



**UNIVERSIDAD DE CUENCA**

**Facultad de Ciencias Químicas  
Carrera de Ingeniería Ambiental**

**RELACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA DE LA QUEBRADA EL  
SALADO CON EL USO DE SUELO URBANO Y PERIURBANO DE  
LA PARROQUIA BAÑOS**

**Trabajo de titulación previo a la  
obtención del título de Ingeniero  
Ambiental**

**AUTORAS:**

María Katherine Pesántez Quintuña  
CI: 0104847082  
pesantezq.katherine@gmail.com

Angélica Paola Roldán Arias  
CI : 0105718332  
angelica.roldan.a@gmail.com

**DIRECTOR:**

Ing. Fausto Fernando García Ávila, Ph. D  
CI : 0301454617

**COTUTOR:**

Bq. Wilson Geovanny Larriva  
CI : 0102194248

**CUENCA – ECUADOR  
5 de mayo de 2021**



## Resumen:

En este estudio se investigó la relación que existe entre la calidad del agua y las características del uso/cobertura de suelo para la quebrada El Salado que recorre una zona periurbana y otra urbana de la parroquia Baños, Cuenca, Ecuador. Se definió un área de influencia que cubre 624.17 ha y un recorrido de 7.98 km de la quebrada, en donde se ubicaron cuatro puntos de muestreo representativos distribuidos en la parte alta, media y baja de la quebrada. Se realizaron cinco campañas mensuales de monitoreo de agua durante el verano e invierno en un período comprendido entre octubre 2019 - febrero 2020. Se analizaron 15 parámetros físicos, químicos y microbiológicos, y adicionalmente 4 metales pesados de las muestras de agua, cuyos resultados permitieron determinar la calidad del agua que tiene la quebrada mediante la aplicación de tres índices de calidad. Las puntuaciones del NSF – WQI indicaron que, en general, la calidad del agua de la quebrada El Salado tanto en verano como invierno se calificó como agua de calidad media por haber obtenido valores dentro del rango de 51 – 70. El segundo índice de DINIUS-WQI para uso agrícola calificó al agua en un estado relativamente aceptable, indicando que no es necesaria una purificación, pero se sugiere que el agua reciba procesos de purificación menor antes de utilizarla en cultivos, debido a que se obtuvieron en su mayoría puntajes dentro del rango 71-90 para ambas estaciones. El valor general del índice HPI corroboró que el agua de la quebrada no es segura para consumo humano ya que el resultado obtenido sobrepasó excesivamente el límite crítico para agua potable en invierno y verano, clasificándola como un agua que contiene altos niveles de contaminación por metales pesados. Se estableció a través del método de Análisis de Varianza, que no se presentaron diferencias estadísticamente significativas entre los conjuntos de datos de los índices de calidad de agua tanto según el punto de muestreo como el mes de monitoreo, indicando que no hubo una influencia relevante de variables espacio – temporales sobre la calidad hídrica ( $p > 0.05$ ). Finalmente, se aplicó el método de correlación para hallar el grado de asociación entre los parámetros de calidad del agua, el cual permitió evidenciar que la mayor parte de correlaciones existentes entre los parámetros de control de calidad fueron positivas moderadas y débiles. Por otra parte, las proporciones de los diversos usos de suelo asociados al área de influencia de la quebrada se determinaron utilizando la información del mapa de cobertura y uso de suelo proporcionada por el GAD de Cuenca. Para relacionar la calidad del agua con el uso de suelo, se aplicó el Análisis de Componentes Principales con el fin de agrupar a las categorías de usos de suelo de Baños. El método arrojó tres componentes principales, en donde el primero estuvo representado por el grado de ocupación por áreas naturales, el segundo indicó el grado de ocupación por áreas intervenidas en términos de cultivos de ciclo corto y área de deporte y tiempo libre, y el tercero mostró el grado de ocupación representado principalmente por el área urbana discontinua. Por último, se hallaron correlaciones mediante el Coeficiente de Pearson entre usos de suelo, CP1, CP2 y CP3, y los parámetros de control de calidad de agua, lo cual permitió explicar que las áreas naturales se correlacionaron negativamente con los parámetros fisicoquímicos y positivamente con los metales pesados, mientras que ocurrió lo contrario en las zonas intervenidas como áreas de cultivo y recreacionales, al igual que el área urbana discontinua. En base a ello, las correlaciones revelaron que la contaminación que sufre la quebrada El Salado, especialmente por la presencia de As, Cd y coliformes fecales no sólo es provocada por fuentes antropogénicas, sino también, en términos de metales pesados, por fuentes naturales propias de la zona geográfica en la que ésta se encuentra.

**Palabras clave:** Calidad de agua. NSF-WQI. DINIUS-WQI. HPI. Espacio – temporal. Uso/cobertura de suelo. ACP. Componente principal. Correlación. CP1. CP2. CP3.



**Abstract:**

This study investigates the relationship that exists between water quality and the characteristics of land use / land cover for the El Salado stream, which runs through an urban and peri – urban area of the parish of Baños, Cuenca, Ecuador. An influence zone that covers an area of 624.17 ha, and a route of 7.98 km of the stream was delimited, where four representative sample points distributed in the upper, middle, and lower part of the stream were located. Five water monitoring campaigns were carried out monthly during the rainy and dry season, in a period between October 2019 - February 2020. 15 physical, chemical, and microbiological parameters, and 4 heavy metals were analyzed from the water samples. The results allowed to determine the stream water quality by applying three water quality indices. NSF – WQI scores indicated that, in general, the water quality of the El Salado stream in both dry and rainy seasons, was classified as a medium quality water because the scores obtained were in the range of 51 – 70. The second index of DINIUS – WQI for agricultural use indicated that the water is relatively acceptable, establishing that no purification is necessary, but suggesting at the same time the application of minor purification processes before its use in crops, because most of the scores were obtained in the range of 71 – 90 for both seasons. Furthermore, the general value of the HPI index provided corroborating evidence indicating that the water of the stream is not safe for human consumption, since the results obtained exceeded the critical limit for drinking water for both seasons, classifying it as a water that contains high levels of pollution caused by heavy metals. In addition, it was established through the Analysis of Variance method, that there were no statistically significant differences between the data sets of the water quality indices according to the sampling point and to the monitoring month, indicating that there was no relevant influence of spatio – temporal variables on the water quality ( $p>0.05$ ). Consequently, the correlation method was applied to find the degree of association between water quality parameters, which allowed to determine that most of the existing correlations found were moderate and weak positive. On the other hand, the land use proportions found in the influence zone were determined using the information of the land cover / land use map provided by the decentralized autonomous government of Cuenca. To find the relationship between water quality and land use / land cover patterns, the Principal Component Analysis method was applied with the purpose of grouping the land use categories, where three principal components were established. The first component was characterized by natural areas, the second one by intervened areas in terms of short – cycle crops and sports and recreational areas, and the third one by the discontinuous urban area. Finally, the correlations were found using the Pearson Coefficient between land use categories, PC1, PC2, PC3, and the water quality parameters, which allowed to explain that natural areas were negatively correlated with physicochemical parameters and positively correlated with heavy metals, while it occurred the opposite in intervened zones such as cultivation and recreational areas, as well as the discontinuous urban area. Therefore, the correlations revealed that the contamination of “El Salado” is not only caused by anthropogenic sources but also by natural sources, specifically in terms of heavy metals concentration, given by the geographical area in which the stream is located.

**Keywords:** Water quality. NSF-WQI. DINIUS-WQI. HPI. Spatio-temporal. Cover/land use. PCA. Principal component. Correlation. PC1. PC2. PC3.



## Índice de Contenido

CAPÍTULO I.....	21
1.1    Introducción.....	21
1.2    Identificación del problema y Justificación.....	22
1.3    Hipótesis.....	23
1.4    Objetivos.....	23
1.4.1 Objetivo general:.....	23
1.4.1 Objetivos específicos:.....	23
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.....	24
2.1    Calidad del agua.....	24
2.1.1 Contaminación del agua según la fuente.....	24
2.1.2 Parámetros para determinación de calidad de agua.....	25
2.1.3 Medición de caudal.....	30
2.1.4 Índices de calidad del agua (ICA).....	31
2.1.4 Influencia de variables espacio - temporales sobre los índices de calidad de agua.....	34
2.1.6 Regulación sobre calidad de agua.....	35
2.2    Uso y cobertura de suelo.....	35
2.2.1 Cambio de uso de suelo.....	35
2.2.2 Categorías de uso y cobertura de suelo.....	36
2.3    Relación entre calidad de agua y uso de suelo.....	37
2.3.1 Análisis de Componentes Principales (ACP).....	38
2.3.2 Análisis de Correlación de Pearson.....	39
2.3.2 Análisis de Correlación de Spearman.....	39
CAPÍTULO III: MATERIALES Y MÉTODOS.....	40
3.1    Delimitación del área de estudio.....	40
3.1.1 Ubicación.....	40
3.1.2 Delimitación del área de influencia.....	41
3.1.3 Hidrografía.....	42
3.1.4 Climatología.....	43
3.1.5 Pendiente.....	44
3.1.6 Geología.....	44
3.2    Actividades relacionadas con la determinación de la calidad del agua.....	46
3.2.1 Procedimiento de muestreo.....	47



3.2.2 Procedimiento de Análisis de calidad del agua .....	50
3.2.3 Aplicación de Índices de Calidad de agua .....	54
3.2.4 Análisis de influencia de variables espacio-temporales sobre los índices de calidad de agua .....	59
3.2.5 Análisis de Correlación aplicado a los parámetros de calidad de agua .....	62
3.3 Actividades relacionadas con el uso de suelo .....	62
3.3.1 Categorización de uso y cobertura de suelo.....	62
3.4 Relación entre la calidad del agua y el uso de suelo.....	63
3.4.1 Análisis de Componentes Principales aplicado a relación agua - uso de suelo.....	63
3.4.2 Análisis de Correlación aplicado a relación agua – uso de suelo.....	64
CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	66
4.1 Resultados de la determinación de calidad de agua.....	66
4.1.1 Resultados de los parámetros físicos, químicos y microbiológicos, y su comparación con la normativa ecuatoriana para NSF-WQI.....	66
4.1.2 Resultados del cálculo del Índice NSF-WQI.....	66
4.1.3 Resultados de los parámetros físicos, químicos y microbiológicos y su comparación con la normativa ecuatoriana para DINIUS-WQI.....	69
4.1.4 Resultados del cálculo del segundo Índice de DINIUS-WQI.....	76
4.1.5 Resultados de los metales pesados y su comparación con la normativa ecuatoriana vigente para HPI.....	80
4.1.6 Resultados del cálculo del Índice HPI.....	84
4.1.7 Resultados de medición de caudal.....	87
4.1.8 Resultados del estudio de variables espacio - temporales sobre los índices de calidad de agua. Aplicación de análisis de varianzas. ....	89
4.1.9 Resultados del Análisis de Correlación aplicado a los parámetros de calidad de agua.....	100
4.2 Resultados de categorización de uso y cobertura de suelo .....	103
4.3 Resultados de la relación de la calidad del agua por efecto de uso de suelo .....	104
4.2.1 Resultados de la subdivisión del área de influencia.....	104
4.2.2 Resultados del Análisis de Componentes Principales aplicado a las categorías de usos de suelo.....	108
4.2.3 Resultados del Análisis de Correlación aplicado a relación agua – uso de suelo.....	114
CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	119
5.1 Conclusiones.....	119
5.2 Recomendaciones .....	122
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	125
APÉNDICES .....	133



Apéndice 1. Curvas de función para los nueve parámetros de calidad del índice NSF-WQI. ....	133
Apéndice 2. Ejemplo de hoja de cálculo de Excel de calidad de agua en el Punto 1, Monitoreo °4 según NSF-WQI. ....	134
Apéndice 3. Ejemplo de la calidad de agua según NSF-WQI en el Punto 1, Monitoreo N°4 en programa ICATest v1.0. ....	135
Apéndice 4. Resultados de Análisis de la influencia espacio - temporal sobre los valores de los índices de calidad del agua.....	135
Apéndice 5. Registro fotográfico de socialización con moradores y representantes de autoridades del sector de El Salado.....	140
Apéndice 6. Mapas de puntos de muestreo en la quebrada El Salado. ....	141
Apéndice 7. Registro fotográfico de monitoreo y análisis in – situ y ex – situ de calidad de agua de la quebrada El Salado.....	145
Apéndice 8. Registro fotográfico de fuentes de contaminación puntuales y difusas que atraviesa la quebrada El Salado, Baños.....	148
Apéndice 9. Registro fotográfico de levantamiento de línea base mediante recorridos realizados por varios sectores aledaños a la quebrada El Salado, Baños. ....	151

### Índice de Ilustraciones

Ilustración 1. Mapa de delimitación geográfica del área de estudio. ....	41
Ilustración 2. Mapa de delimitación geográfica del Área de Influencia y ubicación de puntos de muestreo.....	42
Ilustración 3. Mapa de Hidrografía en el Área de Influencia. ....	43
Ilustración 4. Mapa de Rango de Pendientes en el Área de Influencia.....	44
Ilustración 5. Mapa de Geología en el Área de Influencia. ....	45
Ilustración 6. Calidad de agua de la quebrada El Salado en verano según NSF-WQI.....	68
Ilustración 7. Calidad de agua de la quebrada El Salado en invierno según NSF-WQI.....	68
Ilustración 8. Calidad general de agua de la quebrada El Salado según NSF-WQI.....	69
Ilustración 9. Calidad de agua de la quebrada El Salado en verano según DINIUS-WQI.....	78
Ilustración 10. Calidad de agua de la quebrada El Salado en invierno según DINIUS-WQI. ....	79
Ilustración 11. Calidad promedio de agua de la quebrada El Salado según DINIUS-WQI para uso agrícola. ....	79
Ilustración 12. Valores de HPI durante el verano de la quebrada El Salado.....	86
Ilustración 13. Valores de HPI durante el invierno de la quebrada El Salado. ....	86



Ilustración 14. Valores de HPI durante el periodo de monitoreo de la quebrada El Salado.....	87
Ilustración 15. Caudal promedio de la quebrada El Salado durante el periodo de estudio. ....	88
Ilustración 16. Relación entre la calidad del agua y caudal promedio de la quebrada El Salado. ....	89
Ilustraciones 17, 18 y 19. Diagrama de dispersión de predichos vs. residuos para resultados de los índices NSF – WQI, DINIUS – WQI y HPI. ANOVA 1. ....	90
Ilustraciones 20, 21 y 22. Gráfico Q-Q Plot de distribución normal para los índices NSF – WQI, DINIUS – WQI y HPI, ANOVA 1.....	91
Ilustraciones 23, 24 y 25. Diagrama de dispersión de predichos vs. residuos para resultados de los índices NSF – WQI, DINIUS – WQI y HPI, ANOVA 2. ....	96
Ilustraciones 26, 27 y 28. Gráfico Q-Q Plot de distribución normal para los índices NSF – WQI, DINIUS –WQI y HPI, ANOVA 2.....	97
Ilustración 29. Cobertura y uso de suelo en el área de influencia. ....	104
Ilustración 30. Mapa de subdivisión en 4 zonas del área de influencia. ....	105
Ilustración 31. Área porcentual de usos de suelo por cada zona delimitada. ....	107
Ilustración 32. Gráfica de sedimentación de los valores estandarizados de las categorías de uso de suelo.....	109
Ilustración 33. Vectores propios del análisis de componentes principales. ....	110
Ilustración 34. Gráfica de influencias CP1 vs CP2. ....	111
Ilustración 35. Gráfica de influencias CP1 vs. CP3. ....	112

### Índice de Tablas

Tabla 1. Categorías de usos y coberturas de suelo en el cantón Cuenca.....	36
Tabla 2. Descripción y distribución de formaciones geológicas en el Área de Influencia.....	45
Tabla 3. Parámetros de calidad de agua analizados.....	46
Tabla 4. Puntos de muestreo de calidad de agua. ....	48
Tabla 5. Equipos y métodos empleados para los análisis de los diferentes parámetros in – situ y ex – situ. ....	51
Tabla 6. Pesos relativos y unidades para cada parámetro del NSF – WQI.....	54
Tabla 7. Clasificación de la Calidad de Agua en forma cualitativa y cuantitativa según NSF – WQI. 55	
Tabla 8. Funciones de subíndices de las variables contaminantes y su peso de importancia del DINIUS – WQI.....	56



Tabla 9. Calificación de la calidad de agua para usos específicos según DINIUS – WQI. .... 57

Tabla 10. Valores estándar de calidad de agua superficial para agua destinada para consumo humano.  
..... 59

Tabla 11. Datos medidos in – situ y en laboratorio del monitoreo N°1 para NSF – WQI..... 62

Tabla 12. Datos medidos in – situ y en laboratorio del monitoreo N°2 para NSF-WQI..... 62

Tabla 13. Datos medidos in – situ y en laboratorio del monitoreo N°3 para NSF-WQI..... 63

Tabla 14. Datos medidos in – situ y en laboratorio del monitoreo N°4 para NSF-WQI..... 63

Tabla 15. Datos medidos in-situ y en laboratorio del monitoreo N°5 para NSF – WQI..... 65

Tabla 16. Resultados de la calidad de agua en los cuatro puntos de muestreo del monitoreo N°1 del  
NSF – WQI..... 66

Tabla 17. Resultados de la calidad de agua en los cuatro puntos de muestreo del monitoreo N°2 del  
NSF – WQI..... 66

Tabla 18. Resultados de la calidad de agua en los cuatro puntos de muestreo del monitoreo N°3 del  
NSF-WQI..... 67

Tabla 19. Resultados de la calidad de agua en los cuatro puntos de muestreo del monitoreo N°4 del  
NSF-WQI..... 67

Tabla 20. Resultados de la calidad de agua en los cuatro puntos de muestreo del monitoreo N°5 del  
NSF-WQI..... 67

Tabla 21. Datos medidos in – situ y en laboratorio del monitoreo N°1 para DINIUS-WQI..... 71

Tabla 22. Datos medidos in – situ y en laboratorio del monitoreo N°2 para DINIUS-WQI..... 72

Tabla 23. Calidad de agua para uso agrícola en los cuatro puntos de muestreo del monitoreo N°3  
según DINIUS-WQI. .... 77

Tabla 24. Calidad de agua para uso agrícola en los cuatro puntos de muestreo del monitoreo N°4  
según DINIUS-WQI. .... 77

Tabla 25. Calidad de agua para uso agrícola en los cuatro puntos de muestreo del monitoreo N°5  
según DINIUS-WQI. .... 77

Tabla 26. Resultados de DINIUS-WQI de los puntos de muestreo durante el periodo de estudio. .... 78

Tabla 27. Datos recopilados y valores estadísticos para la concentración media de metales pesados en  
el agua de la quebrada El Salado en los cuatro puntos de muestreo del Monitoreo N°1 para HPI.  
..... 81

Tabla 28. Datos recopilados y valores estadísticos para la concentración media de metales pesados en  
el agua de la quebrada El Salado en los cuatro puntos de muestreo del Monitoreo N°2 para HPI.  
..... 81





Tabla 29. Datos recopilados y valores estadísticos para la concentración media de metales pesados en el agua de la quebrada El Salado en los cuatro puntos de muestreo del Monitoreo N°3 para HPI. ....	82
Tabla 30. Datos recopilados y valores estadísticos para la concentración media de metales pesados en el agua de la quebrada El Salado en los cuatro puntos de muestreo del Monitoreo N°4 para HPI. ....	82
Tabla 31. Datos recopilados y valores estadísticos para la concentración media de metales pesados en el agua de la quebrada El Salado en los cuatro puntos de muestreo del Monitoreo N°5 para HPI. ....	83
Tabla 32. Cálculos del índice HPI para el agua de la quebrada El Salado en la época de verano e invierno. ....	84
Tabla 33. Resultados del índice HPI para el agua de la quebrada El Salado en cada punto de muestreo por mes. ....	86
Tabla 34. Caudales en los puntos de muestreo durante el período de estudio en la quebrada El Salado. ....	88
Tabla 35. Prueba Shapiro – Wilks para los tres índices de calidad de agua, ANOVA 1. ....	92
Tabla 36. Prueba de Levene para los índices de calidad de agua, ANOVA 1. ....	93
Tabla 37. Análisis ANOVA para “punto de muestreo” para índice NSF – WQI. ....	93
Tabla 38. Prueba post – hoc para “punto de muestreo” para índice NSF – WQI. ....	93
Tabla 39. Análisis Kruskal Wallis para “punto de muestreo” para índice DINIUS-WQI. ....	94
Tabla 40. Análisis ANOVA para “punto de muestreo” para índice HPI. ....	94
Tabla 41. Prueba post – hoc para “punto de muestreo” para índice HPI. ....	95
Tabla 42. Prueba Shapiro – Wilks para los tres índices de calidad de agua, ANOVA 2. ....	98
Tabla 43. Prueba de Levene para los índices de calidad de agua, ANOVA 2. ....	98
Tabla 44. Análisis ANOVA para “mes de monitoreo” para índice NSF – WQI. ....	99
Tabla 45. Prueba post – hoc para “mes de monitoreo” para índice NSF – WQI. ....	99
Tabla 46. Prueba Welch de ANOVA para “mes de monitoreo” para índice DINIUS-WQI. ....	99
Tabla 47. Análisis Kruskal Wallis para “mes de monitoreo” para índice HPI. ....	100
Tabla 48. Prueba de Shapiro – Wilks para parámetros de calidad del agua. ....	101
Tabla 49. Coeficientes de correlación de Spearman – parámetros de calidad de agua. ....	102
Tabla 50. Distribución de usos y coberturas de suelo en el área de influencia. ....	103
Tabla 51. Área en hectáreas de usos de suelo para las 4 zonas del área de influencia. ....	106
Tabla 52. Área en porcentual de usos de suelo para las 4 zonas del área de influencia. ....	106



Tabla 53. Valores propios del Análisis de Componentes Principales.....	109
Tabla 54. Prueba de normalidad Shapiro – Wilks para parámetros de calidad de agua, componentes principales y usos de suelo.....	114
Tabla 55. Coeficientes de correlación de Pearson entre parámetros de calidad de agua, CP1, CP2, CP3, y usos de suelo. ....	115
Tabla 56. Coeficientes de correlación entre componentes principales y parámetros de calidad de agua. ....	118



### Lista de Siglas y Abreviaturas

ACP	Análisis de Componentes Principales
Alc	Alcalinidad
ANOVA	Analysis of Variance
As	Arsénico
Col	Color
CE	Conductividad específica
Cd	Cadmio
CF	Coliformes fecales
CP	Componente Principal
Cr	Cromo
CT	Coliformes Totales
Cl <sup>-</sup>	Cloruros
DINIUS-WQI	Segundo Índice de Calidad de Agua de Dinius
Du	Dureza
DBO	Demanda Bioquímica de Oxígeno
DBO <sub>5</sub>	Demanda Bioquímica de Oxígeno para 5 días
E. Coli	Escherichia Coli
ETAPA EP	Empresa Pública Municipal de Telecomunicaciones, Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento de Cuenca
GAD	Gobierno Autónomo Descentralizado
HPI	Heavy Metal Pollution Index
h <sub>0</sub>	Hipótesis nula
h <sub>1</sub>	Hipótesis alternativa
INEN	Instituto Ecuatoriano de Normalización
NMP	Número más probable
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Nitratos
NSF-WQI	National Sanitation Foundation Water Quality Index
NTE	Norma Técnica Ecuatoriana
OD	Oxígeno Disuelto
OMS	Organización Mundial de la Salud (World Health Organization)
pH	Potencial de hidrógeno
PT-PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup>	Fosfato Total
PDyOT	Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial
P1	Punto 1 de muestreo en quebrada El Salado
P2	Punto 2 de muestreo en quebrada El Salado
P3	Punto 3 de muestreo en quebrada El Salado
P4	Punto 4 de muestreo en quebrada El Salado
ST	Sólidos Totales
T	Temperatura
TULSMA	Texto Unificado de Legislación Secundaria del Medio Ambiente
Turb	Turbidez
UTM	Universal Transverse Mercator
WGS	World Geodetic System
WQI	Water Quality Index
Zn	Zinc



## Cláusula de licencia y autorización para publicación en el Repositorio Institucional

---

Yo, MARÍA KATHERINE PESÁNTEZ QUINTUÑA en calidad de autora y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación "RELACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA DE LA QUEBRADA EL SALADO CON EL USO DE SUELO URBANO Y PERIURBANO DE LA PARROQUIA BAÑOS", de conformidad con el Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN reconozco a favor de la Universidad de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos.

Asimismo, autorizo a la Universidad de Cuenca para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el repositorio institucional, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 5 de mayo de 2021

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'María Katherine Pesántez Quintuña', written over a horizontal line.

MARÍA KATHERINE PESÁNTEZ QUINTUÑA

C.I: 0104847082



### Cláusula de Propiedad Intelectual

---

Yo, MARÍA KATHERINE PESÁNTEZ QUINTUÑA, autora del trabajo de titulación "RELACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA DE LA QUEBRADA EL SALADO CON EL USO DE SUELO URBANO Y PERIURBANO DE LA PARROQUIA BAÑOS", certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autora.

Cuenca, 5 de mayo de 2021

A handwritten signature in blue ink, reading 'María Katherine Pesántez Quintuña', written over a horizontal line.

MARÍA KATHERINE PESÁNTEZ QUINTUÑA

C.I: 0104847082



## Cláusula de licencia y autorización para publicación en el Repositorio Institucional

---

Yo, Angélica Paola Roldán Arias, en calidad de autor/a y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación "RELACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA DE LA QUEBRADA EL SALADO CON EL USO DE SUELO URBANO Y PERIURBANO DE LA PARROQUIA BAÑOS", de conformidad con el Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN reconozco a favor de la Universidad de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos.

Asimismo, autorizo a la Universidad de Cuenca para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el repositorio institucional, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 05 de mayo de 2021

A handwritten signature in blue ink, written over a horizontal line.

Angélica Paola Roldán Arias

C.I: 0105718332



## Cláusula de Propiedad Intelectual

---

Yo, Angélica Paola Roldán Arias, autor/a del trabajo de titulación "RELACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA DE LA QUEBRADA EL SALADO CON EL USO DE SUELO URBANO Y PERIURBANO DE LA PARROQUIA BAÑOS", certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor/a.

Cuenca, 05 de mayo de 2021

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Angélica Paola Roldán Arias', written over a horizontal line.

Angélica Paola Roldán Arias

C.I: 0105718332



## DEDICATORIA

Dedico con mucho amor este trabajo investigativo a mi querido Dios, por haberme dado el regalo de la vida y una maravillosa familia, quienes me han apoyado incondicionalmente en todo momento hasta esta etapa de mi carrera profesional, y haberme enseñado siempre que la clave es vivir para servir.

También, a todas las personas que se han cruzado por mi camino y a los que aún permanecen, a mis queridos amigos, quienes han compartido conmigo conocimientos y gratas experiencias que me han ayudado a formarme en los diferentes ámbitos de mi vida.

Por último, quiero dedicárselo a todas las personas que se sirvan de esta investigación, como una iniciativa para el aporte a la ciencia trabajando para la conservación de la casa común y el bienestar de la humanidad. De igual manera, que sea una fuente de motivación que, con perseverancia y oración, puedan cumplir sus metas a pesar de las tribulaciones presentes y futuras.

María Katherine Pesántez Quintuña





## DEDICATORIA

El presente trabajo está dedicado a mis padres, María Teresa y Paúl, a quienes debo cada uno de mis logros.

A mi abuela Ruth, a mi hermana Emilia, y a toda mi familia, especialmente a las personas que saben que se han vuelto parte de ella y que me han acompañado muy de cerca en este trayecto, permitiendo volver mucho más sencilla esta parte del camino. A Lolita, por haber esperado pacientemente a mi lado en sus últimos días, las largas jornadas de trabajo y estudio.

A mis amigos que de una u otra manera me han brindado su ayuda y cariño a través de sus sugerencias, su experiencia y su compañía, en especial a quienes han sido mi soporte a lo largo de mi formación académica y que hasta el día de hoy continúan siendo mi mayor apoyo aún en los momentos más difíciles. Gracias por dedicarme parte de su valioso tiempo para escucharme, enseñarme y motivarme.

Con profunda alegría, tengo la certeza de que la culminación de mis estudios de grado a través del desarrollo de la presente tesis fue posible gracias a todos ustedes.

Angélica Paola Roldán Arias



## AGRADECIMIENTOS

A Dios por todas las bendiciones que me ha regalado durante estos años de aprendizaje y por darme la oportunidad de culminar con éxito este momento importante de mi vida.

A mi querido tutor, Ing. Fernando García, en su calidad de profesional, por la asesoría constante y revisión de este trabajo, que sin duda servirá para el desarrollo de futuras investigaciones.

A mi estimado amigo, Dr. Giovanni Larriva, por la motivación y la confianza en varios proyectos que me ayudaron en el enriquecimiento de mis conocimientos durante varios años de trabajo en conjunto.

Al personal técnico de la Junta de Agua Potable de Baños, en especial al Dr. Segundo Chica y trabajadores de la Planta de Potabilización por su gentil ayuda y a todas las personas que colaboraron en el desarrollo del presente estudio.

A mis apreciados profesores de la Universidad de Cuenca, y a todos los que aportaron en mi formación profesional, humana y espiritual por las experiencias alcanzadas, mi sincera gratitud.

María Katherine Pesántez Quintuña



## AGRADECIMIENTOS

Con mis padres estoy eternamente agradecida por sus enseñanzas y amor infinito, sobre todo por permitirme ser.

Expreso un profundo agradecimiento a mi querido tutor, Fernando García, por ser mi principal guía durante este trabajo, por su paciencia y motivación.

Agradezco al doctor Giovanni Larriva, por compartir sus conocimientos, por abrir sus puertas y brindarme su amistad, así como al Laboratorio de Calidad de Aguas de la Universidad de Cuenca por otorgarme las herramientas necesarias para llevar a cabo este tema de investigación.

Al Dr. Segundo Chica de la Junta de Agua Potable de Baños, Cuenca, por la información brindada de manera incondicional. De igual manera, agradezco a las personas de la comunidad de Baños que dedicaron parte de su tiempo en contar su historia como un importante aporte para el diagnóstico ambiental de la zona de estudio.

Finalmente, quiero agradecer a la Universidad de Cuenca, que a lo largo de mi formación profesional se convirtió en un espacio de aprendizaje tanto personal como académico, así como de metas cumplidas y momentos inolvidables durante mi tiempo de estudio.

Angélica Paola Roldán Arias





## CAPÍTULO I

### 1.1 Introducción

Los cuerpos de agua son típicamente diversos y representan ambientes biológicamente productivos. En su estado natural, su calidad depende fundamentalmente de las características de la cuenca hidrográfica de la que forma parte, tales como la geomorfología, pendiente, entre otros aspectos. Sin embargo, los cuerpos hídricos se han visto frecuentemente afectados por procesos de transformación del territorio atribuibles al crecimiento demográfico, los cuales generan efectos que comprenden la alteración del flujo hídrico y del estado natural de los cuerpos de agua cercanos, principalmente por la descarga de efluentes residuales y canalización, de acuerdo con Boyd (2015). Por tal razón, se considera importante el análisis de la calidad del agua de los cursos hídricos en estudios medioambientales, para lo cual el monitoreo y análisis de parámetros físicos, químicos, microbiológicos y metales pesados es llevado a cabo con el fin de realizar una comparación con los límites permisibles de la normativa ambiental vigente local. De manera complementaria, la aplicación de índices de calidad de agua se realiza para la obtención de una referencia cualitativa y cuantitativa de la calidad, con el propósito de destinar los usos adecuados al agua de un cuerpo hídrico determinado (Şener et al., 2017).

Como se menciona, dichos procesos de transformación de un territorio dados por el crecimiento demográfico tales como la urbanización, industrialización y actividades agropecuarias, se denominan cambios en los patrones de uso y cobertura de suelo, cuyas características biofísicas dependen de una interacción a largo plazo entre el ser humano y el ambiente, de acuerdo con Camara et al. (2019). El aumento de estos cambios en los patrones de uso y cobertura ha dado paso a que la calidad del agua superficial de los cuerpos hídricos cercanos se degrade, reportándose diversos problemas relacionados con el uso intensivo e inapropiado de los suelos. En ese sentido, se ha comenzado por analizar la relación que presentan los usos y coberturas de suelo con la calidad de agua de los cuerpos hídricos en un territorio determinado, por lo que a lo largo de la historia se han dado tres oleadas de investigación que han intentado explicar los efectos del uso del suelo y sus cambios en la calidad del agua superficial. La primera oleada se dio a inicios de la década de 1960, donde se estudió el vínculo entre la cubierta terrestre y la calidad del agua de ríos con el fin de indagar los efectos de las características morfológicas de las cuencas en ciertos parámetros de calidad. Después, en la década de 1970, los investigadores se enfocaron en estos análisis a una escala de cuenca hidrográfica. Consecuentemente, la tercera ola sobre este tema surgió desde la época de 1980 hasta la actualidad, en donde la teledetección, el SIG y los métodos de análisis multivariado han ayudado a explorar la influencia de la cubierta terrestre en el sedimento suspendido, los nutrientes y la integridad ecológica de la corriente, y a partir de todos estos factores, se han derivado una serie de indagaciones científicas, mismas que fueron útiles para el desarrollo de este estudio, de acuerdo con Huang et al. (2013). Dentro de estas indagaciones científicas se incluyen los análisis cuantitativos de correlación entre uso de suelo y calidad de agua con fines de manejo y conservación, los cuales recalcan la existencia de un grado de asociación entre los diferentes usos y coberturas con los contaminantes provenientes de fuentes tanto puntuales como difusas, mismas se caracterizan por alterar las condiciones originales de los cuerpos hídricos que recorren dichas zonas (Zhao et al., 2015).

Actualmente, para desarrollar el análisis de la relación entre ambas variables que corresponden al objeto de estudio, diferentes modelos estadísticos exploratorios y de correlación se han establecido para determinar la naturaleza de la relación. Específicamente, los usos destinados a actividades agrícolas se han caracterizado por presentar una fuerte influencia en la calidad del agua por el contenido de nutrientes (nitratos y fosfatos), al igual que los usos de suelo urbanos, comerciales e industriales, que



además están asociados con un sin número de contaminantes del agua como metales pesados (Zhao et al., 2015).

En la parroquia de Baños, cantón Cuenca, Ecuador, el desarrollo de actividades antrópicas se concentra tanto en el área urbana de manera consolidada, como en el área rural de manera dispersa. En base a ello, se ha reportado que la calidad del agua en los cuerpos hídricos disminuye conforme la altitud también disminuye, ya que en las zonas bajas éstos atraviesan un mayor número de áreas agropecuarias y asentamientos como viviendas, de acuerdo con el GAD Municipal del cantón Cuenca (2015). Por lo tanto, se establece que la calidad del agua superficial a nivel cantonal se ve afectada principalmente debido a la dinámica de los centros poblados, en donde el análisis de la relación de la calidad del agua con los diferentes usos de suelo locales es de gran interés, sobre todo en zonas en donde la falta de monitoreo de los diferentes compartimentos ambientales genera preocupaciones a nivel holístico.

El presente estudio se enfoca en el análisis de la calidad del agua de la quebrada El Salado ubicada en la parroquia Baños del cantón Cuenca en Ecuador, a través de la evaluación de parámetros físicos, químicos, microbiológicos y metales pesados, en conjunto con la utilización de índices de calidad del agua, y la posterior aplicación de métodos estadísticos de correlación para hallar la asociación con los usos de suelo delimitados en el área de influencia seleccionada. Los resultados proporcionan una referencia científica para la optimización del uso de suelo local y el control de la contaminación de la quebrada y cuerpos de agua cercanos, así como una orientación para una formulación y refuerzo de políticas públicas por parte de las autoridades competentes, con el objetivo de optimizar la gestión de los recursos agua y suelo.

### **1.2 Identificación del problema y Justificación**

En los últimos años, la parroquia de Baños ubicada en el cantón Cuenca de la provincia del Azuay, ha experimentado un crecimiento poblacional significativo según el VII Censo de Población y VI de Vivienda realizado en noviembre del 2010, con 16861 habitantes que corresponden al 3.33% del total poblacional a nivel cantonal. Para el año 2030, se estima que alcance los 26767 habitantes, de acuerdo con el Gobierno Parroquial de Baños (2015). El crecimiento poblacional se caracteriza por generar cambios en el uso y cobertura de suelo con fines de desarrollo a través del tiempo, debido al aumento de la demanda de recursos naturales. Según Zhao et al. (2015), estos cambios de uso de suelo mantienen relación con contaminantes de origen tanto puntual como difuso, hecho que posibilita el aumento de efluentes y la consecuente degradación de la calidad del agua de los cursos hídricos que recorren la parroquia.

La quebrada El Salado representa uno de los principales cuerpos de agua que atraviesan el centro de la parroquia Baños, mismo que ha sido utilizado anteriormente como fuente para riego de cultivos y actividades ganaderas como el abrevadero de animales. Dichas actividades productivas han dejado de realizarse con frecuencia debido a la descarga de efluentes, principalmente de origen doméstico, lo cual se complementa a través del hecho de que las zonas altas de Baños no cuentan con un sistema de alcantarillado, de acuerdo con ETAPA EP (2020). De manera adicional se ha evidenciado, luego de haber realizado varios recorridos por la zona, el manejo inadecuado de los residuos sólidos en zonas aledañas y márgenes de la quebrada, en donde los moradores del sector han mencionado que no se han propuesto mingas ni campañas de limpieza y mantenimiento del canal en los últimos cuatro años. Complementariamente, se conoce que la descarga de los efluentes residuales genera otros problemas en la zona, tales como la putrefacción de los desagües por la alta carga orgánica presente, la reproducción



de vectores, emanación de malos olores en el ambiente, fraccionamiento del suelo e insostenibilidad de actividades agropecuarias (Giri y Qiu, 2016).

Estos factores han provocado malestar en la población, llegando a alterar su calidad de vida y economía ya que la quebrada se encuentra cercana a zonas urbanas como parques recreativos, áreas de espacios verdes, centros de salud, viviendas, centros educativos, áreas agrícolas y ganaderas, establecimientos comerciales, entre otros espacios, los cuales se han visto afectados los últimos años por la falta de disponibilidad de fuentes de agua para riego, falta de saneamiento y exposición a problemas de salud (Gobierno Parroquial de Baños, 2015).

Por lo tanto, debido a que se ha reportado que la descarga de efluentes y desechos sólidos en el agua de la quebrada El Salado genera serias molestias en las comunidades aledañas, se consideró conveniente realizar el diagnóstico de la calidad del recurso hídrico para determinar el grado de contaminación y su relación con el uso de suelo correspondiente a sus áreas circundantes.

El análisis se realizó con el interés de proporcionar directrices suficientes a entidades pertinentes para la limitación de usos del agua y medidas futuras como la restauración de ecosistemas acuáticos, mejoras en la planificación urbana y periurbana, programas de manejo de cuencas que sean viables y ecológicamente racionales, refuerzo o formulación de políticas ambientales dentro de la evaluación de decisiones alternativas de gestión de la tierra y agua, correcto manejo de desechos sólidos, e implementación de medidas de control para prevenir la contaminación de cuerpos de agua (Giri y Qiu, 2016).

### 1.3 Hipótesis

La contaminación del agua de la quebrada El Salado se encuentra asociada con las características de los usos de suelo de la parroquia Baños, principalmente en zonas dominadas por usos de suelo de carácter antropogénico.

### 1.4 Objetivos

#### 1.4.1 Objetivo general:

- Determinar la relación entre la calidad del agua de la quebrada El Salado y el uso de suelo urbano y periurbano de la parroquia Baños, Cuenca.

#### 1.4.1 Objetivos específicos:

- Establecer la línea base correspondiente al área de estudio, considerando los usos de suelo y las fuentes de contaminación de la quebrada El Salado.
- Evaluar la calidad del agua mediante parámetros físicos, químicos y microbiológicos de varios puntos en la quebrada El Salado mediante la aplicación del índice NSF-WQI, Segundo Índice de DINIUS - WQI, e Índice de Contaminación por Metales Pesados HPI.
- Determinar la relación entre las variables de calidad de agua y las categorías de uso de suelo, mediante herramientas estadísticas que asocien el índice y sus variables con cada uso de suelo.
- Generar información que contribuya a estudios posteriores para abarcar temas relacionados con la protección de cuerpos de agua y diagnósticos ambientales.



## CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

### 2.1 Calidad del agua

El agua es esencial para la vida humana y otras formas de vida. Representa un compartimento ambiental en conjunto con el aire y suelo, corresponde a las tres cuartas partes de la composición del planeta y permanece en un ciclo continuo ocupando la hidrósfera. Si bien el agua es abundante, las formas de abastecimiento que permiten mantener los niveles de calidad de vida de la población humana, así como las condiciones adecuadas para el desarrollo de los ecosistemas, se han visto fuertemente comprometidas. Una de las principales razones es el crecimiento demográfico que implica un incremento de la demanda del agua, así como de actividades (entre ellas agrícolas, industriales, domésticas, entre otras acciones), que tienden a generar impactos negativos por la contaminación de cuerpos hídricos. Por tales razones, radica la importancia de estudiar tanto la cantidad como la calidad del agua de las fuentes hídricas locales. Esto permite tomar medidas a futuro como la determinación de los usos que deben darse a las mismas, acciones de prevención y remediación, y posibles alternativas para su aprovechamiento (Boyd, 2015).

La calidad es un factor determinante de la disponibilidad del recurso agua para un criterio determinado según su uso, principalmente de consumo humano. Corresponde a un parámetro medible según las variables físicas, químicas y microbiológicas, y según los efectos que un determinado uso del agua genera sobre la salud de los ecosistemas y la población humana. Debido a esto, existen estándares de calidad con el fin de limitar los diferentes usos o propósitos de un determinado cuerpo hídrico, mismos que se contemplan a través de normativas de carácter ambiental basadas en el valor cuantitativo de variables de control como color, turbidez, pH, microorganismos presentes, metales pesados, concentración de oxígeno, entre otros, de acuerdo con Boyd (2015); en donde los valores de estos parámetros son perjudiciales para la salud humana si no cumplen con los límites establecidos para uno o varios usos determinados (Akter et al., 2016).

La calidad del agua no solamente se encuentra influenciada por la actividad humana. Naturalmente, el agua se encuentra en combinación con partículas sólidas como trazas de minerales y material orgánico. Así mismo, en el lecho de los cuerpos de agua en donde existen sedimentos, la actividad biológica influye en los parámetros que afectan su calidad (oxígeno disuelto, nutrientes, pH, turbidez, entre otros). Además de la actividad biológica, la calidad del agua se ve alterada por factores hidrológicos, geológicos y climáticos. Sin embargo, la actividad humana tiene una influencia mucho más fuerte sobre la calidad del agua, principalmente debido a la introducción de microorganismos patógenos provenientes de las descargas domésticas, ya que una de las mayores causas de muertes se debe a las enfermedades transmitidas por el agua. De igual manera, la adición de contaminantes a las aguas superficiales y subsuperficiales han generado problemas como eutrofización, sedimentación, agotamiento del oxígeno disuelto, toxicidad y muerte de seres vivos (Boyd, 2015).

#### 2.1.1 Contaminación del agua según la fuente

##### 2.1.1.1 Contaminación del agua por fuentes puntuales

Se denomina así a la contaminación cuyo origen de descarga hacia un cuerpo de agua es conocido o identificable en un solo sitio, y comprende fuentes de carácter industrial y municipal o urbano, excluyendo descargas como agrícolas o aguas-lluvia. Su transporte generalmente se lleva a cabo a través





de tuberías, canales, conductos, pozos, contenedores, entre otros, mismos que desembocan en un cuerpo de agua (Galaviz y Sosa, 2019).

### **2.1.1.2 Contaminación del agua por fuentes difusas**

Se refiere a la contaminación que proviene de fuentes no puntuales, o aquellas que no se pueden identificar, cuantificar o controlar en un solo sitio de descarga (Galaviz y Sosa, 2019). Procesos como escorrentía, precipitación, deposición atmosférica o modificación hidrológica promueven el transporte de los contaminantes naturales y antrópicos a una distancia determinada desde su punto de origen, depositándose finalmente en los cuerpos de agua tanto superficiales como subterráneos. Se ha indicado además, que actividades como la agricultura son identificadas como importantes fuentes de contaminación difusa debido al impacto en la calidad del agua dado por el aporte de sedimentos, desechos animales, nutrientes vegetales, residuos de cultivos, sales inorgánicas y minerales, y pesticidas. Así mismo, la presencia de áreas urbanas tiene el potencial de generar contaminación difusa debido a la descarga de aguas-lluvia que terminan transportando sedimentos, nutrientes y coliformes hacia un efluente, por ejemplo, de acuerdo con Basnyat et al. (1999). Es así que estudios previos demuestran la relación entre los tipos de uso y cobertura de suelo (incluyendo suelos agrícolas, bosques y pasto) y los contaminantes de fuentes difusas que cada uno de estos aporta, según Zhao et al. (2015). Debido a su naturaleza, resulta relativamente difícil evaluar sus impactos (Galaviz y Sosa, 2019).

### **2.1.2 Parámetros para determinación de calidad de agua**

#### **2.1.2.1 Parámetros Físicos**

##### **a) Temperatura (T)**

Este parámetro es importante por sus efectos en reacciones químicas y biológicas que se desarrollan en el agua y en los organismos acuáticos. Una variación de temperatura en un cuerpo de agua afecta la solubilidad de sales, oxígeno disuelto y tasa de biodegradación. Los niveles altos de sólidos disueltos y sólidos suspendidos pueden aumentar la temperatura del agua debido a que los materiales sólidos absorben el calor de la luz solar. Los efectos se reflejan en ecosistemas acuáticos debido a una contaminación térmica por la descarga de efluentes con una temperatura elevada (Effendi et al., 2015).

##### **b) Turbidez (Turb)**

La turbidez proviene de materiales suspendidos como barro, arena, materiales orgánicos e inorgánicos, plancton y otros organismos microscópicos que contribuyen a la pérdida de la transparencia de un cuerpo hídrico. Este parámetro incrementa con una mayor presencia de los mismos, en donde una turbidez alta afecta directamente la vida acuática ya que ésta depende en gran medida de la intensidad de la luz solar y de la temperatura del agua, la cual es absorbida por las partículas suspendidas, entre otros factores. Generalmente, la turbidez del agua en la parte alta de un río se señala como baja en comparación con la de aguas abajo. Este parámetro se expresa a través de Unidades Nefelométricas de Turbidez (Effendi et al., 2015).

##### **c) Color (Col)**

El color del agua es un indicador de calidad ya que su presencia se debe a la materia orgánica coloreada en forma de partículas disueltas (color verdadero) y en suspensión (color aparente). Es por ello que su medición requiere que las partículas en suspensión sean filtradas de modo que la muestra no presente turbidez. Partículas como el fitoplancton producen un color verde, verde azulado, amarillo, rojo o negro,



mientras que la presencia de hierro un color rojizo, la presencia de manganeso y sustancias húmicas indican un color negro, y la presencia de limos y arcillas genera una coloración marrón. Este parámetro se mide a través de su comparación con cristales de color y se expresa en Unidades de Color Verdadero (Boyd, 2015).

#### **d) Conductividad Específica (CE)**

La conductividad se define como la capacidad de un cuerpo hídrico para conducir una carga eléctrica. Esta capacidad depende de las concentraciones de iones disueltos, la fuerza iónica y la temperatura de las mediciones. Por lo tanto, la conductividad es utilizada como un parámetro de calidad de agua debido a que, al igual que los sólidos disueltos totales, es un indicador del nivel de salinidad. Se expresa en microSiemens por centímetro ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) a una temperatura de  $25^{\circ}\text{C}$  (Rusydi, 2018).

### **2.1.2.2 Parámetros Químicos**

#### **a) pH**

Basado en la cantidad de iones libres de hidrógeno, este parámetro indica la naturaleza ácida o básica de un cuerpo de agua en una escala del 0 al 14. Generalmente es medido a través de un pH-metro, en donde un valor de 7 significa que existe la misma cantidad de iones libres de hidrógeno ( $\text{H}^+$ ) e iones hidroxilo ( $\text{OH}^-$ ), indicando neutralidad; por otra parte, los valores menores a 7 indican acidez, en donde existen más iones ( $\text{H}^+$ ) que iones ( $\text{OH}^-$ ), mientras que valores mayores indican basicidad, en donde la cantidad de ( $\text{OH}^-$ ) es predominante. La alteración de este parámetro es importante para la determinación de la calidad hídrica ya que permite definir si el agua es apta principalmente para consumo humano o irrigación, e indica propiedades como la solubilidad de metales pesados, alcalinidad o dureza del agua (Şener et al., 2017).

#### **b) Sólidos totales (ST)**

Constituyen toda la cantidad de materia sólida contenida en una sustancia líquida, tanto suspendida como disuelta, sea esta materia orgánica y/o mineral. Los sólidos totales son identificables al permanecer como residuo luego de haber sido evaporados y secados a una temperatura de  $103^{\circ}\text{C}$ . Los sólidos totales, tanto disueltos como suspendidos influyen directamente en la temperatura del agua al tener la capacidad de absorber calor proveniente de la luz solar. La distinción entre sólidos disueltos y suspendidos generalmente se basa en el tamaño de las partículas, en donde aquellas que atraviesan un filtro de 2 micrómetros son consideradas sólidos disueltos, mientras que aquellas que son retenidas se denominan sólidos suspendidos, los cuales mantienen una relación directa con la turbidez de un cuerpo hídrico. Se expresan en partes por millón (Boyd, 2015).

#### **c) Oxígeno disuelto (OD)**

Corresponde a la cantidad de oxígeno que se encuentra presente en el agua. Permite determinar la calidad de un cuerpo hídrico debido a que su disponibilidad es esencial para la respiración aerobia de los organismos acuáticos, de manera que un nivel alto de OD indica una buena calidad de agua, y un nivel bajo indica una calidad baja, puesto que el desarrollo de los organismos implica una alta demanda de oxígeno por parte de los mismos, y mientras mayor es la contaminación del agua por materiales orgánicos, mayor será la cantidad de oxígeno consumido para descomponer esos materiales, resultando en un contenido de OD en el agua muy bajo, como menciona Effendi et al. (2015). Como se señaló previamente, la temperatura también es un factor estrechamente ligado a la capacidad del oxígeno para disolverse en un cuerpo de agua, en donde temperaturas bajas indican mayores concentraciones de OD,



y temperaturas altas indican menores concentraciones. Las concentraciones de oxígeno disuelto se expresan en miligramos por litro, mililitros por litro o porcentaje de saturación (Boyd, 2015).

#### d) Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)

La DBO corresponde a la medida de la cantidad de oxígeno disuelto que requiere ser consumido por los microorganismos encontrados en el agua durante el proceso de descomposición química y biológica de materia orgánica oxidable que se encuentra presente en un cuerpo de agua. Las unidades en las que este parámetro se expresa generalmente son miligramos por litro (Boyd, 2015).

- **Medición estándar de 5 días (DBO<sub>5</sub>)**

La DBO<sub>5</sub> es una medida muy utilizada para estimar la contaminación de una muestra de agua. Se determina a través de la cantidad de oxígeno consumida por un cultivo microbiano que ha sido añadido a una alícuota de la muestra durante la descomposición de la materia orgánica presente, por efecto de la actividad respiratoria. Esta alícuota es incubada dentro de un periodo de 5 días, generalmente a 20°C, y el cálculo se basa en la diferencia entre el oxígeno disponible en la muestra, y el volumen de la alícuota a una temperatura dada. Esta diferencia se expresa mediante la igualdad expresada en la Ecuación (1) (Jouanneau et al., 2014 ; Rodier et al., 2011):

$$DBO_5 = \frac{(D1-D2)-(B1-B2)f}{P} \quad (1)$$

En donde:

- $DBO_5$  = Demanda Bioquímica de Oxígeno para 5 días
- $D1$  = Oxígeno disuelto de la muestra diluida inmediatamente después de la preparación, [mg/l].
- $D2$  = Oxígeno disuelto después de 5 días de incubación, [mg/l].
- $B1$  = Oxígeno disuelto en el inóculo antes de la incubación, [mg/l].
- $B2$  = Oxígeno disuelto en el inóculo después de la incubación, [mg/l].
- $f$  = Proporción de inóculo en la muestra a inóculo en la preparación “blanco” o de referencia.
- $P$  = Fracción decimal volumétrica de la muestra usada.

#### e) Fosfato Total (PT- $PO_4^{3-}$ )

Se conforma de un ion fósforo y cuatro iones de oxígeno ( $PO_4^{3-}$ ), representando la cantidad total de fosfato que se encuentra presente en un determinado cuerpo de agua. Su importancia radica en que constituye un importante nutriente para el crecimiento de animales y plantas, cuya presencia en el agua se ve incrementada por diferentes fuentes antrópicas tales como la descarga de efluentes industriales, agrícolas y domésticos con presencia de detergentes y fertilizantes, además de las fuentes naturales como la erosión de los minerales de rocas y la descomposición de materia orgánica, según Effendi et al. (2015). Es importante mencionar que si un río tiene bajas concentraciones de fosfato, su estado es relativamente bueno, mientras que, si las concentraciones son elevadas, sus condiciones son malas debido a que uno de los principales problemas que acarrea son los altos niveles de eutrofización (Bolaños-Alfaro et al., 2017).

