

# **ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**

## **FACULTAD DE INGENIERÍA EN GEOLOGÍA Y PETRÓLEOS**

**CARACTERIZACIÓN HIDROGEOQUÍMICA BÁSICA EN CUATRO  
MICROCUENCAS DE LOS DISTRITOS MINEROS: BELLA RICA, SAN GERARDO,  
NAMBIJA Y CHINAPINTZA**

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE  
INGENIERO GEÓLOGO**

**OPCIÓN: ARTÍCULO ACADÉMICO**

**JENIFFER SAMANTHA RUIZ ALFARO**

**DIRECTOR: PhD. XIMENA DE LAS MERCEDES DÍAZ REINOSO**

**ximena.diaz@epn.edu.ec**

**CO-DIRECTORA: PhD. ISABEL CAROLINA BERNAL CARRERA**

**isabel.bernal@epn.edu.ec**

**Quito, marzo 2022**

## DECLARACION

Yo, Jeniffer Samantha Ruiz Alfaro, declaro que el trabajo aquí descrito es de mi autoría, que no ha sido previamente presentado por ningún grado o calificación profesional; y que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedo mis derechos de propiedad intelectual a la Escuela Politécnica Nacional, que puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su reglamento y la normatividad institucional vigente.



---

Jeniffer Samantha Ruiz Alfaro

## CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo fue desarrollado por Jeniffer Samantha Ruiz Alfaro, bajo nuestra supervisión.

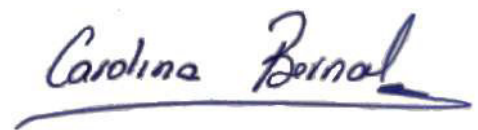
XIMENA DE  
LAS  
MERCEDES  
DIAZ REINOSO

Digitally signed by  
XIMENA DE LAS  
MERCEDES DIAZ  
REINOSO  
Date: 2022.03.22  
16:04:50 -05'00'

---

PhD. Ximena Díaz Reinoso

DIRECTORA DEL PROYECTO



---

PhD. Carolina Bernal Carrera

CO-DIRECTORA DEL PROYECTO

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco a Dios por ayudarme en todas las etapas de mi vida, por poner en mi camino a personas incondicionales y por permitirme culminar mi proyecto de titulación.

A la Dra. Ximena Díaz, a la Dra. Carolina Bernal y al Dr. José Luis Rivera, por haberme brindado todo su apoyo. Por su tiempo incondicional y principalmente por confiar en mí para la realización del presente trabajo.

A todas las personas que conforman el proyecto PIMI 16-05, por haberme ayudado y proporcionado toda la información para realizar este trabajo. Especialmente a Carito Ramos, quien siempre estuvo pendiente de mí, ayudándome y apoyándome con todo.

A mis amigos de la Facultad de Ingeniería Geológica, los cuales estuvieron conmigo durante toda la carrera, apoyándome en todos los momentos difíciles y felices.

A todos ellos expreso mis más sinceros agradecimientos.

## DEDICATORIA

Este trabajo se lo dedico a Dios por brindarme la sabiduría necesaria para tomar decisiones, escoger amigos y poder realizar este trabajo. Por guiarme y cuidarme en toda mi vida.

A mi padre por su cariño incondicional y por estar presente en cada paso de mi vida universitaria. Además por ayudarme a entender que la vida es más alegre cuando se “*ameniza*”, y que todo tiene solución aunque no lo parezca.

A mi madre por su ejemplo de valentía, tenacidad y liderazgo para hacer cualquier cosa. Por inculcarme los valores que han permitido convertirme en la mujer que soy. Por enseñarme a tomar decisiones y mostrarme lo esencial que es ayudar a otras personas.

A mi hermano por haber compartido conmigo todos los instantes felices y desastrosos que han pasado en mi vida. Por ser un amigo con el que comparto mis pensamientos, ideas, conocimientos y bromas. Por ser esa persona que hace los momentos incómodos más agradables y divertidos.

A Xica por ser quien me muestra que la vida es linda tal y como es. Por hacerme sonreír con las cosas más “simples y cotidianas” que existen. Por brindarme su amor y paciencia, y sobre todo por acompañarme en todo este tiempo.

A toda mi familia e iglesia por ayudarme y preocuparse de mí en cada paso de mi vida.

# ÍNDICE DE CONTENIDO

<b>DECLARACIÓN</b> .....	<b>II</b>
<b>CERTIFICACIÓN</b> .....	<b>III</b>
AGRADECIMIENTOS.....	IV
DEDICATORIA .....	V
ÍNDICE DE CONTENIDO .....	VI
ÍNDICE DE FIGURAS.....	VIII
ÍNDICE DE TABLAS.....	XI
RESUMEN .....	XII
ABSTRACT.....	XIII
<b>1.INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>
OBJETIVOS.....	2
OBJETIVO GENERAL .....	2
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	2
ALCANCE.....	3
ÁREAS DE ESTUDIO .....	3
<b>1.1. Contexto Geológico</b> .....	<b>13</b>
1.1.2 Geología Regional .....	13
1.1.2 Geología Local.....	16
<b>1.2 Distribución de las variables del suelo</b> .....	<b>28</b>
1.2.1 Pendiente del terreno .....	28
1.2.2 Textura del suelo .....	31
1.2.3 Taxonomía del suelo .....	35
<b>2. MARCO TEÓRICO</b> .....	<b>40</b>
<b>2.1. Cuenca hidrográfica</b> .....	<b>40</b>
2.1.1. Definición.....	40
2.1.2. Elementos de una cuenca hidrográfica .....	40
2.1.3. Clasificación de las cuencas hidrográficas .....	43
2.1.3.1. Según el sistema de drenaje .....	43
2.1.3.2. Según la elevación relativa .....	44
2.1.3.3. Según el área.....	45
<b>2.2. El Ciclo Hidrológico</b> .....	<b>45</b>

2.2.1. Definición .....	45
2.2.2. Componentes del Ciclo Hidrológico.....	46
<b>2.3. Calidad del agua .....</b>	<b>47</b>
2.3.1. Contaminación del agua .....	48
2.3.2. Características físico-químicas del agua .....	49
<b>3. METODOLOGÍA .....</b>	<b>53</b>
<b>3.1. Levantamiento bibliográfico.....</b>	<b>54</b>
<b>3.2. Delimitación hidrográfica de las áreas de estudio.....</b>	<b>56</b>
<b>3.3. Tratamiento de datos físico-químicos.....</b>	<b>58</b>
3.3.1. Recolección de muestras .....	63
3.3.2. Control de la calidad de datos .....	64
3.3.3. Análisis estadístico .....	65
<b>3.4. Índice de calidad de agua.....</b>	<b>66</b>
<b>3.5. Límites máximos permisibles .....</b>	<b>68</b>
<b>4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>69</b>
4.1. Calidad de datos .....	69
4.2. Parámetros físico-químicos.....	79
4.3. Índice de calidad de agua .....	95
4.4. Límites máximos permisibles .....	102
<b>5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>136</b>
<b>5.1. CONCLUSIONES .....</b>	<b>136</b>
<b>5.2. RECOMENDACIONES .....</b>	<b>140</b>
<b>REFERENCIAS .....</b>	<b>141</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>147</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.1</b> Ubicación de las áreas de estudio en las diferentes provincias del Ecuador .....	4
<b>Figura 1.2</b> Ubicación del área de estudio (MCBR) con respecto a la ciudad de Quito, Azuay y a la Demarcación Hidrográfica Naranjal-Pagua.....	6
<b>Figura 1.3</b> Ubicación del área de estudio (MCSG) con respecto a la ciudad de Quito, Azuay y a la Demarcación Hidrográfica Naranjal-Pagua.....	8
<b>Figura 1.4</b> Ubicación del área de estudio (MCNB) con respecto a la ciudad de Quito y Zamora y a la Demarcación Hidrográfica Zamora .....	10
<b>Figura 1.5</b> Ubicación del área de estudio (MCCH) con respecto a la ciudad de Quito y Zamora y a la Demarcación Hidrográfica Zamora .....	12
<b>Figura 1.6</b> Marco geodinámico y división morfotectónica del Ecuador. FCPP: Falla Calacalí-Pujilí-Pallatanga. FP: Falla Peltetec. FC: Falla Cosanga .....	15
<b>Figura 1.7</b> Unidades y Formaciones geológicas, depósitos cuaternarios y rocas sub-volcánicas del área de estudio (MCBR).....	18
<b>Figura 1.8</b> Unidades y Formaciones geológicas, depósitos cuaternarios, rocas intrusivas y sub-volcánicas del área de estudio (MCSG).. .....	21
<b>Figura 1.9</b> Unidades y Formaciones geológicas, depósitos cuaternarios, rocas intrusivas, sub-volcánicas y volcánicas del área de estudio (MCNB).....	24
<b>Figura 1.10</b> Unidades geológicas, depósitos cuaternarios, rocas intrusivas y rocas volcánicas del área de estudio (MCCH). .....	27
<b>Figura 1.11</b> Clasificación de la variable fisiográfica pendiente del suelo del área de estudio (MCBR). .....	29
<b>Figura 1.12</b> Clasificación de la variable fisiográfica pendiente del suelo del área de estudio (MCSG).. .....	29
<b>Figura 1.13</b> Clasificación de la variable fisiográfica pendiente del suelo del área de estudio (MCNB). .....	30
<b>Figura 1.14</b> Clasificación de la variable fisiográfica pendiente del suelo del área de estudio (MCCH). .....	31
<b>Figura 1.15</b> Clasificación de la variable intrínseca textura del suelo del área de estudio (MCBR).....	32
<b>Figura 1.16</b> Clasificación de la variable intrínseca textura del suelo del área de estudio (MCSG).....	33
<b>Figura 1.17</b> Clasificación de la variable intrínseca textura del suelo del área de estudio (MCNB).....	34
<b>Figura 1.18</b> Clasificación de la variable intrínseca textura del suelo del área de estudio (MCCH). .....	35
<b>Figura 1.19</b> Clasificación de la variable intrínseca taxonomía del suelo del área de estudio (MCBR).. .....	36



<b>Figura 1.20</b> Clasificación de la variable intrínseca taxonomía del suelo del área de estudio (MCSG).	37
<b>Figura 1.21</b> Clasificación de la variable intrínseca taxonomía del suelo del área de estudio (MCNB).	38
<b>Figura 1.22</b> Clasificación de la variable intrínseca taxonomía del suelo del área de estudio (MCCH).	39
<b>Figura 2.1</b> Cuenca hidrográfica.	41
<b>Figura 2.2</b> Divisoria de aguas de una cuenca hidrográfica. Las flechas de color rojo indican el sistema de drenaje de la cuenca.	42
<b>Figura 2.3</b> Partes de un río y cuencas hidrográficas según su elevación relativa.	43
<b>Figura 2.4</b> Componentes y flujo del agua en el ciclo hidrológico.	46
<b>Figura 3.1</b> Diagrama de flujo que muestra el proceso de delimitación automática en el software ArcGis de unidades hidrográficas.	57
<b>Figura 3.2</b> Distribución de la información disponible de parámetros físico-químicos en las dos épocas para la MCBR.	59
<b>Figura 3.3</b> Distribución de la información disponible de parámetros físico-químicos en las dos épocas para la MCSG.	60
<b>Figura 3.4</b> Distribución de la información disponible de parámetros físico-químicos en las dos épocas para la MCNB.	61
<b>Figura 3.5</b> Distribución de la información disponible de parámetros físico-químicos en las dos épocas para la MCCH.	62
<b>Figura 3.6</b> Esquema de un diagrama de caja y elementos.	66
<b>Figura 4.1</b> Diagramas de caja de los parámetros físico-químicos de la MCSG para el año 2014.	70
<b>Figura 4.2</b> Diagramas de caja de los parámetros físico-químicos de la MCSG en época lluviosa para el año 2019.	71
<b>Figura 4.3</b> Diagramas de caja de los parámetros físico-químicos de la MCSG en época seca para el año 2019.	72
<b>Figura 4.4</b> Diagramas de caja de los parámetros físico-químicos de la MCBR en época lluvia para el año 2019.	73
<b>Figura 4.5</b> Diagramas de caja de los parámetros físico-químicos de la MCBR en época lluvia para el año 2019.	74
<b>Figura 4.6</b> Diagramas de caja de los parámetros físico-químicos de la MCNB en época lluvia para el año 2019.	75
<b>Figura 4.7</b> Diagramas de caja de los parámetros físico-químicos de la MCNB en época seca para el año 2019.	76
<b>Figura 4.8</b> Diagramas de caja de los parámetros físico-químicos de la MCCH en época lluvia para el año 2019.	76
<b>Figura 4.9</b> Diagramas de caja de los parámetros físico-químicos de la MCCH en época seca para el año 2019.	78
<b>Figura 4.10</b> Variación temporal del pH en la MCBR.	80
<b>Figura 4.11</b> Variación temporal y espacial de la temperatura (°C) en la MCCBR.	<b>Error!</b>

**Bookmark not defined.**

<b>Figura 4.12</b> Variación temporal y espacial de la conductividad eléctrica ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) en la MCBR. ....	83
<b>Figura 4.13</b> Variación temporal del pH en la MCSG en el año 2019. ....	85
<b>Figura 4.14</b> Variación temporal y espacial de la temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ) en la MCSG en el año 2019. ....	86
<b>Figura 4.15</b> Variación temporal y espacial de la conductividad eléctrica ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) en la MCSG en el año 2019. ....	88
<b>Figura 4.16</b> Variación temporal del pH en la MCNB. ....	89
<b>Figura 4.17</b> Conductividad eléctrica. ....	91
<b>Figura 4.18</b> Variación temporal y espacial de la conductividad eléctrica ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) en la MCNB. ....	91
<b>Figura 4.19</b> Variación temporal del pH en la MCCH. ....	93
<b>Figura 4.20</b> Variación temporal y espacial de la temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ) en la MCCH. ....	94
<b>Figura 4.21</b> Variación temporal y espacial de la conductividad eléctrica ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) en la MCCH. ....	95
<b>Figura 4.22</b> Variación temporal y espacial de la calidad del agua en la MCBR. ....	97
<b>Figura 4.23</b> Variación temporal y espacial de la calidad del agua en la MCSG. ....	99
<b>Figura 4.24</b> Variación temporal y espacial de la calidad del agua en la MCNB. ....	100
<b>Figura 4.25</b> Variación temporal y espacial de la calidad del agua en la MCCH. ....	102
<b>Figura 4.26</b> Variación temporal y espacial del Oxígeno Disuelto (OD), Sólidos Totales Disueltos (STD) y Turbidez en la MCBR. ....	105
<b>Figura 4.27</b> Variación temporal y espacial del sodio (Na), potasio (K), y calcio (Ca), en la MCBR. ....	107
<b>Figura 4.28</b> Variación temporal y espacial del magnesio (Mg), cloruro ( $\text{Cl}^-$ ), y sulfato ( $\text{SO}_4^{2-}$ ), en la MCBR. ....	109
<b>Figura 4.29</b> Variación temporal y espacial del manganeso (Mn), flúor ( $\text{F}^-$ ) y nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) en la MCBR. ....	111
<b>Figura 4.30</b> Variación temporal y espacial del Oxígeno Disuelto (OD), Sólidos Totales Disueltos (STD) y Turbidez en la MCSG. ....	114
<b>Figura 4.31</b> Variación temporal y espacial del sodio (Na), potasio (K), y calcio (Ca), en la MCSG. ....	115
<b>Figura 4.32</b> Variación temporal y espacial del magnesio (Mg), cloruro ( $\text{Cl}^-$ ), y sulfato ( $\text{SO}_4^{2-}$ ), en la MCSG. ....	116
<b>Figura 4.33</b> Variación temporal y espacial del manganeso (Mn) y nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) en la MCSG. ....	118
<b>Figura 4.34</b> Variación temporal y espacial del Oxígeno Disuelto (OD), Sólidos Totales Disueltos (STD) y Turbidez en la MCNB. ....	121
<b>Figura 4.35</b> Variación temporal y espacial del sodio (Na), potasio (K), y calcio (Ca), en la MCNB. ....	123
<b>Figura 4.36</b> Variación temporal y espacial del magnesio (Mg), cloruro ( $\text{Cl}^-$ ) y sulfato ( $\text{SO}_4^{2-}$ ), en la MCNB. ....	125
<b>Figura 4.37</b> Variación temporal y espacial del manganeso (Mn) en la MCNB. ....	126

<b>Figura 4.38</b> Variación temporal y espacial del Oxígeno Disuelto (OD), los Sólidos Totales Disueltos (STD) y Turbidez en la MCCH. ....	130
<b>Figura 4.39</b> Variación temporal y espacial del sodio (Na), potasio (K), y calcio (Ca), en la MCCH. ....	131
<b>Figura 4.40</b> Variación temporal y espacial del magnesio (Mg), cloruro (Cl <sup>-</sup> ) y sulfato (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ), en la MCCH. ....	132

## INDICE DE TABLAS

<b>Tabla 2.1</b> Clasificación de cuencas hidrográficas según el área. ....	45
<b>Tabla 2.2</b> Iones mayores y menores. Se indica los límites máximos permisibles recomendados por la OMS (2018) y la norma reglamentaria ecuatoriana del Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundario (TULAS, 2005). ....	49
<b>Tabla 2.3</b> Escala nominal del pH. ....	51
<b>Tabla 2.4</b> Límites máximos permisibles según la norma reglamentaria ecuatoriana del Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundario (TULAS, 2005). ....	52
<b>Tabla 3.1</b> Fuentes bibliográficas utilizadas para el análisis de las áreas de estudio. ....	54
<b>Tabla 3.2</b> Fuentes bibliográficas para la descripción y análisis de la Geología Regional y Local de las áreas de estudio. ....	55
<b>Tabla 3.3</b> Cartografía utilizada en el presente estudio. ....	56
<b>Tabla 3.4</b> Hojas cartográficas digitales utilizadas para la delimitación de las microcuencas hidrográficas. ....	57
<b>Tabla 3.5</b> Resumen de los parámetros analizados, equipo y métodos de detección. ....	63
<b>Tabla 3.6</b> Pesos relativos para cada parámetro según WRC. ....	67
<b>Tabla 3.7</b> Clasificación de la calidad de agua propuesto por WRC. ....	68

## RESUMEN

El estudio presenta una descripción hidrogeoquímica básica del agua superficial en cuatro microcuencas hidrográficas al sur del Ecuador. Ubicadas en las provincias de Guayas, Azuay, El Oro y Zamora Chinchipe, en los distritos mineros de Bella Rica, San Gerardo, Nambija y Chinapintza. El objetivo de este estudio fue evaluar la calidad del agua de los ríos principales del sistema de drenaje de las microcuencas y analizar si es apta para consumo humano.

Para este estudio, se analizaron cincuenta y ocho muestras de agua colectadas en 2012, 2014 y 2019. Veinte y seis fueron colectadas en época lluviosa; y, treinta y dos en época seca.

El análisis físico-químico de temperatura, conductividad eléctrica y pH permitió identificar que las partes más altas de las microcuencas se caracterizan por tener menor temperatura, menor conductividad eléctrica y pH neutro. A medida que el agua desciende en la microcuenca, aumenta la cantidad de iones, temperatura y conductividad eléctrica.

El cálculo del índice de calidad de agua para las dos estaciones mostró que: veinte muestras de agua fueron “buenas”, veinte y seis “poco aceptables” y ocho “malas”. Cuatro muestras de agua tomadas en 2014, no fueron consideradas porque no hubo los parámetros necesarios para realizar el cálculo. Los parámetros físico-químicos OD, STD, turbidez, pH,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{F}^-$ ,  $\text{Mn}^{2+}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^-$  y  $\text{NO}_2^-$ , fueron comparados por lo establecido por las normas TULAS (2005) y OMS (2018) en cuanto a la calidad de agua de consumo humano y uso doméstico. De la comparación se obtuvo que solo las concentraciones de  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Cl}^-$  y  $\text{F}^-$  están dentro de los límites máximos permisibles. La razón por la que la mayoría de las muestras de agua no son aptas para consumo humano se debe a que corresponden a áreas altamente mineralizadas, donde existe actividad antropogénica como la minería metálica y la agricultura.

**Palabras clave:** calidad del agua; distrito minero; microcuenca hidrográfica; mineralización; parámetros físico-químicos.

## ABSTRACT

This study presents a basic surface water hydrogeochemical description and analysis, in four micro-watersheds, in Southern Ecuador. They are located in the provinces of Guayas, Azuay, El Oro and Zamora Chinchipe, corresponding to the mining districts of Bella Rica, San Gerardo, Nambija and Chinapintza. The purpose of this study was to evaluate the water quality of the surface waters and to analyze their suitability as drinking water.

For this study, fifty-eight water samples were collected in 2012, 2014 and 2019. Twenty-six were sampled during the rainy season and thirty-two, in the dry season.

The physical-chemical analysis of temperature, electrical conductivity and pH indicated that the highest parts of the micro-watershed are characterized by lower temperature, lower electrical conductivity and neutral pH. Downstream of the micro-basin, the ions concentrations, temperature and electrical conductivity, increases.

The water quality index (WQI) results for the two seasons (wet and dry), showed that twenty water samples were characterized as "good quality", twenty-six as "medium quality" and eight as "bad quality". The samples physical-chemical parameters (OD, TDS, turbidity, pH,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{F}^-$ ,  $\text{Mn}^{2+}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^-$  y  $\text{NO}_2^-$ ) were compared with national and international water quality norms for human consumption and domestic use, such as TULAS (2005) and WHO (2018). The results indicated that the concentrations of  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{F}^-$ , are within the maximum permissible limits of water consumption.

The water samples collected come from highly mineralized areas where there are anthropic activities such as mining and agriculture. Those are the main reasons for the low water quality in most of the samples, which made them, not suitability for human consumption.

**Key words:** micro-watershed; mineralization; mining district; physical-chemical parameters; water quality index.



# 1. INTRODUCCIÓN

El setenta por ciento (70%) de la superficie de la Tierra está cubierta por agua. Como tal, se considera un recurso no renovable y el más importante para la vida. El 97,5% del agua superficial es agua salada y el 2,5% es agua dulce, de las cuales solo el 1% es apta para el consumo humano (Chow et al., 1988).

Según Dadzie (2012), el agua es un recurso humano limitado, importante y clave para un desarrollo sostenible.

En Ecuador, las zonas mineras de Bella Rica y San Gerardo (Cordillera Occidental), Nambija (Cordillera Real) y Chinapintza (Zona Subandina), tradicionalmente han estado ligadas a dos fuentes de contaminación (PRODEMINCA, 1999):

- a) una fuente natural, como es la disolución de minerales existentes en las rocas de cada zona minera, debido a la interacción natural agua-roca; y,
- b) la segunda fuente de contaminación, de carácter antropogénico, relacionada con la explotación minera metálica.

En el primer caso se refiere a contaminación de origen natural. Los distritos mineros Bella Rica y San Gerardo presentan mineralizaciones de polisulfuros que contienen: oro, plata, cobre, zinc, plomo, arsénico, bismuto, telurio, cadmio y antimonio (Williams et al., 2000); el distrito minero Nambija, está presente el oro nativo, generalmente libre, grueso, y en casi todos los casos suele estar relacionado con la alteración de skarn (Léon, 2015); y, finalmente, el distrito minero Chinapintza, que presenta oro y plata en forma metálica y en algunos casos, en forma refractaria y, que generalmente se encuentran asociadas con mineralizaciones de sulfuros como la galena y la esfalerita (Guerrero, 2014). En el segundo caso de contaminación de origen antropogénico, el análisis se enfoca en las microcuencas hidrográficas.

En las microcuencas hidrográficas en Bella Rica (MCBR) y San Gerardo (MCSG) ubicadas entre las provincias del Guayas-Azuay y El Oro, predomina la agricultura intensiva de banano y cacao, lo que genera una carga contaminante adicional a los desechos mineros en los ríos de la zona, principalmente en los ríos Siete y Chico-Gala, debido a los fertilizantes y plaguicidas usados durante las aerofumigaciones, en especial en los extensos cultivos de banano (Breilh et al., 2007; Harari, 2009; Polo, 2020).

Por el contrario, en las microcuencas de Nambija (MCNB) y Chinapintza (MCCH) ubicadas en la provincia de Zamora Chinchipe al SE del Ecuador, al tener vegetación selvática y suelos pobres en capa orgánica, los habitantes de estas zonas han limitado su interés a la agricultura de

subsistencia y a la ganadería, por lo que las únicas actividades que dinamizan económicamente estas zonas son la minería y el comercio que gira alrededor de ella (Guerrero, 2014).

En este contexto, es importante determinar la calidad de agua debido a que contribuirá a: 1. Tener datos de calidad de agua que puedan utilizarse para implementar obras de mejoras en las zonas estudiadas, mejorando así la calidad de vida de las comunidades que están en contacto directo e indirecto; 2. La información obtenida en este estudio permitirá contar con información de la evolución de la calidad del agua con el tiempo, facilitando definir estrategias de manejo de los recursos hídricos de dichas zonas mineras.

Por tanto, el presente estudio se enfocará en un análisis hidrogeoquímico de agua superficial de los principales ríos y drenajes de cuatro microcuencas hidrográficas, con el objetivo de establecer la calidad del agua superficial mediante el cálculo del índice de calidad de agua (*WQI*, por sus siglas en inglés) sugerido por el *Water Research Center* (2014-2020).

Por medio del análisis hidrogeoquímico se podrá conocer de manera general, el contexto físico y químico de los recursos hídricos estudiados, permitiendo cuantificar la calidad del agua y la posible contaminación de las microcuencas hidrográficas en estudio.

## **OBJETIVOS**

### **OBJETIVO GENERAL**

Determinar la calidad de agua (*WQI*) en cuatro microcuencas hidrográficas, en los distritos mineros del Ecuador: Bella Rica, San Gerardo, Nambija y Chinapintza.

### **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Caracterizar la calidad del agua de las cuatro microcuencas hidrográficas definidas en los distritos mineros de Bella Rica, San Gerardo, Nambija y Chinapintza, mediante parámetros físico-químicos;
- Analizar los parámetros físico-químicos del agua, con base a los resultados de laboratorio de las muestras tomadas en aguas superficiales (Proyecto PIMI16-05 y EPN-Universidad de Utah);
- Evaluar la distribución espacial de parámetros hidrogeoquímicos en función a los límites máximos permisibles para consumo humano de agua según la norma reglamentaria ecuatoriana del Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundario (TULAS, 2005);
- Determinar si la calidad del agua superficial, definida por medio del *WQI*, en las cuatro microcuencas hidrográficas estudiadas, es apta para el consumo humano.



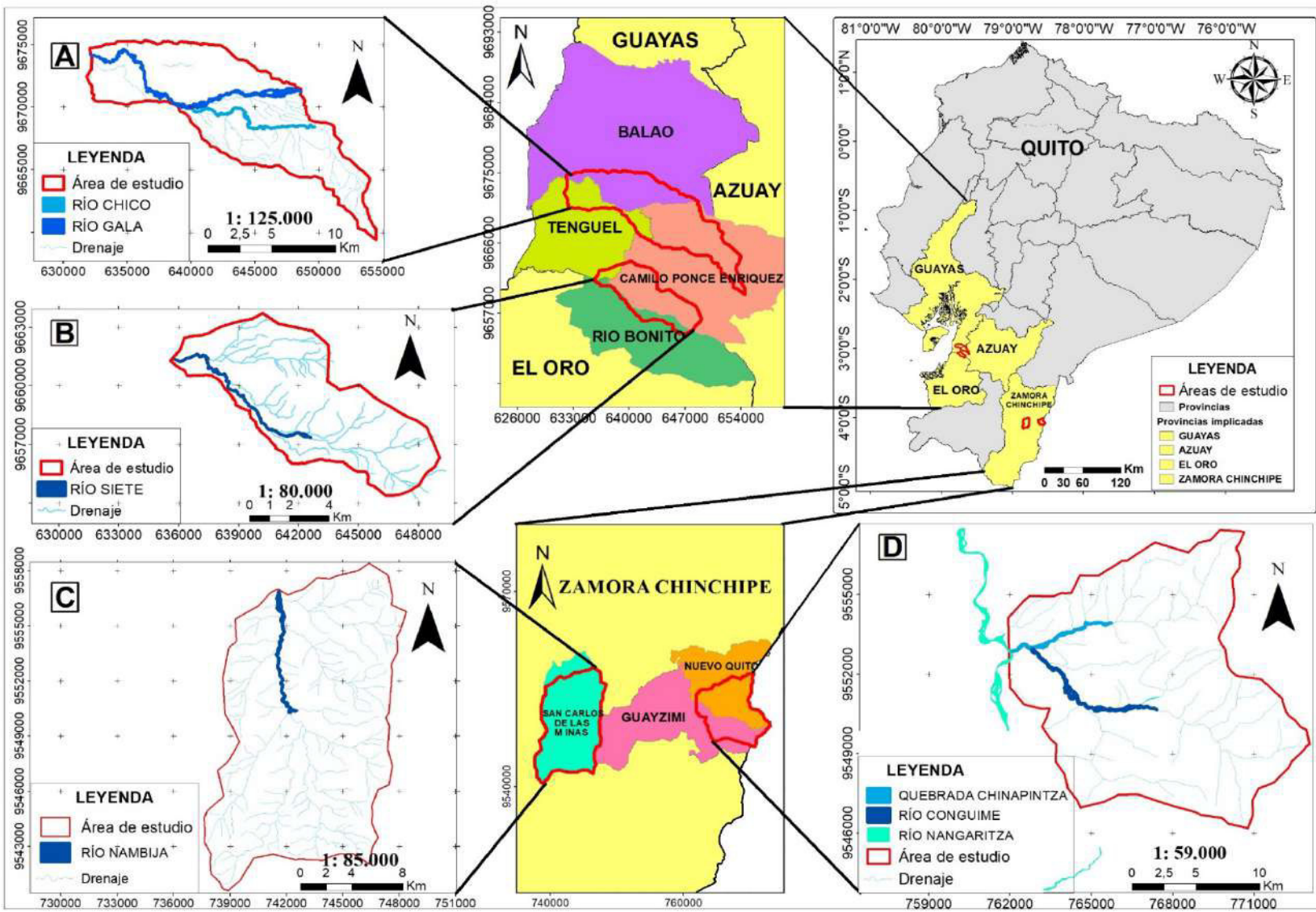
## **ALCANCE**

El presente trabajo se desarrolló en el marco de actividades de colaboración de la Escuela Politécnica Nacional (EPN) con la Universidad de Utah, así como en actividades de investigación enmarcadas en el Proyecto PIMI 16-05 “Efectos sobre el ambiente de la prohibición del uso de mercurio en minería y riesgos toxicológicos asociados al mercurio y otros metales pesados”.

Este estudio propone un análisis cuantitativo y cualitativo a través de la caracterización hidrogeoquímica, para determinar la calidad del agua superficial, mediante el cálculo del índice de calidad de agua (*WQI*) sugerido por el *Water Research Center* (2014 - 2020), de un total de 58 muestras de agua superficial, destinadas tanto para consumo humano como para riego, que se obtuvieron durante los años 2012, 2014, 2018 y 2019.

## **ÁREAS DE ESTUDIO**

El presente estudio se desarrolló en cuatro microcuencas hidrográficas, correspondientes a los ríos principales: Siete, Chico-Gala, Nambija y Congüime, los cuales se encuentran al sur del Ecuador, en las provincias de Azuay-Guayas-El Oro y Zamora Chinchipe (Figura 1.1), en los distritos mineros de Bella Rica, San Gerardo, Nambija y Chinapintza.



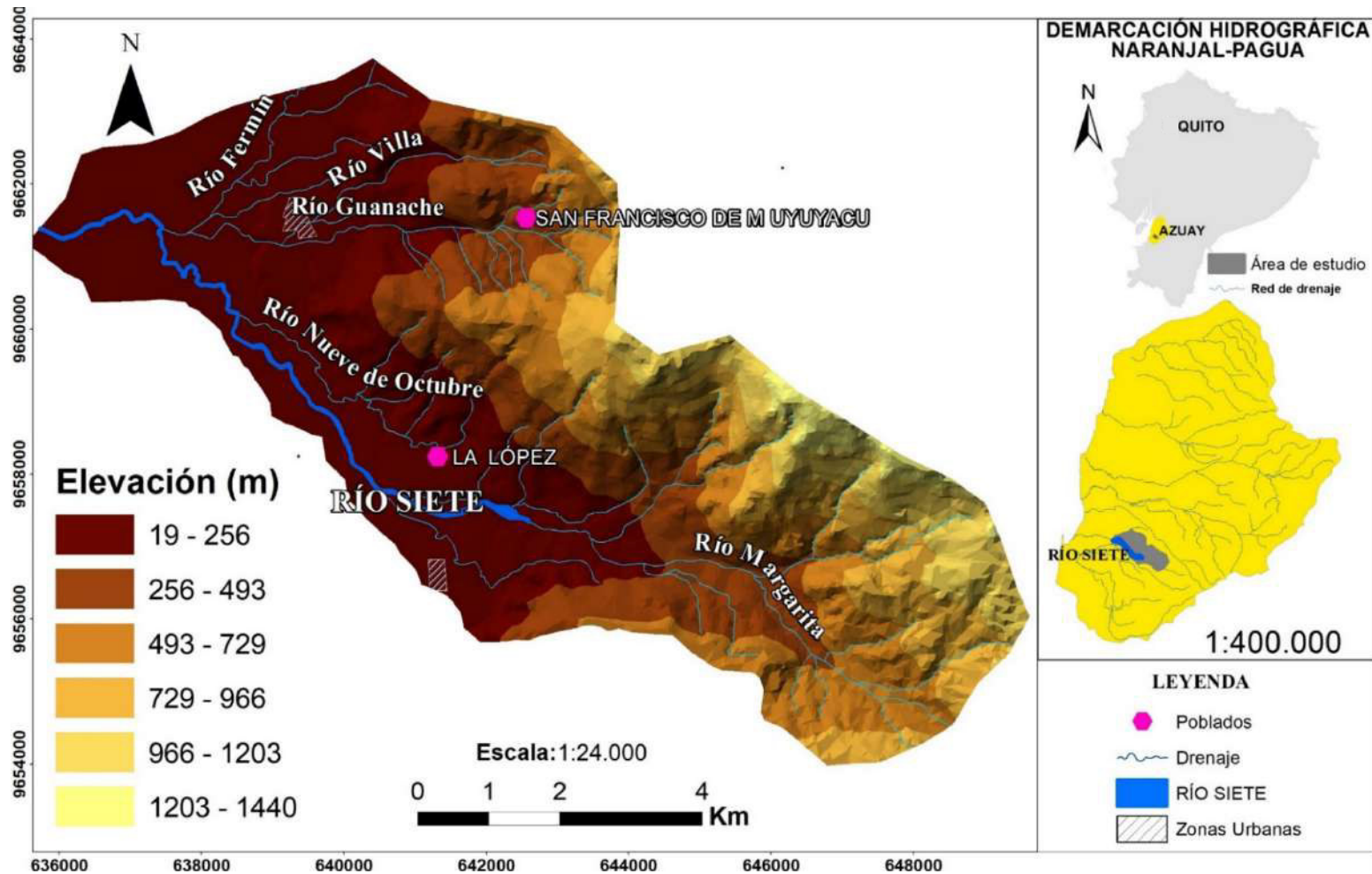
**Figura 1.1** Ubicación de las áreas de estudio en las diferentes provincias del Ecuador: (A) microcuenca en distrito minero Bella Rica (MCBR), (B) microcuenca en distrito minero San Gerardo (MCSG), (C) microcuenca en distrito minero Nambija (MCNB), (D) microcuenca en distrito minero Chinapintza (MCCH). Incluye los ríos principales de cada microcuenca hidrográfica y sus respectivos drenajes.

## **Microcuenca en distrito minero Bella Rica**

El área de la MCBR cubre una superficie de 61,23 Km<sup>2</sup>, se encuentra entre los límites de tres cantones ubicados al SE del Ecuador: Camilo Ponce Enríquez (provincia del Azuay, parroquia Camilo Ponce Enríquez), Guayaquil (provincia del Guayas, parroquia Tenguel) y El Guabo (provincia El Oro, parroquia Río Bonito) (Figura 1.1A). La mayor parte de la superficie en estudio está en la parroquia Camilo Ponce Enríquez, que según el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos INEC (2010) cuenta con una población total de 17 404 habitantes.

Forma parte de la Demarcación Hidrográfica Naranjal-Pagua. Corresponde a la cuenca del Río Siete, la cual cubre una superficie de 137 Km<sup>2</sup> (SENAGUA, 2014). La red hídrica de la MCBR está conformada por los ríos: Margarita, Siete, Nueve de Octubre, Guanache, Villa, Fermín, Vainillo, la Quebrada La Florida y la Quebrada Guanache (Figura 1.2).

Según INAMHI (2017), el clima de la zona de estudio es subhúmedo (de cálido a moderadamente cálido). La temperatura supera los 24°C y se distinguen dos estaciones: una lluviosa con abundantes lluvias de diciembre a mayo, y una seca de junio a noviembre (Jadán et al., 2015). Existe escasez moderada de agua en la época seca. Gran parte del área de la MCBR está cubierta por bosques húmedos, con un bajo porcentaje de pastos y arbustos; el uso del suelo está relacionado principalmente con el cultivo de cacao y banano (Jadán et al., 2015). La geomorfología de la MCBR es pronunciada en las montañas, mientras en las riberas de los ríos a menudo forma valles en U. Presenta elevaciones entre 200 y 1200 metros sobre el nivel del mar (Figura 1.2).



**Figura 1.2** Ubicación del área de estudio (MCBR) con respecto a la ciudad de Quito, Azuay y a la Demarcación Hidrográfica Naranjal-Pagua. Se incluye la ubicación del Río Siete, el drenaje, poblados y zonas urbanas dentro del área de estudio, y los rangos de elevación expresados en metros.

## Microcuenca en distrito minero San Gerardo

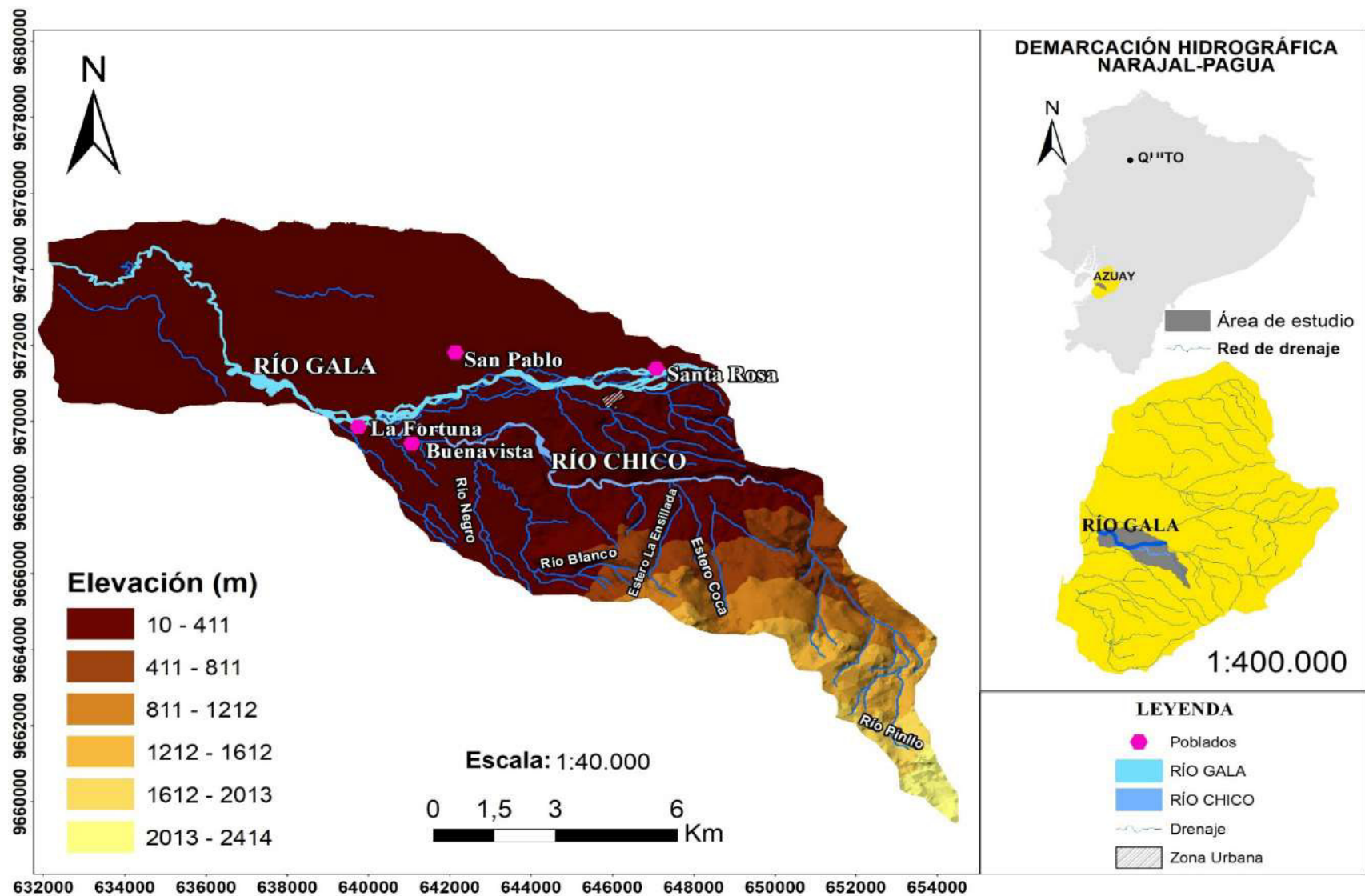
El área de estudio cubre una superficie de 128,78 Km<sup>2</sup>, está ubicada entre los cantones Camilo Ponce Enríquez (provincia del Azuay parroquia Camilo Ponce Enríquez), Balao (provincia del Guayas, parroquia Balao) y Guayaquil (provincia del Guayas, parroquia Tenguel), (Figura 1.1B). La mayor parte de la superficie en estudio está entre las parroquias Balao y Camilo Ponce Enríquez. Según INEC (2010), Balao cuenta con una población total de 20 523 habitantes y Camilo Ponce Enríquez con 17 404 habitantes.

Forma parte de la Demarcación Hidrográfica Naranjal-Pagua. Corresponde a la cuenca del Río Gala, la cual cubre una superficie de 533 Km<sup>2</sup> (SENAGUA, 2014). La red hídrica de la MCSG está conformada por los ríos: Pinllo, Blanco, Negro, Chico, Gala y por el Estero Coca y el Estero La Ensellada (Figura 1.3).

De acuerdo con INAMHI (2017), el clima de la MCSG es mesotérmico templado frío con pequeño déficit de agua en las zonas de mayor altura. En las zonas más bajas es subhúmedo con gran deficiencia de agua en época seca. La parte central de la MCSG es megatérmico con moderado déficit de agua en época seca. En el distrito minero San Gerardo las temperaturas son superiores a los 24°C con dos épocas bien marcadas en el año, una época lluviosa con fuertes precipitaciones en los meses de diciembre a mayo, y una época seca en los meses de junio a noviembre (Gobierno Provincial del Azuay, 2015-2030); la cantidad de precipitaciones va incrementado de oeste a este.

El suelo está compuesto por potentes estratos de arcilla y lateritas, por lo que se extienden grandes bosques típicos tropicales y arbustos de zonas húmedas en las franjas más bajas, y en las franjas más altas, matorrales; las fuertes precipitaciones hacen que el suelo sea apto para el cultivo principalmente de cacao y banano (Jadán et al., 2015).

La geomorfología y el relieve de la MCSG es prominente en las áreas montañosas, mientras que en las riberas de los ríos se forman valles en V. Los relieves tipo deposicional se encuentra al margen izquierdo del Río Chico donde se forman abanicos aluviales (Figura 1.6); los relieves acumulativos se encuentran al margen derecho de los Ríos Gala y Chico, formando terrazas aluviales (Jadán et al., 2015) (Figura 1.3).



**Figura 1.3** Ubicación del área de estudio (MCSG) con respecto a la ciudad de Quito, Azuay y a la Demarcación Hidrográfica Naranjal-Pagua. Se incluye la ubicación del Río Gala-Chico, el drenaje, poblados, zonas urbanas dentro del área de estudio, y los rangos de elevación expresados en metros.

## **Microcuenca en distrito minero Nambija**

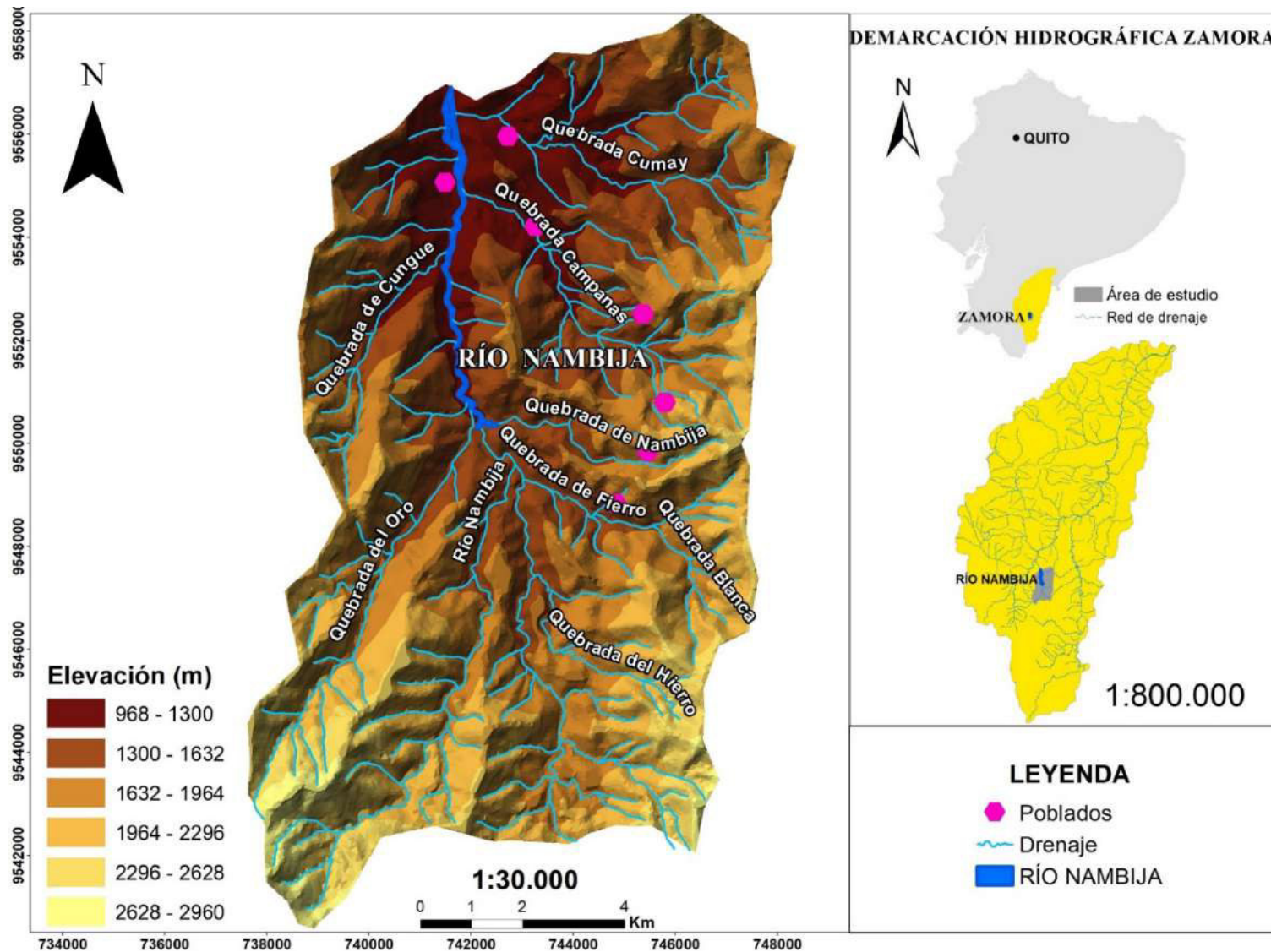
El área de la MCNB cubre una superficie de 131,21 Km<sup>2</sup>, se encuentra en la provincia de Zamora Chinchipe al sureste del Ecuador, cantón Zamora en la parroquia San Carlos de las Minas (Figura 1.1C), esta parroquia cuenta con un total de 2 180 habitantes distribuidos en sus diferentes barrios (INEC, 2010).

Forma parte de la Demarcación Hidrográfica Zamora y pertenece a la cuenca del Río Nambija (SENAGUA, 2014). La red hidrográfica es de orden dendrítico; está conformada al margen derecho por la Quebrada de Cungue y la Quebrada del Oro; y, al margen izquierdo por la Quebrada Cumay, Quebrada Campanas, Quebrada de Nambija o Quebrada de Fierro, Quebrada Blanca y Quebrada del Hierro (Figura 1.4).

El clima en la MCNB de forma general es húmedo con pequeño déficit de agua (INAMHI, 2017). Su topografía irregular hace que cuente con algunos climas dependiendo de la altitud, desde húmedo en las zonas bajas a templado en las altas montañas. La temperatura promedio es de 21°C, y las precipitaciones durante todo el año son constantes, incluso en los meses más secos.

El suelo en la parroquia San Carlos de las Minas es relativamente pobre en capa orgánica, siendo el bosque nativo y pastizal la cobertura vegetal predominante, es por ello que sus habitantes se han dedicado a cultivos de ciclo corto.

En la MCNB la geomorfología del terreno se constituye por elevaciones que varían entre los 1000 a 2900 msnm; los relieves montañosos bajos se encuentran en las laderas del Río Nambija (Figura 1.4). Los relieves erosionales se puede observar, en sitios puntuales de las laderas que fluyen hacia el Río Nangaritza (Granda, 2015).



**Figura 1.4** Ubicación del área de estudio (MCNB) con respecto a la ciudad de Quito y Zamora y a la Demarcación Hidrográfica Zamora. Se incluye el Río Nambija, drenaje y poblados dentro del área de estudio y los rangos de elevación expresados en metros.



