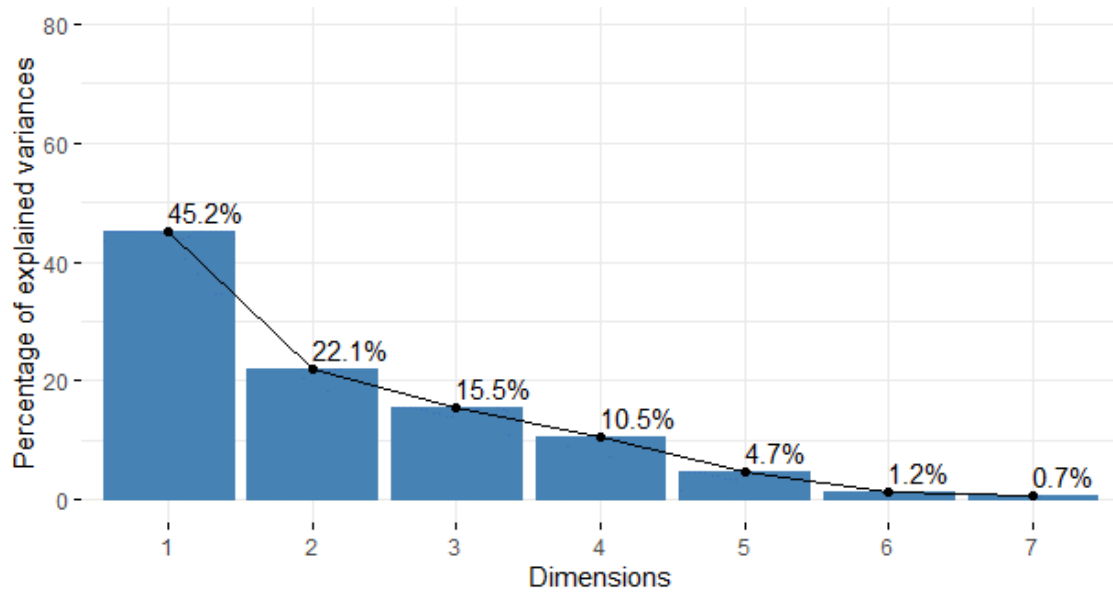
Tabla 29. Componentes principales calidad buena, piso climático paramo alto

	PC1	PC2	PC3
BMWP	0.045	0.136	0.526
% de Saturación Oxígeno Disuelto	0.022	0.105	0.187
Coliformes Fecales (NMP/100ml)	0.207	0.318	-0.150
Coliformes Totales (NMP/100ml)	0.506	0.095	-0.048
Color Aparente (UC)	0.169	-0.181	0.014
Conductividad(us/cm)	-0.270	0.073	0.302
DBO5 (mg/l)	0.283	-0.410	0.141
Fosfatos a partir de Fósforo Total	-0.135	-0.307	-0.165
Fósforo Total (ug/litro)	-0.135	-0.307	-0.165
Nitratos + Nitritos (ug/litro)	-0.422	0.123	-0.192
Oxígeno Disuelto (mg/l)	0.044	0.094	0.181
Ph	-0.044	0.105	0.193
Sólidos Totales (mg/l)	0.273	0.118	0.180
Temperatura Agua 1 °C	-0.403	0.094	0.185
Temperatura Ambiente °C	-0.242	-0.005	0.207
Turbiedad (NTU)	0.018	0.628	-0.323
Water Quality Index	0.053	0.117	0.421

Fuente: Autor

La Tabla 29 explica los componentes principales obtenidos mediante el análisis de componentes principales robusto, el número de componentes principales fue determinado mediante el porcentaje de varianza acumulada que se presenta en la Ilustración 39, es decir, que cumplan más del 70% en la suma de los componentes. En este análisis, se obtuvo tres componentes principales (PC1, PC2 y PC3) a partir de las variables originales. Cada componente representa una combinación lineal de las variables originales, de tal manera que la mayor parte de la varianza total de los datos se explica por los primeros componentes.

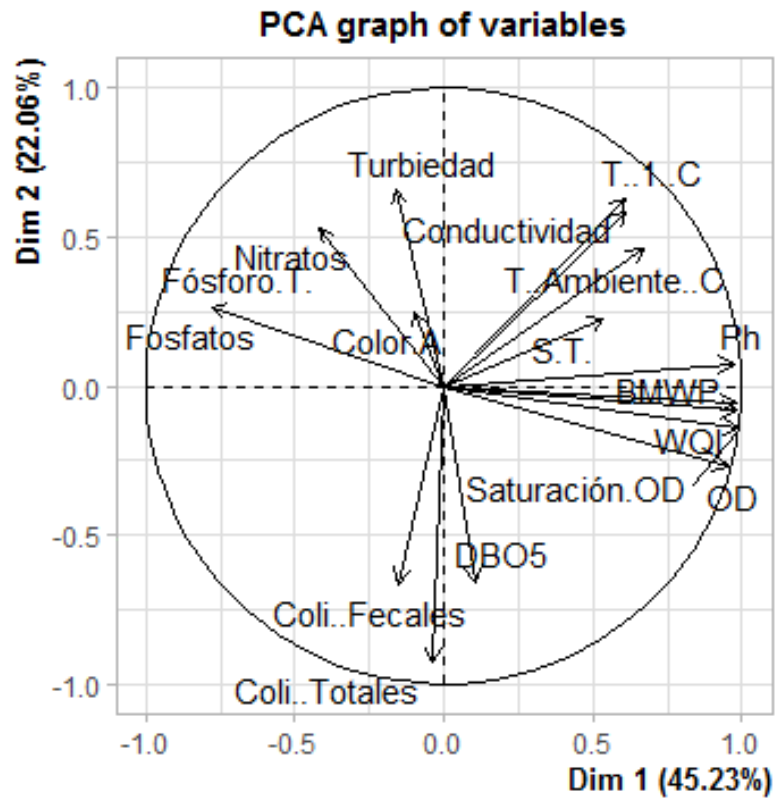
Ilustración 39. Porcentaje de varianza de la calidad buena, piso climático páramo alto



Fuente: Autor

Componentes principales de la calidad buena del piso climático páramo alto

Ilustración 40. ACP para la calidad buena del piso climático paramo alto



Fuente: Autor

En la Ilustración 40, el componente PC1 explica el 45.23% de la varianza total, lo que sugiere que es un componente importante y se puede observar que está representado fuertemente por coliformes fecales y presenta correlación con las coliformes totales (0.65). El pH cuenta con una relación directa con el % de saturación de oxígeno disuelto, WQI, índice de calidad biológica BMWP, oxígeno disuelto, temperatura del agua, temperatura ambiente, conductividad y sólidos totales. La correlación que existe con él % de saturación de oxígeno disuelto ($r= 0.95$), WQI ($r= 0.93$), índice de calidad biológica BMWP ($r= 0.93$), oxígeno disuelto ($r= 0.90$), temperatura del agua ($r= 0.72$), temperatura ambiente (0.63), conductividad (0.60) y sólidos totales ($r= 0.50$). La presencia del pH en sus niveles óptimos en el agua es una determinante clave de la calidad del agua, además nos indica su nivel de acidez o alcalinidad.

El componente 2 explica alrededor del 22.1% de la varianza y está representado fuertemente por la turbiedad y presenta correlación los sólidos totales ($r= 0.46$). La turbidez y los sólidos totales son medidas relacionadas con la claridad del agua superficial. La turbidez es un indicador indirecto de la claridad del agua, que determina la cantidad de luz que pasa a través de ella. Los sólidos totales son una medida directa de las partículas sólidas suspendidas en agua por peso.

El componente 3 indica el 15.5% de la varianza y está representado por el índice de calidad biológica BMWP, con esta presencia se fundamenta en la presencia de familias sensibles o tolerantes a la contaminación del agua.

Análisis de la calidad aceptable del piso climático páramo alto

En la Tabla 30 se puede observar que mediante la correlación de Pearson realizada para el análisis del piso climático páramo alto de la calidad aceptable, se determinó que el índice de calidad biológica BMWP está altamente relacionado con los parámetros: oxígeno disuelto ($r= 0.89$), % de saturación de oxígeno disuelto ($r= 0.85$), pH ($r= 0.84$), temperatura ambiente ($r= 0.83$), temperatura del agua ($r= 0.79$), WQI ($r= 0.76$), sólidos totales ($r= 0.65$) y conductividad ($r= 0.57$).

Tabla 30. Matriz de correlación de Pearson en la calidad aceptable del piso climático páramo alto

	BMW P	Saturación OD	Coli. Fecales	Coli. Totales	Color A	Cond uctividad	DBO 5	Fosfat os	Fósfor o T.	Nitra tos	OD	Ph	S.T.	T. 1 °C	T. Ambi ente °	Turbi edad	WQI
BMWP	1.00	0.85	-0.38	-0.60	-0.36	0.57	0.08	-0.29	-0.29	-0.11	0.89	0.84	0.65	0.79	0.83	0.04	0.76
Saturación OD	0.85	1.00	-0.55	-0.78	-0.57	0.71	0.06	-0.30	-0.30	0.11	0.97	0.95	0.93	0.77	0.83	0.07	0.97
Coli. Fecales	-0.38	-0.55	1.00	0.64	0.13	-0.19	0.15	-0.10	-0.10	-0.53	-0.51	-0.44	-0.48	-0.44	-0.43	-0.30	-0.58
Coli. Totales	-0.60	-0.78	0.64	1.00	0.34	-0.48	0.17	0.15	0.15	-0.49	-0.71	-0.66	-0.76	-0.57	-0.67	-0.34	-0.73
Color A	-0.36	-0.57	0.13	0.34	1.00	-0.89	0.24	-0.16	-0.16	0.28	-0.52	-0.70	-0.68	-0.69	-0.62	0.35	-0.66
Conductividad	0.57	0.71	-0.19	-0.48	-0.89	1.00	-0.15	-0.04	-0.04	-0.19	0.71	0.78	0.69	0.73	0.70	-0.36	0.75
DBO5	0.08	0.06	0.15	0.17	0.24	-0.15	1.00	-0.45	-0.45	-0.25	0.07	-0.10	0.02	-0.10	-0.01	0.38	0.10
Fosfatos	-0.29	-0.30	-0.10	0.15	-0.16	-0.04	-0.45	1.00	1.00	-0.36	-0.22	-0.21	-0.23	-0.22	-0.32	0.03	-0.27
Fósforo T.	-0.29	-0.30	-0.10	0.15	-0.16	-0.04	-0.45	1.00	1.00	-0.36	-0.22	-0.21	-0.23	-0.22	-0.32	0.03	-0.27
Nitratos	-0.11	0.11	-0.53	-0.49	0.28	-0.19	-0.25	-0.36	-0.36	1.00	-0.03	-0.02	0.13	0.02	0.08	0.20	0.09
OD	0.89	0.97	-0.51	-0.71	-0.52	0.71	0.07	-0.22	-0.22	-0.03	1.00	0.92	0.85	0.70	0.75	0.04	0.92