#### f) Nitratos ( $NO_3^-$ )

Corresponden a la forma más oxidada del nitrógeno y se encuentran presentes en el medio ambiente formando parte de su ciclo biogeoquímico. Al igual que el fosfato, son esenciales para el crecimiento



de las plantas y animales, por lo que son comúnmente utilizados como fertilizantes en actividades agrícolas, cuyos efluentes residuales incrementan su concentración en el medio. Estas concentraciones altas, especialmente en un cuerpo hídrico, pueden ayudar a definir las actividades que se realizan en áreas cercanas al mismo, en donde la eutrofización corresponde al principal efecto (Bolaños-Alfaro et al., 2017).

#### **g) Alcalinidad (Alc)**

Se define como la capacidad de neutralizar un ácido e indica la presencia de hidróxidos, carbonatos y bicarbonatos en el agua, principalmente los iones calcio, magnesio, sodio, potasio y amonio. Se caracteriza por formar precipitados al reaccionar con cationes presentes en el agua, y generalmente su análisis se realiza a través de la titulación con un ácido. Las unidades de medida que presenta son miligramos de  $\text{CaCO}_3$  por litro (Pérez-López, 2016).

#### **h) Dureza (Du)**

La dureza es un indicador de la presencia de metales alcalinotérreos en un cuerpo de agua, principalmente calcio y magnesio. Estos elementos provienen de los minerales y rocas, y según las concentraciones que se encuentren en las aguas, estas pueden clasificarse en blandas (menos de 60 mg/L), ligeramente duras (60-120 mg/L), moderadamente duras (120-180 mg/L) y aguas duras (más de 180 mg/L). Se conoce que las aguas más duras son capaces de generar incrustaciones en los sistemas de distribución como tuberías. Además, la dureza se caracteriza por proporcionar conductividad al agua, por lo que ambos parámetros se encuentran fuertemente relacionados. Se expresan en mg/L de  $\text{CaCO}_3$  (Solís-Castro et al., 2018).

#### **i) Cloruros (Cl)**

Medidos en mg/L, los cloruros representan una de las cuatro especies resultantes de la cloración del agua. Su presencia en aguas residuales proviene principalmente de procesos de escorrentía superficial, minería, fundición, recubrimiento metálico, manufactura de baterías, uso de fertilizantes, entre otros, de acuerdo con Słowik et al (2019). Sus concentraciones en exceso imparten un sabor diferenciado en el agua, pueden generar corrosión en estructuras metálicas e incluso perjudicar el desarrollo de la vegetación. Por otra parte, los métodos comúnmente utilizados para su remoción comprenden la separación por membrana, electrólisis, precipitación y evaporación (Yiwen et al., 2018).

### **2.1.2.3 Parámetros Microbiológicos**

#### **a) Coliformes Fecales (CF)**

Son organismos indicadores de la presencia de aguas domésticas con contenido de heces y por lo tanto de una amplia gama de parásitos. Forman parte de los coliformes totales y se caracterizan por ser perjudiciales para la salud al desencadenar enfermedades como tifoidea y hepatitis, por lo que su presencia debe ser nula en un agua destinada para consumo humano, según Boyd (2015). Las concentraciones de coliformes fecales en los ríos se debe principalmente a aguas residuales domésticas, escorrentía de superficie urbana, y adición de en su camino (Reder et al., 2015).

#### **b) Coliformes Totales (CT)**

El grupo coliforme se utiliza como un indicador microbiano de la calidad del agua. Debido al número de la población total de coliformes, se clasifican en cuatro géneros de las familias *Enterobacteriaceae*: *Escherichia*, *Klebsiella*, *Citrobacter* y *Enterobacter*. Para su análisis, se suele emplear el método de



tubos múltiples propuesto por la Comisión Internacional de Especificaciones Microbiológicas para alimentos, resultados que se expresan como NMP/100 mL. Si existe la presencia de coliformes totales en el agua, es posible detectar también coliformes fecales, siendo la bacteria *E. Coli* el mejor indicador de contaminación fecal (Rodríguez et al., 2019).

### 2.1.2.4 Metales Pesados

Los metales pesados engloban a los elementos metálicos cuyo peso atómico es mayor a 40. Generalmente, muchos de estos elementos son requeridos en pequeñas cantidades por los seres vivos para el cumplimiento de diferentes funciones biológicas como el zinc y el cobre, según Londoño Franco et al. (2016). Sin embargo, un exceso en su concentración resulta perjudicial para la salud del medio ambiente y los seres vivos. Su importancia radica en su toxicidad, no degradabilidad, persistencia y naturaleza de bioacumulación, generando afecciones al medio ambiente y al ser humano. Estos metales se encuentran en el ambiente en bajas concentraciones debido a fuentes naturales tales como la meteorización natural de rocas y erosión de suelos y formaciones geológicas. Las fuentes antropogénicas más comunes son aquellas derivadas de procesos industriales y mineros, descargas domésticas y fertilizantes agrícolas, incrementando su concentración natural en el ambiente, de acuerdo con Abou Zakhem y Hafez (2015). De este grupo, los metales más comunes encontrados en el agua son níquel, zinc, litio, cromo, cobre, arsénico, cadmio, hierro, plata y uranio, según Kovacova, Demcak, y Balintov (2019). Por lo tanto, el monitoreo continuo de los mismos dentro del estudio de la contaminación de los recursos hídricos es fundamental (Ghaderpoori et al., 2018).

#### a) Arsénico (As)

Corresponde a un metaloide muy tóxico que afecta la salud humana y al equilibrio ambiental incluso en pequeñas concentraciones. La presencia local de arsénico en cuerpos de agua se debe a factores naturales de origen geológico, como el volcanismo terciario y cuaternario característico de la Cordillera de los Andes que se manifiesta en aguas termales, según Cumbal et al. (2015). Además, actividades que incluyen la extracción de minerales, fundición de metales y uso de pesticidas, engloban a las fuentes antropogénicas que contribuyen a la presencia de arsénico. Las aguas residuales con alto contenido de arsénico pueden contener además cobre, plomo, zinc, cadmio, bismuto y otros iones metálicos nocivos, lo que hace que la composición de estas aguas sea compleja y necesite de un tratamiento previo para cumplir con los estándares de descarga. Para la remoción de arsénico se puede utilizar el método de la sal férrica con cal, sulfuración, adsorción, membrana de separación, entre otros (Lu et al., 2019).

#### b) Cadmio (Cd)

El cadmio se encuentra naturalmente distribuido en la corteza terrestre, lo que representa una fuente natural de este metal en cuerpos hídricos debido a procesos de erosión de suelos y rocas sedimentarias e ígneas, además de fenómenos como erupciones volcánicas e incendios forestales. Adicionalmente, es conocido por liberarse al ambiente mediante subprocesos industriales de minería, fundición, refinación de minerales, y a través de residuos provenientes de procesos de galvanoplastia, fabricación de aleaciones, plásticos, pigmentos, baterías de cadmio-níquel, entre otros. Este elemento tiene la capacidad de recorrer grandes distancias a través del aire, siendo altamente tóxico y persistente, presentando efectos como la acumulación en seres vivos luego de una exposición corta y a través de su ingestión o inhalación. El tratamiento de aguas residuales con contenido de cadmio se realiza a través de diferentes técnicas como la adsorción, floculación, coagulación, entre otros (Kumar y Kumar, 2019).



### c) Zinc (Zn)

Es un ión metálico esencial que en pequeñas cantidades actúa como micronutriente, sin embargo, puede llegar a ser muy perjudicial para los humanos y el ecosistema cuando existe una exposición excesiva de este metal. Los minerales del zinc pueden presentarse de forma natural en el agua, y una mayor concentración de los mismos llega a cuerpos de agua por medio de la actividad industrial de telas, madera, procesos de galvanizado, minería, cerámica, producción de baterías y de medicamentos. Existen varios métodos para remover el zinc del agua residual como la precipitación química a un pH alto, adsorción, intercambio iónico, entre otros (Ngabura et al., 2018).

### d) Cromo (Cr)

Micronutriente importante en la actividad biológica, el cromo se encuentra naturalmente en el ambiente en todas sus fases, cuya presencia en el agua se deriva principalmente de la erosión de rocas y suelos. Sus numerosos usos industriales como en la metalurgia, fabricación de hornos, entre otros, contribuyen a elevar las concentraciones en el medio. Los métodos de medición de cromo tienden a considerar su forma hexavalente debido a que representa la forma más peligrosa en términos de salud ambiental debido a su toxicidad y su capacidad de acidificar el suelo (generalmente, el cromo hexavalente es producido de forma industrial cuando el  $Cr_{(III)}$  es calentado en presencia de bases minerales y oxígeno atmosférico) (Shanker y Venkateswarlu, 2011).

### 2.1.3 Medición de caudal

La cantidad de flujo de agua que conforma un cuerpo hídrico y circula a través de un área definida, se denomina caudal o flujo volumétrico, cuya definición se expresa como la relación entre la velocidad promedio del flujo y el área de sección transversal, como explica la Ecuación (2) (Boyd, 2015):

$$Q = VA \tag{2}$$

$Q$  representa el flujo expresado en  $m^3/s$ ,  $V$  se define como la velocidad promedio en  $m/s$ , y  $A$  se refiere al área de sección transversal en  $m^2$ . Uno de los métodos más utilizados debido a la exactitud y rapidez en la presentación de resultados para estudios a corto plazo es el método del correntómetro, el cual es un equipo cuya estructura se basa en un soporte tubular expandible que posee en su extremo inferior un sensor contenido en una hélice, y una pantalla digital localizada en su extremo superior. El correntómetro se coloca a contra corriente en puntos medios de la sección transversal del canal, y proporciona mediciones automáticas de velocidad según la rotación de la hélice, generada por la circulación del agua. Una regla milimétrica está inscrita en el soporte vertical con el fin de facilitar la medición de la profundidad con la que el correntómetro se sumerge al agua, y en conjunto con la medida del ancho de la sección transversal del cauce en donde se toman las mediciones de velocidad, se calcula el área a través de los promedios de profundidad y ancho medidos. Con los datos obtenidos, es posible aplicar la Ecuación 2 para hallar los valores de caudal. Este método se ha reportado como efectivo para zonas montañosas (Dobriyal et al., 2017).

Las variaciones de caudal volumétrico se presentan debido a los cambios en los niveles de agua, los cuales a su vez dependen estrechamente de procesos como precipitación, escorrentía, descarga y recarga de aguas subterráneas, según su duración, frecuencia y magnitud, dadas por la estacionalidad en la región. El impacto antropogénico generado por actividades como la descarga de aguas residuales y uso intensivo del agua, también es un factor influyente en la alteración de los niveles, como menciona Dobriyal et al. (2017). Específicamente, procesos de recarga hídrica como precipitación tienen la



capacidad de alterar las propiedades físicas y químicas del agua a través de la dilución de contaminantes presentes, lo que traería consigo valores positivos en términos de calidad, frente a periodos o regiones con predominancia de sequía. De igual manera, la precipitación puede aportar en una disminución del pH debido a condiciones de lluvia ácida, disminución de la conductividad, temperatura y aumento de oxígeno disuelto, mientras que procesos como la escorrentía superficial pueden acarrear contaminantes a las aguas, según (Huicheng y Kieran, 2018). De esta manera, las mediciones de caudal permiten proveer información acerca de la determinación de los niveles y calidad idóneos para su uso dentro de los términos de manejo sustentable (Dobriyal et al., 2017).

#### 2.1.4 Índices de calidad del agua (ICA)

Durante las últimas tres décadas del siglo XX, la preocupación por la calidad del agua ha crecido notoriamente, de manera que ha adquirido tanta importancia como la cantidad del agua. Una forma de describir la calidad de una muestra de agua determinada es analizar las concentraciones de todos los constituyentes de la muestra. Los índices de calidad del agua ayudan a interpretar la lista de constituyentes y sus concentraciones presentes, de manera que estos se interrelacionen en una muestra en un valor único (Abbasi y Abbasi, 2012).

La formulación y el uso de índices han sido fuertemente defendidos por las agencias responsables del suministro de agua y el control de la contaminación del agua. Los índices de calidad del agua sirven como una herramienta conveniente para examinar tendencias, resaltar condiciones ambientales específicas y ayudar a los responsables de la toma de decisiones gubernamentales a evaluar la efectividad de los programas regulatorios. Por lo tanto, en forma específica, los índices de calidad del agua ayudan en:

- Toma de decisiones relacionadas con el agua.
- Comparación de la calidad del agua en distintas ubicaciones o áreas geográficas.
- Verificación en el cumplimiento de los límites máximos permisibles.
- Determinación de los cambios en la calidad (degradación o mejora) que se han producido durante un periodo.
- Provisión de información pública fácilmente interpretable sobre la calidad general del agua de cualquier fuente.
- Aportes en investigación científica (Abbasi y Abbasi, 2012).

##### 2.1.4.1 Índice NSF-WQI

También conocido como el índice de Brown, fue desarrollado con una estructura similar a otros índices, tales como el de Horton, pero con más rigor en aspectos como la selección de parámetros, la obtención de una escala común, y la asignación de ponderaciones. La creación del índice fue apoyada por la Fundación Nacional de Saneamiento de Estados Unidos (NSF). El proceso de formación del mismo se basó en el método “Delphi”, desarrollado por la Rand Corporation, que corresponde a una técnica de investigación de opinión que permite extraer información y retroalimentar las respuestas del juicio total de los participantes. En total se realizaron 3 cuestionarios; en el primero, los encuestados consideraron 35 parámetros posibles a incluir en el índice; en el segundo, establecieron una lista de 9 parámetros y algunos más por separado después de revisar su juicio original y modificar sus respuestas iniciales, y en el tercer cuestionario, se asignó los valores a cada parámetro representando la variación en el nivel de calidad del agua dada por las mediciones realizadas, como menciona Brown et al. (1970). De esta



manera, un panel conformado por 142 personas expertas en el manejo de la calidad del agua fue encuestado para seleccionar una lista con los parámetros más importantes e influyentes en la calidad del agua y para asignar un valor a los mismos considerando sus diferentes concentraciones. Esta relación de concentración-valor de cada parámetro se expresó en forma de gráficos formados por conjuntos de curvas. Después, los panelistas compararon la calidad relativa del agua a través de los parámetros previamente seleccionados, calificándoles en una escala del 1 como la más alta y 5 como la más baja, valores que para ser convertidos en ponderaciones pasaron a tomar un valor temporal de 1 al parámetro con la calificación más alta, y los pesos de los demás parámetros se obtuvieron dividiendo la calificación más alta por la calificación media individual. Para obtener el peso final, se dividió cada peso temporal por la suma de todos los pesos temporales. Al sumar los pesos finales de los parámetros se obtuvo un valor total de 1, como explica Abbasi y Abbasi (2012). De esta manera, se obtuvo una fórmula para calcular este índice que corresponde a la Ecuación (6) detallada en el numeral 3.2.3.1. del capítulo III.

El NSF-WQI considera el análisis de 9 parámetros, entre ellos físicos como la turbidez (Turb) y temperatura (T); químicos como el potencial de hidrógeno (pH), sólidos totales (ST), porcentaje de saturación de oxígeno disuelto (OD), demanda bioquímica de oxígeno de cinco días ( $DBO_5$ ), fosfato total ( $PT-PO_4^{-3}$ ), nitratos ( $NO_3^-$ ); y biológicos como coliformes fecales (CF); mismos a los que se les ha asignado un peso ponderado individual dentro de este modelo, cuyo valor se relaciona con el impacto que generan en el medio y dentro de una escala de 100 puntos sabiendo que 0 representa a una calidad de agua muy mala y 100 una calidad de agua excelente. Es importante recalcar que, para que no exista una alteración en los resultados que afecte de manera significativa a la clasificación de la calidad de agua de cuerpos hídricos superficiales, se debe considerar únicamente los nueve parámetros mencionados y verificar que se encuentren en sus respectivas unidades, caso contrario, la aplicación de este modelo no tendría utilidad alguna, ya que los resultados no serían reales, según Abbasi y Abbasi (2012). Este índice no aplica para representar la calidad del agua de usos específicos como agua de consumo, agricultura, industria, entre otros, sino para reflejar la influencia compuesta de parámetros significativos de la calidad del agua de una corriente en un valor general, el cual permite comparar las condiciones de la corriente en diferentes puntos en el espacio y el tiempo, y medir el progreso o la falta de progreso en los programas de reducción de la contaminación del agua (Brown et al., 1970).

### 2.1.3.2 Segundo Índice de DINIUS-WQI

Los niveles graduales de contaminación del agua con la ayuda de presupuesto para programas de control han permitido desarrollar índices de calidad del agua. Teniendo en cuenta que la entrada de los datos de los monitoreos de agua actuales es muy amplia y su interpretación se complica al momento de informar sobre su calidad verdadera, se ha planteado el uso de un índice de calidad que reduce toda la información en su forma más simple. En base a ello, se ha propuesto una variedad de índices, en donde muchos de ellos, incluyendo el segundo índice de Dinius, identifican los niveles de contaminantes en una unidad de calidad basada en la relación de concentración de ese contaminante en el agua, con la calidad (Dinius, 1987).

En 1972, Dinius propuso una versión rudimentaria basándose en otros sistemas de índices sugerido por Horton (1965), Brown et al. (1970), McClelland (1974), y otros autores. La primera versión de Dinius tenía dos limitaciones, mismas que más tarde fueron refinadas por un panel de siete científicos de calidad del agua reconocidos a nivel nacional que participaron en un cuestionario Delphi de cuatro rondas, logrando obtener así un índice de calidad del agua que considera los diferentes usos del agua dulce, conocido como Segundo Índice de Dinius – WQI. Los panelistas utilizaron una escala de





calificación general que indica el porcentaje de contaminación, en donde el 100% alude a un agua “perfecta” y 0% a un agua totalmente contaminada, como marco de referencia para establecer la relación entre la cantidad de contaminante presente en el agua y el nivel resultante de contaminación para cada uso del agua. En los cuestionarios I y II se analizaron 11 parámetros que fueron oxígeno disuelto (OD), DBO de 5 días (DBO<sub>5</sub>), coliformes totales (CT), coliformes fecales (CF), pH, alcalinidad (Alc), dureza (Du), cloruros (Cl<sup>-</sup>), conductividad específica (CE), temperatura (T) y color (Col), y en los cuestionarios III y IV se agregó nitratos (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) a la lista de contaminantes (Dinius, 1987).

Para el desarrollo de este índice, se consideraron dos pasos; el primero fue el cálculo de una función de subíndice para cada uno de los 12 contaminantes que indican el cambio en el nivel de contaminación a medida que cambia la cantidad de cada uno de éstos individualmente en el agua, y el segundo paso fue introducir las 12 funciones calculadas anteriormente en un índice general de una manera multiplicativa y empleando pesos de importancia contaminante planteados por los panelistas. Dentro del cálculo de las funciones de subíndices para los contaminantes, se analizaron en primera instancia la combinación de las siete evaluaciones en un subíndice para cada uno de los seis usos del agua; después, se agregaron estos subíndices en un subíndice para el uso general del agua, para ello se obtuvo una evaluación promedio de la importancia del contaminante para cada uso del agua que fueron convertidos en pesos de importancia; finalmente, se formuló la función de subíndice de cada variable contaminante, como resultado de la suma del producto del porcentaje de nivel de contaminación de cada uso multiplicado por su peso de importancia (Dinius, 1987).

El segundo índice de Dinius-WQI basa su importancia en su aplicación a cualquier sistema acuático por su capacidad de adaptación y modificación conforme las condiciones prevalecientes del medio, según Meléndez et al. (2013). Además, es útil ya que la calidad del agua sea clasificada de acuerdo con seis diferentes usos del agua como suministro público de agua potable, recreación, pesca, mariscos, agrícola e industrial (Sedeño-Díaz y López-López, 2007).

### **2.1.3.3 Índice de contaminación por metales pesados o HPI**

Como se ha mencionado previamente, la detección de metales pesados en el agua es importante ya que estos representan una amenaza para la vida acuática, la salud humana y el medio ambiente por su capacidad de biomagnificación y toxicidad. El ingreso de metales pesados a los sistemas fluviales se produce mediante fuentes puntuales y no puntuales o difusas, tales como la degradación de rocas, actividad volcánica, efluentes de actividades industriales, aguas residuales domésticas, escorrentía de campos agrícolas y actividades de áreas urbanas. Por otra parte, ciertos metales como el cromo (Cr) y zinc (Zn), son necesarios para mantener diversas funciones bioquímicas y fisiológicas en organismos vivos a concentraciones muy bajas, pero si exceden las concentraciones umbrales se tornan tóxicos, mientras que otros como el arsénico (As) y el cadmio (Cd), son metales pesados muy tóxicos incluso a concentraciones muy bajas (Pal et al., 2017).

La interpretación de la concentración espacial y estacional de metales pesados mediante el cálculo del HPI es útil para evaluar el nivel de carga de contaminación y la calidad del agua de un río, análisis que posteriormente son de gran utilidad para las agencias reguladoras con respecto a la toma de decisiones y políticas relacionadas con la reducción de la contaminación y gestión de recursos (Pal et al., 2017).

Las concentraciones de los metales pesados en el agua dependen de algunos parámetros fisicoquímicos del agua como es la conductividad, pH, salinidad, turbidez y sólidos disueltos totales. La solubilidad de los metales pesados aumenta cuando el pH disminuye, por ejemplo, y un valor alto de conductividad es un buen indicador de la presencia de metales, de acuerdo con Cengiz et al. (2017). El índice HPI es la



herramienta más adoptada globalmente para evaluar la contaminación por metales pesados en un cuerpo de agua, ya que proporciona una imagen compuesta del impacto agregado de cada metal pesado en la calidad general del agua. La metodología propuesta por Mohan et al. (1996), consistió en el desarrollo de valores de HPI agregando factores de peso entre 0 y 1 como resultado del inverso de los valores de los límites máximos permisibles para los diferentes parámetros contaminantes, y utilizando los valores medios de los metales (Dash et al., 2019; Mohan et al., 1996).

### **2.1.4 Influencia de variables espacio - temporales sobre los índices de calidad de agua**

Existen factores o variables dentro del estudio del monitoreo hídrico que pueden influir significativamente en la calidad del agua de un cuerpo hídrico determinado y, por ende, en los resultados de los índices. Estas variables pueden repercutir en el área de análisis, así como los distintos meses de monitoreo, los cuales están sujetos a estacionalidad. Por ello, para determinar el efecto de dichas variables sobre los resultados de la aplicación de los índices, el empleo de métodos como los análisis factoriales de varianza, representan una herramienta estadística útil para analizar la variación de dichos resultados (Bu et al., 2014).

#### **2.1.4.1 Análisis de varianza ANOVA**

Desarrollado en 1930 por Ronald Fisher en un principio para examinar resultados de experimentos agrícolas, el método estadístico ANOVA se define como una técnica para estudiar los posibles efectos individuales y/o conjuntos que uno o varios factores de estudio tienen sobre los valores de una variable de respuesta medida. Estos factores generalmente son de carácter independiente y cualitativo, mientras que la variable de respuesta media es de naturaleza dependiente y cuantitativa. El método se basa en calcular la media entre los grupos de las variables independientes para comparar su varianza (intervarianza), frente a la varianza promedio dentro de los grupos (intravarianza), cuya relación se conoce como estadístico “W”. De esta manera es posible identificar la existencia de diferencias entre las medias. Cuando estas diferencias son matemáticamente significativas, permiten determinar que los factores efectivamente influyen en los resultados de los valores de la variable cuantitativa, según explican Matthes et al. (2017) y Sawyer (2009). El método se puede clasificar según la cantidad de los factores (variables independientes) que se quieran analizar, en ANOVA de una o dos vías o factores. Este método además forma parte de los métodos paramétricos, los cuales se caracterizan por condiciones como la independencia de los datos observados en una muestra, la distribución gaussiana o normal de los datos, la homogeneidad en los valores de sus varianzas, y la naturaleza numérica de la variable dependiente. Para analizar estas condiciones, se realizan pruebas formales y no formales mediante el análisis de los residuales de los valores de la variable dependiente, según Martin et al. (2017) y Sawyer (2009). Cuando este análisis de varianza ofrece un resultado estadísticamente significativo, indica que al menos un grupo difiere de los otros, sin embargo, no proporciona en qué nivel del factor se encuentra dicha diferencia. Por ello, para un diseño ANOVA con factores independientes, y con más de dos niveles, es necesario recurrir a una prueba a posteriori o “post-hoc” para determinar en qué pares de medias se encuentran las diferencias significativas (Hurtado y Silvente, 2012).

#### **a) Residuales**

Diferencia entre el valor observado de la variable respuesta y el valor esperado estimado (predicho) bajo el modelo lineal especificado. Se utiliza para verificar con mayor exactitud los supuestos de normalidad, homogeneidad de varianzas e independencia (Kozak y Piepho, 2018).



### **b) Estadística no paramétrica**

Se refiere a los métodos aplicables al conjunto de datos que no cumple con las condiciones de parametricidad, con el fin de ajustar los datos a un modelo que permita generar el menor error posible al momento de efectuar el análisis de varianza. Generalmente se lleva a cabo la prueba de Kruskal – Wallis cuando el conjunto de datos de estudio no presenta distribución normal pero sus varianzas son homogéneas, mientras que la prueba de Welch de ANOVA es una modificación aplicable a datos normales, pero heterocedásticos. Se debe tomar en cuenta que, si es que los datos no cumplen con normalidad ni homocedasticidad, conviene realizar transformaciones, ya sea “log normal” cuando hay variaciones grandes en los valores, o arcoseno, la cual es recomendada para valores de proporción (Larson, 2008).

#### **2.1.6 Regulación sobre calidad de agua**

El conjunto de regulaciones sobre la calidad del agua son una herramienta importante para minimizar riesgos a la salud humana, limitar los usos que pueden darse a un cuerpo hídrico, incrementar la protección ecosistémica y mantener el valor de los servicios ambientales tales como recreacionales y turísticos, como menciona (Boyd, 2015). Dentro de la normativa ambiental ecuatoriana, se encuentran los límites máximos permisibles según la clasificación por criterios de calidad, contemplados en el Texto Unificado de Legislación Secundaria del Medio Ambiente “TULSMA” en su versión más reciente. Para el presente estudio, se consideraron los criterios de calidad de aguas para uso agrícola y pecuario de la normativa vigente mencionada, contemplada en el Anexo 1 del Libro VI sobre Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes: Recurso Agua.

### **2.2 Uso y cobertura de suelo**

El uso de suelo se entiende como cada categoría de utilización de un determinado suelo definida bajo la influencia de factores como el propósito de cubrir necesidades humanas, así como de características y procesos naturales del suelo. Por ello, los usos son diversos y entre ellos se encuentran la producción de alimentos, urbanización, recreación, extracción y procesamiento de materiales, entre otros. La cobertura, por otra parte, hace referencia a las características propias de dicho suelo, diferenciados por su naturaleza biofísica (presencia de vegetación superficial, biodiversidad, cuerpos de agua y materiales terrestres). Es así que los usos de suelo generalmente se estudian en conjunto con las coberturas, para dar origen a una clasificación de suelos en tierras agrícolas, bosques nativos, cultivos de ciclo corto, entre muchas otras (Basheer y Praveen, 2018).

#### **2.2.1 Cambio de uso de suelo**

El cambio de uso, por otra parte, es el proceso antrópico a partir del cual, por consecuencia de las actividades humanas y debido al constante crecimiento poblacional, se generan transformaciones del paisaje debido a que el suelo se utiliza como un recurso para diferentes propósitos, sean estos comerciales, productivos, industriales o residenciales. Estos cambios generalmente se dividen en modificaciones y conversiones. Dichas transformaciones son capaces de producir efectos como una presión considerable sobre los ecosistemas, incremento de la vulnerabilidad de ciertos sectores de población humana, erosión de los suelos, entre otros. Por lo tanto, es requerida la existencia de medidas de manejo de tierras y de planificación y ordenamiento territorial, esto con la finalidad de minimizar el impacto negativo sobre este compartimento (Paul y Rashid, 2017).



### 2.2.2 Categorías de uso y cobertura de suelo

Con el propósito de optimizar la utilización del suelo, se ha visto necesario contar con información de los usos y coberturas existentes de manera que sea posible monitorear la dinámica terrestre frente a problemas ligados al incremento poblacional. Para ello, la categorización de usos y coberturas constituyen una herramienta importante, proceso que puede ser desarrollado mediante sensores remotos o teledetección. Esta categorización se basa en la extracción de información a partir de la utilización de imágenes aéreas y espaciales, para generar y validar mapas cartográficos en donde se visualiza la distribución espacial de las diferentes áreas y su porcentaje en relación al total de una zona de interés determinada (Basheer y Praveen (2018).

Dentro del Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial actual del cantón Cuenca, Ecuador, se presenta una primera categorización de usos de suelo locales, que parte de la visualización de la ocupación del territorio para una clasificación general en áreas naturales (vegetación nativa), intervenidas (espacios agropecuarios y forestales con edificaciones para viviendas) y urbanas (espacios definidos como área urbana y cabeceras parroquiales), cuya superficie va de mayor a menor extensión en el orden en que éstas se mencionan, evidenciándose la potencialidad del territorio para la conservación o prestación de servicios ambientales. En el mismo Plan, se presenta una clasificación específica que comprende 26 categorías contempladas en el mapa de usos y coberturas de suelo del cantón, como se observa en la Tabla 1 (GAD Municipal del cantón Cuenca, 2015).

Tabla 1. Categorías de usos y coberturas de suelo en el cantón Cuenca

No.	Categorías de usos y coberturas de suelo en el cantón Cuenca
1	Páramo de pajonal
2	Bosque natural
3	Arbustos
4	Pastizal
5	Pastizal cultivado
6	Páramo sobre roca desnuda
7	Humedales
8	Cultivo de ciclo corto
9	Área cultivada
10	Cultivos multianuales
11	Bosque pluvial subalpino
12	Área urbana discontinua
13	Suelo degradado
14	Área urbana continua
15	Área quemada
16	Cuerpo de agua natural
17	Caminos
18	Sombra
19	Cultivos anuales
20	Área industrial y comercial
21	Ríos
22	Aeropuertos
23	Agua artificial
24	Área de deporte y tiempo libre
25	Área de verde urbano



No.	Categorías de usos y coberturas de suelo en el cantón Cuenca
26	Área no interpretada <sup>1</sup>

Fuente: (GAD Municipal del cantón Cuenca, 2015).

### 2.3 Relación entre calidad de agua y uso de suelo

El impacto de actividades como la expansión urbana, agrícola e industrial, que implican transformaciones del paisaje o cambio de uso de suelo, ha sido considerado como un importante factor que condiciona la calidad del agua de los cuerpos hídricos cercanos y a nivel de cuencas hidrográficas, a través de un aporte de contaminantes y la consecuente alteración de sus propiedades físicas, químicas y microbiológicas, de acuerdo con Zhao et al. (2015). Este incremento de actividades es atribuible al constante crecimiento poblacional y la demanda de espacio para vivienda, alimento y necesidad de infraestructura destinada al transporte (Giri y Qiu, 2016).

El estudio de la relación entre la calidad de agua y el uso de suelo puede clasificarse en tres fases que incluyen un diagnóstico de la calidad hídrica, la obtención de las nuevas variables de los usos y coberturas de suelo en el área de estudio, y posteriormente el análisis cuantitativo mediante la aplicación de modelos estadísticos para encontrar la correlación entre los parámetros individuales de calidad de agua con los distintos usos de suelo, así como con sus componentes principales resultantes. Este tipo de estudios comprende diferentes factores a tomar en cuenta para la interpretación de sus resultados, como la definición de la escala espacial del área de estudio (varias investigaciones recientes se enfocan en escalas pequeñas en donde la corriente alcanza unos cuantos kilómetros y sus alrededores inmediatos), los usos de suelo que presentan correlación positiva y aquellos con correlación negativa, estacionalidad, presencia de fuentes de contaminación y su proximidad con los cuerpos hídricos (Allan, 2004).

Investigaciones previas sobre la asociación de varios parámetros, han definido condiciones como:

- Las zonas con el más alto porcentaje de áreas urbanas, comerciales, industriales y agrícolas deberían estar estrechamente relacionadas con una calidad de agua muy baja, debido a que implican una disminución de áreas boscosas, lo cual generaría repercusiones por un incremento de sedimentos, pesticidas, coliformes fecales, metales pesados y, una mayor carga de nutrientes (Allan, 2004).
- Las áreas boscosas y arbustivas deberían estar relacionadas con una buena calidad de agua debido a su capacidad para actuar como un filtro biológico, al igual que el pastizal (Zhao et al. 2015).
- Por lo tanto, contaminantes como coliformes fecales, metales pesados y nutrientes como fosfatos y nitratos deberían tener una correlación positiva con los usos de suelo urbanos, además de los agrícolas, y una correlación negativa con las coberturas boscosa, arbustiva y de pasto, lo que indica una baja calidad de agua (Mello et al., 2018).

Además, se ha demostrado que el estudio de la relación entre la calidad del agua y uso de suelo permite analizar el efecto de los contaminantes provenientes de fuentes tanto puntuales como difusas. Como

---

<sup>1</sup> La obtención de categorías de uso y cobertura de suelos a través de imágenes satelitales implica cierto porcentaje de áreas cuya interpretación se dificulta debido a perturbaciones tales como la presencia de nubes. Por ello, se utilizan imágenes que generen el menor porcentaje de área no interpretada para una mejor precisión en la categorización de usos de suelo (GAD Municipal del cantón Cuenca, 2015).



ejemplo, los usos de suelo agrícolas presentan una correlación positiva con nutrientes, sedimentos y pesticidas encontrados en los cuerpos hídricos de estudio, pero que provienen no sólo desde la zona de influencia o amortiguamiento más cercana, sino desde zonas lejanas al punto de muestreo, mientras que, a diferencia, existen establecimientos que descargan directamente sus aguas al cuerpo hídrico, y por lo tanto son fácilmente identificables (fuentes puntuales), como indica Zhao et al. (2015). Es así que la importancia de evaluar la relación entre calidad de agua y uso de suelo radica en incorporar información en un área determinada con un escaso o inexistente monitoreo, con el fin de proveer datos útiles para la toma de decisiones en cuanto al manejo de cuencas y la planificación y control de los usos de suelo y agua. Esto permite la protección de ambos recursos, de manera que sea posible cubrir la demanda en términos de producción agrícola, uso municipal, industrial, doméstico, usos recreacionales, conservación y preservación ambiental (Basnyat et al., 1999).

### 2.3.1 Análisis de Componentes Principales (ACP)

Desarrollado por Pearson a finales del siglo XIX, el análisis de componentes principales o ACP se define como una técnica estadística multivariada de carácter exploratorio, que tiene el propósito de reducir la dimensionalidad de un conjunto original de “ $m$ ” datos, creando nuevas variables de tamaño  $z < m$  capaces de explicar la máxima varianza de los datos, según Giri y Qiu (2016). A estas nuevas variables se les denomina “componentes principales o factores”, siendo cada una de ellas combinaciones lineales de las variables originales, mismas que no se encuentran correlacionadas entre sí. Se utiliza principalmente en dos aspectos: para hallar posibles relaciones existentes entre las distintas observaciones o individuos de la matriz de datos, o entre las variables contenidas en la matriz de datos. De esta manera, el ACP agrupa las variables en categorías para facilitar la explicación de la variabilidad del conjunto de datos. El valor de los componentes principales generalmente es utilizado en el posterior análisis de regresión o correlación con un número de predictores simplificados en relación al número de observaciones, con el propósito de simplificar la interpretación de los resultados (Bahar et al., 2008 y Minitab, 2019).

La agrupación del conjunto de datos se realiza a través de una transformación lineal también denominada eigen - descomposición de una matriz de correlación o covarianza para datos dimensionalmente heterogéneos y homogéneos respectivamente. Esta transformación determina eigen valores o valores propios, y eigen vectores o vectores propios, los cuales se definen como números y vectores asociados a las matrices, que permiten establecer el tamaño de componentes principales, así como la magnitud y fuerza de la relación entre los componentes y las variables originales, para así poder definir qué variables son las más influyentes sobre la construcción de cada componente principal. Cada uno de los componentes principales se expresa matemáticamente como se muestra en la Ecuación (3):

$$z_{aj} = a_{i1}x_{1j} + a_{i2}x_{2j} + a_{i3}x_{3j} + \dots + a_{im}x_{1m} \quad (3)$$

En la expresión,  $m$  es el número total de variables y se considera una serie  $(x_1, x_2, x_m)$ , la cual se transforma en un nuevo conjunto de variables  $(z_1, z_2, z_m)$  incorreladas entre sí;  $z$  representa la puntuación del componente,  $a$  es el valor del peso de cada componente,  $i$  es el número del componente, y  $j$  es el número de muestra, según Bahar et al. (2008). Los resultados del ACP se pueden presentar a través de valores propios, vectores propios, correlación y gráficos de influencias de las variables sobre cada componente (Minitab, 2019).



### 2.3.2 Análisis de Correlación de Pearson

Es utilizado frecuentemente para la relación entre contaminantes en términos de concentración de iones, y las características de uso de suelo, de acuerdo con Bahar et al. (2008). Se basa en medir la relación lineal entre dos variables cuantitativas mediante la Ecuación (4):

$$r = \frac{\sigma_{XY}}{\sigma_X \sigma_Y} \quad (4)$$

En la igualdad,  $\sigma_{XY}$  es la covarianza de (X, Y) y  $\sigma_X, \sigma_Y$  representan la desviación estándar de cada variable, para dar como resultado a un valor de coeficiente  $r$  que varía de -1 a +1, en donde los valores positivos indican una tendencia de incremento o disminución simultánea con la segunda variable (relación directamente proporcional), ocurriendo lo contrario con los valores negativos. Así mismo, valores cercanos a cero indican una correlación positiva débil entre las dos variables, y valores cercanos a -1 o +1 indican una asociación lineal fuerte negativa o positiva, respectivamente. Por el contrario, si el valor resulta 0, es posible determinar que la relación entre las variables es no lineal. El conjunto de datos, por definición de los métodos de estadística paramétrica, debe presentar una distribución normal. De otra manera, si ciertas variables del conjunto de datos no cumplen con el supuesto de normalidad, pueden ser ajustados al igual que para el método ANOVA mediante una transformación logarítmica (para variaciones grandes en los valores), transformación arcoseno (recomendada para valores de proporción), o se puede emplear el índice estadístico de Spearman, cuyos coeficientes de correlación son representativos para un conjunto de datos no normal. Generalmente los estudios trabajan con una significancia o nivel de confianza del 95%, lo que indica que la correlación es estadísticamente significativa (Schober et al., 2018).

### 2.3.2 Análisis de Correlación de Spearman

Expresado como  $\rho$  (rho), corresponde a la medición de un coeficiente de correlación aplicable tanto a datos no paramétricos como a datos ordinarios, presentando resultados relativamente robustos frente a datos atípicos. Básicamente, se define como un coeficiente de correlación que utiliza los rangos de los valores de las variables de análisis a diferencia de tomar los valores como tales, y compara dichos rangos para hallar su grado de asociación. Es un coeficiente muy útil para un tamaño muestral menor a 30, y al igual que Pearson, el rango de valores para los coeficientes es de -1 a +1, lo que permite describir valores sin relación lineal ( $\rho = 0$ ), relación positiva ( $\rho$  entre 0 a 1), o relación negativa ( $\rho$  entre 0 a -1). El coeficiente de correlación de Spearman se calcula mediante la siguiente ecuación (5):

$$\rho = 1 - \frac{6 \sum_i d_i^2}{n(n^2 - 1)} \quad (5)$$

La variable  $n$  representa el número de puntos de datos de las dos variables, y  $d_i$  corresponde a la diferencia del rango del elemento “ $n$ ” (Schober et al., 2018).



## CAPÍTULO III: MATERIALES Y MÉTODOS

### 3.1 Delimitación del área de estudio

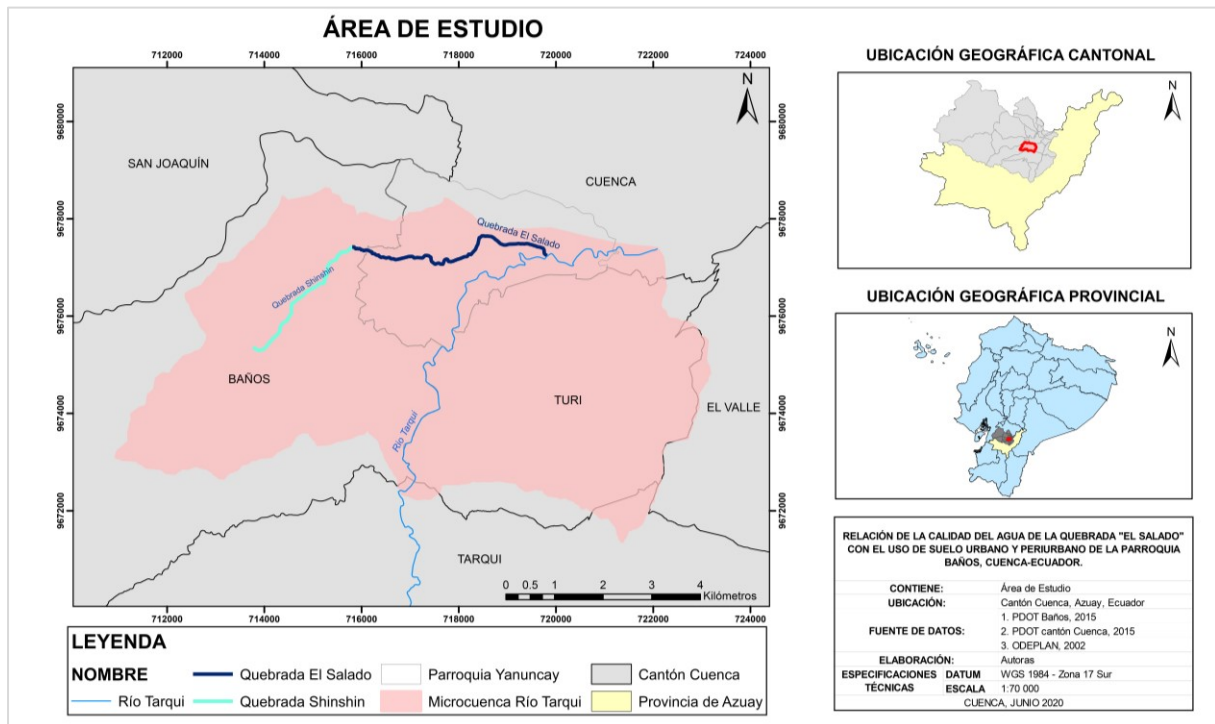
#### 3.1.1 Ubicación

El área de estudio se ubica al noroeste de la microcuenca del río Tarqui, dentro de la parroquia Baños en su mayoría, y la parroquia Yanuncay, correspondientes al cantón Cuenca, Ecuador. Esta área se basa en el recorrido de la quebrada El Salado, partiendo desde quebradas altas antes de su nacimiento (quebrada Shinshin) pertenecientes a sectores de Baños que no cuentan con un sistema de alcantarillado como Ucholoma y Guadalupano, hasta antes de conectarse con el río Tarqui en la parroquia Yanuncay (ver Ilustración 1). Esta trayectoria de 7.98 km de longitud aproximadamente, se ha considerado lo suficientemente amplia para realizar un análisis representativo de la relación existente entre la calidad del agua de la quebrada y los usos de suelo correspondientes, puesto que cubre el recorrido completo del cuerpo hídrico de análisis en conjunto con la parte alta antes de su nacimiento.

La zona de estudio se ubica dentro de la microcuenca del río Tarqui, la cual se encuentra bajo las jurisdicciones de la parroquia de Baños. Baños a su vez representa una de las 21 parroquias que conforman el cantón Cuenca ubicándose al suroeste, específicamente a una distancia de 8 km de la ciudad, con coordenadas  $2^{\circ} 56' 29''$  de latitud sur y  $79^{\circ} 3' 45''$  de longitud oeste. Abarca un área de carácter rural y urbano con una superficie de  $327.3 \text{ km}^2$ , posee un rango de alturas que van de 2580 a 4200 m s.n.m., y se asienta en las estribaciones del sur occidental de la cordillera de los Andes. Limita al norte con la parroquia San Joaquín, al sur con la parroquia Tarqui, Victoria del Portete y los cantones San Fernando y Santa Isabel, al este con Turi y la parroquia urbana Yanuncay de la ciudad de Cuenca, y al oeste con la parroquia Chaucha. La parroquia se caracteriza por ser una importante fuente de turismo debido a las propiedades hidrotermales de sus aguas naturales, mismas que alcanzan las temperaturas más altas registradas a nivel nacional. Así mismo, existen paisajes con características rurales, pero con formas de vida predominantemente urbanas, en donde se presentan diferentes tipos de coberturas y usos de suelo derivados de las características biofísicas de la zona y las actividades antrópicas que se desarrollan (Gobierno Parroquial Baños, 2015).

Por otra parte, la parroquia urbana de Yanuncay representa una de las 15 parroquias urbanas del cantón Cuenca con un área de  $11.21 \text{ km}^2$  y se localiza al suroeste de la ciudad cuyas coordenadas son  $2^{\circ} 54' 1.98''$  de latitud sur y  $79^{\circ} 0' 16.31''$  de longitud oeste. Limita al norte con las parroquias urbanas El Batán, Sucre y la parroquia rural San Joaquín, al sur con las parroquias rurales Turi y Baños, al este con la parroquia urbana Huayna Cápac y parte de Turi, y al oeste con la parroquia Baños (GAD Municipal del cantón Cuenca, 2015). En la Ilustración 1, se presenta la ubicación geográfica del área de estudio (quebrada El Salado y quebrada Shinshin) en relación al territorio ecuatoriano.





*Ilustración 1. Mapa de delimitación geográfica del área de estudio.*  
Elaborado por: Autoras, 2020.

### 3.1.2 Delimitación del área de influencia

Para analizar la relación entre uso de suelo y calidad de agua en cuerpos hídricos, se estableció en la literatura revisada, que es posible considerar un área de amortiguamiento adyacente a la quebrada o río con márgenes de rangos de 100 a 1500 m de cada lado, de acuerdo con la revisión de estudios previos que basan su delimitación del área de influencia en el diseño experimental y la información disponible en la escala seleccionada (Carey et al., 2011; Li et al., 2019; Zhang et al., 2020).

Para esta investigación se consideró un área de influencia basada en una zona de amortiguamiento de 500 m a cada lado de la quebrada, resultando en una superficie total de 624.17 ha, que además de encontrarse dentro del rango previamente mencionado, se evidenció en esta superficie la existencia de fuentes de contribución de contaminantes a la quebrada durante su recorrido (viviendas, establecimientos de mecánicas automotrices, lavadoras de autos, latonerías y galvanizadoras, y zonas de cultivo principalmente), además de que la escala de información cartográfica de usos de suelo (1:20000), que en este caso corresponde a un nivel de levantamiento semi - detallado según Marquina y Mogollón (2018), permite trabajar sobre dicha área con detalle. Adicionalmente, varios estudios han establecido una mayor probabilidad de evidenciar alteraciones en la calidad del agua mediante el análisis de un ancho de amortiguamiento directamente adyacente al cuerpo hídrico, frente a un análisis de toda la microcuenca o cuenca hidrográfica, de acuerdo con Johnson et al. (1997) y Tran et al. (2010). Con los antecedentes antes expuestos, se trazó el área de influencia en base al inicio de la quebrada Shinshin a unos 180 m aproximadamente del punto 1 de muestreo, debido al aporte de contaminantes de fuentes importantes para el estudio como los predios sin alcantarillado y zonas agrícolas de acuerdo con ETAPA EP (2020) y según las conversaciones mantenidas con los moradores del sector (Ver Apéndice 5), continuando el recorrido aguas abajo hacia el nacimiento de la quebrada El Salado (punto 2 de muestreo), luego hacia su recorrido a través de una sección de canal abierto artificial donde se

sitúan los puntos 3 y 4 de muestreo, hasta terminar en la intersección con la Av. De las Américas. A partir de este tramo, la quebrada recorre un acueducto subterráneo embaulado hasta desembocar en el río Tarqui. El procesamiento de la zona se llevó a cabo a través de la herramienta “Buffer” del software ArcMap versión 10.5. En la Ilustración 2, se muestra el resultado de la obtención del área de influencia de la quebrada en conjunto con los puntos de muestreo.

Estudios similares recalcan la importancia de delimitar un área de influencia en este tipo de análisis debido a que la heterogeneidad de las características del suelo y la vegetación influyen en el transporte de los contaminantes a los cursos hídricos, a lo que se conoce como contaminantes provenientes de fuentes difusas (Basnyat et al., 1999).

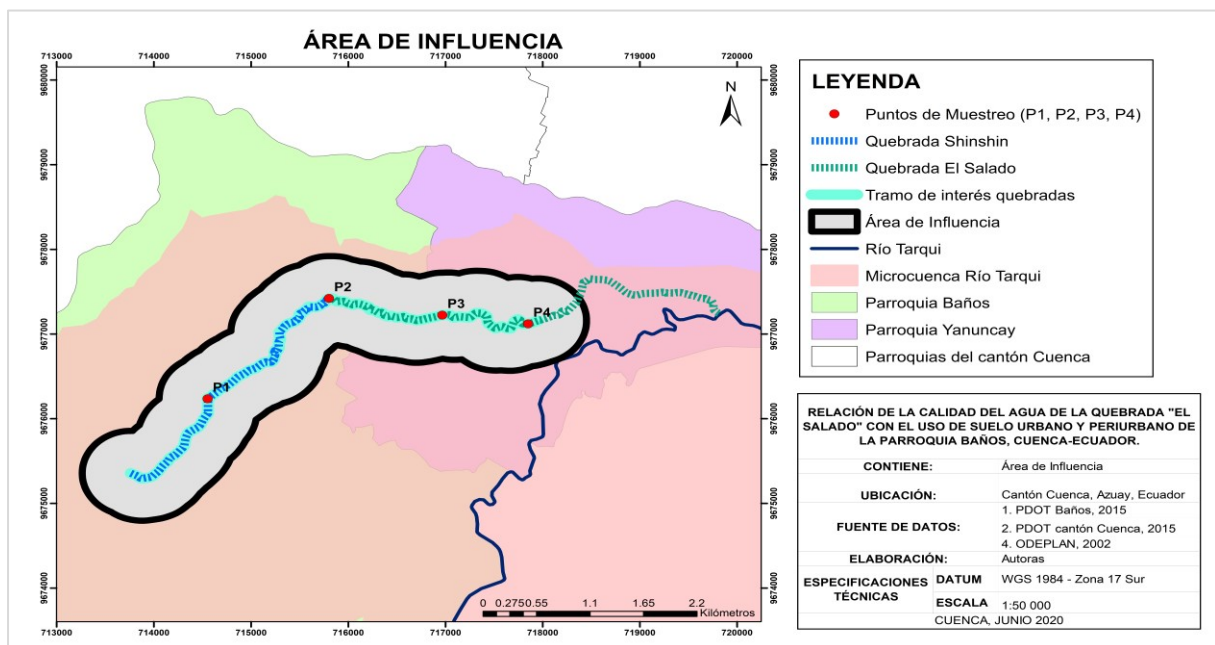


Ilustración 2. Mapa de delimitación geográfica del Área de Influencia y ubicación de puntos de muestreo. Elaborado por: Autoras, 2020.

### 3.1.3 Hidrografía

El área de influencia forma parte de la microcuenca del río Tarqui, como se muestra en la Ilustración 3. La microcuenca del río Tarqui abarca una extensión de 54.07 km<sup>2</sup> y representa una de las 7 microcuencas que conforman la subcuenca de dicho río y que drena sus aguas al mismo desde la cabecera oeste. Corresponde al sistema de 2 subcuencas que conforman la parroquia Baños (Yanuncay y Tarqui), que a su vez forma parte de la zona alta de la cuenca del río Paute (Gobierno Parroquial Baños, 2015).

Con respecto a la red hídrica, ésta se constituye en su mayoría de un conjunto de quebradas que para la zona son clasificadas de acuerdo con la metodología “Strahler” como categoría 1: cauces con recorridos cortos o quebradas. Las quebradas son afluentes de los dos ríos que conforman la microcuenca: Tarqui y Narancay. El Salado forma parte de este conjunto, y nace de la unión de la quebrada Huizhil y la quebrada Shinshin de Baños, con un recorrido total de 4.83 km hasta desembocar en el río Tarqui, como indica el Gobierno Parroquial Baños (2015). Actualmente, la quebrada El Salado recorre un canal superficial natural en la parte alta, un canal artificial en la parte media realizado para la prevención de

inundaciones en la zona periurbana, y finalmente atraviesa un acueducto subterráneo hasta desembocar en el río Tarqui. Específicamente para el área de influencia, el recorrido de los cuerpos hídricos que se consideran para el estudio abarca toda la quebrada aguas arriba Shinshin, así como la unión de la misma con la quebrada Huizhil para dar origen a El Salado, siguiendo el tramo que recorre todo el canal abierto, hasta antes de llegar al acueducto subterráneo, con el fin de analizar la influencia que presenta su calidad de agua con el uso de suelo. Este recorrido alcanza los 7.98 km de longitud.