## **Microcuenca en distrito minero Chinapintza**

El área de estudio cubre una superficie de 76,86 Km<sup>2</sup>, se ubica en la provincia de Zamora Chinchipe entre los cantones Paquisha, parroquia Nuevo Quito y Nangaritza, parroquia Guayzimi (Figura 1.1D). Nuevo Quito cuenta con un total de 2 101 habitantes y Guayzimi con un total de 2 598 habitantes (INEC, 2010).

Forma parte de la Demarcación Hidrográfica Zamora. Corresponde a la subcuenca del Río Zamora y a la cuenca del Río Santiago (SENAGUA, 2014). La red hídrica de la MCCH comprende la Quebrada Chinapintza Chico, Quebrada Chinapintza, Quebrada Panguí, la Quebrada Guanguitza, y el Río Congüime que nace en la confluencia de Pagui y Guanguitza (Figura 1.5).

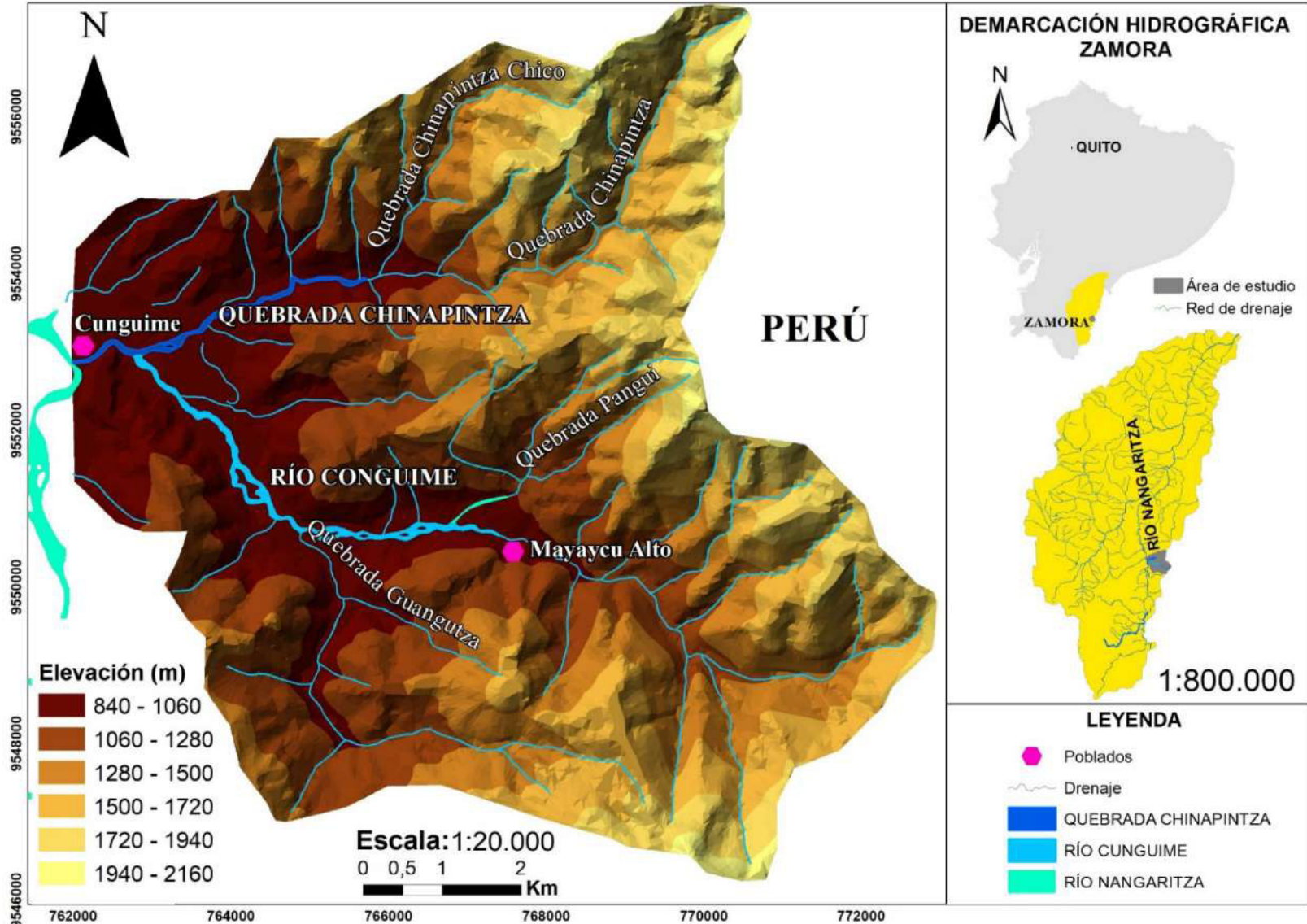
El clima en la MCCH es mesotérmico templado cálido (INAMHI, 2017), propio de las regiones de la selva alta amazónica, con una temperatura promedio de 21°C. Las precipitaciones durante todo el año son constantes incluso en los meses más secos.

La vegetación de la MCCH es de tipo arbórea poco intervenida, se identifican bosques primarios y residuos de bosque secundario, especialmente en el cantón Guayzimi, con áreas inexploradas por la excesiva vegetación selvática, reduciendo el interés humano por la agricultura y por la ganadería. La actividad económica principal de los pobladores se basa en la extracción de oro (Guerrero, 2014). Por otro lado, en el cantón Paquisha la mayor parte del área tiene ganado, pastizales y cultivos de ciclo corto.

En la MCCH la geomorfología del terreno se constituye por elevaciones que varían entre los 840 a 2160 msnm; los relieves montañosos bajos se encuentran en las laderas del Río Nangaritza (Figura 1.5).

Los relieves erosionales se puede observar en sitios puntuales de las laderas donde han ocurrido fenómenos de remoción en masa; el principal agente disparador y modelados de estos relieves son las lluvias, estos se hallan expuestos en las laderas que fluyen hacia el Río Nangaritza.

Los relieves estructurales se han formado sobre rocas sedimentarias. Se los puede evidenciar en las mesetas y cuevas formadas en areniscas y lutitas; los relieves tipo deposicional se encuentran en la zona de Guayzimi. Al margen del Río Nangaritza se desarrollan abanicos aluviales (Granda, 2015).



**Figura 1.5** Ubicación del área de estudio (MCCH) con respecto a la ciudad de Quito y Zamora y a la Demarcación Hidrográfica Zamora. Se incluyen los ríos principales, drenaje, poblados dentro del área de estudio y los rangos de elevación expresados en metros.

## 1.1. Contexto Geológico

### 1.1.2. Geología Regional

El Ecuador continental se encuentra en el noroeste de América del Sur, en la costa del Pacífico. Frente a un límite de placas convergentes, donde la placa tectónica Nazca se subduce bajo la placa tectónica Sudamericana a una velocidad de 60-70 mm/año en relación con América del Sur (Nocquet et al., 2014). Bajo este contexto el Ecuador se divide en tres grandes morfo-estructuras: la planicie costera (Costa), la cordillera de los Andes del Norte (Sierra), y la Cuenca Amazónica (Oriente o Amazonía), e incluye seis subregiones morfo-estructurales distribuidas de este a oeste: Zona Subandina, Cuenca Oriente, cordillera Real, Valle interandino, cordillera Occidental y Planicie costera (Vallejo et al., 2009) (Figura 1.6).

La zona Subandina se ubica en la región Oriente o Amazónica, es la zona de transición entre la Cordillera Real y la Cuenca Oriente. Exhibe una actividad tectónica asociada, como lo demuestran las zonas altamente deformadas, y la alta actividad sísmica y volcánica (Hall et al., 2004). Se divide en tres zonas morfológicas de norte a sur: Levantamiento Napo, Depresión Pastaza y la Cordillera Cutucú (Baby et al., 2004).

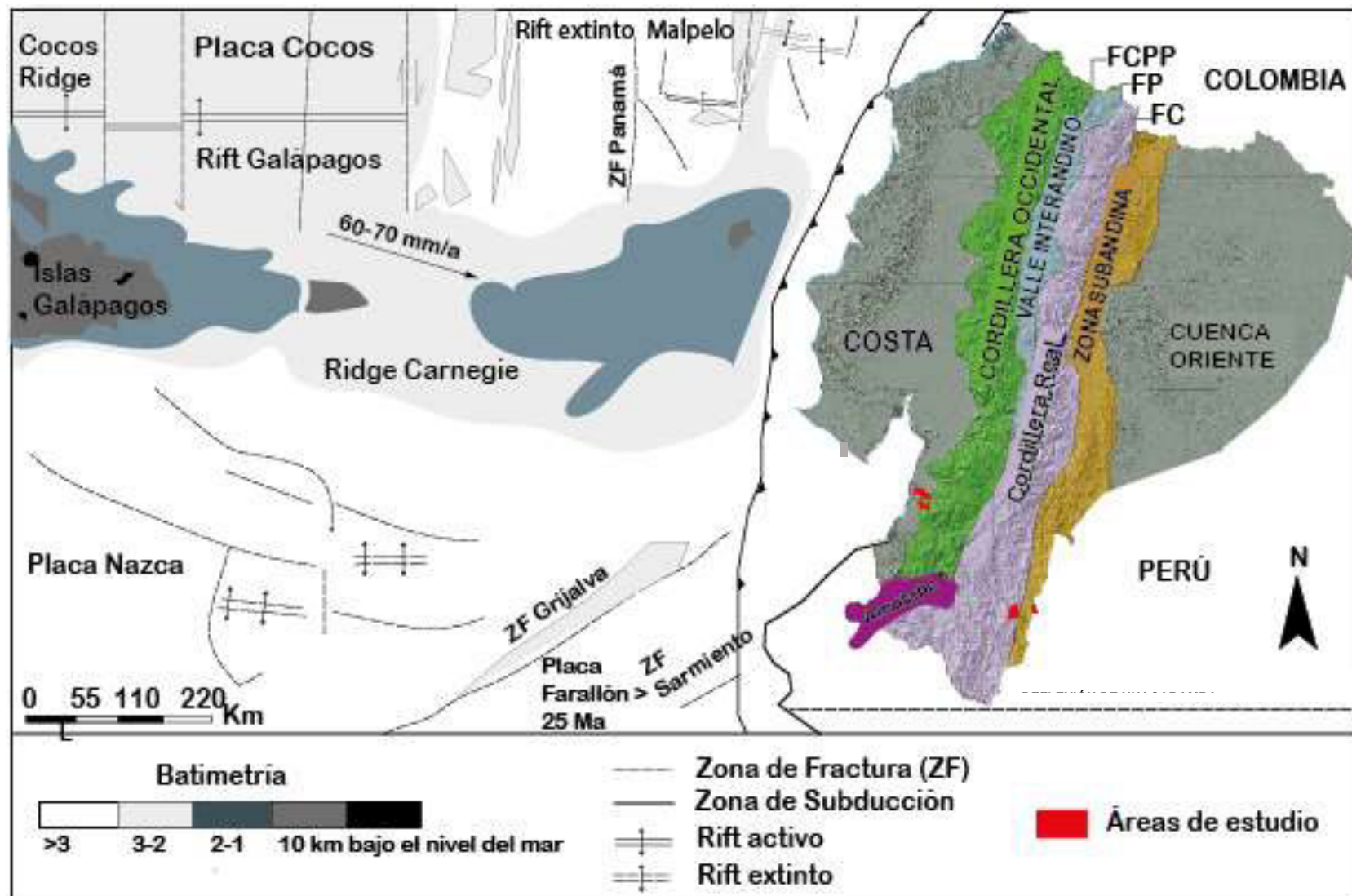
La Cuenca Oriente se encuentra en la región Oriente o Amazónica, está sobre el cratón Guayanés-Brasileño; pertenece a la cuenca antepaís de los Andes del Norte (Barragán et al., 2015); sobre ella se depositan sedimentos que van desde el Paleozoico hasta el Cuaternario (Baby et al., 2004).

La cordillera Real se encuentra en la región Sierra, es una de las dos grandes cordilleras que fueron separadas por un valle tectónico (Valle Interandino o Depresión Interandina) (Nocquet, 2014). Según Aspden & Litherland (1992), está constituida por cinco terrenos litotectónicos ubicados de oeste a este: Terreno Guamote, Terreno Alao, Terreno Loja, Terreno Salado y Terreno Zamora. Estos terrenos están separados por fallas tectónicas regionales: Falla Peltetec, Frente de Baños, Falla Llanganates y Falla Cosanga-Méndez (Litherland et al., 1994; Aspden & Litherland, 1992). Estos terrenos están constituidos por rocas metamórficas del Paleozoico al Cretácico Inferior que han sido intruidos por granitos plutónicos tipo "S" del Triásico y tipo "I" del Jurásico con posibles elementos prejurásicos (Litherland et al., 1994; PRODEMİNCA, 2000).

El Valle Interandino se detalla como una depresión topográfica de la región Sierra; se extiende de norte a sur, separa las dos grandes cordilleras (Cordillera Occidental y Cordillera Real). Se define al oeste con la FCPP y al este con la FP (Aspden & Litherland, 1992; Litherland et al., 1994; Vallejo et al., 2009). El basamento según Winkler et al. (2005), son rocas metamórficas y máficas que aparecen ocasionalmente, y que están cubiertas por potentes sedimentos volcano-clásticos del Plio-Holoceno.

La Cordillera Occidental se encuentra en la región Sierra, es una de las dos grandes cordilleras que fueron separadas por el Valle Interandino, tiene una dirección NNE. Está conformada principalmente por un basamento de *plateau* oceánico, rocas oceánicas (máficas y ultramáficas) Cretácicas y rocas volcánicas Paleo-Oligocénicas (Hughes & Pilatasig, 2002; Vallejo et al., 2009).

La Costa está conformada por terrenos alóctonos acrecionados de composición máfica y afinidad de *plateau* oceánico (Feininger & Bristow, 1980), cubiertos por depósitos pelágicos, rocas volcánicas y rocas de arco insular (Jaillard et al., 1995).



**Figura 1.6** Marco geodinámico y división morfotectónica del Ecuador. FCPP: Falla Calacalí-Pujilí-Pallatanga. FP: Falla Peltetec. FC: Falla Cosanga. Modificado de Vallejo et al. (2009), Spikings et al. (2001) y Yáñez (2016).

## 1.1.2 Geología Local

### Microcuenca en distrito minero Bella Rica

La mayor parte del área en estudio (MCBR) se encuentra ubicada geológicamente en la cordillera Occidental y una pequeña parte en la planicie costera (Figura 1.6), por lo que se distinguen las siguientes Formaciones y Unidades geológicas, depósitos cuaternarios, y rocas sub-volcánicas (Figura 1.7).

#### Unidad Pallatanga (Kpa)

En el área de estudio (MCBR) ocupa una extensión de 23 Km<sup>2</sup> (Figura 1.7). Según Luzieux et al. (2006), esta unidad geológica contiene basaltos, gabros, sedimentos silíceos finos (chert), rocas corneanas y lavas basálticas formadas en un *plateau* oceánico. Los basaltos de esta unidad están datadas del Cretácico Superior (88±1.6 Ma) (Cordovez et al., 2017).

#### Formación Las Trancas (Est)

Se compone de tobas lapillíticas andesíticas y dacíticas, brechas tobáceas, conglomerados con predominio de clastos metamórficos, areniscas y lutitas rojas, ocupan una extensión de 8 Km<sup>2</sup> en la MCBR (Figura 1.7). Esta unidad tiene predominancia sedimentaria, estratificación de rumbo noroeste-sureste; la posición general hacia la base del Grupo Saraguro hace que se le asigne la edad Eoceno Tardío (Cordovez et al., 2017).

#### Llanura Aluvial (QLa)

Aflora desde los límites de la cordillera Real, recubre la base geológica de la planicie costera, en la MCBR cubre una extensión de 26 Km<sup>2</sup> (Figura 1.7). Está conformada por bloques, gravas, limos y arenas (Cordovez et al., 2017; Egüez et al., 2017).

#### Pórfido tonalítico (Pt)

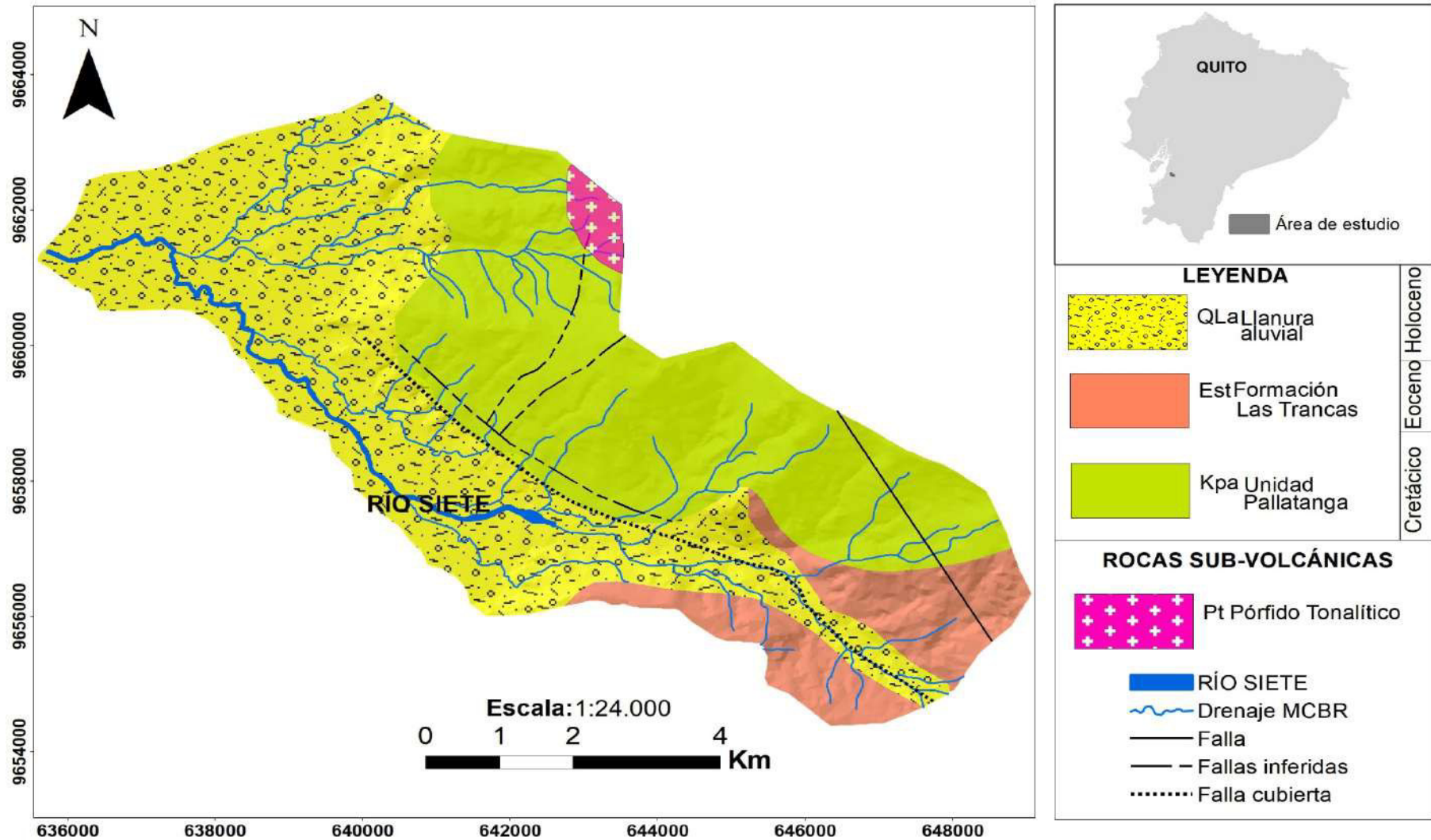
Es un intrusivo con múltiples pulsaciones magmáticas, con formación de stocks, diques y brechas de diatrema, de carácter intermedio a ácido. Están estrechamente relacionados con los yacimientos de minerales metálicos de Au, Cu, Mo (Cordovez et al., 2017; Egüez et al., 2017). En la MCBR ocupa una extensión de 0,78 km<sup>2</sup> (Figura 1.7).

## Mineralizaciones

Según PRODEMINCA (2000), los distritos mineros Bella Rica y San Gerardo, por su semejanza en cuanto a formación y período de evolución son agrupados en un solo cuerpo aurífero mineralizado, denominado distrito minero del Azuay, al suroeste de la provincia del Azuay. Las mineralizaciones están asociadas de manera directa con la actividad magmática y a fallas geológicas de la zona.

La mineralización más común es de tipo pórfido Cu +/- Mo +/- Au (Gaby Papa-Grande Chauca y Fierro Urcu). Se distinguen chimeneas de brechas mesotermales ricas en turmalina relacionadas con intrusiones y diques; ejemplo: Cinturón Tres Chorreras-La Playa y Mina Peggy. Además, presentan mineralizaciones de polisulfuros que contienen: oro, plata, cobre, zinc, plomo, arsénico, bismuto, telurio y antimonio (Williams et al., 2000).

El distrito minero Bella Rica está relacionado con depósitos tipo *stockworks*, brechas y vetas de tipo meso-epitermales, oro asociado a sulfuros y oro aluvial; el distrito minero San Gerardo está relacionado con depósitos tipo *stockworks* y también oro aluvial (PRODEMINCA, 2000).





## **Microcuenca en distrito minero San Gerardo**

La MCSG se encuentra geológicamente en la cordillera Occidental y en la planicie costera, (Figura 1.2), por lo que se distinguen las siguientes Formaciones y Unidades geológicas, depósitos cuaternarios, rocas intrusivas y rocas sub-volcánicas (Figura 1.6).

### **Unidad Pallatanga (Kpa)**

En el área de estudio (MCSG) ocupa una extensión de 8 Km<sup>2</sup> (Figura 1.8). Según Luzieux et al (2006), esta unidad geológica contiene basaltos, gabros, sedimentos silíceos finos (chert), rocas corneanas y lavas basálticas formadas en un *plateau* oceánico. Los basaltos de esta unidad están datadas del Cretácico Superior (88±1.6 Ma) (Cordovez et al., 2017).

### **Grupo Saraguro (EMs)**

Descansa discordantemente sobre rocas levantadas del Cretácico Superior. La potencia estimada en sectores de mayor acumulación es de 3 Km (Cordovez et al., 2017). En la zona de interés (MCSG), ocupa una extensión 7 Km<sup>2</sup>. Está conformado por tobas dacíticas y andesíticas con abundante plagioclasa, anfíbol y augita, de edad Eoceno Tardío a Mioceno Medio, además de rocas volcano-clásticas dacíticas a riolíticas, incluye material volcanosedimentario y cuerpos sub-volcánicos riolíticos, dacíticos y andesíticos (Figura 1.8).

### **Coluviales (Qc)**

Se presentan en los cambios bruscos de pendientes al inicio de las planicies costeras. Están alineado a lo largo de la ribera de los ríos, pueden aparecer como rellenos. Ocupa una extensión de 14 Km<sup>2</sup> en la MCSG, está compuesto por bloques, gravas, arenas y limos (Granda et al., 2017; Egüez et al., 2017) (Figura 1.8).

### **Abanico aluvial (QAa)**

La litología es heterogénea, conformado por cantos rodados polilíticos en una matriz areno-limo-arcillosa (Granda et al., 2017). En la MCSG ocupa una extensión de 5 Km<sup>2</sup> (Figura 1.8).

### **Llanura aluvial (QLa)**

Aflora desde los límites de la cordillera Real, recubre la base geológica de la planicie costera, en la MCSG cubre una extensión 90 Km<sup>2</sup> (Figura 1.8). Está conformada por bloques, gravas, limos y arenas (Granda et al., 2017; Egüez et al., 2017).

### **Pórfido tonalítico (Pt)**

Es un intrusivo con múltiples pulsaciones magmáticas, con formación de stocks, diques y brechas de diatrema, de carácter intermedio a ácido. Están estrechamente relacionados con los yacimientos de minerales metálicos de Au, Cu, Mo (Cordovez et al., 2017). En la MCBR ocupa una extensión de 0.5 Km<sup>2</sup> (Figura 1.8).

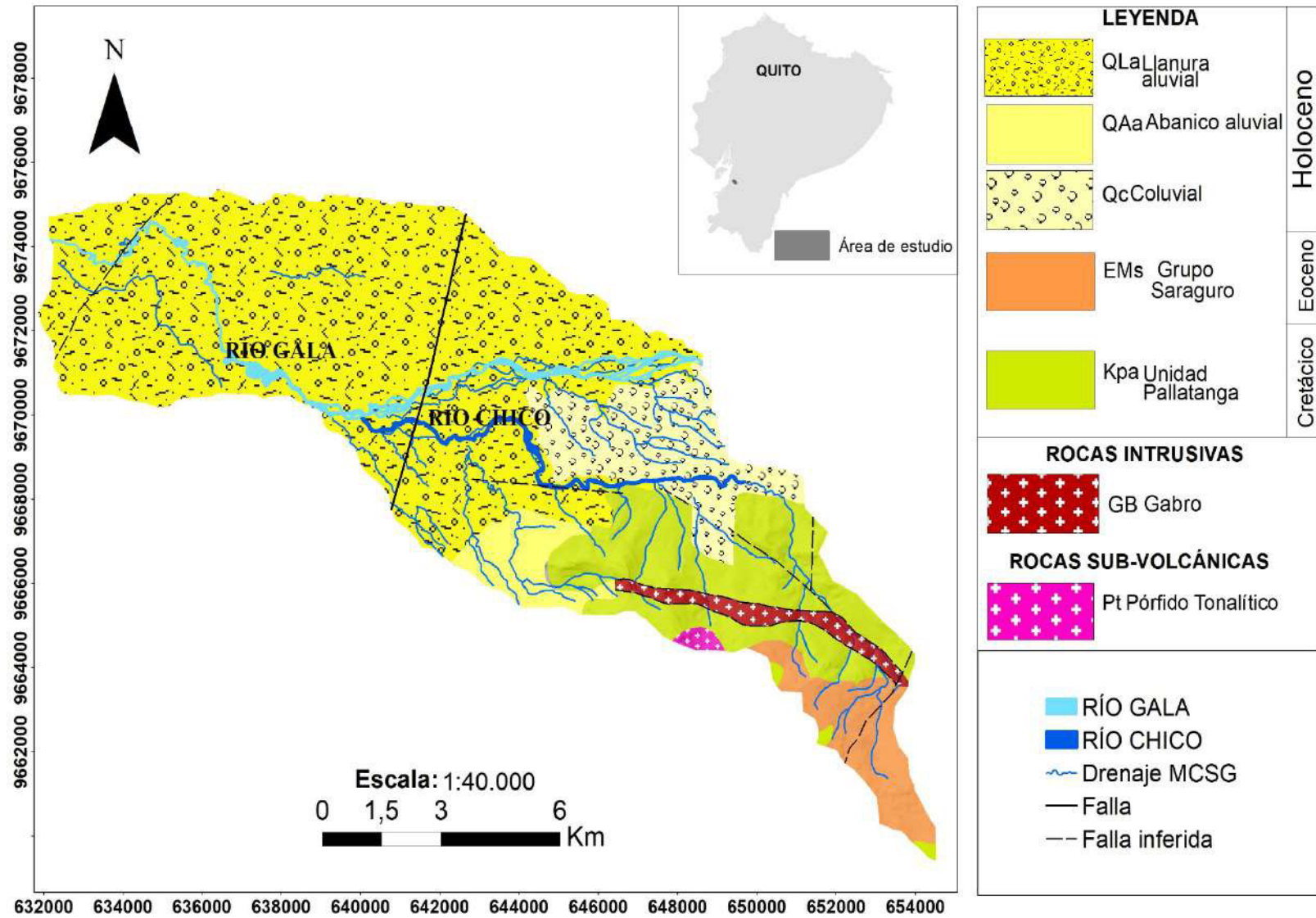


Figura 1.8 Unidades y Formaciones geológicas, depósitos cuaternarios, rocas intrusivas y sub-volcánicas del área de estudio (MCSG). Modificado de Cordovez et al. (2017) y Granda et al. (2017).

## **Microcuenca en distrito minero Nambija**

La MCNB se ubica geológicamente en la cordillera Real (Figura 1.6), por lo que se distinguen las siguientes Unidades geológicas, depósitos cuaternarios, rocas intrusivas, rocas sub-volcánicas y volcánicas.

### **Unidad Piuntza (Trpz)**

En la MCNB ocupa una extensión de 33 Km<sup>2</sup> (Figura 1.9) esta Unidad geológica está constituida por una secuencia no deformada de volcanosedimentos continentales y marinos, litológicamente está formada por calizas, lutitas calcáreas, limolitas, areniscas tobáceas, tobas, brechas andesíticas y dacíticas y flujos volcánicos (Litherland et al., 1994; PRODEMINCA, 2000). Existen cuerpos de skarn que han sido formados por el contacto con el Complejo Intrusivo Zamora (Litherland et al., 1994) (Figura 1.9). En la Quebrada Cumay aparecen brechas volcánicas y en el sector de la Quebrada Nambija existen tobas silicificadas, que en algunos sectores se encuentran skarnificadas (Granda et al., 2017) de edad Triásico Medio a Tardío por los fósiles y bivalvos encontrados en limolitas calcáreas skarnificadas (Litherland et al., 1994).

### **Unidad La Saquea (Jsa)**

Según Romeuf et al. (1995), corresponde a una fase lávica del arco volcánico calco-alcalino Misahuallí-Colán, razón por la cual, se le atribuye al Jurásico. Se compone de tobas lapillíticas andesíticas y dacíticas, brechas tobáceas, conglomerados con predominio de clastos metamórficos, areniscas y lutitas rojas; está en contacto térmico con el Complejo Intrusivo Zamora. Esta Unidad geológica ocupa una extensión de 9 Km<sup>2</sup> en la MCNB (Figura 1.9).

### **Coluviales (Qc)**

Están conformados por bloques, cantos, gravas, se caracterizan por ser heterogéneos y presentar rocas mal clasificadas y mal trabajadas dentro de un flujo de lodo. En el Río Congüime se ha desarrollado como producto de la meteorización física del Intrusivo Zamora, la cual ha convertido a estas rocas en suelos residuales (arcillas y limos), que por la influencia del agua tienden a deslizarse hacia las partes más bajas. (Granda et al., 2017; Egüez et al., 2017). Su extensión en la MCNB es de 0.14 Km<sup>2</sup> (Figura 1.9).

### **Abanico aluvial (QAa)**

Localizados en la ribera del Río Nangaritza, con un área de 2 Km<sup>2</sup> en la MCCH (Figura 1.9). Está formado por bloques, cantos rodados, gravas de rocas ígneas intrusivas de constitución media a ácida y arenas gruesas y finas (Granda et al., 2017; Egüez et al., 2017).

## **Complejo Intrusivo Zamora (Jz)**

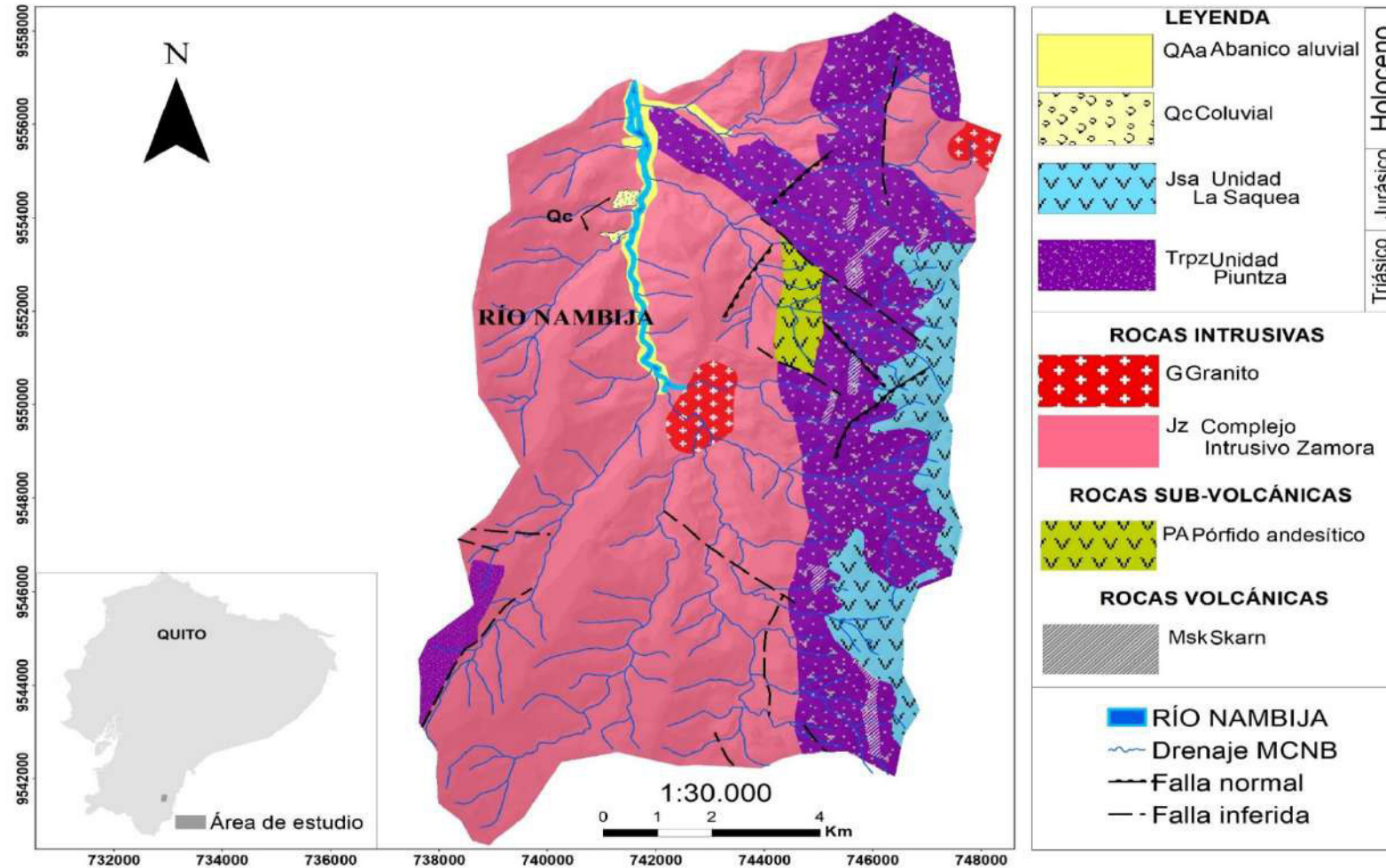
Según Litherland et al. (1994), es un batolito tipo "I" (origen ígneo) no deformado ni metamorfizado; está constituido principalmente por granodioritas horbléndicas, y en menor extensión granitos, monzogranitos, dioritas, cuarzodioritas y monzodioritas (Aspden et al., 1992). En la MCNB ocupa una extensión de 85 Km<sup>2</sup> (Figura 1.9). La edad ha sido determinada entre 170-190Ma, correspondiente al Jurásico Medio-Inferior (Litherland et al., 1994).

## **Pórfidos andesíticos (PA)**

Son rocas grises, con alto contenido de plagioclasa y menor proporción de feldespato potásico; son cuerpos locales de composición intermedia, afloran en la Quebrada Campanas (Granda et al., 2017; PRODEMICA, 2000). En la MCNB ocupa una extensión de 2 Km<sup>2</sup> (Figura 1.9).

## **Mineralizaciones**

El distrito minero Nambija, es un yacimiento aurífero ubicado en la provincia de Zamora Chinchipe en la parroquia San Carlos de las Minas, al SE de la cordillera Real. Las ocurrencias minerales en este distrito minero son afines a la actividad magmática y al fallamiento (PRODEMICA, 2000). Los depósitos y el tipo de mineralización son similares con ocurrencias auríferas relacionadas con skarns cupríferos, pórfidos Cu-Au y Cu-Mo, epitermales de baja sulfuración en vetas y brechas, aluviales (placeres auríferos) en la cuenca del Río Nambija y aledaños (Granda et al., 2017; Egüez et al., 2019). Los depósitos de tipo pórfido de cobre constituyen las minas de Cumay (Nambija Norte), El Tierrero (Nambija) y Tumi (Nambija Sur); los depósitos de skarn de norte a sur comprenden las minas: La Fortuna, Cambana, Campanillas, Nambija, Guayzimi Alto y Sultana del Cóndor. El oro nativo es la principal mineralización, la cual aparece generalmente libre, grueso y en casi todos los casos suele estar relacionado con la alteración de skarn (Léon, 2015). En zonas de alteración y a pequeña escala la ocurrencia del oro se da en diferentes asociaciones: en agregados o diseminado alrededor de vetillas o bolsonadas de cuarzo, diseminado en bolsonadas de cuarzo, diseminado en el microfraturamiento con cuarzo ahumado y en menos frecuencia asociado a sulfuros, en especial a la esfalerita y a la pirrita, aunque también pueden ocurrir en calcopirita y pirrotina (PRODEMICA, 2000).



**Figura 1.9** Unidades y Formaciones geológicas, depósitos cuaternarios, rocas intrusivas, sub-volcánicas y volcánicas del área de estudio (MCNB). Modificado de Granda et al. (2017).

## **Microcuenca en distrito minero Chinapintza**

La MCCH se ubica geológicamente en la Zona Subandina (Figura 1.6), por lo que se distinguen las siguientes Unidades geológicas, depósitos cuaternarios, rocas intrusivas y rocas volcánicas.

### **Unidad Plan (P?po)**

Según Litherland et al. (1994), la Unidad geológica Plan del Oso son los techos colgantes sobre el Complejo Intrusivo Zamora que están al este de la Falla Palanda, además sugiere que esas rocas podrían ser del cratón amazónico posiblemente del Precámbrico, consta de paragneis y ortogneis con textura nematoblástica migmatítica y cuarcitas, intruidos por diques de microdiorita y pegmatita, en Chinapintza se identifican esquistos sericíticos muy deformados (Granda et al., 2017). En el área de estudio (MCCH) ocupa una extensión de 7 Km<sup>2</sup> (Figura 1.10).

### **Unidad Pachicutza (Trpch)**

Es una unidad volcánica, formada principalmente de rocas volcánicas y volcanoclásticas básicas de afinidad MORB (Granda et al., 2017; Litherland et al., 1994). Al este del Río Nangaritza, se encuentra un importante afloramiento, el cual presenta una secuencia de pillow lavas, lavas basálticas y lavas andesíticas-basálticas, además de tobas, brechas volcánicas y conglomerados. Por relación estratigráfica se le atribuye al Triásico (Litherland et al., 1994). En la MCCH ocupa una extensión de 10 Km<sup>2</sup> (Figura 1.10) está intruida por el Complejo Intrusivo Zamora.

### **Unidad Congüime (PL ?)**

Es la unidad geológica comprendida por dacitas, riolitas, depósitos volcano-sedimentarios además de sedimentos de origen volcánico; tobas andesíticas-dacíticas, tobas de lapilli intercaladas con areniscas feldespáticas y grauwas, depositadas en ambientes fluviales y lacustres, posiblemente del Plioceno (Granda et al., 2017; Egüez et al., 2017). En la MCCH ocupa un área de 6 Km<sup>2</sup> (Figura 1.10).

### **Abanico aluvial (QAa)**

Localizado en la ribera del río las quebradas Congüime y Chinapintza, con un área de 8 Km<sup>2</sup> en la MCCH (Figura 1.10). Está constituida por bloques, cantos rodados, gravas de rocas ígneas intrusivas de composición intermedia a ácida y arenas gruesas y finas (Granda et al., 2017; Egüez et al., 2017).

## **Complejo Intrusivo Zamora (Jz)**

Corresponde a una cadena de batolitos tipo "I" no deformados ni metamorfizados (Litherland et al, 1994). Está constituido principalmente por granodioritas horbléndicas, y en menor extensión granitos, monzogranitos, dioritas, cuarzodioritas y monzodioritas (Aspden & Litherland, 1992). En la MCCH ocupa una extensión de 40 Km<sup>2</sup> (Figura 1.10); sobre este intrusivo se disponen rocas volcánicas y volcano-sedimentarias Jurásicas y rocas sedimentarias del Cretácico (Granda et al., 2017).

## **Mineralizaciones**

El distrito minero Chinapintza está ubicado al SE de la Zona Subandina en el límite fronterizo con el Perú, al SE de la provincia de Zamora Chinchipe (PRODEMINCA, 2000). Presenta mineralizaciones de oro y plata en forma metálica y en algunos casos, en forma refractaria. Se asocia con mineralizaciones de sulfuros (Guerrero, 2014). Presenta vetas complejas conformadas por sulfuros masivos (Egüez et al., 2019).



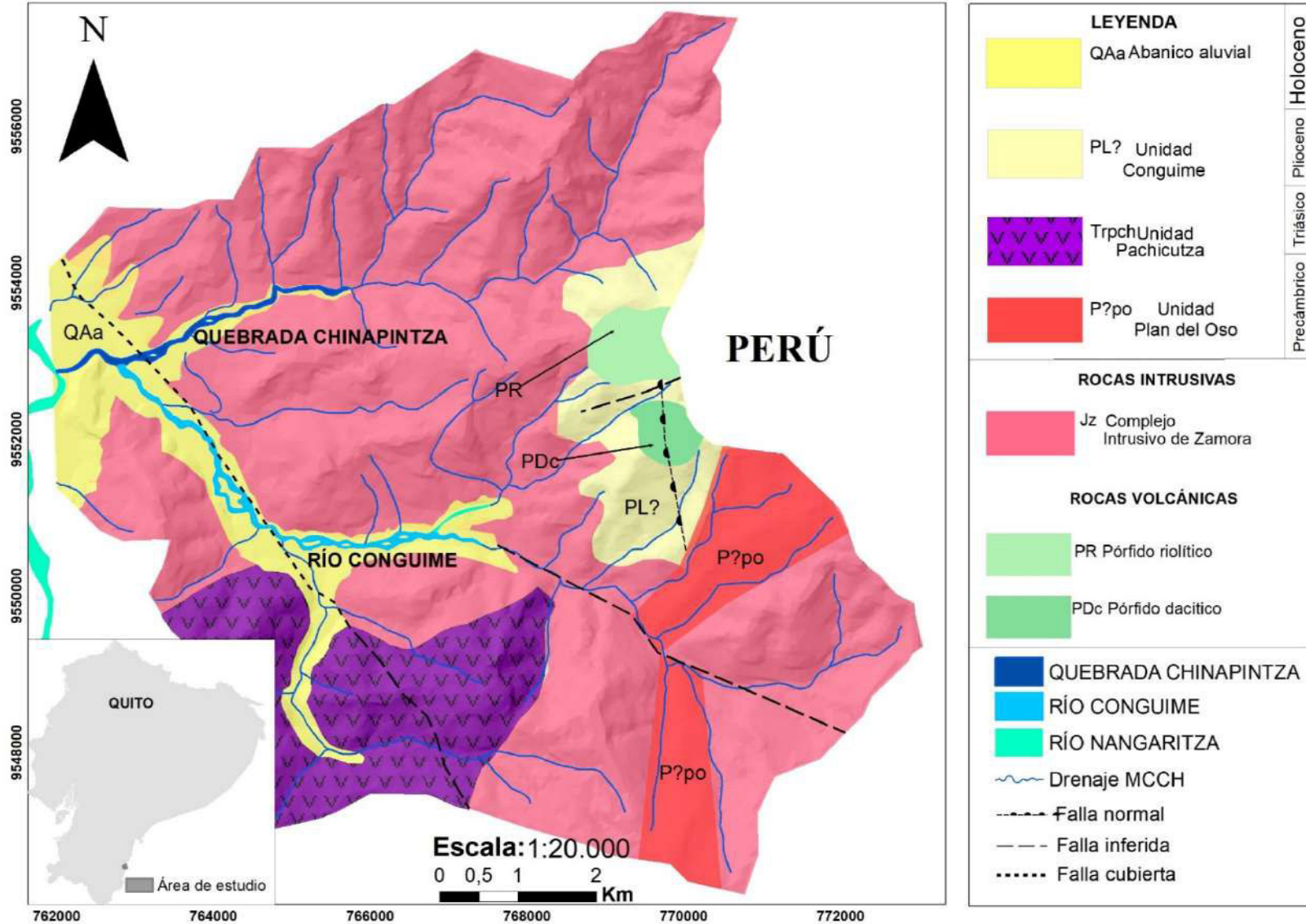


Figura 1.10 Unidades geológicas, depósitos cuaternarios, rocas intrusivas y rocas volcánicas del área de estudio (MCCH). Modificado de Granda et al. (2017)

## **1.2. Distribución de las variables del suelo**

Las variables fisiográficas (pendiente) e intrínsecas (textura y taxonomía) del suelo (Anexo A), de las áreas de estudio, publicados en el GeoPortal del Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca (MAGAP) a escala 1:100.000 se encuentran detalladas a continuación.

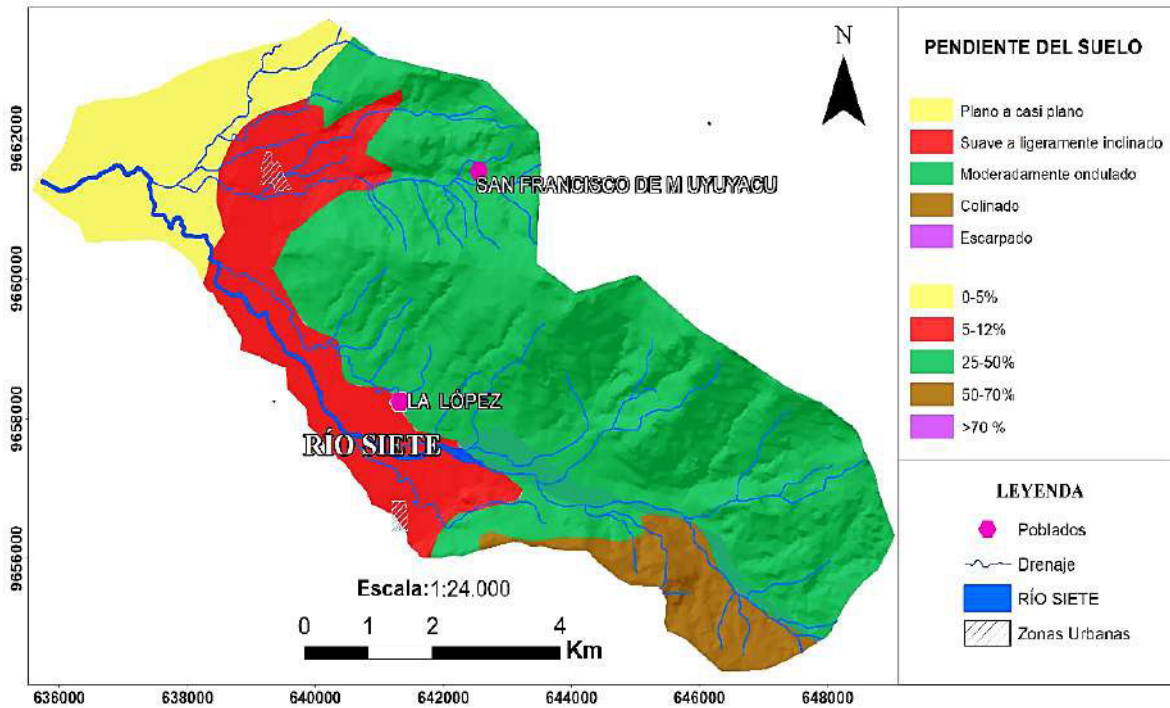
### **1.2.1 Pendiente del terreno**

La pendiente o cambio de elevación del terreno se definió con base en el porcentaje de la tasa de cambio de la altura superficial con respecto a la distancia horizontal. Su clasificación se realizó en función de los rangos establecidos por el MAGAP (Anexo A).

La pendiente del suelo es un factor importante que implica, a mayor pendiente mayor velocidad de circulación de agua y menor tiempo de concentración de la misma en el suelo. A su vez, a menor pendiente menor velocidad de circulación de agua y mayor concentración en el suelo (Sierra, 1999).

#### **Microcuencas en distrito minero Bella Rica**

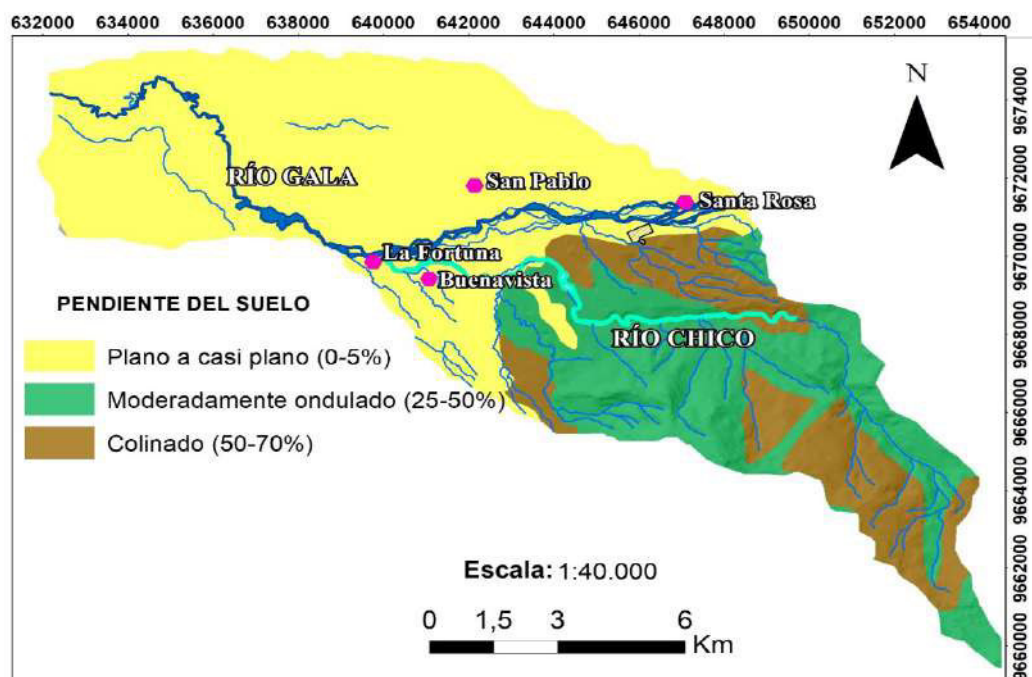
De acuerdo con la Figura 1.11, se puede identificar cuatro rangos principales de la pendiente del suelo: plana a casi plana (0-5%) ocupa el 17% del área total; suave a ligeramente inclinado (5-12%) contempla el 22%, moderadamente ondulado (25-50%) representa el 45%, y pendiente colinada (50-70%) el 8%.