Ph	0.84	0.95	-0.44	-0.66	-0.70	0.78	-0.10	-0.21	-0.21	-0.02	0.92	1.00	0.89	0.83	0.84	-0.18	0.91
S.T.	0.65	0.93	-0.48	-0.76	-0.68	0.69	0.02	-0.23	-0.23	0.13	0.85	0.89	1.00	0.71	0.78	0.07	0.94
T. 1 °C	0.79	0.77	-0.44	-0.57	-0.69	0.73	-0.10	-0.22	-0.22	0.02	0.70	0.83	0.71	1.00	0.97	-0.14	0.80
T. Ambiente °C	0.83	0.83	-0.43	-0.67	-0.62	0.70	-0.01	-0.32	-0.32	0.08	0.75	0.84	0.78	0.97	1.00	-0.07	0.83
Turbiedad	0.04	0.07	-0.30	-0.34	0.35	-0.36	0.38	0.03	0.03	0.20	0.04	-0.18	0.07	-0.14	-0.07	1.00	0.08
WQI	0.76	0.97	-0.58	-0.73	-0.66	0.75	0.10	-0.27	-0.27	0.09	0.92	0.91	0.94	0.80	0.83	0.08	1.00

Fuente: (Autor)

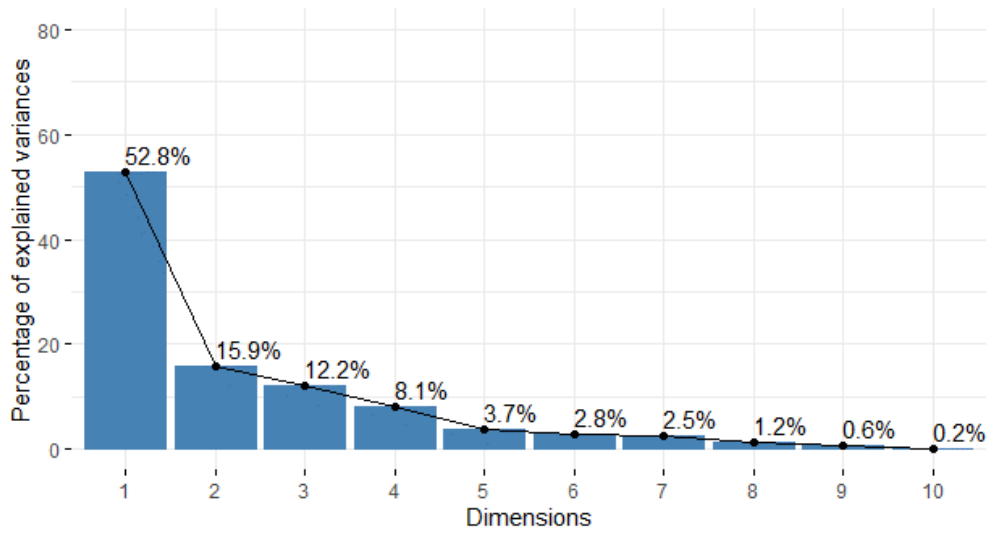
Tabla 31. Componentes principales calidad aceptable, piso climático páramo alto

	PC1	PC2	PC3
BMWP	-0.068	0.240	0.458
% de Saturación Oxígeno Disuelto	0.051	-0.007	0.354
Coliformes Fecales (NMP/100ml)	-0.336	0.478	-0.185
Coliformes Totales (NMP/100ml)	-0.232	0.218	-0.215
Color Aparente (UC)	0.333	0.135	-0.163
Conductividad(us/cm)	-0.228	-0.040	0.182
DBO5 (mg/l)	0.092	0.377	0.001
Fosfatos a partir de Fósforo Total	-0.311	-0.471	-0.077
Fósforo Total (ug/litro)	-0.311	-0.471	-0.077
Nitratos + Nitritos (ug/litro)	0.618	-0.223	0.023
Oxígeno Disuelto (mg/l)	-0.026	0.008	0.346
Ph	-0.099	-0.015	0.292
Sólidos Totales (mg/l)	0.017	-0.053	0.201
Temperatura Agua 1 °C	-0.106	-0.005	0.307
Temperatura Ambiente °C	-0.022	0.051	0.290
Turbiedad (NTU)	0.238	-0.063	0.001
Water Quality Index	0.026	-0.040	0.297

Fuente: (Autor)

La Tabla 31 se observa los componentes principales obtenidos mediante el análisis de componentes principales robusto, el número de componentes principales fue determinado mediante el porcentaje de varianza acumulada que se presenta en la Ilustración 41, es decir, que cumplan más del 70% en la suma de los componentes. En este análisis, se obtuvo tres componentes principales (PC1, PC2 y PC3) a partir de las variables originales. Cada componente representa una combinación lineal de las variables originales, de tal manera que la mayor parte de la varianza total de los datos se explica por los primeros componentes.

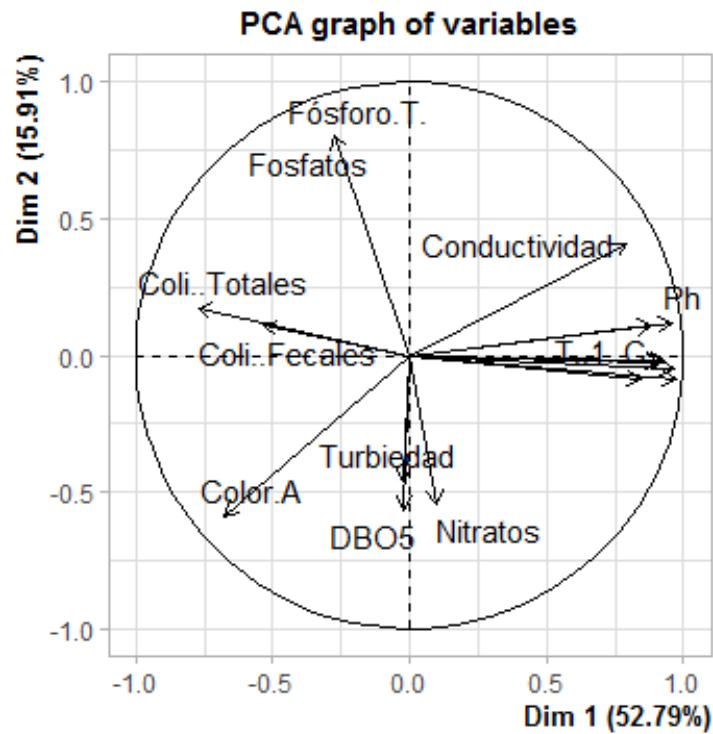
Ilustración 41. Porcentaje de varianza de la calidad aceptable, piso climático páramo alto



Fuente: Autor

Componentes principales de la calidad aceptable del piso climático páramo alto

Ilustración 42. ACP para la calidad aceptable del piso climático páramo alto



Fuente: Autor

En la Ilustración 42 explica el componente PC1 explica el 52.79% de la varianza total, lo que sugiere que es un componente importante y se puede observar que está representado fuertemente por los nitritos + nitratos. La conductividad se relaciona directamente con el pH, WQI, temperatura del agua, % de saturación de oxígeno disuelto, oxígeno disuelto, temperatura ambiente, índice de calidad biológica BMWP y sólidos totales. La correlación que tiene con él pH ($r= 0.78$), WQI ($r= 0.75$), temperatura del agua ($r= 0.73$), % de saturación de oxígeno disuelto ($r= 0.71$), oxígeno disuelto ($r= 0.71$), temperatura ambiente ($r= 0.70$), sólidos totales ($r= 0.69$), índice de calidad biológica BMWP ($r= 0.57$). El contenido de nitratos y nitritos en el agua natural son indicadores importantes de la calidad del agua, los dos están involucrados en el ciclo del nitrógeno en el suelo y las plantas superiores, sin embargo, los nitratos se agregan con los fertilizantes, lo que puede hacer que aumenten sus niveles.

El componente 2 explica alrededor del 15.91% de la varianza y está representado fuertemente por las coliformes fecales y tiene correlación con las coliformes totales ($r= 0.64$) lo que indica que existe una vía de contaminación entre una fuente de bacterias (agua superficial, sistema séptico, desechos animales, etc.) y el suministro de agua, además el fósforo total presenta una alta correlación con los fosfatos a partir de fósforo total ($r=1$).

El componente 3 indica el 12.2% de la varianza y está representado por el índice de calidad biológica BMWP y presenta correlación con: Oxígeno disuelto, % de saturación de oxígeno disuelto, pH, temperatura ambiente, temperatura del agua, WQI, sólidos totales y conductividad.

ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.5.4. Análisis de resultados de componentes principales por pisos climáticos

Mediante el análisis de componentes principales se determinó que dentro de todos los pisos climáticos analizados el componente 1 fue el que obtuvo siempre el mayor porcentaje de la varianza seguido por el componente 2 y componente 3, esto demostró que el componente 1 y componente 2 cumplían con el 70% de la variabilidad.

Dentro del piso climático frío en lo que respecta a la correlación de Pearson las variables que más se correlacionan con el índice de calidad biológica BMWP son: % de saturación de oxígeno, oxígeno disuelto, pH, WQI, temperatura del agua, temperatura ambiente,

conductividad y sólidos totales. El análisis de componentes principales en el componente 1 la calidad aceptable se obtuvo el mayor porcentaje de la variabilidad (69.63%), así también siendo los parámetros: coliformes fecales, coliformes totales, pH, temperatura de agua, % de saturación de oxígeno disuelto y turbiedad los parámetros que representaban fuertemente este componente. En el componente 2 la calidad muy crítica obtuvo el mayor porcentaje de la variabilidad (21.10%), los parámetros que representaron fuertemente a este componente son: DBO₅, turbidez, nitritos + nitratos, color aparente, oxígeno disuelto, % saturación de oxígeno disuelto y presentaron correlación con: color aparente, sólidos totales, turbidez y en la calidad muy crítica presentaron correlación con: % de saturación de oxígeno disuelto, pH, BMWP, WQI, temperatura ambiente y temperatura del agua. En el componente 3 la calidad muy crítica presenta el mayor porcentaje de la variabilidad (13.6%) y está representado fuertemente por fósforo total, fosfatos a partir del fósforo total, turbiedad y color aparente, coliformes fecales y coliformes totales.