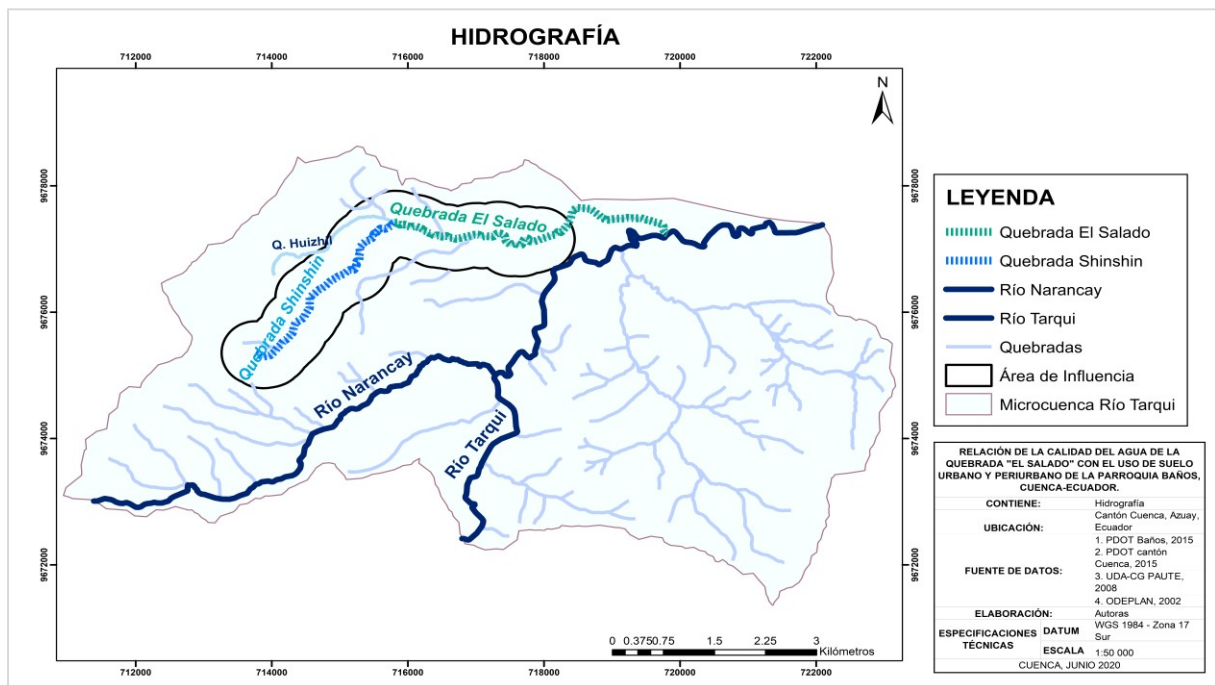


Ilustración 3. Mapa de Hidrografía en el Área de Influencia.  
Elaborado por: Autoras, 2020.

### 3.1.4 Climatología

La variación altitudinal que presenta la región interandina donde se ubica el área de estudio, genera un gradiente amplio de temperaturas. Por ello, se utilizó la clasificación climática del Atlas Geográfico del Ecuador del año 2013, en donde para todo el cantón Cuenca se tienen las siguientes clases de climas:

- Ecuatorial mesotérmico semihúmedo
- Ecuatorial de alta montaña
- Tropical megatérmico semihúmedo
- Tropical megatérmico húmedo
- Tropical megatérmico seco
- Nival

Para el área de influencia, está presente en su totalidad el clima ecuatorial mesotérmico semihúmedo, que a su vez es el más frecuente en la región. Caracterizado por temperaturas de entre 12 a 20°C generalmente, es posible en ciertas ocasiones llegar a un grado inferior a 0°C, mientras que las temperaturas máximas no exceden los 30°C.

Las precipitaciones anuales suelen ir desde 500 a 2000 mm, en donde se presenta anualmente la división de dos estaciones lluviosas y dos estaciones secas; sin embargo, estas se reportan como heterogéneas en duración y localización (Pourrut, 1995).

### 3.1.5 Pendiente

El rango de pendientes se obtuvo a través de la información cartográfica proporcionada por el Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del cantón Cuenca, en donde se presenta un rango de porcentajes de 0-12%, 12-30%, 30-50% y > 50%, como se establece en la Ilustración 4. Para el área de influencia, se observaron valores desde 0% hasta 50%, predominando las zonas con una pendiente entre plana a ligeramente inclinada sobre todo en el sector urbano (0 – 12%), cuyas condiciones permiten el desarrollo de actividades agropecuarias y construcción de viviendas (GAD Municipal del cantón Cuenca, 2015). En la zona en donde se sitúa la quebrada Shinshin está el rango más alto de pendientes (de 30 – 50%), mientras que en las zonas con una mayor urbanización los rangos de pendientes son de 12 – 30% y de 0 – 12%.

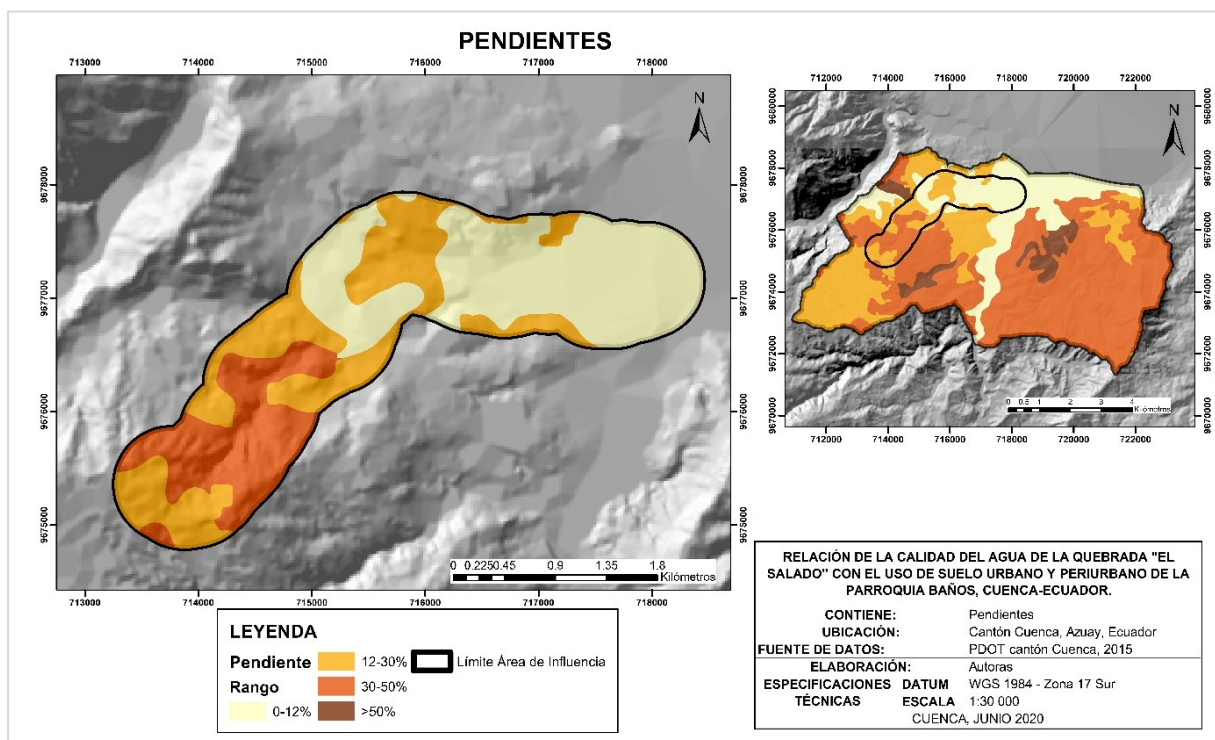


Ilustración 4. Mapa de Rango de Pendientes en el Área de Influencia  
Elaborado por: Autoras, 2020.

### 3.1.6 Geología

El área de influencia se asienta sobre las formaciones geológicas de Turi y Tarqui, encontrándose además zonas de depósito aluvial, terrazas terceras y travertino; las mismas corresponden a la era cenozoica, como se detalla en la Tabla 2 e Ilustración 5 (Eguez et al., 2017; GAD Municipal del cantón, Cuenca, 2015). Las principales formaciones son las siguientes:

- Formación Turi: Del periodo mio y plioceno, su naturaleza litológica corresponde a sedimentos fluviales, arenisca y conglomerado, formando parte del grupo de formaciones "Turi" de la

cordillera occidental de la Sierra. El conglomerado, de origen volcánico y de diversos tamaños, forma escarpas o inclinaciones sobre las cuales se asienta limo, arena y guijarro.

- Formación Tarqui: Del periodo mio y plioceno, se conforma de toba, riolita y andesita. Corresponde a la unidad “Volcánicos Tarqui” de la cuenca intramontañosa de Cuenca, perteneciente al valle interandino de la Sierra. Gran parte de las rocas presenta alteración dada por procesos hidrotermales o metasomáticos debido a su interacción con medios acuosos (GAD Municipal del cantón Cuenca, 2015).

Las formaciones mencionadas corresponden a la geología de interés para el estudio, debido a que permiten corroborar la naturaleza volcánica de la geología en el área de influencia (Apéndice 9). De manera complementaria, se presentan terrazas terceras y depósitos fluviales los cuales se caracterizan por contener gravas, arenas y arcillas; se presenta además travertino, que es conocido por estar formado principalmente de depósitos de carbonato de calcio (GAD Municipal del cantón Cuenca, 2015).

Tabla 2. Descripción y distribución de formaciones geológicas en el Área de Influencia.

Formación	Litografía	Época / Período	Era	Área [ha]	Porcentaje [%]
Formación Turi	Arenisca, conglomerado	Mio-Plioceno / Neógeno	Cenozoica	270.2	43.29
s/n	Terraza tercera	Holoceno / Cuaternario		184.78	29.6
Formación Tarqui	Toba, riolita, andesita	Mio-Plioceno / Neógeno		120.42	19.29
s/n	Travertino	Holoceno / Cuaternario		47.47	7.61
Depósito aluvial	Depósito aluvial	Holoceno / Cuaternario		1.31	0.21
<b>TOTAL</b>				<b>624.17</b>	<b>100.00</b>

Fuente: (GAD Municipal del cantón Cuenca, 2015).

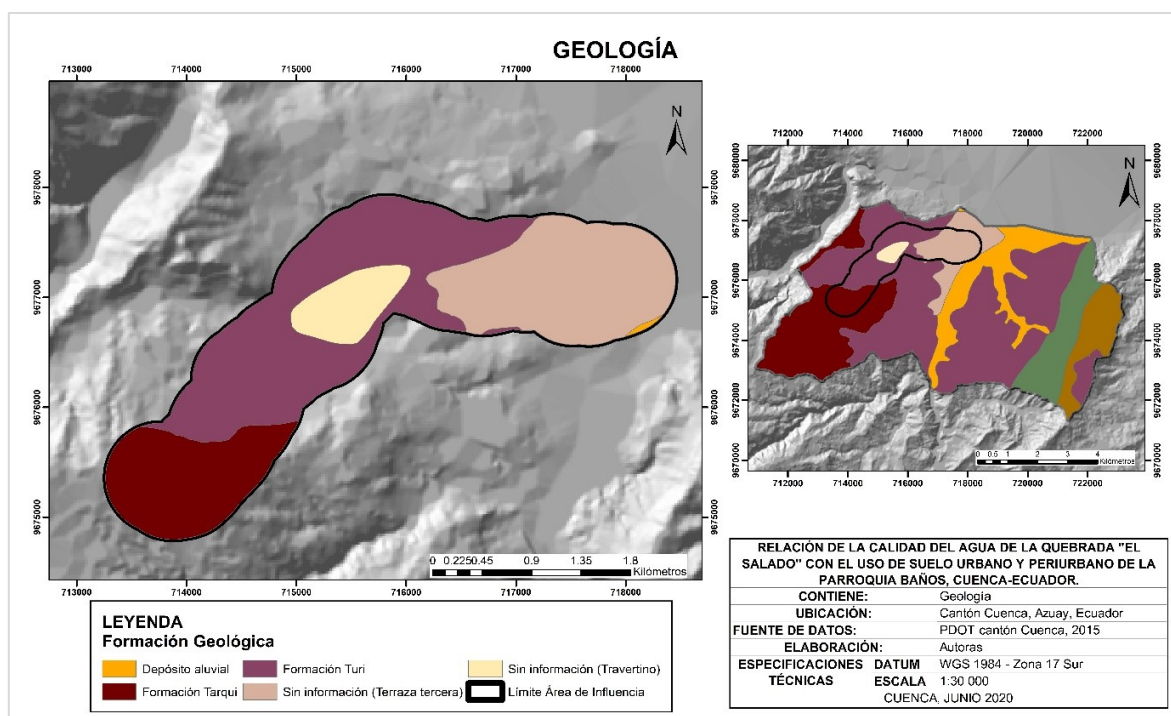


Ilustración 5. Mapa de Geología en el Área de Influencia. Elaborado por: Autoras, 2020.



### 3.2 Actividades relacionadas con la determinación de la calidad del agua

La determinación de la calidad del agua de la quebrada El Salado inició con el monitoreo hídrico en cuatro puntos de muestreo previamente definidos durante 5 meses, a través de la toma de muestras, análisis in – situ y medición de caudal, y posterior análisis ex – situ de los parámetros físicos, químicos y microbiológicos en conjunto con 4 metales pesados de interés. Estos parámetros fueron comparados con los límites máximos permisibles tomados del Anexo 1, Libro VI del TULSMA, sobre criterios de calidad de aguas para riego agrícola y uso pecuario. Luego, se procedió a la aplicación de los índices de calidad de agua NSF – WQI, segundo índice de DINIUS – WQI, y el índice de contaminación por metales pesados HPI, tras la obtención de los valores cuantitativos de cada parámetro, para determinar de manera cualitativa la calidad del agua de acuerdo con la clasificación de cada uno de los índices. Posteriormente, se emplearon métodos estadísticos que comprenden un análisis de varianza con el fin de determinar la influencia de variables espacio – temporales (punto de muestreo y mes de monitoreo) sobre los resultados de los índices de calidad de agua. A su vez, se obtuvieron a través del método de Spearman, las correlaciones encontradas experimentalmente entre las diferentes variables de control de calidad, mismas que se corroboraron con las asociaciones definidas teóricamente.

Para conocer la calidad de agua, se realizó el análisis de un total de 19 parámetros, que corresponden a los requeridos para el cálculo de los tres índices seleccionados (Tabla 3). La elección de los metales pesados As, Cd, Zn y Cr para la aplicación del índice HPI se realizó en base a la relevancia en términos de efectos al medio ambiente y a la salud humana aún en concentraciones pequeñas, como indica Ali et. al (2019), y en base al escenario de carácter volcánico de la zona de Baños, conforme establece el GAD Municipal del cantón Cuenca (2015). Como se menciona anteriormente, se incluyó el monitoreo del caudal, ya que corresponde a un parámetro importante para evidenciar la influencia de las condiciones climáticas sobre la calidad de agua (Boyd, 2015).

Tabla 3. Parámetros de calidad de agua analizados.

Clasificación	Parámetro	Nomenclatura	Unidad
Físicos	Color	Col	UC
	Temperatura	T	°C
	Turbidez	Turb	UNT
	Conductividad Específica	CE	μS/cm
Químicos	Alcalinidad	Alc	mg/L CaCO <sub>3</sub>
	Cloruros	Cl <sup>-</sup>	mg/L
	Dureza	Du	mg/L CaCO <sub>3</sub>
	Demanda bioquímica de oxígeno de cinco días	DBO <sub>5</sub>	mg/L O <sub>2</sub>
	Fosfato total	PT-PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup>	mg/L
	Nitratos	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/L
	Sólidos totales	ST	mg/L
	Oxígeno disuelto	OD	% saturación O <sub>2</sub>
	pH	pH	-
	Arsénico	As	mg/L
	Cadmio	Cd	mg/L
	Cromo	Cr	mg/L
Zinc	Zn	mg/L	
Biológicos	Coliformes Fecales	CF	NMP/100 mL
	Coliformes Totales	CT	NMP/100 mL

Elaborado por: Autoras, 2020.



Cabe destacar que se priorizaron los criterios de calidad de agua para riego agrícola y uso pecuario dentro de la comparación con los límites máximos permisibles del TULSMA, ya que se mantuvieron conversaciones con las autoridades pertenecientes a la zona de estudio (zonas aledañas a los puntos 1 y 2) como técnicos de la Junta Parroquial de Agua Potable y el GAD Parroquial de Baños, así como con ciertos moradores próximos a los puntos 3 y 4 de la quebrada (ver Apéndice 5), en donde se lograron identificar varios aspectos importantes, por ejemplo, que hace varios años las familias utilizaban el agua de la quebrada asiduamente para desarrollar actividades productivas como la siembra de cultivos; también destinaban áreas para potreros de pastoreo de ganado vacuno. Esto se observaba con mayor frecuencia en zonas cercanas a los puntos de muestreo 1 y 2. De igual forma, ocupaban la quebrada para el lavado de ropa, actividades recreacionales, y pesca en las partes altas. En la actualidad, la mayoría de estas actividades han dejado de realizarse, puesto que la comunidad en general comenzó a evidenciar cierto grado de contaminación en el agua de la quebrada, lo cual puede deberse principalmente a la ausencia de sistemas de alcantarillado en varias comunidades que se encuentran a mayor altitud y en ciertos tramos que involucran a los sitios de muestreo 1 y 2 de la quebrada, hecho que se corrobora mediante el mapa de diseños de agua potable y alcantarillado para el cantón Cuenca, según ETAPA EP (2020). De manera adicional, se evidenció durante las campañas de monitoreo la presencia de desechos sólidos en descomposición en los lechos de la quebrada.

### 3.2.1 Procedimiento de muestreo



El muestreo para el análisis físico, químico y microbiológico se realizó en base a los métodos contemplados en el manual “Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater”, en su más reciente edición. Además, se consideraron las siguientes Normas del Instituto Ecuatoriano de Normalización INEN:

- Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2169:2013. Agua: Calidad del agua, muestreo, manejo y conservación de muestras: El objeto de esta norma es dar a conocer las medidas a seguir para transportar muestras de agua y las técnicas comunes para la conservación de las mismas para los análisis físicos, químicos y microbiológicos ex – situ (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2013a).
- Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2176:98. Agua: Calidad del agua, muestreo, técnicas de muestreo: Esta norma indica las técnicas que se usan para realizar el muestreo en forma general para la obtención de datos en los análisis de control de calidad de aguas naturales, contaminadas y residuales para su caracterización (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2013b).



#### 3.2.1.1 Definición de puntos de muestreo

Se seleccionaron cuatro puntos de muestreo en base a la identificación visual de fuentes de contribución de contaminantes, además de lo reportado por los moradores y autoridades del sector en varias socializaciones llevadas a cabo antes y durante la campaña de monitoreo (ver Apéndice 4). Estos puntos se sitúan en las partes alta (antes de su nacimiento), media y baja de la zona de estudio, para monitorear la calidad de agua de la quebrada El Salado, como se representa gráficamente en la Ilustración 2 y se especifica en la Tabla 4.

Tabla 4. Puntos de muestreo de calidad de agua.

Punto Designado: Etiqueta	Coordenadas WGS 84 UTM Zona 17 S		Criterios y Justificación	Registro Fotográfico
	Este (X)	Norte (Y)		
P1	714554.00	9676235.80	P1 representa el punto situado aguas abajo de la quebrada Shinshin, considerado como punto representativo de la zona alta rural del área de influencia, en donde se evidencian áreas boscosas y arbustivas en los alrededores de la quebrada. Se ubica a unos 300 metros de las instalaciones de la Planta de Potabilización de Agua de Baños cuyo interés en el estudio radica en su descarga de aguas y lodos residuales a esta quebrada. Se seleccionó este punto debido a que, además de ser el punto representativo de la parte alta anterior al nacimiento de El Salado, en esta zona se reporta la existencia de viviendas sin servicio de alcantarillado que realizan la descarga directa de aguas negras y grises al cuerpo hídrico, hecho que se corrobora con el mapa de diseños de agua potable y alcantarillado para el cantón Cuenca (ETAPA EP, 2020). También se evidenció la presencia de desechos sólidos en descomposición durante el recorrido.	
P2	715802.27	9677421.26	Corresponde al punto de unión de la quebrada Shinshin y la quebrada Huizhil para dar origen a El Salado, ubicado en la parte media del área de influencia. La selección de este punto se debe a que se encuentra cercano a la avenida “Ricardo Durán”, vía que atraviesa varios establecimientos de interés como hosterías (Hostería Durán, El Riñón, Novaqua SPA, Piedra de Agua, Hostería Termal Rodas) y viviendas que igualmente carecen de servicio de alcantarillado como en el P1, mismos que contribuyen a la descarga de efluentes. Además, se evidenció la presencia de desechos sólidos de manera constante en los márgenes y agua de la quebrada. A partir de esta zona, el paisaje presenta influencia por mayor cantidad de áreas urbanizadas en comparación con P1, con presencia de áreas verdes como pastizales.	



Punto Designado: Etiqueta	Coordenadas WGS 84 UTM Zona 17 S		Criterios y Justificación	Registro Fotográfico
	Este (X)	Norte (Y)		
P3	716967.68	9677224.29	Este punto se sitúa en la parte baja del área de influencia, en el tramo en donde la quebrada recorre el canal artificial de hormigón. Se considera este punto debido a que en la zona se evidencian varios desagües que desembocan en las aguas de El Salado (ver Apéndice 8), y por los cambios significativos que el paisaje presenta a causa de una mayor urbanización por estar dentro del casco urbano y establecimientos comerciales (galvanizadoras, mecánicas, entre otros), a diferencia de los puntos 1 y 2. Generalmente, a lo largo de este canal se evidenciaron actividades de pastoreo de ganado, hecho relevante que fue considerado para este estudio. Asimismo, se encontró durante su recorrido desechos inorgánicos (plásticos) y orgánicos (heces de animales y restos de alimentos) en los márgenes de la quebrada.	
P4	717850.3	9677121.10	P4 se ubica a 10 metros aproximadamente antes de la intersección de la quebrada con la Av. de las Américas, en donde el canal por donde recorre el agua de la quebrada se convierte en un canal embaulado hasta próximo a desembocar en el río Tarqui. El P4 permite el análisis de la calidad del agua en la parte baja de El Salado, que corresponde a la parte final de la zona de estudio delimitada, con características y factores similares a P3 como la continuación de la quebrada a través del canal abierto de hormigón, presencia de desagües, desechos sólidos, ganado y zonas urbanizadas. Las características evidentes del medio en los P3 y P4, corresponden a áreas de pastizal.	

Elaborado por: Autoras, 2020.

### 3.2.1.2 Toma de muestras

El muestreo se desarrolló una vez al mes durante 5 meses consecutivos que comprenden el rango de octubre de 2019 a febrero de 2020, considerando, de acuerdo con la estacionalidad que se presenta en la sierra ecuatoriana además de aquella caracterizada por el clima ecuatorial mesotérmico semihúmedo, que la época de sequía comprende los meses de julio a diciembre, y la época lluviosa los meses de enero a mayo; no obstante, como se mencionó previamente, esta estacionalidad no se mantiene constante a través del tiempo, de acuerdo con Pratt y Chang (2012).

Se consideró la estacionalidad debido a que la influencia que presentan los usos y coberturas del suelo sobre mediciones de calidad de agua puede variar de acuerdo con la temporada (influencia temporal), razón por la cual un gran número de investigaciones revisadas que analizan la relación entre calidad del



agua y usos de suelo, toman en cuenta dentro de sus análisis esta influencia (Bu et al., 2014; Li et al., 2012; Maillard y Pinheiro Santos, 2008).

Para muestrear el agua de la quebrada en los cuatro puntos, se utilizaron recipientes plásticos de 1 litro de capacidad volumétrica, previamente etiquetados de acuerdo al sitio de muestreo (P1, P2, P3, P4), y la fecha y hora de monitoreo. Se tomaron muestras simples de manera manual sumergiendo el recipiente, de manera que la boca del envase se encuentre a contracorriente y ligeramente inclinada, hasta que quede completamente bajo el agua. Luego, los recipientes fueron extraídos y sellados herméticamente para evitar la introducción de otros elementos ajenos a la muestra como oxígeno del aire, que alteren los resultados de los parámetros. Posteriormente, las muestras se refrigeraron y se transportaron al laboratorio para su análisis considerando la normativa pertinente. Es importante recalcar que se seleccionaron puntos centrales para la recolección de las muestras, en donde no exista estancamiento de agua o cercanía con las orillas de la quebrada.

### 3.2.2 Procedimiento de Análisis de calidad del agua

Se realizaron mediciones in – situ, y ex – situ en laboratorio para obtener los valores de los parámetros de calidad de agua, de acuerdo con los equipos disponibles para el análisis.

#### a. Análisis in – situ

Para efectuar las mediciones in – situ, se utilizó un medidor portátil multiparamétrico de calidad de agua, con el cual se midió el pH, conductividad, oxígeno disuelto, sólidos totales y temperatura a través de la conexión de electrodos combinados al equipo para colocarlos sobre el agua, de manera que ésta cubra al sensor del electrodo, y así poder registrar de manera digital los valores de cada parámetro (ver Tabla 5).

Para determinar el caudal, se calculó inicialmente el área de sección transversal de la quebrada en donde se definió cada punto de muestreo, mediante la relación entre las profundidades y anchos de sección transversal, y se registraron los valores de velocidad de flujo con la ayuda del correntómetro, el cual se colocó de manera perpendicular sobre el punto medio de la sección transversal considerada para el cálculo del área, de manera que la hélice en donde se encuentra su sensor analógico esté totalmente sumergida, y la flecha referencial de la carcasa se ubique a contracorriente. El cálculo del flujo volumétrico en  $m^3/s$  se obtuvo mediante la aplicación de la Ecuación (2).

#### b. Análisis ex – situ

El análisis ex – situ de las muestras de agua recolectadas se llevó a cabo en el Laboratorio de Análisis de Aguas de la Universidad de Cuenca, en donde se obtuvieron los resultados de cada uno de los parámetros físicos, químicos, microbiológicos y metales pesados. El análisis de los parámetros siguió el procedimiento de los Métodos Estándares Normalizados, en conjunto con los equipos y reactivos utilizados que a continuación se detallan en la Tabla 5. El registro fotográfico puede ser consultado en el Apéndice 7.

Tabla 5. Equipos y métodos empleados para los análisis de los diferentes parámetros in – situ y ex – situ.

Medición	Parámetro	Equipos / Reactivos	Método / Procedimiento Sugerido en MS	Principio
In – situ	pH	Multiparámetro modelo Lutron YK-2001 PHA	Detección sensorial (MNE 4500-B)	Medición a través de la detección sensorial de sondas separadas de Conductividad específica / sólidos totales / salinidad, oxígeno disuelto y pH con solución salina incluida. Detectores de temperatura.
	Conductividad Específica		Detección sensorial (2510-B)	
	Porcentaje de saturación de Oxígeno Disuelto		Detección sensorial (MNE 4500-G)	
	Sólidos Totales		Detección sensorial (MNE 2540-B)	
	Temperatura		Detección sensorial (MNE 2550-B)	
	Caudal	Caudalímetro Global Water modelo FP111	Detección sensorial mediante correntómetro	Medición de velocidad instantánea a través de la detección sensorial y medición de profundidad, mediante el correntómetro para varios anchos de sección transversal definidos. El cálculo del caudal se basa en la aplicación de la Ecuación (2), como se menciona previamente.
Ex – Situ (Laboratorio)	Cloruros	Paquete de reactivos para detección. Espectrofotómetro modelo Hach DR 2800.	MNE 4500-G	El método se basa en la reacción del cloruro presente en la muestra con un compuesto químico inorgánico conocido como tiocianato mercuríco, con el fin de formar cloruro mercuríco y liberar ion tiocianato. Éstos a su vez reaccionan con iones férricos para formar tiocianato férrico, característico por su coloración naranja. La presencia de cloruros se determina a 455 nm.
	Fosfato Total		MNE 2320-C	El método se basa en la reacción del ortofosfato con molibdato en un medio ácido, el cual se reduce con ácido ascórbico para dar un color azul intenso de molibdeno, permitiendo determinar fosfatos a 880 nm.
	Nitratos		MNE 4500-B	Se genera una reacción entre nitratos y cadmio metálico para su reducción a nitritos. El nitrito a su vez reacciona con ácido sulfanílico para formar una sal intermedia, que con ácido genticónico genera una solución de color naranja para determinar la presencia de nitratos a 500 nm.
	Cadmio		MNE 3500-D	El método consiste en que los iones de cadmio reaccionan con la ditizona para



Medición	Parámetro	Equipos / Reactivos	Método / Procedimiento Sugerido en MS	Principio
				formar un complejo cadmio-ditizonato entre rojo y rosa, cuyos resultados se miden a 515 nm.
	Cromo		MNE 3500-E	El método utilizado es de carácter colorimétrico, en donde se utiliza una fórmula de reactivo en polvo que contiene buffer ácido, que combinado con el compuesto 1,5-Difenilcarbohidracida, reacciona para dar una coloración violeta cuando el cromo hexavalente está presente en la muestra. Los resultados del ensayo se miden a 540 nm.
	Zinc		MNE 3500-F	Implementación del reactivo ZincoVer que contiene indicador “zincon” de color azul, el cual reacciona con las cantidades de zinc presentes en la muestra para su detección en un rango de 0.01 a 3mg/L. La intensidad del azul es proporcional a la cantidad del metal, el cual es medido a 620 nm.
	Arsénico	Paquete de reactivos para detección de arsénico inorgánico	MNE 3500-C	Reactivos contenidos en el paquete interaccionan para la detección de arsénico inorgánico mediante tiras de detección de color y una carta referencial de la relación del color obtenido y la concentración en ppb de As. (El sulfuro de hidrógeno se oxida a sulfato, y el ambiente oxidante se neutraliza. El ácido sulfámico y zinc en polvo reaccionan para reducir al arsénico inorgánico contenido en la muestra en gas arsina (AsH <sub>3</sub> ). Este gas reacciona con bromuro de mercurio en la tira reactiva para formar halogenuros que decoloran la tira. El color varía entre amarillo y marrón, dependiendo de la concentración en ppb de arsénico).
	Alcalinidad	Titulación con Ácido sulfúrico	MNE 2320-B	La alcalinidad se determina mediante la titulación con ácido sulfúrico 0.02 N. Se determina mediante el contenido de carbonato de calcio (Unidades de CaCO <sub>3</sub> ).
	DBO <sub>5</sub>	Inóculo.  Medidor de Oxígeno Disuelto modelo “ExStik”	MNE 5210-B	La medición de DBO <sub>5</sub> se basa en la diferencia de concentración de oxígeno en la solución, que comprende 300ml de muestra más agua saturada con oxígeno y nutrientes, y la concentración de oxígeno luego de incubar la botella por cinco días a 20°C. Esta diferencia se obtiene mediante la Ecuación (1), expresada en mg/L.



Medición	Parámetro	Equipos / Reactivos	Método / Procedimiento Sugerido en MS	Principio
	Dureza	Sal sódica de ácido etilendiaminotetraacético	MNE 2340-C	El método se basa en la valoración volumétrica a través del uso de ácido etilendiaminotetraacético 0.02 N y sus sales de sodio (EDTA), las cuales reaccionan con las soluciones de algunos cationes metálicos, y forman compuestos complejos. En presencia de calcio y magnesio, el EDTA se combina con ambas y su cantidad se expresa en equivalentes de carbonato de calcio, al igual que la alcalinidad.
	Color	Solución de referencia Pt-Co	MNE 2120-B	Se basa en la comparación visual de la muestra con tubos de soluciones coloreadas de referencia, cuyos valores están establecidos en unidades de platino-cobalto o unidades de color (UC).
	Turbidez	Turbidímetro portátil	MNE 2130-B	El método consiste en el uso del turbidímetro, el cual se basa en la generación de un haz de luz y la detección de luz reflejada por la muestra de agua, la cual es directamente proporcional al contenido de partículas en suspensión, responsables de la turbidez en el agua. Los resultados se presentan como Unidades Nefelométricas de Turbidez (UNT).
	Coliformes Fecales	Serie de tubos múltiples	NTE/INEN 1529	Inoculación de tres tubos de ensayo en 10 mL de muestra en cada uno, con caldo lauril sulfato de sodio que al someterse a una temperatura de $35\pm 1^{\circ}\text{C}$ (Coliformes Totales) y $44\pm 1^{\circ}\text{C}$ (Coliformes fecales) pasadas 48 horas y añadirse cultivo lactosa verde brillante, es posible determinar la presencia de coliformes mediante la detección de generación de ácidos y gas, debido al desplazamiento del medio de cultivo. Se aplica el método de número más probable para el recuento de coliformes.
	Coliformes Totales			

Fuente: (American Public Health Association, American Water Works Association, y Water Environment Federation 2017; Hach Company 2007)

Es importante mencionar que los procedimientos sugeridos que se emplearon para la medición de los parámetros de estudio han tomado como referencia su análisis bajo las siguientes condiciones de laboratorio establecidas: temperatura de  $18^{\circ}\text{C}$  a 2530 m s.n.m., a una presión atmosférica de 530 mm Hg.



### 3.2.3 Aplicación de Índices de Calidad de agua

#### 3.2.3.1 Aplicación del Índice NSF – WQI

La determinación del índice de calidad del agua de la Fundación Nacional de Saneamiento de los Estados Unidos de América (NSF – WQI) permitió encontrar un valor general de la calidad del agua superficial de la quebrada de estudio en los cuatro puntos de muestreo y para cada campaña de monitoreo. Se utilizó el método aditivo ponderado basado en la adición de los productos resultantes entre los subíndices del parámetro por sus pesos de importancia (Abbasi y Abbasi, 2012; Brown et al., 1970).

Por lo tanto, la forma original de NSF-WQI es la siguiente:

$$WQI_{NSF} = \sum_{i=1}^9 Wi * Ti(pi) = \sum_{i=1}^9 Wi * qi \tag{6}$$

Donde,

- $WQI_{NSF}$  es el valor de la calidad general del agua.
- $Wi$  es el peso relativo del i-ésimo parámetro ponderado entre 0 y 1 (Ver Tabla 6).
- $pi$  es el valor medido del i-ésimo parámetro.
- $Ti$  es la transformación de la calificación de calidad (Ver en Apéndice 1 los gráficos de curvas de cada parámetro) del i-ésimo valor del parámetro  $pi$ , en una calificación de calidad  $qi$ , de modo que  $Ti(pi) = qi$ .

Tabla 6. Pesos relativos y unidades para cada parámetro del NSF – WQI.

Parámetro	Unidades	Peso ( $Wi$ )
Temperatura	° C	0.1
Turbidez	UNT	0.08
pH	-	0.11
Sólidos Totales	mg/L	0.07
Oxígeno Disuelto	% saturación	0.17
DBO <sub>5</sub>	mg/L	0.11
Fosfato Total	mg/L	0.1
Nitratos	mg/L	0.1
Coliformes Fecales	NMP/100 mL	0.16
		$\sum = 1$

Fuente: (Abbasi y Abbasi, 2012; Brown et al., 1970).

El valor que expresa el índice NSF-WQI se interpretó según una escala de clasificación de la calidad de agua que va en un rango de 0 a 100, en donde cada clasificación está representada por un color específico. Dependiendo del grado de contaminación del cuerpo de agua en estudio, este rango va disminuyendo, como se muestra en la Tabla 7.



Tabla 7. Clasificación de la Calidad de Agua en forma cualitativa y cuantitativa según NSF – WQI.

Valor del Índice de Calidad	Clasificación de la Calidad de agua
91-100	Excelente
71-90	Buena
51-70	Media
26-50	Mala
0-25	Muy mala

Fuente: (Abbasi y Abbasi, 2012; Brown et al., 1970).

### 3.2.3.2 Aplicación del Segundo Índice de DINIUS– WQI

El Segundo Índice de Calidad de Agua de Dinius (DINIUS – WQI) representa la herramienta de evaluación de la calidad general del agua según el uso específico de agua que se le dio a la quebrada El Salado (Dinius, 1987).

En la Tabla 8 se muestra la formulación de las funciones de cada elemento contaminante combinando los subíndices con el peso de importancia. La mayoría de las fórmulas se expresan como funciones de potencia; hay dos funciones exponenciales de base 10, y únicamente una función lineal simple que corresponde al OD. Además, para la formulación del pH y temperatura se tomaron en cuenta ciertas limitaciones debido a que ambas se interrelacionan entre sí: Si bien el pH del agua pura se toma en un rango de temperatura de 7 a 25 °C, este valor también varía en el rango de 6.9 a 7.1 debido a la variación de la temperatura del agua y la presencia de dióxido de carbono disuelto de la atmósfera, condiciones que requieren funciones diferentes. Por lo tanto, el panel utilizó la temperatura del aire ambiente con la temperatura media mensual del aire para el cálculo del pH (Dinius, 1987).



Tabla 8. Funciones de subíndices de las variables contaminantes y su peso de importancia del DINIUS – WQI.

Variable Contaminante (X)	Función de Subíndice ( $I_i$ )	Peso ( $W_i$ )	Unidad
Alc	$I_{Alc} = 110(X^{-0.1342})$	0.063	mg/L CaCO <sub>3</sub>
Cl <sup>-</sup>	$I_{Cl^-} = 391(X^{-0.3480})$	0.074	mg/L
CF	$I_{CF} = 106(X^{-0.1286})$	0.116	NMP/100mL
CT	$I_{CT} = 136(X^{-0.1311})$	0.090	NMP/100mL
Col	$I_C = 127(X^{-0.2394})$	0.063	Unidades de color
CE	$I_{CE} = 506(X^{-0.3315})$	0.079	μS/cm
DBO <sub>5</sub>	$I_{DBO_5} = 108(X^{-0.3494})$	0.097	mg/L
Du	$I_{Du} = 552(X^{-0.4488})$	0.065	mg/L CaCO <sub>3</sub>
pH	Si : $X < 6,9 \rightarrow I_{pH} = 10^{0.6803+0.1856(X)}$ Si : $6,9 \leq X \leq 7,1 \rightarrow I_{pH} = 100$ Si : $X > 7,1 \rightarrow I_{pH} = 10^{3.65-0.2216(X)}$	0.077	-
OD	$I_{OD} = 0.82(X) + 10.56$	0.109	% saturación
T	$I_T = 10^{2.004-0.0382 T_a-T_s }$	0.077	°C
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	$I_{NO_3^-} = 125(X^{-0.2718})$	0.090	mg/L

\* X=valor medido en laboratorio de cada variable contaminante.

\* Ta= temperatura ambiente.

\* Ts= temperatura superficial del agua.

Fuente: (Dinius, 1987).

De esta forma, las 12 funciones de subíndice individuales se combinaron en una función general de agregación multiplicativa ( $\pi$ ), teniendo la siguiente formulación:

$$WQI_{DINIUS} = \prod_{i=1}^n I_i^{W_i} \tag{7}$$

Donde,

- $WQI_{DINIUS}$  es el índice de la calidad del agua de Dinius, un número entre 0 y 100.
- $I_i$  es el subíndice de la variable contaminante, un número entre 0 y 100.
- $W_i$  es el peso unitario de la variable contaminante, un número entre 0 (muy poca importancia) y 1 (gran importancia); y  $\sum_{i=1}^n W_i = 1$ .
- n es el número de variables contaminantes.

Los valores de los subíndices fueron significativos individualmente para evaluar la relación de calidad de cada contaminante, es decir, la cantidad de ese contaminante en la muestra de agua con la calidad general del agua, misma que se encontró clasificada en una escala decreciente de 100 (calidad de agua perfecta) a 0 (agua completamente contaminada o pobre) según el uso específico tal como se demuestran en la Tabla 9 (Dinius, 1987).





Tabla 9. Calificación de la calidad de agua para usos específicos según DINIUS – WQI.

Nivel de contaminación (100 es excelente)	Criterio General	Usos del Agua						
		Consumo Humano	Recreación	Pesca	Crustáceos	Agrícola	Industrial	
100	Excelente	No requiere purificación para el consumo	Aceptable para todos los deportes acuáticos	Aceptable para todos los peces	Aceptable para todos los mariscos	No es necesaria una purificación	No es necesaria una purificación	
90	Aceptable	Se requiere purificación menor					Consumo dudoso sin purificación	Purificación menor para industrias que requieren agua de alta calidad
80								
70	Contaminado	Tratamiento de agua necesario	Contaminación ligera con la presencia de bacterias aceptables	Marginal para peces sensibles	Marginal para mariscos sensibles	Purificación menor para cultivos que requieren agua de alta calidad	No es necesario un tratamiento para la industria normal	
60				Dudoso para peces sensibles	Dudoso para mariscos sensibles	No es necesario un tratamiento para la mayoría de cultivos		
50	Fuertemente Contaminado	Dudoso para el consumo	Sin contacto con el agua - sólo navegación en bote	Solamente pescados resistentes	Solamente mariscos resistentes	Tratamiento extensivo para la mayoría de los cultivos	Tratamiento extensivo para la mayoría de las industrias	
40				Solamente pescados grandes	Solamente mariscos grandes	Usar sólo para cultivos muy resistentes		
30				Contaminación evidente apareciendo	Inaceptable	Inaceptable		Inaceptable
20	Inaceptable	Contaminación evidente - Inaceptable	Inaceptable	Inaceptable			Inaceptable	
10								
0								

Fuente: (Dinius, 1987; Sedeño y López, 2007; Pascual et al., 2019).



La aplicación de este índice de agregación multiplicativa en el presente estudio se realizó ingresando las fórmulas de los subíndices y sus pesos de importancia como se indicó en la Tabla 8, mediante una hoja de cálculo de Excel. Después de analizar la finalidad de este índice de calidad de agua, se planteó esta metodología para uso agrícola ya que según información rescatada del Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial (PDyOT) de Baños, así como de la socialización con autoridades y moradores de la parroquia, se sabe que desde hace varios años atrás, la actividad productiva más desarrollada en la zona fue la agricultura; sin embargo, en la actualidad esta actividad se ha ido ubicando principalmente en las partes altas de las montañas, alejándose de la parte urbana, motivo por el que ya no se puede observar un gran número de parcelas de terreno destinadas a la siembra de cultivos alrededor de la zona de estudio. Además, en el PDyOT de la parroquia se reconoce un único sistema de riego autorizado dentro de la comunidad de Baños Centro, próximo a la quebrada llamado Buena Esperanza, por lo que se ha conjeturado que las familias dedicadas a la agricultura utilizaban el agua de la quebrada, y con el tiempo han ido dejando de ocuparla poco a poco por la evidente contaminación, especialmente aguas abajo (punto 3 y 4). Por tales razones, este índice fue aplicado para ser evaluado según el uso agrícola, tomando en cuenta la variabilidad de los datos en los cuatros puntos de muestreo durante los cinco monitoreos.

### 3.2.3.3 Aplicación del Índice HPI

El índice de contaminación de metales pesados permitió establecer la calidad general del agua con respecto al contenido de metales pesados, y determinó si es idóneo para el consumo humano (Abdel-Satar, Ali, y Goher 2017; Mohan et al. 1996). En general, la puntuación del HPI crítica para el agua potable es 100. El promedio aritmético ponderado de las concentraciones se usó para calcular los valores de HPI a través de la Ecuación (8) dado por Mohan et al. (1996) y Pal et al. (2017).

$$HPI = \frac{\sum_{i=1}^n W_i * Q_i}{\sum_{i=1}^n W_i} \quad (8)$$

Donde,

- HPI= índice de contaminación por metales pesados.
- $W_i$  = peso unitario definido como valor recíproco de  $S_i$ , es decir  $1/S_i$ .
- $n$ = número de parámetros considerados.
- $Q_i$  = subíndice del  $i$ -ésimo parámetro y se calcula por la Ecuación (9) (Pal et al. 2017).

$$Q_i = \sum_{i=1}^n \frac{(M_i - I_i)}{(S_i - I_i)} * 100 \quad (9)$$

Donde,

- $M_i$  = valor medido u observado del metal pesado en [ $\mu\text{g/L}$ ].
- $I_i$  = valor ideal o límite deseable del  $i$ -ésimo parámetro, para este estudio se consideró un valor ideal de 0, pues se desea que la concentración de los metales en el medio acuático sea nula.



- $S_i$  = valor estándar del  $i$ -ésimo parámetro en [ $\mu\text{g/L}$ ], límite máximo permisible para cada parámetro, obtenido de “Guías para la calidad del agua potable” de la Organización Mundial de la Salud, OMS, cuarta edición (ver Tabla 10) (World Health Organization, 2017).

Se debe tener en cuenta que, cuanto mayor es la concentración de un metal en comparación con su límite máximo permisible ( $S_i$ ), peor es la calidad del agua (Pal et al., 2017).

Tabla 10. Valores estándar de calidad de agua superficial para agua destinada para consumo humano.

Metal Pesado	Valor estándar de OMS [ $\mu\text{g/L}$ ]	Observaciones
Arsénico (As)	10	-
Cadmio (Cd)	3	-
Cromo (Cr)	50	-
Zinc (Zn)	300	OMS no indica un valor de referencia ya que los niveles de Zn en el agua de consumo humano no representan problemas para la salud, pero sí de aceptabilidad para los consumidores.

Fuente: (World Health Organization, 2017).

Se consideraron las concentraciones medias de los cuatro metales pesados para calcular los valores del índice HPI a través de las Ecuaciones (8) y (9), con ayuda del software Excel. Así mismo, se calculó el valor del índice para las épocas de invierno y verano. Los resultados (Apartado 4.1.6 del Capítulo IV) se clasificaron según el nivel de contaminación en donde, si es bajo, el valor del índice HPI debe ser menor a 15; si es medio, el valor del HPI se ubica dentro del rango de 15 a 30; finalmente, si la contaminación es alta, el HPI es mayor a 30 (Cengiz et al. 2017).

### 3.2.4 Análisis de influencia de variables espacio-temporales sobre los índices de calidad de agua

Para entender los resultados del monitoreo hídrico en relación a la influencia de ciertas variables de estudio sobre los valores obtenidos, los métodos estadísticos como los modelos de análisis de varianza representan una herramienta ampliamente utilizada y aceptada, ya que permite explicar el efecto de las variables de interés que corresponden al punto de muestreo y mes de monitoreo (independientes categóricas) sobre los datos de calidad de agua que hacen referencia a los resultados de los índices (variable dependiente cuantitativa) (Miyittah et al. 2020).

Como en este estudio se consideró dentro de la campaña de monitoreo de agua diferentes meses y puntos de muestreo, se aplicó un análisis de varianza a cada índice para identificar si existe la influencia de la variación temporal (mes de monitoreo) y espacial (punto de muestreo) sobre los resultados de los índices, en base a la determinación de la existencia de diferencias estadísticamente significativas entre las medias de las poblaciones de estudio (resultados de los índices de calidad de agua).

En términos generales, se efectuaron seis análisis de varianza en donde los primeros tres evaluaron la variación de las medias de los tres índices de calidad del agua en función de los puntos de muestreo, y los siguientes evaluaron la variación de estas medias según los meses de monitoreo para determinar los cambios en la calidad del agua en función del tiempo. La variable dependiente para todos los casos correspondió al índice de calidad, mientras que las dos variables independientes pertenecieron al mes de monitoreo y al punto de muestreo, respectivamente, como indica Sun et al. (2019). Adicionalmente, debido a que se trabajó con las mediciones de 4 puntos de muestreo (P1, P2, P3 y P4) por mes durante 5 meses (octubre a diciembre de 2019 y enero a febrero de 2020), para todos los análisis la población “ $n$ ” comprendió un total de 20 muestras, definidas por la combinación de los niveles de ambos factores (Giri y Qiu, 2016).



Los métodos estadísticos que se aplicaron fueron los análisis de varianza ANOVA, Kruskal – Wallis y prueba de Welch de ANOVA. Se tomó en cuenta que el análisis ANOVA es un método de naturaleza paramétrica (método que considera distribuciones conocidas de datos) que implica el cumplimiento de cuatro supuestos principales. El primero de ellos indica que la variable dependiente debe ser de intervalo o razón (numérica), que en este caso correspondió a los valores de los índices de calidad de agua desarrollados. El segundo indica que las observaciones de la muestra deben ser estadísticamente independientes, esto quiere decir que el valor de una observación no debería presentar influencia sobre el valor de otras observaciones según Larson (2008). Adicionalmente, un tercer supuesto establece que dichos datos de la variable deben seguir una distribución normal o gaussiana, lo cual se denomina principio de normalidad, y un cuarto supuesto indica que las varianzas entre grupos deben ser aproximadamente iguales u homogéneas (principio de homocedasticidad). De esta manera, se comprobó la aplicabilidad de un ANOVA para presentar resultados matemáticamente válidos, como establece Aveiga et al. (2019). En caso de no cumplir con las condiciones de parametricidad, se dispuso a aplicar las pruebas de Kruskal – Wallis para datos no normales y homogéneos, y la prueba de Welch de ANOVA para datos normales y heterocedásticos. Los supuestos fueron analizados a través de pruebas estadísticas no formales mediante gráficas, y formales mediante el uso de los valores residuales de la variable dependiente, los cuales se definen como las diferencias entre los valores observados y los valores que se predicen a partir de la recta de regresión, como se mencionó previamente (Kozak y Piepho, 2018).

#### **3.2.4.1 Supuesto de independencia**

Para verificar el cumplimiento de la independencia de los valores, se empezó por examinar el diseño de la investigación ya que, por definición, puede ser razonable asumir la independencia cuando no existe influencia de una observación sobre el valor de otra. Esto se pudo comprobar gráficamente mediante la no existencia de una tendencia de correlación entre los valores de residuales y valores predichos a través de un diagrama de dispersión, como indica Martin et al (2017). Para el presente estudio se realizaron seis gráficas, una por cada índice, de los predichos (eje x) vs. los residuos (eje y) tanto para el punto como para el mes de monitoreo como variables independientes (Larson, 2008).

#### **3.2.4.2 Supuesto de normalidad**

Como primer paso, para comprobar el supuesto de normalidad, se aplicó el método de “Shapiro - Wilks modificado” por Mahibbur y Govindarajulu (1997), puesto que considera un tamaño de muestra menor a 50 datos u observaciones, a diferencia de otros métodos como “Kolmogorov-Smirnov”, por ejemplo, que se aplican para un tamaño de muestra mayor o igual a 50 observaciones, y se reporta que son menos potentes, de acuerdo con (Sawyer, 2009). Este método es ampliamente utilizado en estudios similares, debido a que se encuentra disponible en múltiples programas estadísticos, los cuales presentan resultados inmediatos debido a la automatización de los cálculos, y se basan en la obtención del estadístico “W”, que no es más que la división de la media y la varianza muestral, de acuerdo con Kim (2011). Para estas pruebas, se planteó una hipótesis nula o “ $h_0$ ” que indica que los valores residuales analizados tienen distribución normal, y una hipótesis alternativa “ $h_1$ ” que plantea que estos valores no poseen este tipo de distribución. El fundamento de este método consiste en el cálculo de la significancia para un conjunto de datos determinado. Cuando esta significancia supera el valor de 0.05 (valor generalmente utilizado que significa una confianza del 95% en los resultados) se confirma la hipótesis nula, mientras que si el valor obtenido es menor a 0.05, la hipótesis nula se rechaza y por lo tanto el conjunto de datos residuales no sigue una distribución normal. Para su visualización, se generaron seis gráficos denominados “Q-Q plot” que ubican los cuantiles observados correspondientes a los datos en



relación a los cuantiles teóricos representados por la recta normal  $X=Y$ , con el fin de comprobar si estos valores se encuentran alineados a la recta y visualmente no se muestran en el plano puntos muy distanciados a la misma. Se utilizó este tipo de gráficos debido a que presentan gran facilidad para identificar la distribución de los datos, sin embargo, es conveniente realizar pruebas formales que aseguren lo observado en los gráficos (Kozak y Piepho, 2018).

### 3.2.4.3 Supuesto de homocedasticidad

Como explica el principio de homocedasticidad, las varianzas de la variable dependiente (índice de calidad) deben ser homogéneas para todos los grupos que se analizan, considerando que un grupo corresponde al mes de monitoreo, y el segundo grupo al punto de muestreo. Para identificar la homogeneidad, se aplicó el método conocido como test de Levene, que consiste en un análisis de varianza (cálculo del estadístico “W”) de los valores absolutos de los residuales de la variable dependiente, según Schützenmeister et al. (2012). Al igual que para el anterior supuesto, la hipótesis nula postula que las varianzas poblacionales son homogéneas, mientras que la hipótesis alternativa rechaza el supuesto anterior. Se utilizaron los diagramas de dispersión de los predichos vs. los residuos para analizar la homogeneidad de manera visual, en donde se debería observar una nube de puntos sin un patrón definido cuando los errores son homocedásticos, y una tendencia de datos en forma de cono o embudo cuando los errores son heterocedásticos, indicando que la dispersión de los residuos incrementa o disminuye al igual que los valores predichos, según Martin et al. (2017). Se aplicaron dos tests de Levene para el conjunto de datos de los tres índices, uno por cada variable independiente (punto de muestreo y mes de monitoreo).

### 3.2.4.4 Análisis de varianza

Luego de realizar las pruebas, se verificó el cumplimiento de las condiciones paramétricas para determinar el método de análisis a aplicar. Una vez seleccionado el método, se empezó por formular la hipótesis nula y alternativa para confirmar o rechazar si las variables de estudio presentan influencia sobre los valores de los índices, al igual que para los supuestos anteriores:

- Hipótesis nula ( $h_0$ ): Indica que no existe diferencia significativa en las medias de la variable estudiada en los diferentes grupos.
- Hipótesis alternativa ( $h_1$ ): Verifica una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de los grupos de dicha variable (Hurtado y Silvente, 2012).