**Figura 1.11** Clasificación de la variable fisiográfica pendiente del suelo del área de estudio (MCBR). Se incluyen los ríos principales, drenaje, poblados dentro del área de estudio y los rangos de la pendiente.

### Microcuenca en distrito minero San Gerardo

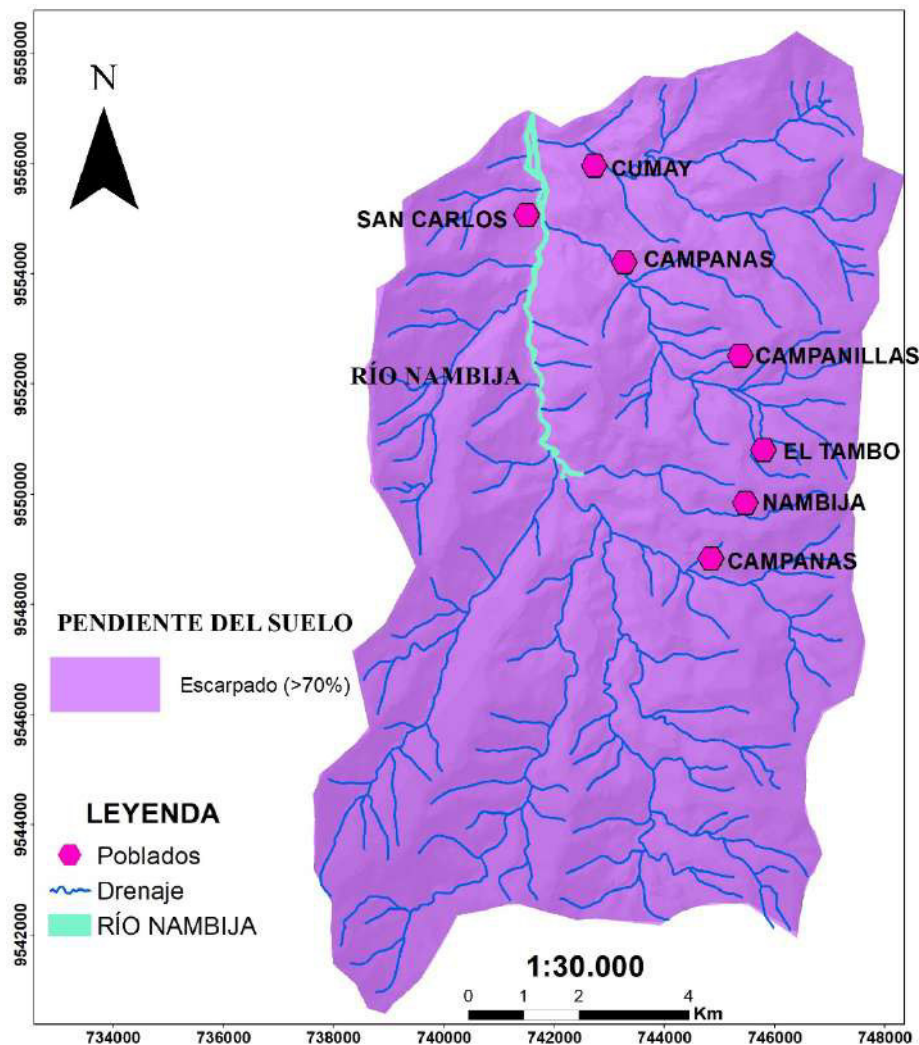
De acuerdo con la Figura 1.12, las pendientes planas a casi planas (0-5%) ocupa el 48% del área total; pendientes moderadamente ondulados (25- 50%) representan el 26%, y pendientes colinadas (50-70%) contemplan el 18% en la MCSG.



**Figura 1.12** Clasificación de la variable fisiográfica pendiente del suelo del área de estudio (MCSG). Se incluyen los ríos principales, drenaje, poblados dentro del área de estudio y los rangos de la pendiente.

### Microcuenca en distrito minero Nambija

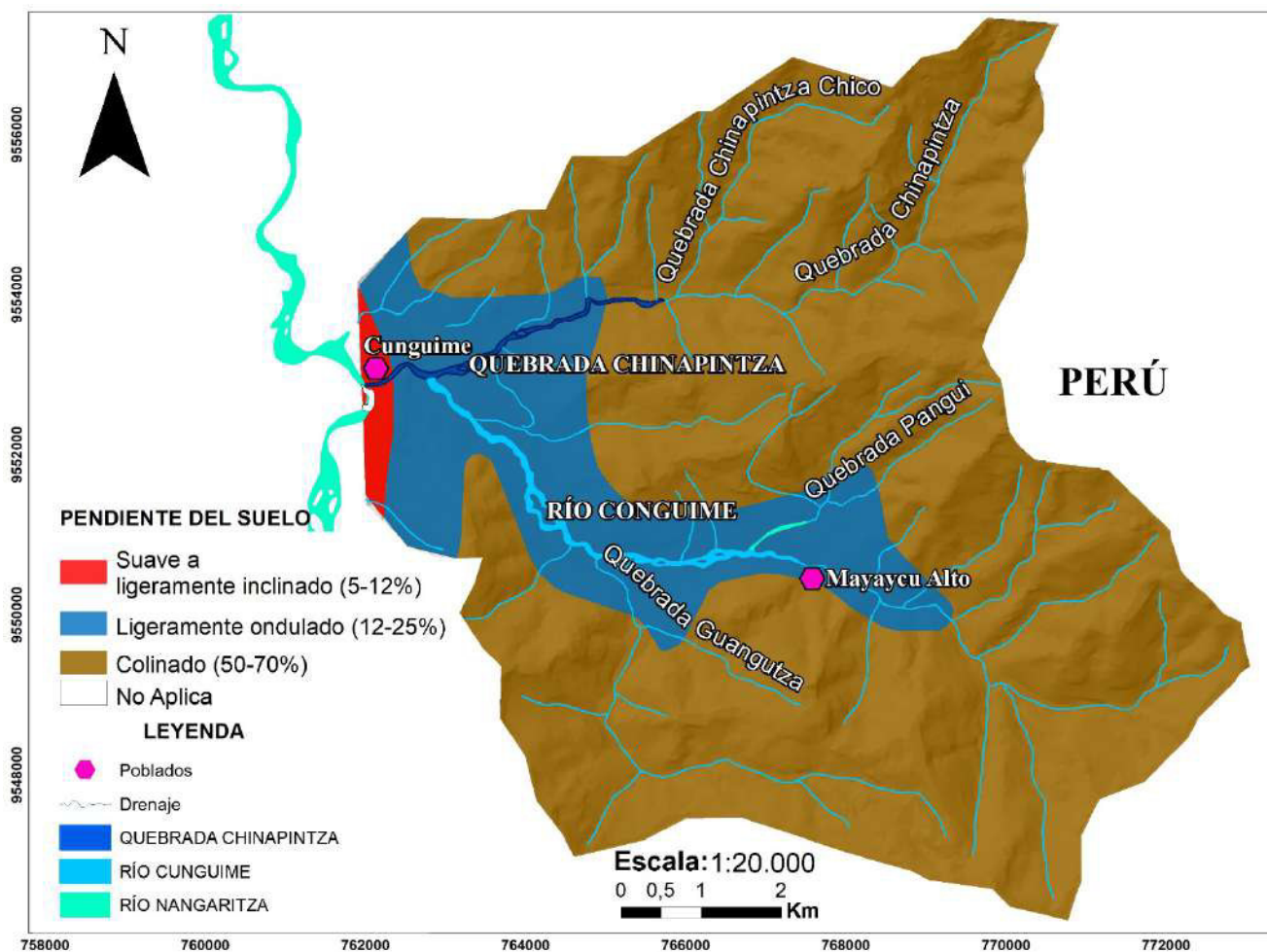
De acuerdo con la Figura 1.13, la pendiente escarpada (>70%) se encuentra en toda la MCNB.



**Figura 1.13** Clasificación de la variable fisiográfica pendiente del suelo del área de estudio (MCNB). Se incluyen los ríos principales, drenaje, poblados dentro del área de estudio y los rangos de la pendiente.

### Microcuenca en distrito minero Chinapintza

De acuerdo con la Figura 1.14, las pendientes suaves a ligeramente onduladas ocupan el 4% del área total en la MCCH, mientras que las pendientes ligeramente onduladas (12-25%) representan el 18% del área de estudio, y las pendientes colinadas se extienden por el 72% del total del área de estudio.

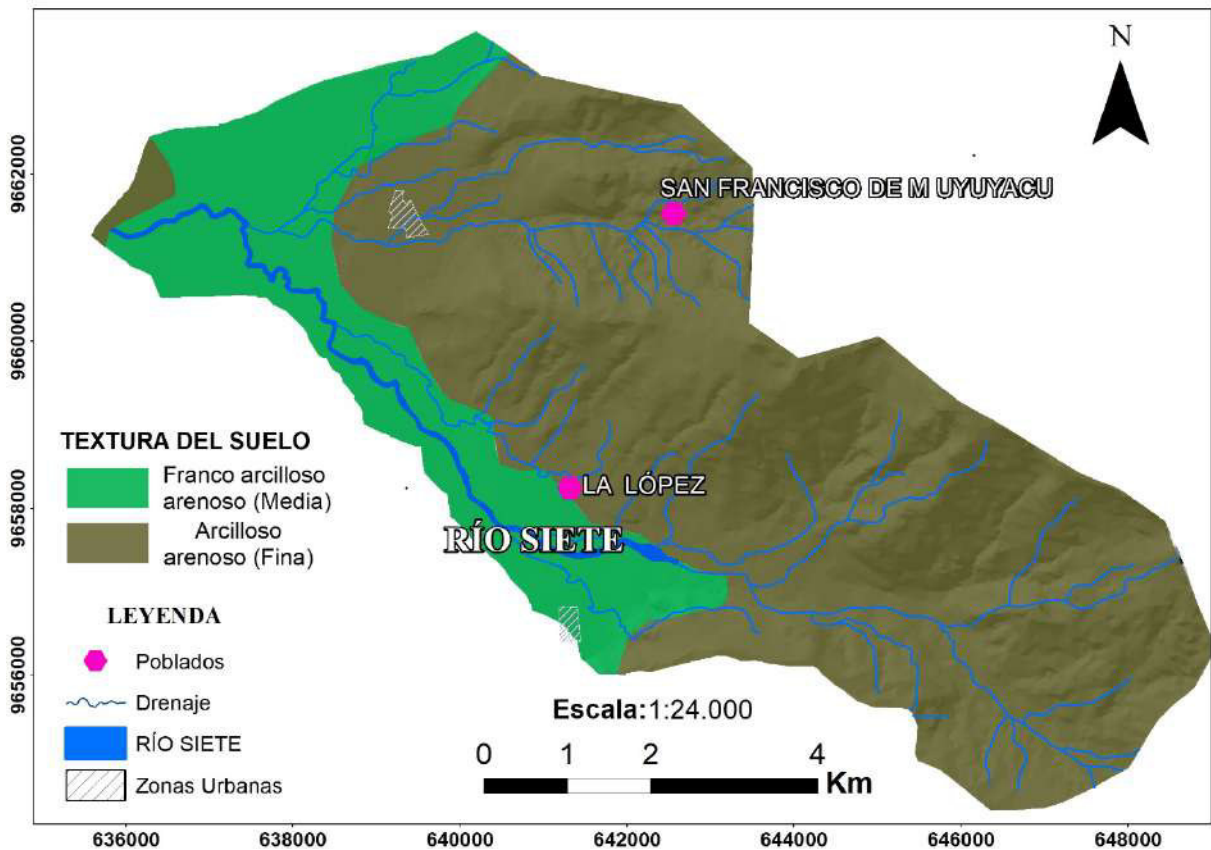


**Figura 1.14** Clasificación de la variable fisiográfica pendiente del suelo del área de estudio (MCCH). Se incluyen los ríos principales, drenaje, poblados dentro del área de estudio y los rangos de la pendiente

## 1.2.2 Textura del suelo

### Microcuenca en distrito minero Bella Rica

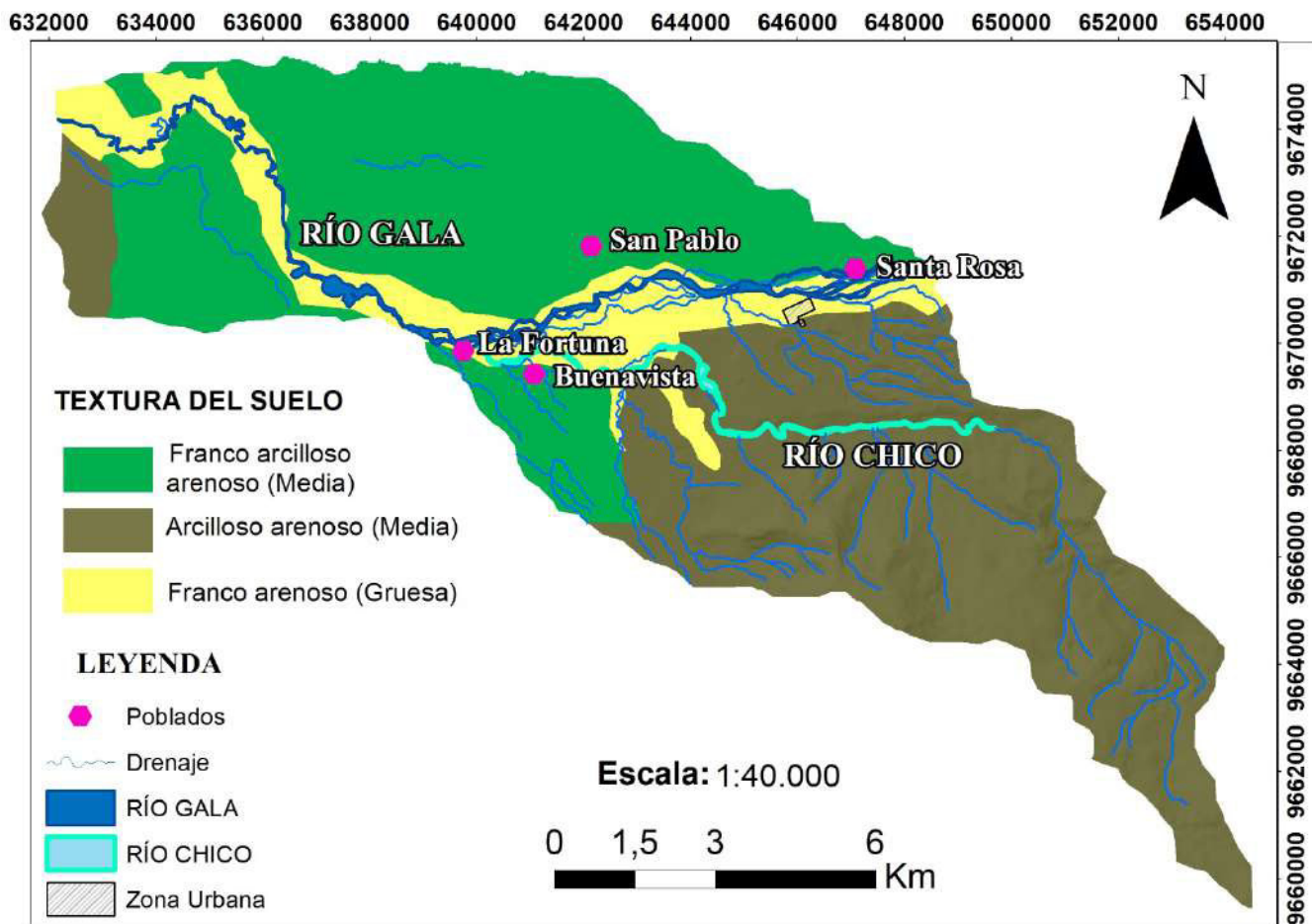
De acuerdo con la clasificación de la Figura 1.15, la textura más abundante en la MCBR es arcillosa arenosa (58%), seguido de la textura franco arcilloso arenoso con 34% del total del área de estudio. Presenta altos contenidos de arcilla por desarrollo in situ, principalmente en zonas de acumulación de sedimentos.



**Figura 1.15** Clasificación de la variable intrínseca textura del suelo del área de estudio (MCBR). Se incluyen los ríos principales, drenaje, poblados dentro del área de estudio.

### Microcuenca en distrito minero San Gerardo

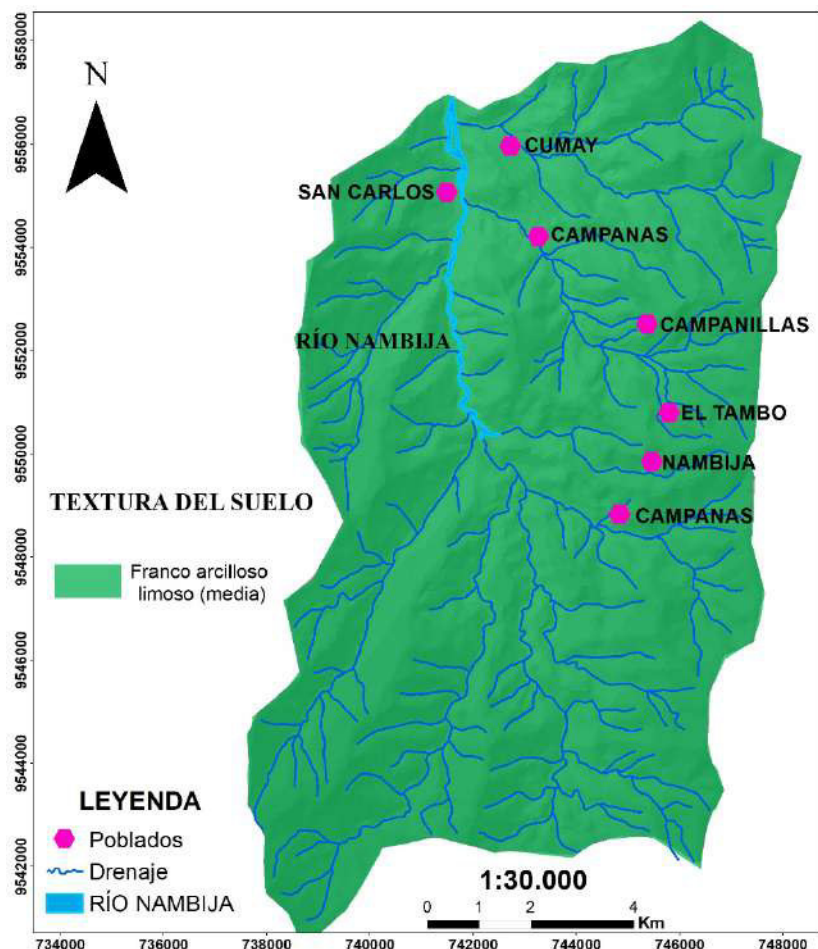
En la MCSG las texturas que predominan son: textura franco arcillosa arenosa (media) y la textura arcillosa arenosa (media) con 36% y 42% respectivamente, y la textura franco arenosa (gruesa) con un 14% del total área de estudio (Figura 1.16). Presenta altos contenidos de arcilla por desarrollo *in situ*, principalmente en zonas de acumulación de sedimentos.



**Figura 1.16** Clasificación de la variable intrínseca textura del suelo del área de estudio (MCSG). Se incluyen los ríos principales, drenaje, poblados dentro del área de estudio.

### Microcuenca en distrito minero Nambija

En la MCNB la textura de toda el área de estudio es media franco arcillosa limosa. Figura 1.17.

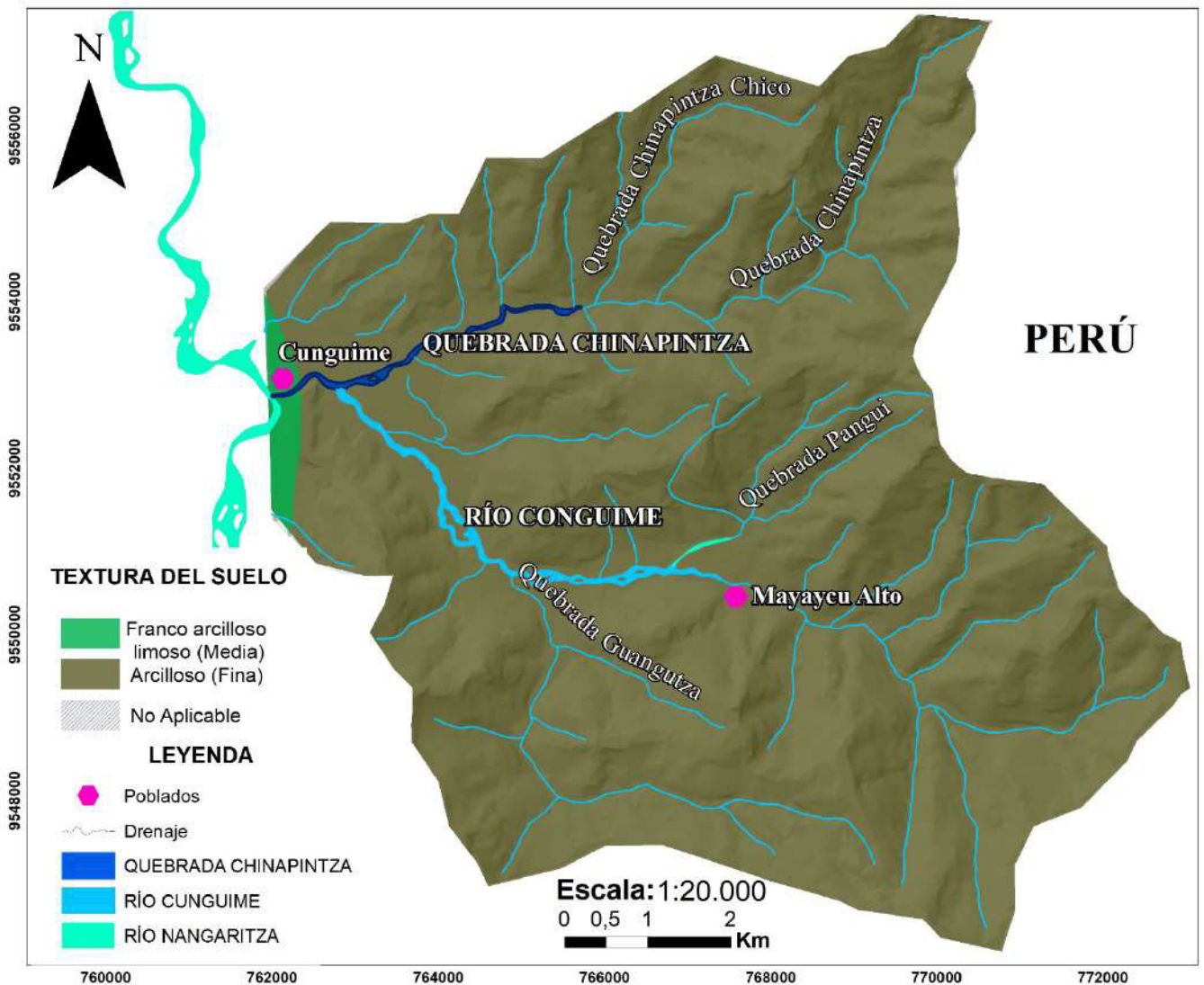


**Figura 1.17** Clasificación de la variable intrínseca textura del suelo del área de estudio (MCNB). Se incluyen los ríos principales, drenaje, poblados dentro del área de estudio

### Microcuenca en distrito minero Chinapintza

En la Figura 1.18, se muestra que la textura dominante de esta microcuenca hidrográfica (MCCH) es la textura fina arcillosa (88%), y una pequeña parte (4%) del total de área de estudio es la textura media franco arcilloso limoso.



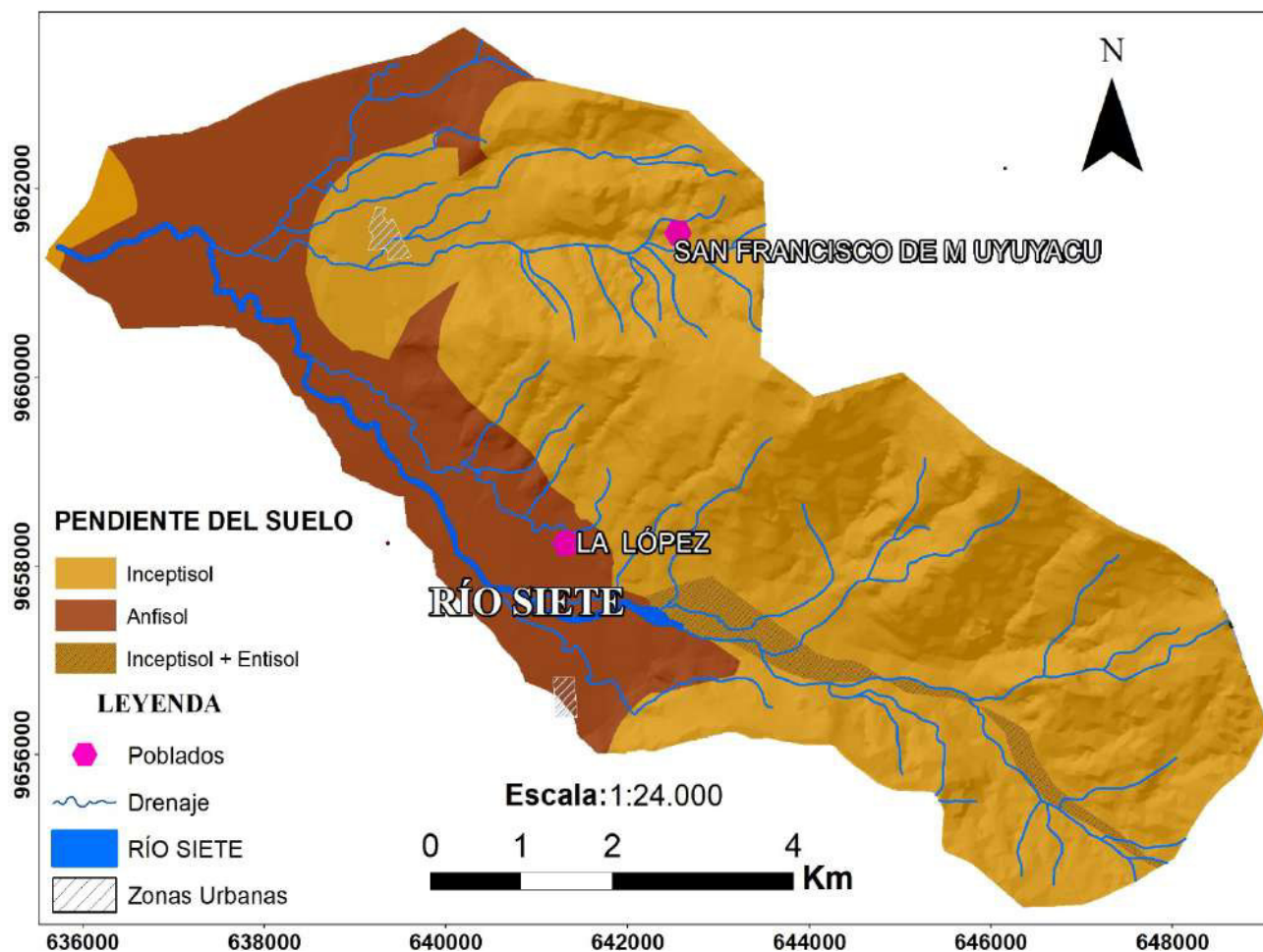


**Figura 1.18** Clasificación de la variable intrínseca textura del suelo del área de estudio (MCCH). Se incluyen los ríos principales, drenaje, poblados dentro del área de estudio.

### 4.1.3 Taxonomía del suelo

#### Microcuenca en distrito minero Bella Rica

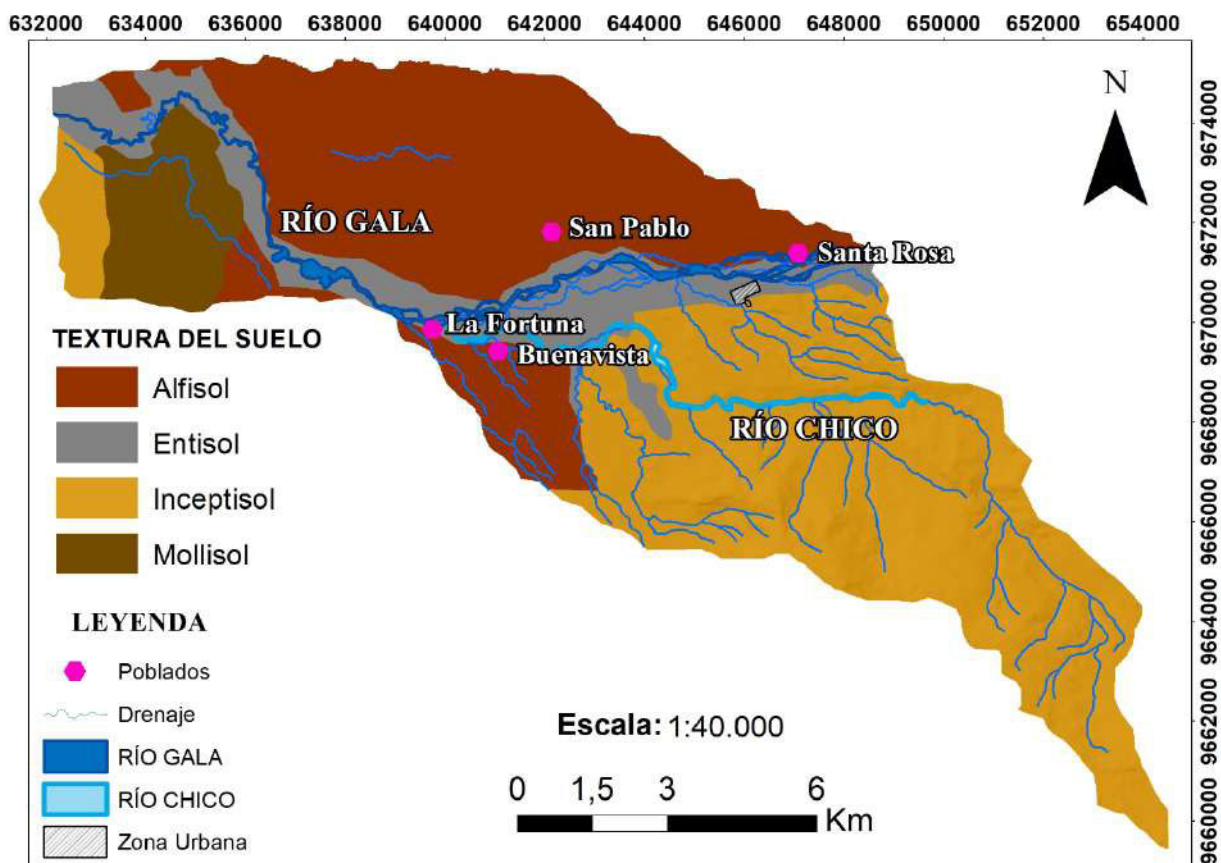
De acuerdo con la clasificación del Anexo A, los suelos más abundantes son los inceptisoles (40%), que corresponden a suelos derivados de depósitos fluviónicos como residuales. En la MCBR los inceptisoles presentan una textura arcillosa arenosa. Los alfisoles (suelos maduros) ocupan un 38% del total del área de estudio y corresponden a suelos con moderada a alta saturación con un horizonte argilítico. La textura es franco arcilloso arenoso, los suelos inceptisoles más entisoles (4%) pertenecen a la mezcla de suelos derivados de depósitos fluviónicos y residuales con suelos minerales derivados de materiales aluviónicos (Figura 1.19).



**Figura 1.19** Clasificación de la variable intrínseca taxonomía del suelo del área de estudio (MCBR). Se incluyen los ríos principales, drenaje, poblados dentro del área de estudio.

### Microcuenca en distrito minero San Gerardo

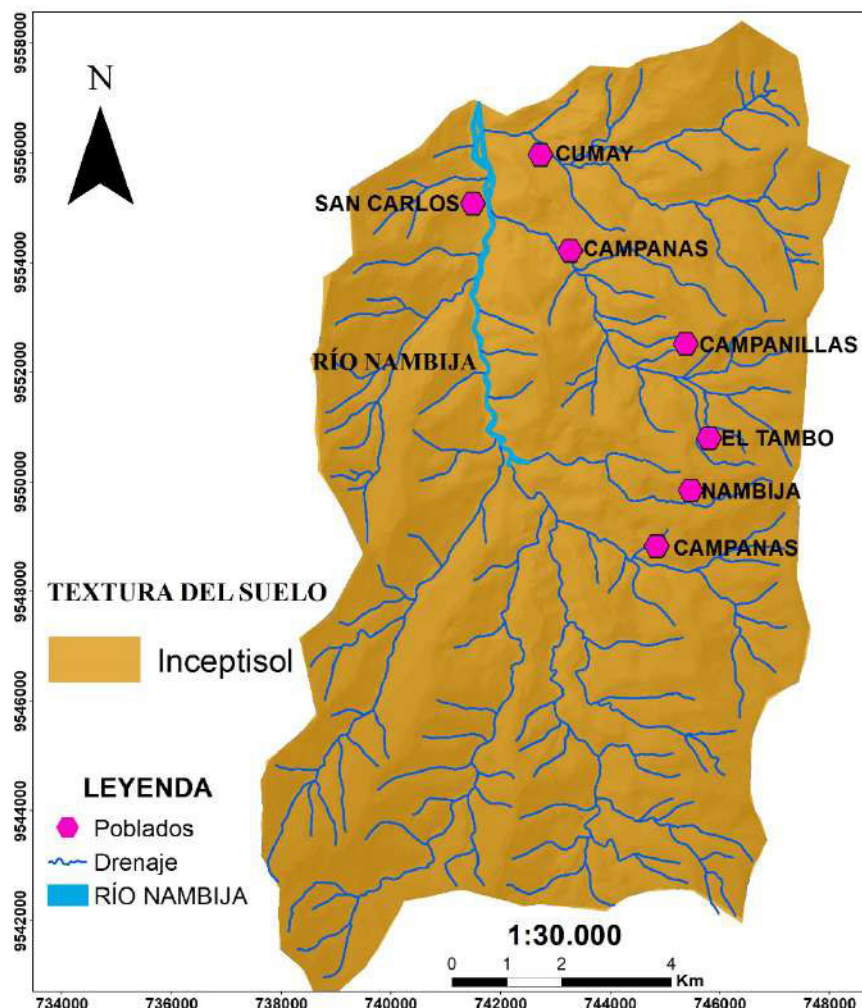
En la MCSG los suelos abundantes son los alfisoles (suelos maduros) (34%) e inceptisoles (36%), que corresponden a suelos con moderada a alta saturación con un horizonte argilítico y a suelos derivados de depósitos fluviónicos y residuales con textura media franco arcilloso arenoso y arcilloso arenoso, respectivamente, seguido de entisoles (suelos jóvenes) correspondientes a suelos minerales derivados de materiales aluviónicos y residuales. Es decir, suelos superficiales, con textura gruesa franco arenosa (14%), y mollisoles (8%) que representa a suelos superficiales a moderadamente profundos desarrollado de materiales volcánicos y sedimentarios (Figura 1.20)



**Figura 1.20** Clasificación de la variable intrínseca taxonomía del suelo del área de estudio (MCSG). Se incluyen los ríos principales, drenaje, poblados dentro del área de estudio

### Microcuenca en distrito minero Nambija

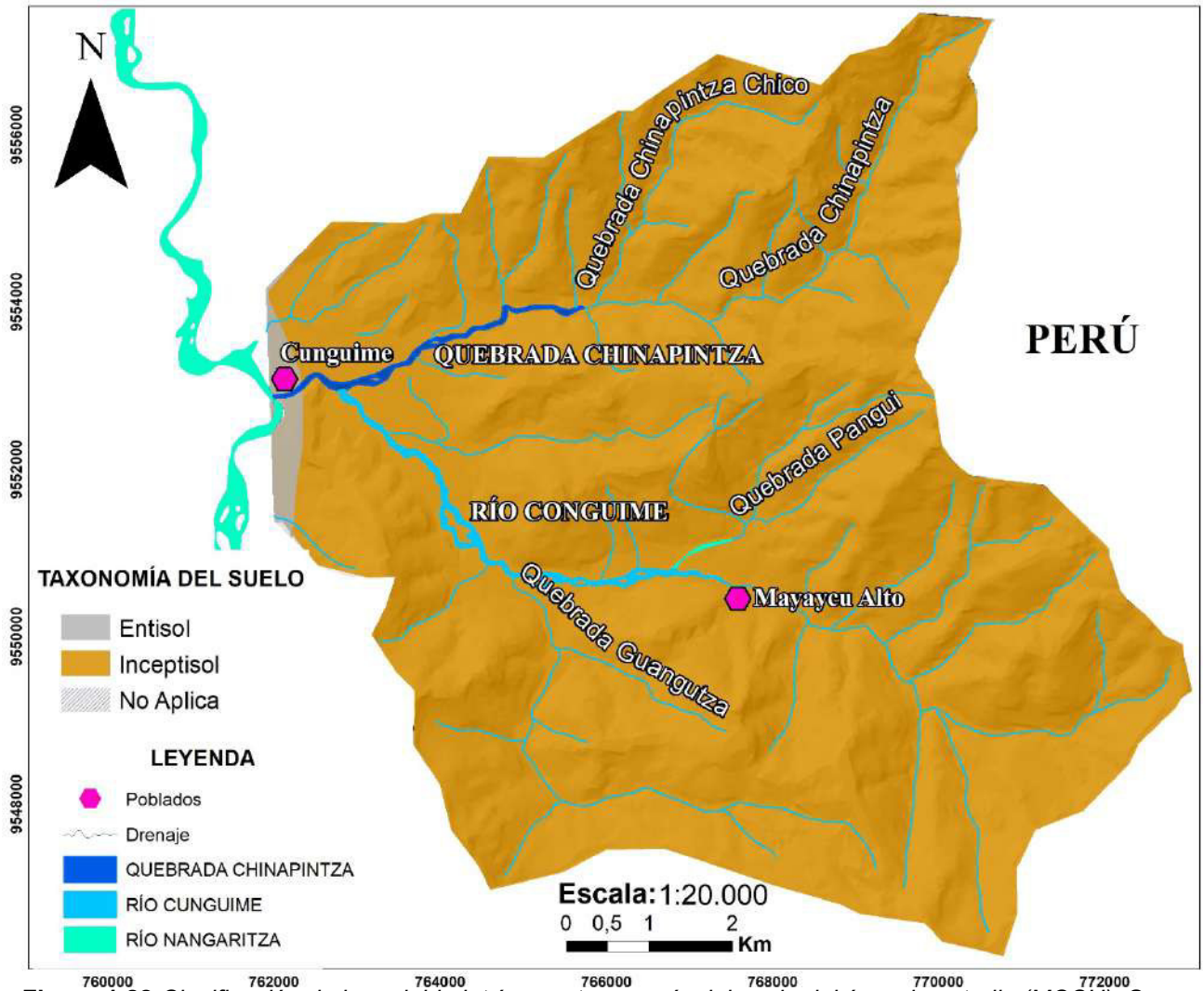
De acuerdo con la Figura 1.21, en la MCNB el único suelo es el inceptisol correspondiente a suelos derivados de depósitos fluviónicos y residuales, con textura franco arcilloso limoso. Estos suelos son relativamente jóvenes menos desarrollados que los suelos entisoles, debido a que sus procesos de formación no han actuado con intensidad.



**Figura 1.21** Clasificación de la variable intrínseca taxonomía del suelo del área de estudio (MCNB). Se incluyen los ríos principales, drenaje, poblados dentro del área de estudio.

### Microcuenca en distrito minero Chinapintza

En la MCCH el suelo abundante es inceptisol (58%), de textura fina arcillosa, seguido del suelo entisol (4%) (Suelo superficial) en estado avanzado de erosión por falta de un manejo adecuado presenta textura media franco arcillosa limosa (Figura 1.22).



**Figura 1.22** Clasificación de la variable intrínseca taxonomía del suelo del área de estudio (MCCH). Se incluyen los ríos principales, drenaje, poblados dentro del área de estudio.

# 1. MARCO TEÓRICO

## 2.1. Cuenca hidrográfica

### 2.1.1. Definición

Es un área natural o una unidad fisiográfica, definida por el relieve de la zona, donde las aguas superficiales fluyen naturalmente a un mismo cauce (río, lago, laguna o mar), está conformada por varias subcuencas y/o microcuencas (Vásconez et al., 2019) (Figura 2.1).

Las cuencas hidrológicas interactúan continuamente con los recursos naturales y las actividades humanas que allí se desarrollan, teniendo diferentes impactos (positivos y negativos) sobre la naturaleza y la vida humana (Chow et al., 1988), por lo que se utilizan como mecanismo de planificación de los recursos hídricos.

En Ecuador se utiliza el concepto de Demarcación Hidrográfica que según SENAGUA (2014), es la agrupación de una o varias cuencas hidrográficas, considerando su homogeneidad climática y espacial.

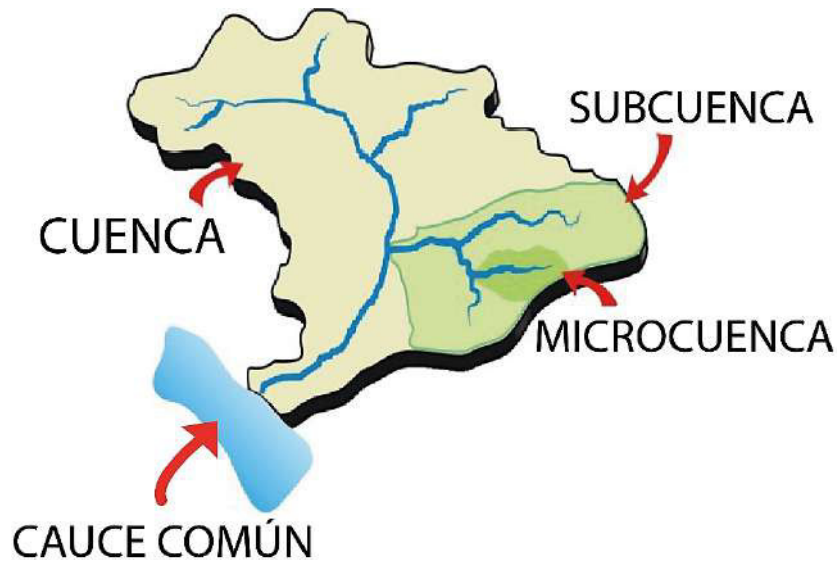
### 2.1.2. Elementos de una cuenca hidrográfica

#### Divisoria de aguas

Es el contorno imaginario de la cuenca hidrográfica que separa las cuencas cercanas. Se ubica en la parte más alta de la cordillera, y distribuye el caudal natural por un sistema de canales que fluyen hacia la salida común de la cuenca (Vásconez et al., 2019) (Figura 2.2).

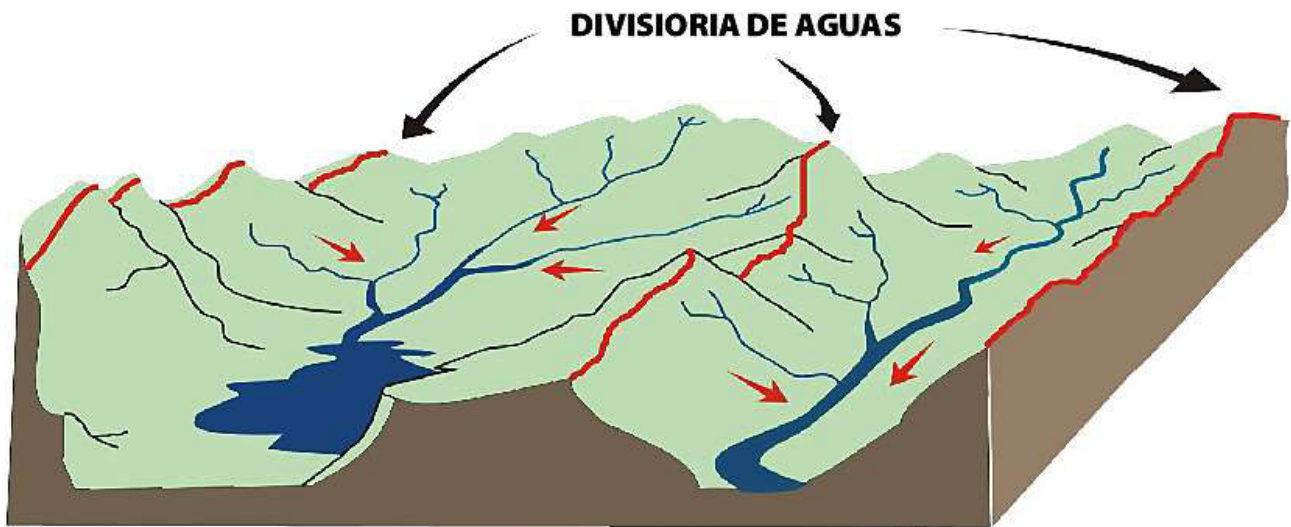
#### Río principal

Es aquel que posee la mayor longitud y/o conduce-colecta el mayor caudal (Vásconez et al., 2019). Se pueden distinguir tres partes:



**Figura 2.1** Cuenca hidrográfica. Modificado de Vásconez et al. (2019).

1. Curso superior (parte más elevada): caracterizado por pequeños caudales que provienen de deshielos, manantiales o afloramientos naturales de agua, por sus pendientes fuertes la velocidad del cauce es elevado y por tanto es un flujo erosivo. Las aguas captadas en este tramo del río generalmente son de buena calidad debido a que en esta parte del río no se tiene contaminación ni puntual ni difusa (Figura 2.3).
2. Curso medio: cambia constantemente de dirección mantiene valores de caudales constantes durante todo el año, el nivel de contaminación es medio a alto por la interacción antropogénica (minería, agricultura, ganadería, etc.). No presenta flujos erosivos ni flujos que induzcan a la sedimentación (Figura 2.3).
3. Curso inferior: el río va llegando a su destino final (ríos mayores o zonas bajas), generalmente esta zona está conformada por terrenos planos, la velocidad del flujo es muy baja lo que induce a la sedimentación en el fondo del cauce (el sedimento se deposita) formando las llanuras aluviales o valles (Figura 2.3).



**Figura 2.2** *Divisoria de aguas de una cuenca hidrográfica. Las flechas de color rojo indican el sistema de drenaje de la cuenca. Modificado de Vásconez et al. (2019).*

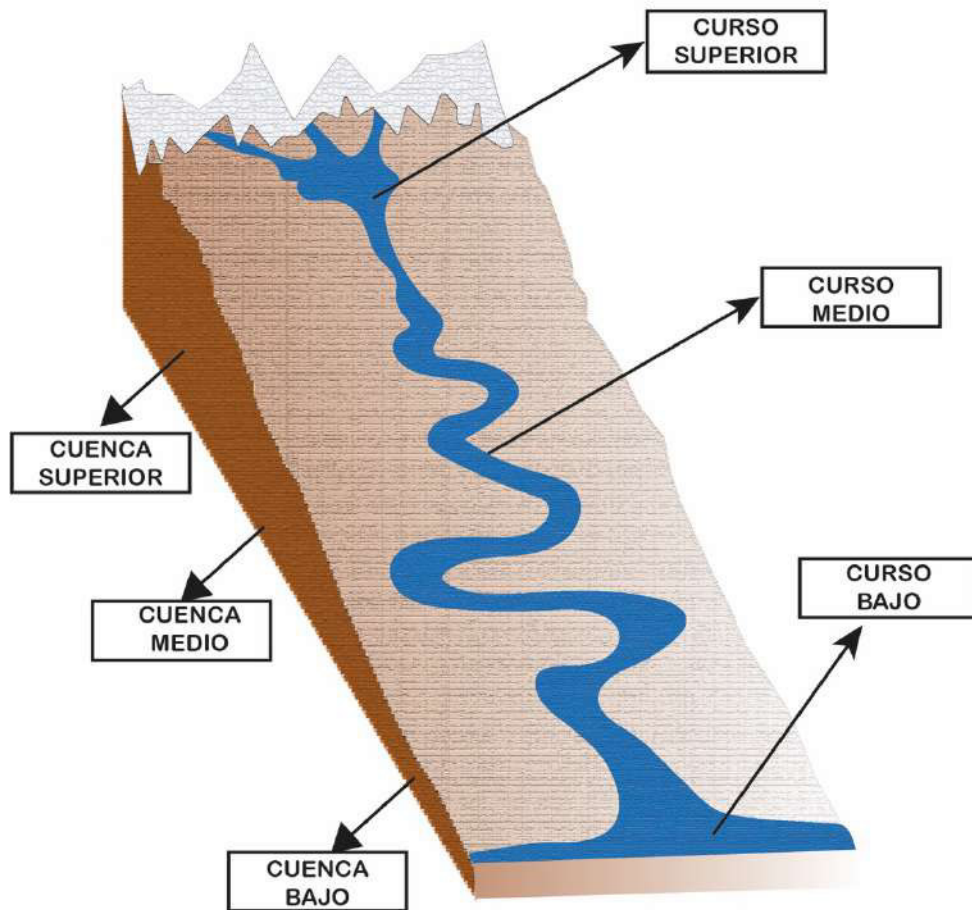
### **Sistema de drenaje**

Según García et al. (1997) es aquel que reúne todo el caudal que proviene de los ríos secundarios (afluentes), quebradas, precipitaciones y escurrimientos permanentes, para conducirlos hacia un cauce principal o común (río, lago, laguna o mar) (Figura 2.2).