En el piso climático páramo bajo dentro de la correlación de Pearson las variables que más se correlacionaban con el índice de calidad biológica BMWP fueron: % de saturación de oxígeno disuelto, WQI, pH, oxígeno disuelto, sólidos totales, temperatura del agua, temperatura ambiente y conductividad. En el análisis de componentes principales en el componente 1 la calidad dudosa (74.27%) dentro de los cuales el % de saturación de oxígeno, pH y conductividad, BMWP, DBO₅, temperatura ambiente y coliformes totales, nitritos + nitratos son las variables que mayormente representan al componente se correlaciona con: % de saturación de oxígeno disuelto, WQI, pH, oxígeno disuelto, sólidos totales, temperatura del agua, temperatura ambiente y conductividad, BMWP. En el componente 2 la calidad aceptable obtuvo el mayor porcentaje de la variabilidad (21%) y los parámetros que representaron a este componente son: color aparente, nitritos + nitratos, oxígeno disuelto. Y tuvieron correlación con: turbidez, coliformes fecales, coliformes totales. Y en la calidad aceptable presentaron correlación con: % de saturación de oxígeno, WQI, pH, BMWP, sólidos totales, temperatura del agua y temperatura del agua. En el componente 3 la calidad buena presentó el mayor porcentaje de la variabilidad (10.7%) y este componente está representado por nitritos + nitratos, turbiedad, color aparente, DBO₅.

En el piso climático páramo alto dentro de la correlación de Pearson las variables que más se correlacionaban con el índice de calidad biológica BMWP fueron: % de saturación de oxígeno disuelto, WQI, pH, oxígeno disuelto, sólidos totales, temperatura del agua,

temperatura ambiente y conductividad. Mediante el análisis de componentes principales el componente 1 en la calidad aceptable se obtuvo el mayor % de varianza (52.79%), y sus parámetros que más los representan son: coliformes fecales, coliformes totales, y nitritos + nitratos, además se presenta las variables: % de saturación de oxígeno disuelto, WQI, BMWP, oxígeno disuelto, temperatura del agua, temperatura ambiente, conductividad, sólidos totales y pH. El componente 2 está presente la turbiedad, sólidos totales, coliformes fecales y coliformes totales. Y en lo que respectan al componente 3 está representado por el BMWP.

Tabla 32. ACP, parámetros por piso climático

Piso clima	Calidad	Componente 1	Componente 2	Componente 3
FRIO	Buena Aceptable Dudosa Crítica Muy Crítica	-Coliformes fecales -Coliformes totales, -% de saturación de oxígeno disuelto, -BMWP -Conductividad -pH -sólidos totales -temperatura del agua -temperatura ambiente -WQI -Nitritos + nitratos	Dbo5 Turbidez Color aparente Sólidos totales Nitritos + Nitratos Color Aparente	Fósforo total Fosfatos a partir del fósforo total Turbiedad Color aparente
PARAMO BAJO	Buena Dudosa Aceptable	% de saturación de oxígeno pH conductividad. BMWP WQI oxígeno disuelto sólidos totales temperatura del agua	Color aparente Turbidez Nitritos + nitratos Coliformes fecales Coliformes totales	Nitritos + Nitratos Turbiedad Color aparente DBO ₅

		temperatura ambiente coliformes fecales coliformes totales DBO ₅	Oxígeno disuelto	
PARAMO ALTO	Buena Aceptable	Coliformes fecales Coliformes totales Ph % de saturación de oxígeno BMWP Oxígeno disuelto Temperatura agua Temperatura ambiente Conductividad Sólidos totales WQI	Turbiedad Sólidos totales Coliformes fecales Coliformes totales	BMWP Oxígeno disuelto % de saturación de oxígeno disuelto pH temperatura ambiente temperatura del agua WQI Sólidos totales conductividad.

Fuente: (Autor)

4.5.5. Análisis de resultados de componentes principales por el tipo de calidad

Calidad buena

La calidad buena del índice de calidad biológica BMWP en la correlación de Pearson tanto en el piso climático frío como el páramo bajo y páramo alto se encuentra altamente correlacionado por los parámetros: pH, oxígeno disuelto, WQI, temperatura del agua, temperatura ambiente, % de saturación de oxígeno, conductividad y sólidos totales.

En lo que respecta al análisis de componentes principales, el componente 1 el piso climático frío fue el que obtuvo el mayor porcentaje de varianza (66.44%), en el componente 2 y componente 3 el piso climático páramo alto obtuvo el mayor porcentaje de varianza (22.1%), (15.5%) respectivamente.

En la calidad buena del piso climático frío en el componente 1 estuvieron presentes los siguientes parámetros: coliformes fecales, coliformes totales, % de saturación de oxígeno disuelto, oxígeno disuelto, además el índice de calidad biológica BMWP está relacionado con el % de saturación de oxígeno, conductividad, oxígeno disuelto, pH, sólidos totales, temperatura del agua, temperatura ambiente y WQI. El componente 2 fue representado fuertemente por la DBO₅ y la turbidez y estos presentaron correlación con el color aparente y sólidos totales. Con respecto al componente 3 los parámetros que estuvieron presentes en este fueron: fósforo total, fosfatos a partir de Fósforo Total y DBO₅.

En la calidad buena del piso climático páramo bajo en el componente 1 estuvieron presentes los siguientes parámetros: saturación de oxígeno, pH, conductividad y existió una alta correlación presente entre el índice de calidad biológica BMWP con: % de saturación de oxígeno disuelto, WQI, pH, oxígeno disuelto, sólidos totales, temperatura del agua, temperatura ambiente y conductividad. En el componente 2 fue representado fuertemente por el color aparente y ese se correlaciona con la turbidez. El componente 3 fue representado por la variable nitritos + nitratos.

En la calidad buena del piso climático páramo alto en el componente 1 estuvo representado por: coliformes fecales, nitritos + nitratos y temperatura del agua, de igual manera el pH contó con una alta relación con: % de saturación de oxígeno disuelto, WQI, índice de calidad biológica BMWP, oxígeno disuelto, temperatura del agua, temperatura ambiente, conductividad y sólidos totales. Con el componente 2 se obtuvo una correlación de la turbiedad con los sólidos totales. El parámetro de índice de calidad biológica BMWP representó fuertemente el componente 3.

Calidad aceptable

La calidad aceptable del índice de calidad biológica BMWP en la correlación de Pearson tanto en el piso climático frío como el páramo bajo y páramo alto se encuentra altamente correlacionado por los parámetros: % saturación de oxígeno disuelto, oxígeno disuelto, pH, WQI, Temperatura agua, temperatura ambiente, conductividad, sólidos totales, WQI.

En lo que respecta al análisis de componentes principales, el componente 1 el piso climático frío fue el que obtuvo el mayor porcentaje de varianza (66.44%), en el componente 2 y componente 3 el piso climático páramo alto obtuvo el mayor porcentaje de varianza (22.1%), (15.5%) respectivamente.

En el análisis de componentes principales el componente 1 el piso climático frío fue el que obtuvo el mayor porcentaje de varianza (69.63%), en el componente 2 del piso climático páramo bajo obtuvo el mayor porcentaje de varianza (21%) y el piso climático páramo alto obtuvo el (12.2%) del porcentaje de la varianza por lo que corresponde al mayor porcentaje del componente 3.

En la calidad aceptable del piso climático frío en el componente 1 los parámetros que estuvieron presentes son: coliformes fecales, coliformes totales. Por otra parte, la conductividad está relacionado con el índice de calidad biológica BMWP, % de saturación de oxígeno, oxígeno disuelto, pH, sólidos totales, temperatura del agua, temperatura ambiente y WQI. La variable fosfatos a partir del fósforo total está estrechamente relacionado con el fósforo total, coliformes fecales, coliformes totales, y DBO₅. El componente 2 fue representado nitritos + nitratos. Con respecto al componente 3 los parámetros que estuvieron presentes en este fueron: turbiedad y color aparente los mismos que presentaron correlación entre sí.

En la calidad aceptable del piso climático páramo bajo en el componente 1 los parámetros que estuvieron presentes son: nitritos + nitratos, del mismo modo se presentó una correlación alta del WQI con oxígeno disuelto, pH, % de saturación de oxígeno disuelto, índice de calidad biológica BMWP, sólidos totales, temperatura del agua y temperatura ambiente. En el componente 2 fue notoria la presencia de oxígeno disuelto y represento relación con: % de saturación de oxígeno, WQI, pH, índice de calidad biológica BMWP, sólidos totales, temperatura del agua y temperatura del agua. El componente 3 fue representado por la DBO₅.

El piso climático páramo alto en el componente 1 tuvo la presencia de nitritos + nitratos, la conductividad presento correlación con: pH, WQI, temperatura del agua, % de saturación de oxígeno disuelto, oxígeno disuelto, temperatura ambiente, sólidos totales, índice de calidad biológica BMWP. En lo que concierne al componente 2 este fue representado por las coliformes fecales y coliformes totales. En el componente 3 se tuvo la presencia del índice de calidad biológica BMWP y su relación fue con: Oxígeno disuelto, % de saturación de oxígeno disuelto, pH, temperatura ambiente, temperatura del agua, WQI, sólidos totales y conductividad.

Calidad dudosa

En la calidad dudosa el índice de calidad biológica BMWP en la correlación de Pearson tanto en el piso climático frío como el páramo bajo se encuentra altamente correlacionado por los parámetros: % saturación de oxígeno disuelto, oxígeno disuelto, pH, WQI, Temperatura agua, temperatura ambiente, conductividad, sólidos totales, WQI.

En lo que respecta al análisis de componentes principales, el componente 1 el piso climático páramo bajo fue el que obtuvo el mayor porcentaje de varianza (74.27%), en el componente 2 y componente 3 el piso climático páramo bajo obtuvo el mayor porcentaje de varianza (15.22%), (10.5%) respectivamente.

En el componente 1 del piso climático frío, se vio representado por coliformes totales y pH, asimismo la conductividad fue relacionada con: BMWP, % de saturación de oxígeno, oxígeno disuelto, pH, sólidos totales, temperatura del agua, temperatura ambiente y WQI. La variable Fosforo total está estrechamente relacionado con los fosfatos a partir del fósforo total, coliformes fecales, coliformes totales y DBO₅. En el componente 2 la correlación que se presentó fue de la turbiedad y el color aparente. Y por último el fósforo total fue el que representó al componente 3.

En el piso climático páramo bajo el componente 1 fue representado por la temperatura ambiente y coliformes totales. Además, los sólidos totales presentaron relación con: el pH, temperatura del agua, WQI, oxígeno disuelto, índice de calidad biológica BMWP, % de saturación de oxígeno, conductividad, temperatura ambiente, DBO₅. Los nitritos + nitratos se hicieron presentes en el componente 2. Para el componente 3 se presentó una correlación entre el color aparente y la turbidez.

Calidad crítica

La calidad crítica únicamente se encontró en el piso climático frío en el mismo que el índice de calidad biológica BMWP en la correlación de Pearson presentó correlacionado con los parámetros: WQI, pH, temperatura del agua, temperatura ambiente, % de saturación de oxígeno, oxígeno disuelto y conductividad.