La confirmación de una u otra hipótesis, al igual que los supuestos anteriores, se demostró mediante el nivel de significancia (“p”), que también se entiende como el parámetro que permite cuantificar hasta qué punto la variabilidad de las muestras influye en los resultados, y se fijó con un porcentaje de 5% o “ $p < 0.05$ ” que significa una confianza del análisis del 95%, o porcentaje de error aceptable de 5%, como lo indican Aveiga et al. (2019), Rodrigues y Estrany (2018) y Hurtado y Silvente (2012). De esta manera, se estableció que la existencia de un resultado significativo ( $p < 0.05$ ), indica que hay una diferencia en las medias de los grupos (Lee y Lee, 2018).

Para conseguir dichos valores, se utilizó el software estadístico InfoStat versión 2020I con el fin de aplicar el método ANOVA mediante la herramienta “Análisis de varianza”, y el método Kruskal – Wallis con la herramienta denominada de la misma manera. Adicionalmente, se utilizó el software Minitab 19 para realizar la prueba de Welch de ANOVA. Para todos los casos, los índices de calidad correspondieron a las variables dependientes, y las variables independientes a los puntos de muestreo para el primer conjunto de análisis de varianzas, y los meses de monitoreo para el segundo.



### 3.2.4.5 Prueba a posteriori “post – hoc”

Para aquellos conjuntos de datos en donde se cumplieron las condiciones de parametricidad, se aplicó el ANOVA y se efectuó complementariamente una prueba a posteriori o “post – hoc” para comparar las medias una vez que se tuvieron diferencias significativas, y para verificar entre qué grupo de medias se tienen dichas diferencias, según establecen Hurtado y Silvente (2012). La técnica utilizada correspondió a “Bonferroni”, uno de los métodos más frecuentemente aplicados, el cual posee alta robustez en los resultados, principalmente cuando el número de observaciones es reducido y es igual para cada grupo, además de su facilidad de aplicación, como lo explica Lee y Lee (2018). Por definición, este método, ajustable a un análisis de uno o dos factores, se basa en detectar las medias que produjeron un cambio estadísticamente significativo mediante la división del nivel de significancia por el número de comparaciones, clasificando así a las medias por grupos (letras A y B). Las medias que tuvieron una letra en común no fueron, por lo tanto, significativamente diferentes, según Giri y Qiu (2016). Cabe recalcar que la prueba a posteriori para los otros dos métodos de análisis de varianza se calculó de manera automática a través de la técnica que mejor se ajuste al conjunto de datos, mientras que, si no se presentaron diferencias significativas, no se generó una clasificación por grupos como lo hace Bonferroni; por lo tanto, para estos métodos no fue necesario escoger una técnica de prueba post – hoc. Los resultados obtenidos se expresan en el apartado 4.1.8 del Capítulo IV.

### 3.2.5 Análisis de Correlación aplicado a los parámetros de calidad de agua

Complementariamente, en el presente estudio se analizó de manera matemática la relación entre los parámetros de calidad de agua, a través de la obtención de coeficientes de correlación, los cuales representan un índice estadístico frecuentemente utilizado para facilitar la discusión de los resultados obtenidos en este tipo de estudios, de acuerdo con Aveiga et al (2019), en donde la interpretación de los mismos se basó en la relación lineal entre dos variables cuantitativas. Para tal efecto, se tomaron en cuenta 17 de los 19 parámetros de análisis: color, temperatura, turbidez, pH, sólidos totales, oxígeno disuelto, DBO<sub>5</sub>, fosfato total, nitratos, cloruros, conductividad específica, alcalinidad, dureza, arsénico, cadmio, cromo y zinc. Se exceptuaron los coliformes fecales y totales debido a que su concentración se mantuvo constante a lo largo del monitoreo, impidiendo la aplicabilidad para este tipo de variables, como lo establece el programa estadístico. Para ello, se empezó por aplicar la prueba de Shapiro – Wilks con el fin de determinar el método de correlación a utilizar, mediante el software XLSTAT 2020 última versión. En la Tabla 48 se exponen los resultados, los cuales indicaron que la mayoría de las variables siguen una distribución no normal, razón por la que se aplicó el método de correlación de Spearman que respondió a esta condición de normalidad. Luego, el método de Spearman se llevó a cabo con la ayuda del mismo programa, y se empleó para hallar el grado de asociación entre las variables individuales de calidad de agua a un nivel de confianza del 95%.

## 3.3 Actividades relacionadas con el uso de suelo

### 3.3.1 Categorización de uso y cobertura de suelo

Con el objeto de analizar los impactos de la utilización del suelo sobre la calidad del agua, se tomaron en cuenta tanto las coberturas como usos, como lo sugiere Huang et al. (2013). Para la definición de las diferentes categorías en el área de influencia, se empleó la información cartográfica perteneciente al mapa de usos y coberturas contemplados en el Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del cantón Cuenca en su última versión (2015), mismo que a su vez comparte la información al GAD parroquial de Baños para su concerniente PDyOT. En la información más reciente que maneja el GAD de Baños,



se especifica que no se ha evidenciado un cambio sustancial en los usos y coberturas hasta los años 2019 y 2020, período de tiempo en el que se llevó a cabo este estudio.

La información cartográfica del PDyOT se obtuvo a partir de imágenes satelitales RapidEye 2010, en conjunto con los datos del Sistema Nacional de Información SNI y Ministerio del Ambiente y Agua MAE, presentando una proyección UTM WGS 84 Zona 17 Sur. Dentro de las 26 categorías de uso y cobertura por superficie y porcentaje del mapa cartográfico del cantón, se evidenciaron 12 de ellas en el área de influencia incluyendo un área mínima de sombra (Ver apartado 4.2 del Capítulo IV).

### **3.4 Relación entre la calidad del agua y el uso de suelo**

Para el análisis de la relación entre las categorías de uso de suelo y los parámetros de calidad de agua, se emplearon métodos estadísticos con el fin de hallar el grado de asociación entre ambos tipos de variables. Con respecto a la variable “usos de suelo”, inicialmente, se utilizó la herramienta de análisis multivariado de componentes principales para efectuar agrupaciones de usos de suelo. Luego, se ejecutó el método del coeficiente de correlación de Pearson en el paso anterior. Previo al análisis de Pearson, se comprobó que el mayor número de variables presentaron distribución normal (ver Tabla 54), excluyendo así la posibilidad de usar otros métodos de correlación.

Para el desarrollo de los métodos estadísticos, se escogieron 13 variables de calidad de agua, considerando la concentración presente en el agua, la dependencia directa entre ellas, así como la toxicidad e influencia que representan sobre la calidad (pH, sólidos totales, oxígeno disuelto, DBO<sub>5</sub>, fosfato total, nitratos, conductividad, alcalinidad, dureza, arsénico, cadmio, cromo y zinc). A estas variables, se adicionaron los 11 usos de suelo del área de influencia (ver Tabla 50), exceptuando la categoría de sombra cuyo valor porcentual es mínimo (0.003%). Al igual que para la correlación de entre los parámetros de calidad de agua, no se consideraron los resultados para coliformes totales y fecales, cuyos valores obtenidos fueron constantes a lo largo del monitoreo, impidiendo la aplicación de los métodos estadísticos de relación.

Es importante mencionar que el análisis de componentes principales y el coeficiente de correlación de Pearson requieren un conjunto de datos con el mismo tamaño muestral o “n”, tanto de parámetros de calidad de agua como de áreas porcentuales de los diversos usos de suelo. Por esta razón, se trabajó con un tamaño muestral igual al número de puntos de muestreo (4), con el propósito de generar conjuntos de usos de suelo que se relacionen con las 4 medias de los índices obtenidos para estos puntos. Se realizó para ello la subdivisión del área de influencia en 4 secciones equivalentes, trazadas en base a los sitios de monitoreo de agua seleccionados para asegurar de esta manera la aplicabilidad de los métodos, y poder evaluar la variación de la calidad hídrica conforme al área porcentual de los usos de suelo circundantes. Se efectuó entonces la subdivisión del área de influencia para la determinación de las áreas porcentuales de los usos de suelo a través de las herramientas de geoprocésamiento del software Arcmap v10.5, cuyos resultados se observan en la Ilustración 30. Así mismo, las áreas obtenidas en ha y en porcentajes se detallan en las Tablas 51 y 52, respectivamente.

#### **3.4.1 Análisis de Componentes Principales aplicado a relación agua - uso de suelo**

Se efectuó un ACP con el propósito de generar agrupaciones entre las variables correspondientes a las categorías de uso de suelo, denominadas componentes principales, para posteriormente llevar a cabo el análisis del grado de asociación lineal existente entre los parámetros de calidad de agua con los valores



de cada componente principal que el método arrojó. Con ayuda del software XLSTAT 2020, se obtuvo el número de componentes principales a manejar, la relación que existe entre dichos componentes con los parámetros de calidad de agua, y la representación visual de estos resultados.

Para dicho efecto, se empezó por el procesamiento de los datos para la identificación del número de componentes principales a ser utilizados y así poder agrupar las 11 variables de uso de suelo en el área de influencia, de la siguiente manera: a través de las herramientas de análisis multivariado de XLSTAT, se ingresaron los datos correspondientes a los valores porcentuales de los usos de suelo para cada una de las subzonas, previamente calculados. Luego, para que el programa arroje el número de componentes, el método requirió la selección del tipo de matriz de correlación, en donde se escogió Pearson ya que las variables siguieron una distribución normal (Tabla 54). Consecuentemente, este procesamiento dio lugar a la obtención de los autovalores y autovectores (los valores propios, por su parte, establecen el número de componentes principales y la calidad de la proyección, y los vectores propios indican la magnitud y dirección de aquellos usos de suelo que poseen una mayor influencia sobre cada componente).

Como segundo paso, se interpretaron los eigen valores o valores propios generados para obtener el número de componentes principales. Por definición del método, se consideraron componentes principales a aquellos valores que cumplen con la condición de ser mayores a 1. Al mismo tiempo, se analizó el valor de proporción o variabilidad acumulada para determinar la cantidad total de varianzas que explican los componentes principales. Generalmente, y según se recomienda, si se cumple que este valor sea igual o mayor a una proporción de 0.9 o un porcentaje de 90%, se corrobora que dicho número de componentes es suficiente para explicar por lo menos el 90% de la variación de los datos, de acuerdo con Minitab (2019). El resultado se visualiza en la Tabla 53. Adicional a la tabla de eigen valores, se generó la gráfica de sedimentación al ser una herramienta importante para este análisis, ya que representó el orden en que estos valores se encuentran, empezando por el más grande al más pequeño, permitiendo visualizar el número de componentes principales que deben tomarse (Ilustración 32).

Como tercer paso, se interpretó la relación entre cada componente principal con las variables de uso de suelo, a través de la magnitud y la dirección de sus eigen vectores o vectores propios, cuyo valor mientras mayor sea, indica que mayor es la influencia que dicha variable individual posee sobre el cálculo del componente (Ver Ilustración 33). Este análisis se facilitó con la interpretación visual mediante la gráfica de agrupación de variables de uso de suelo también denominada gráfica de influencias, como se exponen en las Ilustraciones 34 y 35.

### **3.4.2 Análisis de Correlación aplicado a relación agua – uso de suelo**

En este caso, el coeficiente de correlación de Pearson fue útil para hallar la relación entre las variables individuales de calidad de agua con los usos de suelo y componentes principales, a un nivel de confianza del 95%, debido a que mayoría de las variables de análisis mostraron tener normalidad (Tabla 54). Los resultados de la aplicación del método de Pearson se observan en las Tablas 55 (variables de calidad de agua con usos de suelo), y 56 (variables de calidad de agua con componentes principales). En términos generales, se espera que los usos de suelo como bosque, vegetación arbustiva y pastizal tengan una correlación negativa con los contaminantes, mientras que, para suelos urbanos, agrícolas, e industriales y comerciales, se espera que el coeficiente sea positivo (Basnyat et al., 1999).







## CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1 Resultados de la determinación de calidad de agua

#### 4.1.1 Resultados de los parámetros físicos, químicos y microbiológicos, y su comparación con la normativa ecuatoriana para NSF-WQI

En las Tablas 11 a la 15 se presentan los resultados de los parámetros físicos, químicos y microbiológicos determinados en el laboratorio y que fueron utilizados para calcular el índice NSF-WQI (9 parámetros), además se incluye el respectivo análisis estadístico y la comparación con los límites máximos permisibles del Anexo 1, Libro VI del TULSMA, sobre criterios de calidad de aguas para riego agrícola y para uso pecuario. Los dos criterios ayudaron a determinar si los parámetros cumplían con lo que establece la normativa ecuatoriana vigente.

Mediante el uso del software Excel, se determinaron los valores medios luego de tener los resultados de los 9 parámetros, y se compararon con los valores estándar de la normativa ambiental para las cinco campañas de monitoreo durante las épocas de verano e invierno (ver Tablas 11-15). Dentro de la normativa ecuatoriana sobre criterios de calidad de aguas de uso agrícola o de riego, se utilizaron los parámetros que fueron analizados y se consideran en la normativa, que son pH, OD y CF, en donde el valor monitoreado de pH se encontró dentro del rango establecido para todos los meses, mientras que el valor de OD cumplió para todos los meses a excepción de febrero (época de invierno) por no llegar a alcanzar el valor mínimo de OD que debe tener un cuerpo de agua de manera que no afecte la actividad microbiana; por último, los CF no cumplieron el límite máximo permisible en ninguno de los meses al presentar un valor constante de 1100 NMP/100 mL. En base a estos resultados y conforme a lo establecido en el TULSMA, se destaca la prohibición del uso de esta quebrada que ha reportado presentar aguas servidas para las actividades productivas agrícolas y pecuarias sin ser tratadas, aspecto que se desconoce puesto que no se corroboró durante este periodo de monitoreo si se realiza algún tratamiento previo al agua.

Con respecto a los criterios de calidad para aguas de uso pecuario, los parámetros utilizados para la comparación son  $\text{NO}_3^-$  y CF. En cuanto a  $\text{NO}_3^-$ , se encontró que todos los valores medios obtenidos sí cumplieron con la normativa; los CF, por otra parte, excedieron el límite máximo permisible que es el mismo para uso agrícola, determinando un incumplimiento en los meses correspondientes tanto para la época de verano como invierno.

En cuanto al resto de parámetros individuales no considerados para uso agrícola y pecuario, la temperatura media durante el periodo de estudio fue 18.86 °C, cuyo valor más alto fue de 23.3 °C y el más bajo de 14.1 °C. Las altas temperaturas se registraron desde el mes de diciembre hasta enero debido a la evidente variabilidad climática que ha venido atravesando la ciudad de Cuenca estos años.

La turbidez resultó ser mayor en verano que en invierno con valores de 23.3 UNT y 17.39 UNT respectivamente, demostrando así que hubo más acumulación de materiales suspendidos y sedimentos en los meses de octubre, noviembre y diciembre, hecho que dificulta la vida de los organismos del agua.

Los valores de pH variaron de 5.74 a 8.64 en verano y de 5.42 a 8.47 en invierno, lo que indica que en ambas estaciones el agua de la quebrada fue ácida en ciertos sitios de muestreo específicos, pero predominó un agua alcalina.



Se presentó un total de 419.05 mg/L de sólidos totales durante el verano y 551.19 mg/L durante el invierno, debido al arrastre de estos sólidos a lo largo de la quebrada gracias a las precipitaciones previas que se dieron próximas a desarrollar el cuarto monitoreo, influyendo significativamente en los resultados.

El rango en el que se determinó la cantidad de oxígeno disuelto en verano fue de 5.1 – 8.6 mg/L y disminuyó considerablemente en invierno, teniendo valores dentro de 1.8 – 6.6 mg/L, ya que en esta época la temperatura efectivamente fue mayor que en verano. No se evidenciaron turbulencias en el agua, hecho que pudo influir negativamente sobre la calidad de agua de esta quebrada al no darse una oxigenación adecuada en el cuerpo hídrico. Esto a su vez afecta a la actividad aerobia de los microorganismos acuáticos, pues se evidenciaron que los valores de la DBO<sub>5</sub> fluctuaron de 0.45 a 20.38 mg/L en el verano y 0.48 a 8.85 mg/L en invierno, y su media es de 5.77 mg/L, valor no muy elevado pero que dificulta en menor medida la participación de los organismos en la descomposición del material orgánico contenido en el agua proveniente de las actividades antropogénicas del sector.

El contenido de fosfato total en promedio marcó 1.39 mg/L en verano y bajó a 0.46 mg/L en invierno, lo que indicó que el agua de la quebrada tiene concentraciones relativamente bajas de este nutriente, cantidad aceptable que frena en gran medida la formación de algas. Por otra parte, el nitrógeno total expresado en nitratos (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) alcanzó 0.64 mg/L en verano y aumentó a 2.65 mg/L en invierno, lo que puede ser explicado por el arrastre de compuestos nitrogenados naturales y sintéticos derivados de fertilizantes y abonos químicos que recorrieron de las parcelas de cultivos, sobre todo en la temporada lluviosa (Baird et al., 2014).

El parámetro microbiológico correspondiente a coliformes fecales reveló un incumplimiento con la normativa al presentar un valor ligeramente mayor al límite máximo permisible para todos los puntos durante todos los meses de monitoreo. Se deduce que la presencia de coliformes fecales se debió a las descargas directas de las aguas servidas domésticas que se vierten en la quebrada generadas en áreas que no cuentan con acceso a sistemas de alcantarillado, como se puede revisar en el mapa de cobertura de sistema de alcantarillado y agua potable para el cantón Cuenca de ETAPA EP (2020), en donde se especifica que las viviendas principalmente de los puntos 1 y 2 carecen de este servicio. Complementariamente, se evidenció la presencia de tuberías corrugadas de material PVC para las aguas residuales domésticas canalizadas hacia la quebrada en los puntos 3 y 4 (ver Apéndice 8). Esto se respalda además a través de la información obtenida a partir de las conversaciones realizadas con las autoridades y comunidades en general de la zona, como se mencionó anteriormente.



Tabla 11. Datos medidos in – situ y en laboratorio del monitoreo N°1 para NSF – WQI.

Campaña de Monitoreo N°1 Fecha: 16-octubre-2019 Hora: 9h30 am - 13h30 pm Época: Verano									
Punto de Muestreo	T	Turb	pH	ST	OD	DBO <sub>5</sub>	PT-PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	CF
Punto 1	14.4	69	8.31	61.7	7.3	20.38	0.44	0.4	1100
Punto 2	17.2	23.1	7.53	459	6.1	8.94	0.3	0.6	1100
Punto 3	19.9	22	8.3	467	7.9	3.52	0.35	1.1	1100
Punto 4	19.6	18	8.64	486	8.6	11.95	1.13	1.5	1100
Media	17.78	33.03	8.20	368.43	7.48	11.20	0.56	0.90	1100
Desviación Estándar	2.55	24.08	0.47	204.80	1.06	7.05	0.39	0.50	0
Valor Normativa TULSMA Uso agrícola o de riego	-	-	6-9	-	3	-	-	-	1000
Cumple/No Cumple	-	-	Cumple	-	Cumple	-	-	-	No Cumple
Valor Normativa TULSMA Uso pecuario	-	-	-	-	-	-	-	50	1000
Cumple/No Cumple	-	-	-	-	-	-	-	Cumple	No Cumple

Elaborado por: Autoras, 2020.

Tabla 12. Datos medidos in – situ y en laboratorio del monitoreo N°2 para NSF- WQI.

Campaña de Monitoreo N°2 Fecha: 17-noviembre-2019 Hora: 08h28 am - 12h50 pm Época: Verano									
Punto de Muestreo	T	Turb	pH	ST	OD	DBO <sub>5</sub>	PT-PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	CF
Punto 1	14.1	11.2	8.62	36.7	7.3	0.45	0.95	0.6	1100
Punto 2	17.9	13.8	7.9	565	5.1	0.82	2.09	0.4	1100
Punto 3	19.7	11.4	7.86	550	7.4	7.98	7.3	1	1100
Punto 4	23.3	11.4	8.28	522	7.2	9.55	1.59	0.5	1100
Media	18.75	11.95	8.17	418.43	6.75	4.70	2.98	0.63	1100
Desviación Estándar	3.83	1.24	0.36	255.11	1.10	4.74	2.92	0.26	0
Valor Normativa TULSMA Uso agrícola o de riego	-	-	6-9	-	3	-	-	-	1000
Cumple/No Cumple	-	-	Cumple	-	Cumple	-	-	-	No Cumple
Valor Normativa TULSMA Uso pecuario	-	-	-	-	-	-	-	50	1000
Cumple/No Cumple	-	-	-	-	-	-	-	Cumple	No Cumple

Elaborado por: Autoras, 2020.



Tabla 13. Datos medidos in – situ y en laboratorio del monitoreo N°3 para NSF-WQI.

Campaña de Monitoreo N°3 Fecha: 16-diciembre-2019 Hora: 11h08 am - 12h50 pm Época: Verano									
Punto de Muestreo	T	Turb	pH	ST	OD	DBO <sub>5</sub>	PT-PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	CF
Punto 1	16	29.6	6.42	59.1	6.6	0.5	0.13	0.1	1100
Punto 2	19.2	27.6	7.97	554	5.3	1.11	0.58	0.1	1100
Punto 3	20.4	22.5	5.74	637	7.3	7.13	0.93	0.3	1100
Punto 4	21.1	20	8.4	631	7.2	8.33	0.84	1.1	1100
Media	19.18	24.93	7.13	470.28	6.60	4.27	0.62	0.40	1100
Desviación Estándar	2.26	4.44	1.26	276.71	0.92	4.04	0.36	0.48	0
Valor Normativa TULSMA Uso agrícola o de riego	-	-	6-9	-	3	-	-	-	1000
Cumple/No Cumple	-	-	Cumple	-	Cumple	-	-	-	No Cumple
Valor Normativa TULSMA Uso pecuario	-	-	-	-	-	-	-	50	1000
Cumple/No Cumple	-	-	-	-	-	-	-	Cumple	No Cumple

Elaborado por: Autoras, 2020.

Tabla 14. Datos medidos in – situ y en laboratorio del monitoreo N°4 para NSF-WQI.

Campaña de Monitoreo N°4 Fecha: 16-enero-2020 Hora: 11h10 am - 12h55 pm Época: Invierno									
Punto de Muestreo	T	Turb	pH	ST	OD	DBO <sub>5</sub>	PT-PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	CF
Punto 1	16.3	33.5	6.8	35.5	6.5	6.64	0.18	1.2	1100
Punto 2	20.8	17.2	7.94	771	4.8	3.26	0.54	1.0	1100
Punto 3	22.3	13.9	8.26	1208	6.6	5.31	0.39	1.5	1100
Punto 4	21.6	13.7	8.37	1068	6.1	2.24	0.38	1.5	1100
Media	20.25	19.58	7.84	770.63	6.0	4.36	0.37	1.30	1100
Desviación Estándar	2.70	9.42	0.72	522.86	0.83	1.98	0.15	0.24	0
Valor Normativa TULSMA Uso agrícola o de riego	-	-	6-9	-	3	-	-	-	1000
Cumple/No Cumple	-	-	Cumple	-	Cumple	-	-	-	No Cumple
Valor Normativa TULSMA Uso pecuario	-	-	-	-	-	-	-	50	1000
Cumple/No Cumple	-	-	-	-	-	-	-	Cumple	No Cumple

Elaborado por: Autoras, 2020.



Tabla 15. Datos medidos in-situ y en laboratorio del monitoreo N°5 para NSF – WQI.

<b>Campaña de Monitoreo N°5</b> <b>Fecha: 15-febrero-2020</b> <b>Hora: 11h33 am - 13h27 pm</b> <b>Época: Invierno</b>									
Punto de Muestreo	T	Turb	pH	ST	OD	DBO <sub>5</sub>	PT-PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	CF
Punto 1	16.5	27.6	5.42	74	1.8	2.29	0.1	0.2	1100
Punto 2	17.8	11.2	7.6	434	2.5	0.48	0.3	2.9	1100
Punto 3	18.7	11.1	8.22	416	3.0	8.85	1.41	0.8	1100
Punto 4	20.4	10.9	8.47	403	3.0	5.72	0.33	1.5	1100
Media	18.35	15.20	7.43	331.75	2.58	4.34	0.54	1.35	1100
Desviación Estándar	1.64	8.27	1.39	172.30	0.57	3.71	0.59	1.16	0
Valor Normativa TULSMA Uso agrícola o de riego	-	-	6-9	-	3	-	-	-	1000
Cumple/No Cumple	-	-	Cumple	-	No cumple	-	-	-	No Cumple
Valor Normativa TULSMA Uso pecuario	-	-	-	-	-	-	-	50	1000
Cumple/No Cumple	-	-	-	-	-	-	-	Cumple	No Cumple

Elaborado por: Autoras, 2020.



#### 4.1.2 Resultados del cálculo del Índice NSF-WQI

Al aplicar el método planteado para calcular el índice NSF-WQI mediante la Ecuación (6), Tabla 6 y Apéndice 1, se obtuvieron los resultados de la calidad general del agua de la quebrada El Salado para los diferentes puntos de muestreo de las cinco campañas de monitoreo basados en la clasificación de la Tabla 7. Los resultados se presentaron en una hoja de cálculo de Excel, según se muestra en el ejemplo del Apéndice 2. Además, estos valores se corroboraron al introducir estos datos en el programa ICATest v1.0, evidencia que se ubica en el Apéndice 3.

Las Tablas 16 a la 18 indican la calidad del agua que presentó la quebrada El Salado en los meses de octubre, noviembre y diciembre respectivamente, que corresponden a la época de verano. En los meses de octubre y noviembre, la calidad de agua de la quebrada en los cuatro puntos de muestreo se categorizó como una calidad media ubicándose dentro del rango de 51-70. De igual forma, para el mes de diciembre se determinó una calidad media del agua en los puntos 2, 3 y 4, a excepción del punto 1 que mostró tener una calidad buena del agua con una ligera diferencia entre los valores de los otros puntos, pero que se encontró dentro del rango de 71 a 90. Por otro lado, la calidad de agua de la quebrada El Salado con respecto a la época de invierno (meses de enero y febrero) se muestra en las Tablas 19 y 20, en donde se observó que la calidad del agua de la quebrada en los cuatro puntos de muestreo de ambos meses se categorizó como un agua de calidad media al clasificarse igualmente dentro del rango de 51-70.

Tabla 16. Resultados de la calidad de agua en los cuatro puntos de muestreo del monitoreo N°1 del NSF – WQI.

<b>Campaña de Monitoreo N°1</b>		
<b>Mes: Octubre</b>		
<b>Época: Verano</b>		
<b>Punto de Muestreo</b>	<b>Valor de NSF-WQI</b>	<b>Clasificación de la calidad de agua</b>
Punto 1	63.09	Media
Punto 2	64.04	Media
Punto 3	67.96	Media
Punto 4	59.82	Media

Elaborado por: Autoras, 2020.

Tabla 17. Resultados de la calidad de agua en los cuatro puntos de muestreo del monitoreo N°2 del NSF – WQI.

<b>Campaña de Monitoreo N°2</b>		
<b>Mes: Noviembre</b>		
<b>Época: Verano</b>		
<b>Punto de Muestreo</b>	<b>Valor de NSF-WQI</b>	<b>Clasificación de la calidad de agua</b>
Punto 1	70.08	Media
Punto 2	60.58	Media
Punto 3	58.83	Media
Punto 4	58.70	Media

Elaborado por: Autoras, 2020.



Tabla 18. Resultados de la calidad de agua en los cuatro puntos de muestreo del monitoreo N°3 del NSF-WQI.

<b>Campaña de Monitoreo N°3</b> <b>Mes: Diciembre</b> <b>Época: Verano</b>		
<b>Punto de Muestreo</b>	<b>Valor de NSF-WQI</b>	<b>Clasificación de la calidad de agua</b>
Punto 1	72.80	Buena
Punto 2	63.90	Media
Punto 3	57.80	Media
Punto 4	59.65	Media

Elaborado por: Autoras, 2020.

Tabla 19. Resultados de la calidad de agua en los cuatro puntos de muestreo del monitoreo N°4 del NSF-WQI.

<b>Campaña de Monitoreo N°4</b> <b>Mes: Enero</b> <b>Época: Invierno</b>		
<b>Punto de Muestreo</b>	<b>Valor de NSF-WQI</b>	<b>Clasificación de la calidad de agua</b>
Punto 1	66.42	Media
Punto 2	62.08	Media
Punto 3	65.42	Media
Punto 4	66.90	Media

Elaborado por: Autoras, 2020.

Tabla 20. Resultados de la calidad de agua en los cuatro puntos de muestreo del monitoreo N°5 del NSF-WQI.

<b>Campaña de Monitoreo N°5</b> <b>Mes: Febrero</b> <b>Época: Invierno</b>		
<b>Punto de Muestreo</b>	<b>Valor de NSF-WQI</b>	<b>Clasificación de la calidad de agua</b>
Punto 1	56.93	Media
Punto 2	62.44	Media
Punto 3	52.47	Media
Punto 4	57.17	Media

Elaborado por: Autoras, 2020.

Las Ilustraciones 6 y 7 representan en general la calidad de agua de la quebrada El Salado tras aplicar la metodología del NSF-WQI para verano e invierno, respectivamente. Como se establece anteriormente, todos los valores del índice excepto para el punto 1 del mes de diciembre, se mantuvieron en el rango de 51 a 70.

En la época de verano (Ilustración 6), la quebrada presentó en promedio una calidad media del agua con un valor de 63.10, teniendo una mayor contaminación en el punto 4 (59.39), seguido del punto 3 (61.53) debido a que se encuentran dentro de una zona más intervenida que en el punto 2 (62.84) y por



último, está el punto 1 (68.66) que se encuentra aguas arriba de la quebrada en una zona de vegetación arbustiva y herbácea, pero de igual manera presentó contaminación, ya que se ha reportado que la quebrada recibe principalmente las aguas residuales de los hogares de forma directa. Estos resultados permitieron establecer que la calidad de agua de la quebrada durante el verano fue decreciendo a medida que se aleja de las áreas naturales y se acerca al área urbanizada.

De igual manera, para la época de invierno (Ilustración 7) la calidad promedio del agua en la quebrada se calificó como un agua de calidad media al obtener un valor de 61.23. Para estos meses se evidenció una mayor contaminación del agua en el punto 3 (58.95), seguido del punto 1 (61.68), continuando al punto 4 (62.04) y finalmente, al punto 2 (62.26). Estas ligeras diferencias pueden deberse al aumento y reducción del caudal conforme incrementa o disminuye la calidad (Ver Apartado 4.1.7), interpretándose que a medida que crece el caudal de la quebrada, la concentración de los contaminantes es menor.

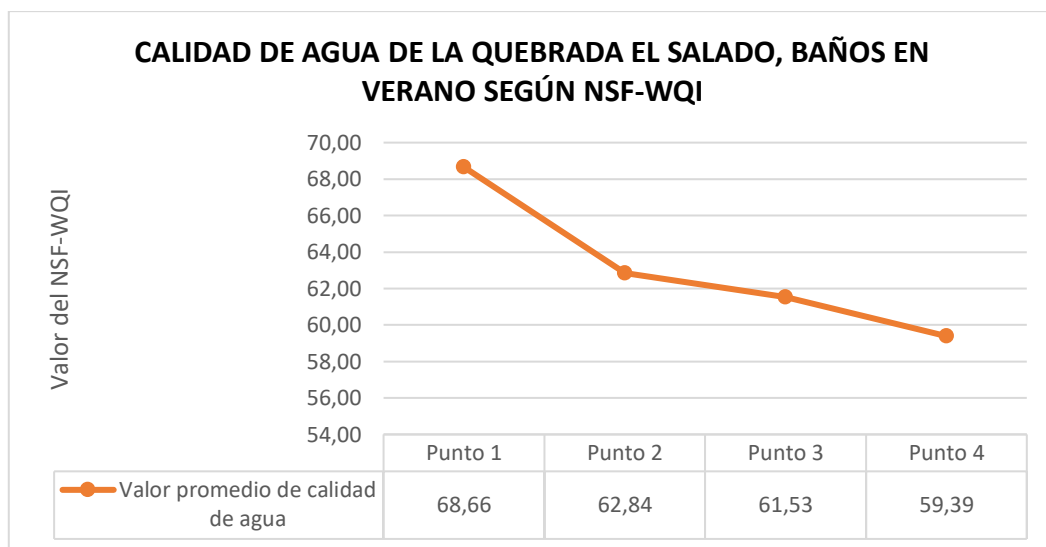


Ilustración 6. Calidad de agua de la quebrada El Salado en verano según NSF-WQI. Elaborado por: Autoras, 2020.

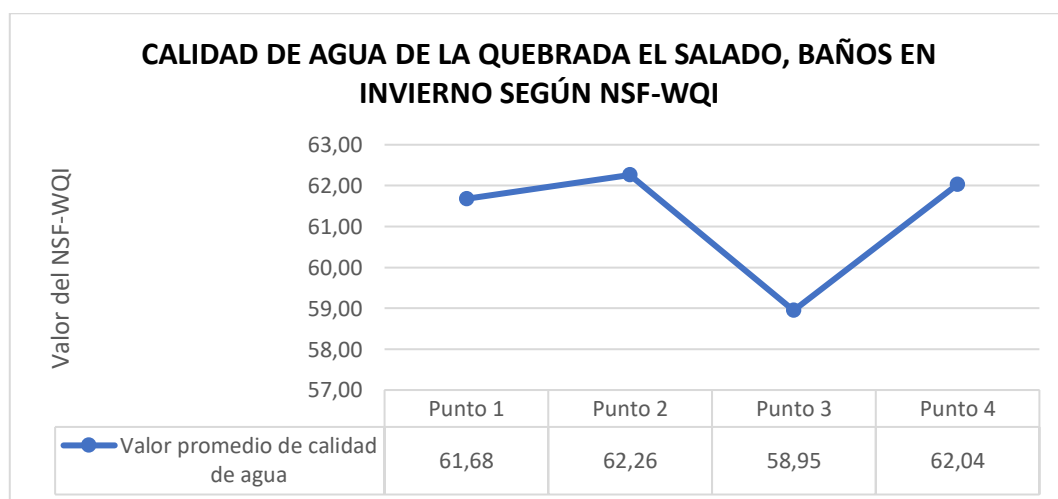
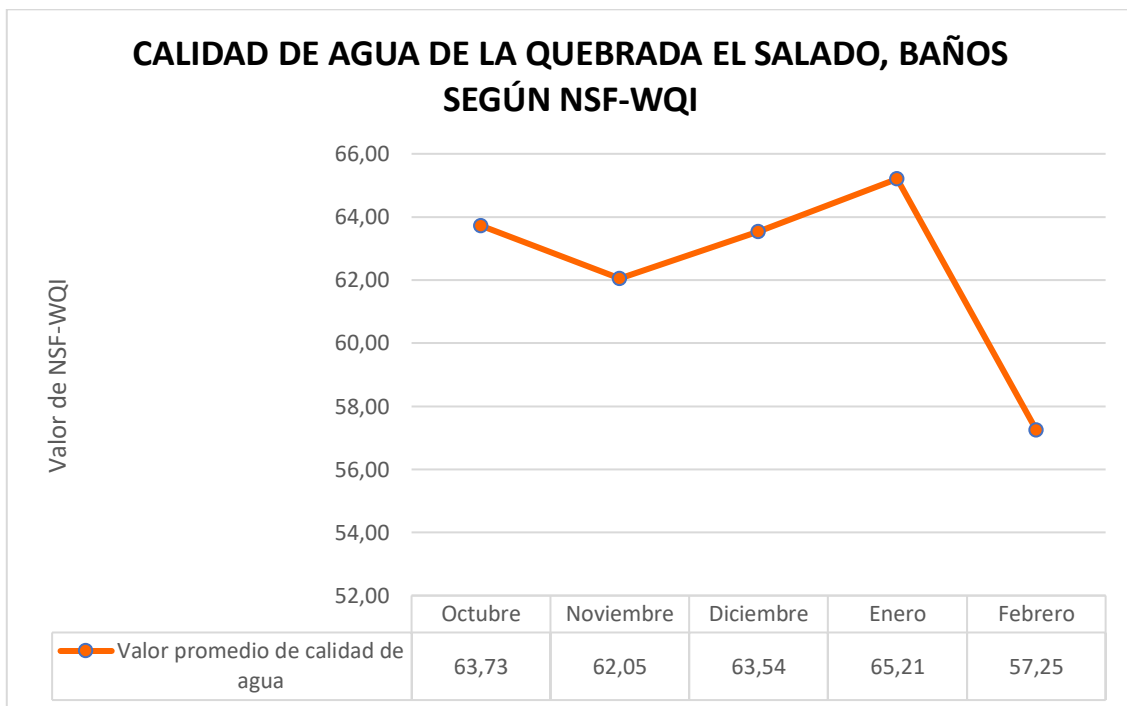


Ilustración 7. Calidad de agua de la quebrada El Salado en invierno según NSF-WQI. Elaborado por: Autoras, 2020.

A continuación, la Ilustración 8 describe cómo la calidad general de agua de la quebrada El Salado ha ido variando durante el tiempo establecido de estudio, a través de la representación de valores promedio de la calidad de agua en términos de NSF – WQI, el cual no considera usos específicos del agua. Se determinó que esta quebrada tiene una calidad media de 62.35. En el mes de enero que corresponde a la época de invierno se le atribuye el valor más alto de calidad, sin embargo, la calidad en esta época resultó ser menor que en la época de verano, lo que significa que en la época de verano la calidad del agua fue ligeramente mejor que en los meses de invierno, no obstante, esta diferencia es mínima ya que la variación de los valores de caudales entre épocas también fue pequeña y por lo tanto poco significativa. En resumen, la calidad de agua general quedó en el siguiente orden de mayor a menor: enero, octubre, diciembre, noviembre y febrero, según los valores obtenidos.



*Ilustración 8. Calidad general de agua de la quebrada El Salado según NSF-WQI.*  
Elaborado por: Autoras, 2020.

#### 4.1.3 Resultados de los parámetros físicos, químicos y microbiológicos y su comparación con la normativa ecuatoriana para DINIUS-WQI

En este apartado se evidencia la recopilación de los resultados del análisis en el laboratorio referentes a los 12 parámetros físicos, químicos y microbiológicos que fueron utilizados para los cálculos del segundo Índice de DINIUS-WQI.

De la totalidad de los parámetros de control del presente índice, también se encuentran aquellos incluidos dentro de los criterios de calidad de uso agrícola o riego (pH, OD y CF) y pecuario ( $\text{NO}_3^-$  y CF) del Anexo 1, Libro VI del TULSMA. Su comparación con la normativa se detalla en el apartado 4.1.1 y se muestra nuevamente en las Tablas 21 a la 25, en donde se observan los valores medios y desviación estándar de los 12 parámetros.



En cuanto al parámetro Col, para los meses de verano se registró un promedio de 68.54 UC, mientras que en invierno bajó a 62.88 UC, caracterizando al agua con un color marrón muy ligero asociado al contenido de sustancias húmicas debido al contacto del agua de la quebrada con materia orgánica del suelo, alcanzando un valor máximo de 125 UC en el punto 1 (octubre) y un mínimo de 35 UC en el mismo punto (noviembre).

Los cloruros en ambas estaciones estuvieron presentes en concentraciones bajas de 0.04 mg/L (verano) y 0.06 mg/L (invierno). Los valores de la conductividad específica oscilaron entre 54 – 947  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , con valor promedio de 619.5  $\mu\text{S}/\text{cm}$  en verano. Se presentó un aumento en invierno oscilando entre 11 – 1791  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , con valor promedio de 727.29  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , lo que permitió suponer que este aumento de concentración de electrolitos disueltos se debió a procesos de descomposición orgánica, lo cual se corrobora claramente con la baja del pH que se dio para el invierno (Bolaños et al., 2015).

El valor mínimo y máximo de alcalinidad durante el verano fue de 20 mg/L  $\text{CaCO}_3$  y 240 mg/L  $\text{CaCO}_3$  respectivamente, con promedio de 146.46 mg/L  $\text{CaCO}_3$ . En invierno se obtuvo 10 mg/L  $\text{CaCO}_3$  como mínimo, 220 mg/L  $\text{CaCO}_3$  como máximo y 140 mg/L  $\text{CaCO}_3$  como promedio. Este fue uno de los parámetros relevantes que permitió evaluar la existencia de sustancias alcalinas de carbonatos, bicarbonatos e hidróxidos principalmente calcio y magnesio (Pérez, 2016).

La dureza osciló entre 37.5 – 140 mg/L  $\text{CaCO}_3$  (verano) y su valor medio de 85 mg/L  $\text{CaCO}_3$  calificó al agua como ligeramente dura. En invierno osciló entre 55 – 130 mg/L  $\text{CaCO}_3$ , en donde su valor medio de 106.57 mg/L  $\text{CaCO}_3$  permitió calificar de igual manera al agua como ligeramente dura, lo que se le atribuye al contenido de iones o sales de calcio y magnesio cuyas fuentes corresponden a minerales, rocas naturales y aguas termales presentes en la zona, disponiendo así una capacidad de conductividad en el medio acuático (Pérez, 2016).

La concentración de las colonias de bacterias de los coliformes totales fue ligeramente mayor al límite de la normativa, mostrando un valor de 1100 NMP/100 mL durante todo el monitoreo y en los 4 puntos, lo que conlleva a establecer que el agua de la quebrada El Salado se expone a una contaminación ambiental con coliformes fecales, encontrándose fuertemente afectada por la descarga de aguas residuales domésticas, y presencia de heces de animales. Los demás parámetros fisicoquímicos (T, y  $\text{DBO}_5$ ) fueron interpretados en el índice anterior.



Tabla 21. Datos medidos in – situ y en laboratorio del monitoreo N°1 para DINIUS-WQI.

<b>Campaña de Monitoreo N°1</b> <b>Fecha: 16-octubre-2019</b> <b>Hora: 9h30 am - 13h30 pm</b> <b>Época: Verano</b>												
Punto de Muestreo	Col	T	pH	OD	DBO <sub>5</sub>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	CT	CF	CI	CE	Alc	Du
Punto 1	125	14.4	8.31	7.3	20.38	0.4	1100	1100	0.06	91.3	35	37.5
Punto 2	45	17.2	7.53	6.1	8.94	0.6	1100	1100	0.03	697	180	67.5
Punto 3	40	19.9	8.3	7.9	3.52	1.1	1100	1100	0.02	680	180	62.5
Punto 4	37.5	19.6	8.64	8.6	11.95	1.5	1100	1100	0.02	726	130	80
Media	61.88	17.78	8.20	7.48	11.20	0.90	1100	1100	0.03	548.58	131.25	61.88
Desviación Estándar	42.20	2.55	0.47	1.06	7.05	0.50	0	0	0.02	305.44	68.36	17.84
Valor Normativa TULSMA Uso agrícola o de riego	-	-	6-9	3	-	-	-	1000	-	-	-	-
Cumple/No Cumple	-	-	Cumple	Cumple	-	-	-	No Cumple	-	-	-	-
Valor Normativa TULSMA Uso pecuario	-	-	-	-	-	50	-	1000	-	-	-	-
Cumple/No Cumple	-	-	-	-	-	Cumple	-	No Cumple	-	-	-	-

Elaborado por: Autoras, 2020.



Tabla 22. Datos medidos in – situ y en laboratorio del monitoreo N°2 para DINIUS-WQI.

<b>Campaña de Monitoreo N°2</b> <b>Fecha: 17-noviembre-2019</b> <b>Hora: 08h28 am - 12h50 pm</b> <b>Época: Verano</b>												
Punto de Muestreo	Col	T	pH	OD	DBO <sub>5</sub>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	CT	CF	Cl <sup>-</sup>	CE	Alc	Du
Punto 1	35	14.1	8.62	7.3	0.45	0.6	1100	1100	0.06	54	20	80
Punto 2	40	17.9	7.9	5.1	0.82	0.4	1100	1100	0.05	833	240	140
Punto 3	39	19.7	7.86	7.4	7.98	1	1100	1100	0.04	807	205	125
Punto 4	37	23.3	8.28	7.2	9.55	0.5	1100	1100	0.01	740	150	120
Media	37.75	18.75	8.17	6.75	4.70	0.63	1100	1100	0.04	608.50	153.75	116.25
Desviación Estándar	2.22	3.83	0.36	1.10	4.74	0.26	0	0	0.02	371.74	96.56	25.62
Valor Normativa TULSMA Uso agrícola o de riego	-	-	6-9	3	-	-	-	1000	-	-	-	-
Cumple/No Cumple	-	-	Cumple	Cumple	-	-	-	No Cumple	-	-	-	-
Valor Normativa TULSMA Uso pecuario	-	-	-	-	-	50	-	1000	-	-	-	-
Cumple/No Cumple	-	-	-	-	-	Cumple	-	No Cumple	-	-	-	-

Elaborado por: Autoras, 2020.



Tabla 23. Datos medidos in – situ y en laboratorio del monitoreo N°3 para DINIUS-WQI.

<b>Campaña de Monitoreo N°3</b> <b>Fecha: 16-diciembre-2019</b> <b>Hora: 11h08 am - 12h50 pm</b> <b>Época: Verano</b>												
Punto de Muestreo	Col	T	pH	OD	DBO <sub>5</sub>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	CT	CF	CI	CE	Alc	Du
Punto 1	125	16	6.42	6.6	0.5	0.1	1100	1100	0.1	87.7	42.5	45
Punto 2	110	19.2	7.97	5.3	1.11	0.1	1100	1100	0.02	825	180	85
Punto 3	114	20.4	5.74	7.3	7.13	0.3	1100	1100	0.03	947	195	85
Punto 4	75	21.1	8.4	7.2	8.33	1.1	1100	1100	0.1	946	200	92.5
Media	106.00	19.18	7.13	6.60	4.27	0.40	1100	1100	0.06	701.43	154.38	76.88
Desviación Estándar	21.62	2.26	1.26	0.92	4.04	0.48	0	0	0.04	413.14	75.07	21.54
Valor Normativa TULSMA Uso agrícola o de riego	-	-	6-9	3	-	-	-	1000	-	-	-	-
Cumple/No Cumple	-	-	Cumple	Cumple	-	-	-	No Cumple	-	-	-	-
Valor Normativa TULSMA Uso pecuario	-	-	-	-	-	50	-	1000	-	-	-	-
Cumple/No Cumple	-	-	-	-	-	Cumple	-	No Cumple	-	-	-	-

Elaborado por: Autoras, 2020.



Tabla 24. Datos medidos in – situ y en laboratorio del monitoreo N°4 para DINIUS-WQI.

<b>Campaña de Monitoreo N°4</b> <b>Fecha: 16-enero-2020</b> <b>Hora: 11h10 am - 12h55 pm</b> <b>Época: Invierno</b>												
Punto de Muestreo	Col	T	pH	OD	DBO <sub>5</sub>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	CT	CF	Cl <sup>-</sup>	CE	Alc	Du
Punto 1	90	16.3	6.8	6.5	6.64	1.2	1100	1100	0.07	66.3	20	100
Punto 2	60	20.8	7.94	4.8	3.26	1.0	1100	1100	0.02	1146	190	120
Punto 3	45	22.3	8.26	6.6	5.31	1.5	1100	1100	0.06	1791	220	130
Punto 4	55	21.6	8.37	6.1	2.24	1.5	1100	1100	0.06	946	200	107.5
Media	62.50	20.25	7.84	6.00	4.36	1.30	1100	1100	0.05	987.33	157.50	114.38
Desviación Estándar	19.36	2.70	0.72	0.83	1.98	0.24	0	0	0.02	712.05	92.51	13.29
Valor Normativa TULSMA Uso agrícola o de riego	-	-	6-9	3	-	-	-	1000	-	-	-	-
Cumple/No Cumple	-	-	Cumple	Cumple	-	-	-	No Cumple	-	-	-	-
Valor Normativa TULSMA Uso pecuario	-	-	-	-	-	50	-	1000	-	-	-	-
Cumple/No Cumple	-	-	-	-	-	Cumple	-	No Cumple	-	-	-	-

Elaborado por: Autoras, 2020.



Tabla 25. Datos medidos in – situ y en laboratorio del monitoreo N°5 para DINIUS-WQI.

<b>Campaña de Monitoreo N°5</b> <b>Fecha: 15-febrero-2020</b> <b>Hora: 11h33 am - 13h27 pm</b> <b>Época: Invierno</b>												
Punto de Muestreo	Col	T	pH	OD	DBO <sub>5</sub>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	CT	CF	Cl <sup>-</sup>	CE	Alc	Du
Punto 1	95	16.5	5.42	1.8	2.29	0.2	1100	1100	0.03	11	10	55
Punto 2	55	17.8	7.6	2.5	0.48	2.9	1100	1100	0.1	646	150	115
Punto 3	53	18.7	8.22	3.0	8.85	0.8	1100	1100	0.05	616	160	115
Punto 4	50	20.4	8.47	3.0	5.72	1.5	1100	1100	0.04	596	170	110
Media	63.25	18.35	7.43	2.58	4.34	1.35	1100	1100	0.06	467.25	122.50	98.75
Desviación Estándar	21.27	1.64	1.39	0.57	3.71	1.16	0	0	0.03	304.86	75.44	29.26
Valor Normativa TULSMA Uso agrícola o de riego	-	-	6-9	3	-	-	-	1000	-	-	-	-
Cumple/No Cumple	-	-	Cumple	No Cumple	-	-	-	No Cumple	-	-	-	-
Valor Normativa TULSMA Uso pecuario	-	-	-	-	-	50	-	1000	-	-	-	-
Cumple/No Cumple	-	-	-	-	-	Cumple	-	No Cumple	-	-	-	-

Elaborado por: Autoras, 2020.





#### 4.1.4 Resultados del cálculo del segundo Índice de DINIUS-WQI

Al analizar las condiciones y antecedentes de la quebrada, fue relevante aplicar este índice ya que pudo determinar la calidad según el uso específico del agua a diferencia del índice NSF - WQI, y según las necesidades del estudio (uso agrícola). Los resultados se describen en las Tablas 26 a la 30. Se tuvieron calificaciones altas con resultados correspondientes al intervalo de 71-100. La clasificación de calidad de agua para uso agrícola se categorizó dentro de “No es necesaria una purificación”, resultando ser la calificación máxima que se ha establecido en este índice para todas las campañas de monitoreo desarrolladas durante ambas épocas.

Durante todo el verano e invierno resultó que, en los cuatro puntos de muestreo, el agua de la quebrada no necesitó de ningún tratamiento de purificación para ser utilizada en cultivos, determinando que el agua se encontró en condiciones relativamente aceptables para ser usada en la agricultura. De esta manera, la calidad del agua resultó encontrarse en buenas condiciones al mantener constantes sus valores dentro del mismo rango durante ambas épocas, de acuerdo con este índice.

Tabla 26. Calidad de agua para uso agrícola en los cuatro puntos de muestreo del monitoreo N°1 según DINIUS-WQI.

<b>Campaña de Monitoreo N°1</b>		
<b>Mes: Octubre</b>		
<b>Época: Verano</b>		
<b>Punto de Muestreo</b>	<b>Valor de DINIUS-WQI</b>	<b>Clasificación de Calidad de agua para uso agrícola</b>
Punto 1	83.60	No es necesaria una purificación
Punto 2	84.05	No es necesaria una purificación
Punto 3	88.26	No es necesaria una purificación
Punto 4	82.95	No es necesaria una purificación

Elaborado por: Autoras, 2020.

Tabla 27. Calidad de agua para uso agrícola en los cuatro puntos de muestreo del monitoreo N°2 según DINIUS-WQI.

<b>Campaña de Monitoreo N°2</b>		
<b>Mes: Noviembre</b>		
<b>Época: Verano</b>		
<b>Punto de Muestreo</b>	<b>Valor de DINIUS-WQI</b>	<b>Clasificación de Calidad de agua para uso agrícola</b>
Punto 1	94.78	No es necesaria una purificación
Punto 2	86.78	No es necesaria una purificación
Punto 3	83.63	No es necesaria una purificación
Punto 4	89.24	No es necesaria una purificación

Elaborado por: Autoras, 2020.



Tabla 23. Calidad de agua para uso agrícola en los cuatro puntos de muestreo del monitoreo N°3 según DINIUS-WQI.

<b>Campaña de Monitoreo N°3</b>		
<b>Mes: Diciembre</b>		
<b>Época: Verano</b>		
<b>Punto de Muestreo</b>	<b>Valor de DINIUS-WQI</b>	<b>Clasificación de Calidad de agua para uso agrícola</b>
Punto 1	97.02	No es necesaria una purificación
Punto 2	91.05	No es necesaria una purificación
Punto 3	83.21	No es necesaria una purificación
Punto 4	78.99	No es necesaria una purificación

Elaborado por: Autoras, 2020.

Tabla 24. Calidad de agua para uso agrícola en los cuatro puntos de muestreo del monitoreo N°4 según DINIUS-WQI.

<b>Campaña de Monitoreo N°4</b>		
<b>Mes: Enero</b>		
<b>Época: Invierno</b>		
<b>Punto de Muestreo</b>	<b>Valor de DINIUS-WQI</b>	<b>Clasificación de Calidad de agua para uso agrícola</b>
Punto 1	83.58	No es necesaria una purificación
Punto 2	81.08	No es necesaria una purificación
Punto 3	78.17	No es necesaria una purificación
Punto 4	80.69	No es necesaria una purificación

Elaborado por: Autoras, 2020.

Tabla 25. Calidad de agua para uso agrícola en los cuatro puntos de muestreo del monitoreo N°5 según DINIUS-WQI.