### **Relieve**

El relieve de una cuenca hidrográfica es la forma superficial de la corteza terrestre, formada a lo largo de millones de años bajo la acción de fuerzas compresivas internas y externas, formando cadenas montañosas, quebradas, valles, mesetas, etc., (Gaspari et al., 2013).





**Figura 2.3** Partes de un río y cuencas hidrográficas según su elevación relativa. Modificado de Vásquez et al. (2019).

### 2.1.3. Clasificación de las cuencas hidrográficas

#### 2.1.3.1. Según el sistema de drenaje

##### **Cuencas exorreicas o abiertas**

Son cuencas hidrográficas que drenan sus aguas superficiales en un río principal, que luego desembocará en el mar u océano. En Ecuador, la mayoría de las cuencas hidrográficas son de este tipo y pertenecen a dos vertientes (SENAGUA, 2014).

1. Vertiente del Pacífico, son aquellas que desembocan en el océano Pacífico, y;
2. Vertiente del Amazonas, son aquellas que desembocan en el río Amazonas (luego desembocará en el océano Atlántico).

### **Cuencas endorreicas o cerradas**

Estas son cuencas hidrográficas en las que la superficie de salida de agua superficial está dentro de la misma cuenca, es decir, que no tienen comunicación fluvial con mares u océanos. Como consecuencia se forman aguas estancadas (Vásconez et al., 2019).

### **Cuencas arreicas**

Son aquellas cuencas hidrográficas cuya agua antes de desembocar en otro cuerpo de agua se infiltra o se evapora en el subsuelo. En Ecuador, un ejemplo de este tipo de cuencas son los páramos (Vásconez et al., 2019).

## **2.1.3.2. Según la elevación relativa**

### **Cuenca alta**

Ubicada en partes altas, en las nacientes de los ríos, presenta una topografía regularmente montañosa, habitualmente cubierta de bosque o páramo. Es un área húmeda, donde se constituyen los primeros escurrimientos (Figura 2.3), luego de que los suelos han absorbido toda el agua según su volumen. Esta es la superficie que recolecta y almacena la lluvia (García et al., 1997).

### **Cuenca media**

Situada entre montañas y zonas más o menos planas, es una zona de transición entre las cuencas altas y bajas (Figura 2.3), con un número reducido de arroyos y ríos. Conocidas como zonas transportadoras de sedimentos, contaminantes y materia orgánica, es un área de transporte y erosión (García et al., 1997).

### **Cuenca baja**

Es aquella que presenta menor pendiente, un cauce definido y una amplia planicie de inundación. También conocida como zona de sedimentación o descarga, es el espacio por donde los grandes ríos ingresan a un cuerpo de agua (García et al., 1997) (Figura 2.3). Es el área donde generalmente hay asentamientos humanos por lo que esta región mostrará las afectaciones que hayan concurrido en el resto de la cuenca (Johnson et al., 1997).

### 2.1.3.3. Según el área

No existe un acuerdo general sobre el tamaño del área que debe tener una cuenca hidrográfica para su clasificación (SENAGUA, 2014). Aun así, si existen algunas clasificaciones de uso permanente como el recomendado por el Instituto Ecuatoriano Forestal y de Áreas Forestales (INEFAN). Este sistema de clasificación se presenta en la Tabla 2.1.

**Tabla 2.1** Clasificación de cuencas hidrográficas según el área.

Clasificación	Definición	Área Km <sup>2</sup>
Demarcación hidrográfica	Agrupación de una o varias cuencas hidrográficas.	> 3000
Cuenca	Área natural definida por el relieve de la zona, donde las aguas superficiales fluyen naturalmente a un mismo cauce, conformada por varias subcuencas o microcuencas.	1001-3000
Subcuenca	Afluentes del río principal que tienen un caudal fluctuante pero permanente, es un conjunto de microcuencas.	151-1000
Microcuenca	Es una pequeña área conformada por varios cauces secundarios cuyo drenaje va a dar al cuerpo hídrico principal de una subcuenca.	40-150

## 2.2. El Ciclo Hidrológico

### 2.2.1. Definición

El setenta por ciento (70%) de la superficie terrestre está cubierta por agua. Como tal, se considera un recurso no renovable y el más importante para la vida. El 97,5% del agua superficial es agua salada y el 2,5% es agua dulce, de las cuales solo el 1% es apta para el consumo humano (Chow et al., 1988).

El ciclo hidrológico se puede representar como un sistema cerrado, a escala global, regional y local (Martínez et al., 2006), que está en permanente movimiento y donde ocurre la transferencia de agua, en sus tres estados (líquido, sólido y gaseoso) (Figura 2.4).

El movimiento del agua en el planeta está inducido por la energía solar, la cual transforma en vapor las aguas superficiales tanto terrestres como oceánicas; a su vez, el vapor es transportado por el viento hacia la atmósfera y condensado en forma de nubes, para después caer como precipitación (lluvia, granizo, nieve, etc.), sobre continentes; parte de esta precipitación permanece temporalmente como humedad del suelo y la otra fracción se infiltra por debajo de la superficie como agua subterránea. La acumulación de las precipitaciones forma los ríos y arroyos, que posteriormente descargan el agua en los océanos (Campos, 1998) (Figura 2.4).



Figura 2.4 Componentes y flujo del agua en el ciclo hidrológico. Modificado de Cotler et al. (2013).

## 2.2.2. Componentes del Ciclo Hidrológico

### Precipitación

Es un fenómeno físico que corresponde a diferentes volúmenes de agua en estado de condensación, que provienen de la atmósfera a la superficie terrestre en forma de lluvia, nieve o granizo (Campos, 1998).

## **Evapotranspiración**

La evapotranspiración es un efecto combinado de la incidencia de la energía solar, temperatura, presión atmosférica, velocidad del viento, tipo de vegetación, salinidad del agua, humedad del suelo y aire sobre el sistema agua-suelo-planta (Chow et al., 1988).

## **Infiltración**

La infiltración ocurre cuando el agua de lluvia se filtra hacia el subsuelo a través de poros y grietas en el suelo o la roca, a diferentes profundidades, según las condiciones. Esto significa que la penetración no es constante, sino que la penetración en el sustrato disminuye con el tiempo (Martínez, 2006).

## **Escorrentía superficial**

La escorrentía superficial sucede cuando la tasa de precipitación excede la tasa de infiltración porque la superficie no tiene una barrera física para el flujo de agua. Llega a la red de drenaje por gravedad. Se ve afectado por parámetros como la intensidad y duración de la lluvia, el tipo de vegetación, la pendiente del suelo y la profundidad del nivel de agua subterránea (Campos, 1998).

## **Escorrentía subterránea**

La escorrentía subterránea es la fracción de la precipitación que se infiltra al nivel freático y llega a la red de drenaje subterráneo. El agua superficial percola varios metros de suelo, disuelve y altera la química de las rocas en contacto durante su movimiento (Martínez, 2006), hasta llegar a una zona de saturación. Constituye la recarga del agua subterránea (Campos, 1998).

## **2.3 Calidad del agua**

Una inadecuada planificación y ejecución de las actividades humanas, como la agricultura, la ganadería, o la minería, ponen en riesgo la economía, la salud y el medio ambiente, provocando la degradación del medio ambiente y escasez de agua apta para consumo humano (Johnson et al., 1997).

El agua debe cumplir una serie de requisitos físicos, químicos y biológicos para ser considerada apta para consumo humano, para uso agrícola, pesca, recreación y otros fines. Las normas para la calidad de agua varían considerablemente debido a sus diferentes usos y condiciones ambientales (TULAS, 2005).

### **2.3.1. Contaminación del agua**

Cuando aumenta la concentración de sustancias o elementos, se considera que los cuerpos hídricos están siendo contaminados. Esta contaminación puede ser por fuentes naturales (mineralógicas) o fuentes antropogénicas (Cunningham et al., 2003).

#### **Fuentes naturales y antropogénicas**

Fuentes naturales de contaminación se refieren al proceso natural de interacción agua-roca, el cual provoca la disolución de los minerales, transformándolos en iones, los mismos que luego son incorporados y transportados en los cuerpos de agua superficial (Johnson et al., 1997). En la Tabla 2.2 se especifican las concentraciones de algunos iones según los límites máximos permisibles establecidos según la norma reglamentaria ecuatoriana del Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundario (TULAS, 2005), y lo recomendado por la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2018).

Por otra parte, las actividades humanas que contaminan a los cuerpos de agua se las conoce como contaminación por fuentes antropogénicas. Por ejemplo, las fuentes industriales, agrícolas, mineras, domésticas, etc.

**Tabla 2.2** Iones mayores y menores. Se indica los límites máximos permisibles recomendados por la OMS (2018) y la norma reglamentaria ecuatoriana del Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundario (TULAS, 2005)

<b>Iones mayores</b>	<b>OMS mg/L</b>	<b>TULAS mg/L</b>
Sodio (Na <sup>+</sup> )	<20 - 200	200
Potasio (K <sup>+</sup> )	-	20
Calcio (Ca <sup>2+</sup> )	100-300	-
Magnesio (Mg <sup>2+</sup> )	10-100	-
Cloruro (Cl <sup>-</sup> )	250	250
Sulfato (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	250	250
<b>Iones menores</b>	<b>OMS mg/L</b>	<b>TULAS mg/L</b>
Hierro (Fe <sup>2+</sup> )	0,3	0,3
Manganeso (Mn <sup>2+</sup> )	0,1-0,5	0,1
Nitrato (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	10	10
Nitrito (NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> )	3	1
Flúor (F <sup>-</sup> )	1,5	1,5

### 2.3.2. Características fisico-químicas del agua

El agua es susceptible a cambios químicos, físicos y biológicos a través del tiempo, debido a las interacciones, naturales y antropogénicas (agrícolas, ganaderas e industriales) (Cunningham et al., 2003). En la tabla 2.4 se especifican algunos parámetros físicos y químicos con sus límites máximos permisibles establecidos según la norma reglamentaria ecuatoriana del Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundario (TULAS, 2005).

#### Temperatura

La temperatura (T), expresada en grados Celsius (°C), mide la energía interna de un objeto (Drever, 2002). Este es un parámetro importante de la calidad del agua debido al control que puede ejercer sobre la vida hídrica, ya que influye de manera directa en la demanda de oxígeno disuelto (OD). Si se altera la temperatura general de un cuerpo de agua se espera tener un cambio en el ecosistema acuático (Luoma et al., 2015).

## **Turbidez**

La turbidez es una propiedad óptica del agua en la que la luz se difunde debido a la presencia de grandes cantidades de partículas sólidas como arena, arcilla, sustancias orgánicas e inorgánicas, compuestos orgánicos disueltos y microorganismos (Davies & Smith, 2001). La turbidez se mide en unidades de turbidez nefelométrica (*NTU*, por sus siglas en inglés) o mg SiO<sub>2</sub>/L (Dadzie, 2012). Las causas más comunes de turbidez en lagos y ríos son el plancton y la erosión del suelo provocada por causas naturales o actividades humanas como la deforestación, la minería y las actividades agrícolas (Drever, 2002).

## **Conductividad eléctrica**

La conductividad eléctrica (CE) es la capacidad de una sustancia para conducir una corriente eléctrica, medida en microsiemens por centímetro ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) (Luoma et al., 2015). Esto se debe a la concentración de iones en el agua, provenientes de sales y materiales inorgánicos disueltos como álcalis, cloruros, sulfatos y compuestos de carbonatos, principalmente. Mientras más iones estén presentes en el agua mayor es la conductividad eléctrica. La CE es directamente proporcional a los sólidos totales disueltos (STD) y a la temperatura, por tal razón, a mayor temperatura mayor conductividad (Drever, 2002).

## **Sólidos Totales Disueltos**

Los sólidos totales disueltos (STD) son iones y sales inorgánicas como sodio, potasio, calcio, magnesio, bicarbonatos, cloruros y sulfatos (Martínez et., 2006). Además de materia orgánica soluble en el agua (Dadzie, 2012). Son un indicador de la calidad de agua, porque pueden determinar contaminación química (OMS, 2018).

## **Potencial hidrógeno**

El potencial hidrógeno (pH), es el parámetro que define el carácter ácido o básico (alcalino) de una solución a una temperatura determinada. El pH es el logaritmo negativo de la actividad (concentración) de iones de hidrógeno ( $\text{pH} = -\log [\text{H}^+]$ ). En equilibrio las concentraciones de estos iones son iguales (neutros,  $\text{pH} = 7$ ); si de una reacción se forman hidrogenoides, el  $\text{pH} < 7$ , ácido. Si la cantidad de hidroxilos es mayor, el  $\text{pH} > 7$ , básico (Dadzie, 2012). (Tabla 2.4).

Es un parámetro importante del agua, pues determina la aptitud de la misma para diversos fines, como beber, bañarse, cocinar, en la agricultura, etc.



**Tabla 2.3** Escala nominal del pH. Tomado de Hounslow (1995).

pH	Significancia
<4	Fuertemente ácido
4-6,5	Moderadamente ácido
6,5-7,8	Neutro
7,8-9	Moderadamente alcalino
>9	Fuertemente alcalino

### **Alcalinidad**

La alcalinidad mide la capacidad del agua para neutralizar los ácidos (Drever, 2002). La alcalinidad del agua natural se debe a la presencia de dióxido de carbono disuelto, aniones bicarbonatados, y pequeñas cantidades de carbonatos e hidróxidos. Suele expresarse normalmente en miligramos de carbonato de calcio por litro (mg/L CaCO<sub>3</sub>). La alcalinidad está estrechamente relacionada con el pH. Si el pH del agua está entre 4,3 y 8,3, los iones bicarbonatados estarán presentes; con valores superiores a 8,3 se encontrará carbonato e hidróxido; y, con valores de pH inferiores a 4,3, principalmente dióxido de carbono disuelto o ácido carbónico. La determinación de la alcalinidad ayuda a controlar las incrustaciones y la corrosión en los sistemas de agua (Drever, 2002).

### **Oxígeno disuelto**

El oxígeno disuelto (OD) es un gas disuelto en el agua, al igual que el nitrógeno molecular (N<sub>2</sub>), dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>) y ácido sulfhídrico (H<sub>2</sub>S). Está disponible para la respiración de los organismos acuáticos. Es un indicador importante de la salud de un cuerpo de agua y su capacidad para conservar un ecosistema acuático equilibrado de plantas y animales. (Dadzie, 2012). La solubilidad del OD depende de la temperatura, la salinidad, presión barométrica, movimientos del agua, etc. (Martínez et al., 2006).

**Tabla 2.4** Límites máximos permisibles según la norma reglamentaria ecuatoriana del Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundario (TULAS, 2005).

Parámetros	Unidad de medida	Límite máximo permisible*	Límite máximo permisible**
<b>Parámetros <i>in situ</i></b>			
pH	H+	6,0-9,0	6,0-9,0
OD	mg/L	No <6	No <6
<b>Parámetros de laboratorio</b>			
STD	mg/L	1000	500
Dureza total (CaCO <sub>3</sub> )	mg/L	300	500
Turbiedad	NTU	5	10
Cloruro (Cl <sup>-</sup> )	mg/L	250	250
Sulfato (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	mg/L	400	250
Nitrato (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	mg/L	10	10
Nitrito (NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> )	mg/L	1	1

\* Aguas de consumo humano y uso doméstico que requieren tratamiento convencional

\*\* Aguas de consumo humano y uso doméstico que requieren desinfección

### 3. METODOLOGÍA

Este trabajo tomó la forma de un estudio descriptivo e interpretativo que combina enfoques cuantitativos y cualitativos. Consistió en la descripción bibliográfica y en el análisis de información proporcionada en el marco de actividades de colaboración de la EPN con la Universidad de Utah, así como en actividades de investigación enmarcadas en el Proyecto PIMI 16-05.

Las fases de la metodología empleada para llevar a cabo el estudio incluyen:

1. Recopilación y procesamiento de la información bibliográfica y cartográfica disponible de las áreas de estudio.
2. Delimitación hidrográfica de las cuatro microcuencas en los distritos mineros Bella Rica, San Gerardo, Nambija y Chinapintza, mediante Sistemas de Información Geográfica (SIG).
3. Tratamiento y calidad de datos mediante balance iónico y estadística descriptiva.
4. Determinación del índice de calidad de agua (*WQI*).
5. Análisis de la calidad de agua superficial de las cuatro microcuencas hidrográficas, con base en la norma reglamentaria ecuatoriana del Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundario TULAS (2005) Libro VI, Anexo 1.
6. Producción de mapas temáticos que expongan los resultados de calidad de agua superficial y de parámetros físico-químicos valiéndose del método de interpolación geoestadístico kriging ordinario.

### 3.1 Levantamiento bibliográfico

En el levantamiento bibliográfico se recopiló información disponible de las áreas de estudio, tales como: artículos científicos, trabajos de titulación (pregrado, posgrado), enlaces web, informes etc. En la Tabla 3.1 se listan las fuentes bibliográficas de los trabajos anteriores considerados en el estudio para el análisis de las cuatro microcuencas, MCBR, MCSG, MCNB y MCCH.

**Tabla 3.1** Fuentes bibliográficas utilizadas para el análisis de las áreas de estudio

Tipo de estudio	Publicación	Título
Trabajos de Titulación - grado	León (2016)	Evaluación de la Calidad del Agua del Río Siete en el Sector Minero del Cantón Camilo Ponce Enríquez, Provincia del Azuay.
	León (2015)	Estabilización de Taludes en el Sector "El Tierrero" de la Mina Nambija.
	Guerrero (2014)	Comportamiento Geoambiental con Datos Mineralógicos y Análisis Químicos de Metales de la Zona Minera "La Herradura", Área Minera de Chinapintza, Provincia de Zamora Chinchipe-Ecuador.
	León (2014)	Diagnóstico de la calidad de agua en la microcuenca del río Congüime y diseño de una propuesta de mitigación para la zona crítica establecida mediante el índice de calidad de agua (ICA BROWN) en la provincia de Zamora Chinchipe cantón Paquisha.
Artículos científicos	Carling et al. (2013)	<i>Particulate and Dissolved Trace Element Concentrations in Three Southern Ecuador Rivers Impacted by Artisanal Gold Mining.</i>
	Appleton et al. (2001)	<i>Fluvial contamination associated with artisanal gold mining in the Ponce Enríquez, Portovelo-Zaruma an and Nambija áreas, Ecuador.</i>
	Tarras-Wahlberg et al. (2000)	<i>Environmental impact of small-scale and artisanal gold mining in southern Ecuador.</i>

La información bibliográfica disponible para la descripción y análisis la Geología Regional y Local de las áreas de estudio se resume en la Tabla 3.2.

**Tabla 3.2** Fuentes bibliográficas para la descripción y análisis de la Geología Regional y Local de las áreas de estudio

<b>Tipo de Estudio</b>	<b>Publicación</b>	<b>Título</b>
<b>Geología Regional</b>	Feininger & Bristow (1980)	Cretaceous and Paleogene geologic history of coastal Ecuador.
	Hughes & Pilatasig (2002)	Cretaceous and Tertiary terrane Accretion in the Cordillera Occidental of the Andes of Ecuador.
	Williams et al. (2000)	Regional geochemical reconnaissance of the Cordillera Occidental of Ecuador.
	Litherland et al. (1994)	The metamorphic belts of Ecuador.
<b>Geología Local</b>	Romeuf et al. (1995),	Middle Jurassic volcanism in the Northern and Central Andes.
	PRODEMINCA (2000)	Evaluación de Distritos Mineros del Ecuador "Depósitos Porfídicos y Epimesotermales Relacionados con Intrusiones de la Cordillera del Cóndor".
	PRODEMINCA (2000)	Evaluación de Distritos Mineros del Ecuador "Depósitos Porfídicos y Epimesotermales Relacionados con Intrusiones de las cordilleras Occidental y Real".
	Luzieux et al. (2006)	Origin and Cretaceous tectonic history of the coastal Ecuadorian forearc between 1°N and 3°S: Paleomagnetic, radiometric and fossil evidence

La información cartográfica para la descripción y elaboración de mapas geológicos de las áreas de estudio se muestra en la Tabla 3.3.

**Tabla 3.3** Cartografía utilizada en el presente estudio.

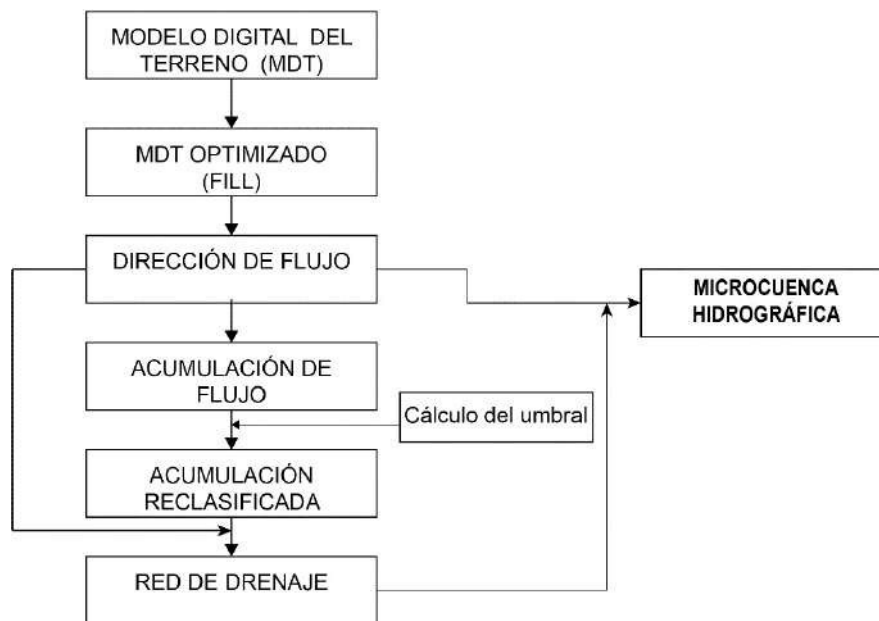
Publicación	Título	Escala
Egüez et al. (2017)	Mapa Geológico del Ecuador.	1:1.000.000
Egüez et al. (2019)	Mapa Metalogénico del Ecuador	1:1.000.000
Granda et al. (2017)	Mapa Geológico del Ecuador, Hoja 35, Naranjal.	1:1.000.000
Cordovez et al., (2017)	Mapa Geológico del Ecuador, Hoja 36, Machala.	1:1.000.000
Granda et al. (2017)	Mapa Geológico del Ecuador, Hoja 77, Zamora.	1:1.000.000

### 3.2 Delimitación hidrográfica de las áreas de estudio

Las cuatro microcuencas hidrográficas (MCBR, MCSG, MCNB y MCCH), fueron delimitadas a través del software ArcGis 10.4.1 (Figura 3.1), usando la cartografía base de información cartográfica del Instituto Geográfico Militar (IGM) a escala 1: 50.000. Las hojas cartográficas utilizadas se muestran en la Tabla 3.4.

**Tabla 3.4** Hojas cartográficas digitales utilizadas para la delimitación de las microcuencas hidrográficas

Microcuencas	Hojas cartográficas
MCBR Y MCSG	Tenguel (Balao) N V-E3,
	El Carmen de Pijili N V-E4,
	Tendales N VI-A1,
	Ponce Enríquez N VI-A2.
MCNB	Zamora Ñ VII-A1
MCCH	Guayzimi Ñ VII-A2



**Figura 3.1** Diagrama de flujo que muestra el proceso de delimitación automática en el software ArcGis de unidades hidrográficas. Modificado de Rosas (2009)

### 3.3. Tratamiento de datos físico-químicos

El estudio de la calidad del agua superficial se basó en los análisis físico-químicos de 58 muestras de agua proporcionadas por la EPN - Universidad de Utah y el Proyecto PIMI 16-05, para las cuatro microcuencas ubicadas en los distritos mineros de Bella Rica, San Gerardo, Nambija y Chinapintza (Figura 3.2, 3.3, 3.4 ,3.5; Anexo C)

Para la determinación del índice de calidad de agua (*WQI*) intervienen los siguientes parámetros físico-químicos:

- Oxígeno disuelto (saturación %),
- Coliformes fecales (NMP/100 mL),
- pH (unidades de pH)
- Demanda bioquímica de oxígeno en 5 días (mg/L),
- Temperatura (°C),
- Fosfato total (mg/L)
- Turbiedad (NTU)
- Sólidos totales disueltos (mg/L)
- Nitrato (mg/L)

Además, se consideró lo establecido por TULAS (2005) y por OMS (2018) para el análisis de calidad de agua, tomando en cuenta los límites máximos permisibles para el consumo humano de agua. Los parámetros físico-químicos considerados fueron: pH, OD, STD, elementos mayores y menores ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{F}^-$ ,  $\text{Mn}^{2+}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^-$  y  $\text{NO}_2^-$ ).



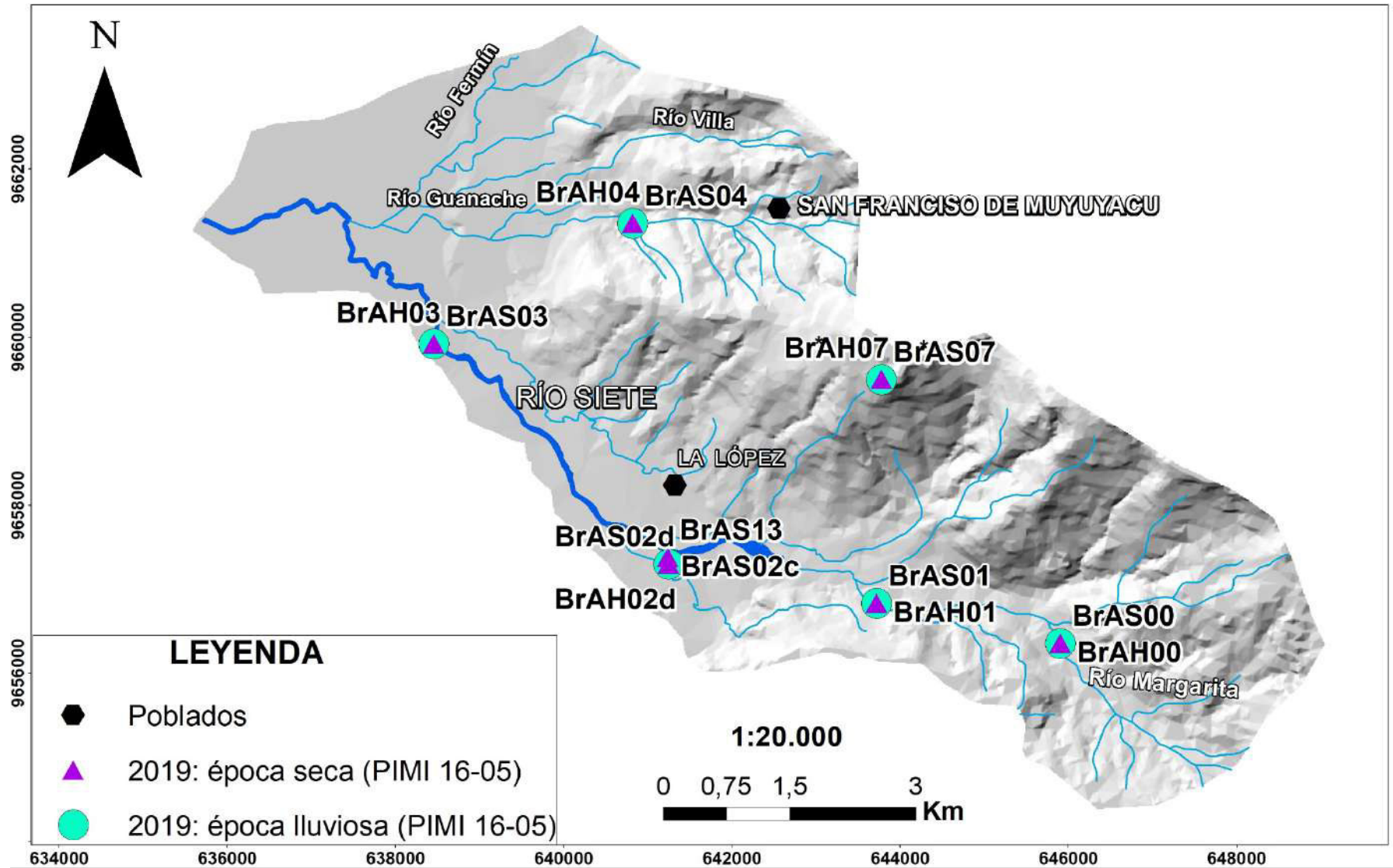


Figura 3.2 Distribución de la información disponible de parámetros físico-químicos en las dos épocas para la MCBR.

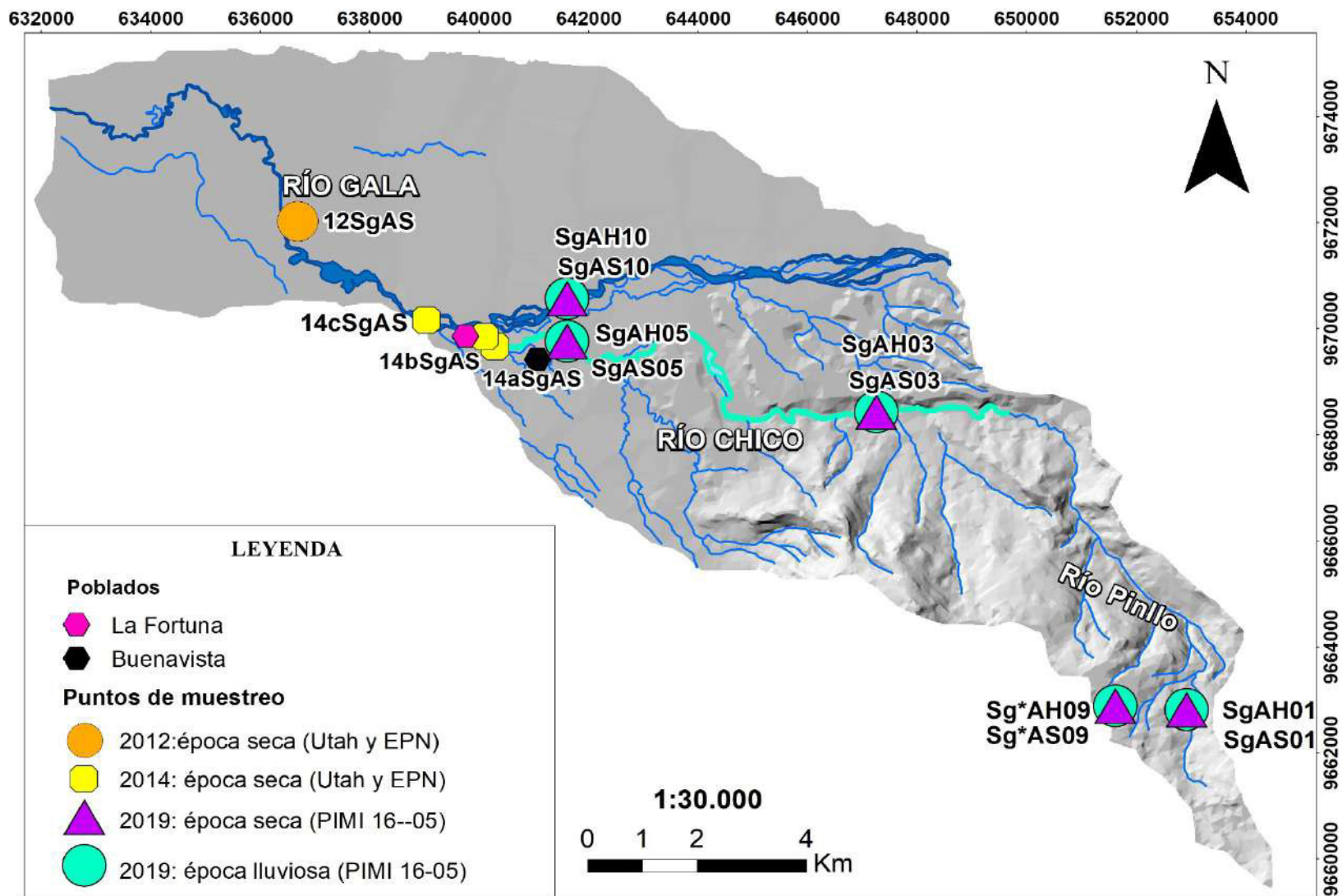


Figura 3.3 Distribución de la información disponible de parámetros físico-químicos en las dos épocas para la MCSG.

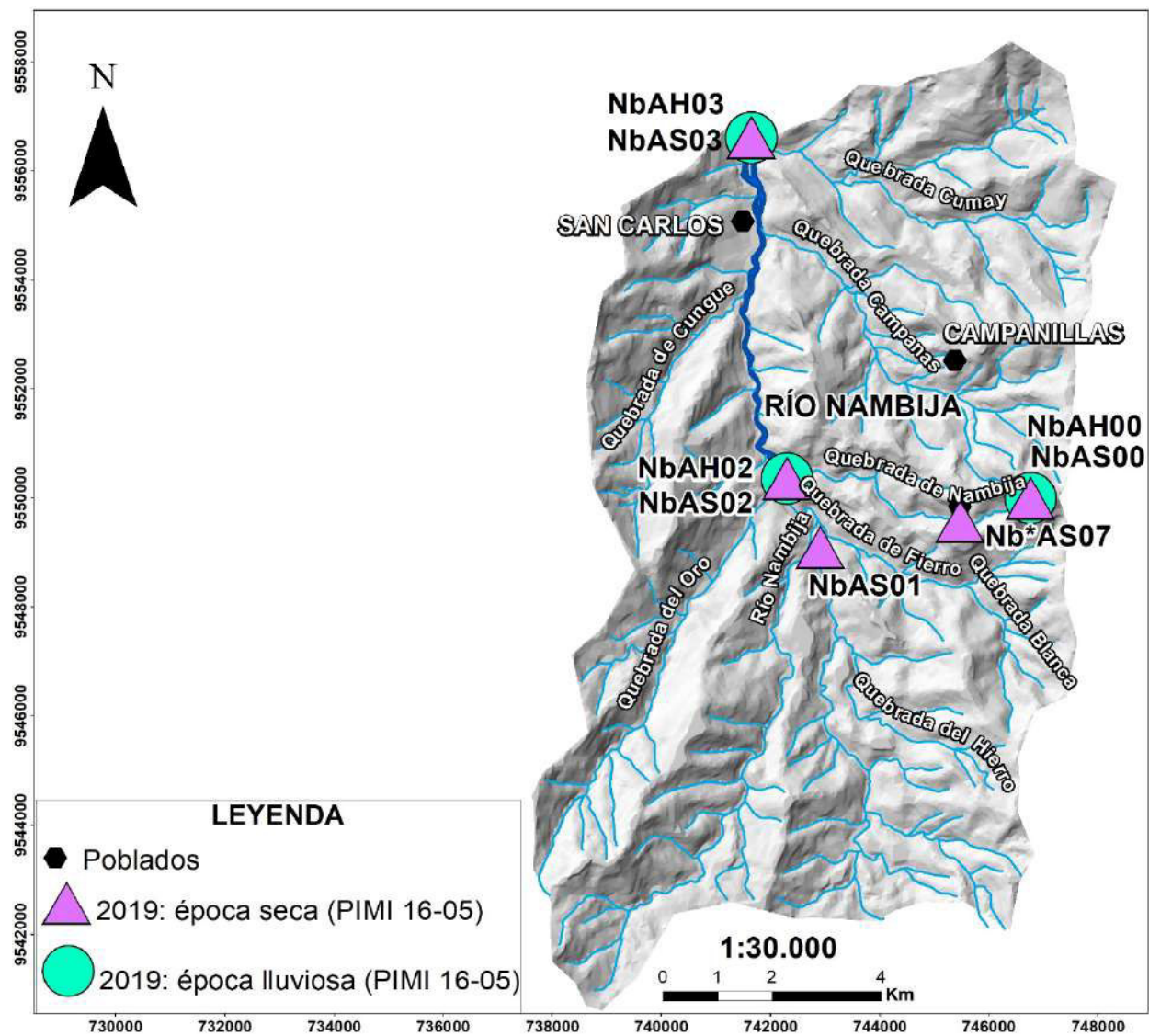


Figura 3.4 Distribución de la información disponible de parámetros físico-químicos en las dos épocas para la MCNB.

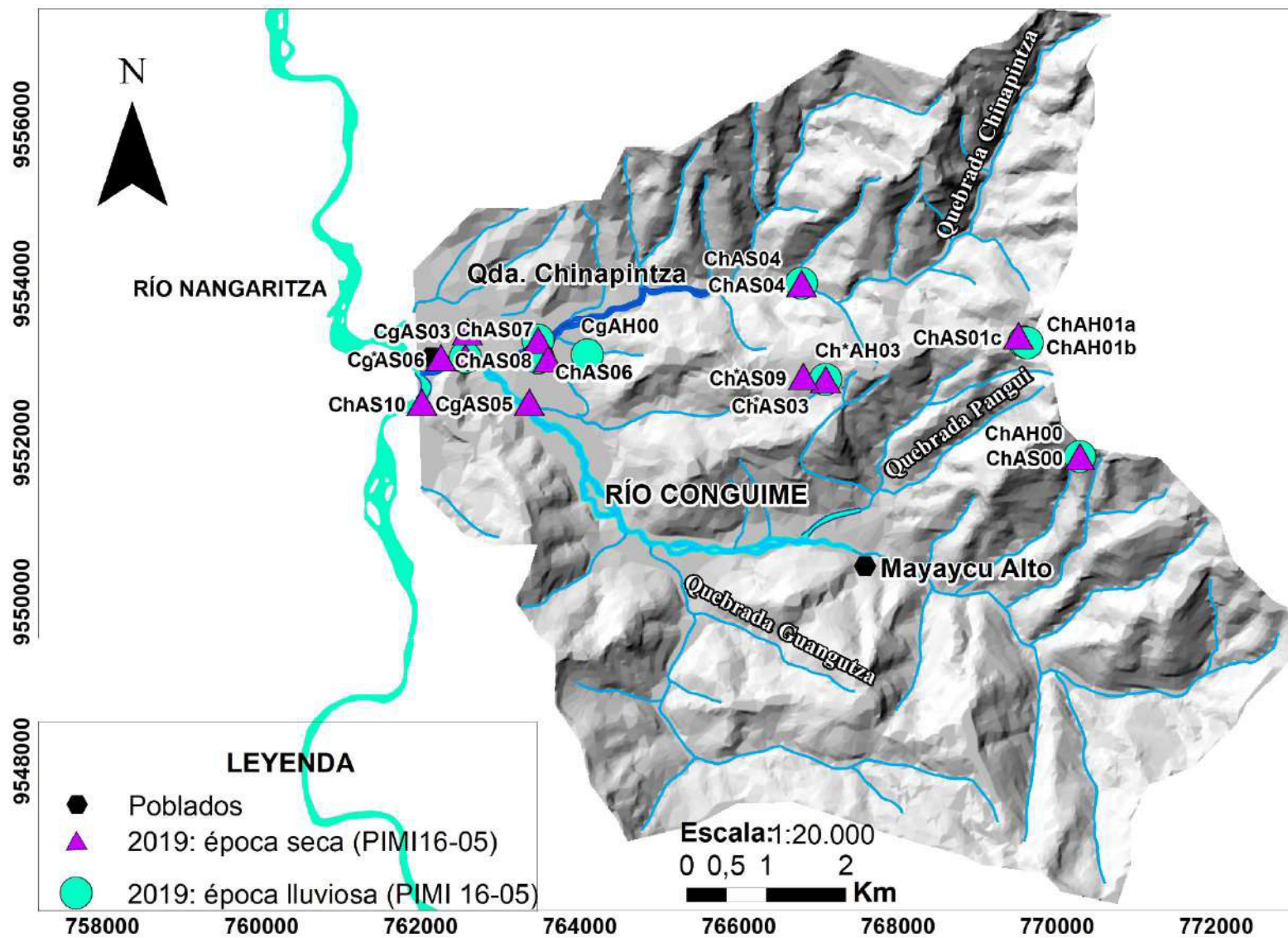


Figura 3.5 Distribución de la información disponible de parámetros físico-químicos en las dos épocas para la MCCH.

### 3.3.1. Recolección de muestras

La recolección de muestras de agua superficial para el análisis de parámetros físico-químicos en la MCSG fue realizada por profesores y estudiantes de la Universidad de Utah y de la EPN en los años 2012 y 2014, para la época seca (mes de agosto) (Anexo B).

La recolección de muestras de agua superficial y de consumo humano en el año 2019, para el análisis de parámetros físico-químicos para las cuatro áreas de estudio (MCBR, MCSG, MCNB y MCCH), fue desarrollada por campañas de campo entre los meses de febrero y marzo (época lluviosa) y los meses de julio-agosto (época seca) en el marco de actividades del Proyecto PIMI 16-05 (Anexo B).

Las pautas de muestreo en las áreas de estudio se las realizó en las diferentes redes hídricas que componen estas microcuencas, con el objetivo de tener un contexto amplio de lo que sucede allí, haciendo una discriminación con códigos por ubicaciones geográficas y épocas lluviosa y seca (época con menores precipitaciones mensuales), para así tener una base de datos ordenada (Figuras 3.2 a 3.5; Anexo B, C).

El protocolo de muestreo utilizado para la toma correcta de muestras de agua en campo es el sugerido por el Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS, 2019). Se midieron *in situ* los siguientes parámetros físico-químicos: oxígeno disuelto, conductividad eléctrica, temperatura y alcalinidad, los demás parámetros (STD, Cl<sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, F<sup>-</sup>, NO<sub>2</sub><sup>-</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Mn<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Na<sup>+</sup> y K<sup>+</sup>) fueron analizados en laboratorios bajo sus propios controles de calidad. En la Tabla 3.5 se listan los métodos y los equipos utilizados.

**Tabla 3.5** Resumen de los parámetros analizados, equipo y métodos de detección.

Parámetros analizados	Equipo	Método
pH, OD, CE, T	Sonda multiparámetro YSI modelo <i>Professional Plus</i>	
Alcalinidad CaCO <sub>3</sub>	Titulador digital HACH modelo 169001	Por titulación con ácido sulfúrico 0,16N
Cl <sup>-</sup> , SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , F <sup>-</sup> , NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	Cromatógrafo iónico marca METROHM modelo 940 <i>PROFESSIONAL</i>	Espectrofotometría
Ca <sup>2+</sup> , Mn <sup>2+</sup> , Mg <sup>2+</sup> , Na <sup>+</sup> y K <sup>+</sup>	Espectrómetro marca <i>Agilent</i> modelo 7500ce	Espectrometría de masas por plasma acoplado inductivamente (ICP-MS)

El análisis de los STD se realizó de la siguiente manera: 100mL de la muestra de agua fue filtrada al vacío, usando un filtro de celulosa marca *Sartorius* con abertura de poro de 0,45 µm. Los sólidos retenidos en el filtro fueron pesados en balanza analítica marca *BOECO*, y por cálculo se determinó los sólidos totales y los sólidos suspendidos en el agua. A partir de los sólidos suspendidos (SS) se obtuvo la turbidez del agua, considerando que la relación entre NTU (unidades de medida de turbidez) y SS (unidades de medida ppm) es la siguiente, 1 mg/L (1ppm) equivale a 3 NTU (Frank et al., 1992).

### 3.3.2. Control de la calidad de datos

Los resultados de los análisis físico-químicos de las 58 muestras de agua superficial colectadas en las diferentes campañas de campo, fueron entregados por los laboratorios bajo sus propios controles de calidad. Sin embargo, se examinó la confiabilidad de los datos para determinar los errores de exactitud, a través del cálculo del porcentaje de error analítico estimado en función del balance iónico (BI).

#### Balance Iónico

Balance iónico (error analítico): se determinó de acuerdo con la expresión 1, propuesta por Drever (2002), mediante la comparación entre la diferencia de aniones mayores ( $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NO}_2^-$ ) y cationes mayores ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ), expresados en miliequivalentes por litro. Se admitió un error analítico menor a  $\pm 10\%$ .

$$\text{Balance Iónico (BI\%)} = \frac{(\sum \text{cationes} - \sum \text{aniones})}{(\sum \text{cationes} + \sum \text{aniones})} \times 100 \quad (1)$$

Por otra parte, el valor de la concentración de STD de acuerdo con Hounslow (1995) debería ser 0,55 a 0,75 veces la CE (expresión 2) debido a que ambos parámetros dependen del tipo y naturaleza de las sustancias presentes en el agua.

$$STD = (0.55 - 0.76) * CE \quad (2)$$

### **3.3.3. Análisis estadístico**

Toda la información presentada ha sido verificada utilizando herramientas estadísticas, como medidas de tendencia central (media, mediana), medidas de sesgo de variabilidad (desviación estándar) (Anexo E). Esta validación permite evaluar la confiabilidad de los datos presentados (Hernández, 2012).

#### **Medidas de tendencia central y variabilidad**

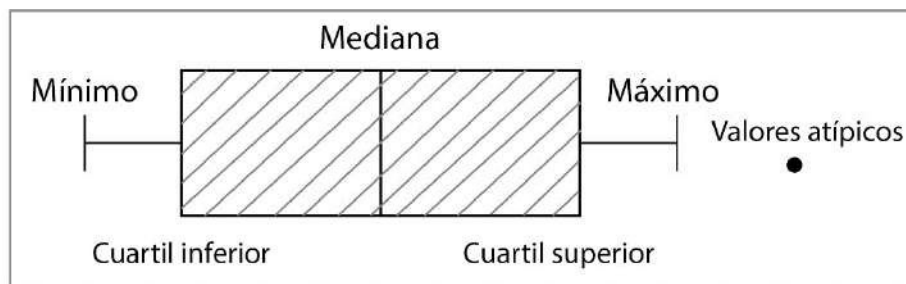
Las medidas de tendencia central media y mediana se emplearon para observar la distribución de datos, el punto de equilibrio o centro de gravedad de todas las distribuciones de datos (Hernández, 2012) (Anexo E).

La media se define como la suma de todos los valores dividida por el número de observaciones (Gravetter & Wallnau, 2000). La mediana se define como el valor que ocupa la posición media en el conjunto de datos y divide en dos partes iguales la distribución de frecuencias (Manikandan, 2011). La mediana, a diferencia de la media, no es sensible a los datos atípicos, también llamados extremos, por tanto, no modifican su cálculo y es útil para datos que no presentan una distribución normal (Petrie & Sabin, 2007).

Las medidas de variabilidad fueron utilizadas para observar la dispersión de los datos a través de la desviación estándar (Desv.Std), la cual fue determinada en función de la media y la distancia calculada entre cada valor (Hernández, 2012).

#### **Diagramas de caja**

Un diagrama de caja se define como una representación gráfica de medidas estadísticas de simetría (mínimo, cuartil inferior, mediana, cuartil superior y máximo) (Dawson, 2011) (Figura 3.6). Se utilizó para visualizar la distribución de las poblaciones de datos con respecto a los Blancos de muestreo. Además de identificar los valores atípicos, con respecto a los cuartiles (inferior y superior) (Dawson, 2011) (Figura 3.6).



**Figura 3.6** Esquema de un diagrama de caja y elementos.

### 3.4. Índice de calidad de agua

El índice de calidad de agua es una expresión simple relacionada con el grado de contaminación. Por su interpretación sencilla y comprensible, también puede considerarse como una herramienta para transmitir información efectiva (Fernández & Solano, 2005).

Para determinar el índice de calidad de agua se utilizó el método recomendado por *Water Research Center* (WRC, 2014 - 2020) y desarrollado por *KnowYourH2O*. El *WQI* propuesto por *WRC* se basa en un proceso que tiene en cuenta 9 factores (variables) (Fernández & Solano, 2005), cada variable tiene un peso relativo (Tabla 3.6). Cabe señalar que si algunas variables carecen de valores, sus pesos específicos se distribuyen proporcionalmente a los demás factores, excluyendo el operador de multiplicación.

El cálculo del *WQI* se determinó de acuerdo con la expresión 3, mediante el uso de una calculadora que está apoyada en el libro *Manual de campo para el monitoreo de la calidad de agua* (Mitchell & Stapp, 2008).

$$WQI = \sum_{i=1}^n Q_i W_i$$

(3)

Dónde:

**WQI** = Índice de calidad de agua



**n**= número de parámetros

**Q<sub>i</sub>** = Subíndice del parámetro i.

**W<sub>i</sub>** = El peso relativo de cada parámetro (Q<sub>i</sub>) va de 0 a 1 de manera que la suma es 1.

**Tabla 3.6** Pesos relativos para cada parámetro según WRC (2014-2020)

N°	Q <sub>i</sub>	W <sub>i</sub>
1	Oxígeno Disuelto	0,17
2	Coliformes fecales	0,16
3	pH	0,11
4	DBQ	0,11
5	Temperatura	0,10
6	Total fosfato	0,10
7	Nitrato	0,10
8	Turbidez	0,08
9	Sólidos totales disueltos	0,07

El valor de *Q<sub>i</sub>* se estimó a partir de funciones de calidad, representada por ecuaciones o curvas para cada variable tomadas de Fernández & Solano (2005) (Anexo F).

Los valores obtenidos después de calcular el índice de calidad de agua se comparan con los rangos de clasificación de calidad determinados por WRC como se muestra en la Tabla 3.7.

**Tabla 3.7** Clasificación de la calidad de agua propuesto por WRC (2014-2020)

Calidad del agua	Color de la calidad	Criterio	Según el criterio general
Excelente		91-100	No contaminada
Buena		71-90	Aceptable
Media		51-70	Poco contaminada
Mala		26-50	Contaminada
Muy mala		0-25	Altamente contaminada

### **3.5. Límites máximos permisibles**

En Ecuador los límites máximos permisibles de la calidad de agua para diferentes usos están especificados en la Norma estipulada en el Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente.

De acuerdo con la Norma, las aguas de consumo humano y uso doméstico se definen como las que se emplean en la bebida, preparación de alimentos y satisfacción de necesidades domésticas y colectividad como higiene personal y limpieza de materiales a utensilios. Los criterios de la calidad para agua de consumo humano y uso doméstico se aplican dependiendo del tipo de requerimiento: tratamiento convencional y desinfección (Tabla 2.2 y Tabla 2.4).