En lo que respecta al análisis de componentes principales, el componente 1 obtuvo el (55.37%) de varianza, en el componente 2 y componente 3 la varianza fue de (15.32%) y (9.3%) respectivamente.

En el componente 1 se vio representado por temperatura de agua, % de saturación de oxígeno disuelto y pH. La temperatura tiene correlación con BMWP, % de saturación de oxígeno, conductividad, oxígeno disuelto, pH, temperatura ambiente y WQI. En el componente 2 existió una correlación entre el color aparente y la turbiedad. En el componente 3 se presentó la correlación entre el fósforo total y los fosfatos a partir del fósforo total.

Calidad muy crítica

La calidad muy crítica únicamente se presentó en el piso climático frío en el mismo que el índice de calidad biológica BMWP en la correlación de Pearson presento correlacionado con los parámetros: WQI, pH, % de saturación de oxígeno, oxígeno disuelto, temperatura ambiente y temperatura del agua.

En el análisis de componentes principales se pudo observar que el componente 1 obtuvo el (53.45%), en el componente 2 (21.10%) y en el componente 3 (13.6%) de varianza.

El componente 1 se vio representado por la turbiedad, en el componente 2 el oxígeno disuelto presento correlación con: % de saturación de oxígeno disuelto, pH, índice de calidad biológica BMWP, WQI, temperatura ambiente y temperatura del agua.

Tabla 33. ACP, parámetros por calidad de piso climático

Piso climático	Calidad	Componente 1	Componente 2	Componente 3
FRIO	Buena	-Coliformes fecales -Coliformes totales, -% de saturación de oxígeno disuelto, -BMWP -Conductividad -pH -Sólidos totales -Temperatura del agua -Temperatura ambiente -WQI	-DBO ₅ -Turbidez -Color aparente -Sólidos totales	-Fósforo total -Fosfatos a partir del fósforo total -DBO ₅

FRIO	Aceptable	<ul style="list-style-type: none"> -Coliformes fecales -Coliformes totales -Conductividad -BMWP -% de saturación de oxígeno -Oxígeno disuelto -pH -Sólidos totales -Temperatura del agua -Temperatura ambiente -WQI -Fosfatos a partir del - Fósforo total -DBO₅. 	<ul style="list-style-type: none"> -Nitritos + nitratos 	<ul style="list-style-type: none"> -Turbiedad -Color aparente
FRIO	Dudosa	<ul style="list-style-type: none"> -Coliformes totales -pH -Conductividad -BMWP -% de saturación de oxígeno -Oxígeno disuelto -Sólidos totales -Temperatura del agua -Temperatura ambiente -WQI -Fósforo total -Fosfatos a partir del fosforo total -Coliformes fecales -Coliformes totales -DBO₅ 	<ul style="list-style-type: none"> -Turbiedad -Color aparente 	<ul style="list-style-type: none"> -Fósforo total

FRIO	Crítica	-Temperatura de agua -% de saturación de oxígeno disuelto -Ph -BMWP -Conductividad -Oxígeno disuelto -Temperatura ambiente -WQI	-Color aparente -Turbiedad	- Fósforo total -Fosfatos a partir del fosforo total.
FRIO	Muy Crítica	- Turbiedad	-Oxígeno disuelto -% de saturación de oxígeno disuelto -Ph -BMWP -WQI Temperatura ambiente -Temperatura del agua	
FRIO	Muy Crítica	- Turbiedad	-Oxígeno disuelto -% de saturación de oxígeno disuelto -Ph -BMWP -WQI Temperatura ambiente -Temperatura del agua	

PARAMO BAJO	Buena	-% de saturación de oxígeno - pH -Conductividad. BMWP -WQI -Oxígeno disuelto -Sólidos totales -Temperatura del agua -Temperatura ambiente - Conductividad	-Color aparente -Turbidez	Nitritos + Nitratos
PARAMO BAJO	Dudosa	-Temperatura ambiente -Coliformes totales -pH -Conductividad -BMWP -% de saturación de oxígeno -Oxígeno disuelto -Sólidos totales -Temperatura del agua -WQI -DBO ₅	- Nitritos + Nitratos	-Color aparente - Turbidez
PARAMO BAJO	Aceptable	-Nitritos + nitratos -WQI -Oxígeno disuelto -pH -% de saturación de oxígeno disuelto -BMWP -Sólidos totales -Temperatura del agua -Temperatura ambiente	-Oxígeno disuelto -% de saturación de oxígeno -WQI -Ph -BMWP -Sólidos totales -Temperatura del agua	-DBO ₅

			Temperatura ambiente	
PARAMO ALTO	Buena	-Coliformes fecales -Coliformes totales -Nitritos + Nitratos -Ph -% de saturación de oxígeno -BMWP -Oxígeno disuelto -Temperatura agua --Temperatura ambiente Conductividad	Turbiedad Sólidos totales	-BMWP
PARAMO ALTO	Aceptable	-Nitritos + nitratos -pH, -WQI -Temperatura del agua -% de saturación de oxígeno disuelto -Oxígeno disuelto -Temperatura ambiente -Sólidos totales -BMWP	-Coliformes fecales -Coliformes totales	- BMWP -Oxígeno disuelto -% de saturación de oxígeno disuelto -pH, -Temperatura ambiente -Temperatura del agua -WQI -Sólidos totales -Conductividad.

Fuente: (Autor)

4.6. Resultados del análisis umbrales permisibles con la normativa ambiental

4.6.1. Piso climático frío

En el análisis del cumplimiento de la normativa del piso climático frío se puede determinar que no todos los parámetros se encuentran dentro del rango permisible de acuerdo a la normativa que rige en Ecuador, además se ha determinado que el índice BMWP no es el más adecuado para el correcto cálculo del índice de calidad biológica del agua, ya que según (Jerves-Cobo, Córdova-Vela, et al., 2018; Jerves-Cobo, Lock, et al., 2018) el índice ABI es el más apropiado para los Andes.

En este piso climático se pudo determinar que conforme se va deteriorando la calidad es decir va bajando de buena a muy crítica más parámetros van incumpliendo con los límites permisibles establecidos en la normativa.

En la calidad buena se aprecia que en algunos puntos de las estaciones: TAR-POR-CONTROL (rio Tarqui), MAC-BL-CONTROL (rio Machángara) y TOM-MZ-CONTROL (rio Tomebamba), además se puede observar en la Tabla 34 que no se cumple con la normativa de coliformes fecales, ni del índice de calidad biológica BMWP, sin embargo, estos puntos no pueden ser ratificados porque no existen valores de caudales y no se podría realizar una comparación por tal motivo son descartados estos puntos del respectivo análisis.

Tabla 34. Evaluación de límites máximos permisibles en la calidad buena, piso climático frío.

Parámetro	Resultados	Límite	Máximo	Cumplimiento
		Permisible	AM	
Coliformes Fecales	3500 - 2400000 NMP/100 ml	2000 NMP/100 ml		No cumple
Turbiedad	17.10 – 24.50 UTN	10 UTN		No cumple

Fuente: (Autor)

Sin embargo, esta calidad fue decreciendo paulatinamente hasta llegar a la calidad aceptable en la cual tenemos que el WQI se encuentra en la calidad buena y regular, de la misma manera se puede observar en la Tabla 35 que se presentaron los parámetros: coliformes fecales, coliformes totales y la turbiedad que no cumplen con los valores de regulación admisibles.

Tabla 35. Evaluación de límites máximos permisibles en la calidad aceptable, piso climático frío.

Parámetro	Resultados	Límite Permisible	Máximo AM	Cumplimiento
Coliformes Fecales	3300 - 920000 NMP/100 ml	2000 NMP/100 ml		No cumple
Coliformes Totales	130000- 1600000 NMP/100 ml	20000 ml	NMP/100	No cumple
Turbiedad	10.5 – 64.2 UTN	10 UTN		No cumple

Fuente: (Autor)

En la calidad dudosa el WQI se encontró dentro de la calidad buena, regular y mala siendo la calidad regular la que predomina, además como se puede observar en la Tabla 36 se incrementó el incumplimiento de los parámetros de coliformes fecales, coliformes totales, color aparente y turbiedad.

Tabla 36. Evaluación de límites máximos permisibles en la calidad dudosa, piso climático frío.

Parámetro	Resultados	Límite Permisible	Máximo AM	Cumplimiento
Coliformes Fecales	4900 - 1300000 NMP/100 ml	2000 NMP/100 ml		No cumple
Coliformes Totales	33000- 3500000 NMP/100 ml	20000 ml	NMP/100	No cumple
Color Aparente	509 – 920 UC	500 UC		No cumple
Turbiedad	10.1 – 82.8 UTN	10 UTN		No cumple

Fuente: (Autor)

En la calidad crítica el WQI se encontró en la calidad regular; este en mayor porcentaje, además se encontró en la calidad buena y mala, asimismo como se puede observar en la Tabla 37 se presentó el incumplimiento de la normativa en los parámetros de: % de saturación de oxígeno, coliformes fecales, coliformes totales, color aparente, DBO₅, oxígeno disuelto y turbiedad.

Tabla 37. Evaluación de límites máximos permisibles en la calidad crítica, piso climático frío.

Parámetro	Resultados	Límite Permisible	Máximo AM	Cumplimiento
097A				
% Saturación de oxígeno	76 % de saturación	> 80		No cumple
Coliformes Fecales	6800 – 16000000 NMP/100 ml	2000 NMP/100 ml		No cumple
Coliformes Totales	33000- 16000000 NMP/100 ml	20000 ml	NMP/100	No cumple
Límite Máximo				
Parámetro	Resultados	Permisible	AM	Cumplimiento
097A				
Color Aparente	509 – 1450 UC	500 UC		No cumple
DBO ₅	27 mg/l	20 mg/l		No cumple
Oxígeno Disuelto	5.8 mg/l	> 6 mg/l		No cumple
Turbiedad	10.1 – 82.8 UTN	10 UTN		No cumple

Fuente: (Autor)

La calidad muy crítica presentó en su WQI la calidad regular y mala, también se presentó en la Tabla 38 el incumplimiento de la normativa en el % de saturación de oxígeno disuelto, coliformes fecales, coliformes totales, color aparente, DBO₅, oxígeno disuelto y turbiedad.

Tabla 38. Evaluación de límites máximos permisibles en la calidad muy crítica, piso climático frío.

Parámetro	Resultados	Límite	Máximo	Cumplimiento
		Permisible	AM	
% Saturación de oxígeno	62 - 67 % de saturación	> 80		No cumple
Coliformes Fecales	45000 – 2300000 NMP/100 ml	2000 NMP/100 ml		No cumple
Coliformes Totales	78000 - 3300000 NMP/100 ml	20000 ml	NMP/100	No cumple
Color Aparente	880 - 1608 UC	500 UC		No cumple
DBO ₅	21 – 29 mg/l	20 mg/l		No cumple
Oxígeno Disuelto	4.9 - 5.9 mg/l	> 6 mg/l		No cumple
Turbiedad	10.3 – 244 UTN	10 UTN		No cumple

Fuente: (Autor)

4.6.2. Análisis piso climático páramo bajo

En el análisis del cumplimiento de la normativa del piso climático páramo bajo se puede determinar que no todos los parámetros se encuentran dentro del rango permisible de acuerdo a la normativa que rige en Ecuador.