<b>Campaña de Monitoreo N°5</b>		
<b>Mes: Febrero</b>		
<b>Época: Invierno</b>		
<b>Punto de Muestreo</b>	<b>Valor de DINIUS-WQI</b>	<b>Clasificación de Calidad de agua para uso agrícola</b>
Punto 1	86.11	No es necesaria una purificación
Punto 2	79.40	No es necesaria una purificación
Punto 3	78.90	No es necesaria una purificación
Punto 4	81.29	No es necesaria una purificación

Elaborado por: Autoras, 2020.

En la Tabla 26 se detallan los resultados de la aplicación del índice DINIUS – WQI, en donde su valor a lo largo de la quebrada varió de 82.43 (Punto 3) a 89.02 (Punto 1) con un promedio general de 84.64 durante el periodo de estudio. Durante el verano, el valor promedio más bajo se dio en el punto 4 para diciembre (78.99) y el más alto en el punto 1 del mismo mes (97.02). Durante el invierno el valor medio más bajo fue en el punto 3 de enero (78.17) y el más alto en el punto 1 de febrero (86.11).

Los valores promedio de DINIUS-WQI obtenidos durante la época de verano se muestran en la Ilustración 9, en donde se puede observar que la calidad de agua disminuyó al igual que para el índice NSF – WQI, partiendo desde el punto 1 (aguas arriba de la quebrada) hasta el punto 4 (aguas abajo). En la época de invierno, la calidad de agua de la quebrada fue disminuyendo desde el punto 1 hasta el punto 3, elevándose ligeramente en el punto 4 (Ilustración 10). Esto demostró que, a pesar de tener ligeras diferencias entre los valores de los resultados, la contaminación del agua de la quebrada fue aumentando a medida que se acerca a la zona urbana debido a la fuerte influencia de las actividades ganaderas, agrícolas, domésticas y comerciales que realizan los habitantes. Los resultados promedio de la calidad de agua para el uso evaluado fueron de 86.96 y 81.15 para verano e invierno, respectivamente. Es decir, el agua para uso agrícola resultó ser relativamente mejor en verano que en invierno, sin embargo, la diferencia entre ambos valores no varió significativamente, ya que los mismos se mantuvieron muy cercanos entre ellos y dentro del mismo rango de evaluación.

Tabla 26. Resultados de DINIUS-WQI de los puntos de muestreo durante el periodo de estudio.

Mes	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 4	Media	Min.	Máx.
Octubre	83.60	84.05	88.26	82.95	84.72	82.95	88.26
Noviembre	94.78	86.78	83.63	89.24	88.61	83.63	94.78
Diciembre	97.02	91.05	83.21	78.99	87.57	78.99	97.02
Enero	83.58	81.08	78.17	80.69	80.88	78.17	83.58
Febrero	86.11	79.40	78.90	81.29	81.43	78.90	86.11
Media	89.02	84.47	82.43	82.63	84.64	78.17	97.02

Elaborado por: Autoras, 2020.

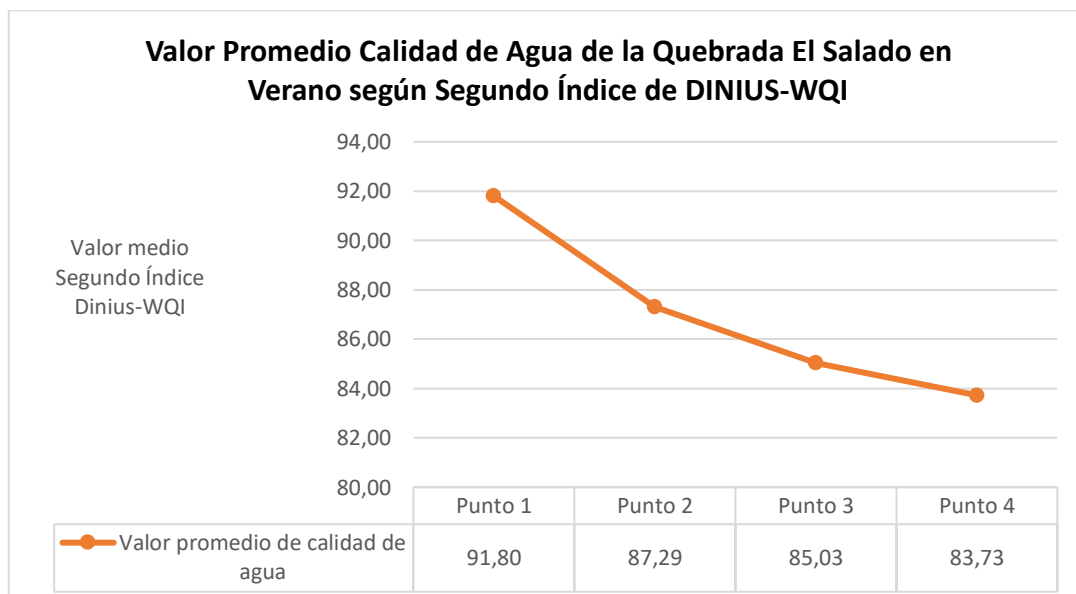
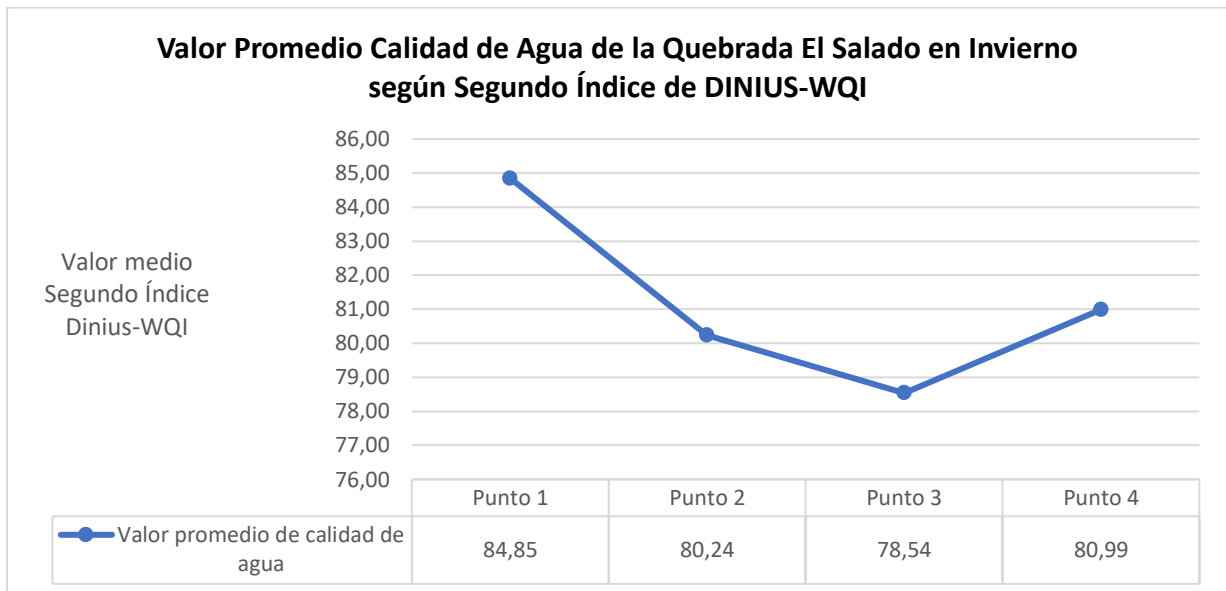
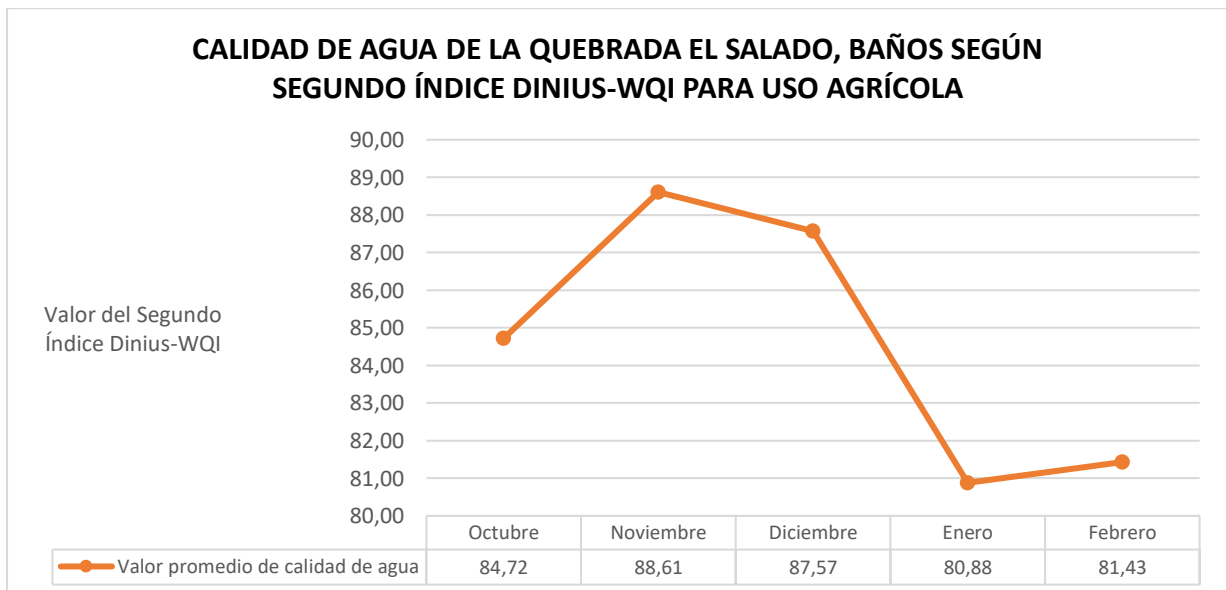


Ilustración 9. Calidad de agua de la quebrada El Salado en verano según DINIUS-WQI. Elaborado por: Autoras, 2020.



*Ilustración 10. Calidad de agua de la quebrada El Salado en invierno según DINIUS-WQI.*  
Elaborado por: Autoras, 2020.

El valor promedio de DINIUS-WQI, como se muestra en la Ilustración 11, resume la calidad promedio de agua para uso agrícola de la quebrada El Salado, indicando que el mes de enero (invierno) obtuvo el valor más bajo que los demás meses con 80.88, y el mes de noviembre (verano) obtuvo el valor más alto con 88.61. Además, según el criterio general de este índice descrito en la Tabla 9, el agua se encontró en un estado relativamente aceptable para fines agrícolas, pero que en el caso de presentar niveles de contaminación que reduzcan el valor del índice al siguiente rango (un valor entre 61 a 70), se sugiere someter al agua a ciertos procesos de purificación menor para ser utilizada en los cultivos.



*Ilustración 11. Calidad promedio de agua de la quebrada El Salado según DINIUS-WQI para uso agrícola.*

Elaborado por: Autoras, 2020.



#### 4.1.5 Resultados de los metales pesados y su comparación con la normativa ecuatoriana vigente para HPI

Los resultados de los metales pesados obtenidos en laboratorio se resumen en las Tablas 27 – 31, en donde se detallan las concentraciones de arsénico, cadmio, cromo y zinc de los cuatro puntos de muestreo y para las cinco campañas de monitoreo, así como la concentración promedio del contaminante. Los resultados conseguidos por procesos estadísticos permitieron analizar el grado de cumplimiento de la normativa vigente del TULSMA, Anexo 1 del Libro VI, perteneciente a los criterios de calidad para los dos usos seleccionados (uso agrícola y pecuario), los cuales engloban a los límites máximos permisibles para los cuatro metales pesados medidos.

En el primer monitoreo correspondiente a octubre (Tabla 27), se encontró que las concentraciones de arsénico con 252.50 µg/L y cadmio con 510.50 µg/L fueron las más altas, sobrepasando considerablemente el valor estándar del TULSMA referente a criterios de calidad de aguas para uso agrícola y uso pecuario, mientras que las concentraciones de cromo y zinc se encontraron muy por debajo de los límites máximos permisibles cumpliendo con la normativa. En el segundo y tercer monitoreo (Tablas 28 y 29 respectivamente), las concentraciones de Cd en el agua de la quebrada excedieron los valores críticos que establece el TULSMA para ambos usos, mientras que el As únicamente cumplió con la normativa para uso pecuario en ambos meses (noviembre y diciembre). Los valores obtenidos para Zn y Cr durante estos meses permanecieron bajas, demostrando su cumplimiento con las normas de calidad de agua.

Por otra parte, en la época de invierno (Tablas 30 y 31), se identificó que las concentraciones de As y Cd permanecieron significativas al incumplir con la normativa ecuatoriana establecida para los dos criterios seleccionados, pero sus valores medios fueron un poco más bajos que los presenciados en la época de verano. Igualmente, el Cr y el Zn marcaron concentraciones inferiores a los valores criterio, lo que significó que no representaron una fuente importante de contaminación en la quebrada El Salado.

En general, este análisis expresó que las concentraciones de arsénico y cadmio en el agua de la quebrada se hallaron en cantidades excesivas, las cuales indican que son significativamente tóxicas para el medio acuático y para la salud de las personas que habitan en esta zona de estudio si es consumida directa o indirectamente como consecuencia de los usos estudiados (agrícola y pecuario). La concentración media de los metales pesados expresados en µg/L tuvo el siguiente orden: Cd (324.50) > As (196.67) > Zn (35.83) > Cr (5.83) en verano, y de igual orden Cd (264) > As (247.63) > Zn (27.50) > Cr (13) en invierno.

La concentración media de todos los metales pesados en todo el periodo de estudio fue mayor en el punto 3 (170.9 µg/L), seguido del punto 4 (144 µg/L), resultados atribuibles por su lugar de ubicación (aguas abajo de la quebrada), específicamente dentro de la zona que ya es completamente urbanizada. El siguiente valor correspondió al punto 2 (139.4 µg/L) que está aguas arriba de la quebrada de referencia dentro de la zona periurbana de la parroquia, mientras que la menor concentración media de los metales pesados fue en el punto 1 (97.2) también aguas arriba y localizado en el punto más alto de la quebrada en donde se evidenció una mayor proporción de áreas naturales, lo cual puede ser corroborado en los mapas de uso de suelo del área de influencia (Ver Ilustración 30), aunque en general la presencia de metales pesados sea muy elevada a lo largo de toda la quebrada.



Tabla 27. Datos recopilados y valores estadísticos para la concentración media de metales pesados en el agua de la quebrada El Salado en los cuatro puntos de muestreo del Monitoreo N°1 para HPI.

Campaña de Monitoreo N°1 Fecha: 16-octubre-2019 Hora: 9h30 am - 13h30 pm Época: Verano				
Punto de Muestreo	Metal Pesado [µg/L]			
	Arsénico	Cadmio	Cromo	Zinc
Punto 1	10	755	19	110
Punto 2	300	430	0	90
Punto 3	400	436	6	40
Punto 4	300	421	6	80
Media	252.50	510.50	7.75	80
Desviación Estándar	168.40	163.12	8.02	29.44
Valor Normativa TULSMA Uso agrícola o de riego	100	50	100	2000
Cumple/No Cumple	No Cumple	No Cumple	Cumple	Cumple
Valor Normativa TULSMA Uso pecuario	200	50	1000	25000
Cumple/No Cumple	No Cumple	No Cumple	Cumple	Cumple

Elaborado por: Autoras, 2020.

Tabla 28. Datos recopilados y valores estadísticos para la concentración media de metales pesados en el agua de la quebrada El Salado en los cuatro puntos de muestreo del Monitoreo N°2 para HPI.

Campaña de Monitoreo N°2 Fecha: 17-noviembre-2019 Hora: 08h28 am - 12h50 pm Época: Verano				
Punto de Muestreo	Metal Pesado [µg/L]			
	Arsénico	Cadmio	Cromo	Zinc
Punto 1	10	295	6	30
Punto 2	185	423	4	40
Punto 3	300	81	2	20
Punto 4	200	113	3	20
Media	173.75	228.00	3.75	27.50
Desviación Estándar	120.51	160.57	1.71	9.57
Valor Normativa TULSMA Uso agrícola o de riego	100	50	100	2000
Cumple/No Cumple	No Cumple	No Cumple	Cumple	Cumple
Valor Normativa TULSMA Uso pecuario	200	50	1000	25000
Cumple/No Cumple	Cumple	No Cumple	Cumple	Cumple

Elaborado por: Autoras, 2020.



Tabla 29. Datos recopilados y valores estadísticos para la concentración media de metales pesados en el agua de la quebrada El Salado en los cuatro puntos de muestreo del Monitoreo N°3 para HPI.

Campaña de Monitoreo N°3 Fecha: 16-diciembre-2019 Hora: 11h08 am - 12h50 pm Época: Verano				
Punto de Muestreo	Metal Pesado [µg/L]			
	Arsénico	Cadmio	Cromo	Zinc
Punto 1	20	58	0	0
Punto 2	200	429	1	0
Punto 3	250	346	0	0
Punto 4	185	107	23	0
Media	163.75	235.00	6.00	0.00
Desviación Estándar	99.78	180.43	11.34	0.00
Valor Normativa TULSMA Uso agrícola o de riego	100	50	100	2000
Cumple/No Cumple	No Cumple	No Cumple	Cumple	Cumple
Valor Normativa TULSMA Uso pecuario	200	50	1000	25000
Cumple/No Cumple	Cumple	No Cumple	Cumple	Cumple

Elaborado por: Autoras, 2020.

Tabla 30. Datos recopilados y valores estadísticos para la concentración media de metales pesados en el agua de la quebrada El Salado en los cuatro puntos de muestreo del Monitoreo N°4 para HPI.

Campaña de Monitoreo N°4 Fecha: 16-enero-2020 Hora: 11h10 am - 12h55 pm Época: Invierno				
Punto de Muestreo	Metal Pesado [µg/L]			
	Arsénico	Cadmio	Cromo	Zinc
Punto 1	10	484	19	0
Punto 2	185	216	12	20
Punto 3	400	483	1	50
Punto 4	400	144	27	10
Media	248.75	331.75	14.75	20.00
Desviación Estándar	188.70	177.67	11.03	21.60
Valor Normativa TULSMA Uso agrícola o de riego	100	50	100	2000
Cumple/No Cumple	No Cumple	No Cumple	Cumple	Cumple
Valor Normativa TULSMA Uso pecuario	200	50	1000	25000
Cumple/No Cumple	No Cumple	No Cumple	Cumple	Cumple

Elaborado por: Autoras, 2020.



Tabla 31. Datos recopilados y valores estadísticos para la concentración media de metales pesados en el agua de la quebrada El Salado en los cuatro puntos de muestreo del Monitoreo N°5 para HPI.

<b>Campaña de Monitoreo N°5</b>				
<b>Fecha: 15-febrero-2020</b>				
<b>Hora: 11h33 am - 13h27 pm</b>				
<b>Época: Invierno</b>				
<b>Punto de Muestreo</b>	<b>Metal Pesado [µg/L]</b>			
	<b>Arsénico</b>	<b>Cadmio</b>	<b>Cromo</b>	<b>Zinc</b>
Punto 1	10	73	15	20
Punto 2	185	16	12	40
Punto 3	250	291	2	60
Punto 4	400	405	16	20
Media	211.25	196.25	11.25	35.00
Desviación Estándar	161.57	182.79	6.40	19.15
Valor Normativa TULSMA Uso agrícola o de riego	100	50	100	2000
Cumple/No Cumple	No Cumple	No Cumple	Cumple	Cumple
Valor Normativa TULSMA Uso pecuario	200	50	1000	25000
Cumple/No Cumple	No Cumple	No Cumple	Cumple	Cumple

Elaborado por: Autoras, 2020.





En base a los resultados obtenidos, se puede mencionar que en general la naturaleza volcánica de las formaciones geológicas sobre las que se asienta Baños (área geotermal), dan un indicio sobre la presencia elevada y constante de metales pesados en los cuerpos hídricos, en este caso arsénico y cadmio, puesto que existen estudios que reportan la presencia en cantidades significativas de estos metales en aguas subterráneas y superficiales (ríos y quebradas) por factores como el volcanismo característico de la Cordillera de los Andes, en donde los procesos de erosión de las rocas ígneas facilitan la liberación de estos metales directamente hacia las fuentes de agua (Ali et. al, 2019; Cumbal et al. 2015).

#### 4.1.6 Resultados del cálculo del Índice HPI

La Tabla 32 proporciona los resultados del índice HPI mediante los cálculos de  $W_i$  y  $Q_i$  (concentraciones medias) para ambas estaciones. El HPI medio para la quebrada El Salado en verano fue de 8326.63 que posteriormente disminuyó en la época de invierno, teniendo un valor de 6928.21. Por lo tanto, el valor general del índice HPI de la quebrada El Salado resultó ser 7627.42, valor que demostró exceder significativamente el límite crítico de 100, indicando que el recurso hídrico definitivamente no puede ser suministrado para el consumo de las personas. Como todos los valores resultantes de este índice fueron mayores a 30, se clasificó al agua de la quebrada como un agua con “altos niveles de contaminación por metales pesados”, según lo referido en el numeral 3.2.3.3. El valor de HPI para el verano fue 83.27 veces más alto y para el invierno 69.28 veces más alto que el límite umbral para agua potable, interpretándose que en ambas épocas el agua de la quebrada contenía metales pesados en gran cantidad de forma constante.

Tabla 32. Cálculos del índice HPI para el agua de la quebrada El Salado en la época de verano e invierno.

Metal Pesado [µg/L]	Época: Verano Mes: Octubre-Noviembre-Diciembre						Época: Invierno Meses: Enero-Febrero					
	$M_i$	$S_i$	$W_i$	$I_i$	$Q_i$	$W_i * Q_i$	$M_i$	$S_i$	$W_i$	$I_i$	$Q_i$	$W_i * Q_i$
Arsénico	196.67	10	0.1	0	1966.7	196.67	230	10	0.1	0	2300	230
Cadmio	324.50	3	0.333	0	10816.67	3605.56	264	3	0.333	0	8800	2933.33
Cromo	5.83	50	0.02	0	11.66	0.23	13	50	0.02	0	26	0.52
Zinc	35.83	300	0.003	0	11.94	0.04	27.5	300	0.003	0	9.17	0.03
Suma			<b>0.46</b>			<b>3802.50</b>			<b>0.46</b>			<b>3163.88</b>
<b>HPI</b>	<b>8326.63</b>						<b>6928.21</b>					

Elaborado por: Autoras, 2020.

Además de la Tabla 32, en las Ilustraciones 12 y 13 se manifiestan los valores de HPI de los diferentes sitios de muestreo de las dos estaciones temporales con el fin de evaluar la calidad del agua en cada punto específico. Se pudo notar que los valores de HPI de todos los sitios de muestreo sobrepasaron elevadamente el límite crítico para agua potable. En el punto de muestreo 2, la carga de contaminación

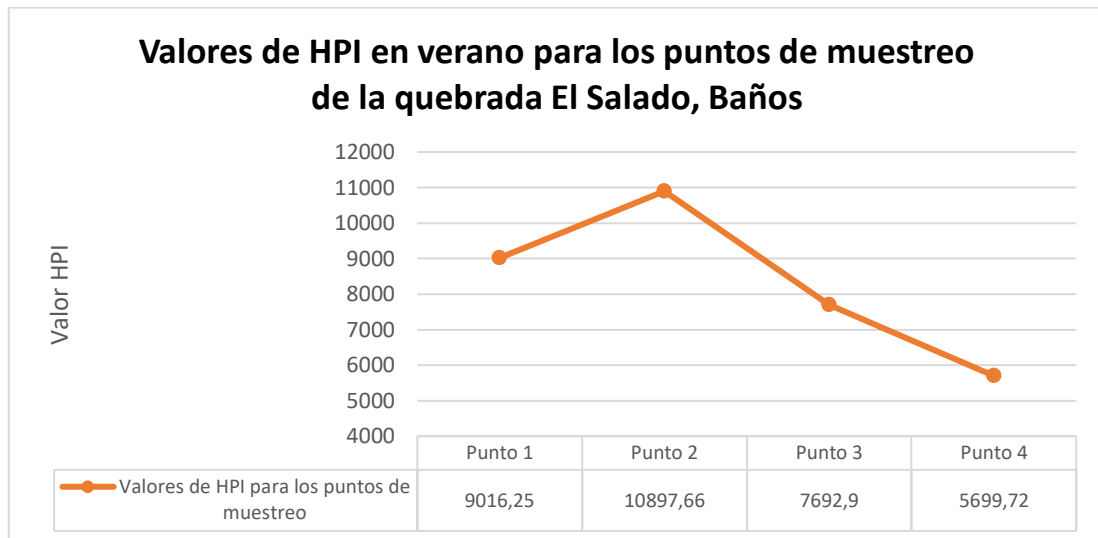


(HPI de 10897.66) fue la mayor en verano, y en el punto de muestreo 3 se presenció mayor carga de contaminación en invierno (HPI de 10128.00), mostrando una vez más que esta agua no es segura para beber en ninguna de las dos estaciones. En base a ello, se estableció también que se han obtenido valores altos de metales pesados en los puntos 3 y 4 en el invierno, resultados atribuibles a la presencia de fuentes de contaminación evidenciadas, derivadas de las áreas urbanas y establecimientos pertenecientes a las mismas, a diferencia de los puntos 1 y 2 que no pertenecen al casco urbano de Cuenca. Los establecimientos encontrados se registran en el Apéndice 8 y son caracterizados por representar las fuentes antrópicas de metales pesados por la descarga de efluentes residuales derivados de los procesos productivos. Cabrera et al. (2014) y Baird et al. (2014) revelaron que consumir agua, ya sea de forma directa o indirecta (alimentos) con grandes cantidades de arsénico y cadmio, puede provocar efectos negativos crónicos e incluso letales para la salud, razón por la que se consideró que estos metales con importancia toxicológica generan un impacto ambiental significativo por su difícil degradación en el ambiente. Por ello, deben ser controlados particularmente en las fuentes hídricas.

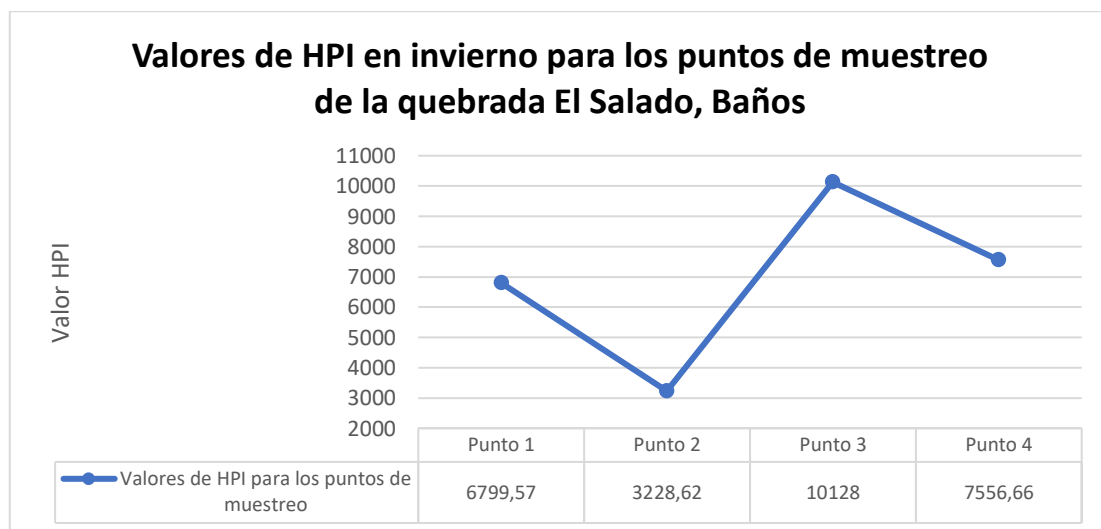
Finalmente, la Tabla 33 e Ilustración 14 indican los resultados de la aplicación del índice HPI para cada punto en función del mes de monitoreo, en donde se corrobora de igual manera que los valores del HPI para todos los sitios de monitoreo sobrepasaron el límite umbral de este índice. Resultó ser que en el mes de octubre se dio el valor de HPI más alto (12974.72) ya que se presenció la concentración más alta de cadmio; no obstante, este valor fue disminuyendo con el paso del tiempo de forma variada hasta llegar al último mes de monitoreo. A inicios de la época de invierno (enero), el valor de HPI se incrementó ligeramente en relación a los meses de noviembre y diciembre a pesar de tener más caudal, ya que fue el mes que resultó tener la concentración total más alta obtenida de metales pesados. El valor de HPI en febrero descendió presentando el valor más pequeño (5220.46), por lo que se puede deducir que los efluentes residuales de los establecimientos determinados dentro del casco urbano también bajaron, o la concentración de metales pesados en sus vertimientos fue menor.

Cabe recalcar que, en relación al sitio de muestreo, los elevados valores del índice HPI en el punto 1 pueden atribuirse sobre todo a las altas concentraciones de cadmio y arsénico, debido a que estos elementos se encuentran naturalmente en las rocas minerales de esta zona que son de origen volcánico, como se explica previamente. Específicamente, el As pasa a un estado acuoso en las aguas hidrotermales, como reporta Cumbal et al. (2006), y la otra parte de éstos al ser insolubles se precipitan acumulándose en los sedimentos de un cuerpo de agua. Adicionalmente, el cadmio también pudo ser introducido a la quebrada por vía antrópica mediante el uso de productos agrícolas (fertilizantes fosfatados), vertidos de establecimientos urbanos encontrados en el recorrido (puntos 3 y 4) tales como galvanizadoras, mecánicas automotrices, lubricadoras y lavadoras, y en menor cantidad por la incineración de residuos, madera, plásticos, carbón y cauchos de llantas que se observaron a lo largo de la quebrada (Baird et al. 2014; Reyes et al. 2016).

En base a estas consideraciones, se presume que las altas concentraciones de metales pesados obtenidas se deben a la presencia de fuentes naturales principalmente, a lo que también se suman las diversas fuentes antropogénicas, siendo estas últimas una posible explicación de la diferencia en las concentraciones entre uno y otro punto de muestreo.



*Ilustración 12. Valores de HPI durante el verano de la quebrada El Salado.*  
Elaborado por: Autoras, 2020.

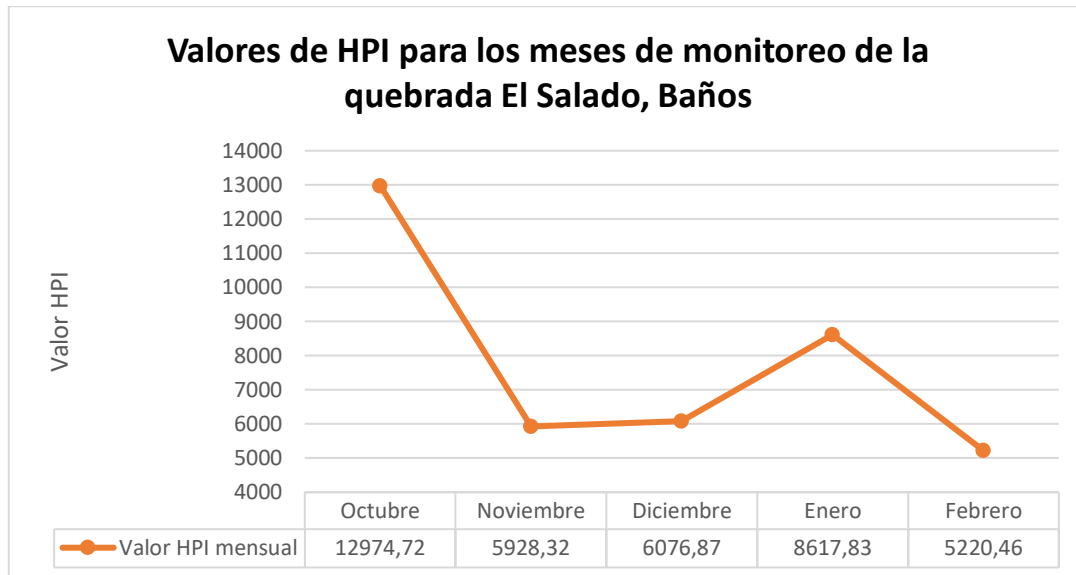


*Ilustración 13. Valores de HPI durante el invierno de la quebrada El Salado.*  
Elaborado por: Autoras, 2020.

*Tabla 33. Resultados del índice HPI para el agua de la quebrada El Salado en cada punto de muestreo por mes.*

Puntos de Muestreo	HPI en mes de monitoreo				
	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero
Punto 1	18393.66	7200.11	1454.99	11799.72	1726.86
Punto 2	11119.44	10697.53	10876.00	5661.68	795.55
Punto 3	11484.81	2627.96	8965.94	12627.95	7628.06
Punto 4	10900.96	3187.66	3010.53	4381.95	10731.38
<b>HPI</b>	<b>12974.72</b>	<b>5928.32</b>	<b>6076.87</b>	<b>8617.83</b>	<b>5220.46</b>

Elaborado por: Autoras, 2020.



*Ilustración 14. Valores de HPI durante el periodo de monitoreo de la quebrada El Salado. Elaborado por: Autoras, 2020.*

#### 4.1.7 Resultados de medición de caudal

Conforme a los datos medidos in - situ con el correntómetro, se establecieron los caudales para cada punto de muestreo usando la metodología planteada, como se muestra en la Tabla 34, cuyos valores presentaron un patrón similar para todos los meses.

Los caudales para el punto 1 mantuvieron el valor más pequeño y fueron incrementándose a lo largo del cauce hasta llegar al punto 2. En el punto 2, el caudal aumentó debido al proceso de escorrentía originado aguas arriba, además de tener el mayor tamaño de sección transversal y porque recibe el cauce de la quebrada Huizhil. A partir del punto 3, los valores de caudal disminuyeron en relación a los puntos 1 y 2, a pesar de que recibe la alimentación de agua de dos quebradas aledañas que no se encuentran identificadas dentro de la información cartográfica nacional. Por ese motivo, se puede deducir que estas quebradas no presentan un aporte importante de caudal considerando los resultados obtenidos. También se puede mencionar que en el tramo de la quebrada antes de llegar al punto 3 de muestreo se presume la presencia de desvíos del cauce debido a la ubicación del sistema de riego asentado en Baños Centro. Este sistema de riego se encuentra definido en el PDyOT de Baños, cuyos desvíos de cauce que llegan a este sistema de riego posiblemente hayan dejado de utilizarse en la actualidad debido al aumento de la contaminación hídrica, como se señala en el diagnóstico de quebradas de la ciudad de Cuenca realizado en julio de 2009, y en la información proporcionada durante las conversaciones mantenidas con los moradores de la zona. Asimismo, se supone la influencia del proceso de infiltración en el suelo, ya que en esta zona las categorías de usos de suelo engloban cultivos, bosque natural, pastizal cultivado y natural (Ver Ilustración 30), y según Jost et al. (2012) y Rodríguez (2013) se indica que la infiltración es mayor mientras exista un mayor número de comunidades de vegetación, en donde la escorrentía crece conforme disminuye la cubierta vegetal, hecho que sucede para el punto 4. En este último punto, los caudales nuevamente aumentaron con respecto al punto 3 ya que se recogen todas las corrientes que vienen desde aguas arriba y se añaden las descargas de aguas residuales que salen de las grandes tuberías

de desagüe localizadas en la parte baja de la quebrada, como se ha podido evidenciar durante el recorrido de la misma.

Tabla 34. Caudales en los puntos de muestreo durante el período de estudio en la quebrada El Salado.

Punto de Muestreo	Mon.1: Octubre	Mon.2: Noviembre	Mon.3: Diciembre	Mon.4: Enero	Mon.5: Febrero
Punto 1	0.036	0.049	0.033	0.025	0.016
Punto 2	0.187	0.218	0.219	0.281	0.187
Punto 3	0.142	0.142	0.165	0.153	0.165
Punto 4	0.157	0.157	0.179	0.170	0.179
Media	0.131	0.142	0.149	0.157	0.140

Elaborado por: Autoras, 2020.

En la Ilustración 15, se exhibe la variabilidad temporal del caudal de la quebrada El Salado. Se obtuvo el pico más alto a inicio de la época de invierno (enero) con 0.157 m<sup>3</sup>/s, y se registró un valor de caudal mínimo en la época de verano (octubre) con 0.131 m<sup>3</sup>/s. El caudal medio durante el verano marcó 0.140 m<sup>3</sup>/s, valor que incrementó a 0.147 m<sup>3</sup>/s para invierno, lo que indica una ligera diferencia entre ambas estaciones.

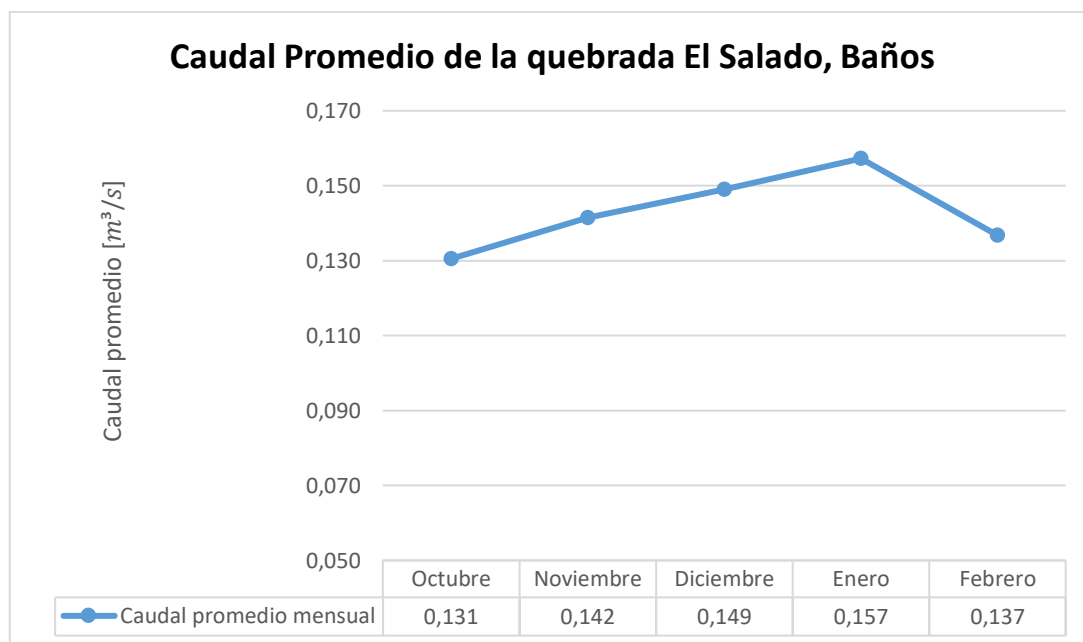


Ilustración 15. Caudal promedio de la quebrada El Salado durante el periodo de estudio.

Elaborado por: Autoras, 2020.

A continuación, se observa en la Ilustración 16 el caudal promedio mensual obtenido durante las campañas de monitoreo, en comparación con la calidad promedio del agua en general, es decir en términos del índice NSF – WQI.

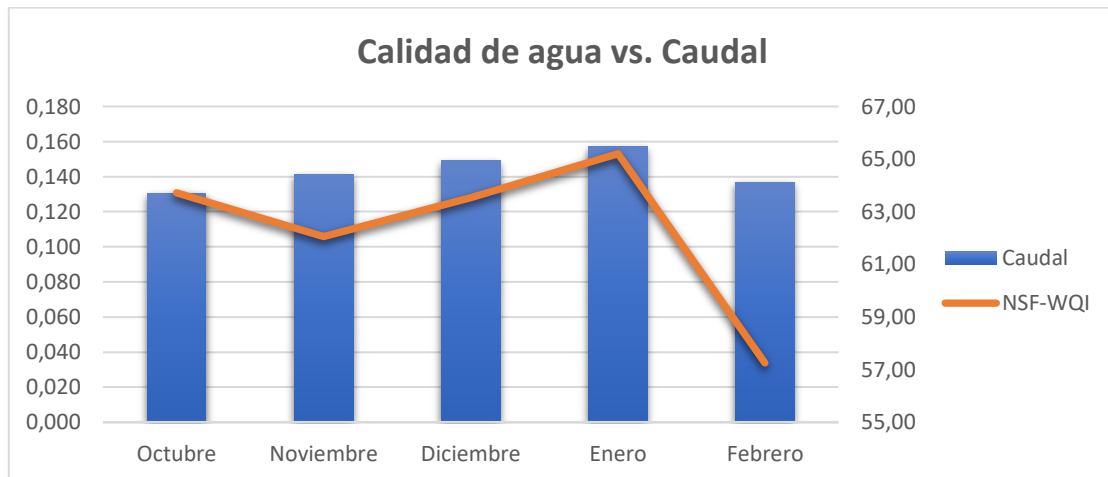


Ilustración 16. Relación entre la calidad del agua y caudal promedio de la quebrada El Salado.  
Elaborado por: Autoras, 2020.

La comparación entre la calidad del agua con el caudal del cuerpo hídrico de estudio resultó ser compleja, señalando que dicha calidad no sólo se ha visto influenciada por este parámetro, sino también por la carga contaminante recibida por las descargas residuales y las que son arrastradas desde aguas arriba. Esto ocurrió en los meses de noviembre y febrero, en donde se interpretó que el efecto de dilución generado por un mayor caudal no logró reducir la carga contaminante. Esto pudo deberse a una descarga de efluentes aguas arriba del P1 con mayor concentración de contaminantes, correspondiente a las fuentes de aguas residuales evidenciadas durante el recorrido, tales como la Planta de Potabilización de Agua de Baños, así como de la industria galvanizadora, domicilios, agricultura, entre otras. La calidad del agua de los meses restantes siguió la tendencia de mejorar conforme aumenta el flujo volumétrico. Se tuvieron en enero los valores de caudal y de calidad de agua más altos, lo cual sucede por la acción que ejercen las precipitaciones dadas durante este mes, beneficiando al fenómeno de autodepuración de la quebrada debido a la dilución de los contaminantes y su descomposición bioquímica a medida que el caudal incrementa. Esto permite alcanzar, dependiendo de la carga contaminante, un equilibrio natural.

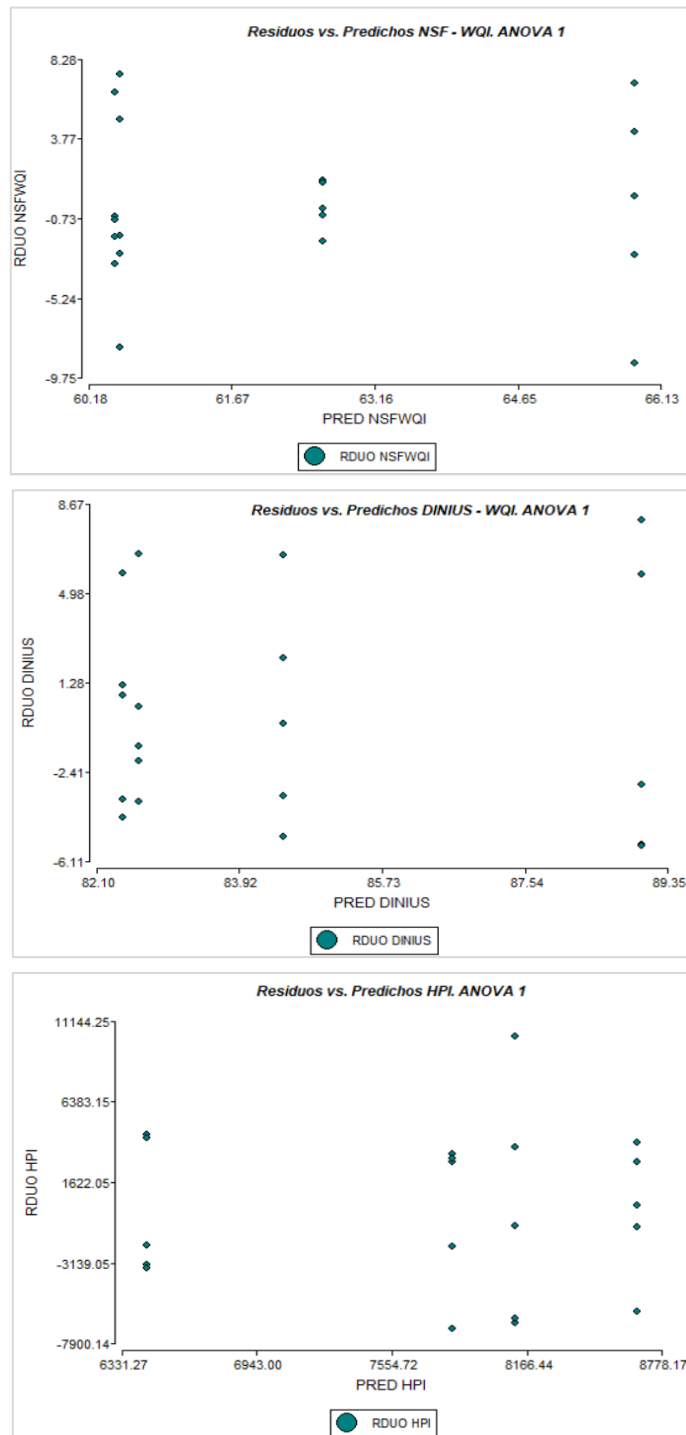
#### 4.1.8 Resultados del estudio de variables espacio - temporales sobre los índices de calidad de agua. Aplicación de análisis de varianzas.

A continuación, se muestran los resultados de aplicación de los seis análisis de varianza agrupados en dos categorías referentes a la variable espacial “punto de muestreo” y la variable temporal “mes de monitoreo”. Para mayor detalle, en el Apéndice 4 se constatan los resultados obtenidos directamente de los programas utilizados.

##### 4.1.8.1 Resultados de análisis de varianza para el estudio de la influencia de la variable espacial “punto de muestreo” sobre los índices de calidad de agua

###### 4.1.8.1.1 Resultados de la prueba de independencia

En las Ilustraciones 17 – 19, se observan los diagramas de dispersión obtenidos a partir de los valores residuales y predichos de los 20 resultados de cada índice, cantidad que corresponde a todas las campañas de monitoreo. De esta manera se evaluó la independencia de los datos previa la aplicación de los análisis de varianza.



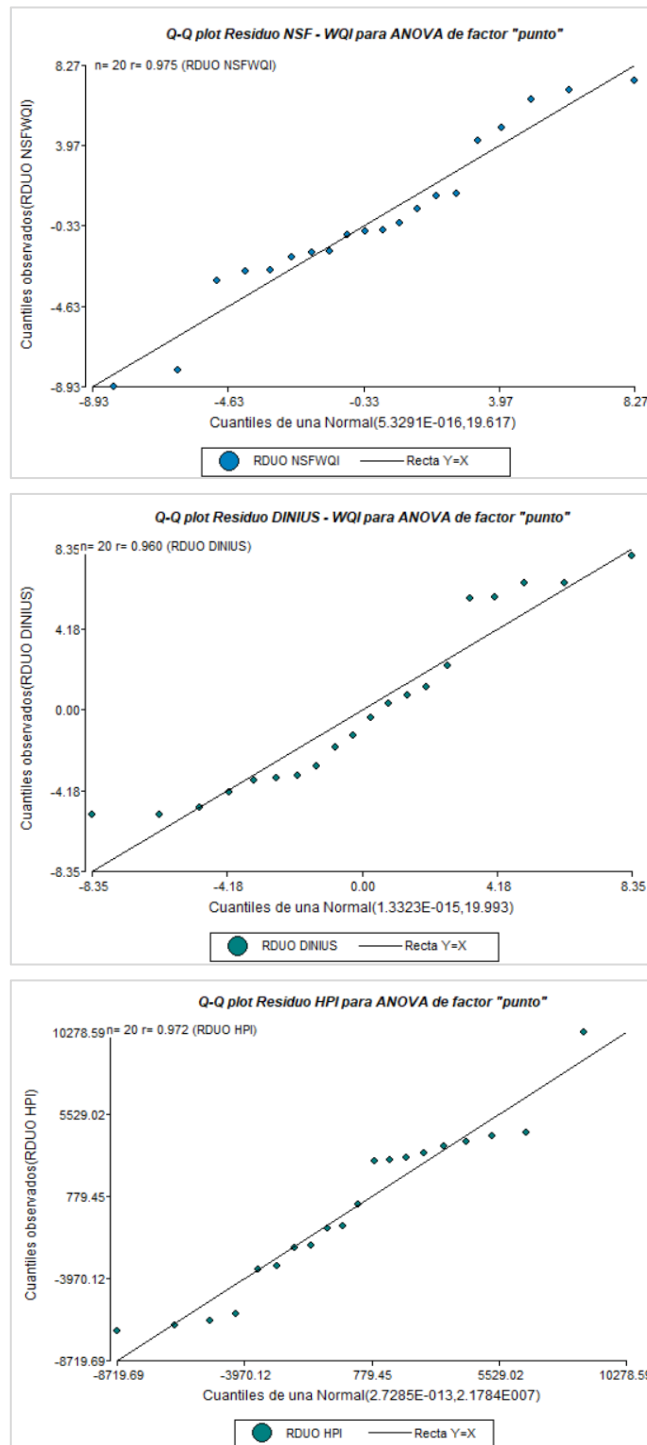
Ilustraciones 17, 18 y 19. Diagrama de dispersión de predichos vs. residuos para resultados de los índices NSF – WQI, DINIUS – WQI y HPI. ANOVA 1.

Elaborado por: Autoras, 2020.

Se obtuvo visualmente que, para los resultados de los tres índices, la distribución de los residuos no presentó una tendencia de tipo correlacional, considerando por lo tanto el cumplimiento del supuesto de independencia para los tres índices de estudio, en relación con la influencia de la variable espacial “punto de muestreo”.

### 4.1.8.1.2 Resultados de la prueba de normalidad

En las Ilustraciones 20 – 22, se observan las gráficas Q-Q Plot de distribución normal de los residuos correspondientes a los resultados de cada uno de los índices, en relación con el punto de muestreo.



Ilustraciones 20, 21 y 22. Gráfico Q-Q Plot de distribución normal para los índices NSF – WQI, DINIUS – WQI y HPI, ANOVA 1.

Elaborado por: Autoras, 2020.





En el eje “x” se graficaron los cuantiles referenciales de una normal, y en el eje “y” aquellos correspondientes a los residuos de los valores de los índices y su comparación con la recta normal de 45°, en donde  $X=Y$ . Visualmente para los tres gráficos, no se evidenció un gran número de datos alejados significativamente de la recta referencial normal  $Y=X$ . Esto podría significar que los cuantiles muestrales en relación con los cuantiles teóricos no presentaron desviaciones relevantes, sin embargo, al ser una prueba no formal, se llevó a cabo adicionalmente la prueba de Shapiro - Wilks modificada, utilizada por defecto en el software Infostat, para verificar la normalidad del conjunto de datos, como se detalla a continuación.

En la Tabla 35 se observan los resultados obtenidos para la prueba formal de normalidad de los tres índices a través del método de Shapiro - Wilks modificado por Mahibbur y Govindarajulu (1997), dado por defecto en el software estadístico (se utilizaron las variables de residuos para las pruebas de independencia, normalidad y homocedasticidad como se estableció previamente).

Tabla 35. Prueba Shapiro – Wilks para los tres índices de calidad de agua, ANOVA 1.

Variable/Test	Shapiro - Wilks (modificado) “p”
Índice NSF - WQI	0.3456
Índice DINIUS-WQI	<b>0.0179</b>
Índice HPI	0.2659

Elaborado por: Autoras, 2020

Para aceptar la hipótesis de normalidad se tomó en cuenta el valor mostrado en la columna “Shapiro – Wilks (modificado)”, el cual hace referencia al nivel de significancia y que debería ser superior a 0.05 para el cumplimiento del supuesto. Se puede observar que la significancia de la casilla “p” para los residuos correspondientes a los índices NSF – WQI y HPI fueron mayores al valor establecido de 0.05, con lo cual se acepta la hipótesis nula que indica que los valores siguen una distribución de tipo normal o gaussiana para ambos conjuntos de datos, demostrando así la aplicabilidad del método ANOVA en términos de normalidad para ambos índices. En relación con el índice DINIUS – WQI, el valor de significancia señalado en negrita no cumplió el supuesto de normalidad, por lo que se debería posteriormente optar por métodos no paramétricos si los datos son homocedásticos, o una transformación si éstos son heterocedásticos. Para ello, se realizó a continuación la prueba de homocedasticidad.

#### 4.1.8.1.3 Resultados prueba de homocedasticidad

Gráficamente (prueba no formal de homocedasticidad), la nube de puntos aleatorios de las Ilustraciones 17 – 19 que comprenden los diagramas de dispersión de los predichos en el eje “x” y los residuos en el eje “y”, permitieron asumir que los datos poseen homocedasticidad, debido a que no se observó ningún tipo de patrón que muestre que a medida que los predichos aumentan, la dispersión de los residuales también, con lo que se observaría una tendencia de “cono” o “embudo”. A continuación, en la Tabla 36 se exhiben los resultados obtenidos a través del método de Levene (prueba formal de homocedasticidad) de los tres índices mediante el uso del valor de los residuos absolutos. El valor de interés fue “p-valor” para la variable “punto”.



Tabla 36. Prueba de Levene para los índices de calidad de agua, ANOVA 1.