El objetivo principal para la calidad de consumo humano es proteger la salud pública. La Organización Mundial de la Salud proporciona pautas y recomendaciones para gestionar el riesgo de los peligros que comprometen la seguridad del agua de consumo humano. Se aplican distintos límites permisibles para el consumo de agua (Tabla 2.2 y Tabla 2.4). La OMS a diferencia de TULAS considera las concentraciones de nutrientes necesarios para la salud (calcio y magnesio).

## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

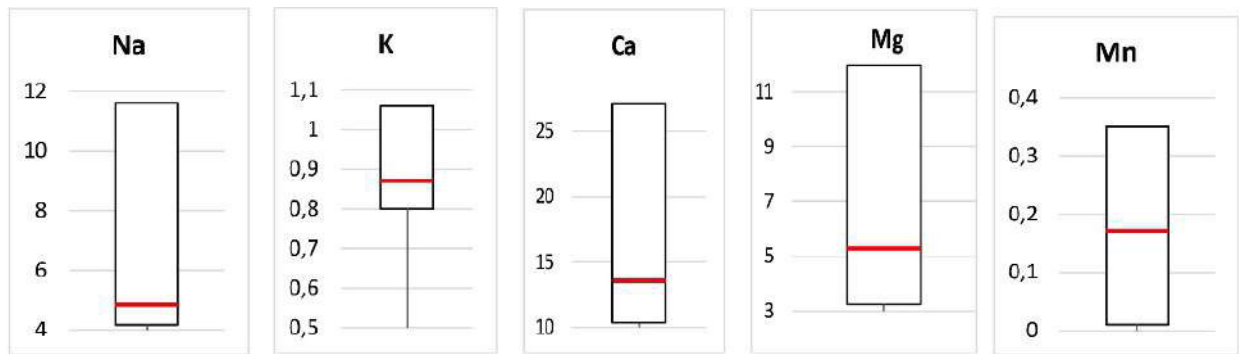
### 4.1. Calidad de datos

El cálculo del balance iónico de los resultados de los análisis físico-químicos determinó que de los 52 análisis recopilados, 15 presentan un error menor al 10%, 6 entre 10-20%, y 31 mayor a 20% (Anexo F). A su vez, debido a la ausencia de mediciones de los aniones  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{CaCO}_3^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NO}_2^-$ , se descartaron 4 análisis físico-químicos presentados por la Universidad de Utah - EPN colectadas en el año 2012 y 2014. Estas muestras de agua fueron codificadas como 12SgAS, 14aSgAS, 14bSgAS, 14cSgAS. Las muestras que no se tomaron en cuenta por la ausencia de aniones en el proyecto PIMI16-05 (año 2019) fueron la muestra BrAS03 (MCBR) y la muestra CgAS00 (MCCH). En total no se tomaron 6 muestras de agua para el cálculo del balance iónico. Por tanto, se consideraron aceptables 15 análisis de agua determinados por el proyecto PIMI 16-05 (Anexo F). Sin embargo, se optó por no descartar los análisis con un error no admisible debido a que corresponden a muestras de agua únicas de las zonas de estudio.

De acuerdo con Hounslow (1995), el valor de STD debe estar entre los límites de 0,55 a 0,75 veces la CE (expresión 2). Sin embargo, al realizar dicho cálculo (Anexo D) para los datos presentados por el proyecto PIMI16-05 (año 2019) se observa que una sola muestra de agua está dentro de dicho parámetro (muestra ChAS07) la cual fue tomada en la Quebrada Chinapintza después de la confluencia de la Quebrada Chico y el río Congüime (Anexo D). Esto evidencia que la cantidad de STD en todas las microcuencas es muy alto. Con base a los cálculos de STD (Anexo D) la calidad de agua no es conveniente en estas áreas de estudio.

El análisis estadístico de las medidas de tendencia central y variabilidad, para los resultados de los análisis físico-químicos de las muestras de agua presentadas por el proyecto PIMI 16-05 (año 2019), determinó que las concentraciones de parámetros físico-químicos más dispersos son la temperatura, conductividad eléctrica, pH, y sólidos totales disueltos (Anexo E).

La distribución de los diagrama de caja de los parámetros analizados para la época seca de la MCSG, de los datos presentados en el año 2014 por la Universidad de Utah y la EPN, indican que, no hay valores atípicos (Figura 4.1).



**Figura 4.1** Diagramas de caja de los parámetros físico-químicos de la MCSG para el año 2014.

Unidades de medida iones (mg/L). Línea roja valor de la mediana. Intervalo de confianza del 95%.

Los datos presentados por el proyecto PIMI 16-05 en el año 2019 en la MCSG, muestran que T, CE, STD,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Mn}^-$ ,  $\text{F}^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ , en la época lluviosa y T, CE, pH,  $\text{K}^+$  en época seca, tienen casi la misma tendencia (Figura 4.2, 4.3). Los demás parámetros no varían significativamente.

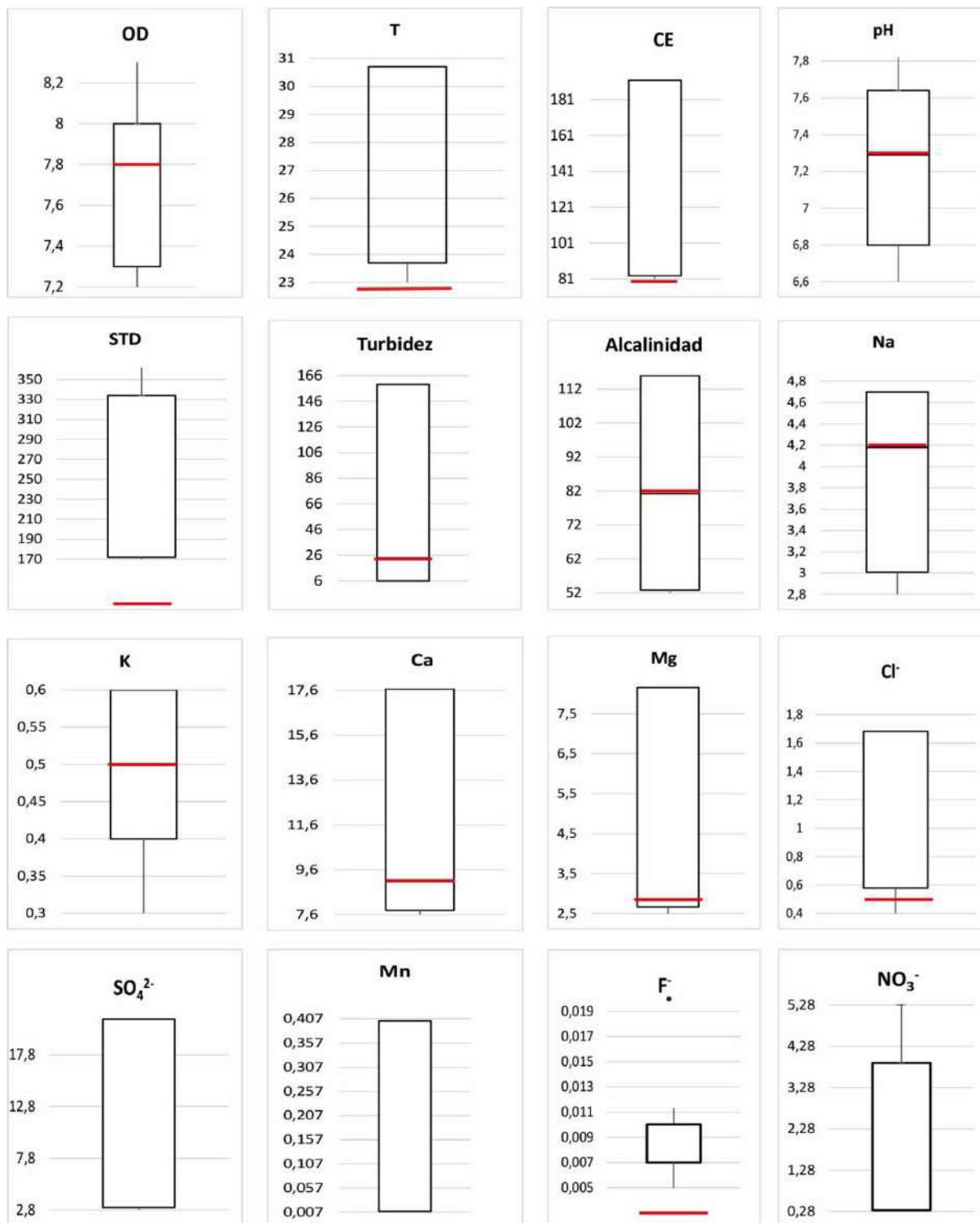
La MCBR en época lluviosa muestra que el OD, pH y alcalinidad no tienen una tendencia. Las demás concentraciones de iones si varían significativamente (Figura 4.4). En la MCBR en época seca los parámetros con una variación poco significativa son OD, alcalinidad y  $\text{NO}_2^-$  (Figura 4.5).

En época lluviosa en la MCNB los parámetros que no presentan variación son STD y  $\text{Na}^+$  (Figura 4.6). En época seca en la MCNB la concentración de iones que no tienen una tendencia pronunciada son OD, pH y  $\text{K}^+$  (Figura 4.7).

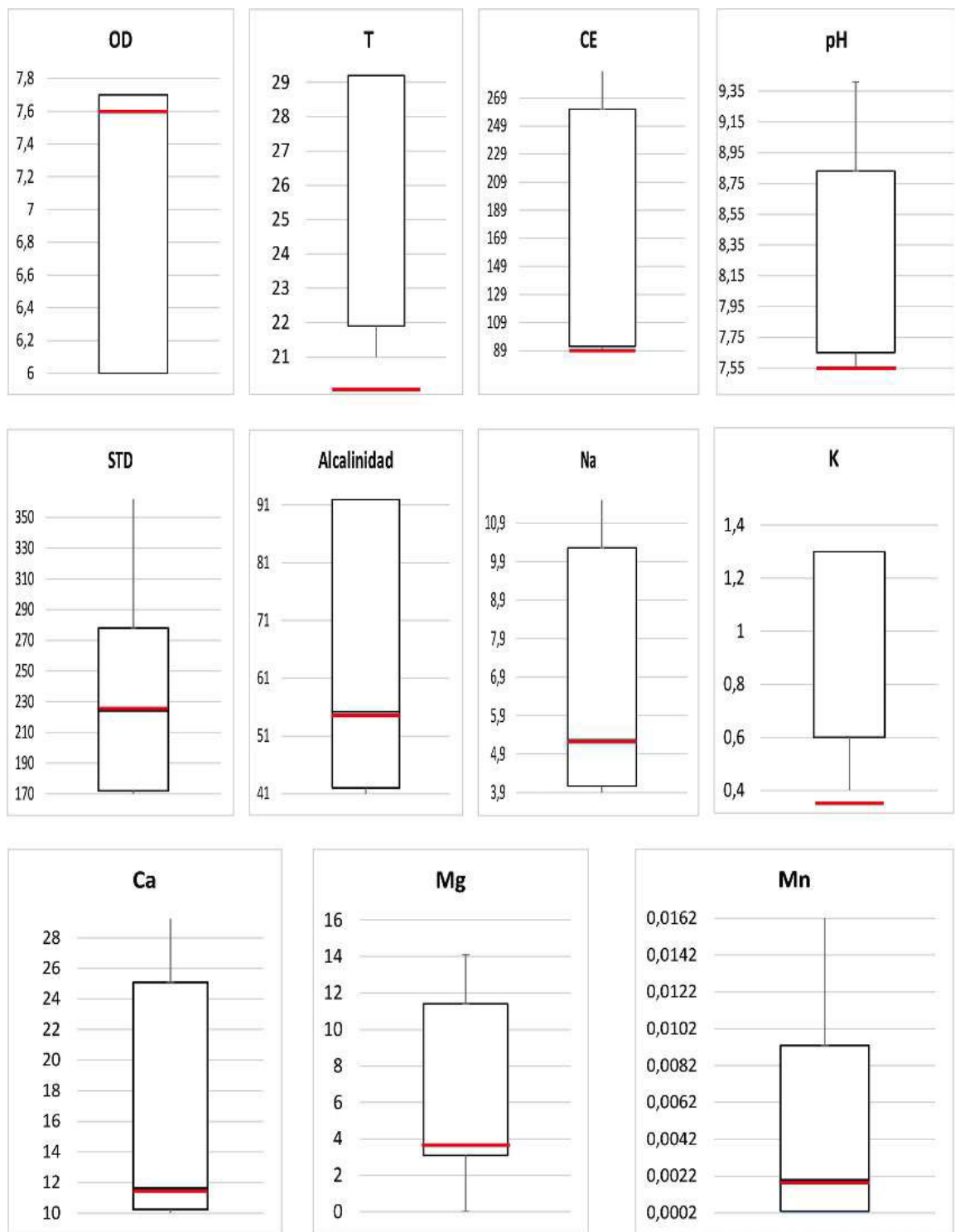
En la MCCH muestra que pH, STD,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$ , Ca y  $\text{F}^-$ , en la época lluviosa y pH en época seca casi no tienen variabilidad, el resto de parámetros varían grandemente (Figura 4.8, 4.9).

En general, el número de parámetros con una variación grande (significativa) se encuentran en época seca que en época lluviosa. Esto es probablemente porque en la temporada de lluvias, la concentración de iones se homogeniza en el sistema de drenaje y los ríos, permitiendo la circulación y distribución de todos los posibles contaminantes en las áreas estudiadas.

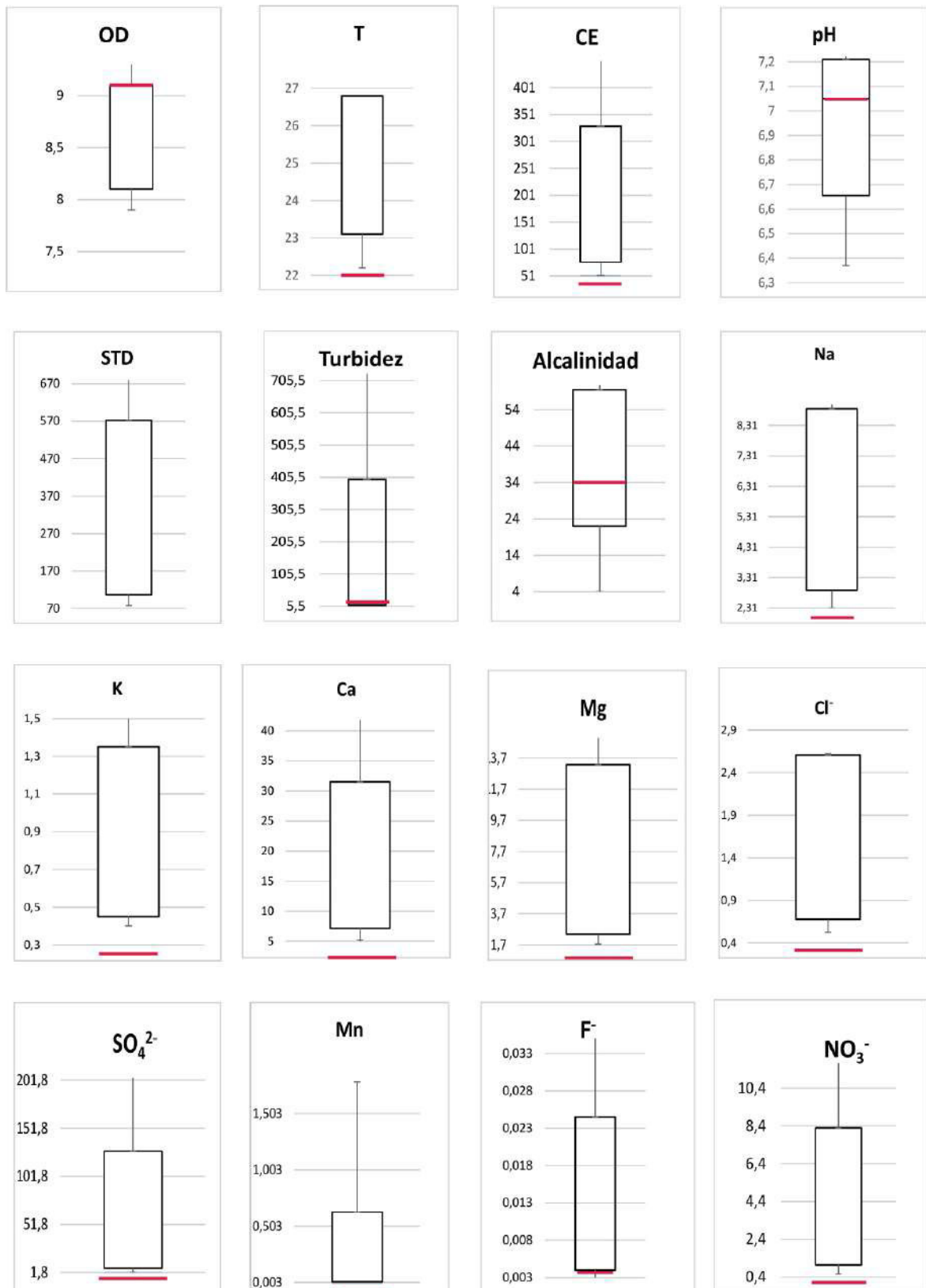
La línea roja (valor del Blanco) sugiere que en los gráficos donde se encuentra fuera del diagrama de caja (pueden estar por debajo de los valores mínimos o sobre los valores máximos) (Figura 4.2 a 4.9), es porque todos los datos no cumplen una distribución normal. Por tanto, la distribución de las poblaciones de datos con respecto a los Blancos indica que todos los valores son muy dispersos y alejados del Blanco. En los demás gráficos donde la línea roja está dentro del diagrama de caja, muestra que los datos solo están más sesgados a los valores extremos, al mínimo o al máximo, con respecto al valor del Blanco (línea roja).



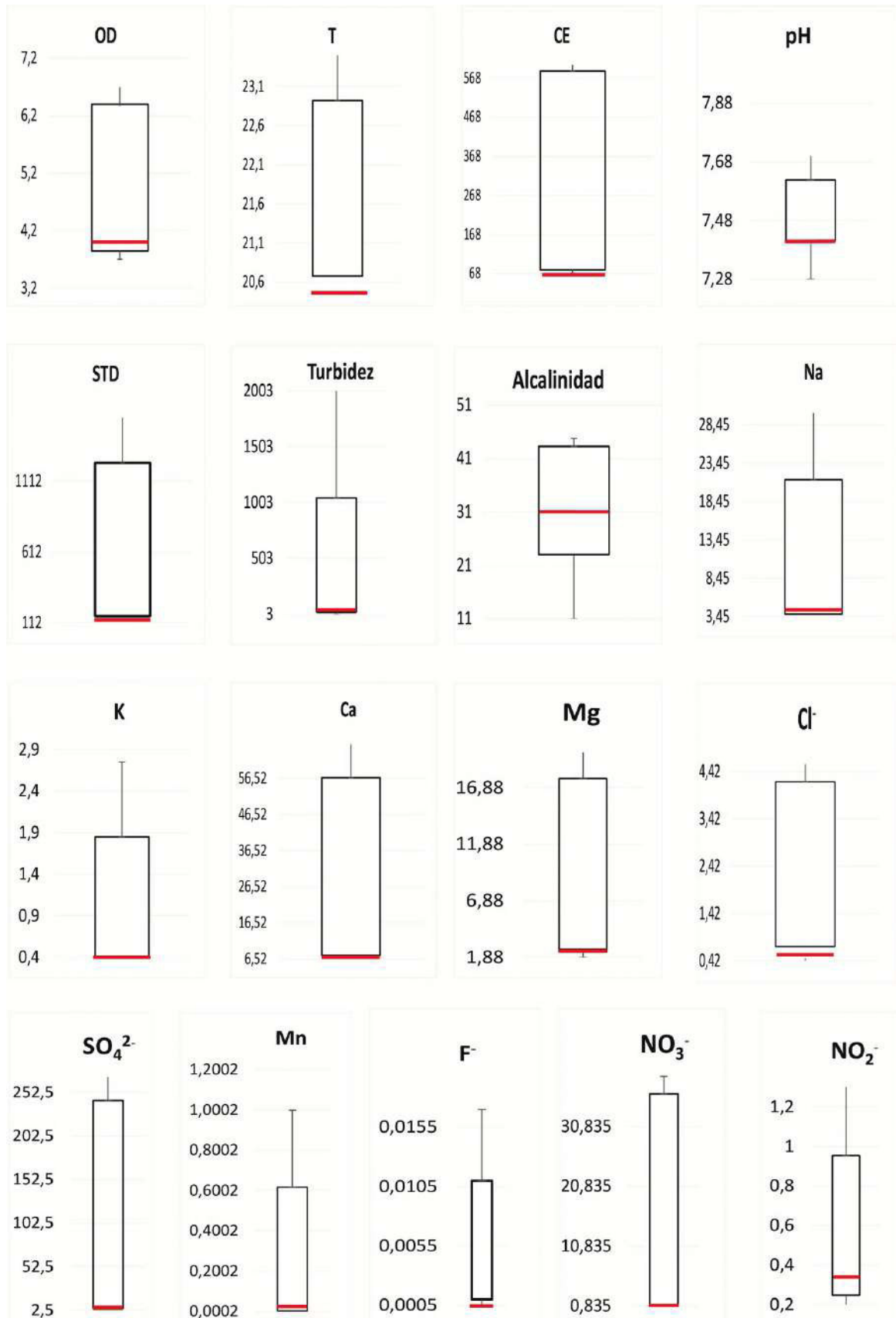
**Figura 4.2** Diagramas de caja de los parámetros físico-químicos de la MCSG en época lluviosa para el año 2019. Unidades de medida T (°C), CE ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), Turbidez (NTU) e iones (mg/L). Línea roja valor punto control (blanco). Intervalo de confianza del 95%.



**Figura 4.3** Diagramas de caja de los parámetros físico-químicos de la MCSG en época seca para el año 2019. Unidades de medida T (°C), CE (μS/cm) e iones (mg/L Línea roja valor punto control (blanco). Intervalo de confianza del 95%.

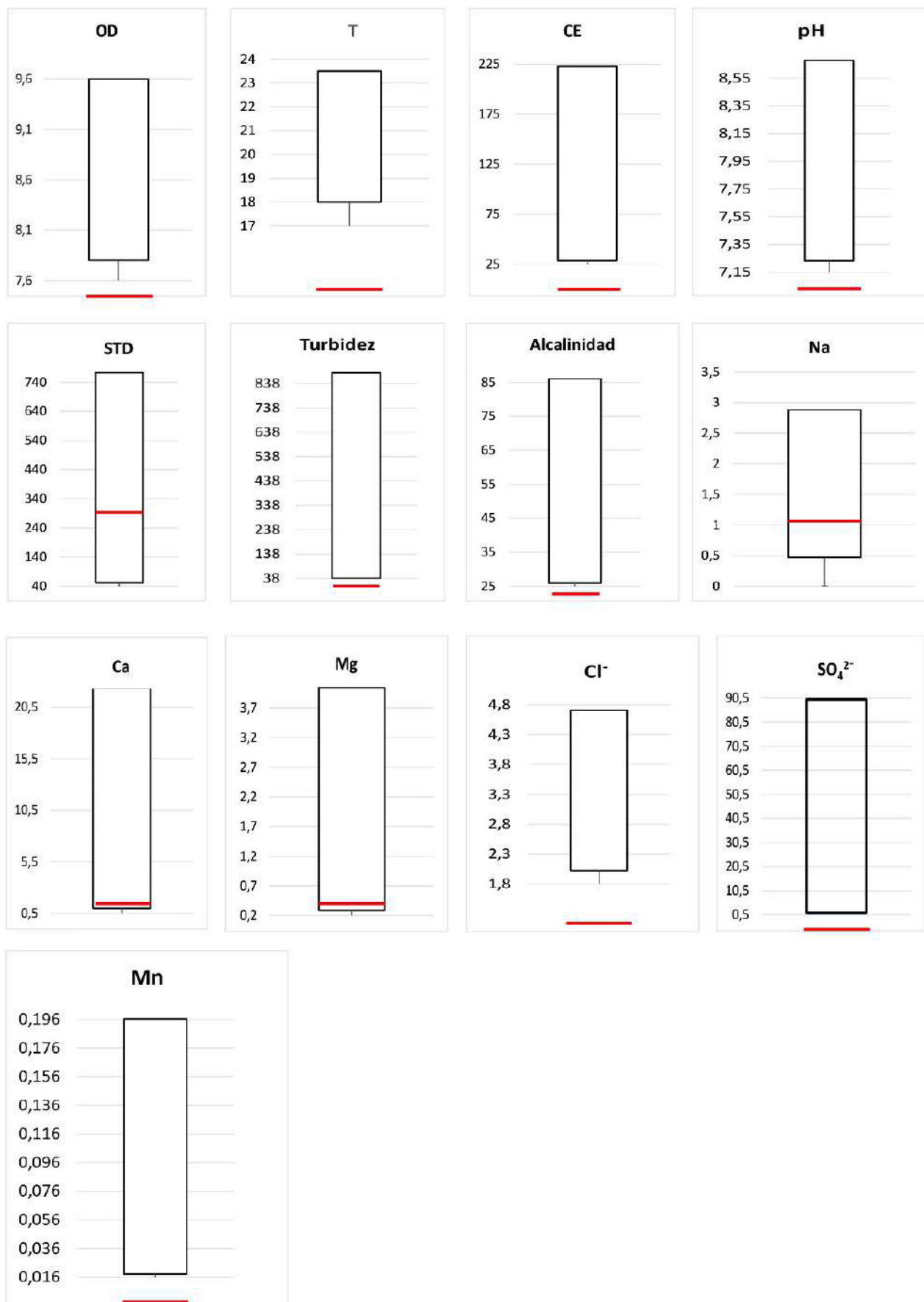


**Figura 4.4** Diagramas de caja de los parámetros físico-químicos de la MCBR en época lluvia para el año 2019. Unidades de medida T (°C), CE (μS/cm), Turbidez (NTU) e iones (mg/L). Línea roja valor punto control (blanco). Intervalo de confianza del 95%.

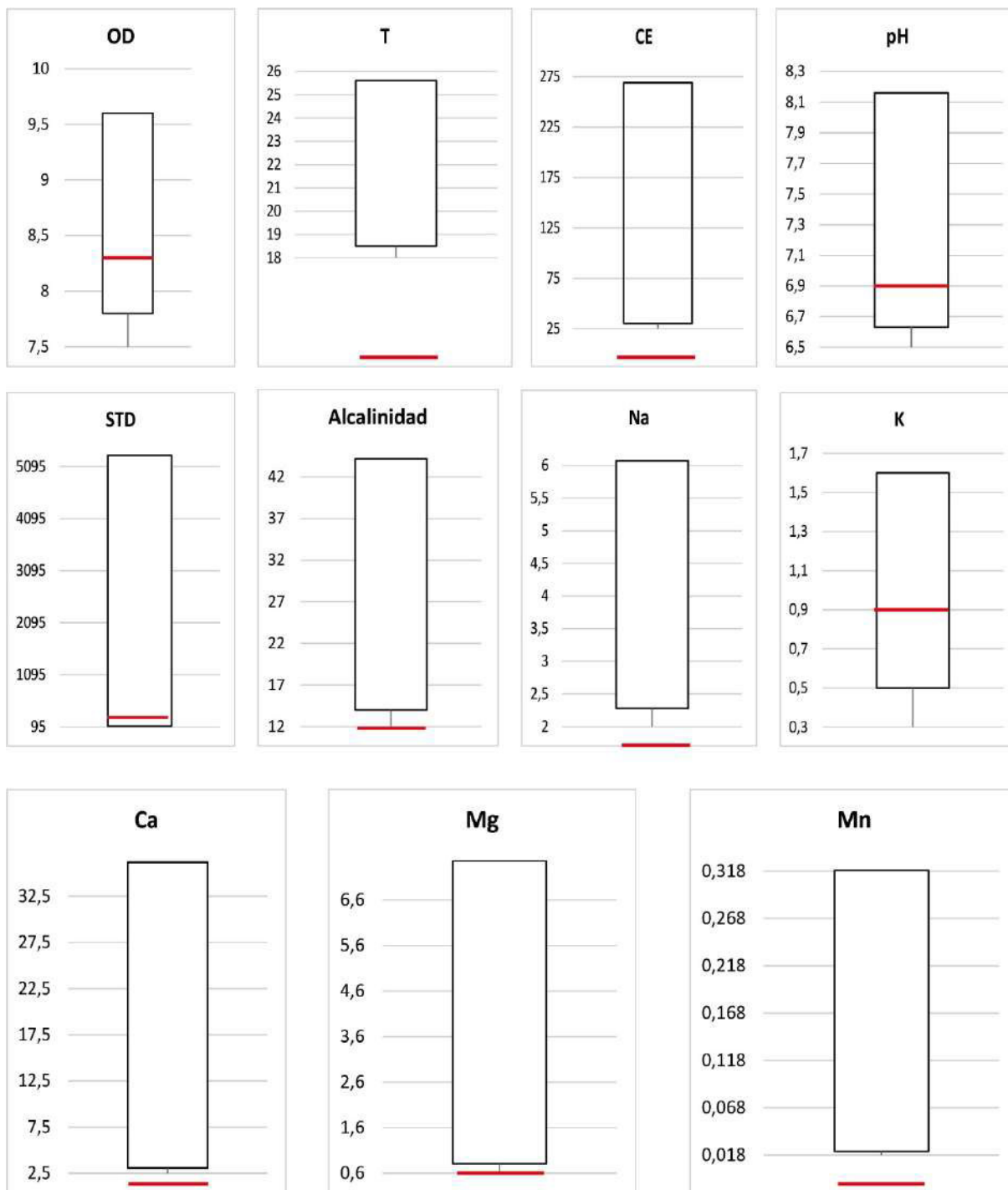


**Figura 4.5** Diagramas de caja de los parámetros físico-químicos de la MCBR en época lluvia para el año 2019. Unidades de medida T (°C), CE ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), Turbidez (NTU) e iones ( $\text{mg}/\text{L}$ ). Línea roja valor punto control (blanco)

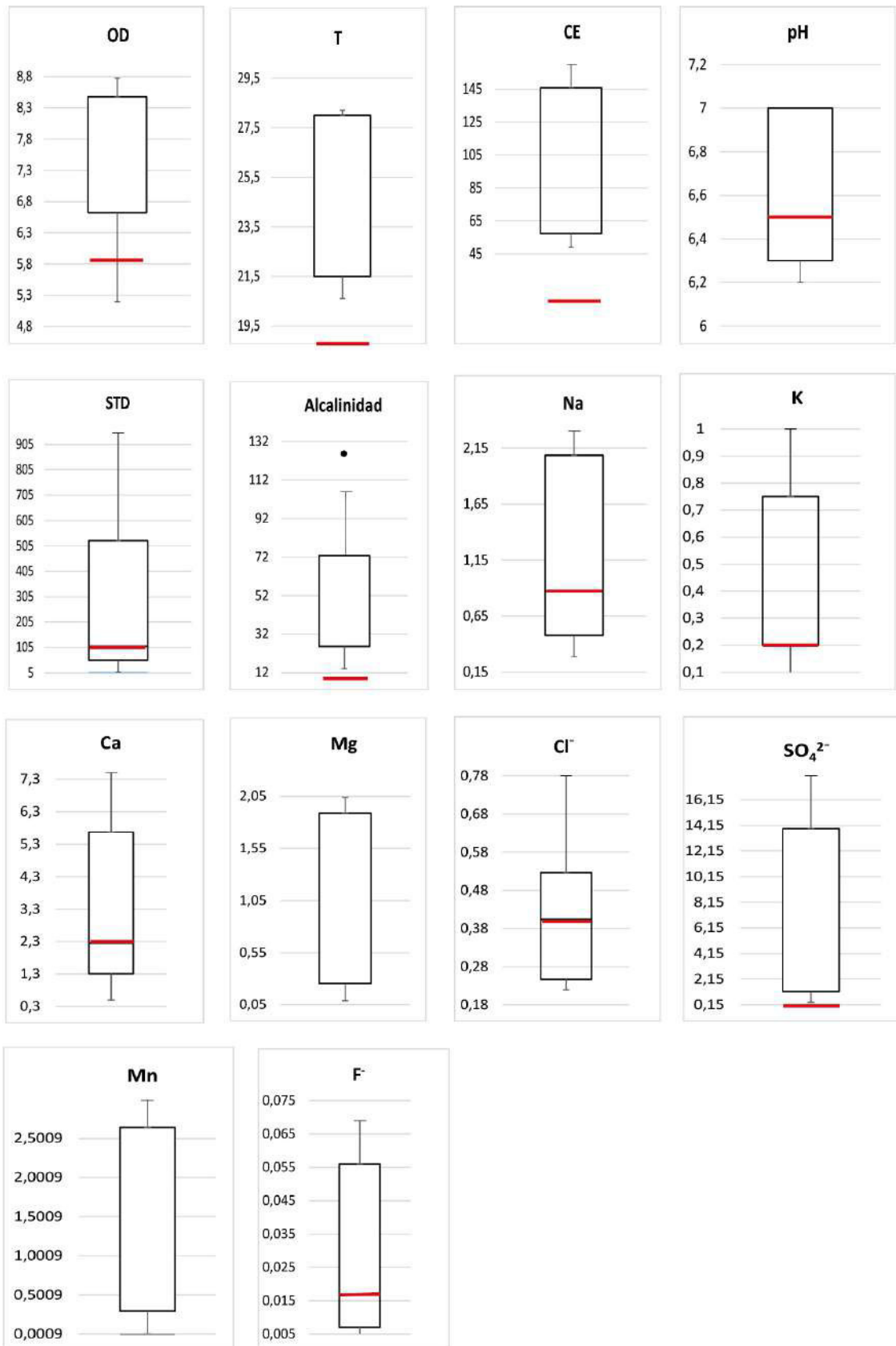




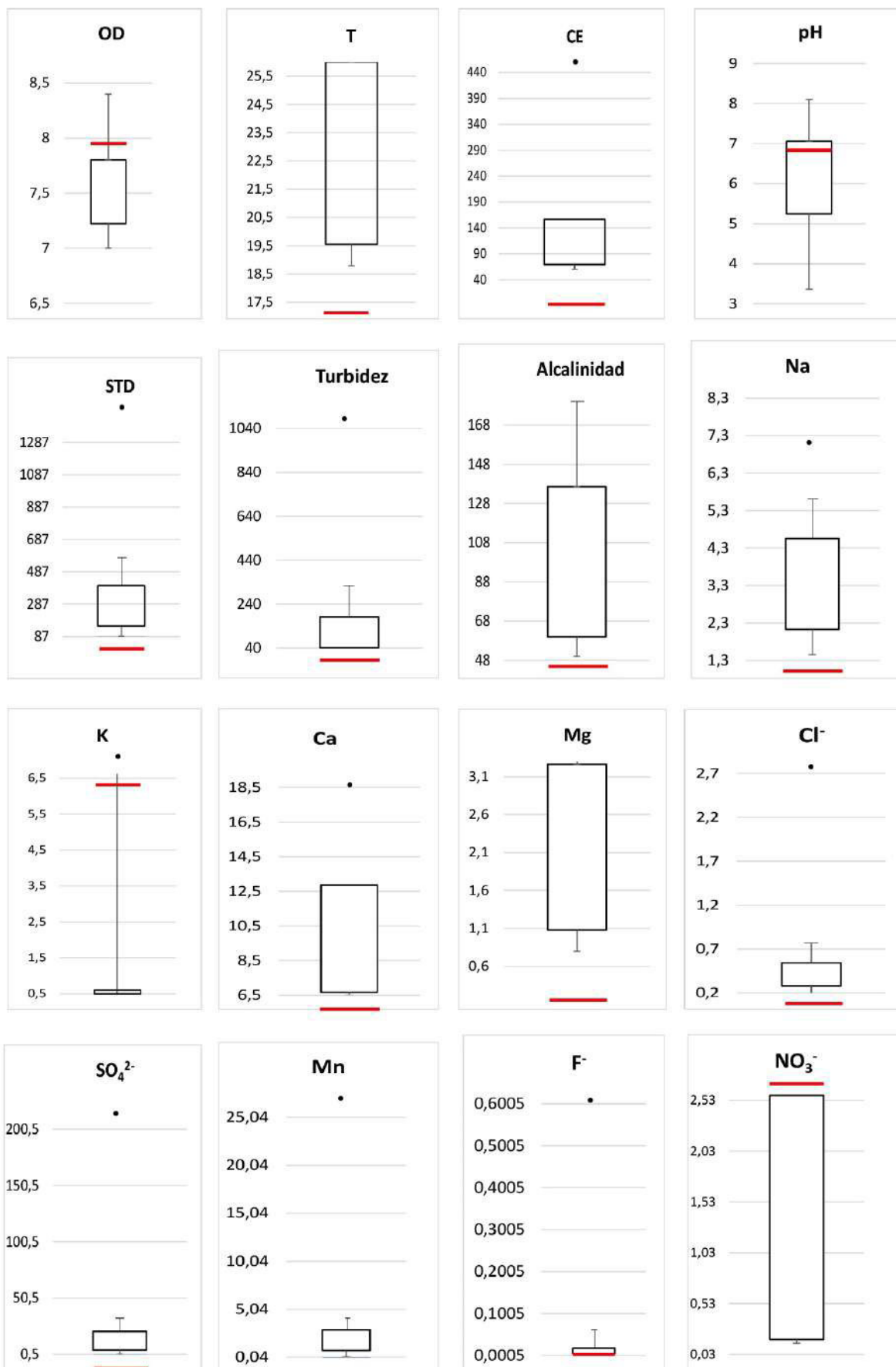
**Figura 4.6** Diagramas de caja de los parámetros físico-químicos de la MCNB en época lluvia para el año 2019. Unidades de medida T (°C), CE (μS/cm), Turbidez (NTU) e iones (mg/L). Línea roja valor punto control (blanco). Intervalo de confianza del 95%.



**Figura 4.7** Diagramas de caja de los parámetros físico-químicos de la MCNB en época seca para el año 2019. Unidades de medida T (°C), CE ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) e iones ( $\text{mg}/\text{L}$ ). Línea roja valor punto control (blanco). Intervalo de confianza del 95%.



**Figura 4.8** Diagramas de caja de los parámetros físico-químicos de la MCCH en época lluvia para el año 2019. Unidades de medida T (°C), CE ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) e iones ( $\text{mg}/\text{L}$ ). Línea roja valor punto control (blanco). Intervalo de confianza del 95%.



**Figura 4.9** Diagramas de caja de los parámetros físico-químicos de la MCCH en época seca para el año 2019. Unidades de medida T (°C), CE (μS/cm), Turbidez (NTU) e iones (mg/L). Línea roja valor punto control (blanco). Intervalo de confianza del 95%.

## **4.2. Parámetros físico-químicos**

### **Microcuenca en distrito minero Bella Rica**

#### **Potencial de hidrógeno**

Los valores de pH en época lluviosa oscilan entre 6,37 a 7,22 con una media de 6,9 (aguas neutras) (Anexo E). De acuerdo con la Figura 4.10, se observa que el pH para la época lluviosa corresponde a aguas moderadamente ácidas y a aguas neutras. La muestra de agua con un valor de pH ligeramente ácido de 6,37 (valor mínimo) se encuentra en la Quebrada Guanache.

En la época seca la variación del pH no es muy notoria ya que sus valores no presentan una diferencia considerable, las aguas para esta época son aguas neutras (media de 7,52) el valor mínimo para esta época es de 7,28 y el máximo de 7,7 (Anexo E; Figura 4.10).

La muestra de agua Br\*AH07 analizada en época lluviosa es de consumo humano, fue tomada en el pueblo de Bella Rica, en la parte alta de la mina. Su valor de pH es neutro (6,92); esta agua es consumida por los pobladores de esta zona minera. Al estar en un rango de 6-9 estos valores de pH para las dos épocas, según TULAS (2005), son consideradas aguas óptimas para el consumo humano.

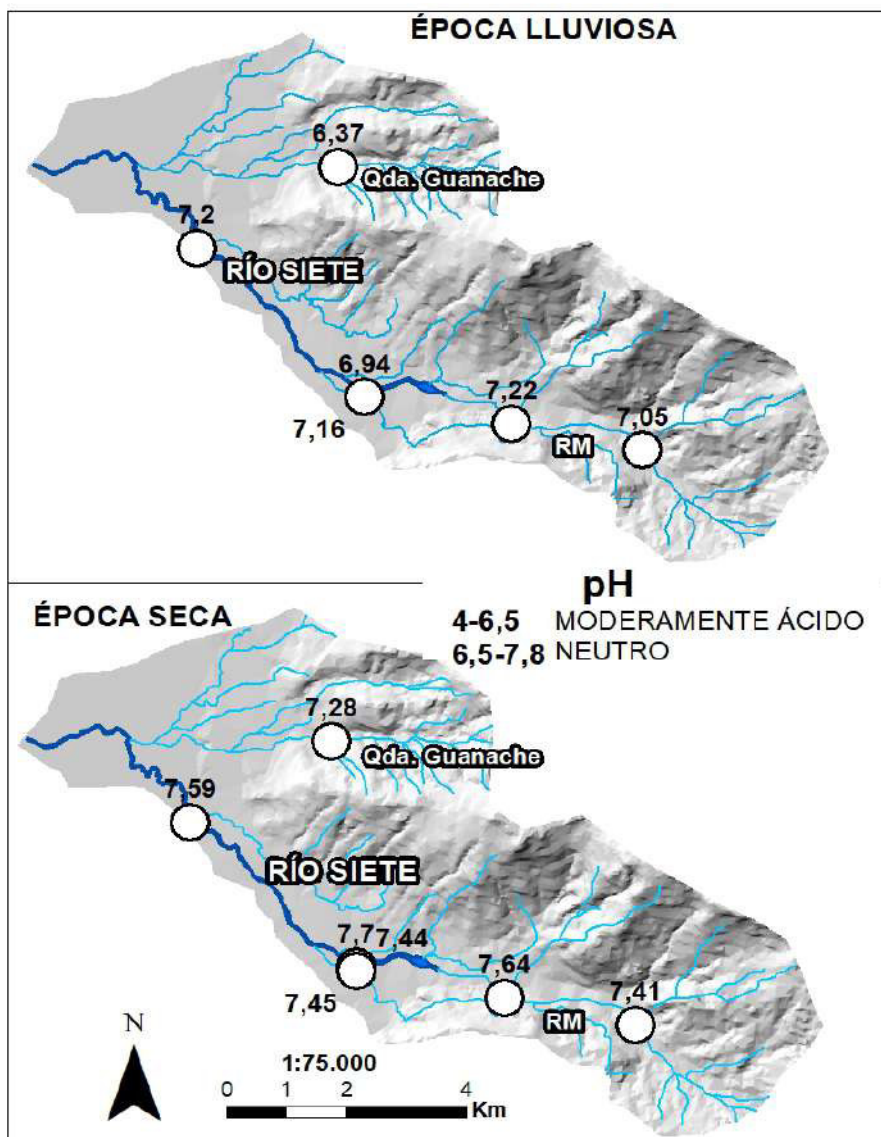


Figura 4.10 Variación temporal del pH en la MCBR. Río: RM Río Margarita. Qda: Quebrada.

## Temperatura

La variación espacial y temporal de la temperatura de las muestras analizadas en la MCBR para las dos épocas exhiben valores entre 19,8°C a 25,7°C (Anexo C).

De acuerdo con la Figura 4.11, existe una zonificación para la época lluviosa. En la parte más alta del área de estudio, se encuentran los valores más bajos (22°C) correspondientes a las muestras tomadas en el Río Margarita (RM) (muestra BrAH00 y muestra BrAH01); el valor máximo de 25,7 °C corresponde con la muestra de agua tomada en el río Vainillo (Anexo C,

Figura 4.11). La muestra de agua analizada Br\*AH07 es de consumo humano tomada en el pueblo de Bella Rica, en la parte alta de la mina, la cual presenta una temperatura de 19,8°C.

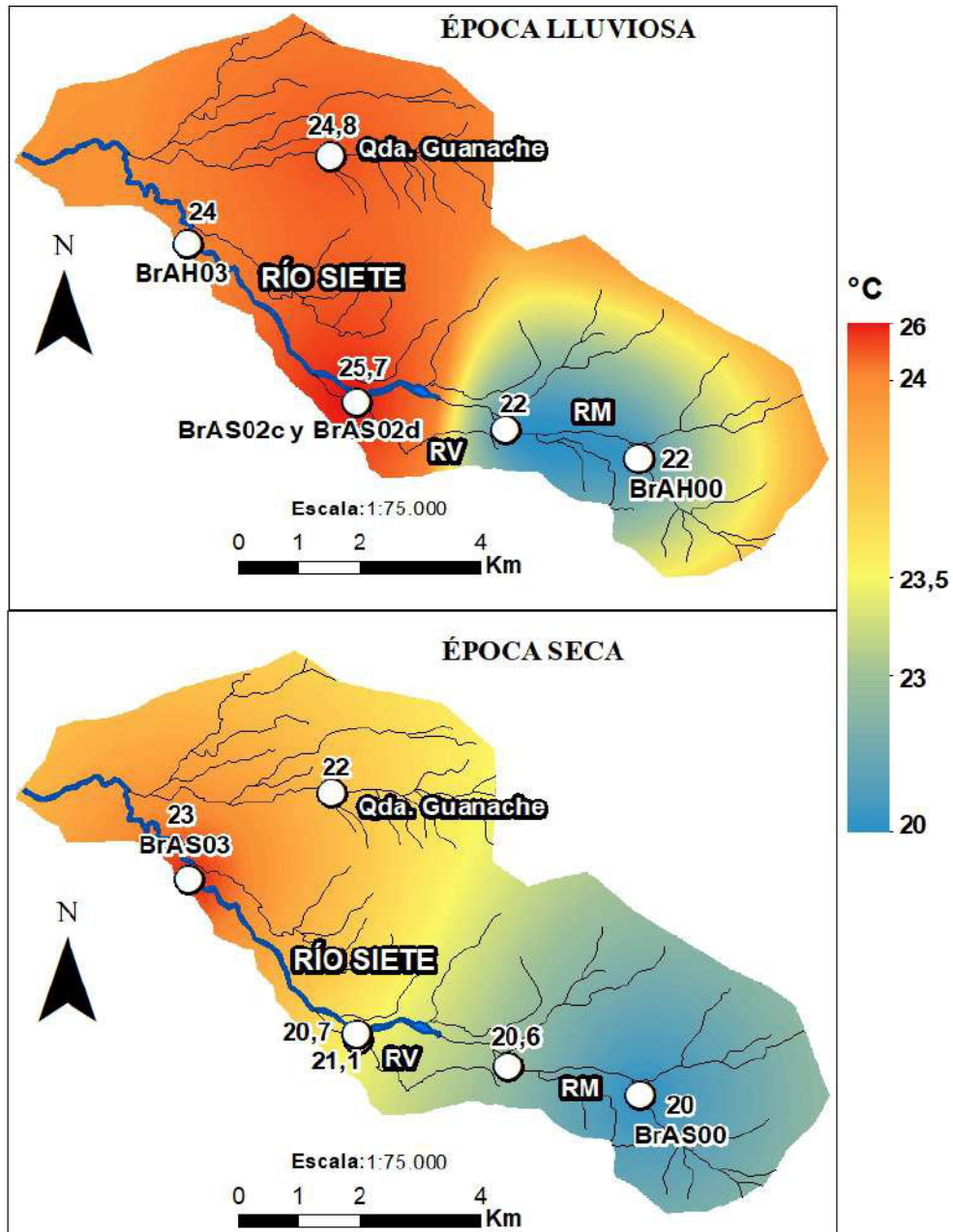


Figura 4.11 Variación temporal y espacial de la temperatura (°C) en la MCCBR. Río: RM Río Margarita, Río: RV Río Vainillo, Qda: Quebrada.

La época seca presenta una sectorización que se observa tanto para la parte alta como para la parte baja de la MCBR, donde los valores más altos 23°C y 22°C pertenecen a las muestras tomadas en el Río Siete (muestra BrAHS03) y en la Quebrada Guanache (muestra BrAHS04), respectivamente; el valor más bajo (20°C) está en el Blanco (muestra BrAHS00) tomado en el Río Margarita (RM) (Figura 4.11; Anexo C).

### **Conductividad eléctrica**

La variación espacial y temporal de la CE muestra una zonificación o sectorización (Figura 4.12).

En el caso de la época lluviosa la muestra de agua tomada en la Quebrada Guanache (muestra BrAH04) presenta el valor máximo de CE 440,04  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (Anexo C; Figura 4.12). Esto sugiere que en esta zona hay una mayor concentración de iones y de STD en el agua, siendo esta área más mineralizada que las demás. Los valores más bajos están distribuidos en el resto de la MCBR especialmente en las partes más altas, de tal forma que existe una menor concentración de iones y de STD en el agua, es decir, el agua es más pura y menos mineralizada.

En la época seca los valores máximos de CE se encuentran en las partes más altas de la MCBR especialmente en las muestras tomadas en el Río Siete (muestra BrAS03 y muestra BrAS13) y la Quebrada Guanache (muestra BrAS04). El valor máximo (583  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) se encuentra en la muestra BrAS13 (Anexo C; Figura 4.12), por tanto, esta agua es más mineralizada, contiene mayor concentración de iones y STD, es menos pura. La muestra de agua analizada Br\*AH07 es de consumo humano tomada en el pueblo de Bella Rica la cual presenta CE de 18,2  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

Al comparar las dos épocas se tiene que la media en época lluviosa es de 172,23  $\mu\text{S}/\text{cm}$  y en la época seca es de 317,60  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , lo que sugiere que el agua en época seca es más mineralizada y menos pura que en época lluviosa.