En este piso climático se pudo determinar que consta de la calidad buena, aceptable y dudosa, conforme se va deteriorando es decir la calidad va bajando de buena a dudosa y así más parámetros van incumpliendo con los límites permisible establecidos en la normativa.

En la calidad buena tenemos que el WQI se encuentra en la calidad buena y en menor porcentaje en la calidad regular, además se pudo determinar que todos los parámetros en esta calidad se encuentran dentro de los límites permisibles.

Sin embargo, esta calidad fue decreciendo paulatinamente hasta llegar a la calidad aceptable en la cual tenemos que el WQI se encuentra en la calidad buena y regular, también se presentó el incumplimiento de los parámetros en las coliformes totales y turbiedad como se puede observar en la Tabla 39.

Tabla 39. Evaluación de límites máximos permisibles en la calidad aceptable, piso climático páramo bajo

Parámetro	Resultados	Límite	Máximo	Cumplimiento
		Permisible	AM	
Coliformes Fecales	3500 NMP/100 ml	2000 NMP/100 ml		No cumple
Turbiedad	70.98 UTN	10 UTN		No cumple

Fuente: (Autor)

En la calidad dudosa el WQI se encontró dentro de la calidad buena y regular en la Tabla 40 se puede observar que así mismo en esta calidad se presentó el incumplimiento del parámetro de pH.

Tabla 40. Evaluación de límites máximos permisibles en la calidad dudosa, piso climático páramo bajo.

Parámetro	Resultados	Límite	Máximo	Cumplimiento
		Permisible	AM	
pH	6.1 Unidades de pH	6.5 – 9 Unidades de pH		No cumple

Fuente: (Autor)

4.6.3. Análisis piso climático páramo alto

En el análisis del cumplimiento de la normativa del piso climático páramo alto se puede determinar que en su mayoría los parámetros se encuentran dentro del rango permisible de acuerdo a la normativa que rige en Ecuador.

En este piso climático se pudo determinar que consta de la calidad buena y aceptable y en su totalidad cuenta con el cumplimiento de los parámetros a excepción de la estación YAN-IZH-020 que en el pH presenta un leve incumplimiento.

En la calidad buena tenemos que el WQI se encuentra en la calidad buena y todos sus parámetros se encuentran dentro del límite permisible.

En la tabla 41 se puede observar la calidad aceptable y tan solo el pH presenta un incumplimiento en la estación YAN-IZH-020 y su WQI se encuentra dentro de la calidad buena.

Tabla 41. Evaluación de límites máximos permisibles en la calidad aceptable, piso climático páramo alto

Parámetro	Resultados	Límite Permisible	Máximo AM	Cumplimiento
pH	5.9 Unidades de pH	6.5 – 9 Unidades de pH		No cumple

Fuente: (Autor)

CAPÍTULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- En el análisis de la variabilidad temporal se clasificó en época de lluvia y en época seca, en donde se evidencia que se presentan datos altos y bajos en las dos estaciones, pudiendo así concluir que no todos los parámetros estudiados están directamente relacionados y estos no influyen directamente con las estaciones en las que se encuentren.
- Con respecto al análisis de la variabilidad espacial, la correlación de Pearson mostró altos valores de correlación de los parámetros estudiados con respecto al índice biológico BMWP.
- En el análisis de componentes principales ha permitido resumir de una manera objetiva y ha permitido un mejor análisis de una considerable cantidad de información y en su totalidad se cumplió el 70% del análisis de la varianza con un total de 3 componentes, analizados por cada calidad correspondiente a los pisos climáticos estudiados y los cuales fueron expuestos mediante histogramas del porcentaje de varianza.
- En el análisis de cumplimiento de la normativa fueron descartados los puntos: TAR-POR-CONTROL, MAC-BL-CONTROL y TOM-MZ-CONTROL; ya que se presentó irregularidades en los resultados entregados del índice de calidad biológica BMWP debido a los parámetros de coliformes fecales y coliformes totales, ya que sus datos fueron muy elevados y además no se contaba con los datos de caudales de estas estaciones para poder corroborar la información.
- En el piso climático frío de acorde va descendiendo la calidad se van presentando parámetros que no se encuentran dentro del límite máximo permisible en este caso los parámetros involucrados son: % de saturación de oxígeno disuelto, coliformes fecales, coliformes totales, color aparente, conductividad, DBO₅, pH y turbiedad.
- En los pisos climáticos: páramo bajo y páramo alto existe en un alto porcentaje en los cuales los parámetros se encuentran dentro de los límites máximos permisibles y tan solo los parámetros que incumplen con la normativa en el caso del páramo bajo es: coliformes fecales, pH y turbiedad en la estación TOM-LL-CONTROL, YAN-SOL-CONTROL y YAN-YAN-015 respectivamente y en el caso del piso

climático páramo alto únicamente incumple en límite máximo permisible es el pH en la estación YAN-IZH-020

5.2. Recomendaciones

A partir de los resultados obtenidos en el presente estudio se recomienda:

- En el cálculo del WQI se debe de utilizar el gradiente de temperatura, ya que en los datos entregados por parte de ETAPA EP estos son calculados mediante la temperatura tomada directa en los puntos de muestreo y causa una notable variación en el resultado final del WQI.
- Realizar un adecuado control de los datos ingresados de cada monitoreo, ya que en el análisis de datos se presentó la ausencia de datos importantes como lo es el caudal.
- Adecuar las curvas de descarga para caudal para los distintos puntos de monitoreo.
- Se recomienda el uso del índice de calidad biológica ABI, ya que es el más apropiado para los Andes.
- Continuar los monitoreos de calidad del agua en las estaciones para ampliar la base de datos y estudiar tendencias a largo plazo.

6. REFERENCAS BIBLIOGRAFICAS

- Aconsa. (2021). *Parámetros químicos de calidad del agua*. <https://aconsa-lab.com/parametros-quimicos-calidad-agua-cuales-incluye-la-normativa/#:~:text=de consumo humano.-,Listamos parámetros físicos como el color%2C el olor%2C el sabor,cloro libre o combinado residual>.
- Agroambiente. (n.d.). *El ciclo del agua*.
- Albarracín, S. (2019). *Propuesta de manejo integral de la subcuenca hidrográfica del río Tarquí, provincia del Azuay*.
- Alkarkhi, A., & Alqaraghuli, W. (2020). Applied Statistics For Environmental Science With R. In *Elsevier*.
- Arango, M. C., Álvarez, L. F., Arango, G., Torres, O., & Monsalve, A. de J. (2008). CALIDAD DEL AGUA DE LAS QUEBRADAS LA CRISTALINA Y LA RISARALDA, SAN LUIS, ANTIOQUIA. In *Revista EIA*.
- Bautista, V. I. (2012). “ESTUDIO DE LA CALIDAD DEL AGUA DE LA CUENCA DEL RÌO CHAMBO EN ÉPOCA DE ESTIAJE.”
- Beltrán, K., Salgado, S., Cuesta, F., León-yáñez, S., Romoleroux, K., Ortiz, E., Cárdenas, A., & Velástegui, A. (2009). *Distribución espacial, sistemas ecológicos y caracterización florística de los páramos en el Ecuador Karla*.
- Bolaños Alfaro, J. D., Cordero Castro, G., & Segura Araya, G. (2017). Determinación de nitritos, nitratos, sulfatos y fosfatos en agua potable como indicadores de contaminación ocasionada por el hombre, en dos cantones de Alajuela (Costa Rica). *Revista Tecnología En Marcha*, 30(4), 15. <https://doi.org/10.18845/tm.v30i4.3408>
- Caho-Rodríguez, C. A., & López-Barrera, E. A. (2017). Determinación del Índice de Calidad de Agua para el sector occidental del humedal Torca-Guaymaral empleando las metodologías UWQI y CWQI. *Producción + Limpia*, 12(2), 35–49. <https://doi.org/10.22507/pml.v12n2a3>
- Carbone, M. E., & Piccolo, M. C. (2004). Análisis de los períodos secos y húmedos en la cuenca del Arroyo Claromecó, Argentina. *Papeles de Geografía*, 2004(40), 25–35.
- Cartaya, S., Zurita, S., & Montalvo Párraga, V. (2016). Métodos de ajuste y homogenización de datos climáticos para determinar índice de humedad de Lang en la provincia de Manabí, Ecuador. *La Técnica*, 94–106.
- Castro, L., & Carvajal, Y. (2010). Análisis De Tendencia Y Homogeneidad De Series Climatológicas. *Ingeniería de Recursos Naturales y Del Ambiente*, 9, 15–25.

- Comas, E., Armengol, J., Sabater, S., & Sabater, F. (1998a). *Variabilidad espacial y temporal de la calidad del agua en el río Urola*. 5, 29–36.
- Comas, E., Armengol, J., Sabater, S., & Sabater, F. (1998b). VARIABILIDAD ESPACIAL Y TEMPORAL DE LA CALIDAD DEL AGUA EN EL RÍO UROLA (GUIPUZKOA). *Ingeniería Del Agua*, 5, 29–36.
- Díaz, M., Navarrete, J., & Suárez, T. (2005). Páramos: Hidrosistemas Sensibles. *SciELO*. ETAPA EP. (n.d.). *Red hidrometeorológica del cantón Cuenca*.
- Flores, C., & Flores, K. (2021). Pruebas para comprobarla normalidad de datos en procesos productivos: Anderson- Darling , Ryan-Joiner , Shapiro-Wilk and. *Societas Revistas*, 23(2), 83–97.
- Freund, J., & Simon, G. (1994). *Estadística Elemental* (Prentice H).
- García de la Fuente, C. (2013). Parámetros fisicoquímicos del agua. *Pv Albeitar*, 1, 1–4.
- González Casimiro, M. (2009). Análisis de series temporales: Modelos ARIMA. In *Universidad del País Vasco*.
- Gorla, D. (2002). Variables ambientales registradas por sensores remotos como indicadores de la distribución geográfica de *Triatoma infestans* (Heteroptera: Reduviidae). *Ecología Austral*, 12(2), 117–127.
- Guamán, V. G. (2019). “Análisis de la variabilidad espacial y temporal de la calidad del agua en una zona de páramo húmedo al sur del Ecuador”. Universidad de cuenca.
- Guenni, L., Degryze, E., & Alvarado, K. (2008). Análisis de la tendencia y la estacionalidad de la precipitación mensual en Venezuela. *Revista Colombiana de Estadística*, 31(1), 41–65.
- Guzmán-Colis, G., Thalasso, F., Ramírez-López, E. M., Rodríguez-Narciso, S., Guerrero-Barrera, A. L., & Avelar-González, F. J. (2011). Evaluación espacio-temporal de la calidad del agua del río san pedro en el estado de aguascalientes, México. *Revista Internacional de Contaminacion Ambiental*, 27(2), 89–102.
- Herrera, C., Pacheco, P., Orihuela, M. E., Piñeiros, M. L., & Cobo, E. (2018). *Guía de monitoreo participativo de la calidad de agua*.
- Herrera, J., Rodríguez, S., Rojas, J. F., Herrera, É., & Chaves, M. (2013). Variación temporal y espacial de la calidad de las aguas superficiales en la subcuenca del río Virilla (Costa Rica) entre 2006 y 2010. *Revista de Ciencias Ambientales*, 45(1), 51–62. <https://doi.org/10.15359/rca.45-1.5>