<b>Análisis de varianza (Prueba de Levene para la determinación de homocedasticidad)</b>		
<b>Variable dependiente</b>	<b>Variable independiente</b>	<b>P – valor (significancia)</b>
Residuo Absoluto del índice NSF - WQI	Punto	0.0839
Residuo Absoluto del índice DINIUS - WQI	Punto	0.2455
Residuo Absoluto del índice HPI	Punto	0.3222

Elaborado por: Autoras, 2020.

Como se muestra, la significancia (“p-valor”) para el conjunto de datos de cada índice resultó ser mayor al valor establecido de 0.05 para la variable “punto” para todos los índices, razón por la que se aceptó la hipótesis nula, indicando que el conjunto de datos de los grupos tiene varianzas homogéneas. El valor de “p” fue elevado en los tres casos, por ello, al igual que con la similitud de los puntos en las gráficas, no existió evidencia para rechazar la hipótesis nula.

Luego de haber analizado todos los supuestos, se estableció la aplicabilidad del ANOVA para los índices NSF – WQI y HPI. Por el contrario, los datos pertenecientes al índice DINIUS – WQI pudieron ser evaluados mediante la metodología no paramétrica “Kruskal – Wallis”, al tener un conjunto de datos no normal y homocedástico (Larson, 2008).

#### 4.1.8.1.4 Resultados del análisis de varianza para la variable espacial “punto de muestreo”

La Tabla 37 enseña los valores de significancia “p” después de haber aplicado el análisis de varianza según el punto de muestreo para el conjunto de datos del índice NSF-WQI. Por otra parte, la Tabla 38 muestra los resultados de aplicación de la prueba post – hoc en donde se realiza una clasificación en grupos de las medias de los valores obtenidas por punto de muestreo, respectivamente.

Tabla 37. Análisis ANOVA para “punto de muestreo” para índice NSF – WQI.

<b>Análisis de varianza ANOVA Índice NSF – WQI para la variable “punto de muestreo”</b>	
<b>Variable</b>	<b>P – valor (significancia)</b>
Punto	0.2811

Elaborado por: Autoras, 2020.

El p-valor de los resultados del índice NSF-WQI en relación con el punto de muestreo fue de 0.2811. Como  $p > 0.05$ , se demostró que no existen diferencias significativas entre las medias del conjunto de datos, lo cual permite establecer que el punto de muestreo no influyó en los valores del índice NSF-WQI.

Tabla 38. Prueba post – hoc para “punto de muestreo” para índice NSF – WQI.

<b>Test de Bonferroni Índice NSF – WQI (punto de muestreo)</b>		
<b>Variable</b>	<b>Medias</b>	<b>Grupo</b>
Punto 1	65.86	A
Punto 2	62.61	A
Punto 3	60.50	A
Punto 4	60.45	A

Elaborado por: Autoras, 2020.



En cuanto a la prueba post-hoc, se observó que las medias se clasificaron dentro del mismo grupo, recalcando que no se especificaron diferencias significativas entre ellas. Los valores más altos representados por la media siguieron el orden de mayor a menor calidad desde el punto 1 hasta el punto 4, como se mencionó en los resultados del índice. Esto indicó que existen ligeras variaciones en la calidad del agua entre uno y otro punto, en donde a mayor altitud (P1), la calidad fue mejor en términos del índice NSF – WQI, mientras que a medida que hubo menos pendiente y en donde se evidenció una mayor urbanización (P4), la calidad fue menor; sin embargo, el método explica que estas diferencias no son estadísticamente significativas.

La Tabla 39, por otra parte, detalla el resultado de la aplicación del método Kruskal Wallis para el conjunto de datos del índice DINIUS – WQI, como se observa a continuación.

Tabla 39. Análisis Kruskal Wallis para “punto de muestreo” para índice DINIUS-WQI.

Prueba de Kruskal Wallis para Índice DINIUS-WQI para la variable “punto de muestreo”		
Variable	Medias	P – valor (significancia)
Punto 1	89.02	0.2125
Punto 2	84.47	
Punto 3	82.43	
Punto 4	82.63	

Elaborado por: Autoras, 2020.

El p-valor para el análisis Kruskal Wallis aplicado a los resultados del índice DINIUS-WQI en relación al punto de muestreo, dio un valor de 0.2125. Esto indicó que  $p > 0.05$ , y por lo tanto no existieron diferencias significativas entre las medias del conjunto de datos, estableciendo que el punto de muestreo no influyó en los valores del índice DINIUS-WQI, al igual que para el índice anterior. Como no se tuvieron diferencias estadísticamente significativas, el método no generó agrupaciones de medias, a diferencia de Bonferroni. Cabe destacar que la calidad del agua en términos de este índice sigue un patrón similar al orden de las medias del índice NSF – WQI, partiendo del punto 1, 2, 4 y 3, en donde este último punto presentó una diferencia mínima con el punto 4.

Por otro lado, están las Tablas 40 y 41 que se refieren a los resultados del análisis de varianza para el índice HPI en función del punto de muestreo.

Tabla 40. Análisis ANOVA para “punto de muestreo” para índice HPI.

Análisis de varianza ANOVA Índice HPI para la variable “punto de muestreo”	
Variable	P – valor (significancia)
Punto	0.9129

Elaborado por: Autoras, 2020.

El p-valor para el análisis de varianza de los resultados del índice HPI en relación al punto de muestreo presentó un valor de 0.9129. Como  $p > 0.05$ , se estableció que no existieron diferencias significativas entre las medias del conjunto de datos, lo que indica que el punto de muestreo no influyó en los valores del índice HPI. Esto permitió inferir que la diferencia en las cantidades de metales pesados a lo largo del recorrido de la quebrada no fue significativa, hecho atribuible a los orígenes de metales pesados de fuentes naturales explicado anteriormente, a pesar de las pequeñas variaciones de las medias de los valores de HPI causadas también por vías antrópicas.

Tabla 41. Prueba post – hoc para “punto de muestreo” para índice HPI.

Test de Bonferroni Índice HPI (punto de muestreo)		
Variable	Medias	Grupo
Punto 3	8666.94	A
Punto 1	8115.07	A
Punto 2	7830.04	A
Punto 4	6442.50	A

Elaborado por: Autoras, 2020.

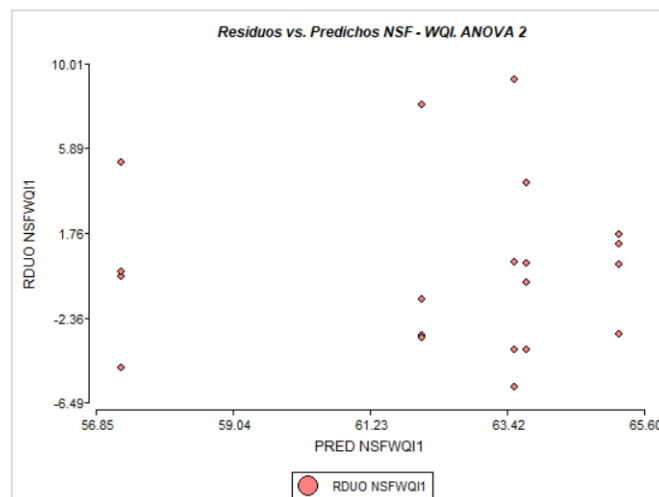
Adicionalmente, la prueba post – hoc comprobó que no existe diferencia significativa entre las medias obtenidas para los cuatro puntos al encontrarse todas dentro del mismo grupo. Se puede observar a través de las medias, que en el punto 3 se tiene una peor calidad de agua según HPI, seguido de los puntos 1, 2 y 4. Esto indica que, incluso a mayores altitudes en donde predominan áreas naturales (P1), se genera una alta carga contaminante en términos de metales pesados que es equiparable a los puntos en donde existen zonas urbanas (P3).

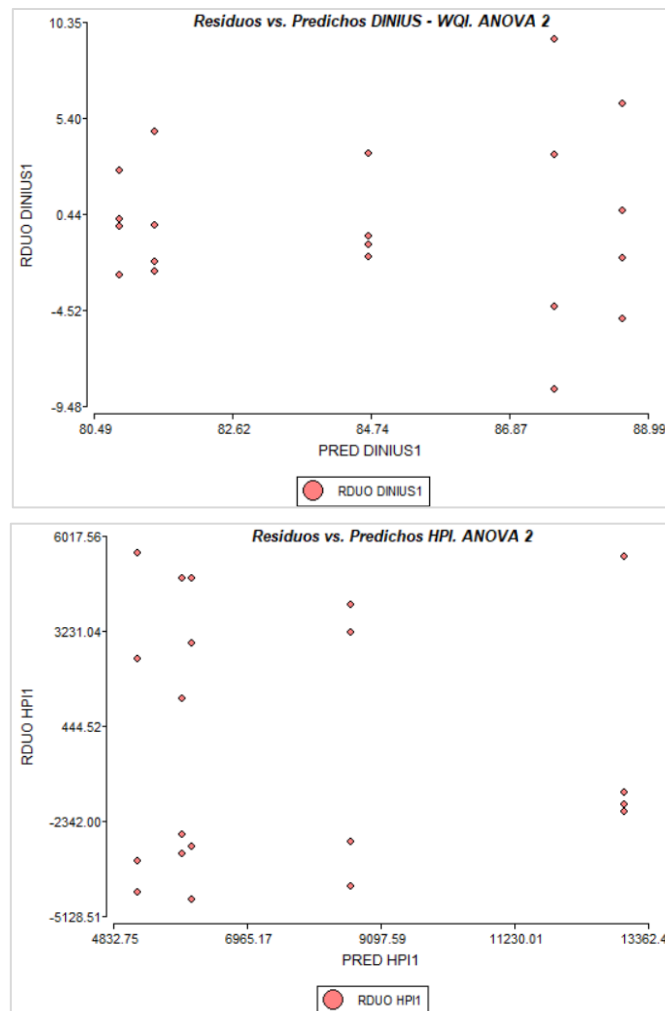
En base al análisis efectuado, no se encontraron diferencias significativas en los resultados de los tres índices de estudio según la zona en donde se hicieron los monitoreos hídricos, debido a que la significancia resultó ser mayor a 0.05 para todos los casos. Las ligeras diferencias entre las medias para los índices NSF – WQI y DINIUS – WQI explicaron una calidad mejor del agua a mayor altitud (punto 1), a diferencia del índice HPI en donde no se presentó patrón alguno. Estos resultados permitieron llegar a la conclusión de que la calidad del agua no está condicionada por el lugar en la que ésta ha sido monitoreada. Al no presentar un patrón, se puede mencionar que la presencia de metales pesados fue relativamente constante a lo largo de la quebrada a pesar de los distintos usos de suelo de la parroquia, lo cual se atribuye al aporte de tipo natural. Tanto la aplicación del índice HPI como el análisis de varianza permitieron corroborar lo mencionado a través de las medias obtenidas.

**4.1.8.2 Resultados de análisis de varianza para el estudio de la influencia de la variable temporal “mes de monitoreo” sobre los índices de calidad de agua**

**4.1.8.2.1 Resultados de la prueba de independencia**

En las Ilustraciones 23 – 25, se exhiben los diagramas de dispersión obtenidos a partir de los valores predichos y residuales de los 20 resultados de cada índice en relación a la variable temporal “mes”.





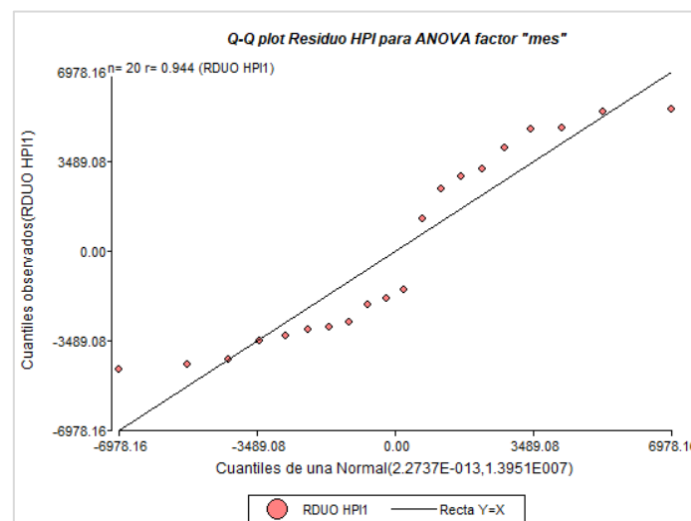
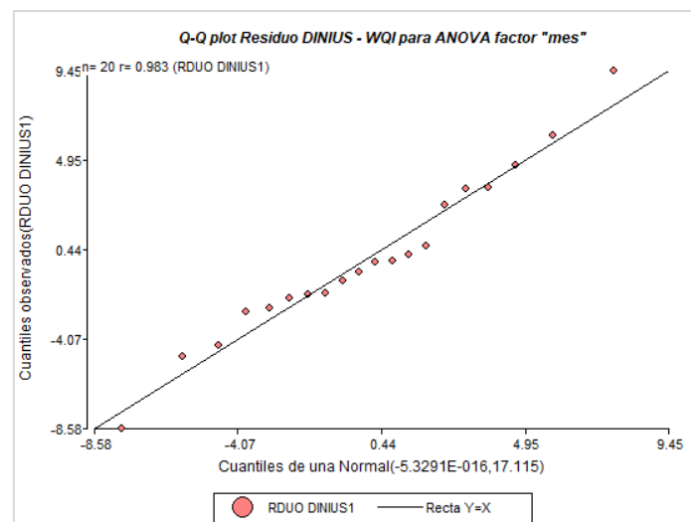
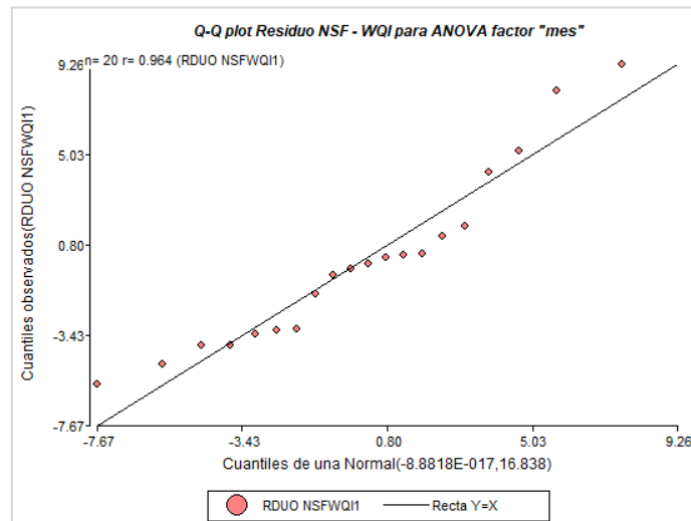
Ilustraciones 23, 24 y 25. Diagrama de dispersión de predichos vs. residuos para resultados de los índices NSF – WQI, DINIUS – WQI y HPI, ANOVA 2.

Elaborado por: Autoras, 2020.

Al igual que para la variable “punto de muestreo” se obtuvo visualmente que, para los resultados de los tres índices, la distribución de los valores no presentó una tendencia de tipo correlacional, por lo tanto, se consideró el cumplimiento del supuesto, comprobando la validez del análisis de varianza en términos de independencia para los tres índices de estudio.

#### 4.1.8.2.2 Resultados de la prueba de normalidad

En las Ilustraciones 26 – 28, se observan las gráficas Q-Q Plot de distribución normal de los residuos correspondientes a los resultados de cada uno de los índices (NSF-WQI, DINIUS-WQI y HPI, respectivamente), en relación a la variable “mes de monitoreo”.



Ilustraciones 26, 27 y 28. Gráfico Q-Q Plot de distribución normal para los índices NSF – WQI, DINIUS – WQI y HPI, ANOVA 2.

Elaborado por: Autoras, 2020.



En las gráficas, al igual que el análisis de varianza anterior, tampoco se evidenció una mayoría de datos que se encuentren significativamente alejados de la recta referencial normal  $Y=X$ , lo que podría significar que los cuantiles muestrales en relación a los cuantiles teóricos no presentaron desviaciones relevantes, sin embargo, al ser una prueba no formal, también se llevó a cabo la prueba de Shapiro - Wilks modificada. En la Tabla 42 se tienen estos resultados.

Tabla 42. Prueba Shapiro – Wilks para los tres índices de calidad de agua, ANOVA 2.

Variable/Test	Shapiro - Wilks (modificado)
Índice NSF - WQI	0.1482
Índice DINIUS-WQI	0.9652
Índice HPI	<b>0.0017</b>

Elaborado por: Autoras, 2020.

La significancia de la casilla “p” para los residuos correspondientes a los índices NSF – WQI y DINIUS – WQI fue mayor al valor establecido de 0.05, razón por la que se aceptó la hipótesis nula indicando que, los valores siguen una distribución de tipo normal o gaussiana para ambos conjuntos de datos, demostrando así la aplicabilidad del método ANOVA en términos de normalidad. Por el contrario, los datos del índice HPI no cumplieron con el supuesto de normalidad, por lo que, de igual forma que para el índice DINIUS – WQI del anterior análisis de varianza, se deben aplicar métodos no paramétricos si los datos son homocedásticos, o una transformación si éstos son heterocedásticos.

#### 4.1.8.2.3 Resultados prueba de homocedasticidad

La nube de puntos aleatorios de las Ilustraciones 26 – 28 permitieron asumir que los datos tuvieron homocedasticidad, debido a que no se observó ningún tipo de patrón que muestre que a medida que los predichos aumentan, la dispersión de los residuales también, con lo que se observaría una tendencia de “cono” o “embudo”. A continuación, en la Tabla 43 se exponen los resultados conseguidos a través del método de Levene (prueba formal de homocedasticidad) de los tres índices mediante el uso del valor de los residuos absolutos. El valor de interés fue “p-valor” para la variable “mes”.

Tabla 43. Prueba de Levene para los índices de calidad de agua, ANOVA 2.

Análisis de varianza (Prueba de Levene para la determinación de homocedasticidad)		
Variable dependiente	Variable independiente	P – valor (significancia)
Residuo Absoluto del índice NSF - WQI	Mes	0.4355
Residuo Absoluto del índice DINIUS - WQI	Mes	<b>0.0299</b>
Residuo Absoluto del índice HPI	Mes	0.6158

Elaborado por: Autoras, 2020.

Como se muestra, la significancia (p-valor) para el conjunto de datos de cada índice resultó ser mayor al valor establecido de 0.05 para los residuos absolutos de los índices NSF – WQI y HPI. Al cumplir con todos los supuestos de estadística paramétrica, el análisis ANOVA pudo ser aplicado para el índice NSF – WQI. En cuanto al índice DINIUS – WQI, su conjunto de valores es normal pero heterocedástico,



lo cual implicó utilizar el método de Welch de ANOVA, siguiendo lo indicado por Larson (2008). Debido a las limitaciones del software Infostat, se empleó el programa Minitab 19 para aplicar dicho método. Por otro lado, al ser el índice HPI no normal, pero homocedástico se usó la prueba de Kruskal Wallis para el análisis del mismo.

**4.1.8.2.4 Resultados del análisis de varianza para la variable temporal “mes de monitoreo”**

La aplicación del segundo análisis de varianza permitió alcanzar los siguientes resultados, mismos que definen la influencia temporal sobre la calidad del agua.

Se presentan a continuación en las Tablas 44 y 45, los resultados con respecto a la influencia de la variable “mes de monitoreo” sobre el índice NSF – WQI, en conjunto con la prueba post – hoc de Bonferroni.

Tabla 44. Análisis ANOVA para “mes de monitoreo” para índice NSF – WQI.

<b>Análisis de varianza ANOVA Índice NSF - WQI para la variable “mes de monitoreo”</b>	
<b>Variable</b>	<b>P – valor (significancia)</b>
Mes	0.1895

Elaborado por: Autoras, 2020.

Tabla 45. Prueba post – hoc para “mes de monitoreo” para índice NSF – WQI.

<b>Test de Bonferroni Índice NSF – WQI (mes de monitoreo)</b>		
<b>Variable</b>	<b>Medias</b>	<b>Grupo</b>
Febrero	57.25	A
Noviembre	62.05	A
Diciembre	63.54	A
Octubre	63.73	A
Enero	65.21	A

Elaborado por: Autoras, 2020.

De acuerdo con los resultados alcanzados del análisis de varianza de los datos del índice NSF-WQI en función del mes de monitoreo como variable temporal, la significancia “p” dio un valor de 0.1895, que al ser mayor a 0.05, señaló que no existieron diferencias significativas entre las medias del conjunto de datos, demostrando que el mes de monitoreo no influyó en los valores del índice NSF-WQI. Consecuentemente, no se presentaron diferencias entre las medias a través del análisis post-hoc, clasificándose todas dentro del mismo grupo, a pesar de tener mínimas variaciones, en donde la calidad fue mejor en enero, seguido de octubre, diciembre, noviembre y finalmente febrero. Estas variaciones pequeñas corroboraron lo expuesto en el apartado 4.1.2. A continuación, la Tabla 46 refleja los resultados para el índice DINIUS-WQI.

Tabla 46. Prueba Welch de ANOVA para “mes de monitoreo” para índice DINIUS-WQI.

<b>Prueba de Welch de ANOVA, Índice DINIUS-WQI para la variable “mes de muestreo”</b>		
<b>Variable</b>	<b>Medias</b>	<b>P – valor (significancia)</b>
Diciembre	87.57	0.119
Enero	80.88	
Febrero	81.42	
Noviembre	88.61	
Octubre	84.71	

Elaborado por: Autoras, 2020.





El p-valor dado para el índice DINIUS – WQI en relación al mes de monitoreo mostró un valor de 0.119. Esto indicó que  $p > 0.05$ , y por lo tanto, no existieron diferencias significativas entre las medias del conjunto de datos, demostrando que el mes de monitoreo no influyó en los valores del índice DINIUS-WQI, al igual que para el índice anterior. Como no se tuvieron diferencias estadísticamente significativas, el método no generó agrupaciones de medias, al igual que Kruskal Wallis. A pesar de haber ligeras variaciones, estos valores se encontraron dentro del rango de calificación definido por Dinius (71 - 100), como se explica en el apartado 4.1.4.

Por otro lado, la Tabla 47 se refiere a los resultados del análisis de varianza para el índice HPI en función del mes de monitoreo.

Tabla 47. Análisis Kruskal Wallis para “mes de monitoreo” para índice HPI.

Prueba de Kruskal Wallis para Índice HPI para la variable “mes de monitoreo”		
Variable	Medias	P – valor (significancia)
Febrero	5220.46	0.0683
Noviembre	5928.32	
Diciembre	6076.87	
Enero	8617.83	
Octubre	12974.72	

Elaborado por: Autoras, 2020.

El p-valor obtenido a partir de la prueba Kruskal Wallis aplicado a los resultados del índice HPI en relación al mes de monitoreo, reflejó un valor de 0.0683. Esto indicó que  $p > 0.05$ , y, por lo tanto, no existieron diferencias significativas entre las medias del conjunto de datos, señalando que el mes de monitoreo no influyó en los valores del índice HPI. Al no tener diferencias estadísticamente significativas, el método no generó agrupaciones de medias. Las variaciones mínimas de la calidad del agua en términos de este índice siguieron el orden de mejor a peor calidad, a pesar de que en todos los meses se tuvo concentraciones elevadas de metales pesados, como se detalla a continuación: febrero, noviembre, diciembre, enero y octubre, según se expone en el apartado 4.1.6.

Luego de realizar el análisis de varianza para los tres índices de calidad en función del mes de monitoreo, se pudo inferir que, en términos generales, la calidad del agua no se vio afectada a través del tiempo durante los meses de monitoreo, los cuales se encuentran sujetos a estacionalidad. Por ello, se estableció que la diferencia en las condiciones climáticas presentadas en cada mes, definidas por las épocas de verano e invierno, no representaron una variable significativamente influyente en la calidad del agua de la quebrada El Salado, lo cual se puede atribuir a que las estaciones no estuvieron muy marcadas como se estableció (época seca de julio a diciembre y lluviosa de enero a mayo).

#### 4.1.9 Resultados del Análisis de Correlación aplicado a los parámetros de calidad de agua

A continuación, en los siguientes apartados se explican los resultados para la prueba de normalidad que permitió conocer el método de correlación que debe utilizarse, en conjunto con los resultados de la aplicación de la correlación.

##### 4.1.9.1 Resultados de la prueba de normalidad Shapiro – Wilks

Se realizó la prueba de normalidad Shapiro – Wilks al conjunto de datos de los 17 parámetros de calidad de agua, como se expone a continuación en la Tabla 48:



Tabla 48. Prueba de Shapiro – Wilks para parámetros de calidad del agua.

Variable/Test	Shapiro - Wilks
Color	<b>0.003</b>
Temperatura	0.846
Turbidez	<b>&lt;0,0001</b>
pH	<b>0.001</b>
Sólidos Totales	0.055
Oxígeno Disuelto	<b>0.028</b>
DBO <sub>5</sub>	<b>0.017</b>
Fosfato Total	<b>&lt;0,0001</b>
Nitratos	<b>0.026</b>
Cloruros	<b>0.016</b>
Conductividad Específica	<b>0.012</b>
Alcalinidad	<b>0.002</b>
Dureza	0.539
Arsénico	<b>0.022</b>
Cadmio	0.116
Cromo	<b>0.017</b>
Zinc	<b>0.015</b>

Elaborado por: Autoras, 2020

Los valores señalados en negrita, que en este caso son 13 de 17, corresponden a aquellos que no siguieron una distribución normal. Como la mayoría de los valores de “p” de la segunda columna correspondieron a una significancia menor a 0.05, se optó por aplicar el método del coeficiente de correlación de Spearman, cuyos resultados se muestran en el siguiente apartado.

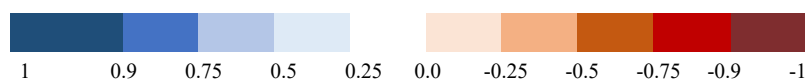
#### 4.1.9.2 Resultados de Correlación de Spearman aplicada a los parámetros de calidad de agua

En la Tabla 49, se detallan los coeficientes de correlación obtenidos para los parámetros de control de calidad de agua analizados. Se ha establecido que, una correlación de carácter fuerte mantiene un valor de 0.9 a 1 y -0.9 a -1, mientras que, una correlación moderada comprende los rangos de 0.5 a valores inferiores a 0.9 y de -0.5 a valores superiores a -0.9. Los intervalos restantes (valores menores a 0.5 y mayores a -0.5) determinan correlaciones débiles, y mientras más se acercan a 0, los coeficientes indican que no hay una correlación lineal.



Tabla 49. Coeficientes de correlación de Spearman – parámetros de calidad de agua.

Variables	Col	T	Turb	pH	ST	OD	DBO <sub>5</sub>	PT-PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	CE	Alc	Du	As	Cd	Cr	Zn
Col	1																
T	-0.237	1															
Turb	0.649	-0.366	1														
pH	-0.468	0.292	-0.411	1													
ST	-0.107	0.810	-0.176	0.102	1												
OD	-0.290	0.081	0.200	0.357	0.063	1											
DBO <sub>5</sub>	-0.085	0.230	0.138	0.208	0.039	0.388	1										
PT-PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup>	-0.509	0.309	-0.444	0.363	0.393	0.387	0.290	1									
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	-0.379	0.382	-0.480	0.445	0.178	0.005	0.080	-0.090	1								
Cl <sup>-</sup>	0.402	-0.453	0.211	-0.173	-0.468	-0.328	-0.232	-0.423	-0.230	1							
CE	-0.092	0.600	-0.586	0.264	0.561	-0.369	0.020	0.216	0.484	-0.215	1						
Alc	-0.006	0.503	-0.411	0.051	0.560	-0.280	-0.042	0.224	0.245	-0.077	0.847	1					
Du	0.359	0.412	-0.209	-0.122	0.392	-0.521	-0.107	-0.028	0.013	-0.044	0.707	0.644	1				
As	-0.400	0.666	-0.393	0.307	0.538	0.155	0.225	0.151	0.474	-0.254	0.554	0.655	0.235	1			
Cd	-0.035	-0.099	0.352	0.217	-0.026	0.268	0.314	-0.005	0.043	0.169	-0.056	0.124	-0.369	0.167	1		
Cr	0.107	0.032	-0.050	0.409	-0.131	-0.145	0.005	-0.213	0.461	0.172	-0.020	-0.236	-0.103	-0.226	-0.036	1	
Zn	-0.438	-0.200	-0.202	0.283	-0.119	0.067	0.330	0.142	0.224	-0.174	0.107	-0.039	-0.331	0.184	0.362	-0.076	1



Elaborado por: Autoras, 2020.

En la gráfica se destacan dos coeficientes de correlación positiva moderada representados por los valores más altos: T con ST y Alc con CE. Empezando por el coeficiente que relaciona a la temperatura con los sólidos totales con un valor de 0.810, se puede explicar que conforme aumenta la temperatura se produce un efecto de disociación de moléculas que genera un incremento en el número de iones en solución, lo que se traduce en una mayor concentración de sales disueltas en el agua, las cuales tienen propiedades conductoras, de acuerdo con Barron y Ashton (2019) y en concordancia con los resultados de correlación que se muestran en el estudio de Oyem et al. (2014). Adicionalmente, se conoce que los sólidos totales, tanto disueltos como suspendidos, presentan una influencia directa en la temperatura del agua al tener la capacidad de absorber calor de la luz solar, según lo establecido por Boyd (2015). En cuanto a la segunda correlación positiva moderada que asocia Alc y CE con un valor de 0.847, se puede mencionar que está determinada por el hecho de que, cuando aumenta la concentración de iones (mismos que están relacionados directamente con la conductividad específica), se altera el pH de manera que se pueda dar como resultado una solución fuertemente alcalina.

Otras once correlaciones positivas moderadas con un menor grado de fuerza (menores a 0.90) se han hallado. Por ejemplo, se pudo evidenciar correlaciones positivas moderadas entre la Turb y Col (0.649), lo que se puede atribuir al contenido de partículas que proporcionaron tanto condiciones turbias como una coloración ligeramente marrón al agua de la quebrada tales como sedimentos con materia orgánica



y una pequeña cantidad de fitoplancton presenciados en el agua durante el recorrido; Alc con T (0.503) y Alc con ST (0.560), CE con T (0.600) y CE con ST (0.561), las cuales pueden explicarse por las dos primeras correlaciones antes mencionadas; Du con CE (0.707) debido a que la medición de la conductividad del agua puede ser una buena forma de aproximación del valor de dureza o concentración de sales de calcio y magnesio en sus formas carbonatadas. Esto explicó, además, la correlación entre Du y Alc (0.644), puesto que este último parámetro está directamente relacionado con la CE.

Por otra parte, el As demostró tener más correlaciones con T (0.666), ST (0.538), CE (0.554) y Alc (0.655). Si bien existen investigaciones tales como la de Alidadi et al. (2015) y Herngren et al. (2005), las mismas están basadas en la relación del As con la calidad del agua cuyos resultados demuestran que no se presenta una relación definida entre los parámetros mencionados. Por lo tanto, se puede inferir que esta relación generalmente se encuentra ligada a la zona de estudio debido a la diferencia en el valor de correlación obtenida en la presente investigación.

Por el contrario, no se obtuvieron correlaciones negativas fuertes o destacables ya que ninguna presentó un valor inferior a -0.6. Se obtuvieron únicamente tres correlaciones negativas moderadas, entre ellas el coeficiente que relaciona  $PT-PO_4^{3-}$  con Col (-0.509), Turb con CE (-0.586) presentada en estudios similares como en el de Aveiga et al. (2019), y Du con OD (-0.521).

Los coeficientes de correlación obtenidos permitieron establecer que estas relaciones científicamente determinadas entre parámetros de calidad de agua han sido demostradas de manera experimental en el presente estudio.

#### 4.2 Resultados de categorización de uso y cobertura de suelo

En la Tabla 50, se identifican las áreas en hectáreas y porcentajes de los tipos de uso y cobertura de suelo en la zona de influencia que comprende un total de 624.17 ha. Se ha obtenido una clasificación de 11 usos y coberturas de suelo en conjunto con un porcentaje mínimo de sombra.

Tabla 50. Distribución de usos y coberturas de suelo en el área de influencia.

Tipo de Uso / Cobertura	Área [ha]	Porcentaje [%]
Arbustos	43.32	6.94
Área Industrial y Comercial	1.07	0.17
Área Urbana Continua	92.28	14.78
Área Urbana Discontinua	185.64	29.74
Área de Deporte y Tiempo Libre	1.83	0.29
Área de Verde Urbano	1.53	0.25
Bosque Natural	145.20	23.26
Caminos	2.89	0.46
Cultivo Ciclo Corto	31.30	5.02
Pastizal	108.17	17.33
Pastizal Cultivado	10.92	1.75
Sombra	0.02	0.003
<b>TOTAL</b>	<b>624.17</b>	<b>100.00</b>

Elaborado por: Autoras, 2020.

Como se muestra en la Ilustración 29, en toda el área de influencia se evidenció la predominancia de zonas urbanas continuas y discontinuas (áreas en color azul y rosa respectivamente), en conjunto con pastizal y bosque natural (áreas en color verde), y en menores cantidades se tuvieron otros usos como área industrial y comercial, área de deporte y tiempo libre, área de verde urbano, arbustos, caminos, y cultivo de ciclo corto.

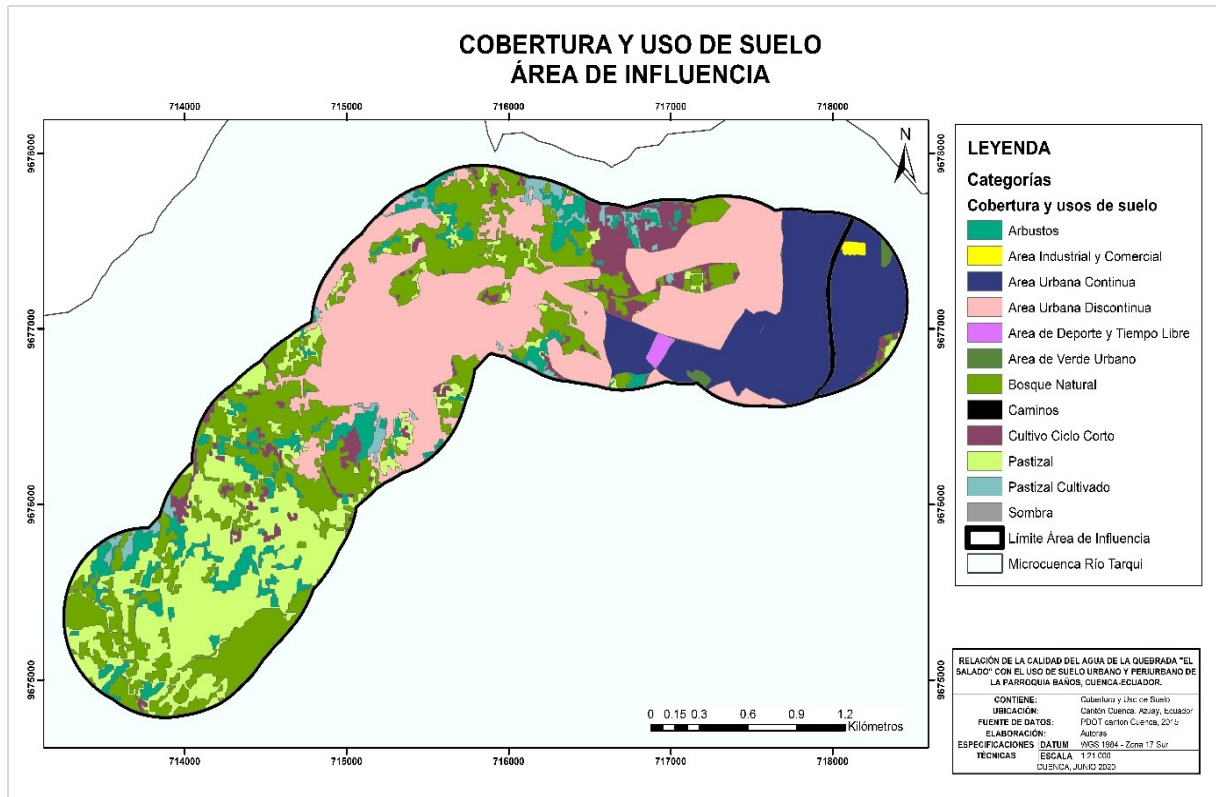


Ilustración 29. Cobertura y uso de suelo en el área de influencia.  
Elaborado por: Autoras, 2020.

### 4.3 Resultados de la relación de la calidad del agua por efecto de uso de suelo

#### 4.2.1 Resultados de la subdivisión del área de influencia

En la Ilustración 30, se exhiben los resultados de la división del área de influencia con los usos de suelo en 4 zonas circundantes a los 4 puntos de monitoreo hídrico. Esta subdivisión se efectuó con el propósito de asegurar el mismo tamaño muestral “n” para la aplicación de los métodos estadísticos de análisis de componentes principales y coeficiente de correlación de Pearson.

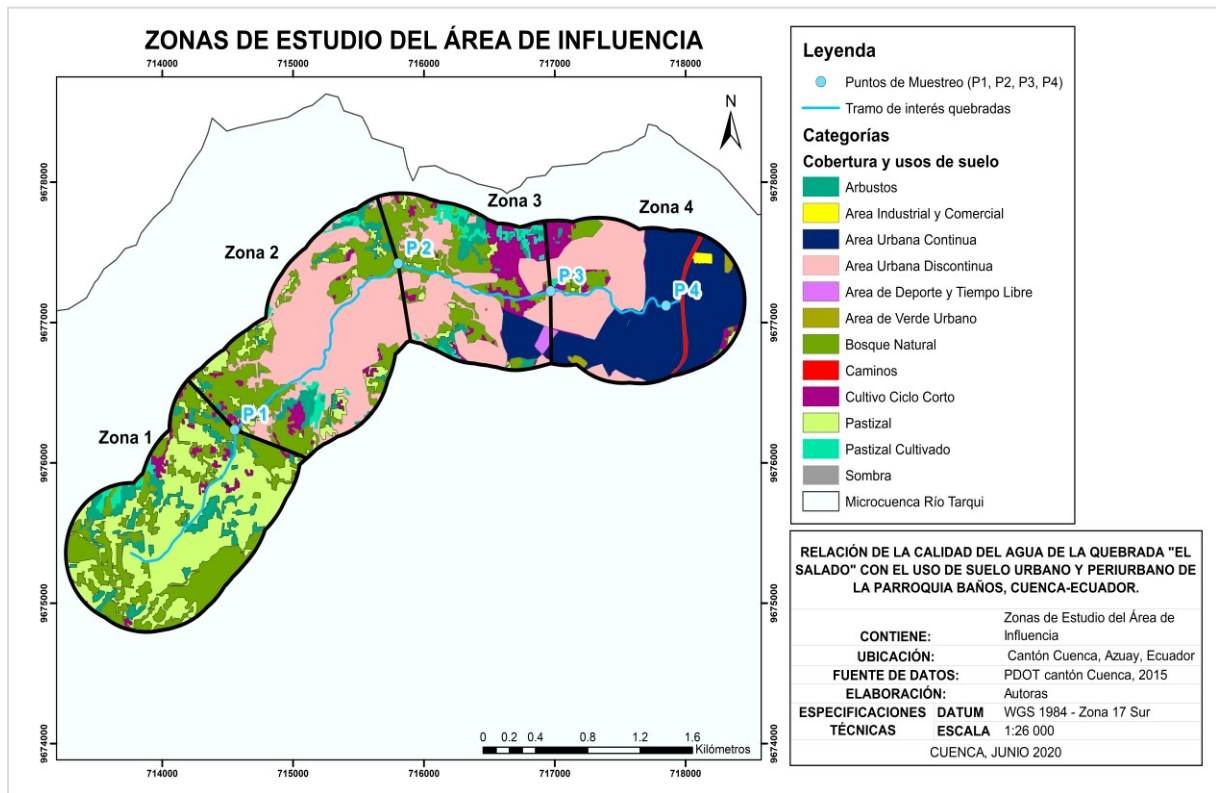


Ilustración 30. Mapa de subdivisión en 4 zonas del área de influencia.  
Elaborado por: Autoras, 2020.

Como muestra la Ilustración 30 y en concordancia con el análisis del mapa de pendientes, se reveló una tendencia de la disminución de áreas urbanas conforme aumenta la pendiente en el área de influencia. Esto quiere decir que en la zona 1 en donde las pendientes son mayores, existe mayor área natural, principalmente compuesta por bosque y pastizal. A medida que la pendiente se suaviza, las áreas naturales van disminuyendo al mismo tiempo en que se presenta un aumento de la urbanización. Específicamente en la zona 2 existe una predominancia de área urbana discontinua, al igual que en la zona 3; para la zona 4, cuya pendiente es mínima, el área está cubierta casi en su totalidad por área urbana, tanto continua como discontinua.

La porción de sombra se consideró imperceptible en el mapa de usos de suelo, y su área porcentual en toda la zona de influencia (0.003%) definió que el porcentaje de área sin información es mínimo. Al despreñar la sombra, el área total corresponde a 624.14 ha (6241400 m<sup>2</sup>). Cada una de las categorías de uso de suelo se reparte como se muestra en las Tablas 51 y 52, para las 4 zonas:



Tabla 51. Área en hectáreas de usos de suelo para las 4 zonas del área de influencia.

Zona / Uso de suelo en [ha]	Arbustos	Área Industrial y Comercial	Área Urbana Continua	Área Urbana Discontinua	Área de Deporte y Tiempo Libre	Área de Verde Urbano	Bosque Natural	Caminos	Cultivo Ciclo Corto	Pastizal	Pastizal Cultivado	TOTAL
1	21.6	0	0	0.1	0	0	60.27	0	5.05	90.63	2.33	179.98
2	12.16	0	0	94.66	0	0	45.83	0	4.71	13.02	2.85	173.23
3	9.11	0	8.79	47.17	1.57	0	32.59	0	15.08	3.52	5.47	123.3
4	0.44	1.07	83.49	43.70	0.27	1.53	6.51	2.89	6.462	0.993	0.27	147.63
<b>TOTAL</b>	43.31	1.07	92.28	185.63	1.84	1.53	145.20	2.89	31.30	108.16	10.92	<b>624.14</b>

Elaborado por: Autoras, 2020.

Tabla 52. Área en porcentual de usos de suelo para las 4 zonas del área de influencia.

Zona / Uso de suelo en [%]	Arbustos	Área Industrial y Comercial	Área Urbana Continua	Área Urbana Discontinua	Área de Deporte y Tiempo Libre	Área de Verde Urbano	Bosque Natural	Caminos	Cultivo Ciclo Corto	Pastizal	Pastizal Cultivado	TOTAL [%]
1	12.00	0.00	0	0.06	0	0	33.48	0	2.81	50.36	1.29	100
2	7.02	0.00	0	54.65	0	0	26.45	0	2.72	7.51	1.65	100
3	7.39	0.00	7.13	38.25	1.27	0	26.43	0	12.23	2.86	4.44	100
4	0.30	0.73	56.55	29.60	0.18	1.04	4.41	1.96	4.38	0.67	0.18	100

Elaborado por: Autoras, 2020.

En la Ilustración 31 se sintetizan los valores porcentuales del área de uso de suelo para cada zona a través de una gráfica de barras, con el fin de facilitar su interpretación.

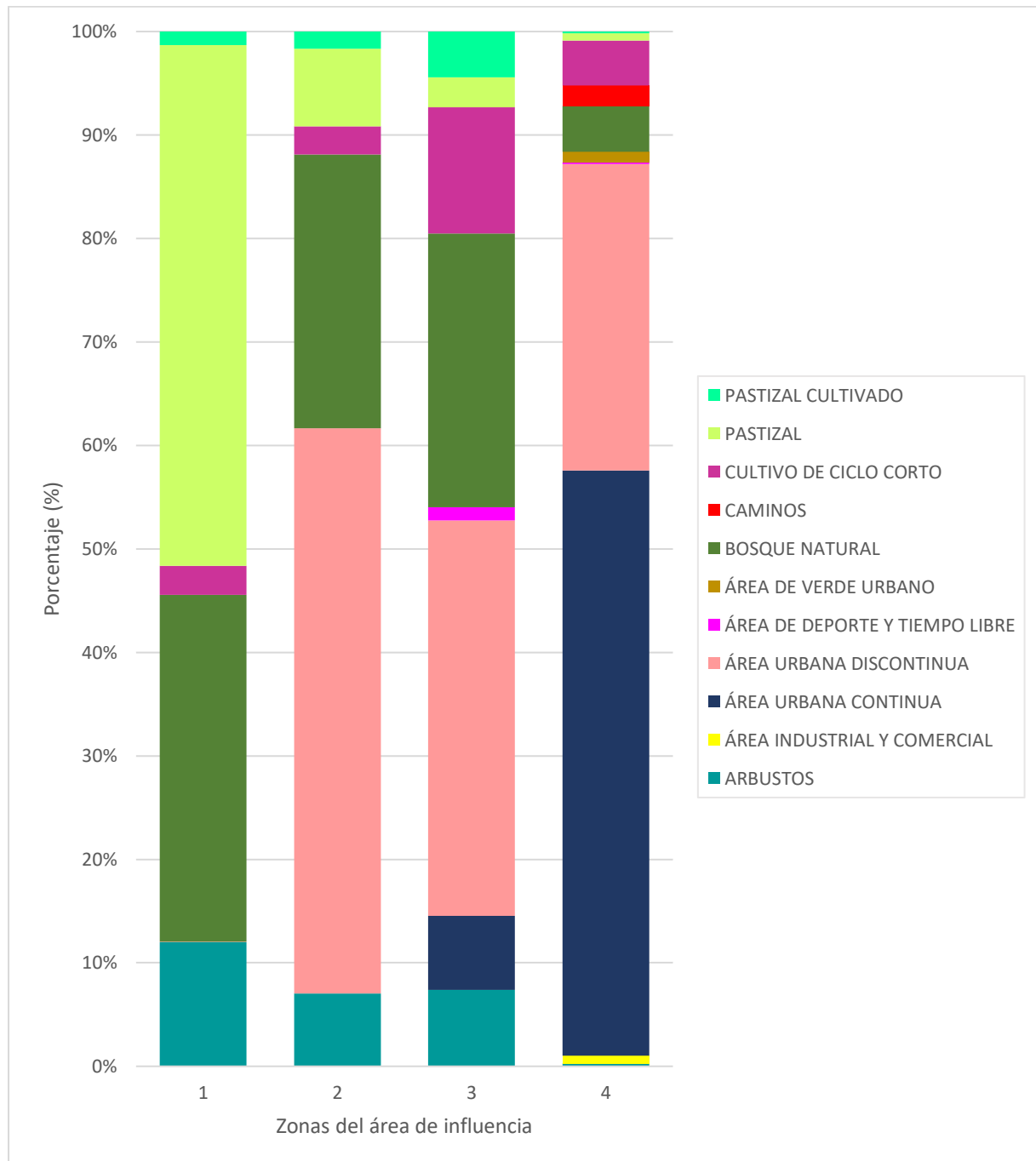


Ilustración 31. Área porcentual de usos de suelo por cada zona delimitada.  
Elaborado por: Autoras, 2020.

A través de las tablas detalladas (51 y 52) y con ayuda de la gráfica de barras (Ilustración 31), se corrobora que la cobertura con mayor área superficial para toda el área de influencia correspondió a la





porción urbana discontinua (185.63 ha), seguida de bosque natural (145.20 ha), pastizal (108.16 ha) y consecuentemente área urbana continua (92.28 ha). Tal y como se pudo apreciar, existió una fuerte predominancia de área urbana y natural, cuyo aumento o disminución varió al igual que la pendiente. Esto se pudo demostrar mediante el siguiente análisis de los porcentajes según la zona:

- Zona 1: Siendo la zona con mayor altitud, presentó predominancia de áreas naturales como pastizal, seguido de bosque natural, y en menor porcentaje arbustos. Existieron además porcentajes muy pequeños que pertenecen a cultivos de ciclo corto, pastizal cultivado, e incluso de área urbana discontinua que está dispersa en el sector. En esta zona no se tuvieron usos de suelo de tipo industrial y comercial, área urbana continua, área de deporte y tiempo libre, área de verde urbano, o caminos ya que se localiza en la parte rural de Baños.
- Zona 2: En esta zona sobresalieron el área urbana discontinua, seguida de bosque natural, y luego se ubicaron pastizal, arbustos y, en menor porcentaje están cultivo ciclo corto y pastizal cultivado, respectivamente. Los usos de suelo no mencionados no se identificaron en esta área periurbana de la parroquia.
- Zona 3: Al igual que en la zona 2, el principal uso de suelo correspondió al área urbana discontinua, seguida de bosque natural con poca diferencia porcentual. La diferencia entre ambas zonas radica en la existencia de mayor superficie de cultivo de ciclo corto, pastizal cultivado, y aparición de área urbana continua y de deporte y tiempo libre. La cantidad de áreas referente a arbustos y pastizal natural fue disminuyendo a medida que se presencia un mayor número de zonas urbanizadas.
- Zona 4: Es la única zona en donde están presentes los 11 usos de suelo al situarse netamente dentro del casco urbano de Cuenca. Posee los rangos de pendiente más bajos, en donde la mayor cantidad de área perteneció al uso urbano continuo, y luego como urbano discontinuo. El resto de las áreas se hallaron en porcentajes mínimos. Hubo una baja radical de arbustos y se distinguieron además tierras destinadas a cultivo de ciclo corto. Es la única zona que abarcó una superficie de área industrial y comercial, área de verde urbano y caminos.

En base a la categorización de las 4 zonas, se estableció que la mayor superficie es ocupada por el área urbana (continua y discontinua), y presenta gran diferencia porcentual en relación con el resto de los usos de suelo encontrados (ambos usos urbanos abarcan aproximadamente el 45% del área total). Este hecho puede explicar los altos niveles de contaminación en la quebrada El Salado, debido a que el área urbana representa un uso de importante contribución de contaminantes como nutrientes (nitratos y fosfatos) y coliformes fecales, principalmente. La metodología estadística para hallar y analizar la relación entre estos usos de suelo y la calidad del agua ayudó a corroborar lo expuesto.

#### **4.2.2 Resultados del Análisis de Componentes Principales aplicado a las categorías de usos de suelo**

Las 11 categorías de uso de suelo fueron analizadas en conjunto para agruparlas mediante el análisis de componentes principales, obteniendo como resultado 3 componentes CP1, CP2 y CP3, según los valores mostrados en la Tabla 53. Estos tres componentes principales condensaron a todas las categorías de uso de suelo originales, y se definieron tras hallar los valores propios o autovalores superiores a 1. Con respecto a la variabilidad porcentual, se observó que CP1 explica el 58.89% de la varianza total,

mientras que CP2 representó el 30.04%, y CP3 el 11.07%. Los valores acumulados, por otra parte, determinaron que los tres componentes principales explicaron el 100% de la variación del conjunto de datos, cumpliendo con la aceptabilidad (mínimo 90%) para utilizar dicho tamaño de componentes (3).

Tabla 53. Valores propios del Análisis de Componentes Principales.

<b>Valor propio</b>	6.48	3.30	1.22
<b>Variabilidad [%]</b>	58.89	30.04	11.07
<b>Acumulada</b>	58.89	88.93	100.00

Elaborado por: Autoras, 2020.

Lo declarado anteriormente se complementó al examinar la Ilustración 32 (gráfica de sedimentación), la cual ayudó de igual manera a identificar el número de componentes que muestran la mayor parte de la variabilidad en los datos seleccionados. Los resultados mostraron que los tres primeros componentes principales tuvieron varianzas mayores que 1 (línea de color negro), mientras que desde el cuarto al onceavo componente, los valores propios disminuyeron y fueron menores que 1 y por lo tanto no se graficaron. Al examinar los porcentajes, la gráfica de sedimentación demostró que los tres primeros componentes explicaron la variabilidad total en los datos, debido a que el porcentaje acumulado (línea de color rojo) alcanzó el 100%, razón por la que los elegimos para realizar la posterior correlación con los parámetros de calidad de agua. Además, los componentes restantes representaron una proporción prácticamente nula de la variabilidad, lo que indicó que no son importantes para este estudio y por lo tanto no fueron considerados para análisis posteriores.