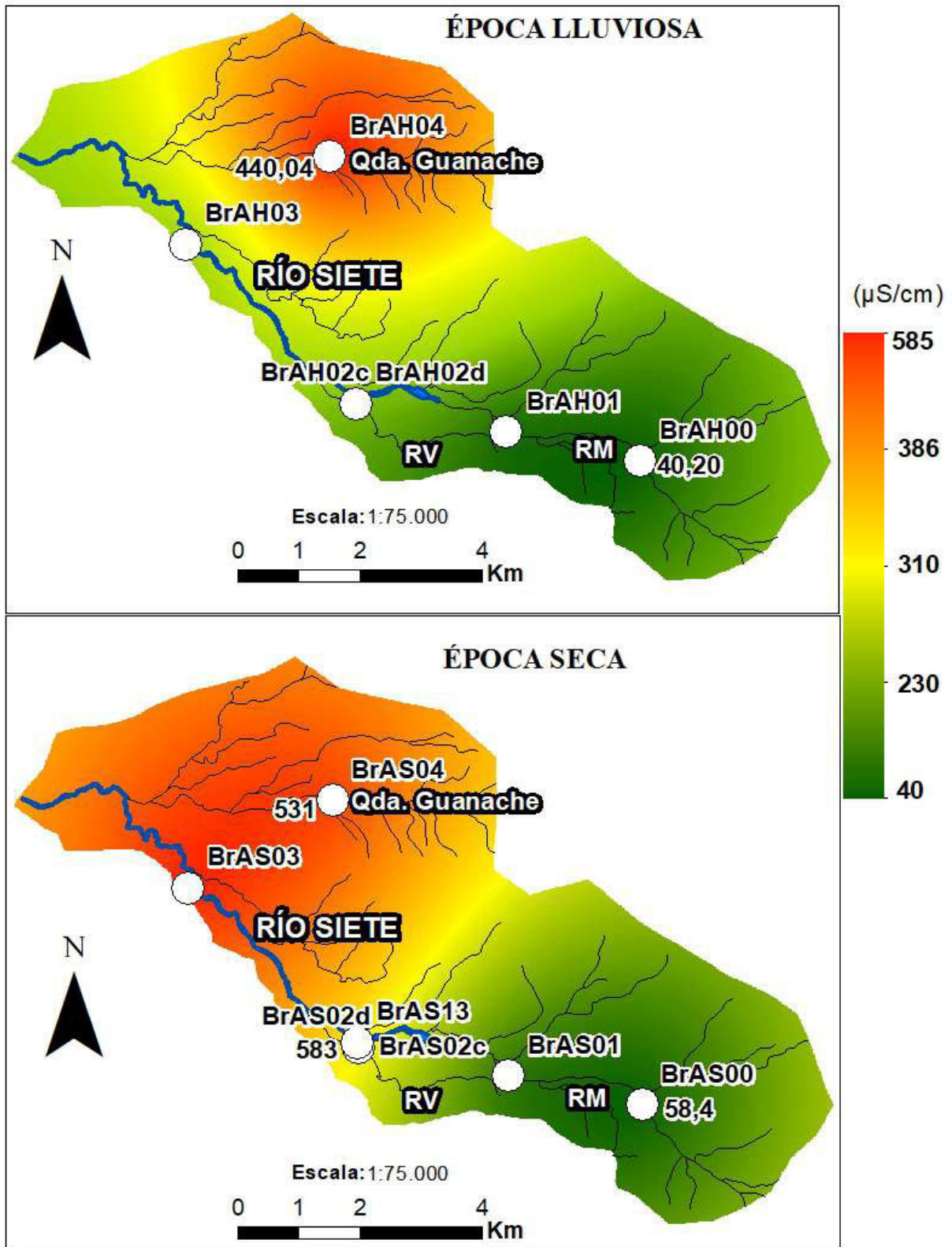


Figura 4.12 Variación temporal y espacial de la conductividad eléctrica ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) en la MCBR.

## **Microcuenca en distrito minero San Gerardo**

### **Potencial hidrógeno**

Los valores de pH para el año 2019 en época lluviosa varían entre 6,8 a 7,82 con una media de 7,42 (aguas neutras) como se muestra en la Figura 4.13.

En la época seca el valor mínimo 7,55 (aguas neutras) de pH se encuentra en el Blanco de la microcuenca (muestra SgAS01) y el valor máximo 9,02 (aguas fuertemente alcalinas) (Figura 4.13) en el río Chico, el cual recoge los efluentes de la explotación como del beneficio en la minería. La media de pH para esta época es de 8,47 lo que corresponde a aguas moderadamente alcalinas.

Las muestras de agua Sg\*AH09 y Sg\*AS09 analizadas para las dos épocas, son de consumo humano, fueron tomadas en una casa del poblado La Fortuna, con valores de pH de 7,85 y 7,82, respectivamente, por tanto son aguas moderadamente alcalinas.

Para el año 2012 la muestra tomada en el río Gala (12SgAS) se refiere a aguas ligeramente alcalinas con un valor 7,92 (Anexo I).

La muestra de pH tomada en el Río Chico para la época seca (muestra SgAS03), según la norma de calidad de agua, está sobre los límites máximos permisibles (6-9) como se observa en la Figura 4.4.

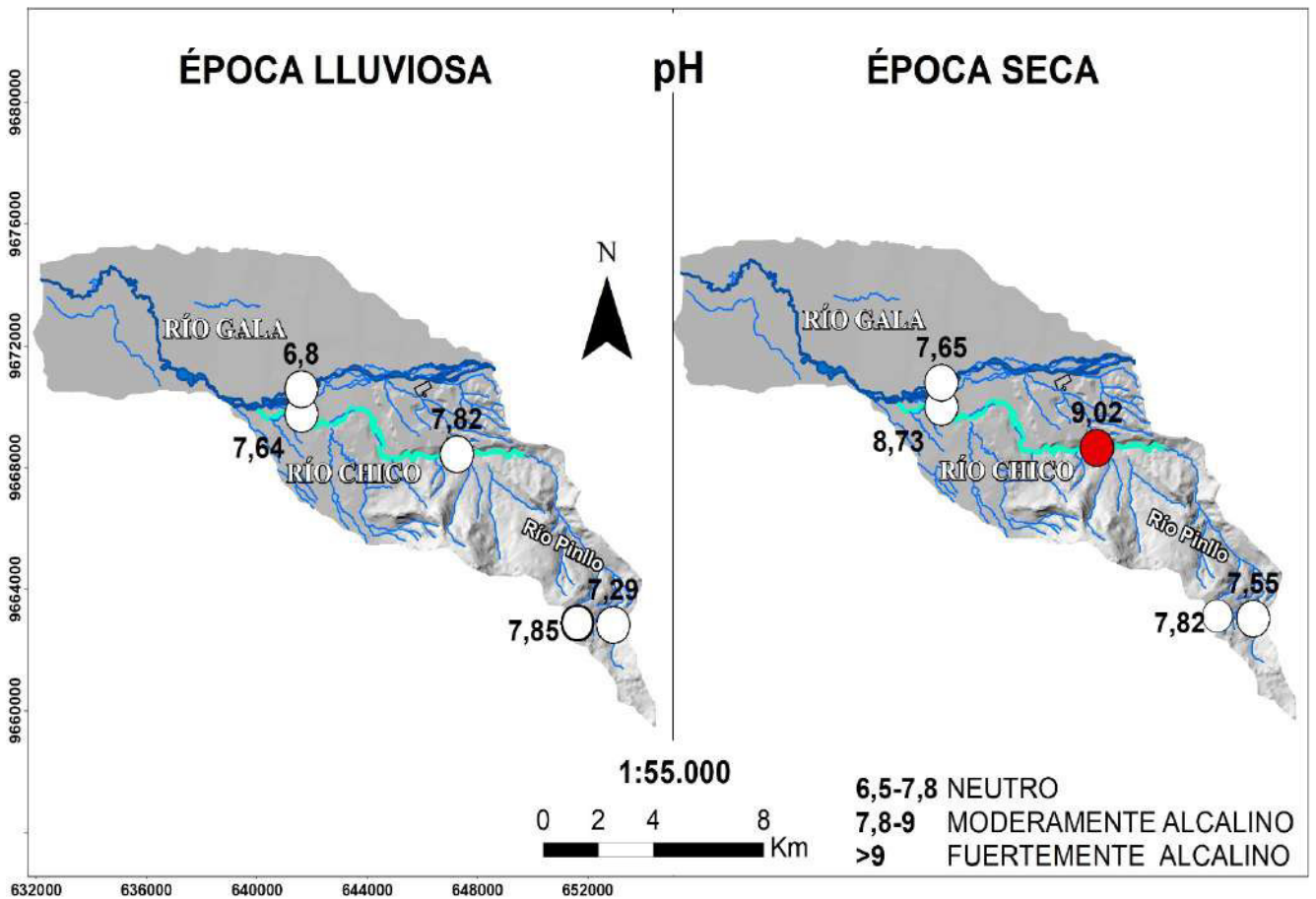


Figura 4.13 Variación temporal del pH en la MCSG en el año 2019.

## Temperatura

La variación espacial y temporal de la temperatura de las muestras analizadas en la MCSG para las dos épocas en el año 2019, presenta valores entre 18°C a 26°C (Figura 4.14; Anexo C). De acuerdo con la Figura 4.14, existe una zonificación para la época lluviosa y seca.

En la parte más alta del área de estudio se encuentran los valores más bajos correspondientes a las muestras tomadas en el Blanco de la microcuenca (SgAH01 y SgAS01) y los valores más altos en las muestras de agua SgAH05 y SgAS05 tomadas en el Río Chico (Figura 4.14; Anexo C).

Las muestras de agua analizadas Sg\*AH09 y Sg\*AS09 de consumo humano tomadas en una casa del poblado La Fortuna, presenta valores de temperatura de 21,7°C y 23,7°C, respectivamente (Anexo C). La muestra de agua tomada en el año 2012 (12SgAS) en época seca es de 26,3°C.

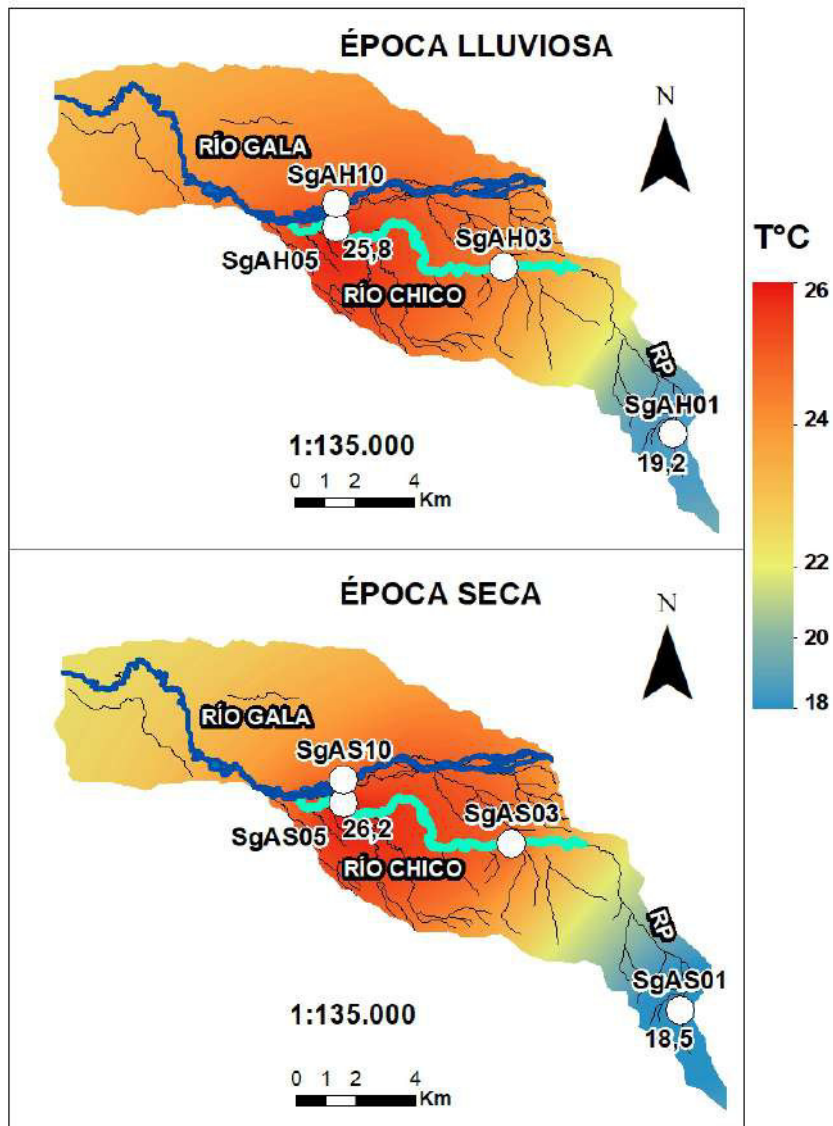


Figura 4.14 Variación temporal y espacial de la temperatura (°C) en la MCSG en el año 2019.

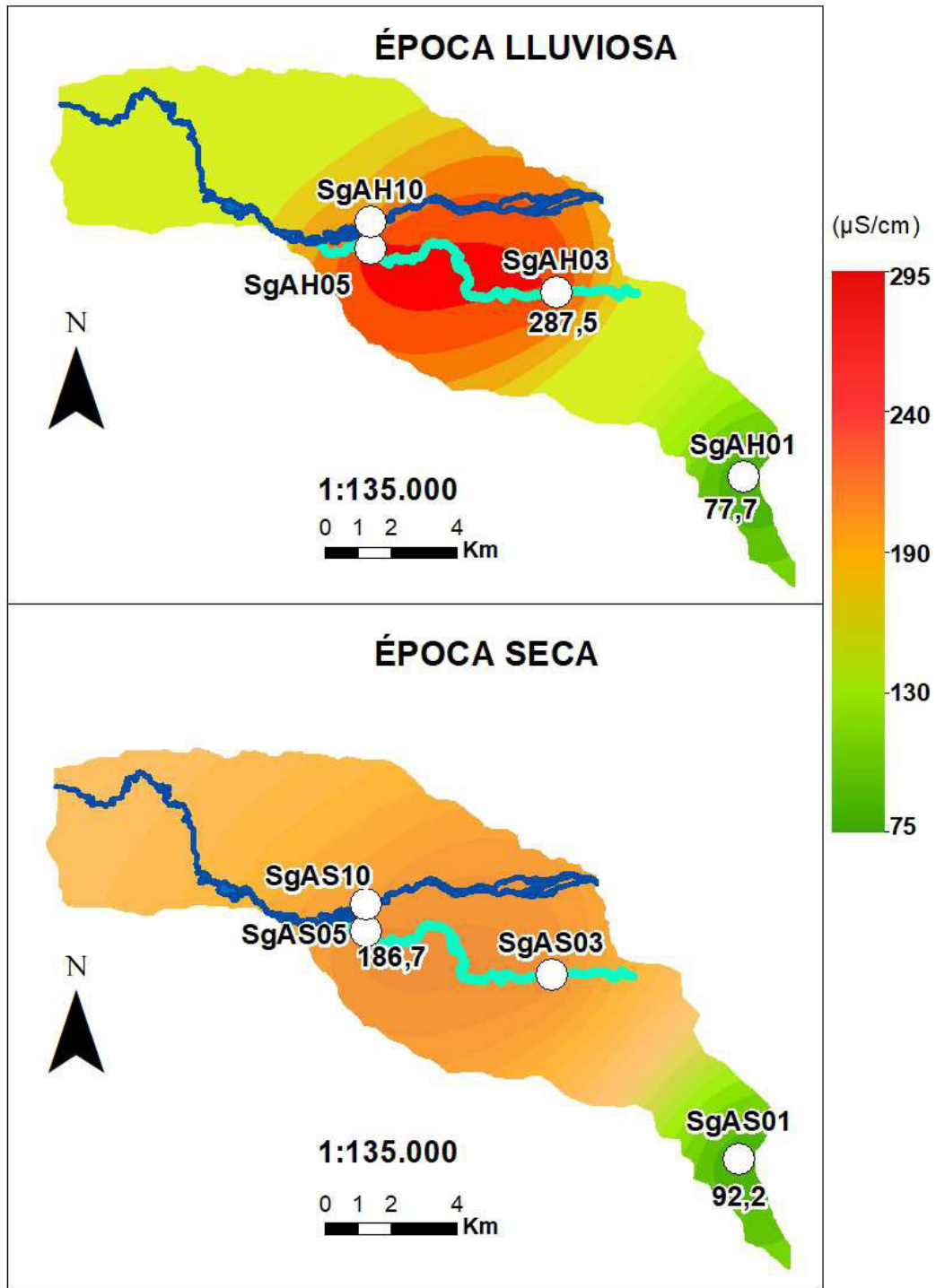
## Conductividad

La variación espacial y temporal de la CE muestra una zonificación o sectorización (Figura 4.15). En la época lluviosa, el valor máximo de CE es de  $186,7\mu\text{S}/\text{cm}$  en el Río Chico (muestra SgAH05). Esto refleja que en esta zona existe mayor concentración de iones y de STD en el agua, es decir, esta área es más mineralizada que las demás (Dadzie, 2012).

Los valores más bajos están distribuidos en el resto de la MCSG especialmente en las partes más altas, de tal forma que existe una menor concentración de iones y de STD en el agua, es decir, el agua es más pura y menos mineralizada.

En época seca el valor máximo de CE es de  $287,5\mu\text{S}/\text{cm}$  en el Río Chico (muestra SgAS03) y el valor mínimo es de  $77,7\mu\text{S}/\text{cm}$  (muestra SgAS01) correspondiente al Blanco de la zona de estudio (Anexo C; Figura 4.15).

Al comparar las dos épocas se tiene que la media en época lluviosa es de  $143,8\mu\text{S}/\text{cm}$  y en la época seca es de  $212,73\mu\text{S}/\text{cm}$ , lo que sugiere que el agua en época seca es más mineralizada y menos pura que en época lluviosa. La muestra de agua tomada en el año 2012 (12SgAS) en época seca presenta un valor de CE de  $117,7\mu\text{S}/\text{cm}$ .



**Figura 4.15** Variación temporal y espacial de la conductividad eléctrica ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) en la MCSG en el año 2019.

## Microcuenca en distrito minero Nambija

### Potencial hidrógeno

De acuerdo con la Figura 4.16, se observa que el pH para la época lluviosa corresponde en su mayoría a aguas neutras (6,5 -7,8). La muestra de agua con un valor de pH ligeramente ácido de 6,48 (valor mínimo) se encuentra cerca a la Quebrada de Nambija, en el Blanco (muestra NbAH00) del área de estudio, mientras la muestra de agua analizada en el Río Nambija (7,93 valor máximo) es moderadamente alcalina. En la época seca los valores de pH muestran aguas neutras (media de 7,3) en el Blanco (muestra NbAS00), Quebrada del Hierro (muestra NbAS01) y en el Río Nambija (muestra NbAS03), mientras que en la muestra NbAS02 en la Quebrada del Hierro (drenaje de la mina de Nambija) el pH es moderadamente alcalino (8,16) (Anexo I; Figura 4.16). La muestra de agua (muestra Nb\*AS07) analizada para la época lluviosa, es de consumo humano tomada en el poblado de Nambija, presenta un pH neutro (7,34). Al estar estos valores de pH entre 6-9 según TULAS (2005), son consideradas aguas óptimas para consumo humano.

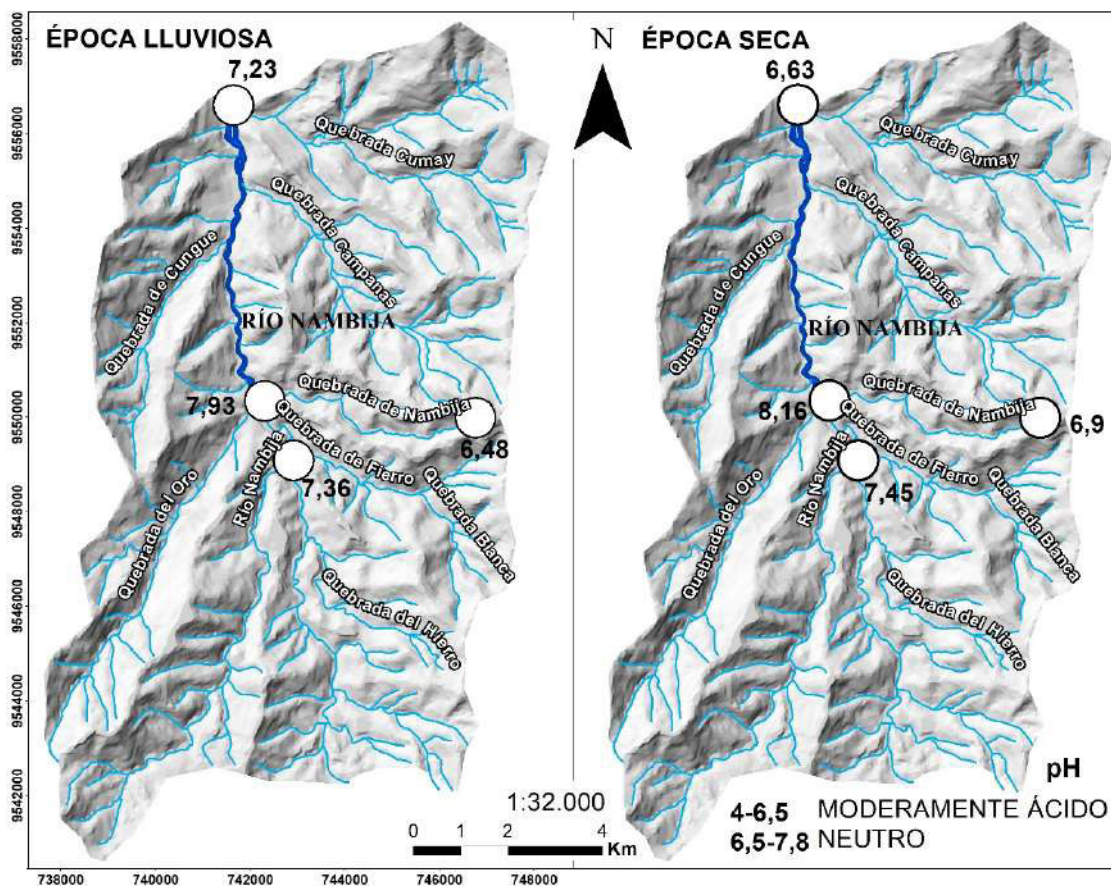


Figura 4.16 Variación temporal del pH en la MCNB.

## Temperatura

La variación espacial y temporal de la temperatura de las muestras analizadas en la MCNB para las dos épocas exhiben valores entre 13°C a 21°C (Anexo C). De acuerdo con la Figura 4.17, existe sectorizaciones para la época lluviosa. En la parte central derecha, propia del Blanco (muestra NbAH00) del área de estudio, se encuentra la temperatura más baja (14,1°C) (Anexo C). Las temperaturas más altas se encuentran en la Quebrada del Hierro (muestra NbAH01) y en el Río Nambija (muestra NbAS03) con valores de temperatura de 19,6°C y 19,1°C, respectivamente, (Anexo C). La época seca se presenta una sectorización en el centro de la microcuenca, con la temperatura más alta (20,5°C) en la Quebrada del Fierro (muestra NbAS02), y el valor más bajo en el Blanco de la microcuenca (muestra NbAS00) (Figura 4.17; Anexo C). La muestra de agua analizada Nb\*AS07 en época seca, es de consumo humano tomada en el poblado de Nambija, presenta una temperatura de 18,1°C.

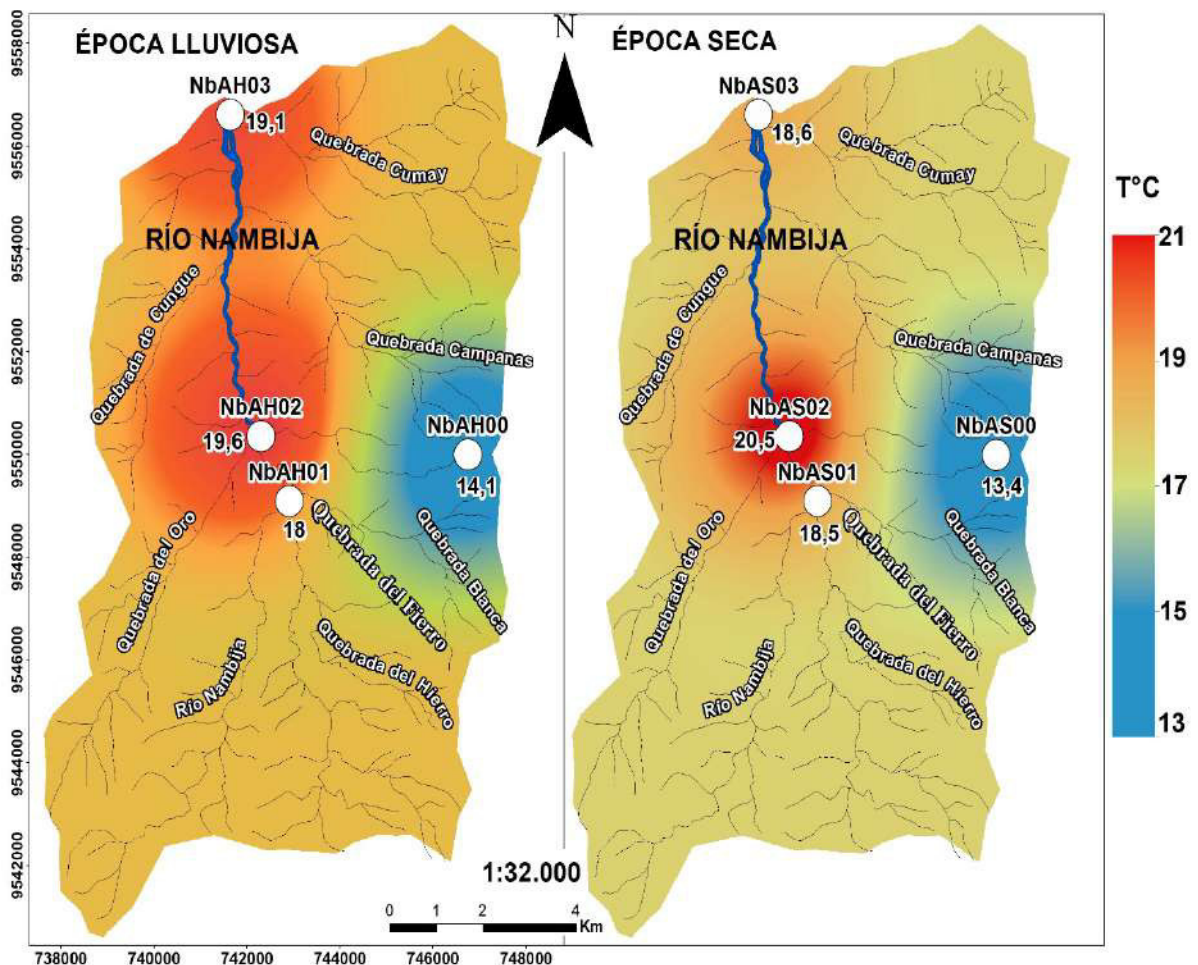


Figura 4.17 Variación temporal y espacial de la temperatura (°C) en la MCNB.



## Conductividad eléctrica

La variación espacial y temporal de la CE muestra zonificaciones o sectorizaciones mayormente al centro y al este de la MCNB (Figura 4.18). En la época lluviosa el valor máximo de CE es de  $213 \mu\text{S}/\text{cm}$  en la Quebrada del Fierro (muestra NbAH02), exponiendo que esta zona presenta mayor concentración de iones y de STD en el agua, es decir, esta área es más mineralizada que las demás (Dadzie, 2012). El valor mínimo ( $19,2 \mu\text{S}/\text{cm}$ ) está en el Blanco del área de estudio (muestra NbAH00), es decir, agua menos mineralizada. En época seca el valor máximo de CE es de  $257 \mu\text{S}/\text{cm}$  Quebrada del Fierro (muestra NbAH02) y el valor mínimo en  $18,5 \mu\text{S}/\text{cm}$  está en el Blanco del área de estudio (muestra NbAH00) (Anexo C; Figura 4.18). La muestra de agua analizada Nb\*AS07 en época seca que es de consumo humano tomada en el poblado de Nambija, presenta un valor de CE de  $18,1 \mu\text{S}/\text{cm}$ .

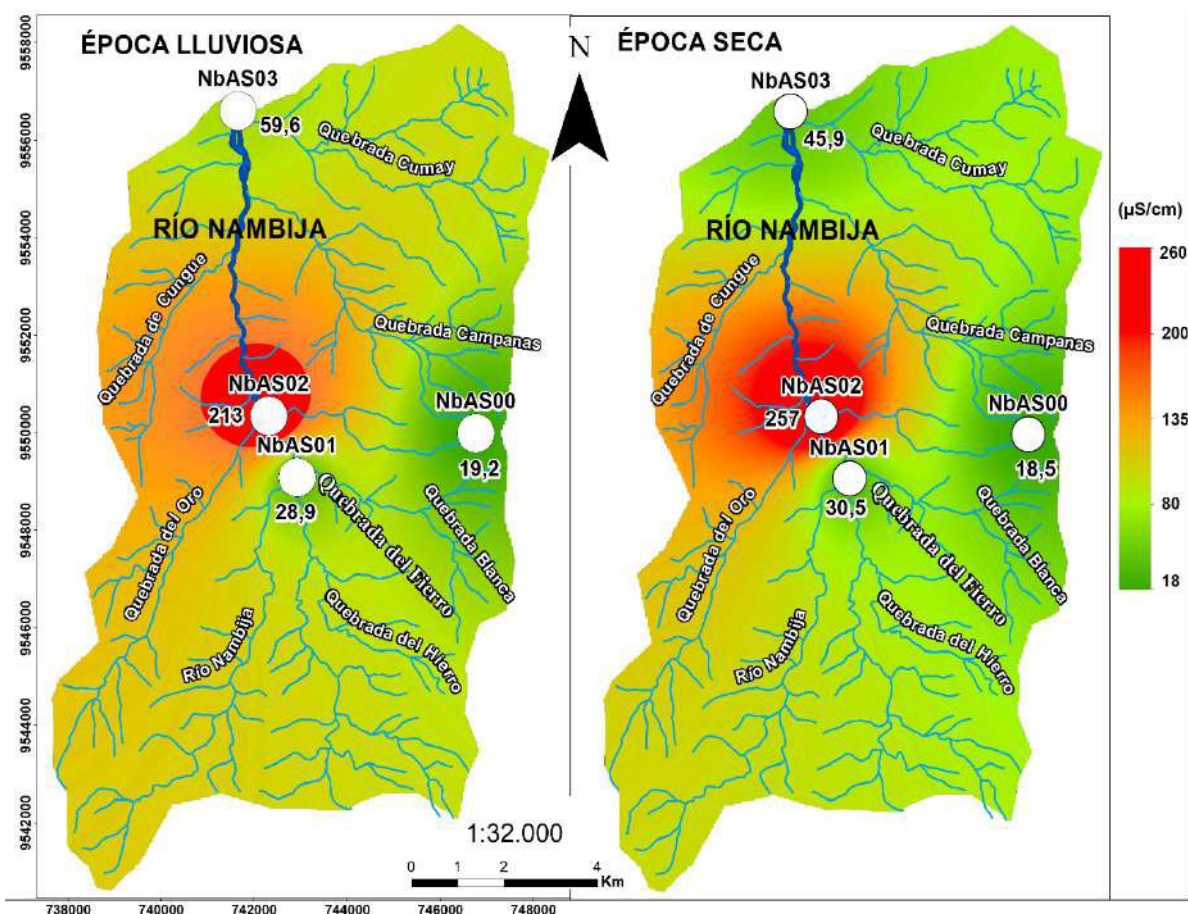


Figura 4.18 Variación temporal y espacial de la conductividad eléctrica ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) en la MCNB.

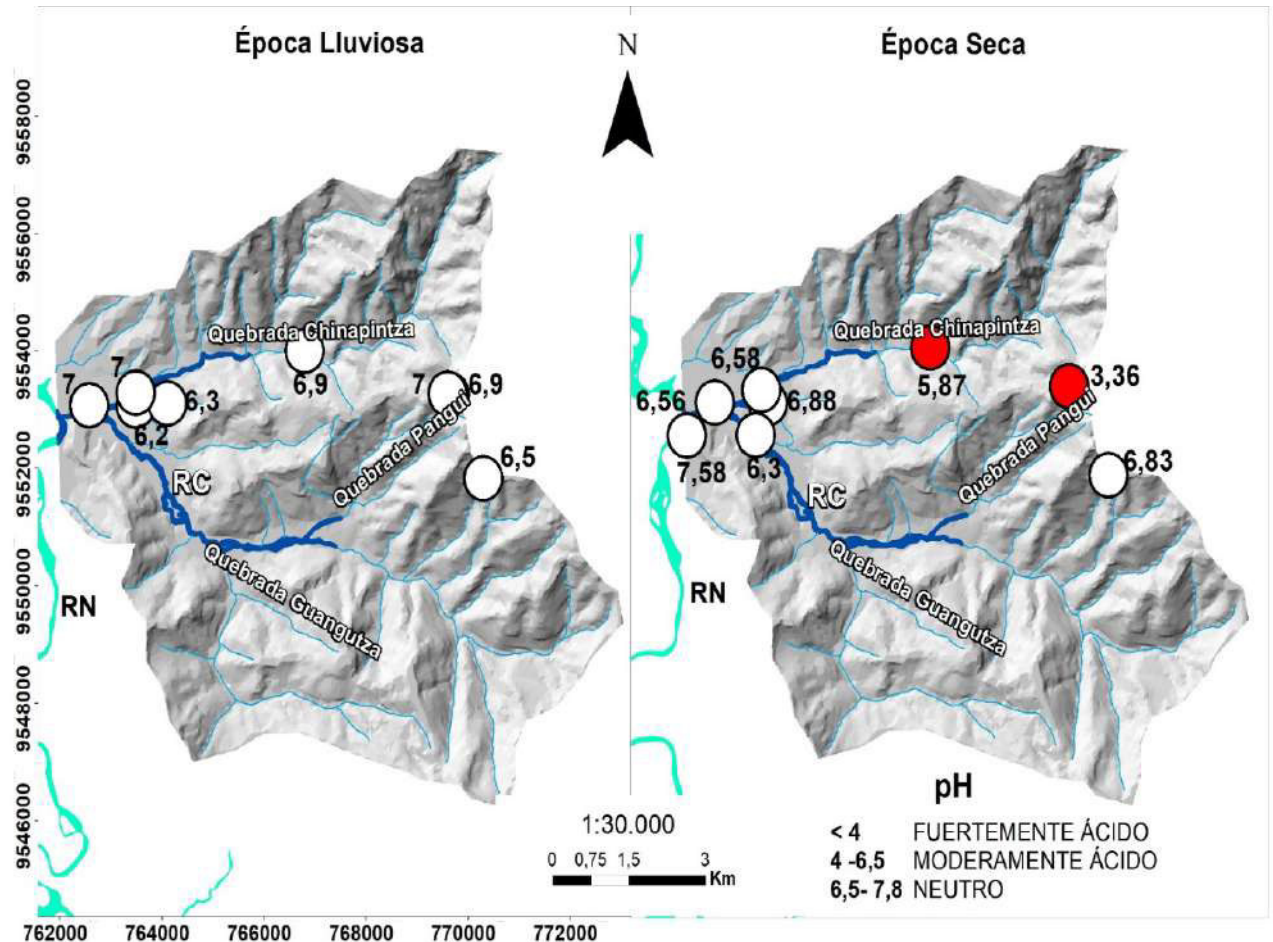
## Microcuenca en distrito minero Chinapintza

### Potencial hidrógeno

En la época lluviosa los valores de pH muestran aguas neutras (media de 6,75), mientras que en los sectores localizados en las partes más bajas de la microcuenca, las aguas son ligeramente ácidas, con valores que varían de 6,2- 6,4 (Anexo I; Figura 4.19).

De acuerdo con la Figura 4.19, se observa que los valores de pH para la época seca varían entre 3,36 (valor mínimo) a 7,58 (valor máximo), con una media de 6,14 correspondiente a aguas modernamente ácidas. Los valores de pH más bajos se encuentran en los sectores más altos de la microcuenca, tanto de la Quebrada Panguí, que recoge los efluentes de todas las minas de ese sector minero (muestra ChAS01c), como de la Quebrada Chinapintza, que recoge los efluentes de las minas de la zona de la Herradura (muestra ChAS04) (Anexo I; Figura 4.19).

De los resultados analizados para las muestras de agua de consumo humano, tanto para la época lluviosa (muestra Ch\*AH03), como para la época seca (muestra Ch\*AS03, muestra Ch\*AS09 y muestra CgAs06), se observa que la muestra de agua Ch\*AH03 presenta un valor de pH 6,4 y la muestra de agua Ch\*AS03 un valor de pH 5,86 lo que corresponde a aguas moderadamente ácidas. Para las muestras de agua de consumo humano (muestra Ch\*AS09 y muestra Cg\*As06), los valores de pH son 5,86 y 6,76, aguas moderadamente ácidas y neutras, respectivamente (Anexo I). Los valores de pH que están fuera del rango permitido (6-9), son considerados no óptimos para consumo humano, además de que el contacto con estas aguas puede ser perjudicial (OMS, 2018).



**Figura 4.19** Variación temporal del pH en la MCCH. Ríos: RC Río Congüime, RN Río Nangaritzza.

## Temperatura

La variación espacial y temporal de la temperatura de las muestras analizadas en la MCCH para las dos épocas, exhiben valores entre 15°C a 27°C (Figura 4.20; Anexo C). De acuerdo con la Figura 4.20, la mayoría de los valores de la temperatura están por encima de los 21°C, para la época lluviosa; además, existe una zonificación clara en el Blanco (muestra ChAH00) de la microcuenca, donde la temperatura más baja es de 17,7°C; mientras que para la época seca, el valor más bajo es de 15,6°C (muestra ChAS00) y el más alto es de 23,4° (muestra ChAS10) en el Río Nangaritzza (Anexo C), asimismo con una clara zonificación de los valores altos y bajos de la temperatura.

De los resultados analizados para las muestras de agua de consumo humano, tanto para la época lluviosa (muestra Ch\*AH03), como para la época seca (muestra Ch\*AS03, muestra Ch\*AS09 y muestra CgAs06), se observa que en la muestra de agua Ch\*AH03 la temperatura es de 22,8°C y en la muestra de agua Ch\*AS03 es de 26,3°C. Para las demás muestras de agua

de consumo humano (muestra Ch\*AS09 y muestra Cg\*As06), las temperaturas son de 26,3°C y 22,4°C, respectivamente, (Anexo C).

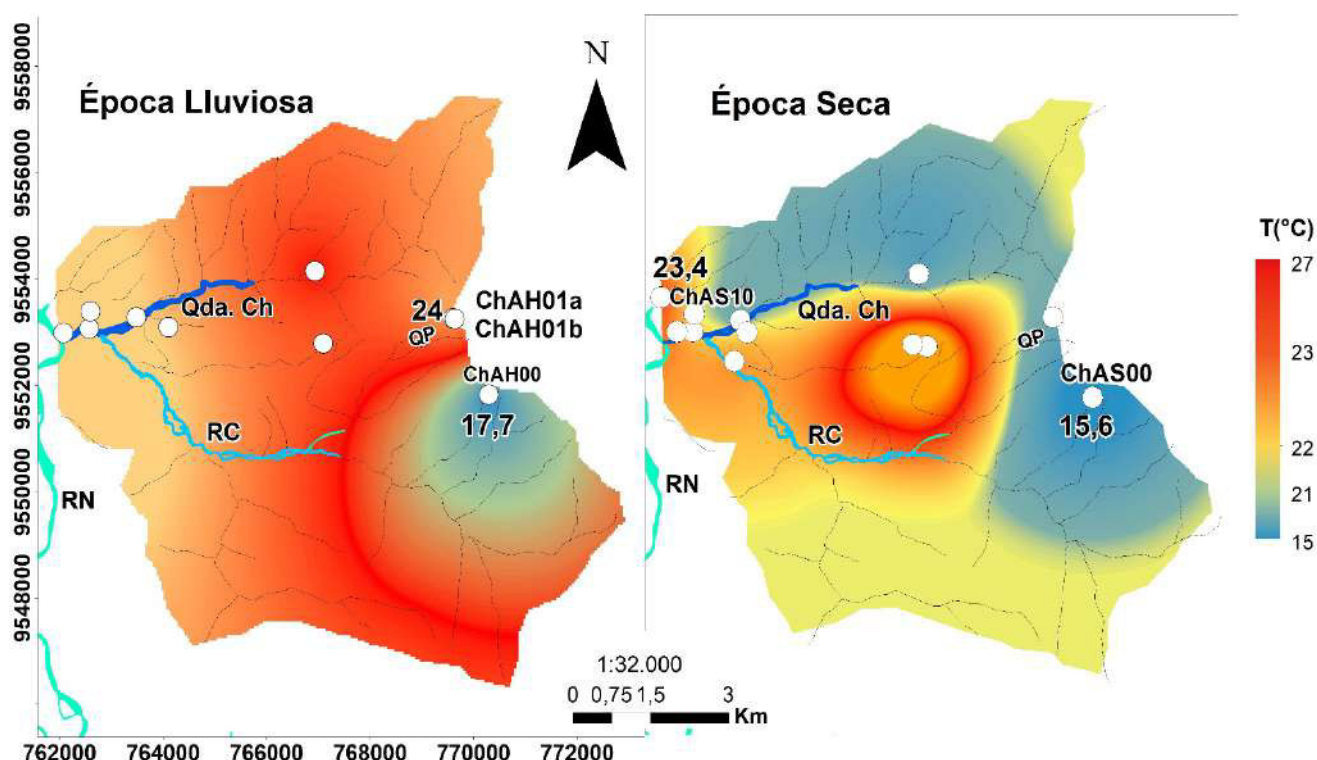


Figura 4.20 Variación temporal y espacial de la temperatura (°C) en la MCCH.

### Conductividad eléctrica

La variación espacial y temporal de la CE muestra una zonificación o sectorización (Figura 4.21). En el caso de la época lluviosa en la parte central de la microcuenca, se registra el valor mínimo (15,2  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) de CE correspondiente al Blanco de la microcuenca; mientras que en la zona alterada por la actividad antrópica (muestra ChAH08), se exhibe el valor máximo (153,7  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) (Anexo C; Figura 4.21). En la época seca el valor mínimo (12,6  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) está en el Blanco de la microcuenca y el valor máximo (452,50  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) está en la Quebrada Pangui (Figura 4.21, Anexo C). De los resultados analizados para las muestras de agua de consumo humano, tanto para la época lluviosa (muestra Ch\*AH03), como para la época seca (muestra Ch\*AS03, muestra Ch\*AS09 y muestra Cg\*As06), en la muestra de agua Ch\*AH03 la CE es 17,8  $\mu\text{S}/\text{cm}$  y en la muestra de agua Ch\*AS03 es de 18,1  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Para las demás muestras de agua de consumo humano (muestra Ch\*AS09 y muestra Cg\*As06), los valores de conductividad eléctrica son de 18,1  $\mu\text{S}/\text{cm}$  y 57,7  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , respectivamente, (Anexo C). Los valores altos de la CE indican que existe una mayor concentración iónica y de STD en el agua, siendo estas aguas más mineralizadas, probablemente resultante de la geología subyacente y por fuertes actividades

antropogénicas. Por el contrario, los valores más bajos indican que el agua es más pura y menos mineralizada. Al comparar las dos épocas, se tiene que la media en época lluviosa es de 87,46  $\mu\text{S}/\text{cm}$  y en la época seca es de 145,95  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , lo que sugiere que el agua en época seca es más mineralizada y menos pura que en época lluviosa.

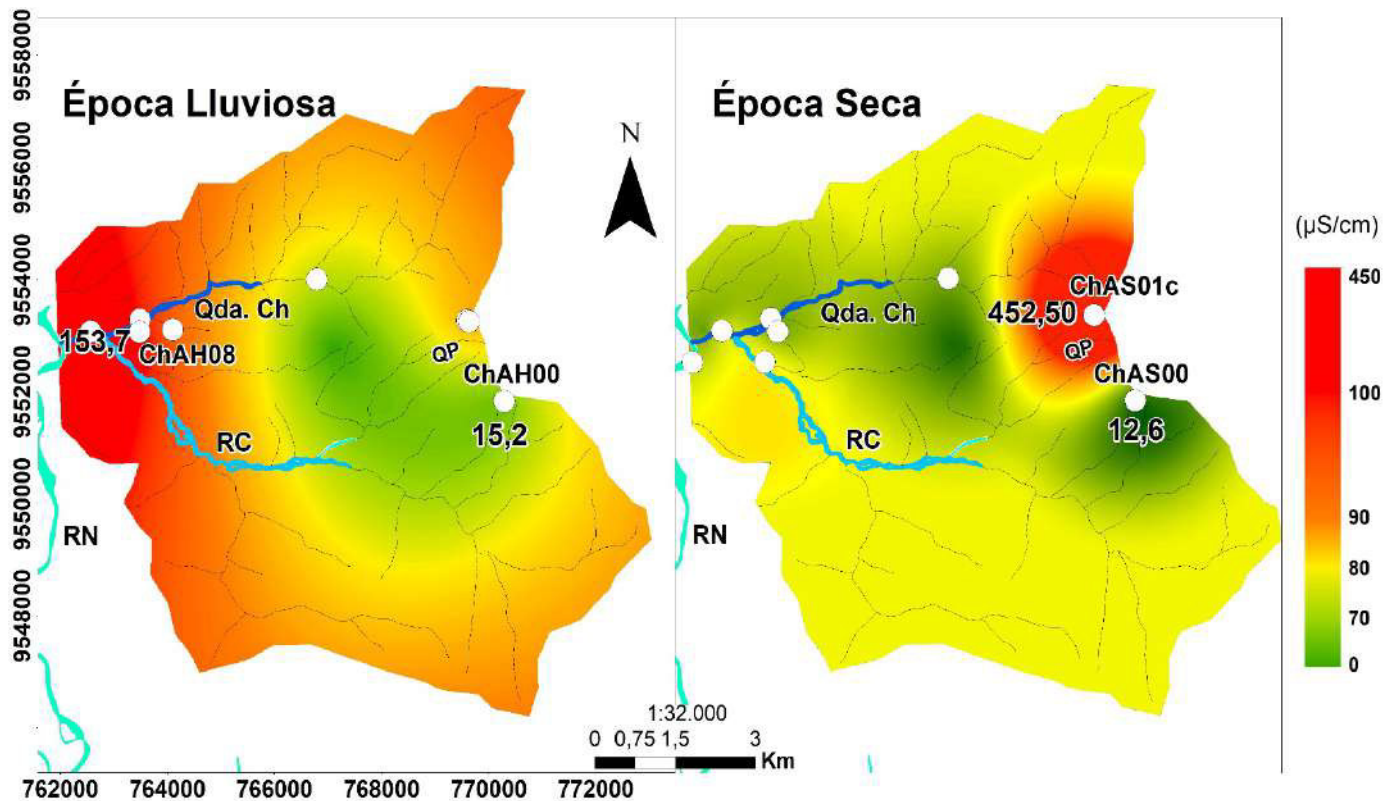


Figura 4.21 Variación temporal y espacial de la conductividad eléctrica ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) en la MCCH.

### 4.3. Índice de calidad de agua

Los resultados del *WQI* mostrados en el Anexo F, para todas las microcuencas, fueron graficados en sus respectivas áreas de estudio, a través del método geoestadístico kriging ordinario; se realizó una interpolación de los datos mediante el software ArcGis 10.4.1, para posteriormente ser mostrados en mapas (Figura 4.22 a 4.25). Para dicha interpolación no se tomó en cuenta las muestras de agua correspondientes a aquellas que son de consumo humano, en las dos épocas de todas las microcuencas. Sin embargo, si fueron consideradas en la discusión e interpretación de resultados.

## Microcuenca en distrito minero Bella Rica

Para calcular el índice de calidad de agua según el Apartado 3 (Metodología) Sección 3.5, se indicó que se consideran nueve factores (variables) que se deben tomar en cuenta, para obtener el índice *WQI*.

Para el cálculo de la calidad de agua en época lluviosa en la MCBR se lo realizó con 6 factores (OD%, pH, T, STD, Turbidez,  $\text{NO}_3^-$ ), tomando en cuenta que por la falta de valores en algunas variables la calculadora que está apoyada en el libro Manual de campo para el monitoreo de la calidad de agua propuesta por Mitchell & Stapp (2008), considera el peso relativo de cada variable (Tabla 3.6), y lo reparte de forma proporcional entre los factores restantes.

De acuerdo a la determinación del *WQI* en la MCBR para la época lluviosa (7 muestras de agua), se obtuvo en el cálculo que una muestra de agua tiene una calidad media (poco contaminada), una muestra de agua se clasifica con calidad mala (contaminada), mientras que las otras muestras de agua (5) presentan una calidad de agua buena (aceptable) (Figura 4.22; Anexo H).

La variación espacial del *WQI* para la época lluviosa, exhibe que en la muestra BrAH04, la cual corresponde a la Quebrada Guanache (Qda. Guanache), el agua está contaminada. Además, se observa que en la variación espacial, los sectores que presentan una mejor calidad de agua se encuentran en las partes más altas de la microcuenca, correspondiente al Blanco de la MCBR (BrAH00). La muestra de agua tomada en el Río Siete (BrAH03) también está contaminada directamente por la descarga de contaminantes de la actividad minera (Carling et al., 2013). Lo contrario para el río Vainillo (muestras BrAH02c y BrAH2d), con calidad de agua aceptable (*WQI* 71 y 78, respectivamente), esto sucede ya que existe una pequeña represa que retiene los sólidos en suspensión (Anexo B).

Para la época seca, de las 7 muestras de agua calculadas, 3 corresponden a una calidad de agua poco contaminada, y están en el Blanco y en el Río Margarita; 2 muestras de agua (Río Siete y Quebrada Guanache) están contaminadas; y, una muestra de agua es considerada aceptable (Figura 4.22; Anexo H). Las variables que fueron consideradas para el cálculo son: OD%, pH, T y  $\text{NO}_3^-$ , STD, Turbidez.

La muestra de agua de consumo Br\*AH07 presenta una calidad media (poco contaminada), probablemente porque fue tomada en el pueblo de Bella Rica (Figura 4.22; Anexo H). Las

muestras de agua con calidad de agua “Buena” se las considera de manera general aceptables lo que permite tener un contacto directo y hacer uso de la misma sin ningún tratamiento previo (Fernández & Solano, 2005).