- Hofstede, J., Calles, J., López, V., Polanco, R., Torres, F., Ulloa, J., Vásquez, A., & Cerra, M. (2014). LOS PÁRAMOS ANDINOS. *Tiempos de Crisis Sistémica*, 223–254. <https://doi.org/10.2307/j.ctvpv50bh.8>
- IBM. (2022). *Prueba de Kolmogorov-Smirnov para una muestra*. <https://www.ibm.com/docs/es/spss-statistics/saas?topic=tests-one-sample-kolmogorov-smirnov-test>
- Idarraga, F. (2013). Presiones , Impactos y Efectos Antrópicos sobre los Ríos. *Universidad Nacional de Colombia*, pp 1-5.
- Jerves-Cobo, R., Córdova-Vela, G., Iniguez-Vela, X., Díaz-Granda, C., Van Echelpoel, W., Cisneros, F., Nopens, I., & Goethals, P. L. M. (2018). Model-based analysis of the potential of macroinvertebrates as indicators for microbial pathogens in rivers. *Water (Switzerland)*, 10(4). <https://doi.org/10.3390/w10040375>
- Jerves-Cobo, R., Lock, K., Van Butsel, J., Pauta, G., Cisneros, F., Nopens, I., & Goethals, P. L. M. (2018). Biological impact assessment of sewage outfalls in the urbanized area of the Cuenca River basin (Ecuador) in two different seasons. *Limnologica*, 71, 8–28. <https://doi.org/10.1016/j.limno.2018.05.003>
- Jiménez, F. (2005). *Gestion_integral_de_cuencas_hidrograficas*. In *Recursos, Ciencia y decisión* (Vol. 2, Issues 1659–1224).
- Jiménez, J., & Vélez, O. (2006). *Avances en Recursos Hidráulicos, núm. 14, octubre*. 53–69. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=145020399004>
- Leaño, J., & Perez, D. (2020). *Determinación de la Calidad del Agua mediante el índice BMWP / BOL (bioindicadores ecológicos) del Rio Trancas , Municipio de Entre Ríos - Tarija . 9*, 569–591.
- López, J. F. (2020). *Media aritmética*. <https://economipedia.com/definiciones/media-aritmetica.html>
- Martínez, J. (2012). *Diagnóstico del inventario de recursos hídricos en la provincia del Azuay*. 237.
- Mauricio, J. A. (2007). Análisis de series temporales. In *LADE y LE* (Vol. 1, Issue Análisis temporal).
- Mena Vásconez, P., Castillo, A., Flores, S., Hofstede, R., Josse, C., Lasso, S., Medina, G., Ochoa, N., & Ortiz, D. (2011). Páramo. Paisaje estudiado, habitado, manejado e institucionalizado. In *EcoCiencia/Abya-Yala/ECOBONA. Quito*.
- Mora, D. E., Campozano, L., Cisneros, F., Wyseure, G., & Willems, P. (2014). Climate changes of hydrometeorological and hydrological extremes in the Paute basin,

- Ecuadorean Andes. *Hydrology and Earth System Sciences*, 18(2), 631–648.
<https://doi.org/10.5194/hess-18-631-2014>
- Ochoa Sánchez, A. E., & Rodas Ochoa, M. V. (2009). *Variabilidad espacio temporal de la calidad de agua a escala de microcuenca en zonas de páramo*. Universidad de Cuenca.
- Pauta, G., Velasco, M., Gutiérrez, D., Vázquez, G., Rivera, S., Morales, Ó., & Abril, A. (2019). Evaluación de la calidad del agua de los ríos de la ciudad de Cuenca, Ecuador. *MASKANA*, 10(2), 76–88. <https://doi.org/10.18537/mskn.10.02.08>
- Pérez, E. (2006). Fluctuaciones Climáticas y variabilidad temporal del clima en el norte argentino. *Fluctuaciones Climáticas Y Variabilidad Temporal Del Clima En El Norte Argentino – 1931/2005, 1997*, 1–27.
- Pesántez, J. (2015). Propuesta de un Modelo de Gestión de la Subcuenca del Río Tomebamba, Como Herramienta de Manejo Integrado y de Conservación. In *Maestría en Gestión Ambiental: Vol. Máster*.
- Pesantez, J., & Suarez, D. (2019). *Propuesta de manejo integral de la subcuenca hidrográfica del río Tarqui, provincia del Azuay*. 1–172.
- Portillo, G. (n.d.). *Pisos térmicos*. <https://www.meteorologiaenred.com/pisos-termicos.html#:~:text=Es así como se establecen,así como otras características asociadas>.
- Pozo, A. (2018). *Análisis de la vulnerabilidad al cambio climático de la cuenca del Río Paute (Ecuador)*.
- Pricing revenue management. (n.d.). *La Estacionalidad*. <https://www.pricing.cl/conocimiento/estacionalidad/>
- Probabilidad y Estadística. (2023). *Diagrama de cajas y bigotes*. <https://www.probabilidadyestadistica.net/diagrama-de-caja-y-bigotes-boxplot/>
- Quiroz, L., Kulich, E., & Menendez, C. (2017). Aplicación del índice de calidad de agua en el río Portoviejo, Ecuador. *Revista de Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, 38(3), 41-51 p.
- Restrepo, L. F., Posada, S. L., & Noguera, R. R. (2012). Application of the principal-component analysis in the evaluation of three grass varieties. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 25(2), 258–266.
- Rey Graña, C., & Ramil Diaz, M. (2007). Introducción a la Estadística Descriptiva. In *NETBIBLO S.L.* (Vol. 3).
- Roldán Pérez, G. (2003). *Bioindicación de la calidad del agua en Colombia* (Universida).

- Sanchez, M., & García, D. P. (2018). *Determinación del índice BMWP/Col, mediante la utilización de macroinvertebrados como bioindicadores de la calidad de agua, en el cauce del río Guachicos, que surte el acueducto del municipio de Pitalito.*
- Semarnat. (2013). *Indicadores de calidad del agua.*
https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/compendio_2013/dgeiawf.semarnat.gob.mx_8080/ibi_apps/WFServlet28b9.html
- Scientific European Federation of Osteopaths. (2014). *Las pruebas estadísticas.*
<https://www.scientific-european-federation-osteopaths.org/las-pruebas-estadisticas/>
- Solano Llinás, H., & Rojas Álvarez, C. (2017). *Estadística descriptiva y distribuciones de probabilidad* (Universida).
- Suarez, D., Carpio, M., & Duque, M. (2007). Fósforo Total En Agua Por Digestion Acida, Método Del Acido Ascorbico. In *Instituto De Hidrologia, Meteorología Y Estudios Ambientales* (Vol. 008, Issue 32, pp. 1–14).
- TULSMA. (2015). *REFORMA TEXTO UNIFICADO LEGISLACION SECUNDARIA, MEDIO AMBIENTE, LIBRO VI, Decreto Ejecutivo 3516, Registro Oficial Suplemento 2, 31/03/2003.* www.lexis.com.ec
- Universidad de Valladolid. (n.d.). *Componentes de una serie temporal.*
[http://www5.uva.es/estadmed/datos/series/series1.htm#:~:text=Se denomina tendencia de una,representar la tendencia \(creciente](http://www5.uva.es/estadmed/datos/series/series1.htm#:~:text=Se denomina tendencia de una,representar la tendencia (creciente)

7. ANEXOS

ANEXO I: Diagrama de cajas y bigotes

Tabla 42. Diagrama de cajas y bigotes

SUBCUENCA	CALIDAD		N		MEDIA	
	WQI_LLUVIA	WQI_SECO	WQI_LLUVIA	WQI_SECO	WQI_LLUVIA	WQI_SECO
TAR-SAL-CONTROL	MALA-MUY MALA		11	64	39.037	40.787
CUE-CUE-050	MEDIA	MALA	11	5	53.146	47.485
CUE-CUE-060	MEDIA		9	1	53.83	48.881
MAC-COM-CONTROL	MEDIA	MALA	30	69	52.109	46.772
MAC-MAC-CONTROL	MEDIA	MALA	42	24	53.814	45.866
CUE-CUE-020	MEDIA	MALA	66	9	55.354	44.853
CUE-CUE-030	MEDIA	MALA	73	58	54.827	45.21
TAR-TAR-CONTROL	MEDIA	MALA	101	16	54.473	47.753
TOM-TOM-CONTROL	MEDIA		96	28	55.811	52.223
TAR-TAR-015	MEDIA	MALA (pocos datos)	33	2	57.904	39.984
TAR-TAR-020	MEDIA	MALA (pocos datos)	33	3	57.658	46.685
TOM-TOM-050	MEDIA		98	25	57.762	55.449
YAN-YAN-CONTROL	MEDIA	MALA	118	7	59.949	51.127
MAC-MAC-050	BUENA-MEDIA		39	12	67.4	70.372
TAR-IRQ-CONTROL	BUENA-MEDIA		34		68.378	
TAR-POR-CONTROL	BUENA-MEDIA		34		64.831	
TOM-LL-CONTROL	BUENA-MEDIA		77	3	69.449	69.62
MAC-BL-CONTROL	BUENA-MEDIA		33	1	70.222	73.7967
TOM-MZ-CONTROL	BUENA-MEDIA		81		72.169	
YAN-YAN-015	BUENA-MEDIA		82		72.024	
MAC-CHAN CONTROL	BUENA-MEDIA		29		77.293	
MAC-MAC-005	BUENA-MEDIA		30		77.377	
MAC-MAC-020	BUENA-MEDIA		48	1	77.416	79.708
TOM-QN-065	BUENA		14		75.794	
YAN-CAN-CONTROL	BUENA		20		75.456	
YAN-YH-CONTROL	BUENA		20		74.628	
TOM-QN-035	BUENA		63		78.853	
YAN-IZH-020	BUENA		32		76.937	
YAN-SH-CONTROL	BUENA		19		76.354	
YAN-SOL-CONTROL	BUENA		32		76.554	