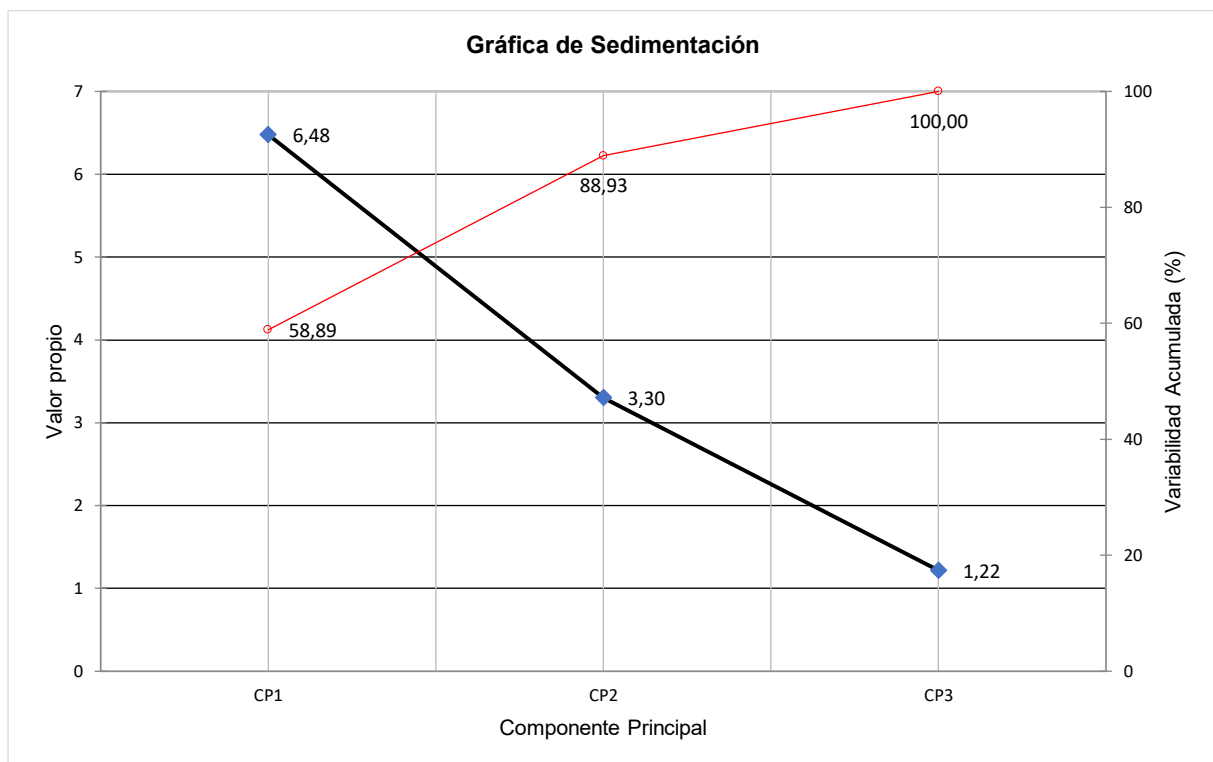
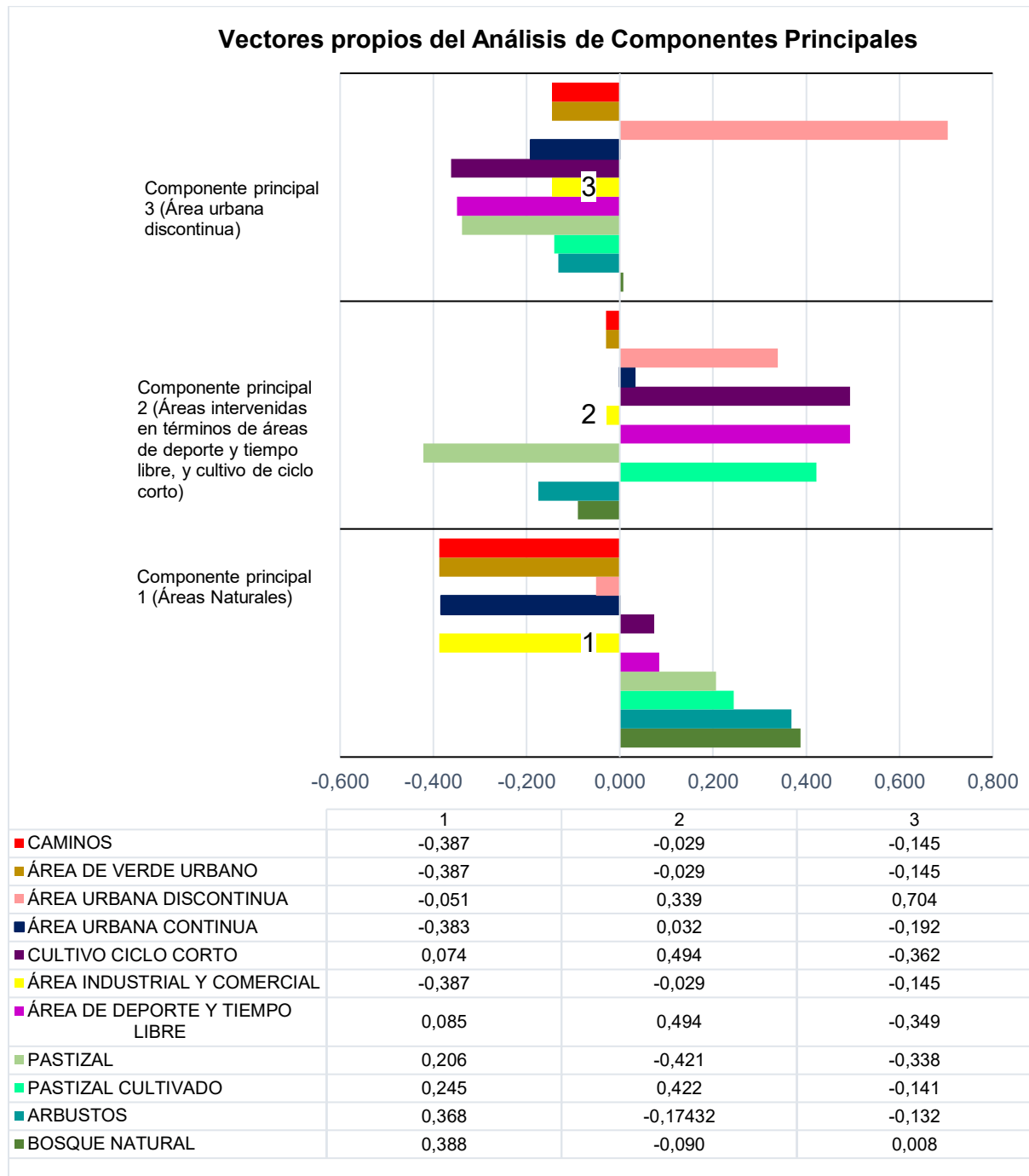


Ilustración 32. Gráfica de sedimentación de los valores estandarizados de las categorías de uso de suelo.

Elaborado por: Autoras, 2020.

A continuación, se muestra la representación visual de vectores propios del ACP en la Ilustración 33. Se exhiben, además, las gráficas de influencia o “biplots” para los ejes de los componentes principales 1 y 2, y para los ejes de los componentes principales 1 y 3 (Ilustraciones 34 y 35, respectivamente), las cuales explicaron las variables más influyentes para la formación de cada componente principal.



*Ilustración 33. Vectores propios del análisis de componentes principales.*  
Elaborado por: Autoras, 2020.

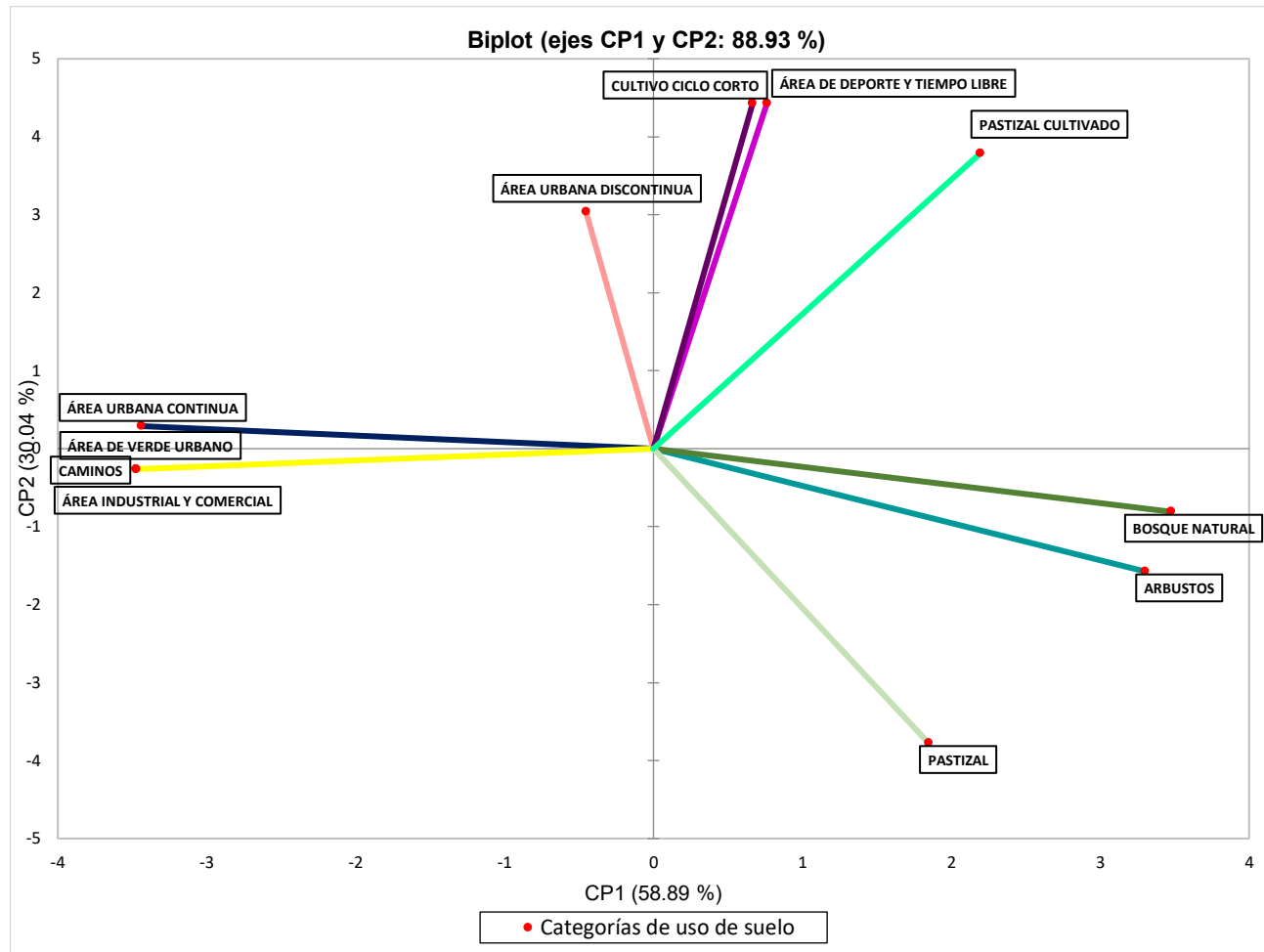


Ilustración 34. Gráfica de influencias CP1 vs CP2.  
Elaborado por: Autoras, 2020.

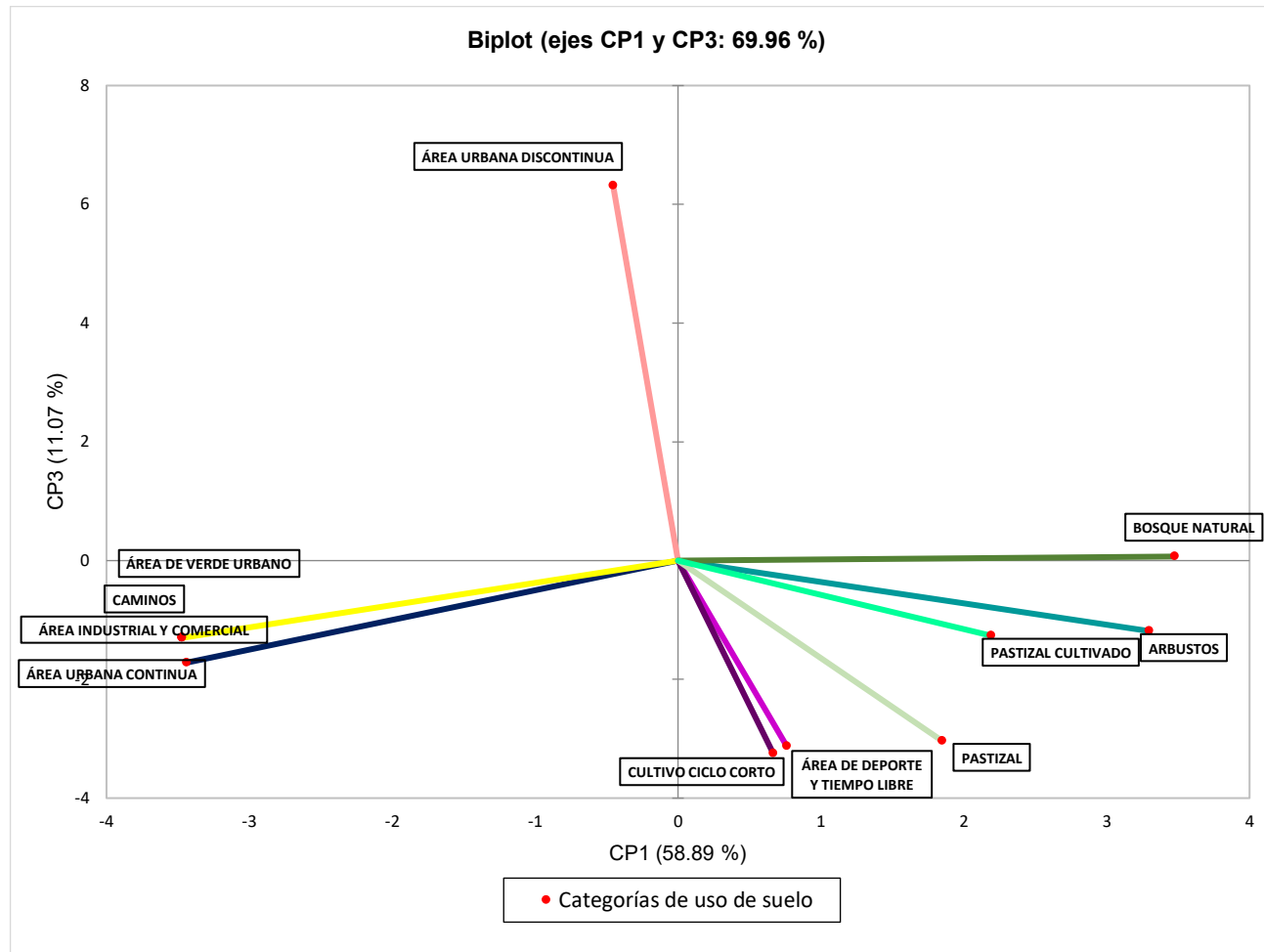


Ilustración 35. Gráfica de influencias CP1 vs. CP3.  
Elaborado por: Autoras, 2020.



Las ilustraciones 34 y 35 indican que la gráfica de influencias para CP1 vs. CP2 explicó el 88.93% de la variabilidad de los datos, mientras que la gráfica de influencias para CP1 vs. CP3 explicó el 69.96%.

En relación al análisis de vectores propios, como se observa en las mismas gráficas, la categoría que señaló una influencia positiva grande sobre CP1 correspondió principalmente a bosque natural, con un eigen vector de 0.388, seguido de arbustos con un vector de 0.368. Por el contrario, usos de suelo como el área industrial y comercial, área urbana continua, área de verde urbano y caminos, tuvieron un efecto negativo sobre este componente por obtener valores alrededor de -0.38. Estos resultados permitieron determinar que el componente principal 1 se correlaciona positivamente con las áreas naturales, y negativamente con áreas de desarrollo urbano. Visualmente, se corroboró que los vectores para los usos de bosque natural y arbustos se encuentran alejados del origen dentro del mismo cuadrante IV y con grandes magnitudes positivas con respecto al eje de las x que representa CP1, en el orden descrito. Adicionalmente, se pudo visualizar que los usos de suelo con valores de eigen vectores negativos se sitúan en dirección contraria a las áreas naturales.

Con respecto a CP2, las categorías con mayor influencia positiva correspondieron a cultivos de ciclo corto y deporte y tiempo libre (0.494) y seguidas de pastizal cultivado (0.422). Por el contrario, la categoría de pastizal natural mantuvo una relación negativa con CP2 (-0.421). En base a estos resultados, se pudo establecer que el segundo componente está correlacionado positivamente con ciertas áreas intervenidas, por las similitudes entre el área de cultivo de ciclo corto y áreas de deporte y tiempo libre; mientras que las áreas naturales como pastizal influyeron negativamente sobre el mismo. Visualmente, en la gráfica de influencias para CP1 vs. CP2 se observó que los vectores positivos pueden ser agrupados al tener la misma dirección (cercana al eje de las “y” que representa CP2 y alejadas del origen lo que caracteriza su magnitud) y encontrarse en el mismo cuadrante I. Con las mismas consideraciones, los vectores negativos se encontraron muy cercanos entre ellos, tanto en magnitud como en dirección del cuadrante IV.

En cuanto a CP3, el área urbana discontinua presentó una correlación positiva fuerte cuyo valor tuvo la magnitud más grande en relación con el resto de las categorías (0.704). Para este componente, el resto de las categorías demostraron una correlación negativa a excepción del uso de suelo correspondiente a bosque natural, cuyo valor cercano a 0 indicó que la influencia es muy poco significativa (0.008). Los usos con mayor influencia negativa correspondieron cultivo de ciclo corto, área de deporte y tiempo libre y pastizal natural, respectivamente. A partir de estos datos, se determinó que el CP3 hizo referencia al área urbana discontinua, mientras que el resto de las variables presentaron influencia negativa o no significativa. La gráfica de influencia para CP1 vs. CP3 destacó la dirección y magnitud del área urbana discontinua, la cual se encontró distante al origen y muy cercana al eje de las “y” que representa CP3 en el cuadrante II, a diferencia del resto de usos de suelo.

En base a los resultados generados, los componentes principales se categorizaron según los eigen vectores que presentaron una mayor influencia sobre la construcción de cada uno de ellos. Por lo tanto, los componentes principales se clasificaron en áreas naturales como bosque natural (CP1), áreas intervenidas en términos de suelos cultivados (cultivo de ciclo corto) y suelos con fines recreacionales (deporte y tiempo libre) (CP2), y área urbana discontinua (CP3). El fin de extraer los componentes fue utilizarlos a continuación en el análisis de Pearson, para simplificar la interpretación en cuanto a la asociación de variables individuales de calidad de agua con las nuevas agrupaciones de uso de suelo.



### 4.2.3 Resultados del Análisis de Correlación aplicado a relación agua – uso de suelo

#### 4.2.3.1 Resultados de la prueba de normalidad Shapiro – Wilks

Se ejecutó la prueba de normalidad Shapiro - Wilks al conjunto de datos referente a los parámetros de calidad de agua, categorías de uso de suelo y valores o puntuaciones para los 3 componentes principales finales. Los resultados se exponen en la Tabla 54.

Tabla 54. Prueba de normalidad Shapiro – Wilks para parámetros de calidad de agua, componentes principales y usos de suelo.

VariableTest	Shapiro - Wilks
pH	0.872
ST	<b>0.044</b>
OD	0.163
DBO <sub>5</sub>	0.386
Fosfato total	0.289
Nitratos	0.613
Conductividad	0.093
Alcalinidad	<b>0.023</b>
Dureza	<b>0.011</b>
Arsénico	0.288
Cadmio	0.213
Cromo	0.778
Zinc	0.911
Arbustos	0.672
Área Industrial y Comercial	<b>0.001</b>
Área Urbana Continua	<b>0.018</b>
Área Urbana Discontinua	0.818
Área de Deporte y Tiempo Libre	<b>0.023</b>
Área de Verde Urbano	<b>0.001</b>
Bosque Natural	0.179
Caminos	<b>0.001</b>
Cultivo Ciclo Corto	<b>0.040</b>
Pastizal	<b>0.028</b>
Pastizal Cultivado	0.465
CP1	0.068
CP2	0.641
CP3	0.097

Elaborado por: Autoras, 2020.

Se puede observar que 10 de 27 valores resaltados en negrita no siguieron una distribución normal. Sin embargo, como la mayoría de los valores (17) correspondieron a una significancia mayor a 0.05, se optó por aplicar el coeficiente de correlación de Pearson, cuyos coeficientes de correlación se muestran en el siguiente apartado en la Tabla 55. La elección del método en base a una mayoría de valores con distribución no normal se respaldó a través del estudio de Song et. al (2020).

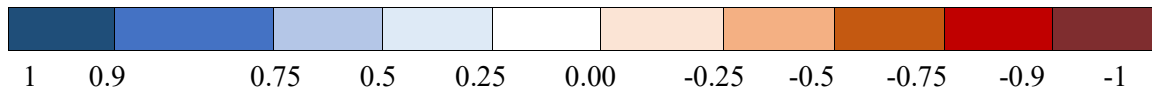
#### 4.2.3.2 Resultados de correlación aplicada a parámetros individuales de calidad de agua y componentes principales, con los usos de suelo

En la Tabla 55 se presentan los coeficientes de correlación de Pearson obtenidos para el conjunto de datos especificado previamente. Su interpretación se dividió de acuerdo con las categorías de usos de suelo, como se muestra a continuación.



Tabla 55. Coeficientes de correlación de Pearson entre parámetros de calidad de agua, CP1, CP2, CP3, y usos de suelo.

Uso suelo / Parámetro	pH	ST	OD	DBO <sub>5</sub>	PT-PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	CE	Alc	Du	As	Cd	Cr	Zn	CP1	CP2	CP3
Arbustos	<b>-0.995</b>	-0.742	-0.292	-0.357	-0.167	<b>-0.942</b>	-0.635	-0.650	-0.696	<b>-0.756</b>	0.940	-0.351	0.578	0.936	-0.319	-0.146
Área Industrial y Comercial	0.838	0.355	0.457	0.595	-0.143	0.674	0.210	0.219	0.277	0.414	<b>-0.954</b>	0.728	<b>-0.867</b>	<b>-0.986</b>	-0.053	-0.160
Área Urbana Continua	0.856	0.424	0.536	0.651	-0.023	0.705	0.283	0.280	0.330	0.497	<b>-0.934</b>	0.656	<b>-0.872</b>	<b>-0.976</b>	0.059	-0.211
Área Urbana Discontinua	0.514	0.830	-0.440	<b>-0.531</b>	0.437	0.705	0.878	0.920	0.921	0.710	-0.224	<b>-0.556</b>	0.482	-0.129	0.616	0.777
Área de Deporte y Tiempo Libre	0.025	0.504	0.560	0.360	<b>0.974</b>	0.157	0.550	0.452	0.381	0.605	0.291	-0.673	0.080	0.216	0.897	-0.385
Área de Verde Urbano	0.838	0.355	0.457	0.595	-0.143	0.674	0.210	0.219	0.277	0.414	<b>-0.954</b>	0.728	<b>-0.867</b>	<b>-0.986</b>	-0.053	-0.160
Bosque Natural	<b>-0.950</b>	<b>-0.585</b>	-0.395	-0.493	-0.039	<b>-0.843</b>	-0.457	-0.468	<b>-0.520</b>	<b>-0.624</b>	<b>0.971</b>	<b>-0.535</b>	0.737	0.986	-0.164	0.008
Caminos	0.838	0.355	0.457	0.595	-0.143	0.674	0.210	0.219	0.277	0.414	<b>-0.954</b>	0.728	<b>-0.867</b>	<b>-0.986</b>	-0.053	-0.160
Cultivo Ciclo Corto	0.047	0.511	0.582	0.385	<b>0.973</b>	0.172	0.554	0.454	0.384	0.616	0.266	-0.651	0.051	0.189	0.897	-0.399
Pastizal	<b>-0.830</b>	<b>-0.996</b>	-0.098	-0.028	<b>-0.610</b>	<b>-0.939</b>	<b>-0.975</b>	<b>-0.976</b>	<b>-0.982</b>	<b>-0.971</b>	0.554	0.295	0.046	0.524	<b>-0.765</b>	-0.374
Pastizal Cultivado	-0.334	0.289	0.178	-0.049	0.854	-0.140	0.397	0.321	0.238	0.329	0.657	<b>-0.909</b>	0.512	0.622	0.767	-0.156



Los valores señalados en negrita son significativos a un nivel de 5%.

Elaborado por: Autoras, 2020.





- Arbustos: Este uso de suelo reflejó correlaciones negativas para la mayoría de las variables de calidad de agua, a excepción del cadmio y zinc, lo cual puede ser atribuible a que dichos metales pesados, al presentar correlaciones positivas con áreas naturales, se deben a fuentes de origen no antropogénico. Cabe recalcar que se dieron correlaciones negativas fuertes con el pH y  $\text{NO}_3^-$  y moderadas con ST y As, a diferencia del resto de valores. A través estas correlaciones, se demostró que las áreas naturales como los arbustos, espacios sin intervención antropogénica, no presentaron un impacto adverso significativo en la calidad del agua a excepción de los metales pesados mencionados. Existió una correlación positiva fuerte con CP1 y negativa con CP2 y CP3, lo que corrobora que éste se encuentra correlacionado estrechamente con áreas naturales.
- Área industrial y comercial: Para esta categoría de uso de suelo existió una correlación positiva con la mayor parte de los parámetros de calidad de agua. El mayor grado de asociación se atribuyó al parámetro pH. Por el contrario, se presentaron correlaciones negativas fuertes cuyo orden desde el menor al mayor fue el siguiente: Cd, Zn y  $\text{PT-PO}_4^{3-}$ . En relación a los CP, se dio evidentemente una correlación negativa fuerte con CP1, el cual está representado por áreas naturales.
- Área urbana continua: Se obtuvieron correlaciones positivas para la mayor parte de los parámetros de calidad de agua, mostrándose correlaciones negativas fuerte, moderada y débil con Cd, Zn y  $\text{PT-PO}_4^{3-}$ , respectivamente. Las relaciones positivas moderadas comprendieron las variables de pH, OD,  $\text{DBO}_5$ ,  $\text{NO}_3^-$  y Cr. Esto se puede entender por la existencia de fuentes antropogénicas de contaminantes que se derivan de este uso de suelo, las cuales incluyen aguas residuales domésticas descargadas directamente a la quebrada o que terminan en ella. Al igual que para el área industrial y comercial, se dio una correlación negativa fuerte con CP1.
- Área urbana discontinua: Este uso de suelo también demostró influir en gran medida en la calidad del agua de la quebrada por correlacionarse positivamente con la gran mayoría de las variables. Se distinguieron correlaciones positivas fuertes con Alc y Du, y correlaciones moderadas con ST y CE. No se presentaron correlaciones negativas fuertes, y evidentemente, existió una correlación positiva con CP3 debido a que este componente está representado por este uso de suelo.
- Área de deporte y tiempo libre: Se obtuvieron correlaciones positivas casi con la totalidad de los parámetros al tratarse de un área recreacional dentro del casco urbano, indicando el efecto negativo que tiene sobre la calidad del agua, principalmente a través de una correlación positiva fuerte con  $\text{PT-PO}_4^{3-}$ , lo cual se debió a que el método de ACP relacionó y agrupó a este uso con las áreas de cultivo de ciclo corto y pastizal, lo que conlleva a presentar correlaciones similares con los parámetros. Por lo tanto, la correlación con fosfatos es atribuible al hecho de que los cultivos se caracterizan por ser usos contribuyentes de contaminantes tales como nutrientes. Evidentemente, hubo una correlación positiva con CP2, el cual está representado por este uso de suelo al igual que cultivos de ciclo corto por su similar caracterización.
- Área de verde urbano: El efecto de este uso de suelo es negativo sobre la calidad del agua debido a que se obtuvieron una gran cantidad de correlaciones positivas moderadas con los parámetros, principalmente con pH,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{DBO}_5$  y Cr, a excepción de Cd donde se mostró un valor negativo significativo, además del Zn, constatando una vez más la diferencia entre las fuentes de metales



pesados con el resto de los parámetros. Se dio una correlación negativa fuerte con CP1, es decir con las áreas naturales, lo que permite corroborar el efecto negativo sobre la calidad del agua.

- Bosque natural: El Cd manifestó tener una correlación positiva fuerte, y el Zn una moderada. Con esto asentimos nuevamente que las altas concentraciones del Cd en el agua de la quebrada se deben a una contaminación natural que puede provenir de estas áreas, lo que contribuye a la degradación de la calidad del agua. Las demás correlaciones con las variables restantes resultaron ser negativas, sobre todo con el pH y el  $\text{NO}_3^-$ . Efectivamente, al ser un área natural presentó una correlación positiva fuerte con CP1.
- Caminos: Es un tipo de uso de suelo urbano que se encuentra presente en mayor cantidad dentro del área urbana continua, lo que significa que desempeña un papel negativo al influir en la calidad del agua en general por el número de correlaciones positivas moderadas que tuvo con todas las variables de calidad de agua menos para  $\text{PT-PO}_4^{3-}$ , Cd y Zn que mostraron tener correlaciones negativas. Al ser un área local del casco urbano, presentó una correlación negativa significativa con CP1.
- Cultivo de ciclo corto: Hubo varias relaciones positivas entre la superficie cultivada de ciclo corto con gran parte de las variables de calidad de agua, sobre todo con  $\text{PT-PO}_4^{3-}$  que mostró una correlación fuerte significativa con este uso de suelo. Esto puede atribuirse a la agricultura desarrollada en la zona de estudio y la aplicación de fertilizantes que aportan a la contaminación de esta agua, mismos que pueden ingresar por procesos de escorrentía hasta llegar a la quebrada y, finalmente desembocar en el río Tarqui. Por otro lado, su relación con  $\text{NO}_3^-$  es positiva débil y se puede explicar que es por la capacidad de absorción y retención de contaminantes que posee la vegetación en la superficie del suelo de la tierra cultivada. Como resultado, el uso de suelo correspondiente a cultivo de ciclo corto juega un papel complejo al influir en la calidad del agua. Al representar el segundo componente principal, está relacionado con el mismo a través de una asociación positiva.
- Pastizales: El pastizal natural obtuvo una influencia positiva significativa en la calidad del agua. Se explicaron correlaciones negativas fuertes con ST,  $\text{NO}_3^-$ , CE, Alc, Du y As, y correlaciones negativas moderadas con pH y  $\text{PT-PO}_4^{3-}$ . Esto es respaldado por los resultados similares obtenidos en otro estudio desarrollado por Bahar et al. (2008), que establece que las tierras destinadas a pastizales ayudan en la reducción de los contaminantes de nitrógeno y fósforo permitiendo así la regulación natural de la calidad del agua. Además, la vegetación y el suelo de los pastizales pueden reducir de manera efectiva las sales nutritivas introducidas en la quebrada por la escorrentía superficial y como consecuencia una posible mejora en la calidad del agua. Las únicas correlaciones positivas que tuvo fueron una moderada con Cd y débiles con Cr y Zn. El pastizal cultivado, por el contrario, mostró cierta influencia en la calidad del agua por las correlaciones positivas que se hallaron. Las correlaciones negativas que tuvo fueron con Cr (fuerte) y pH,  $\text{DBO}_5$  y  $\text{NO}_3^-$  (débiles). Las demás fueron correlaciones positivas débiles y moderadas especialmente con  $\text{PT-PO}_4^{3-}$ , Cd y Zn. El pastizal natural presentó una correlación negativa fuerte con CP2, representado por áreas intervenidas. El pastizal cultivado, por el contrario, presentó una correlación positiva fuerte con este último componente.



### 4.2.3.3 Resultados de correlación aplicada a componentes principales de usos de suelo, con los parámetros de calidad de agua

Después de haber conocido las nuevas variables correspondientes a los tres componentes principales que representan a las categorías originales de usos de suelo, se aplicó la correlación de Pearson para establecer el grado de asociación entre estos componentes y las variables de calidad de agua estudiadas, como se muestra en la Tabla 56.

Tabla 56. Coeficientes de correlación entre componentes principales y parámetros de calidad de agua.

	pH	ST	OD	DBO <sub>5</sub>	PT-PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	CE	Alc	Du	As	Cd	Cr	Zn
CP1	<b>-0.907</b>	-0.460	-0.338	-0.469	0.124	<b>-0.772</b>	-0.323	-0.346	-0.407	-0.491	<b>0.989</b>	<b>-0.657</b>	<b>0.770</b>
CP2	0.348	<b>0.819</b>	0.327	0.140	<b>0.974</b>	<b>0.519</b>	<b>0.860</b>	<b>0.798</b>	<b>0.748</b>	<b>0.858</b>	0.024	<b>-0.706</b>	0.168
CP3	0.236	0.343	<b>-0.882</b>	<b>-0.872</b>	-0.190	0.368	0.394	<b>0.493</b>	<b>0.525</b>	0.152	-0.143	-0.265	<b>0.615</b>

Elaborado por: Autoras, 2020.

Los valores resaltados en negrita mantienen un nivel de significancia del 5%. Aquellos valores en color azul indican una correlación positiva que va de moderada a fuerte entre variables (0.5 a 0.9 y 0.9 a 1, respectivamente), y aquellos que están con rojo indican una correlación negativa de moderada a fuerte con los mismos rangos. Los demás valores expresan correlaciones débiles positivas o negativas.

El CP1 mostró una correlación positiva fuerte únicamente con el Cd por acercarse a 1 y una correlación positiva moderada con el Zn; así como una correlación negativa fuerte con el pH y moderadas con NO<sub>3</sub><sup>-</sup> y Cr. Con el resto de los parámetros, se explicaron correlaciones negativas débiles y una correlación positiva débil con el PT-PO<sub>4</sub><sup>-3</sup>. El CP2 mostró una correlación positiva fuerte con el PT-PO<sub>4</sub><sup>-3</sup> y correlaciones positivas moderadas con ST, CE, As, Alc, Du y NO<sub>3</sub>; además, existieron correlaciones positivas débiles con pH, OD, DBO<sub>5</sub>, Zn y Cd, en orden como se describen, y una correlación negativa moderada con el Cr. Por último, el CP3 no presentó correlaciones positivas significativas fuertes con ninguno de los parámetros de calidad de agua. Sin embargo, sí explicó correlaciones positivas moderadas con Zn, Du y Alc, este último parámetro con un valor muy cercano al rango de correlación moderado. Se presentaron correlaciones positivas débiles con CE, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, ST, pH y As, negativas moderadas con OD y DBO<sub>5</sub>, y los restantes fueron asociaciones negativas débiles.

Sabiendo esto, los tres componentes desempeñaron un papel negativo e importante en la calidad del agua en general. Como ya se había determinado anteriormente, se tuvo que las áreas naturales como bosques (CP1) actúan como sumideros y, por lo tanto, no aportaron con ciertos elementos contaminantes que alteran a las condiciones del agua de la quebrada El Salado. A eso se adiciona el hecho de una menor presencia de fuentes puntuales de contaminación en estas áreas. Sin embargo, se logró identificar que dentro de esta superficie de tierra existe una fuente de contaminación natural que deteriora la calidad del agua principalmente por aportes considerables de metales pesados. Por otro lado, las superficies de tierra cultivadas, incluyendo áreas de deporte y tiempo libre (CP2), generaron también efectos negativos en la calidad del agua por ser una fuente de contaminación de carácter antropogénico y demostrar relaciones positivas con todas las variables contaminantes estudiadas, a excepción del cromo. El área urbanizada (CP3) ha demostrado ser un uso de suelo que interacciona positivamente con la mayor parte de variables contaminantes degradando así la calidad del agua. Esto podría ser el resultado de las actividades domésticas y productivas provenientes de la población que se asienta en los alrededores de la quebrada, originando una concentración de nutrientes y sales, además de contaminantes biológicos, los cuales conducen a una contaminación grave en el agua de la quebrada.



## CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 5.1 Conclusiones

- El presente estudio demostró que la calidad del agua de la quebrada El Salado se encuentra gravemente afectada debido a las características de los diferentes usos de suelo urbanos y periurbanos que pertenecen al área de influencia dentro de la parroquia Baños, Cuenca.
- El desarrollo de esta investigación permitió exponer de forma detallada puntos de interés sobre la dinámica integral propia de Baños. Por lo tanto, se pudo establecer a través del diagnóstico generado, que esta parroquia se asienta en una superficie que comparte una zona rural y otra urbana, razón por la que ha atravesado ciertas disparidades que con el tiempo se han llegado a notar como es la consecuente falta de saneamiento básico en las partes más alejadas de la parroquia. De igual forma, el crecimiento demográfico y la expansión del desarrollo urbano acelerado han demostrado influir en la degradación de la calidad de los cuerpos hídricos cercanos como es el caso de la quebrada El Salado mediante la identificación de varias fuentes de contaminación difusas y puntuales de origen natural y antrópico que aportan significativamente con un sinnúmero de contaminantes derivados de los distintos usos de suelo existentes en esta zona. La categoría de uso de suelo que más generó efectos sobre la calidad hídrica fue el área urbana discontinua por ser la categoría que más predomina en el área de influencia de forma heterogénea y mayor proporción ocupa según lo esclarecido en los resultados de las técnicas estadísticas, razón para tomarla en cuenta para indagaciones posteriores.
- El estudio de los parámetros físicos, químicos, microbiológicos y metales pesados permitieron obtener como resultado una evaluación real y completa del estado en el que se encuentra el agua y las condiciones que presenta la quebrada El Salado. De acuerdo con la normativa ambiental local, el agua de la quebrada no cumple con los límites máximos permisibles para actividades de riego agrícola y uso pecuario. Según los valores del índice NSF-WQI, la calidad general del agua de la quebrada se categorizó como de “media calidad” ya que casi la totalidad de las calificaciones se situaron dentro del rango de 51 a 70. Adicional a esto, se evidenció que el agua a partir de los puntos de muestreo 3 y 4, presentó un grado de contaminación ligeramente mayor que en los puntos 1 y 2 por atravesar áreas en donde se ha expandido el desarrollo urbano. Por otro lado, los valores obtenidos del Segundo Índice de DINIUS - WQI indicaron que el agua presentó puntuaciones favorables para uso agrícola de manera constante, señalando que el agua no requiere de procesos de purificación mayor al calificarla como agua “aceptable” (71-90). Finalmente, se ha podido descubrir mediante el índice de contaminación por metales pesados HPI, que el cuerpo hídrico comprende altos niveles de contaminantes por contener concentraciones excesivas de cadmio y arsénico, las cuales permanecieron constantes durante el periodo de monitoreo y a lo largo de toda la quebrada. Los valores resultantes también sobrepasaron el límite crítico para su uso como agua potable (100), lo que quiere decir que este cuerpo hídrico no es apto para ser usado como fuente de captación, ya que se necesitaría de procesos de tratamiento muy avanzados y costosos. Es importante recalcar que los índices NSF – WQI y HPI no permiten una categorización por usos específicos dados al agua, a diferencia del índice DINIUS – WQI. Como consecuencia de lo expuesto, a pesar de que el índice DINIUS - WQI contradice lo indicado por los índices NSF-WQI, HPI y la normativa ambiental local, al mostrar que el agua es adecuada para ser usada con fines agrícolas, se deben considerar todos los resultados como un conjunto para determinar la calidad hídrica, puesto que cada uno de los índices considera parámetros de medición diferentes conforme al objeto de estudio, concluyendo



así que el agua perteneciente a la quebrada El Salado no es de buena calidad y no es segura para ninguno de los usos evaluados.

- Se demostró que la calidad hídrica de la quebrada El Salado no estuvo condicionada de manera significativa por la zona en la que el agua ha sido monitoreada. Esta afirmación se atribuyó al hecho de que no se detectaron diferencias estadísticamente significativas en los conjuntos de datos de los tres índices. Cabe recalcar que, en relación al punto de muestreo, las ligeras variaciones entre uno y otro resultado para los índices NSF – WQI y DINIUS – WQI mostraron un patrón similar que establece que, a mayor altitud la calidad del agua es relativamente mejor. Por el contrario, con respecto al índice HPI, la carga contaminante es muy similar tanto en zonas urbanizadas como en zonas con mayor pendiente que comprenden una mayor proporción de áreas naturales, hecho que permitió inferir que dicha concentración de metales pesados está determinada por la existencia de fuentes de carácter no antropogénico, específicamente debido a las características geológicas de la zona de Baños y naturaleza hidrotermal de sus aguas. Además, se distinguió que las zonas agrícolas (cultivo de ciclo corto) están distribuidas por toda el área de influencia, en donde el uso de pesticidas con contenido de metales pesados, sobre todo cadmio, representaron un factor importante en cuanto a la presencia continua de metales pesados a lo largo de la quebrada El Salado como fuente antrópica, entre otros establecimientos comerciales e industriales identificados dentro del área urbanizada tales como galvanizadoras y mecánicas automotrices. De igual manera, a pesar de haber variaciones menores en los resultados de la calidad del agua entre las épocas de verano e invierno, se determinó que no se tuvieron diferencias estadísticamente significativas en los valores de los índices en relación al mes de monitoreo, lo cual puede atribuirse a la variabilidad climática evidenciada durante los meses analizados ya que las estaciones no estuvieron muy marcadas. Por consiguiente, se concluye que no existió una influencia espacio – temporal relevante sobre la calidad del agua de la quebrada durante el período en el que se llevó a cabo el monitoreo.
- Se logró identificar el mayor grado de asociación existente entre los parámetros de control de calidad de agua tales como la alcalinidad y conductividad específica tras haber obtenido una correlación positiva con un valor de 0.847, y entre temperatura y sólidos totales con un valor de 0.810. Estos grados de asociación explicaron lo afirmado por Barron y Ashton (2019), en donde se indica la relación entre temperatura y sólidos totales dada por el aumento en el número de iones en solución, razón por la que se da la disociación de moléculas como efecto del aumento de la temperatura en el agua. Se comprobó también lo establecido por Boyd (2015) que manifiesta la influencia de los sólidos totales sobre la temperatura del agua debido a que estos poseen la capacidad de absorber calor proveniente de la luz solar. Además, se determinó la relación entre la alcalinidad y la conductividad específica, lo cual se debe a que una solución fuertemente alcalina está condicionada por el aumento en la concentración de iones, los mismos que tienen la capacidad de conducir electricidad. Se dieron otras relaciones positivas con un menor grado de fuerza en su mayoría moderadas, así como también correlaciones de carácter negativo. El presente estudio permitió explicar de manera experimental dichas asociaciones.
- El estudio de la relación entre las categorías de uso de suelo y la calidad del agua en la quebrada El Salado demostró que los usos de suelo correspondientes a áreas naturales como bosque natural, arbustos y pastizal se correlacionaron positivamente con los metales pesados. Ocurrió lo contrario con los usos destinados a cultivos de ciclo corto y área de deporte y tiempo libre que se refieren a



áreas intervenidas, explicando correlaciones positivas con los parámetros de control de calidad de agua. Por tal razón, se obtuvo que tanto las áreas naturales como intervenidas generaron impactos significativos en la calidad del agua a través del análisis de correlación, en donde se pudo identificar que la contaminación de la quebrada no es únicamente provocada por fuentes antropogénicas sino también es afectada por fuentes de contaminación de origen natural, principalmente por ser fuertes contribuyentes de fosfatos, cadmio y arsénico. Los demás usos de suelo pertenecientes a áreas urbanizadas también influyeron en la degradación de la calidad hídrica, ya que se demostró que aportan con un sinnúmero de contaminantes a la quebrada, y siendo los coliformes fecales un parámetro alarmante debido a la evidente falta de alcantarillado en viviendas y la consecuente descarga de aguas grises y negras, cuyos efectos se reflejaron en la alteración de los parámetros de control de calidad. Los resultados mencionados concordaron con lo esperado, debido a que estudios previos de análisis de relación de calidad de agua con uso de suelo y que se recopilan en el trabajo de Camara et. al (2019), señalando que los parámetros de control de calidad de agua físicos, químicos y microbiológicos generalmente se correlacionan de manera positiva con los usos de suelo antropogénicos.

- De manera específica, se ha rescatado que los principales contaminantes encontrados en la quebrada hacen referencia a los coliformes fecales ya que excedieron los límites máximos permisibles de la normativa ambiental nacional y se mantuvieron constantes durante todas las campañas de monitoreo (1100 NMP/100 mL) y en vista de la preocupación originada tras haber llevado a cabo esta investigación por la inexistencia de sistemas de alcantarillados en domicilios próximos a los márgenes de la quebrada de las cuatro zonas del área de influencia, incluyendo lugares cercanos como las comunidades de Ucholoma y Guadalupano. Otros contaminantes importantes en este estudio fueron los metales pesados a causa de las cantidades medidas que sobrepasaron de igual manera los límites máximos permisibles, específicamente Cd y As. En cuanto al cadmio y su presencia natural en el agua, se ha determinado que las formaciones volcánicas y los procesos de erosión de rocas y suelo al igual que procesos de deposición atmosférica, son fuertes contribuyentes de este metal, como lo indica Nordic Council of Ministers (2003). Este es el motivo por el cual se estableció que las formaciones geológicas de Turi y Tarqui, caracterizadas por su naturaleza volcánica, son fuentes de cadmio en el agua de la quebrada, lo que se respalda al haber obtenido concentraciones muy elevadas en el punto 1 (media de 333 microgramos/L). Por otra parte, los valores elevados de As se atribuyeron a la presencia natural de este metal en las aguas hidrotermales, ya que hubo un incremento en las concentraciones a partir del punto 2 (media de 211 microgramos/L), es decir en donde se conoce que se realiza la descarga directa y constante de las aguas residuales provenientes de las hosterías de aguas termales a la quebrada, lo cual se corrobora a través del estudio de Cumbal et al. (2015), en donde se asegura la presencia natural de As en las aguas hidrotermales de la cordillera de los Andes. Para ambos metales, se sumaron las fuentes antropogénicas que comprenden a los establecimientos como la galvanizadora localizada en el punto 3 ya que se conoce que los procesos de galvanoplastia utilizan comúnmente los 4 metales analizados para el recubrimiento de otros metales con el fin de modificar sus propiedades superficiales, como lo indica Bankole et al. (2019). Las fuentes restantes comprendieron a las mecánicas automotrices, lavadoras y lubricadoras, actividades agropecuarias y quema de desechos (llantas, carbón, madera), así como la descomposición de los residuos sólidos urbanos de varios tipos observados en grandes cantidades, ya que a través de procesos como precipitación y escorrentía superficial se liberan estos metales contenidos en baterías, sustancias químicas de uso doméstico, pinturas, pesticidas y



fertilizantes, los cuales desembocan en los cuerpos hídricos adyacentes; estas relaciones fueron afirmadas conforme a lo establecido de manera teórica en la literatura revisada (Cumbal et al., 2015; Perera et al, 2016; Kumar y Kumar, 2019; Bankole et al. 2019).

- La calidad del agua por efecto del uso de suelo no sólo permitió señalar que existe una relación entre ambas variables y que su determinación se posibilita mediante la aplicación de métodos estadísticos, sino también facilitó la obtención del diagnóstico de carácter ambiental en un área específica generando información replicable en otros cuerpos hídricos y a nivel de una cuenca hidrográfica, inclusive durante el mismo período de estudio y considerando las épocas según la estacionalidad. Esto radica en proveer una referencia de información útil y pública para una mejora en la toma de decisiones por parte de las autoridades competentes con la finalidad de llevar a cabo medidas de prevención y mitigación con miras al control local de la contaminación hídrica para la protección de los cuerpos de agua, así como para la optimización del uso de suelo.

### 5.2 Recomendaciones

- Las futuras investigaciones concernientes a la calidad del agua deberían tener un mayor enfoque en cuerpos hídricos que reciben aguas residuales o que se encuentran ubicados en las partes bajas de áreas urbanizadas e intervenidas, por el motivo de que existen cuerpos de agua localizados en zonas rurales y periurbanas que no son identificados dentro de la información cartográfica nacional y local con exactitud, como es el caso de la quebrada El Salado, y que además pueden estar siendo gravemente afectados por fuentes de contaminantes naturales y antropogénicos, más aún cuando las personas de la zona utilizan el agua de acuerdo con sus necesidades por la carencia de recursos. Es sustancial considerar este aspecto, ya que la gran mayoría de los estudios similares revisados, se basan únicamente en el análisis de la calidad del agua de cuerpos hídricos crudos o captaciones que aparentemente son aptos para el consumo humano después de ser sometidos a procesos de tratamiento y purificación, e incluso luego de una aplicación de índices de control de calidad.
- En base a la literatura revisada previamente, se ha recalcado la importancia de expandir el análisis mediante la utilización de otros métodos y variables que complementen el estudio, como considerar patrones de paisaje (índice de diversidad de Shannon) y herramientas estadísticas (análisis de redundancia y regresiones lineales múltiples). Se recomienda que estos métodos estadísticos sean desarrollados si se manejan varias cuencas hidrográficas o varias subcuencas o quebradas de una cuenca en común, y de acuerdo con varios autores como Li et al. (2012), Zhou et al. (2016), Zhang et al. (2018), Song et al. (2020) y Cheng et al. (2018), es conveniente utilizar las regresiones lineales múltiples como una metodología eficaz para relacionar las variables de interés (calidad de agua y uso de suelo), sobre todo cuando se emplea un conjunto amplio de datos para poder establecer de manera más exacta la calidad del agua y obtener resultados más representativos.
- Esta investigación puede ser complementada con el desarrollo de estudios toxicológicos y ecotoxicológicos, para ello se sugiere trabajar con métodos como la identificación y el monitoreo biológico de los organismos presentes en el agua o el análisis de los sedimentos de la quebrada, con el propósito de estudiar los efectos de los contaminantes encontrados a través de la respuesta biológica de aquellas especies consideradas indicadores de calidad de agua. De esta manera, sería posible evaluar consecuencias como la eutrofización dada por el aporte de nutrientes en grandes



cantidades (fosfatos y nitratos), así como la bioacumulación y biomagnificación de metales pesados en el organismo de los bioindicadores. Para dicho efecto, índices tales como BMWP (Monitoring Working Party), IBF (Índice Biológico de Familias) e índices locales, resultan ser una herramienta importante para determinar la calidad hídrica, tal como lo establece Rodríguez et al. (2016), lo cual permitiría corroborar los resultados obtenidos de los índices de calidad que han sido utilizados en este estudio. En cuanto a esta investigación, se detectó la existencia de especies como trucha en las zonas altas (punto 1) y de fitoplancton sobre todo en el punto 2, las mismas que pueden ser consideradas como bioindicadores de esta zona de estudio ya que se conoce que poseen la capacidad de acumular metales pesados en su organismo, principalmente As y Cd. Se sabe además que su presencia se evidencia en componentes abióticos como el agua y sedimentos, y bióticos como otros organismos de la cadena trófica; asimismo son fácilmente muestreables e indican de forma clara la presencia de los contaminantes por su sensibilidad a los cambios en las características del medio en el que habitan, como menciona Perera et al. (2016). Adicionalmente, las rutas de exposición de los metales para especies animales son la ingestión e inhalación de acuerdo con la literatura revisada a través de Cumbal et al. (2015), y cuya toxicidad ocurre cuando se excede la tasa de absorción de estos elementos, hecho que corresponde a una evidencia suficiente para efectuar estudios con este enfoque. Estos análisis aportarían en gran medida a la disminución de las consecuencias en la salud pública de los bañenses, especialmente de enfermedades ocasionadas por metales pesados (bronquitis, cáncer, nefrotoxicidad, neurológicas, vasculares, epidemiológicas) teniendo un mayor énfasis en el control adecuado de las concentraciones de estos contaminantes ambientales. Por otra parte, se sugiere profundizar los análisis biológicos para tomar en cuenta las enfermedades gastrointestinales causadas por coliformes, en particular la E. Coli y otras enfermedades que se transmiten por el agua contaminada a través de los alimentos, y en casos más graves por el contacto de persona a persona como las que son ocasionadas por la giardia, entre otras.

- La evaluación de la calidad de un determinado cuerpo de agua a través de índices de calidad es una de las metodologías más utilizadas para diagnosticar e informar en términos simples las condiciones verdaderas de un recurso hídrico. Por lo tanto, se sugiere efectuar un análisis preliminar de la zona a estudiar con el fin de encontrar los índices más adecuados que se ajusten a los objetivos del estudio, y de ser conveniente, utilizar parámetros de control de calidad de agua adicionales para generar un análisis confiable. Adicionalmente, es recomendable considerar la aplicación de los parámetros de calidad en base a los usos del agua, por posibles limitaciones de costo. Como fue en el caso del presente trabajo investigativo, resultó indispensable abordar el análisis de los metales pesados, acorde a las actividades que se desarrollan y a la zona geográfica en la que se asienta la parroquia Baños. En ese sentido, se propone además la aplicación del índice de contaminación por metales pesados HPI para estudios similares, puesto que el mismo se adecúa al metal que se busque analizar, y debido a que este tipo de contaminantes resulta ser un indicador fundamental de la calidad del agua, no sólo debido a los efectos que produce en la salud de las personas y al medio ambiente aún en concentraciones muy bajas por su nivel de toxicidad, sino también porque estos elementos persisten en el medio, se bioacumulan y son difíciles de remover.
- Luego de haber llevado a cabo la investigación referente a estudios previos que analizan la relación entre la calidad del agua y el uso de suelo, incorporar un enfoque del análisis a una escala que cubra toda la cuenca hidrográfica de interés puede ser lo más idóneo, ya que una cuenca representa una unidad mínima de gestión hídrica. La finalidad de este enfoque es el estudio de los efectos de manera





holística que contribuya a la toma de decisiones para el control de la contaminación mediante una gestión adecuada por parte de las autoridades competentes. A su vez, la mejora en la gestión permitiría llevar a cabo futuros estudios de saneamiento ambiental que incluyan la limpieza y mantenimiento de la quebrada El Salado, así como la ampliación en la cobertura del servicio de alcantarillado y gestión de residuos sólidos para las comunidades en las zonas altas de la parroquia Baños.

- De igual modo, se sugiere realizar evaluaciones de la calidad de los suelos pertenecientes a esta zona debido a los contaminantes que se han especificado que terminan recorriendo largas distancias por procesos de escorrentía, los mismos que pueden originar efectos sobre la estructura y la composición de las comunidades microbianas, especialmente en los suelos destinados a la agricultura, ganadería y forestal que son susceptibles a procesos de erosión y a perder su capacidad agrológica como menciona el Gobierno Parroquial de Baños (2015) en su PDyOT, en donde los análisis microbiológicos serían una herramienta útil para comprender el funcionamiento ecosistémico gracias a los microorganismos que juegan un papel indispensable en los ciclos diversos de los nutrientes, flujo de energía y provee información acerca del impacto de prácticas de manejo utilizadas para estas actividades productivas, así como también de factores ecológicos como la diversidad de especies de plantas, tipos de cobertura vegetal, ingresos de materia orgánica tal como se refleja en el trabajo de Vallejo (2013) y de esta forma asegurar la potencialidad de los suelos y la sostenibilidad de los sistemas alimentarios.



## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abbasi, Tasneem, y S. A. Abbasi. 2012. *Water Quality Indices*. Amsterdam: Elsevier Science.
- Abdel-Satar, Amaal M., Mohamed H. Ali, y Mohamed E. Goher. 2017. «Indices of Water Quality and Metal Pollution of Nile River, Egypt». *The Egyptian Journal of Aquatic Research* 43(1):21-29. doi: 10.1016/j.ejar.2016.12.006.
- Abou Zakhem, Boulos, y Rania Hafez. 2015. «Heavy Metal Pollution Index for Groundwater Quality Assessment in Damascus Oasis, Syria». *Environmental Earth Sciences* 73(10):6591-6600. doi: 10.1007/s12665-014-3882-5.
- Akter, Tahera, Fatema Tuz Jhohura, Fahmida Akter, Tridib Roy Chowdhury, Sabuj Kanti Mistry, Digbijoy Dey, Milan Kanti Barua, Md Akramul Islam, y Mahfuzar Rahman. 2016. «Water Quality Index for Measuring Drinking Water Quality in Rural Bangladesh: A Cross-Sectional Study». *Journal of Health, Population and Nutrition* 35(1):4. doi: 10.1186/s41043-016-0041-5.
- Ali, Hazrat, Ezzat Khan, y Ikram Ilahi. 2019. «Environmental Chemistry and Ecotoxicology of Hazardous Heavy Metals: Environmental Persistence, Toxicity, and Bioaccumulation». *Journal of Chemistry* 2019:1-14. doi: 10.1155/2019/6730305.
- Alidadi, Hossein, Azam Ramezani, Mojtaba Davodi, Roya Peiravi, Maryam Paydar, Maryam Dolatabadi, y Shahrbanoo Rafe. 2015. «Determination of Total Arsenic in Water Resources: A Case Study of Rivash in Kashmar City». *Health Scope* 4(3). doi: 10.17795/jhealthscope-25424.
- Allan, J. David. 2004. «Landscapes and Riverscapes: The Influence of Land Use on Stream Ecosystems». *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics* 35(1):257-84. doi: 10.1146/annurev.ecolsys.35.120202.110122.
- American Public Health Association, American Water Works Association, y Water Environment Federation. 2017. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 23.a ed.
- Arturo Eguez, Miguel Gaona, y Andrea Albán. 2017. «Mapa geológico de la República del Ecuador».
- Aveiga, Ana, Patricio Noles, Aida De la Cruz, Fabián Peñarrieta, y Francisco Alcantara. 2019. «Variaciones físico-químicas de la calidad del agua del río Carrizal en Manabí». doi: 10.29019/enfoqueute.v10n3.423.
- Bahar, Md. Mezbaul, Hiroo Ohmori, y Masumi Yamamuro. 2008. «Relationship between River Water Quality and Land Use in a Small River Basin Running through the Urbanizing Area of Central Japan». *Limnology* 9(1):19-26. doi: 10.1007/s10201-007-0227-z.
- Bankole, Mercy Temitope, Ambali Saka Abdulkareem, Ishaq Alhassan Mohammed, Stephen Shaibu Ochigbo, Jimoh Oladejo Tijani, Oladiran Kamaldeen Abubakre, y Wiets Daniel Roos. 2019. «Selected Heavy Metals Removal From Electroplating Wastewater by Purified and Polyhydroxylbutyrate Functionalized Carbon Nanotubes Adsorbents». *Scientific Reports* 9(1):4475. doi: 10.1038/s41598-018-37899-4.
- Baird, Colin, Michael C. Cann, Xavier Domènech, y Oriol Domènech Cots. 2014. *Química ambiental*.



- Barron, John J., y Colin Ashton. 2019. «The Effect of Temperature on Conductivity Measurement».
- Basheer, Jasmeen, y Bushra Praveen. 2018. «A LITERATURE REVIEW ON LAND USE LAND COVER CHANGES.» *International Journal of Advanced Research* 6(7):1-6. doi: 10.21474/IJAR01/7327.
- Basnyat, Lawrence D. Teeter, Prakash, Kathryn M. Flynn, y B. Graeme Lockaby. 1999. «Relationships Between Landscape Characteristics and Nonpoint Source Pollution Inputs to Coastal Estuaries.» *Environmental Management* 23(4):539-49. doi: 10.1007/s002679900208.
- Bolaños, John Diego, Nazareth Montero, Nazareth Rodríguez, y Anabelle Sánchez. 2015. «Calidad de aguas superficiales: estudio de la quebrada Estero, ubicada en el cantón de San Ramón, Costa Rica.» *15(25):16.*
- Bolaños-Alfaro, John Diego, Gloriana Cordero-Castro, y Gloriana Segura-Araya. 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. doi: 10.18845/tm.v30i4.3408.
- Boyd, Claude E. 2015. *Water Quality*. Cham: Springer International Publishing.
- Brown, Robert M., Nina I. McClelland, Rolf A. Deininger, y Ronald G. Tozer. 1970. «A water quality index - do we dare?». *WATER & SEWAGE WORKS* 339-43.
- Bu, Hongmei, Wei Meng, Yuan Zhang, y Jun Wan. 2014. «Relationships between Land Use Patterns and Water Quality in the Taizi River Basin, China». *Ecological Indicators* 41:187-97. doi: 10.1016/j.ecolind.2014.02.003.
- Cabrera, María Alexandra, David Pinos, y María Fernanda Pulla. 2014. «ARSÉNICO EN EL AGUA». 7.
- Camara, Moriken, Nor Rohaizah Jamil, y Ahmad Fikri Bin Abdullah. 2019. «Impact of Land Uses on Water Quality in Malaysia: A Review». *Ecological Processes* 8(1):10. doi: 10.1186/s13717-019-0164-x.
- Carey, Richard O., Kati W. Migliaccio, Yuncong Li, Bruce Schaffer, Gregory A. Kiker, y Mark T. Brown. 2011. «Land Use Disturbance Indicators and Water Quality Variability in the Biscayne Bay Watershed, Florida». *Ecological Indicators* 11(5):1093-1104. doi: 10.1016/j.ecolind.2010.12.009.
- Cengiz, Mehmet Fatih, Serpil Kilic, Fusun Yalcin, Murat Kilic, y M. Gurhan Yalcin. 2017. «Evaluation of Heavy Metal Risk Potential in Bogacayi River Water (Antalya, Turkey)». *Environmental Monitoring and Assessment* 189(6):248. doi: 10.1007/s10661-017-5925-3.
- Cheng, Peixuan, Fansheng Meng, Yeyao Wang, Lingsong Zhang, Qi Yang, y Mingcen Jiang. 2018. «The Impacts of Land Use Patterns on Water Quality in a Trans-Boundary River Basin in Northeast China Based on Eco-Functional Regionalization». *International Journal of Environmental Research and Public Health* 15(9):1872. doi: 10.3390/ijerph15091872.
- Cumbal, Luis, Vladimir Aguirre, Erika Murgueitio, Ricardo Tipán, y Carlos Chávez. 2015. «DESARROLLO DE UNA TECNOLOGÍA PARA LA RECUPERACIÓN DE LAS AGUAS DE LA



LAGUNA DE PAPALLACTA CONTAMINADAS CON ARSÉNICO Y METALES PESADOS USANDO MATERIALES SORBENTES EMERGENTES». doi: 10.13140/RG.2.1.4859.6320.

Cumbal, Luis, Vladimir Aguirre, I. Tipán, E. Murgueitio, y Carlos Chávez. 2006. «EL ORIGEN DEL ARSÉNICO EN LAS AGUAS Y SEDIMENTOS DE LA LAGUNA DE PAPALLACTA». *Revista Ciencia* 9(2):123-47.

Dash, Siddhant, Smitom Swapna Borah, y Ajay Kalamdhad. 2019. «A Modified Indexing Approach for Assessment of Heavy Metal Contamination in Deepor Beel, India». *Ecological Indicators* 106:105444. doi: 10.1016/j.ecolind.2019.105444.

Dinius, S. H. 1987. «DESIGN OF AN INDEX OF WATER QUALITY». *Journal of the American Water Resources Association* 23(5):833-43. doi: 10.1111/j.1752-1688.1987.tb02959.x.

Dobriyal, Pariva, Ruchi Badola, Chongpi Tuboi, y Syed Ainul Hussain. 2017. «A Review of Methods for Monitoring Streamflow for Sustainable Water Resource Management». *Applied Water Science* 7(6):2617-28. doi: 10.1007/s13201-016-0488-y.

Effendi, Hefni, Romanto, y Yusli Wardiatno. 2015. «Water Quality Status of Ciambulawung River, Banten Province, Based on Pollution Index and NSF-WQI». *Procedia Environmental Sciences* 24:228-37. doi: 10.1016/j.proenv.2015.03.030.

ETAPA EP. 2020. «Diseños de Agua Potable y Alcantarillado».

GAD Municipal del cantón Cuenca. 2015. «Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del cantón Cuenca: Actualización 2015».

Galaviz, Itzel, y Cinthya Sosa, eds. 2019. «Fuentes Difusas y Puntuales de Contaminación». 142. doi: 10.26359/epomex0719.

Ghaderpoori, Mansour, Bahram kamarehie, Ali Jafari, Afshin Ghaderpoury, y Mohammadamin Karami. 2018. «Heavy Metals Analysis and Quality Assessment in Drinking Water – Khorramabad City, Iran». *Data in Brief* 16:685-92. doi: 10.1016/j.dib.2017.11.078.

Giri, Subhasis, y Zeyuan Qiu. 2016. «Understanding the Relationship of Land Uses and Water Quality in Twenty First Century: A Review». *Journal of Environmental Management* 173:41-48. doi: 10.1016/j.jenvman.2016.02.029.

Gobierno Parroquial Baños. 2015. «Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de la Parroquia de Baños».

Hach Company. 2007. «DR 2800 Spectrophotometer Procedures Manual».

Herngren, Lars, Ashantha Goonetilleke, y Godwin A. Ayoko. 2005. «Understanding Heavy Metal and Suspended Solids Relationships in Urban Stormwater Using Simulated Rainfall». *Journal of Environmental Management* 76(2):149-58. doi: 10.1016/j.jenvman.2005.01.013.

Huang, Juan, Jinyan Zhan, Haiming Yan, Feng Wu, y Xiangzheng Deng. 2013. «Evaluation of the Impacts of Land Use on Water Quality: A Case Study in The Chaohu Lake Basin». *The Scientific World Journal* 2013:1-7. doi: 10.1155/2013/329187.



- Huicheng, Chien, y Pierce Kieran. 2018. «Impacts of Changed Stream flow on Selected Water Quality Parameters in the Upper Esopus Creek Watershed of New York, USA». 1:8. doi: 10.15640/jges.v6n1a5.
- INEN. 2014. «NORMA TÉCNICA ECUATORIANA 1108 AGUA POTABLE, REQUISITOS». 1108. Quito, Ecuador.
- Instituto Ecuatoriano de Normalización. 2013a. «Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2169: 2013. Primera Revisión. Agua. Calidad del Agua. Muestreo. Manejo y Conservación de Muestras.»
- Instituto Ecuatoriano de Normalización. 2013b. «Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2176: 2013. Primera Revisión. Agua. Calidad del Agua. Muestreo. Técnicas de Muestreo.»
- Johnson, Lucinda, Carl Richards, George Host, y John Arthur. 1997. «Landscape Influences on Water Chemistry in Midwestern Stream Ecosystems». *Freshwater Biology* 37(1):193-208. doi: 10.1046/j.1365-2427.1997.d01-539.x.
- Jost, Georg, Helmut Schume, Herbert Hager, Gerhard Markart, y Bernhard Kohl. 2012. «A Hillslope Scale Comparison of Tree Species Influence on Soil Moisture Dynamics and Runoff Processes during Intense Rainfall». *Journal of Hydrology* 420-421:112-24. doi: 10.1016/j.jhydrol.2011.11.057.
- Jouanneau, S., L. Recoules, M. J. Durand, A. Boukabache, V. Picot, Y. Primault, A. Lakel, M. Sengelin, B. Barillon, y G. Thouand. 2014. «Methods for assessing biochemical oxygen demand (BOD): A review». *Water Research* 49:62-82. doi: 10.1016/j.watres.2013.10.066.
- Kim, Namhyun. 2011. «The Limit Distribution of a Modified Shapiro–Wilk Statistic for Normality to Type II Censored Data». *Journal of the Korean Statistical Society* 40(3):257-66. doi: 10.1016/j.jkss.2010.10.004.
- Kovacova, Zdenka, Stefan Demcak, y Magdalena Balintova. 2019. «Removal of Copper from Water Solutions by Adsorption on Spruce Sawdust». *Proceedings* 16(1):52. doi: 10.3390/proceedings2019016052.
- Kozak, M., y H. P. Piepho. 2018. «What’s Normal Anyway? Residual Plots Are More Telling than Significance Tests When Checking ANOVA Assumptions». *Journal of Agronomy and Crop Science* 204(1):86-98. doi: 10.1111/jac.12220.
- Kumar, Praveen, y Pawan Kumar. 2019. «Removal of Cadmium (Cd-II) from Aqueous Solution Using Gas Industry-Based Adsorbent». *SN Applied Sciences* 1(4):365. doi: 10.1007/s42452-019-0377-8.
- Larson, Martin G. 2008. «Analysis of Variance». *Circulation* 117(1):115-21. doi: 10.1161/CIRCULATIONAHA.107.654335.
- Lee, Sangseok, y Dong Kyu Lee. 2018. «What Is the Proper Way to Apply the Multiple Comparison Test?» *Korean Journal of Anesthesiology* 71(5):353-60. doi: 10.4097/kja.d.18.00242.
- Li, Shihua, Shuangyun Peng, Baoxuan Jin, Junsong Zhou, y YingXin Li. 2019. «Multi-Scale Relationship between Land Use/Land Cover Types and Water Quality in Different Pollution Source Areas in Fuxian Lake Basin». *PeerJ* 7:e7283. doi: 10.7717/peerj.7283.



- Li, Y. L., K. Liu, L. Li, y Z. X. Xu. 2012. «Relationship of Land Use/Cover on Water Quality in the Liao River Basin, China». *Procedia Environmental Sciences* 13:1484-93. doi: 10.1016/j.proenv.2012.01.140.
- Londoño Franco, Luis Fernando, Paula Tatiana Londoño Muñoz, y Fabián Gerardo Muñoz García. 2016. «LOS RIESGOS DE LOS METALES PESADOS EN LA SALUD HUMANA Y ANIMAL». *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial* 14(2):145. doi: 10.18684/BSAA(14)145-153.
- Lu, Ming, Lifa Sun, Qingchao Li, Hongbing Jiang, y Shubiao Yin. 2019. «Study on Arsenic Removal by Scorodite». *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* 218:012102. doi: 10.1088/1755-1315/218/1/012102.
- Maillard, Philippe, y Nádia Antônia Pinheiro Santos. 2008. «A Spatial-Statistical Approach for Modeling the Effect of Non-Point Source Pollution on Different Water Quality Parameters in the Velhas River Watershed – Brazil». *Journal of Environmental Management* 86(1):158-70. doi: 10.1016/j.jenvman.2006.12.009.
- Marquina, Jesús J., y Amanda Mogollón. 2018. «Niveles y escalas de levantamiento de información geográfica en sensores remotos».
- Martin, Julia, David Daffos Ruiz de Adana, y Agustín G. Asuero. 2017. «Fitting Models to Data: Residual Analysis, a Primer». en *Uncertainty Quantification and Model Calibration*, editado por J. P. Hessling. InTech.
- Matthes, Jörg, Christine S. Davis, y Robert F. Potter, eds. 2017. *The International Encyclopedia of Communication Research Methods*. 1.a ed. Wiley.
- Meléndez, Viky, Orlando Quintero, y Nestor Ramirez. 2013. «Application of water quality indices NSF, DINIUS and BMWP to Ayurá Creek, Antioquia, Colombia.» *Revista Gestión y Ambiente* 16(1):97-108.
- Mello, Kaline de, Roberta Avena Valente, Timothy O. Randhir, André Cordeiro Alves dos Santos, y Carlos Alberto Vettorazzi. 2018. «Effects of land use and land cover on water quality of low-order streams in Southeastern Brazil: Watershed versus riparian zone». *CATENA* 167:130-38. doi: 10.1016/j.catena.2018.04.027.
- Ministerio del Ambiente. (04 de Noviembre de 2015). ANEXO 1 DEL LIBRO VI DEL TEXTO UNIFICADO DE LEGISLACIÓN SECUNDARIA DEL MINISTERIO DEL AMBIENTE: NORMA DE CALIDAD AMBIENTAL Y DE DESCARGA DE EFLUENTES AL RECURSO AGUA.
- Minitab. 2019. «Revisión general de Análisis de componentes principales». support.minitab.com. Recuperado (<https://support.minitab.com/es-mx/minitab/18/help-and-how-to/modeling-statistics/multivariate/how-to/principal-components/before-you-start/overview/>).
- Miyittah, Michael K., Samuel Kofi Tulashie, Francis W. Tsyawo, Justice K. Sarfo, y Archibald A. Darko. 2020. «Assessment of Surface Water Quality Status of the Aby Lagoon System in the Western Region of Ghana». *Heliyon* 6(7):e04466. doi: 10.1016/j.heliyon.2020.e04466.
- Mohan, S. Venkata, P. Nithila, y S. Jayarama Reddy. 1996. «Estimation of Heavy Metals in Drinking Water and Development of Heavy Metal Pollution Index». *Journal of Environmental Science and*



Health . Part A: Environmental Science and Engineering and Toxicology 31(2):283-89. doi: 10.1080/10934529609376357.

Ngabura, Mohammed, Siti Aslina Hussain, Wan Azlina W. A. Ghani, Mohammed Saedi Jami, y Yen Ping Tan. 2018. «Utilization of Renewable Durian Peels for Biosorption of Zinc from Wastewater». *Journal of Environmental Chemical Engineering* 6(2):2528-39. doi: 10.1016/j.jece.2018.03.052.

Nordic Council of Ministers. 2003. «Cadmium Review». ([https://www.who.int/ipcs/assessment/public\\_health/nmr\\_cadmium.pdf?ua=1](https://www.who.int/ipcs/assessment/public_health/nmr_cadmium.pdf?ua=1)).

Oyem, H. H., I. M. Oyem, y D. Ezeweali. 2014. «Temperature, pH, Electrical Conductivity, Total Dissolved Solids and Chemical Oxygen Demand of Groundwater in Boji-BojiAgbor/Owa Area and Immediate Suburbs». *Research Journal of Environmental Sciences* 8(8):444-50. doi: 10.3923/rjes.2014.444.450.

Pal, Rama, R. K. Dubey, S. K. Dubey, y A. K. Singh. 2017. «Assessment of Heavy Metal Pollution through Index Analysis for Yamuna Water in Agra Region, India». *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences* 6(12):1491-98. doi: 10.20546/ijcmas.2017.612.166.

Pascual Aguilar, Juan Antonio, Julian Campo, Sara Nebot Meneu, Eugenia Gimeno-García, y Vicente Andreu. 2019. «Analysis of Existing Water Information for the Applicability of Water Quality Indices in the Fluvial-Littoral Area of Turia and Jucar Rivers, Valencia, Spain». *Applied Geography* 111:102062. doi: 10.1016/j.apgeog.2019.102062.

Paul, Bimal Kanti, y Harun Rashid. 2017. «Chapter Six - Land Use Change and Coastal Management». Pp. 183-207 en *Climatic Hazards in Coastal Bangladesh*, editado por B. K. Paul y H. Rashid. Boston: Butterworth-Heinemann.

Perera, PA Chintaka T., Thenmoli V. Sundarabarathy, Thavananthan Sivananthawerl, Suranga P. Kodithuwakku, y Udeni Edirisinghe. 2016. «Arsenic and Cadmium Contamination in Water, Sediments and Fish Is a Consequence of Paddy Cultivation: Evidence of River Pollution in Sri Lanka». *Achievements in the Life Sciences* 10(2):144-60. doi: 10.1016/j.als.2016.11.002.

Pérez-López, Esteban. 2016. «Control de calidad en aguas para consumo humano en la región occidental de Costa Rica». *Revista Tecnología en Marcha* 29(3):3. doi: 10.18845/tm.v29i3.2884.

Pourrut, Pierre, ed. 1995. *El Agua en el Ecuador: Clima, precipitaciones, escorrentía*. Vol. 7. Corporación Editora Nacional. Quito, Ecuador: L'institut francais de recherche scientifique pour le développement en coopération.

Pratt, Bethany, y Heejun Chang. 2012. «Effects of Land Cover, Topography, and Built Structure on Seasonal Water Quality at Multiple Spatial Scales». *Journal of Hazardous Materials* 209-210:48-58. doi: 10.1016/j.jhazmat.2011.12.068.

Reder, Klara, Martina Flörke, y Joseph Alcamo. 2015. «Modeling historical fecal coliform loadings to large European rivers and resulting in-stream concentrations». *Environmental Modelling & Software* 63:251-63. doi: 10.1016/j.envsoft.2014.10.001.

Reyes, Yulieth C., Inés Vergara, Omar E. Torres, Mercedes Díaz, y Edgar E. González. 2016. «CONTAMINACIÓN POR METALES PESADOS: IMPLICACIONES EN SALUD, AMBIENTE Y



SEGURIDAD ALIMENTARIA». Ingeniería Investigación y Desarrollo 16(2). doi: 10.19053/1900771X.v16.n2.2016.5447.

Rodier, Jean, Bernard Legube, y Nicole Merlet. 2011. Análisis del agua. Barcelona: Omega.

Rodríguez Badillo, L. M. & Universidad Estatal Amazónica. Puyo, Pastaza, Ecuador. (2016). Water quality characterization of benthonic macroinvertebrates of Puyo river, Ecuadorian Amazonia. *Hidrobiológica*, 26(3), 497-507. <https://doi.org/10.24275/uam/izt/dcbs/hidro/2016v26n3/Rodriguez>

Rodrigues, Valdemir, y Joan Estrany. 2018. «Effects of land use and seasonality on stream water quality in a small tropical catchment: The headwater of Córrego Água Limpa, São Paulo (Brazil) - ScienceDirect». Recuperado 5 de noviembre de 2018 (<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969717327158?via%3Dihub>).

Rodríguez, Manuel García. 2013. «ESTIMACIÓN DE LA INFILTRACIÓN DEL AGUA DE LLUVIA CON PERMEÁMETRO DE GUELPH». 11.

Rodriguez, Maria Soledad, Melina Celeste Crettaz-Minaglia, Diamela Gianello, y Mercedes Piaggio. 2019. «Microbiological Water Quality of a Temperate Third-Order Stream». *Rendiconti Lincei. Scienze Fisiche e Naturali* 30(2):417-26. doi: 10.1007/s12210-019-00804-w.

Rubio Hurtado, María José, y Vanesa Berlanga Silvente. 2012. «Cómo aplicar las pruebas paramétricas bivariadas t de Student y ANOVA en SPSS. Caso Práctico». 5. doi: 10.1344/reire2012.5.2527.

Rusydi, Anna F. 2018. «Correlation between conductivity and total dissolved solid in various type of water: A review». *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* 118:012019. doi: 10.1088/1755-1315/118/1/012019.

Sawyer, Steven F. 2009. «Analysis of Variance: The Fundamental Concepts». *Journal of Manual & Manipulative Therapy* 17(2):27E-38E. doi: 10.1179/jmt.2009.17.2.27E.

Schober, Patrick, Christa Boer, y Lothar A. Schwarte. 2018. «Correlation Coefficients: Appropriate Use and Interpretation». *Anesthesia & Analgesia* 126(5):1763-68. doi: 10.1213/ANE.0000000000002864.

Schützenmeister, A., U. Jensen, y H. P. Piepho. 2012. «Checking Normality and Homoscedasticity in the General Linear Model Using Diagnostic Plots». *Communications in Statistics - Simulation and Computation* 41(2):141-54. doi: 10.1080/03610918.2011.582560.

Sedeño-Díaz, Jacinto Elías, y Eugenia López-López. 2007. «Water Quality in the Río Lerma, Mexico: An Overview of the Last Quarter of the Twentieth Century». *Water Resources Management* 21(10):1797-1812. doi: 10.1007/s11269-006-9128-x.

Şener, Şehnaz, Erhan Şener, y Ayşen Davraz. 2017. «Evaluation of water quality using water quality index (WQI) method and GIS in Aksu River (SW-Turkey)». *Science of The Total Environment* 584-585:131-44. doi: 10.1016/j.scitotenv.2017.01.102.

Shanker, A. K., y B. Venkateswarlu. 2011. «Chromium: Environmental Pollution, Health Effects and Mode of Action». Pp. 650-59 en *Encyclopedia of Environmental Health*. Elsevier.

Słowik, Krzysztof, Marcin Stec, Tomasz Iluk, Andrzej Czaplicki, y Mateusz Kochel. 2019. «Reduction of chloride emission by thickening of metallurgical wastewater» editado por B. Kaźmierczak, P.





Jadwiszczak, M. Kutylowska, y U. Miller. E3S Web of Conferences 100:00074. doi: 10.1051/e3sconf/201910000074.

Solís-Castro, Yuliana, Luis Alberto Zúñiga-Zúñiga, y Darner Mora-Alvarado. 2018. «La conductividad como parámetro predictivo de la dureza del agua en pozos y nacientes de Costa Rica». Revista Tecnología en Marcha 31(1):35. doi: 10.18845/tm.v31i1.3495.

Song, Yu, Xiaodong Song, y Guofan Shao. 2020. «Response of Water Quality to Landscape Patterns in an Urbanized Watershed in Hangzhou, China». Sustainability 12(14):5500. doi: 10.3390/su12145500.

Sun, Xuewei, Huayong Zhang, Meifang Zhong, Zhongyu Wang, Xiaoqian Liang, Toudeng Huang, y Hai Huang. 2019. «Analyses on the Temporal and Spatial Characteristics of Water Quality in a Seagoing River Using Multivariate Statistical Techniques: A Case Study in the Duliujian River, China». International Journal of Environmental Research and Public Health 16(6):1020. doi: 10.3390/ijerph16061020.

Tran, Christopher P., Robert W. Bode, Alexander J. Smith, y Gary S. Kleppel. 2010. «Land-Use Proximity as a Basis for Assessing Stream Water Quality in New York State (USA)». Ecological Indicators 10(3):727-33. doi: 10.1016/j.ecolind.2009.12.002.

Vallejo Quintero, V. E. (2013). Importancia y utilidad de la evaluación de la calidad de suelos a través del componente microbiano: Experiencias en sistemas silvopastoriles. Colombia Forestal, 16(1), 83. doi: 10.14483/udistrital.jour.colomb.for.2013.1.a06.

World Health Organization. 2017. Guidelines for Drinking-Water Quality.

Yiwen, Wang, Liu Ning, Yuan Zhaowei, y Wang Anqi. 2018. «Study on the Removal of High-Concentration Chloride Ion from Desulfurization Wastewater in Thermal Power Plant by Removing Chlorine Extractant». IOP Conference Series: Earth and Environmental Science 199:042004. doi: 10.1088/1755-1315/199/4/042004.

Zhang, Jing, Siyue Li, y Changsheng Jiang. 2020. «Effects of Land Use on Water Quality in a River Basin (Daning) of the Three Gorges Reservoir Area, China: Watershed versus Riparian Zone». Ecological Indicators 113:106226. doi: 10.1016/j.ecolind.2020.106226.

Zhang, Xin, Yuqi Liu, y Lin Zhou. 2018. «Correlation Analysis between Landscape Metrics and Water Quality under Multiple Scales». International Journal of Environmental Research and Public Health 15(8):1606. doi: 10.3390/ijerph15081606.

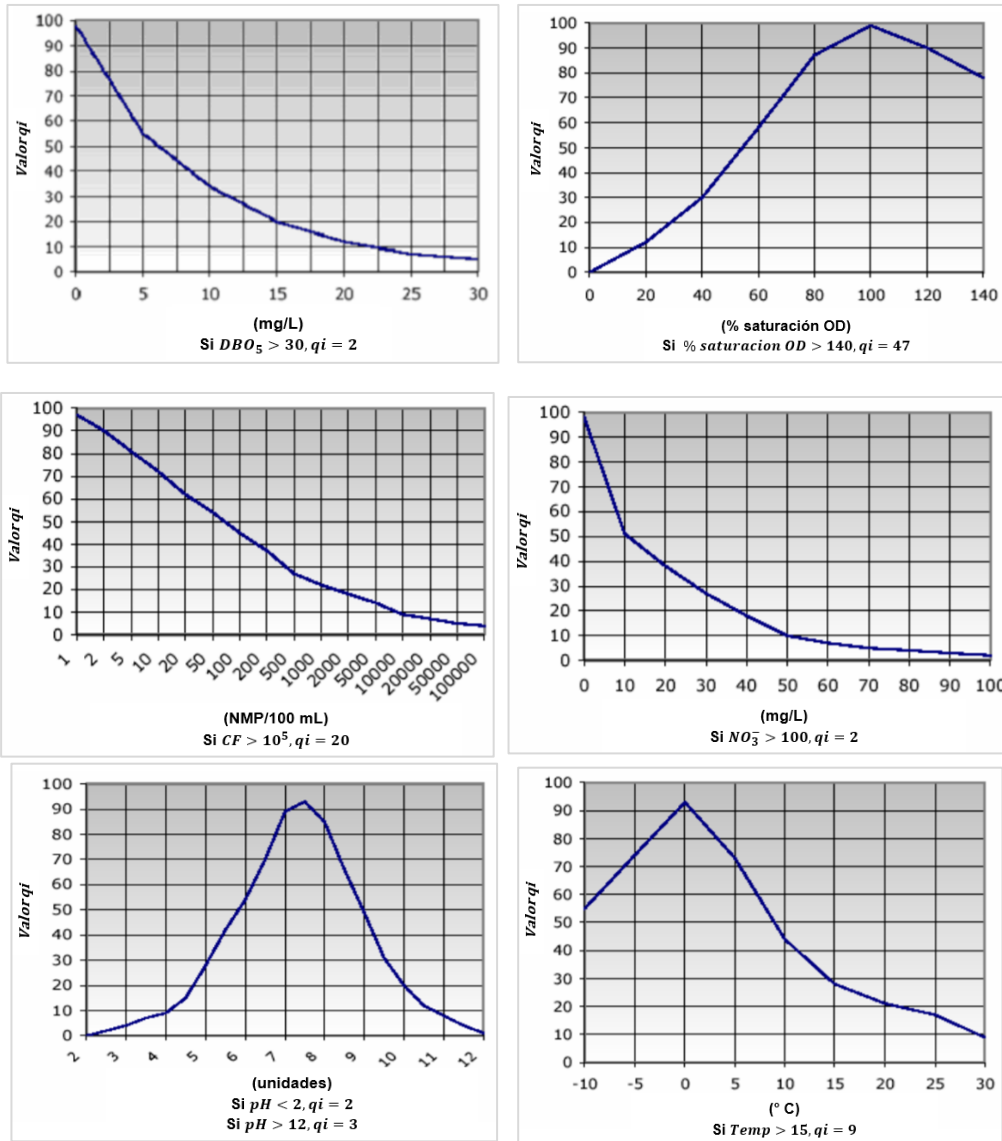
Zhao, Jun, Liqing Lin, Kai Yang, Qiuxia Liu, y Guangren Qian. 2015. «Influences of Land Use on Water Quality in a Reticular River Network Area: A Case Study in Shanghai, China». Landscape and Urban Planning 137:20-29. doi: 10.1016/j.landurbplan.2014.12.010.

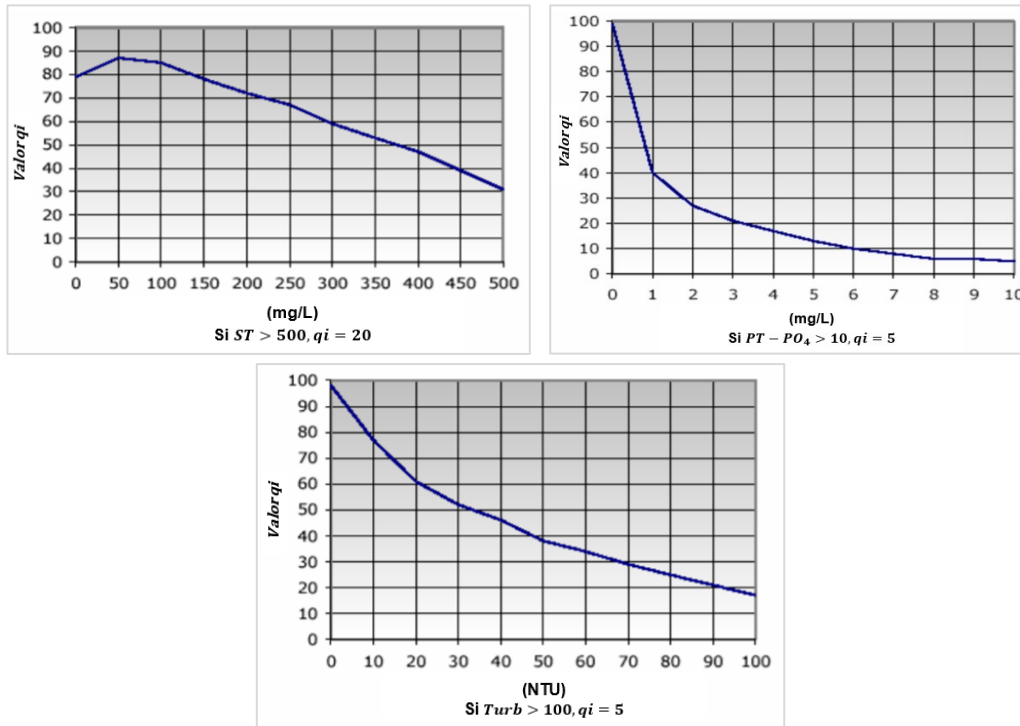
Zhou, Pei, Jinliang Huang, Robert Gilmore Pontius, y Huasheng Hong. 2016. «New Insight into the Correlations between Land Use and Water Quality in a Coastal Watershed of China: Does Point Source Pollution Weaken It?» Science of The Total Environment 543:591-600. doi: 10.1016/j.scitotenv.2015.11.063.



APÉNDICES

Apéndice 1. Curvas de función para los nueve parámetros de calidad del índice NSF-WQI.





Fuente: (Brown et al., 1970).

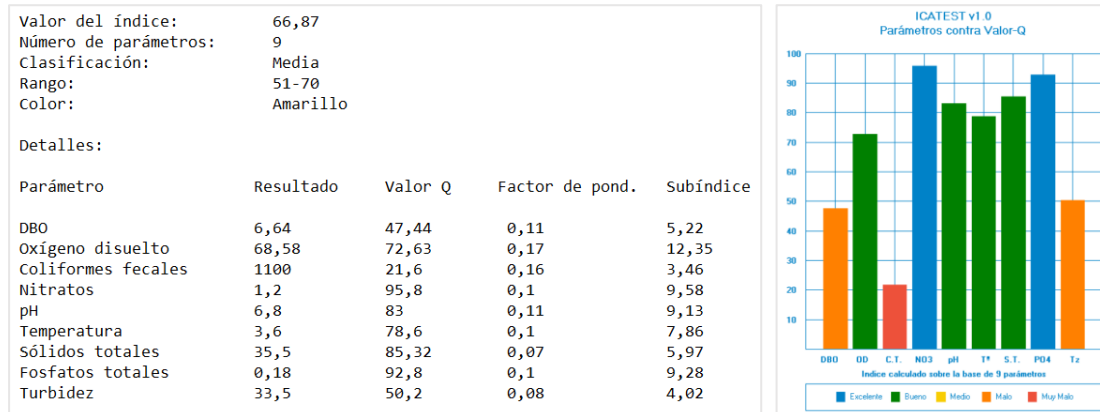
**Apéndice 2. Ejemplo de hoja de cálculo de Excel de calidad de agua en el Punto 1, Monitoreo °4 según NSF-WQI.**

Parámetro	Punto 1 Valor Medido	Calificación individual de calidad (qi)	Pesos (Wi)	Subtotal
Temperatura [°C]	16,30	77,60	0,10	7,76
Turbiedad [UNT]	33,50	49,55	0,08	3,96
pH	6,80	78,00	0,11	8,58
Sólidos Totales [mg/L]	35,50	85,68	0,07	6,00
OD [mg/L]	6,50	72,01	0,17	12,24
DBO5 [mg/L]	6,64	48,44	0,11	5,33
Fosfato Total [mg/L]	0,18	89,20	0,10	8,92
Nitratos [mg/L]	1,20	94,00	0,10	9,40
Coliformes Fecales [NMP/100 ml]	1100,00	26,40	0,16	4,22
<b>Total ICA</b>				<b>66,42</b>
<b>Interpretación Calidad del agua</b>				<b>Media</b>

Elaborado por: Autoras, 2020.



**Apéndice 3. Ejemplo de la calidad de agua según NSF-WQI en el Punto 1, Monitoreo N°4 en programa ICATest v1.0.**



Elaborado por: Autoras, 2020.

**Apéndice 4. Resultados de Análisis de la influencia espacio - temporal sobre los valores de los índices de calidad del agua.**

**4.1. Análisis de la influencia de la variable espacial “punto de muestreo”.**

4.1.1 Aplicación de prueba formal de normalidad para los residuos de los índices de calidad de agua:

Shapiro-Wilks (modificado)

Variable	n	Media	D.E.	W*	p(Unilateral D)
RDUO NSFQI	20	0.00	4.43	0.93	0.3456
RDUO DINIUS	20	0.00	4.47	0.86	0.0179
RDUO HPI	20	0.00	4.667.32	0.92	0.2659

Elaborado por: Autoras, 2020.

4.1.2 Resultados de aplicación de la prueba de Levene para el Índice NSF – WQI:

RABS NSFQI

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
RABS NSFQI	20	0.33	0.21	75.53

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	50.27	3	16.76	2.65	0.0839
Punto	50.27	3	16.76	2.65	0.0839
Error	101.05	16	6.32		
Total	151.32	19			

Elaborado por: Autoras, 2020.



4.1.3 Resultados de aplicación de la prueba de Levene para el Índice DINIUS – WQI:

**RABS DINIUS**

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
RABS DINIUS	20	0.22	0.08	59.12

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)**

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	22.39	3	7.46	1.53	0.2455
Punto	22.39	3	7.46	1.53	0.2455
Error	78.12	16	4.88		
Total	100.51	19			

Elaborado por: Autoras, 2020.

4.1.4 Resultados de aplicación de la prueba de Levene para el Índice HPI:

**RABS HPI**

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
RABS HPI	20	0.19	0.04	60.44

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)**

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	20957103.76	3	6985701.25	1.26	0.3222
Punto	20957103.76	3	6985701.25	1.26	0.3222
Error	88872474.47	16	5554529.65		
Total	109829578.24	19			

Elaborado por: Autoras, 2020.

4.1.5 Resultados de aplicación del análisis ANOVA para el factor “punto de muestreo” y prueba post-hoc; índice NSF-WQI:

**Análisis de la varianza**

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
NSFWQI	20	0.21	0.06	7.74

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)**

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	97.35	3	32.45	1.39	0.2811
Punto	97.35	3	32.45	1.39	0.2811
Error	372.72	16	23.30		
Total	470.07	19			

**Test:Bonferroni Alfa=0.05 DMS=9.18307**

Error: 23.2951 gl: 16

Punto	Medias	n	E.E.
P4	60.45	5	2.16 A
P3	60.50	5	2.16 A
P2	62.61	5	2.16 A
P1	65.86	5	2.16 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0.05)

Elaborado por: Autoras, 2020.



4.1.6 Resultados de aplicación del análisis Kruskal Wallis para el factor “punto de muestreo”; índice DINIUS-WQI:

Prueba de Kruskal Wallis								
Variable	Punto	N	Medias	D.E.	Medianas	C	H	p
DINIUS	P1	5	89.02	6.42	86.11	1.00	4.50	0.2125
DINIUS	P2	5	84.47	4.64	84.05			
DINIUS	P3	5	82.43	4.08	83.21			
DINIUS	P4	5	82.63	3.96	81.29			

Elaborado por: Autoras, 2020.

4.1.7 Resultados de aplicación del análisis ANOVA para el factor “punto de muestreo” y prueba post-hoc; índice HPI:

Análisis de la varianza				
Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
HPI	20	0.03	0.00	65.51

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)						
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	
Modelo	13446450.92	3	4482150.31	0.17	0.9129	
Punto	13446450.92	3	4482150.31	0.17	0.9129	
Error	413894029.34	16	25868376.83			
Total	427340480.26	19				

Test:Bonferroni Alfa=0.05 DMS=9676.99590				
Error: 25868376.8338 gl: 16				
Punto	Medias	n	E.E.	
P4	6442.50	5	2274.57 A	
P2	7830.04	5	2274.57 A	
P1	8115.07	5	2274.57 A	
P3	8666.94	5	2274.57 A	

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0.05)

Elaborado por: Autoras, 2020.

## 4.2 Análisis de la influencia de la variable temporal “mes de monitoreo”.

4.2.1 Aplicación de prueba formal de normalidad para los residuos de los índices de calidad de agua:

Shapiro-Wilks (modificado)						
Variable	n	Media	D.E.	W*	p(Unilateral D)	
RDUO NSFQI1	20	0.00	4.10	0.91	0.1482	
RDUO DINIUS1	20	0.00	4.14	0.98	0.9652	
RDUO HPI1	20	0.00	3735.15	0.82	0.0017	

Elaborado por: Autoras, 2020.



4.2.2 Resultados de aplicación de la prueba de Levene para el Índice NSF – WQI:

Análisis de la varianza

RABS NSFQI1

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
RABS NSFQI1	20	0.21	1.1E-03	86.88

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	28.26	4	7.07	1.01	0.4355
Mes	28.26	4	7.07	1.01	0.4355
Error	105.44	15	7.03		
Total	133.70	19			

Elaborado por: Autoras, 2020.

4.2.3 Resultados de aplicación de la prueba de Levene para el Índice DINIUS – WQI:

RABS DINIUS1

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
RABS DINIUS1	20	0.49	0.35	69.29

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	65.96	4	16.49	3.60	0.0299
Mes	65.96	4	16.49	3.60	0.0299
Error	68.63	15	4.58		
Total	134.58	19			

Elaborado por: Autoras, 2020.

4.2.4 Resultados de aplicación de la prueba de Levene para el Índice HPI:

RABS HPI1

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
RABS HPI1	20	0.15	0.00	38.19

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	4663673.25	4	1165918.31	0.68	0.6158
Mes	4663673.25	4	1165918.31	0.68	0.6158
Error	25679775.02	15	1711985.00		
Total	30343448.27	19			

Elaborado por: Autoras, 2020.



4.2.5 Resultados de aplicación del análisis ANOVA para el factor “mes de monitoreo” y prueba post-hoc; índice NSF-WQI:

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
NSFWQI	20	0.32	0.14	7.41

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	150.14	4	37.53	1.76	0.1895
Mes	150.14	4	37.53	1.76	0.1895
Error	319.93	15	21.33		
Total	470.07	19			

Test: Bonferroni Alfa=0.05 DMS=10.73099

Error: 21.3287 gl: 15

Mes	Medias	n	E.E.
FEBRERO	57.25	4	2.31 A
NOVIEMBRE	62.05	4	2.31 A
DICIEMBRE	63.54	4	2.31 A
OCTUBRE	63.73	4	2.31 A
ENERO	65.21	4	2.31 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0.05)

Elaborado por: Autoras, 2020.

4.2.6 Resultados de aplicación de la prueba Welch de ANOVA para el factor “mes de monitoreo” y prueba post-hoc; índice DINIUS – WQI:

ANOVA de un solo factor: DINIUS_1 vs. MES				
<b>Método</b>				
Hipótesis nula	Todas las medias son iguales			
Hipótesis alterna	No todas las medias son iguales			
Nivel de significancia	α = 0.05			
<i>No se presupuso igualdad de varianzas para el análisis.</i>				
<b>Información del factor</b>				
Factor	Niveles	Valores		
MES	5	DICIEMBRE, ENERO, FEBRERO, NOVIEMBRE, OCTUBRE		
<b>Prueba de Welch</b>				
	GL			
Fuente	Num	GL Den	Valor F	Valor p
MES	4	7.28775	2.66	0.119

Resumen del modelo			
R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)	
37.51%	20.84%	0.00%	

Medias				
MES	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
DICIEMBRE	4	87.57	8.04	(74.77, 100.36)
ENERO	4	80.88	2.21	(77.36, 84.40)
FEBRERO	4	81.42	3.29	(76.19, 86.66)
NOVIEMBRE	4	88.61	4.71	(81.11, 96.11)
OCTUBRE	4	84.71	2.41	(80.89, 88.54)

Elaborado por: Autoras, 2020.

4.2.7 Resultados de aplicación del análisis Kruskal Wallis para el factor “mes de monitoreo”; índice HPI:

Prueba de Kruskal Wallis								
Variable	Mes	N	Medias	D.E.	Medianas	C	H	p
HPI	DICIEMBRE	4	6076.87	4551.29	5988.24	1.00	8.73	0.0683
HPI	ENERO	4	8617.83	4198.69	8730.70			
HPI	FEBRERO	4	5220.46	4759.27	4677.46			
HPI	NOVIEMBRE	4	5928.32	3775.64	5193.89			
HPI	OCTUBRE	4	12974.72	3620.65	11302.13			

Elaborado por: Autoras, 2020.



**Apéndice 5. Registro fotográfico de socialización con moradores y representantes de autoridades del sector de El Salado**

5.1 Socialización con el Dr. Segundo Chica, laboratorista y técnico de la Junta Parroquial de Agua Potable de Baños - Planta de potabilización.



5.2 Socialización con el técnico representante del GAD parroquial de Baños.

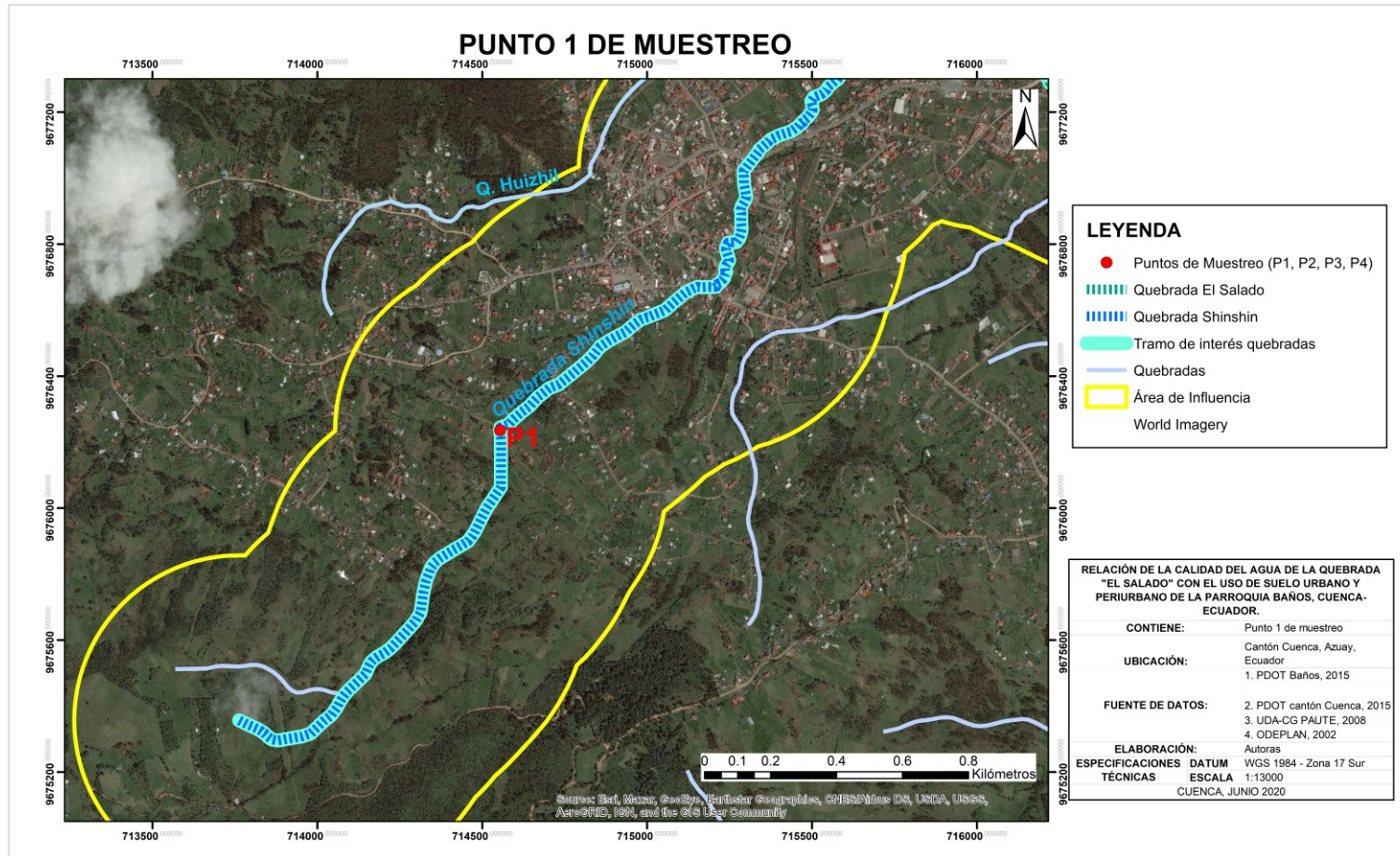


5.3 y 5.4. y 5.5 Socialización con moradores del sector aledaño a la quebrada El Salado.





Apéndice 6. Mapas de puntos de muestreo en la quebrada El Salado.  
6.1 Mapa de punto 1 de muestreo





## 6.2 Mapa de punto 2 de muestreo





### 6.3 Mapa de punto 3 de muestreo





### 6.4 Mapa de punto 4 de muestreo



**Apéndice 7. Registro fotográfico de monitoreo y análisis in – situ y ex – situ de calidad de agua de la quebrada El Salado**

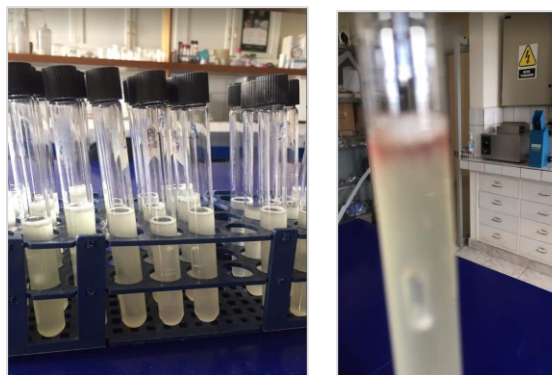
7.1 Recolección de muestras de agua para los 4 puntos de muestreo de la quebrada El Salado.



7.2 Análisis in – situ de parámetros de calidad de agua con ayuda del equipo multiparámetro.



7.3 Resultados de Coliformes Totales y Fecales de las muestras de agua recolectadas.



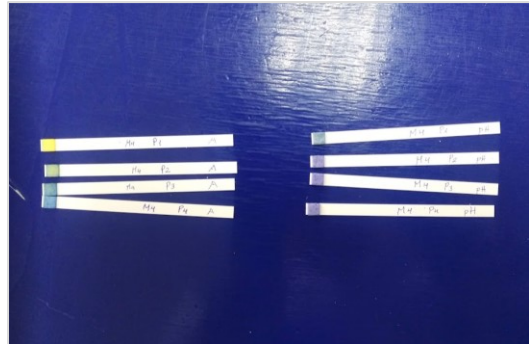
7.4 Análisis y resultados de metales pesados.



7.5 Análisis y resultados de OD inicial y final de las muestras de agua.



7.6 Análisis y comprobación de resultados de alcalinidad de las muestras de agua mediante tiras.



7.7, 7.8 y 7.9 Medición de velocidades de flujo con ayuda del correntómetro.





7.9 y 7.10 Análisis de parámetros de calidad de agua en Laboratorio.



7.11 y 7.12 Muestras de agua en Laboratorio.





**Apéndice 8. Registro fotográfico de fuentes de contaminación puntuales y difusas que atraviesa la quebrada El Salado, Baños.**

8.1 y 8.2 Observación de actividades ganaderas al exterior de la quebrada El Salado y en área de influencia.



8.3 y 8.4 Presencia de tuberías corrugadas de PVC como desagüe que desembocan en la quebrada El Salado (puntos 3 y 4).



8.5 Tuberías que funcionan como desagüe por falta de sistemas de alcantarillado (Puntos 1 y 2).



8.6 Presencia de desechos sólidos en zonas aledañas a la quebrada.



8.7 y 8.8 Establecimientos encontrados dentro del área urbana (galvanizadoras, mecánicas automotrices)



8.9 Suelo de origen volcánico en Baños, Cuenca, fuente de aguas termales del sector.



**Apéndice 9. Registro fotográfico de levantamiento de línea base mediante recorridos realizados por varios sectores aledaños a la quebrada El Salado, Baños.**

9.1 Recorrido realizado por “Loma Hervideros”, fuente de aguas termales, barrio Guadalupano.



9.2 Quebrada El Salado.