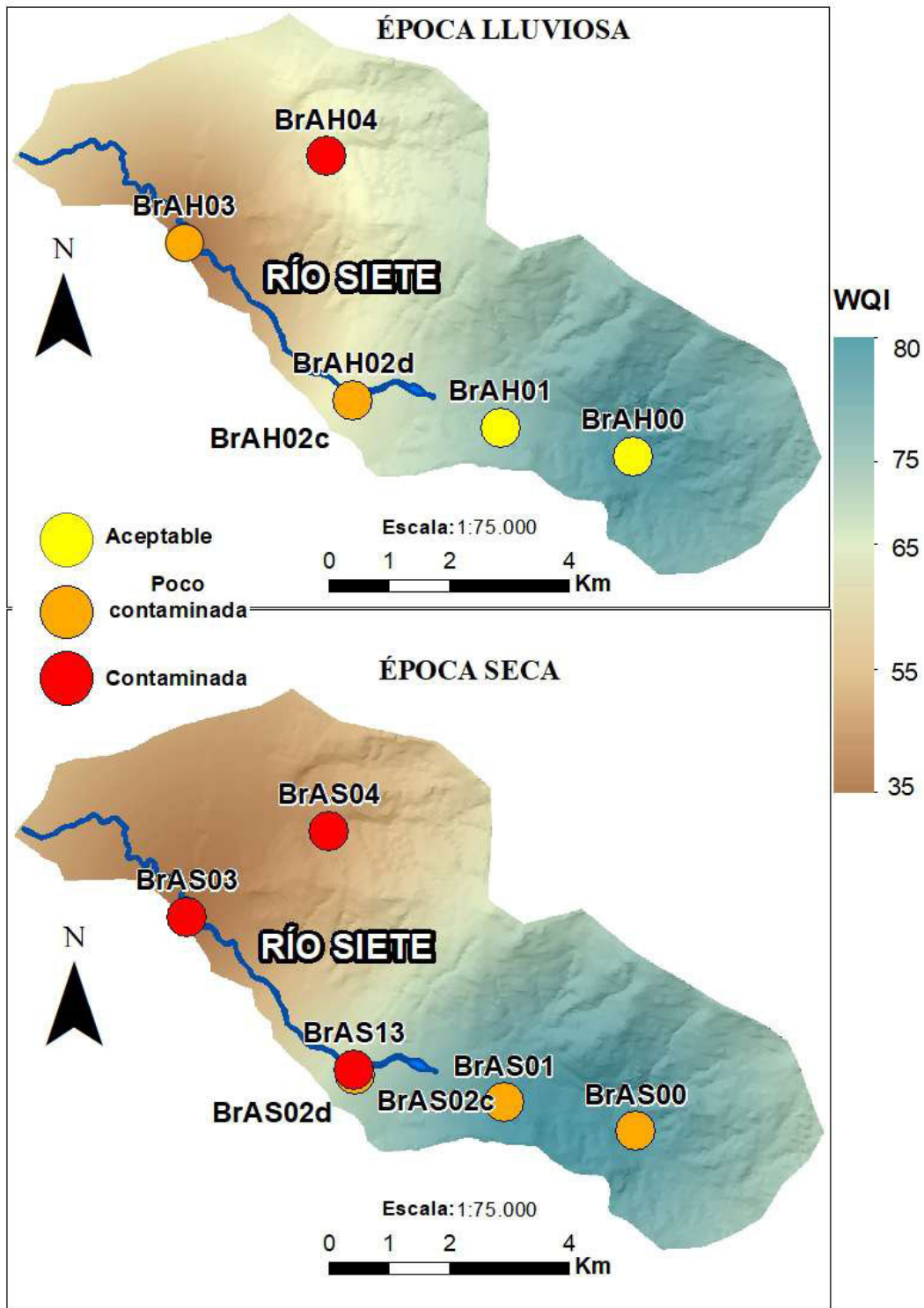


Figura 4.22 Variación temporal y espacial de la calidad del agua en la MCBR

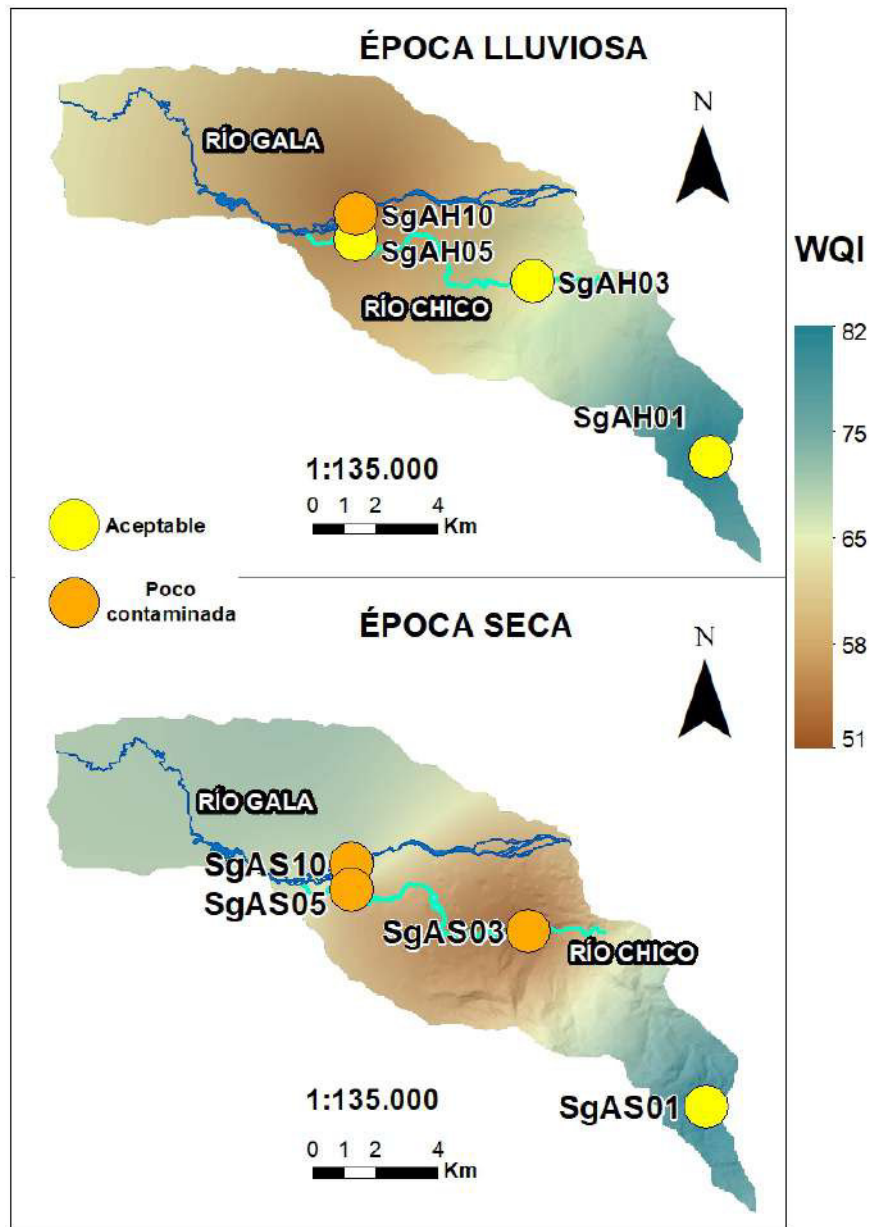
## Microcuenca en distrito minero San Gerardo

La muestra recolectada en el año 2012 en época seca por parte de la Universidad de Utah y la EPN, indica que el agua en el río Gala es aceptable ( $WQI$  75). Por la falta de datos no se calculó el índice de calidad de agua para las muestras recolectadas en el año 2014 por la Universidad de Utah y la EPN.

El cálculo de la calidad de agua ( $WQI$ ) en época lluviosa de las muestras de agua recolectadas en el año 2019 por el proyecto PIMI 16-05 en la MCSG, se lo realizó con 6 factores (OD%, pH, T, STD, Turbidez,  $\text{NO}_3^-$ ). De acuerdo con la determinación del  $WQI$  para la época lluviosa, de las 5 muestras de agua (considerando la muestra de agua de consumo humano), se obtuvo en el cálculo que, 4 muestras de agua analizadas son de calidad buena (aceptable) y una muestra de agua está poco contaminada (Río Gala muestra SgAH10) (Figura 4.23; Anexo H).

Para la época seca, de las 5 muestras de agua calculadas, 4 corresponden a una calidad de agua poco contaminada, y corresponden al Río Chico, Río Gala, y a la muestra de consumo humano tomada en el poblado La Fortuna (Figura 4.23; Anexo H). Las variables que fueron consideradas para el cálculo son: OD%, pH, T y  $\text{NO}_3^-$ , STD, Turbidez. Comparando las dos épocas, se observa que en la época seca se tiene más contaminación que en la época lluviosa.





**Figura 4.23** Variación temporal y espacial de la calidad del agua en la MCSG en el año 2019, información proporcionada por el proyecto PIMI 16-05.

### Microcuenca en distrito minero Nambija

El cálculo de la calidad de agua en época lluviosa, de las muestras de agua recolectadas en el año 2019 por el proyecto PIMI 16-05 en la MCNB, se lo realizó con 6 factores (OD%, pH, T, STD, Turbidez,  $\text{NO}_3^-$ ). De acuerdo con la determinación del *WQI* para la época lluviosa, 3 muestras de agua analizadas son de calidad media (poco contaminada) y una muestra de agua

aceptable (Figura 4.24; Anexo H). Para la época seca, 2 muestras de agua presentan una calidad aceptable y están en el Blanco (muestra NbAS00) y en el agua de consumo (muestra Nb\*AS07) (Figura 4.15; Anexo H). Las variables que fueron consideradas para el cálculo son: OD%, pH, T, STD, Turbidez,  $\text{NO}_3^-$ . Comparando las dos épocas, se observa que en la época seca se tiene mayor contaminación que en la época lluviosa.

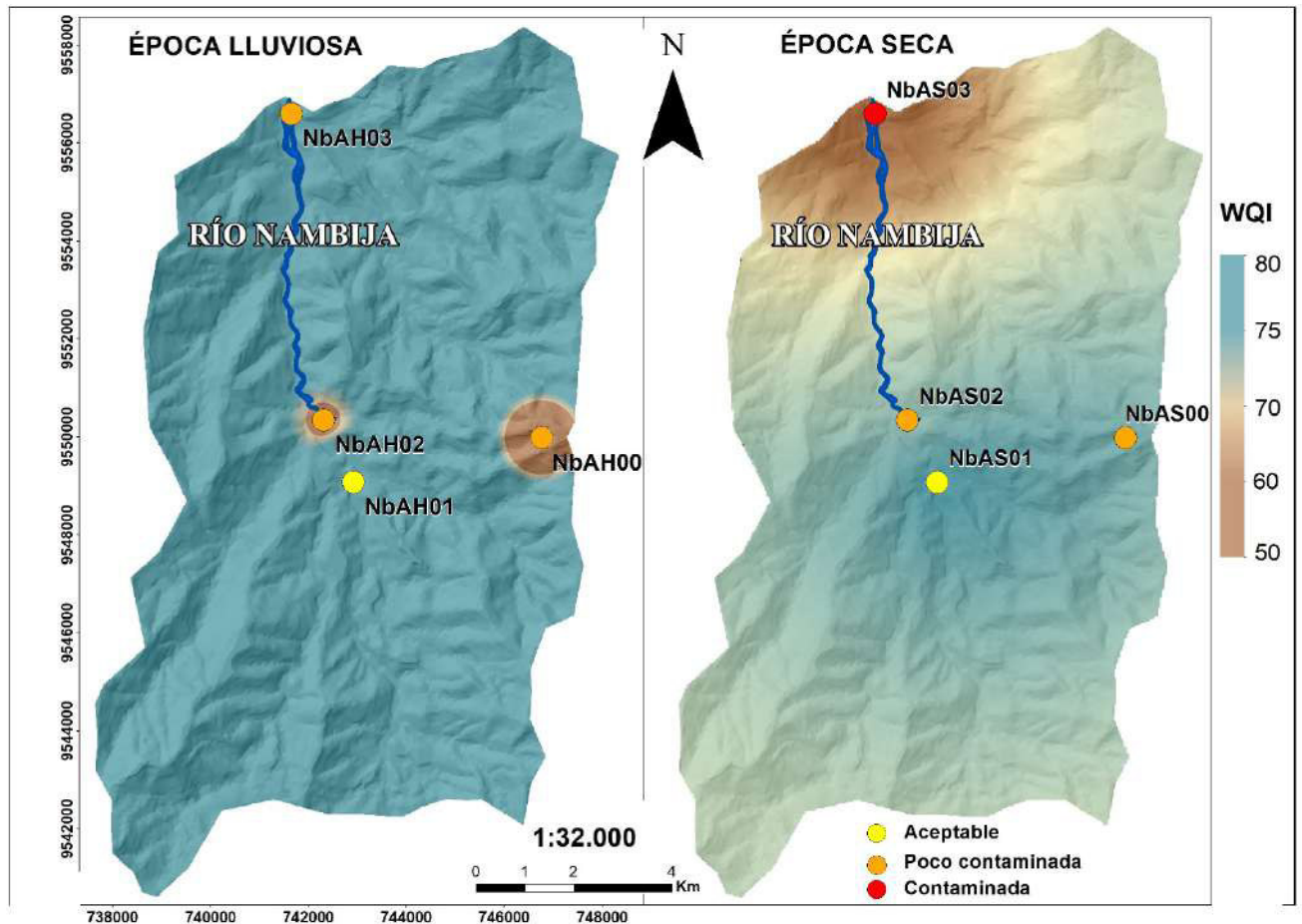


Figura 4.24 Variación temporal y espacial de la calidad del agua en la MCNB.

### Microcuenca en distrito minero Chinapintza

De acuerdo con la determinación del *WQI* en la MCCH para la época lluviosa (9 muestras de agua), se obtuvo en el cálculo que, 5 muestras de agua tiene una calidad de agua media (poco contaminada) con valores de *WQI* que van desde los 51 a 68, mientras que 2 muestras de agua presentan una calidad de agua buena (aceptable) y 2 muestras de agua están contaminadas (Figura 4.25; Anexo H).

La muestra ChAH00 está en la zona considerada como Blanco de la microcuenca, debido a que se encuentra en una zona alta donde no existe actividades antropogénicas.

Las 2 muestras de agua con calidad de agua buena, se las considera de manera general, aceptables, lo que permite tener un contacto directo y hacer uso de la misma sin ningún tratamiento previo. La interpolación de estos datos con el método geoestadístico kriging ordinario no muestra que haya una distribución, lo que puede deberse a que no hay una variación considerable de los valores.

Para la época seca se tomaron 10 muestras de agua; algunas de las muestras tomadas fueron en los mismos sitios o muy cercanos a los anteriores puntos ya muestreados en la época lluviosa (Figura 4.25). Comparando los datos obtenidos en las distintas épocas (lluviosa y seca), se aprecia que 2 muestras de agua tienen calidad buena, es decir, aceptable y 8 muestras de agua con calidad media, es decir, poco contaminada. Comparando las dos épocas, se observa que en la época seca se tiene más contaminación que en la época lluviosa.

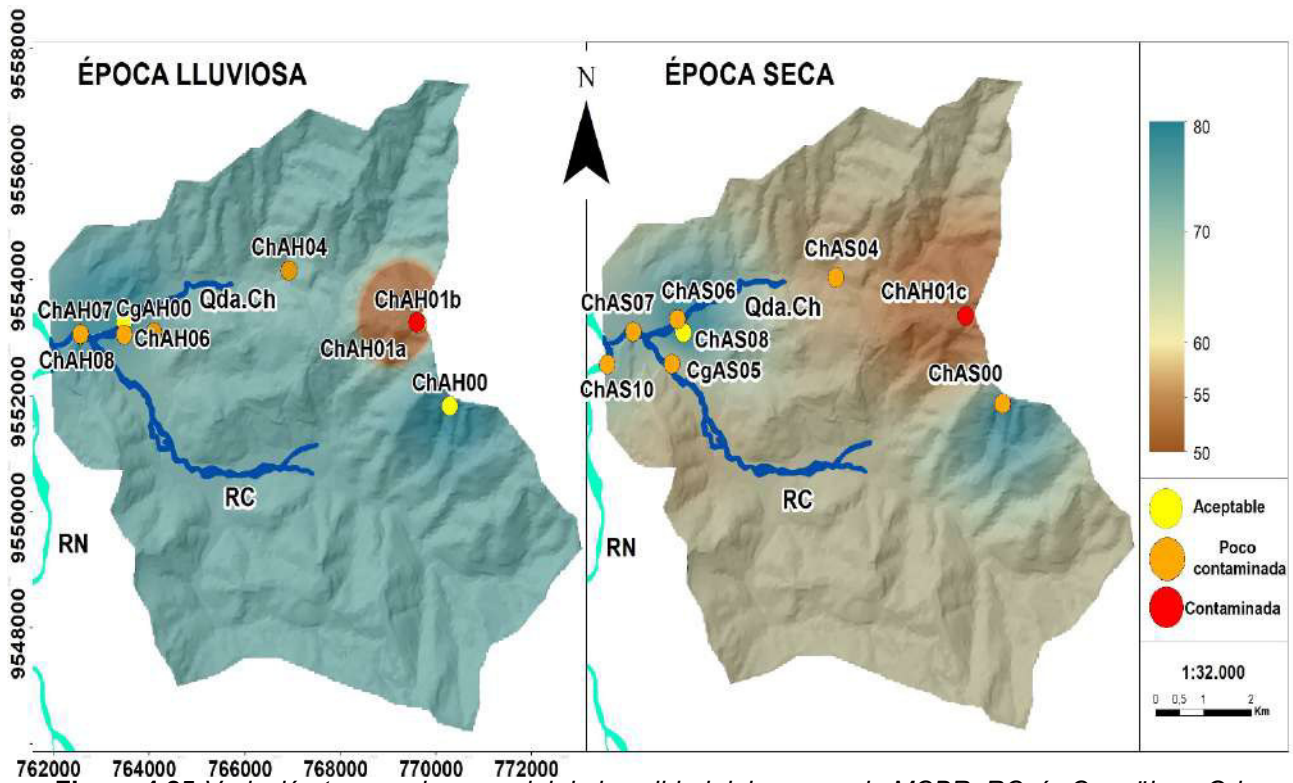


Figura 4.25 Variación temporal y espacial de la calidad del agua en la MCBR. RC río Congüime. Qda. Ch Quebrada Chinapintza.

#### 4.4. Límites máximos permisibles

La variación espacial y temporal presentada a través de mapas para todas las áreas de estudio (MCBR, MCSG, MCNB y MCCH) mediante el método geoestadístico kriging ordinario, se lo realizó solo para las muestras de agua en los distintos cursos hídricos, más no para las muestras de agua de consumo humano. Con el fin de no alterar la interpolación y no confundir los resultados. Los parámetros físico-químicos que tienen pocos datos, o a su vez, no presentan mayor variabilidad, no están representados en mapas debido a que no es posible hacer el kriging ordinario. Sin embargo, están considerados en la interpretación y discusiones del estudio. La mayoría de los iones nitrato y nitrito en todas las áreas de estudio han sido medidas, no obstante, no han sido detectadas por el cromatógrafo iónico debido a que sus valores son inferiores al límite de detección del equipo.

## Microcuenca en distrito minero Bella Rica

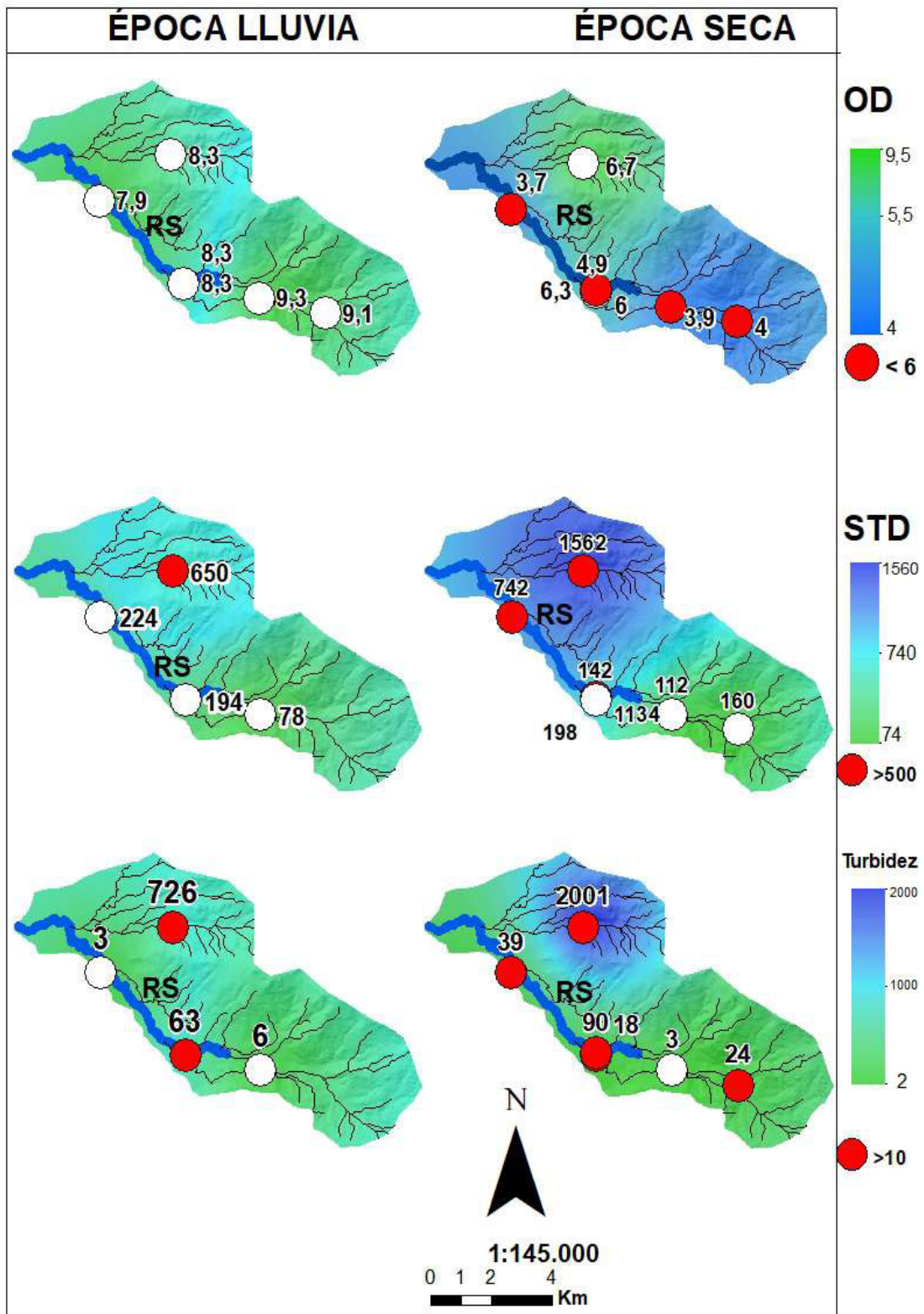
Los parámetros que superan los límites máximos permisibles se listan en el Anexo I. De las 14 muestras de agua analizadas en las dos épocas para el oxígeno disuelto, 5 muestras de agua están sobre la norma de calidad TULAS (2005). De las cuales, 4 muestras de agua corresponden a la época seca y tan solo una muestra de agua (agua de consumo) corresponde a la época lluviosa (Figura 4.26).

La variación espacial muestra una zonificación diferente para las dos épocas. En la época seca parte de los valores más bajos de OD se encuentran en las zonas más altas de la MCBR (Figura 4.26). En la época lluviosa la variación espacial no es tan diferenciada debido a que las concentraciones de OD no son muy dispersas, el valor mínimo (5,8 mg/L) se encuentra en la muestra Br\*AH07 la cual es agua de consumo humano tomada en el pueblo de Bella Rica, y el valor máximo (9,3 mg/L) se encuentra en el Río Margarita (muestra BrAH01). La media de OD para esta época es 8,42 mg/L. En la época seca el valor mínimo (3,7 mg/L) pertenece al Río Siete (muestra BrAS03) y el valor máximo (6,7 mg/L) fue detectado en la Quebrada Guanache (muestra BrAS04); la media de OD corresponde a 5,25 mg/L. Al comparar las dos épocas, se observa que los valores más bajos de OD están en la época seca, además la variación espacial en esta época es más evidente debido a una mayor dispersión en sus datos. Considerando la media aritmética en las dos épocas, el agua tiene mejor OD tiene mayor concentración en la época lluviosa que en época la seca.

Los STD muestreados y calculados para la época lluviosa y seca se presentan en el Anexo I. De las 5 muestras analizadas para la época lluviosa, solo una muestra de agua está sobre los límites máximos permisibles de agua de consumo humano y uso doméstico que requieren desinfección (>500 mg/L) y corresponde a la Quebrada Guanache (muestra BrAH04), con un valor de 650 mg/L. Por otro lado, el valor mínimo (74 mg/L) corresponde a la muestra agua de consumo humano (muestra Br\*AH07) tomada en el pueblo de la Bella Rica (Figura 4.26). En época seca el valor mínimo (112 mg/L) se lo detectó en el Río Margarita y los valores que exceden el límite máximo (>500 mg/L) son las muestras tomadas en el Río siete y en la Quebrada Guanache (Figura 4.26).

La turbidez muestra que en la época seca hay más muestras de agua que superan el límite máximo permisible para consumo humano y uso doméstico que requieren desinfección (>10 NTU), según TULAS (2005), que en la época lluviosa (Anexo I; Figura 4.26). En la Quebrada

Guanache se observa una zonificación en las épocas, seca y lluviosa, y es donde se encuentra el valor más alto de turbidez (Figura 4.26). Al comparar las dos épocas, se evidencia que en la época seca hay valores más altos que en la época lluviosa. Según la OMS (2018), la mayoría de las partículas turbias no están asociadas con la salud. Sin embargo, pueden indicar la presencia de contaminantes químicos, orgánicos y microbiológicos peligrosos (Davies & Smith, 2001). Estas partículas podrían ser nocivas si se consumen (OMS, 2018).

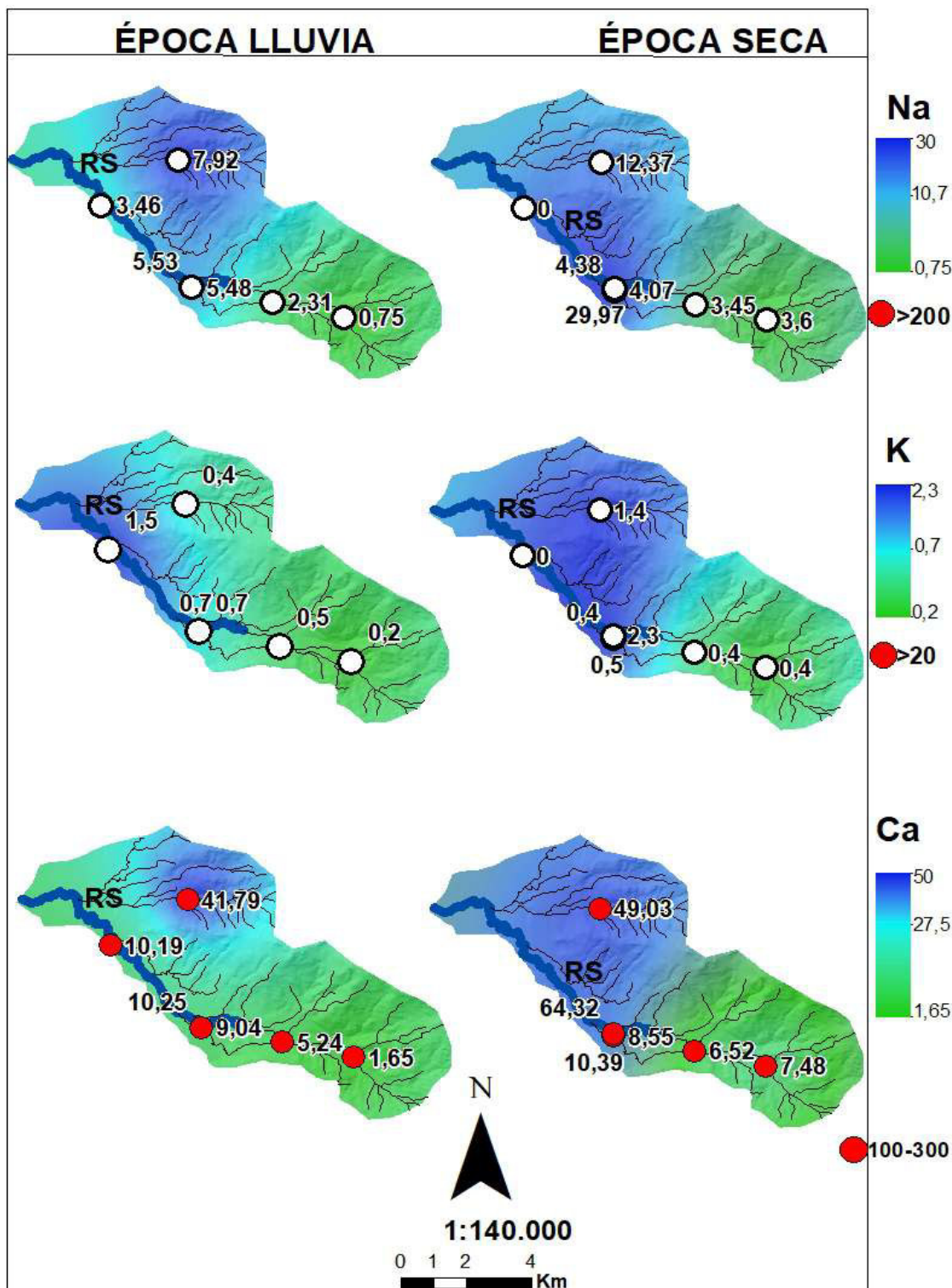


**Figura 4.26** Variación temporal y espacial del Oxígeno Disuelto (OD), Sólidos Totales Disueltos (STD) y Turbidez en la MCBR. Los puntos de muestreo de color rojo son aquellos que están sobre los límites máximos permisibles según TULAS (2005). Río: RS Río Siete

Las concentraciones de sodio y potasio en la MCBR se encuentran dentro de los límites máximos permisibles (Anexo I; Figura 4.27). Las fuentes naturales del  $\text{Na}^+$  son: aguas termales, salmueras, evaporitas, minerales de rocas ígneas (albita y nefelina) y minerales de arcilla (Hem, 1985). A pesar de que el sodio es altamente soluble en el agua, no es común tener  $\text{Na}^+$  en agua dulce natural (OMS, 2018). Tomando en cuenta que, el límite máximo permisible es de 200 mg/L y que el valor máximo obtenido en la MCBR es de 29,97 mg/L, el cual correspondiente a la muestra analizada en el Río Siete en época seca, se puede afirmar que estos valores de sodio no son peligrosos para el consumo humano. El  $\text{K}^+$  se encuentra naturalmente en el feldespato potásico, feldespatoideos y micas (Hem, 1985); puede estar presente en el agua como consecuencia de la utilización del permanganato de potasio como oxidante en tratamientos de agua (OMS, 2018). Los valores de  $\text{K}^+$  son muy bajos para ser considerados como peligrosos.

El cloruro se encuentra naturalmente en salmueras, evaporitas, fuentes magmáticas: gases volcánicos y fuentes termales; feldespatoideos y apatito (Hem, 1985); también puede estar presente en el agua por fuentes antrópicas: aguas residuales, efluentes industriales, fertilizantes inorgánicos (cloruro de potasio,  $\text{KCl}$ ) y lixiviados de vertederos (OMS, 2018). El límite máximo permisible para el  $\text{Cl}^-$  es de 250 mg/L, que comparado con el valor máximo medido en la MCBR que es de 4,44 mg/L en el Río Siete, en la muestra tomada en época seca (Anexo, I; Figura 4.19), se considera un valor insignificante en cuanto a su peligrosidad.



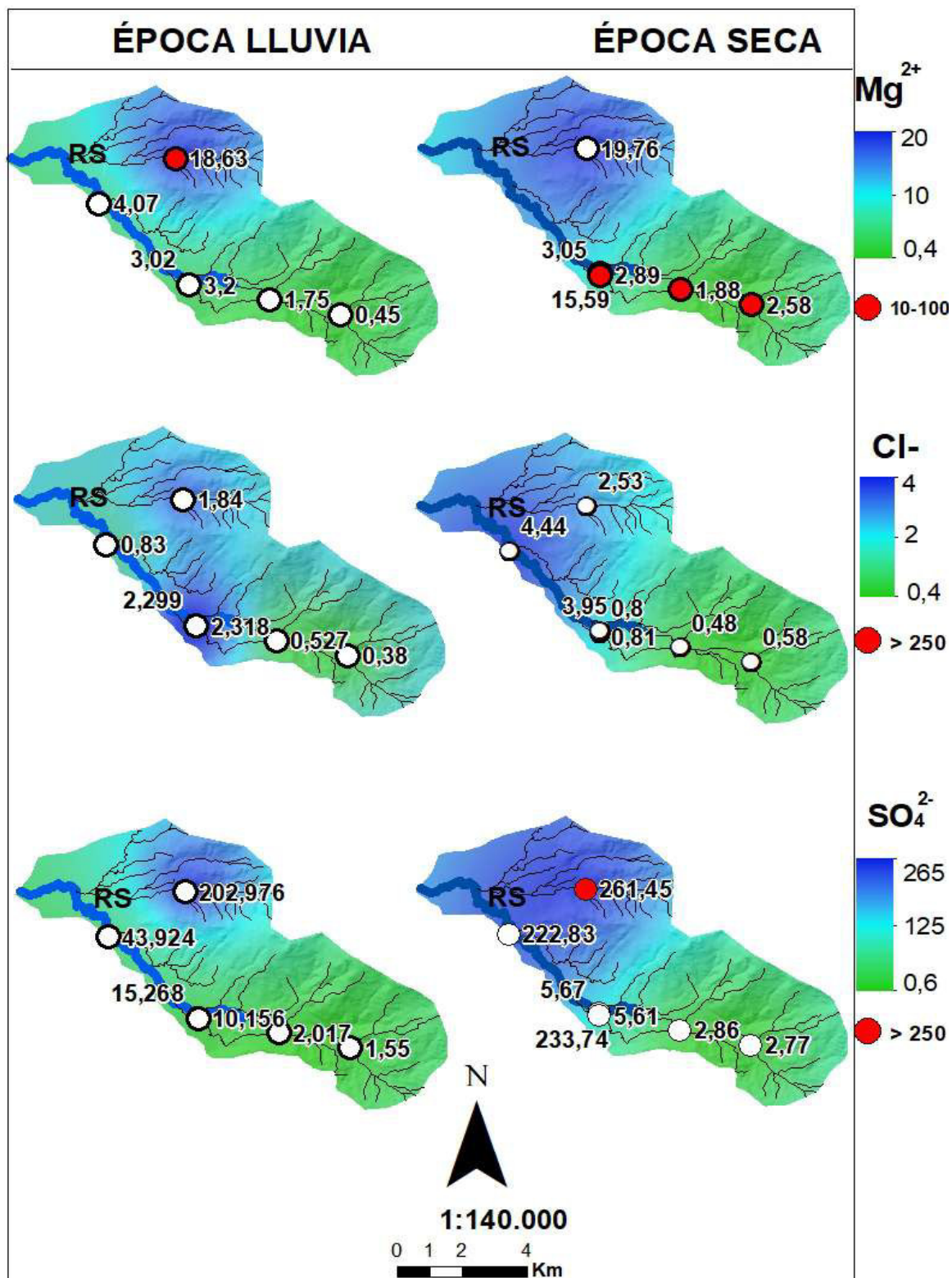


**Figura 4.27** Variación temporal y espacial del sodio (Na), potasio (K), y calcio (Ca), en la MCBR. Los puntos de muestreo de color rojo son aquellos que están sobre los límites máximos permisibles según TULAS (2005) y la OMS (2018). La paleta de colores muestra que el color más fuerte (azul) es donde existe mayor concentración de iones. Río: RS Río Siete

Las concentraciones de calcio en la MCBR en las dos épocas están sobre los límites de potabilidad permisibles (100-300 mg/L) establecidos por la OMS (2018). De las 14 muestras de agua analizadas para el magnesio, solamente 3 muestras de agua están dentro de los parámetros de consumo de agua aceptables (10-100 mg/L), registradas en época lluviosa (una muestra de agua) y época seca (2 muestras de agua) (Anexo I; Figura 4.27, 28). El  $\text{Ca}^{2+}$  se encuentra naturalmente en minerales como la calcita, aragonita, dolomita, yeso, anhidrita, fluorita, plagioclasa, piroxeno y anfíbol (Hem, 1985). Su disolución en el agua depende del  $\text{CO}_2$  disponible, debido a la meteorización de minerales silicatados, seguido de la formación de minerales arcillosos (OMS, 2018).

El  $\text{Mg}^{2+}$  se presenta de manera natural en la dolomita, silicatos ferromagnesianos y de rocas ultramáficas (olivino), piroxeno (diópsido) y anfíbol (Hem, 1985). Tiende a perdurar en solución en presencia de  $\text{CO}_2$  y sales de  $\text{Na}^+$  (OMS, 2018). Las muestras de agua colectadas en este estudio, que están dentro de los parámetros de calidad, son las muestras de agua tomadas en la Quebrada Guanache (para las dos épocas) y en el Río Siete, en época seca.

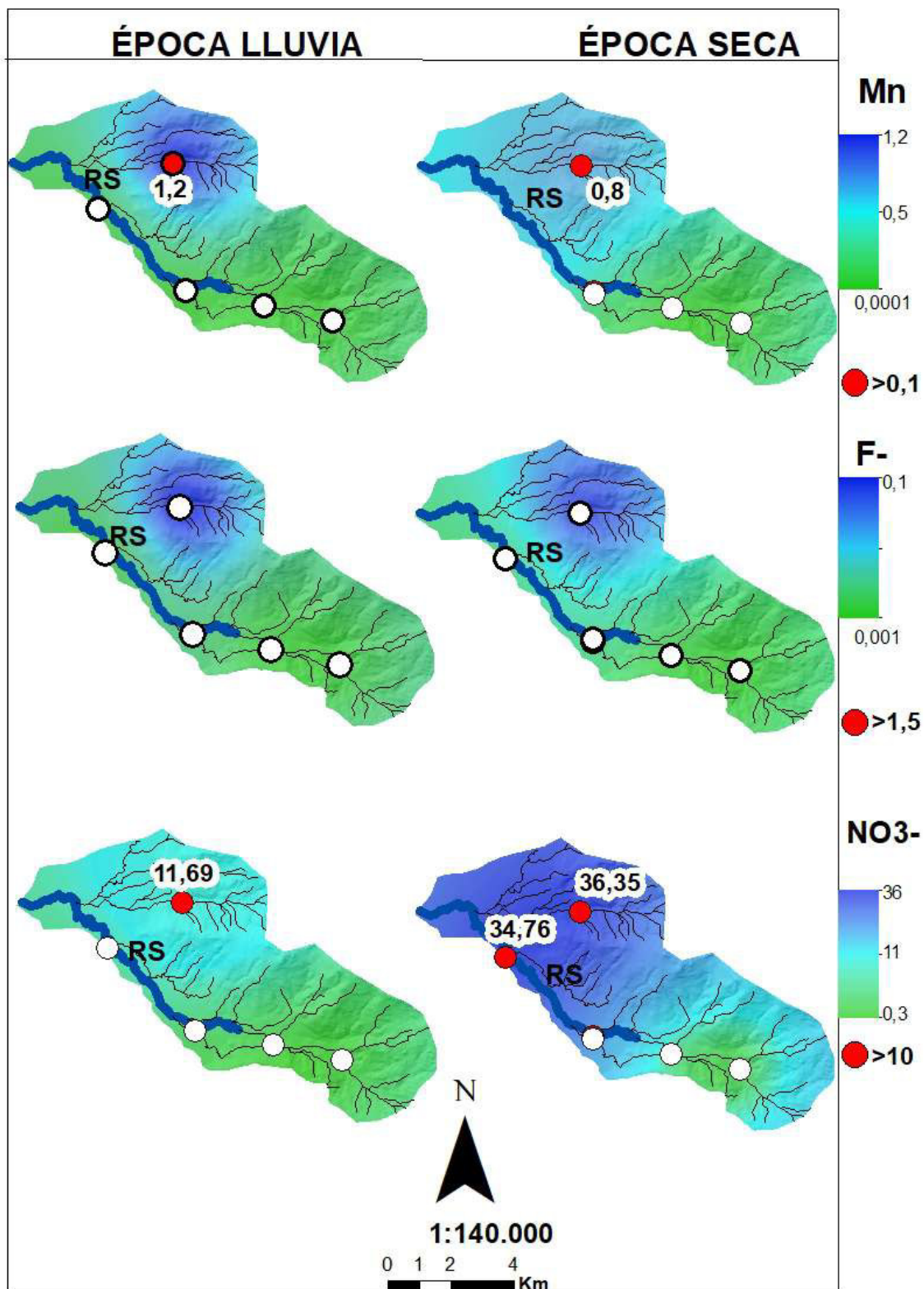
En general, se observa que las mayores concentraciones de sulfatos, nitratos y nitritos han sido detectadas en la Quebrada Guanache y en el Río Siete (Anexo I; Figura 4.28, 20). La concentración de  $\text{NO}_3^-$  sobre los límites de potabilidad permisibles (10 mg/L) registrada en la época lluviosa, corresponde a la Quebrada Guanache y para la época seca, a la Quebrada Guanache y al Río Siete (Figura 4.20). En época seca, la Quebrada Guanache presenta la mayor concentración de  $\text{SO}_4^{2-}$  sobrepasando los límites de potabilidad permisibles de aguas de consumo humano y uso doméstico que requieren desinfección (>250 mg/L). Estas concentraciones de sulfato en el agua se pueden atribuir a fuentes naturales (pirita, yeso, anhidrita, metales pesados (sulfuros) asociados a depósitos minerales) y a fuentes antrópicas (minería e industria) (Hem, 1985; OMS, 2018). De la misma manera, las concentraciones de  $\text{NO}_3^-$  y  $\text{NO}_2^-$  están ligadas a esas dos fuentes (naturales y antrópicas). Están presentes de manera natural en el suelo debido a las plantas, bacterias (nitrificación de amoníaco) y por la fijación de nitrógeno atmosférico (OMS, 2018); también se puede atribuir las altas concentraciones de nitrato y nitrito, a la utilización de fertilizantes inorgánicos, estiércol, aguas residuales, sistemas sépticos y cultivos (Hem, 1985; OMS, 2018).



**Figura 4.28** Variación temporal y espacial del magnesio (Mg), cloruro (Cl<sup>-</sup>), y sulfato (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>), en la MCBR. La paleta de colores muestra que el color más fuerte (azul) es donde mayor concentración de iones existe. Los puntos de muestreo de color rojo son aquellos que están sobre los límites máximos permisibles según TULAS (2005) OMS (2018). Río: RS Río Siete.

Las concentraciones de  $F^-$  en la MCBR son muy bajas. con un valor máximo en época lluviosa de 0,035 mg/L en la Quebrada Guanache; mientras en la época seca, un valor máximo de 0,014 mg/L se detecta también en la Quebrada Guanache y en la muestra de agua de consumo humano Br\*AS07 (Anexo I; Figura 4.20). El  $F^-$  de manera natural se encuentra en los minerales como la fluorita, criolita, fluorapatita y en las micas y anfíboles donde el hidróxido (OH) es reemplazado por el  $F^-$ , las fuentes antrópicas posibles corresponden a descargas de origen industrial y a los fertilizantes fosfatados (Hem, 1985; OMS, 2018). Es probable que las concentraciones de  $F^-$  no sean altas en esta microcuenca, a pesar de que esta zona es altamente mineralizada y recibe descargas de origen industrial en sus afluentes (Appleton et al., 2000), puesto que las concentraciones de  $F^-$  suelen asociarse más a las aguas subterráneas que a las aguas superficiales (OMS, 2018).

Las mayores concentraciones de  $Mn^{2+}$  han sido detectadas en la Quebrada Guanache y en el Río Siete (Anexo I; Figura 4.20), excediendo los límites de potabilidad ( $>0,1$  mg/L). Comparando las dos épocas, se observa que en la época lluviosa se tiene una concentración mayor de  $Mn^{2+}$  (media de 0,254 mg/L) que la época seca (media de 0,250 mg/L). Las concentraciones de  $Mn^{2+}$  se encuentran de manera natural en los silicatos donde el hierro es remplazado por el manganeso, es decir, en la biotita y la horblenda; además, en los hidróxidos y óxidos de manganeso; puede encontrarse tanto en aguas subterráneas como superficiales (Hem, 1985; OMS, 2018). En aguas con pH 4-7 donde predomina el manganeso, al oxidarse precipita como incrustaciones (Johnson et al., 1997); si la concentración de manganeso es mayor a 0,1 mg/L, puede implicar una contaminación de tipo industrial (OMS, 2018).



**Figura 4.29** Variación temporal y espacial del manganeso (Mn), flúor (F-) y nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) en la MCBR. Los puntos de muestreo de color rojo son aquellos que están sobre los límites máximos permisibles según TULAS (2005) y la OMS (2018). La paleta de colores muestra que el color más fuerte (azul) es donde existe mayor concentración de iones. Río: RS Río Siete.

## Microcuenca en distrito minero San Gerardo

La variación espacial presentada mediante mapas en la MCSG, de las muestras recolectadas en el año 2014, no ha sido posible, debido a la falta de datos (solo 3 muestras de agua). Sin embargo, estos datos (año 2014) y los del año 2012 si fueron considerados para las interpretaciones y discusiones del presente trabajo, al igual que los datos del año 2019.

Los parámetros que superan los límites máximos permisibles de las muestras de agua recolectadas en el año 2019, se listan en el Anexo I.

De las 10 muestras de agua analizadas en las dos épocas para el OD, solo una muestra de agua está fuera de la norma de calidad (Figura 4.30).

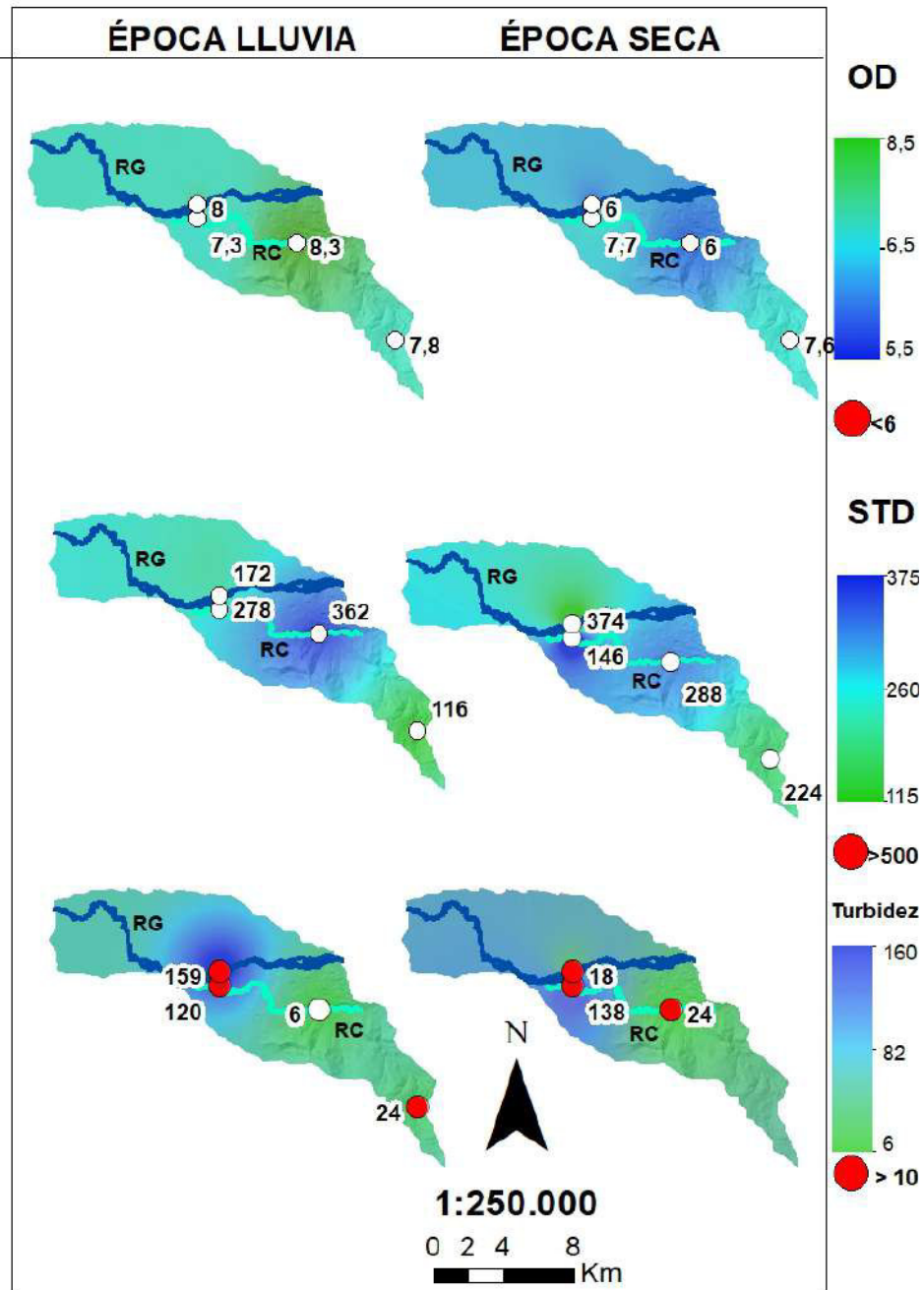
La concentración de OD en la muestra de agua Sg\*AS09 (agua de consumo humano) tomada en una casa del poblado La Fortuna en época seca, incumple los límites máximos permisibles estipulado por TULAS (2005), con un valor de OD de 5,7 mg/L. La muestra tomada en el año 2012 (12SgAS) presenta un valor de OD de 9,5 mg/L por tanto, si está dentro de los límites máximos permisibles. Al comparar las dos épocas en el año 2019 se observa que los valores más bajos de OD se presentan en la época seca (media de 6,57 mg/L) que en la época lluviosa (media de 7,87) (Anexo E). Además, la variación espacial en época seca es más evidente debido a una mayor dispersión en los datos. Por lo anteriormente expuesto, el agua es mejor en época lluviosa que en época seca, para OD.