SUBCUENCA	Desv. Est.		Mínimo		Máximo	
	WQI_LLUVIA	WQI_SECO	WQI_LLUVIA	WQI_SECO	WQI_LLUVIA	WQI_SECO
TAR-SAL-CONTROL	8.5674	4.5125	24.151	24.841	54.581	49.91
CUE-CUE-050	2.7855	1.9371	50.275	45.177	58.106	49.955
CUE-CUE-060	2.6213		48.881	48.881	56.537	48.881
MAC-COM-CONTROL	3.0241	4.4817	45.593	34.16	59.475	58.522
MAC-MAC-CONTROL	2.7192	5.1333	50.084	33.543	60.363	58.112
CUE-CUE-020	3.2191	2.201	50	42.207	65.859	49.21
CUE-CUE-030	2.6233	3.5794	50.214	29.848	62.624	49.891
TAR-TAR-CONTROL	3.4869	2.8605	41.819	40.265	65.385	52.64
TOM-TOM-CONTROL	3.2918	6.9119	46.073	33.978	65.242	60.739
TAR-TAR-015	2.8095	2.5742	50.892	38.164	62.378	41.804
TAR-TAR-020	3.2911	11.226	51.141	38.023	65.205	59.368
TOM-TOM-050	3.4365	7.3882	50.125	36.32	66.564	63.114
YAN-YAN-CONTROL	2.8299	3.9776	49.933	47.037	67.011	57.004
MAC-MAC-050	7.0127	5.1303	53.12	60.369	85.466	76.396
TAR-IRQ-CONTROL	3.9853		61.087		77.166	
TAR-POR-CONTROL	5.1087		56.4353		80.07	
TOM-LL-CONTROL	3.3523	0.108	59.846	69.556	75.934	69.744
MAC-BL-CONTROL	4.9762		58.282	73.7967	82.323	73.7967
TOM-MZ-CONTROL	4.3494		58.081		87.978	
YAN-YAN-015	3.3046		64.783		80.352	
MAC-CHAN CONTROL	4.858		63.195		85.639	
MAC-MAC-005	4.2314		68.961		92.432	
MAC-MAC-020	3.6144		64.905	79.708	86.075	79.708
TOM-QN-065	7.1994		59.078		83.501	
YAN-CAN-CONTROL	3.6165		65.342		80.093	
YAN-YH-CONTROL	4.2537		65.191		81.522	
TOM-QN-035	5.2709		54.621		85.858	
YAN-IZH-020	5.2474		57.428		85.433	
YAN-SH-CONTROL	3.6464		69.696		82.715	
YAN-SOL-CONTROL	4.3393		67.5		84.52	

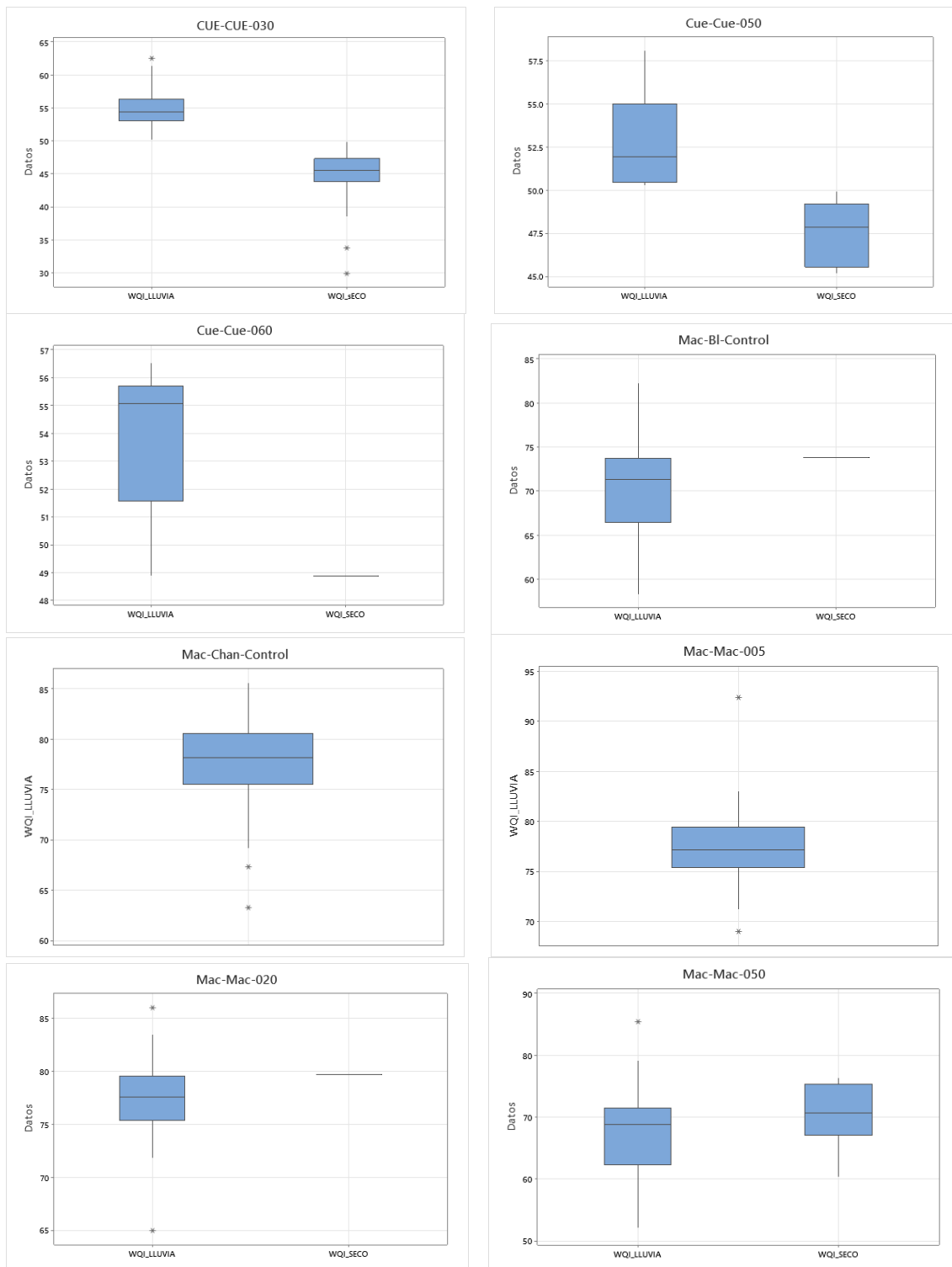
SUBCUENCA	Valor Atipico		Q1		Q3	
	WQI_LLUVIA	WQI_SECO	WQI_LLUVIA	WQI_SECO	WQI_LLUVIA	WQI_SECO
TAR-SAL-CONTROL		24.841	32.8928	38.3829	46.1952	44.0661
CUE-CUE-050			50.4397	45.5543	55.0146	49.2271
CUE-CUE-060			51.5843	48.8811	55.7137	48.8811
MAC-COM-CONTROL	59.47	58.52	50.9599	44.6822	53.8509	49.16
MAC-MAC-CONTROL		58.11	51.3468	43.1583	55.7231	49.0109
CUE-CUE-020	62.868		53.481	43.166	56.8223	46.1794
CUE-CUE-030	62.624	33.747	53.0297	43.8023	56.4003	47.3671

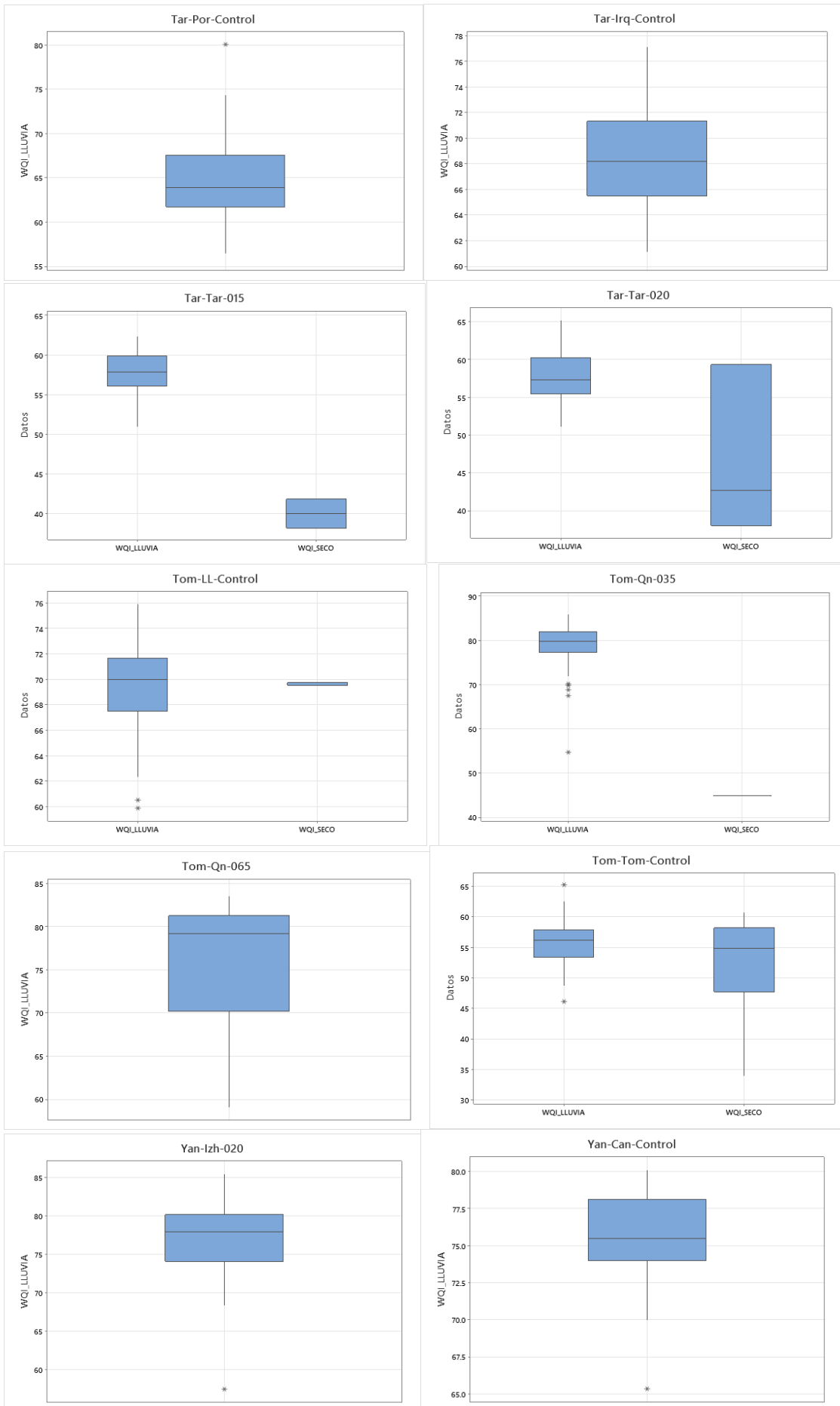
TAR-TAR-CONTROL	65.385	52.64	52.3844	46.8607	56.9209	48.9042
TOM-TOM-CONTROL	65.242		53.4424	47.7488	57.8292	58.1785
TAR-TAR-015			56.0912	38.1642	59.9138	41.8044
TAR-TAR-020			55.495	38.0234	60.2966	59.3681
TOM-TOM-050			55.2349	48.8067	60.2077	61.0839
YAN-YAN-CONTROL	67.011		55.1088	47.066	58.4017	55.9624
MAC-MAC-050	85.47		62.2558	67.0377	71.5168	75.3686
TAR-IRQ-CONTROL			65.522		71.356	
TAR-POR-CONTROL	80.07		61.75		67.591	
TOM-LL-CONTROL	60.516		67.504	69.5563	71.6908	69.7443
MAC-BL-CONTROL			66.4634	73.7967	73.7107	73.7967
TOM-MZ-CONTROL	58.081		70.2994		74.111	
YAN-YAN-015	80.352		70.101		74.052	
MAC-CHAN CONTROL	63.19		75.483		80.568	
MAC-MAC-005	68.96		75.382		79.462	
MAC-MAC-020	86.08		75.4001		79.568	
TOM-QN-065			70.196		81.258	
YAN-CAN-CONTROL	65.342		73.991		78.138	
YAN-YH-CONTROL			71.508		77.322	
TOM-QN-035	54.621		77.2833		81.8661	
YAN-IZH-020	57.428		74.094		80.159	
YAN-SH-CONTROL			74.219		78.618	
YAN-SOL-CONTROL			72.463		79.488	

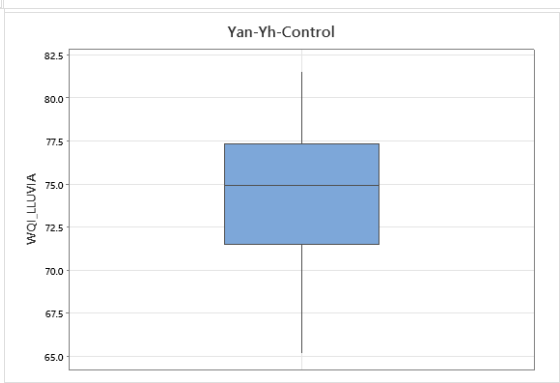
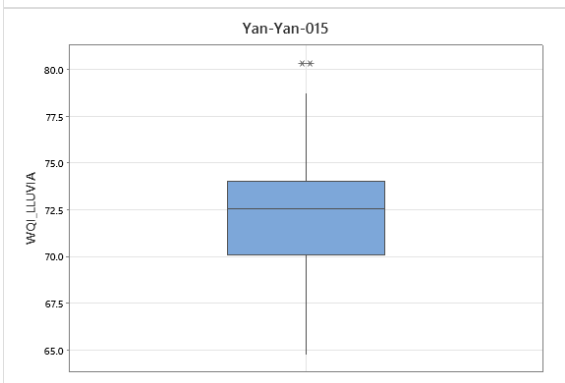
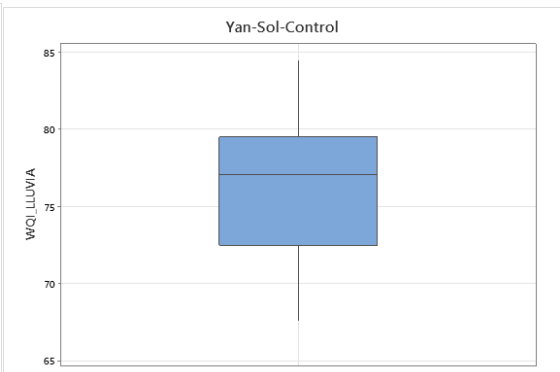
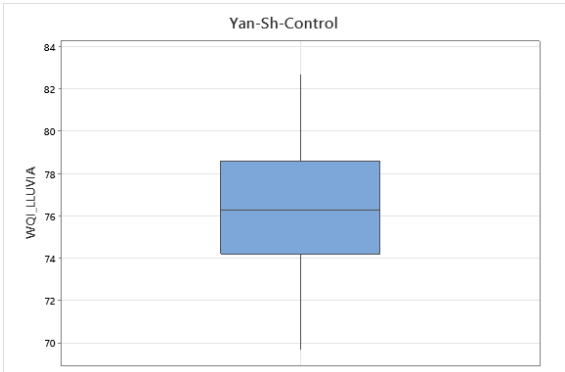
SUBCUENCA	Mediana		Rango intercuartil		Bigotes	
	WQI_LLUVIA	WQI_SECO	WQI_LLUVIA	WQI_SECO	WQI_LLUVIA	WQI_SECO
TAR-SAL-CONTROL	39.8928	41.2672	13.3024	5683	24.1512	32.2997
CUE-CUE-050	51.9313	47.8608	4.57487	3.67276	50.2751	45.1766
CUE-CUE-060	55.086	48.8811	4.12942	0	48.8811	48.8811
MAC-COM-CONTROL	52.2291	47.3386	3.890099	4.47783	46.8001	40.5764
MAC-MAC-CONTROL	53.3378	46.927	4.37622	5.85	50.0838	36.0669
CUE-CUE-020	55.166	44.0059	3.34128	3.01334	50	42.2076
CUE-CUE-030	54.4689	45.5364	3.3705	3.56475	50.2136	38.5337
TAR-TAR-CONTROL	54.6655	48.2159	4.53648	2.04349	46.2328	44.33507
TOM-TOM-CONTROL	56.1243	54.85566	4.38683	10.4297	48.7065	33.9775
TAR-TAR-015	57.8853	39.9843	3.82261	3.64026	50.8919	38.1642
TAR-TAR-020	57.2806	42.6642	4.80163	21.3447	51.1408	38.0234
TOM-TOM-050	57.9373	58.7088	4.97276	12.2772	50.1254	36.3203
YAN-YAN-CONTROL	56.699	49.8221	3.2298	8.89639	50.558	47.0373
MAC-MAC-050	68.8443	70.6054	9.26103	8.33097	52.1202	60.3694
TAR-IRQ-CONTROL	68.218		5.83383		61.0866	
TAR-POR-CONTROL	63.941		5.84191		56.4526	
TOM-LL-CONTROL	69.9858	69.5581	4.18684	0.188002	62.3133	69.5563
MAC-BL-CONTROL	71.388	73.7967	7.2473	0	58.2816	73.7967

TOM-MZ-CONTROL	72.2766		3.81159		64.8737	
YAN-YAN-015	72.552		3.9514		64.7826	
MAC-CHAN CONTROL	78.194		5.08508		69.102	
MAC-MAC-005	77.214		4.08032		71.2357	
MAC-MAC-020	77.5999	79.7084	4.16786		71.8518	
TOM-QN-065	79.204		11.0615		59.078	
YAN-CAN-CONTROL	75.473		4.14735		69.9979	
YAN-YH-CONTROL	74.893		5.8138		65.1906	
TOM-QN-035	79.78		4.58275		71.8743	
YAN-IZH-020	77.939		6.0643		68.3122	
YAN-SH-CONTROL	76.269		4.39885		69.6959	
YAN-SOL-CONTROL	77.084		7.02476		67.4996	

ANEXO II: Diagrama de Cajas y Bigotes







ANEXO III: Pruebas de Normalidad y Homogeneidad

SUBCUENCA	N		SHAPIRO y Kolmogrov		Anderson-Darling		NOMAL		Student Test	Wilcoxon	LEVENE
	LLUVIA	SECO	LLUVIA	SECO	LLUVIA	SECO	LLUVIA	SECO	WQI	WQI	WQI
TAR-SAL-CONTROL	11	64	0.997	0.270	0.970	0.109	SI	SI	0.469		0.009
CUE-CUE-050	11	5	0.091	0.805	0.092	0.750	SI	SI		0.063	0.347
CUE-CUE-060	9	1	0.128		0.117		SI			1	
MAC-COM-CONTROL	30	69	0.107	0.016	0.038	0.001	SI	NO		2.69E-05	0.083
MAC-MAC-CONTROL	42	24	0.042	0.268	0.148	0.125	NO	SI		1.31E-05	0.022
CUE-CUE-020	66	9	0.017	0.447	0.032	0.418	NO	SI		0.004	0.347
CUE-CUE-030	73	58	0.081	0.008	0.191	0.000	SI	SI	< 2.2e-16		0.304
TAR-TAR-CONTROL	101	16	0.135	0.198	0.024	0.137	SI	SI	1.19E-05		0.264
TOM-TOM-CONTROL	96	28	0.336	0.003	0.595	0.003	SI	NO		0.138	0
TAR-TAR-015	33	2	0.470		0.691		SI			0.5	0.794
TAR-TAR-020	33	3	0.935	0.397	0.908	0.277	SI	SI	0.178	0.25	0.013
TOM-TOM-050	98	25	0.499	0.001	0.619	0.000	SI	NO		0.080	0
YAN-YAN-CONTROL	118	7	0.029	0.220	0.017	0.250	NO	SI		0.109	0.272
MAC-MAC-050	39	12	0.280	0.477	0.090	0.612	SI	SI	0.052		0.453
TAR-IRQ-CONTROL	34		0.903		0.935		SI		<2.2e-16		
TAR-POR-CONTROL	34		0.166		0.266		SI		< 2.2e-16		
TOM-LL-CONTROL	77	3	0.090	0.000	0.090	0.057	NO	NO		0.5	0.057
MAC-BL-CONTROL	33	1	0.766		0.502		SI			1	
TOM-MZ-CONTROL	81		0.012		0.002		NO			5.46E-15	
YAN-YAN-015	82		0.429		0.707		SI		< 2.2e-16		
MAC-CHAN CONTROL	29		0.063		0.079		SI		< 2.2e-16		
MAC-MAC-005	30		0.011		0.064		NO			1.86E-09	
MAC-MAC-020	48	1	0.151		0.452		SI			1	
TOM-QN-065	14		0.074		0.086		SI		< 2.2e-16		

YAN-CAN-CONTROL	20		0.091		0.239	SI	< 2.2e-16		
YAN-YH-CONTROL	20		0.844		0.887	SI	< 2.2e-16		
TOM-QN-035	63	1	0.002		0.000	NO			1
YAN-IZH-020	32		0.003		0.040	NO			4.66E-10
YAN-SH-CONTROL	19		0.846		0.904	SI	< 2.2e-16		
YAN-SOL-CONTROL	32		0.692		0.614	SI	< 2.2e-16		