Los STD fueron muestreados y analizados en el año 2019 para las épocas lluviosa y seca (Anexo I). De las 5 muestras analizadas en la época lluviosa, ninguna muestra de agua está sobre los límites máximos permisibles de agua de consumo humano y uso doméstico que requieren desinfección (>500 mg/L), el valor máximo (362 mg/L) corresponde a la muestra tomada en el Río Chico (muestra SgAH03), y el valor mínimo (116 mg/L) en el Blanco considerado para la MCSG (muestra SgAH01) (Figura 4.30). En la época seca el valor mínimo (146 mg/L) se encuentra en el río Gala (muestra SgAS10) y el máximo en la muestra SgAS05 (374 mg/L), también en el Río Gala en la confluencia con el Río Chico. La variación espacial para las dos épocas, muestra que la distribución se zonifica en 3 partes, en la parte más alta de la microcuenca, en la parte central y en la parte más baja, los valores más bajos de STD están en las partes altas y los valores más altos en el centro de la microcuenca (Figura 4.30).

Las muestras de agua que superan el límite máximo permisible para consumo humano y uso doméstico que requieren desinfección ( $>10$  NTU) para la turbidez, según TULAS (2005), se muestran en (Anexo I; Figura 4.30). De las 4 muestras analizadas en la MCSG para la época lluviosa, solo una muestra de agua está en los límites permisibles, muestra de agua tomada en el Río Chico. En época lluviosa todas las muestras (3) están sobre dicho límite (Figura 4.30). La variación espacial muestra que hay dos zonificaciones, una en la parte alta (valores bajos de turbidez) y la otra en la parte baja (valores altos de turbidez) en la MCSG. Según la OMS (2018), la mayoría de las partículas turbias que se encuentran suspendidas en el agua no necesariamente son perjudiciales. Sin embargo, pueden indicar la presencia de contaminantes químicos, orgánicos y microbiológicos peligrosos asociados a las mismas (Davies & Smith, 2001). Estas partículas podrían ser nocivas si se consumen (OMS, 2018).

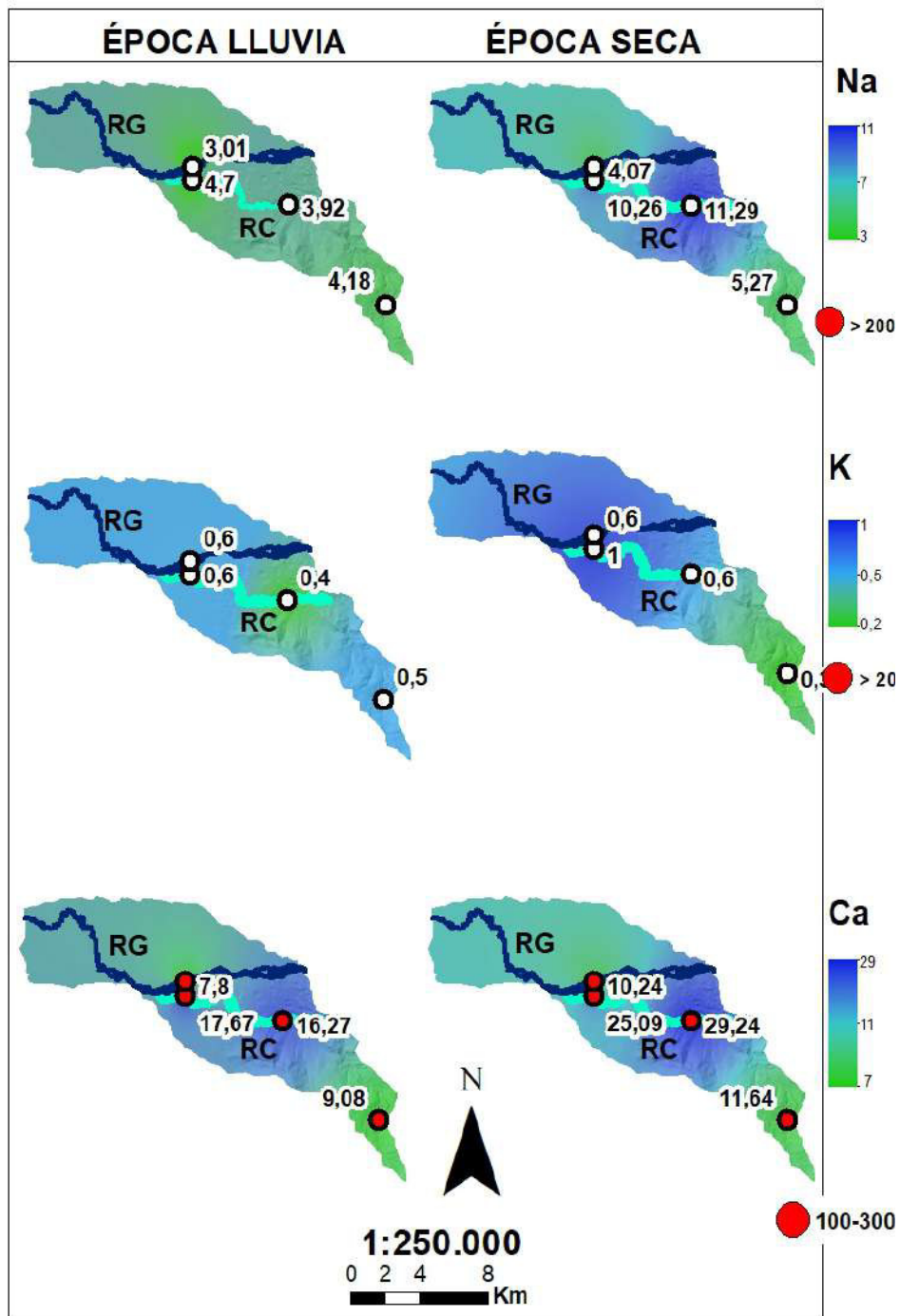
Las concentraciones de sodio y potasio en la MCSG para los años 2012, 2014 y 2019 se encuentran dentro de los límites máximos permisibles (Anexo I). El valor máximo de  $\text{Na}^+$  detectado es de 11,29 mg/L, en la muestra tomada en el año 2019 en el Río Chico en época seca; el límite máximo permisible para el sodio es de 200 mg/L (TULAS, 2005).

El valor máximo de  $\text{K}^+$  (1,06 mg/L) corresponde a la muestra de agua tomada en el año 2014 en el Río Gala en época seca; según TULAS (2005) el límite máximo permisible para el potasio es de 20 mg/L. El valor máximo (2,77 mg/L) para el  $\text{Cl}^-$  corresponde a la muestra tomada en el año 2019 en el Río Chico (Figura 4.31); el límite máximo permisible para el cloruro es de 250 mg/L. Se puede afirmar que los valores de  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$  y  $\text{Cl}^-$ , no son peligrosos para el consumo humano (Figura 4.31, 32).

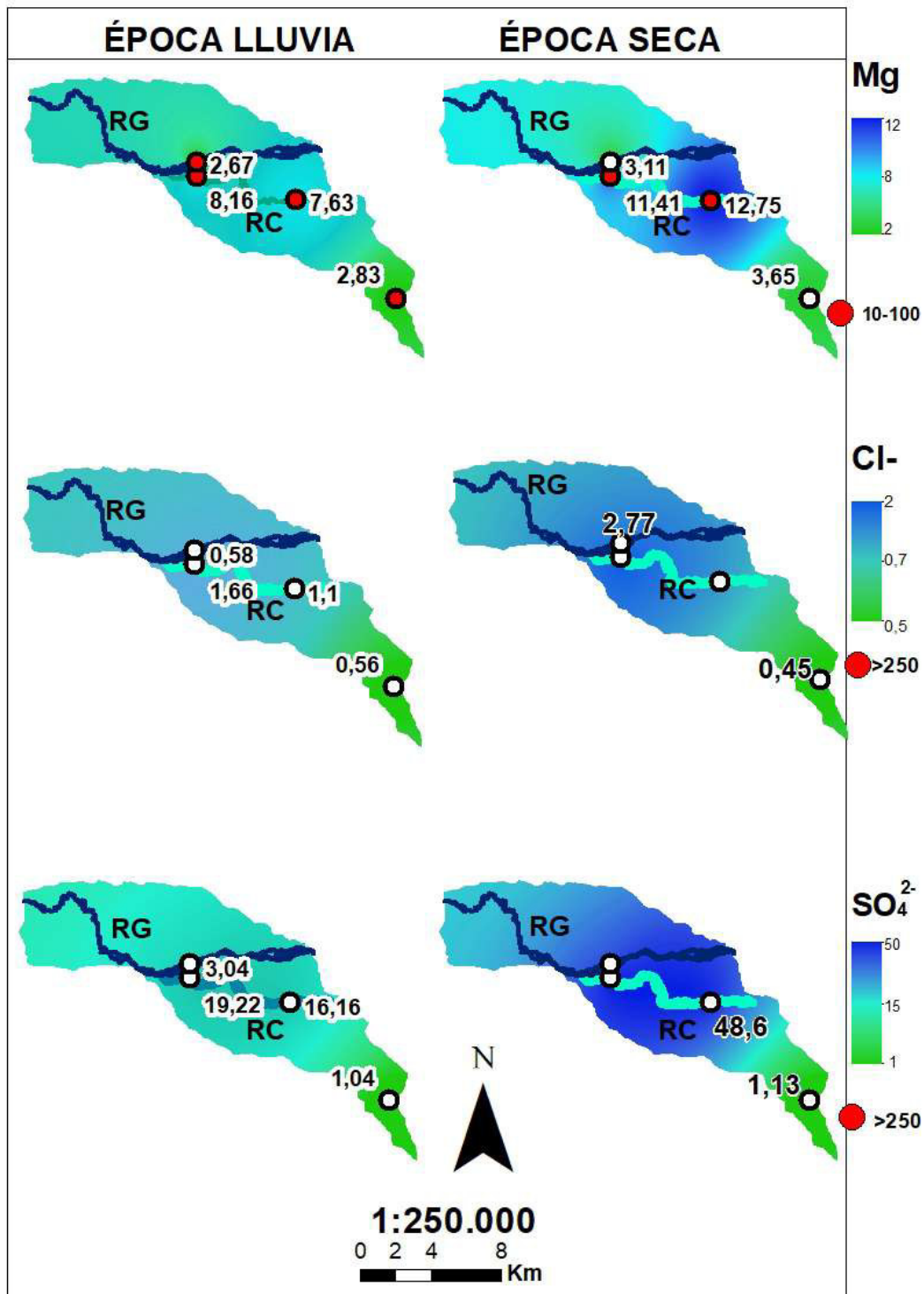


**Figura 4.30** Variación temporal y espacial del Oxígeno Disuelto (OD), Sólidos Totales Disueltos (STD) y Turbidez en la MCSG. Los puntos de muestreo de color rojo son aquellos que están sobre los límites máximos permisibles según TULAS (2005). Río: RG Río Gala, RC Río Chico.





**Figura 4.31** Variación temporal y espacial del sodio (Na), potasio (K), y calcio (Ca), en la MCSG. Los puntos de muestreo de color rojo son aquellos que están sobre los límites máximos permisibles según TULAS (2005) y OMS (2018). Río: RG Río Gala, RC Río Chico



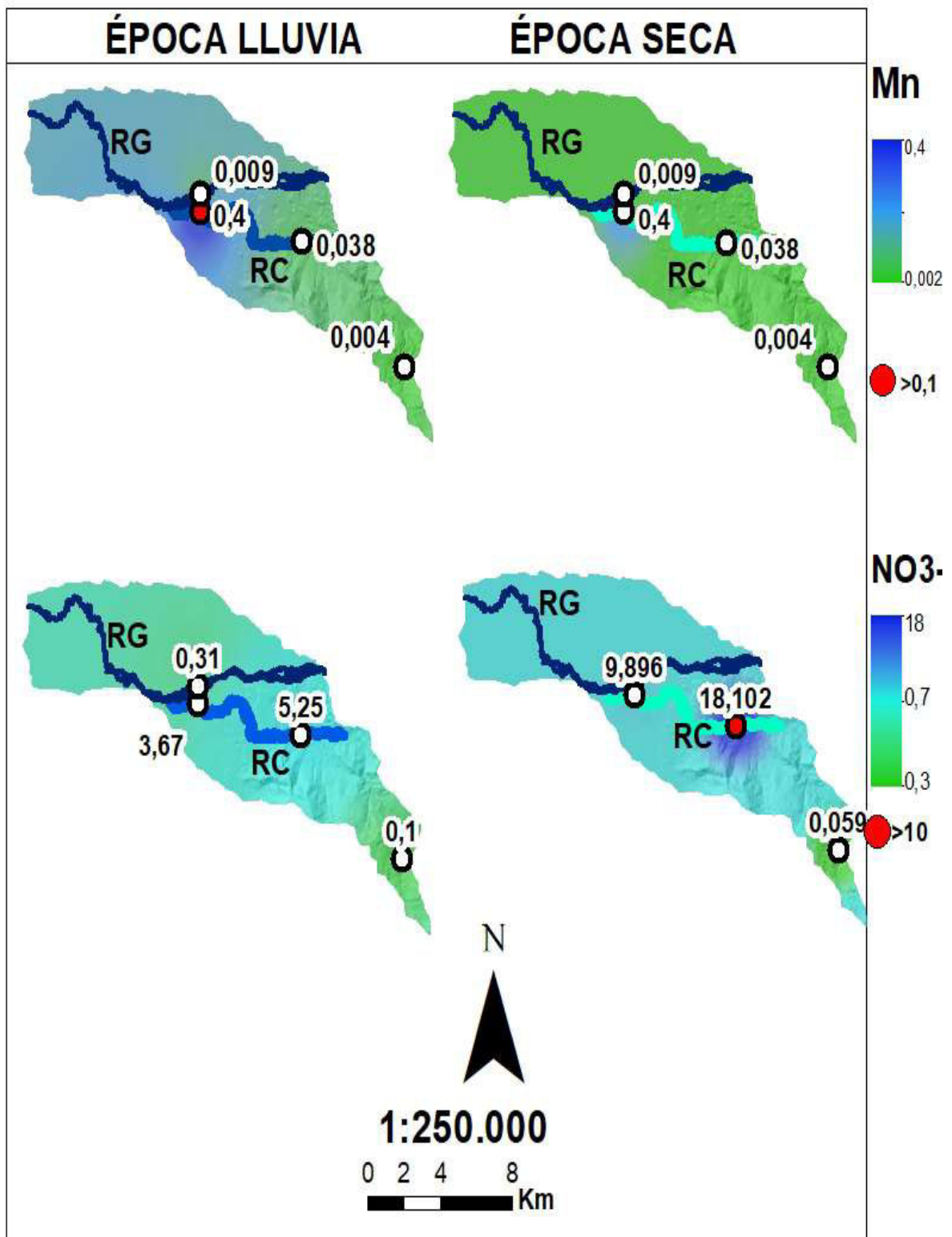
**Figura 4.32** Variación temporal y espacial del magnesio (Mg), cloruro (Cl<sup>-</sup>), y sulfato (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>), en la MCSG. Los puntos de muestreo de color rojo son aquellos que están sobre los límites máximos permisibles según TULAS (2005) y la OMS (2018). La paleta de colores muestra que el color más fuerte (azul) es donde existe mayor concentración de iones. Río: RG Río Gala, RC Río Chico.

Las concentraciones de calcio para los años 2014 y 2019 (dos épocas) están sobre los límites de potabilidad permisibles (100-300 mg/L) establecidos por la OMS (2018) (Anexo I; Figura 4.31).

De las 10 muestras de agua analizadas para el magnesio, solamente 2 están dentro de los parámetros de consumo de agua aceptable (10-100 mg/L), en el Río Chico registradas en la época seca (Anexo I; Figura 4.32).

En general, se observa que las mayores concentraciones de cloruros, sulfatos, nitratos y nitritos de las muestras del año 2019, han sido detectadas en el Río Chico (Anexo I; Figura 4.32, 33). La concentración de  $\text{NO}_3^-$  está sobre los límites de potabilidad permisibles ( $>10$  mg/L) registrada en la época lluviosa, detectada en el Río Chico el cual recoge los efluentes tanto de la explotación como del beneficio de la minería de la zona (Figura 4.33). Las concentraciones de  $\text{F}^-$  en la MCSG son muy bajas, con un valor máximo en época lluviosa de 0,056 mg/L en la muestra de agua de consumo Sg\*Ah09 tomada en el poblado La Fortuna y en el Río Chico (0,020 mg/L). En la época seca, el valor máximo (0,099 mg/L) también corresponde al Río Chico (Anexo I; Figura 4.32). Es probable que las concentraciones de  $\text{F}^-$  no sean altas en esta microcuenca, a pesar de que esta zona es altamente mineralizada y recibe descargas de origen industrial en sus afluentes (Appleton et al., 2001), porque las concentraciones de  $\text{F}^-$  suelen asociarse más a las aguas subterráneas que a aguas superficiales (OMS, 2018).

Las mayores concentraciones de  $\text{Mn}^{2+}$  han sido detectadas en el Río Chico (Anexo I, Figura 4.33), excediendo los límites de potabilidad ( $>0,1$  mg/L).



**Figura 4.33** Variación temporal y espacial del manganeso (Mn) y nitrato (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) en la MCSG. Los puntos de muestreo de color rojo son aquellos que están sobre los límites máximos permisibles según TULAS (2005) y OMS (2018). La paleta de colores muestra que el color más fuerte (azul) es donde existe mayor concentración de iones. Río: RG Río Gala, RC Río Chico.

La interacción agua-roca da lugar a la disolución de minerales, pues esta circula por litologías de diferente composición; está además condicionada a procesos de intercambio iónico (Cunningham et al., 2003). De acuerdo con la Geología local descrita en el Apartado 1, en la MCBR afloran rocas ígneas, metamórficas, sedimentarias, sub-volcánicas y depósitos cuaternarios (Figura 1.7) y en la MCSG afloran rocas ígneas, volcano-clásticas y depósitos cuaternarios (Figura 1.8). Los minerales de las rocas ígneas plagioclasa y feldespatos son susceptibles de alteraciones debido a las condiciones ambientales, transformándose mayormente en arcilla; a pesar de eso, no es común que el  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  y  $\text{Mg}^{2+}$  se encuentren de manera natural en el agua, coincidiendo con las concentraciones bajas detectadas.

A pesar de que las mineralizaciones en la MCBR y en la MCSG (Apartado 1) presentan sulfuros y metales pesados, las concentraciones de  $\text{F}^-$  y  $\text{SO}_4^{2-}$  no son muy altas, debido a que estos aniones suelen asociarse más con aguas subterráneas que con aguas superficiales.

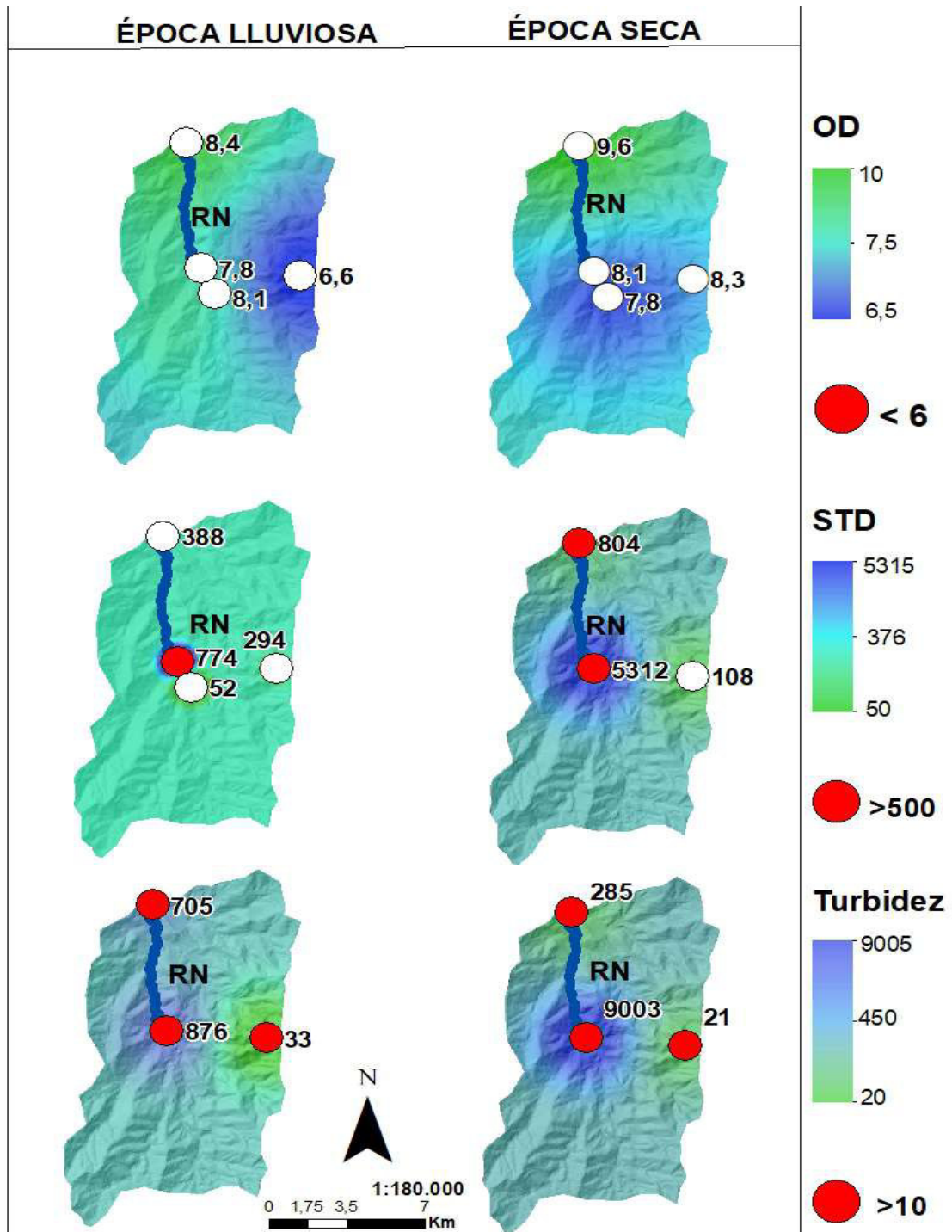
Las concentraciones de  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NO}_2^-$  y  $\text{Cl}^-$  son muy altas en sectores como quebradas y ríos, debido a que recogen toda la contaminación de la zona, que en este caso no es solo por la minería sino también por la utilización de fertilizantes inorgánicos, estiércol, aguas residuales, sistemas sépticos y cultivos. De acuerdo con el Apartado 1, el uso del suelo está principalmente asociado con el cultivo de cacao y banano (Jadán et al., 2015), que genera una carga contaminante adicional a los desechos mineros en los ríos de la zona, debido a los fertilizantes y plaguicidas usados durante las aerofumigaciones, en especial en los extensos cultivos de banano (Breilh et al., 2007; Harari, 2009; Polo, 2020).

## Microcuenca en distrito minero Nambija

Los parámetros que superan los límites máximos permisibles se listan en el Anexo I. De las 9 muestras de agua analizadas en las dos épocas para el OD, ninguna muestra de agua está fuera de la norma de calidad. La variación espacial muestra sectorizaciones; en la zona más baja de la microcuenca, en el Río Nambija, para las dos épocas, los valores de OD son más altos, mientras que valores más bajos de OD se distinguen al este y al centro de la MCNB (Figura 4.34).

Los STD fueron muestreados y analizados para la época lluviosa y seca (Anexo I). De las 4 muestras analizadas en la época lluviosa, una sola muestra de agua está sobre los límites máximos permisibles de agua de consumo humano y uso doméstico que requieren desinfección ( $>500\text{mg/L}$ ); esta muestra de agua corresponde a la Quebrada del Fierro (muestra NbAH02) con un valor de  $774\text{ mg/L}$  (Figura 4.34). En la época seca, el valor mínimo ( $108\text{ mg/L}$ ) se encuentra en el Blanco (muestra NbAS00) del área de estudio y el máximo ( $5312\text{ mg/L}$ ) en la Quebrada del Fierro (Figura 4.34). El valor alto de STD en las dos épocas, en la Quebrada del Fierro, podría deberse a que recibe las descargas de la mina de Nambija (Tarras-Wahlberg et al., 2000; Carling et al., 2013).

Las muestras de agua que superan el límite máximo permisible para consumo humano y uso doméstico que requieren desinfección ( $>10\text{ NTU}$ ) para la turbidez, según TULAS (2005), se muestran en (Anexo I; Figura 4.34). En esta microcuenca (MCNB) todas las muestras de agua, tanto para época lluviosa como en época seca, no cumplen con la norma de calidad para consumo humano. El valor mínimo está en el Blanco y el valor máximo en el Quebrada del Fierro, con valores de  $876\text{ NTU}$  (época lluviosa) y  $9003\text{ NTU}$  (época seca). El valor de turbidez de  $9003\text{ NTU}$  en la época seca podría deberse a la alta concentración de sólidos que proceden de la mina de Nambija. El agua de consumo, muestra Nb\*AS07, tomada en el poblado de Nambija, presenta un valor de  $18\text{ NTU}$  (Anexo I).

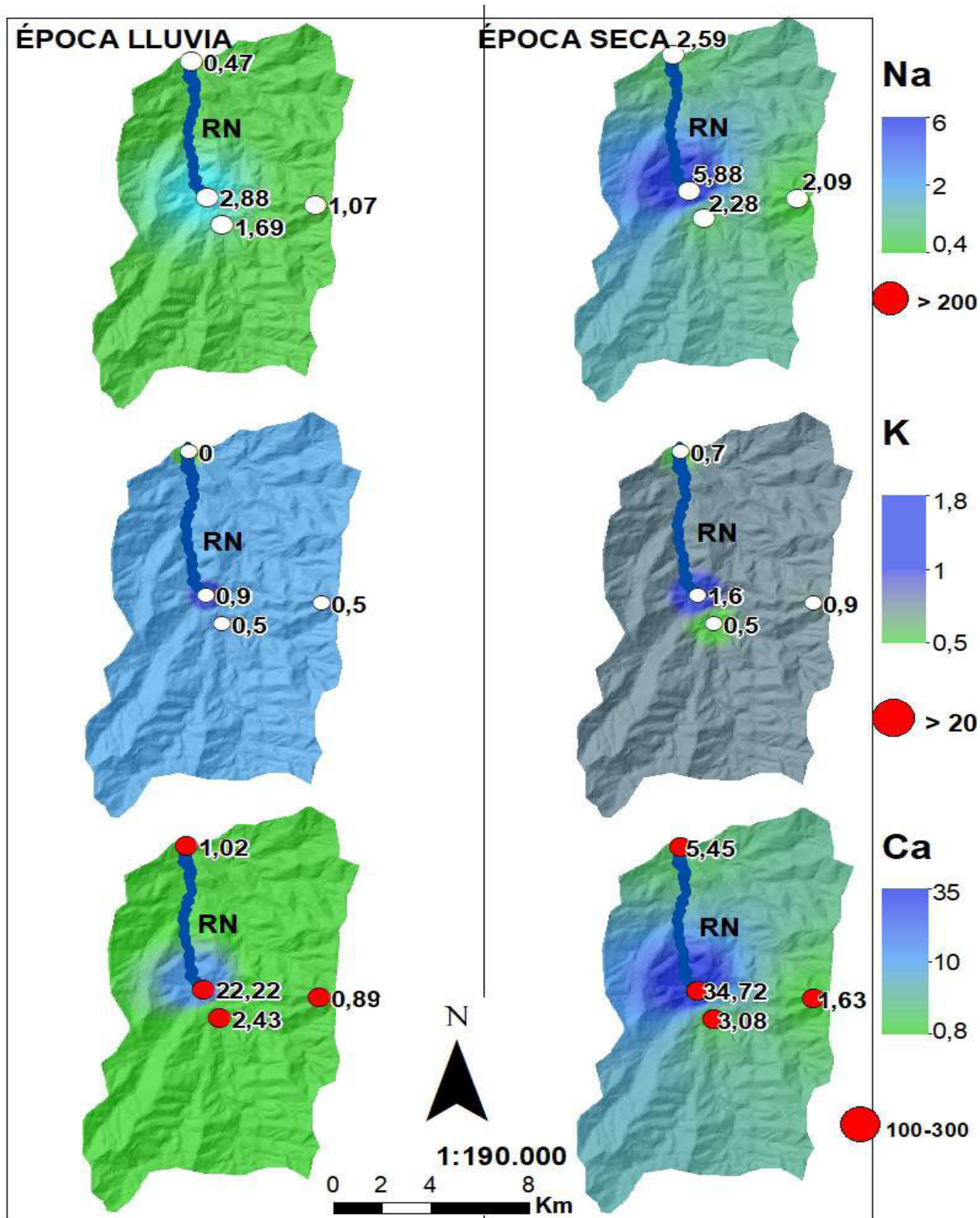


**Figura 4.34** Variación temporal y espacial del Oxígeno Disuelto (OD), Sólidos Totales Disueltos (STD) y turbidez en la MCNB. Los puntos de muestreo de color rojo son aquellos que están sobre los límites máximos permisibles según TULAS (2005). Río: RN Río Nambija.

Las concentraciones de sodio y potasio en la MCNB, se encuentran dentro de los límites máximos permisibles (Anexo I; Figura 4.35). El valor máximo de  $\text{Na}^+$  es de 5,88 mg/L, muestra tomada en la Quebrada del Fierro en época seca, recordando que el límite máximo permisible para el sodio es de 200 mg/L.

El valor máximo de  $\text{K}^+$  (1,1 mg/L) corresponde a la muestra de agua de consumo tomada en el poblado de Nambija en época seca. Según TULAS (2005) el límite máximo permisible para el potasio es 20 mg/L. El valor máximo (3,3 mg/L) para el  $\text{Cl}^-$  corresponde a la muestra tomada en el Río Nambija en época lluviosa (Figura 4.36). El límite máximo permisible para el cloruro es de 250 mg/L. Se puede afirmar que los valores de  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Cl}^-$  no son peligrosos para el consumo humano.





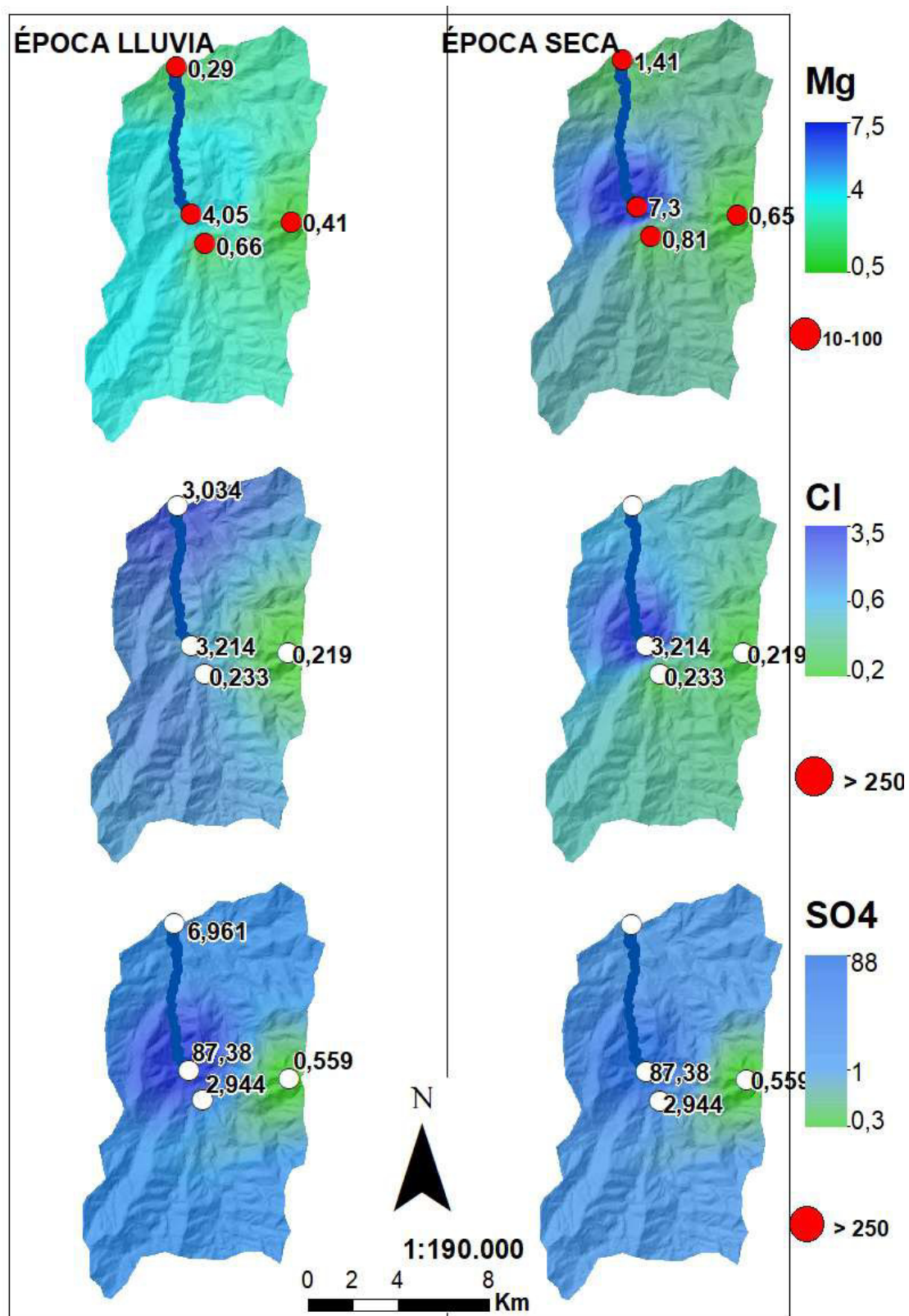
**Figura 4.35** Variación temporal y espacial del sodio (Na), potasio (K), y calcio (Ca), en la MCNB. Los puntos de muestreo de color rojo son aquellos que están sobre los límites máximos permisibles según TULAS (2005) y OMS (2018) La paleta de colores muestra que el color más fuerte (azul) es donde existe mayor concentración de iones. Río: RN Río Nambija.

Las concentraciones de calcio y magnesio en las muestras para las dos épocas, están sobre los límites de potabilidad permisibles establecidos por la OMS (2018) (Anexo I; Figura 4.35, 36).

En general, se observa que las mayores concentraciones de sulfatos y nitratos han sido detectadas en la Quebrada del Fierro y en el Río Nambija. Sin embargo, ninguna de las muestras de agua colectadas, están sobre los límites de potabilidad permisibles (Anexo I; Figura 4.36).

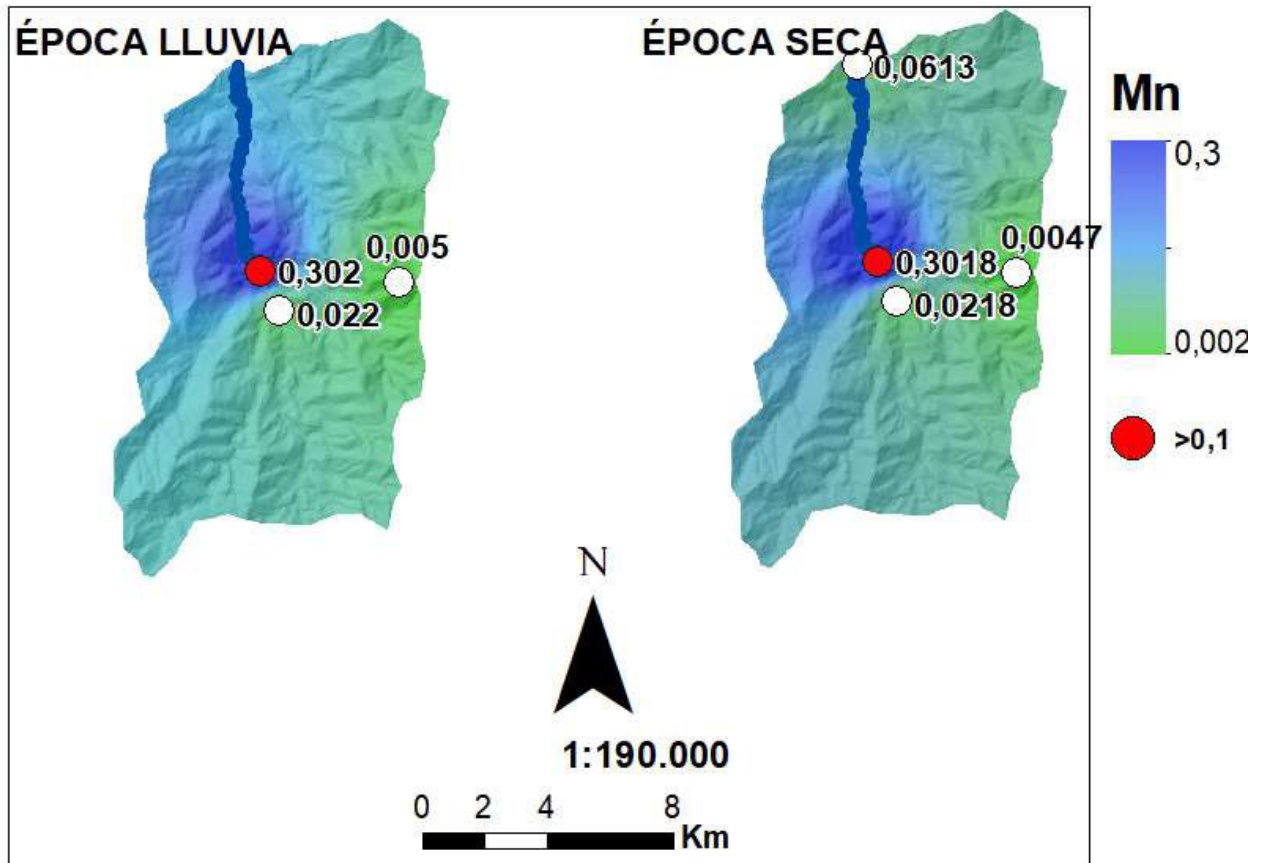
La concentración de nitrito en el agua de consumo humano es de 0,269 mg/L (muestra Nb\*AS07) (Anexo I).

Las concentraciones de  $F^-$  en la MCNB son muy bajas, con un valor máximo en época lluviosa de 0,084 mg/L en la Quebrada del Fierro. En la época seca se detecta un valor máximo (0,072 mg/L) también en la Quebrada del Fierro (Anexo I). Es probable que las concentraciones de  $F^-$  no sean altas en esta microcuenca, a pesar de que esta zona es altamente mineralizada y de recibir descargas de origen industrial en sus afluentes (Appleton., et al 2001), puesto que las concentraciones de  $F^-$  suelen asociarse más en aguas subterráneas que a aguas superficiales (OMS, 2018).



**Figura 4.36** Variación temporal y espacial del magnesio (Mg), cloruro (Cl) y sulfato ( $SO_4^{2-}$ ), en la MCNB. Los puntos de muestreo de color rojo son aquellos que están sobre los límites máximos permisibles según TULAS (2005) y OMS (2018). La paleta de colores muestra que el color más fuerte (azul) es donde existe mayor concentración de iones. Río: RN Río Nambija.

Las mayores concentraciones de  $Mn^{2+}$  han sido detectadas en la Quebrada del Fierro para las dos épocas, sobrepasando los límites permisibles para consumo humano, es decir que son mayores a 0,1 mg/L (Anexo I; Figura 4.37).



**Figura 4.37** Variación temporal y espacial del manganeso (Mn) en la MCNB Los puntos de muestreo de color rojo son aquellos que están sobre los límites máximos permisibles según TULAS (2005) y OMS (2018). La paleta de colores muestra que el color más fuerte (azul) es donde existe mayor concentración de iones. Río: RN Río Nambija.

De acuerdo con la Geología local descrita en el Apartado 1, en la MCNB afloran rocas ígneas, sedimentarias, sub-volcánicas y depósitos cuaternarios (Figura 1.9). Los minerales de las rocas ígneas, plagioclasa y feldespatos son susceptibles a alteraciones debido a las condiciones ambientales, transformándose mayormente en arcilla, a pesar de eso, no es común que el  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  y  $\text{Mg}^{2+}$  se encuentren de manera natural en el agua dulce, que coincide con las concentraciones muy bajas detectadas en las muestras.

A pesar de que las mineralizaciones en la MCNB son de oro y plata en forma metálica y en algunos casos, en forma refractaria, hay poca asociación con mineralizaciones de sulfuros, siendo la matriz principalmente un skarn (Carling et al., 2013; PRODEMINCA, 2000) (Apartado 1). Por esta razón, las concentraciones de  $\text{F}^-$  y  $\text{SO}_4^{2-}$  no son muy altas.

Las concentraciones de  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NO}_2^-$  y  $\text{Cl}^-$  son muy altas en sectores como quebradas y ríos debido a que recogen toda la contaminación de la zona.

## Microcuenca en distrito minero Chinapintza

Los parámetros que superan los límites máximos permisibles se listan en el Anexo I.

De las 20 muestras de agua analizadas en las dos épocas para el OD, 5 muestras de agua están fuera de la norma. De estas, 3 muestras de agua corresponden a la época lluviosa y 2 muestras de agua (incluida el agua de consumo) corresponden a la época seca. La variación espacial de OD en la época lluviosa es nula (Figura 4.38), esto sucede debido a que los valores de cada muestra analizada son muy cercanos los unos de los otros, restringiendo así la distribución espacial (Ottens, 1992). El Blanco ChAH00 correspondiente a la época lluviosa, presenta un valor de 5,9 mg/L; este valor incumple ligeramente los límites máximos permisibles. La muestra de agua analizada de la Quebrada Chinapintza (muestra ChAH04) también presenta un valor inferior (5,2 mg/L) al permitido por TULAS (2005), mientras la muestra de agua de consumo (Ch\*AH03) tomada en el poblado de Congüime, presenta el valor más bajo de OD (5 mg/L) de todas las muestras analizadas. En la época seca, las muestras de agua de consumo, muestra Ch\*AS03 y muestra Ch\*AS09, tomadas en el invernadero de Puerto Minero y agua de consumo en el poblado de Puerto Minero, respectivamente, no cumplen con lo establecido por TULAS (2005), exhibiendo valores de 5,1 mg/L. Al comparar las dos épocas, se observa que los valores más bajos de OD están en la época lluviosa (media de 7,20 mg/L) que en la época seca (media de 7,40 mg/L), además la variación espacial en época seca es más evidente.

Los STD muestreados y analizados se muestran en el (Anexo I). De las 9 muestras analizadas, 3 muestras de agua están sobre los límites máximos permisibles de agua de consumo humano y uso doméstico que requieren desinfección (>500 mg/L) (Figura 4.38). La muestra tomada cercana a la planta de beneficio de la zona La Herradura (muestra ChAH01a) y la muestra de agua (ChAH01b) que viene de la explotación minera de La Herradura, presentan valores de 526 mg/L y 886 mg/L, respectivamente. El agua de consumo humano (muestra Ch\*AH03) presenta un valor 690 mg/L. En la época seca el valor mínimo (58 mg/L) se encuentra en el Blanco (muestra ChAS00) del área de estudio y el máximo (1432 mg/L) en la Quebrada Panguí (Figura 4.38). La variación espacial muestra una zonificación o sectorización en la zona minera La Herradura, con los valores más altos de STD (Figura 4.38).

Las muestras de agua que superan el límite máximo permisible para consumo humano y uso doméstico que requieren desinfección (>10 NTU) para la turbidez, según TULAS (2005), se muestran en (Anexo I; Figura 4.38). De las 7 muestras de agua para la época lluviosa, solo una

muestra de agua está en límite permisible según TULAS (2005), en la Quebrada Chinapintza (muestra ChAH04) con un valor de 3 NTU, y los valores máximos están cercanos a la zona minera La Herradura, con valores de 834 NTU y 536 NTU (Figura 4.38). Por el contrario, en la época seca, la Quebrada Chinapintza (muestra ChAS04) presenta un valor de 204 NTU y el valor máximo de 1131 NTU corresponde a la zona minera La Herradura (muestra ChAS01c) (Figura 4.38). Esto evidencia que en época seca hay más partículas suspendidas que en época lluviosa. En el agua de consumo correspondiente a las muestras Ch\*AH03, Ch\*AS03 y Cg\*AS06, los valores de turbidez sobrepasan los 10 NTU (Anexo I).

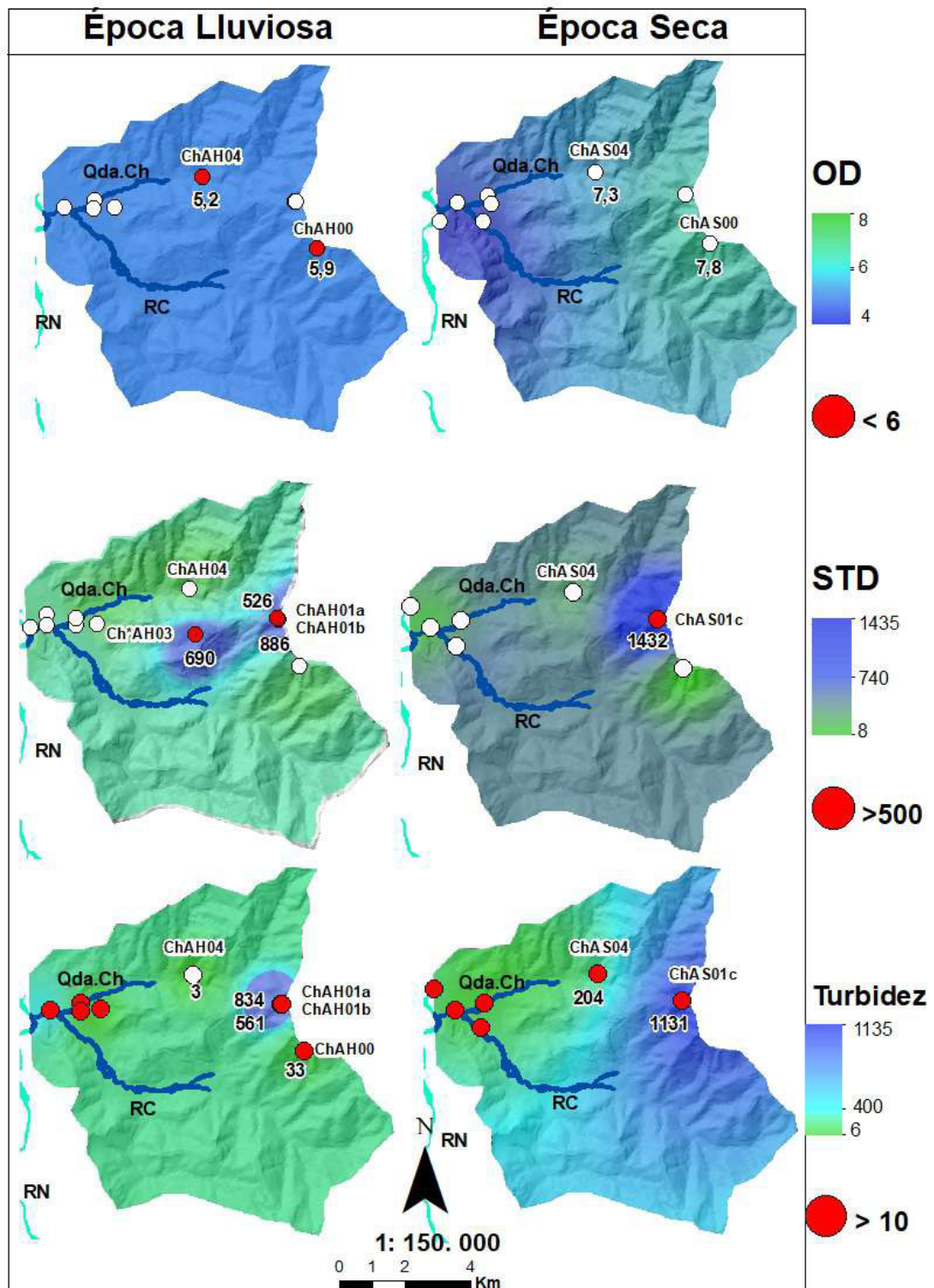
Las concentraciones de sodio y potasio en la MCCH se encuentran dentro de los límites máximos permisibles (Anexo I; Figura. 4.39). El valor máximo de  $\text{Na}^+$  y  $\text{K}^+$  es 6,91 mg/L y 6,9 mg/L, respectivamente. Estos datos fueron analizados en época seca en la Quebrada Panguí que recoge los efluentes mineros de la zona alta de Chinapintza. El límite máximo permisible para el sodio es 200 mg/L y para el potasio es 20 mg/L (TULAS, 2005). El valor máximo detectado para el  $\text{Cl}^-$  (3,3 mg/L) corresponde a la muestra tomada en el río Nangaritza en época seca; el límite máximo para el cloruro es 250mg/L.

Las concentraciones de calcio y magnesio en las muestras, para las dos épocas, están sobre los límites de potabilidad permisibles establecidos por la OMS (2018) (Anexo I; Figura 4.39, 40).

En general, se observa que las mayores concentraciones de sulfatos, en la época lluviosa, corresponden a las muestras ChAH01a, ChAH01b y Quebrada Chinapintza (Anexo I; Figura 4.40). En época seca, las mayores concentraciones de sulfato se detectan en la Quebrada Panguí y el Río Congüime. La concentración más alta (221,4 mg/L  $\text{SO}_4^{2-}$ ) en la zona alta, se correlaciona con la alta mineralización de sulfuros (galena y esfalerita) de la zona minera.

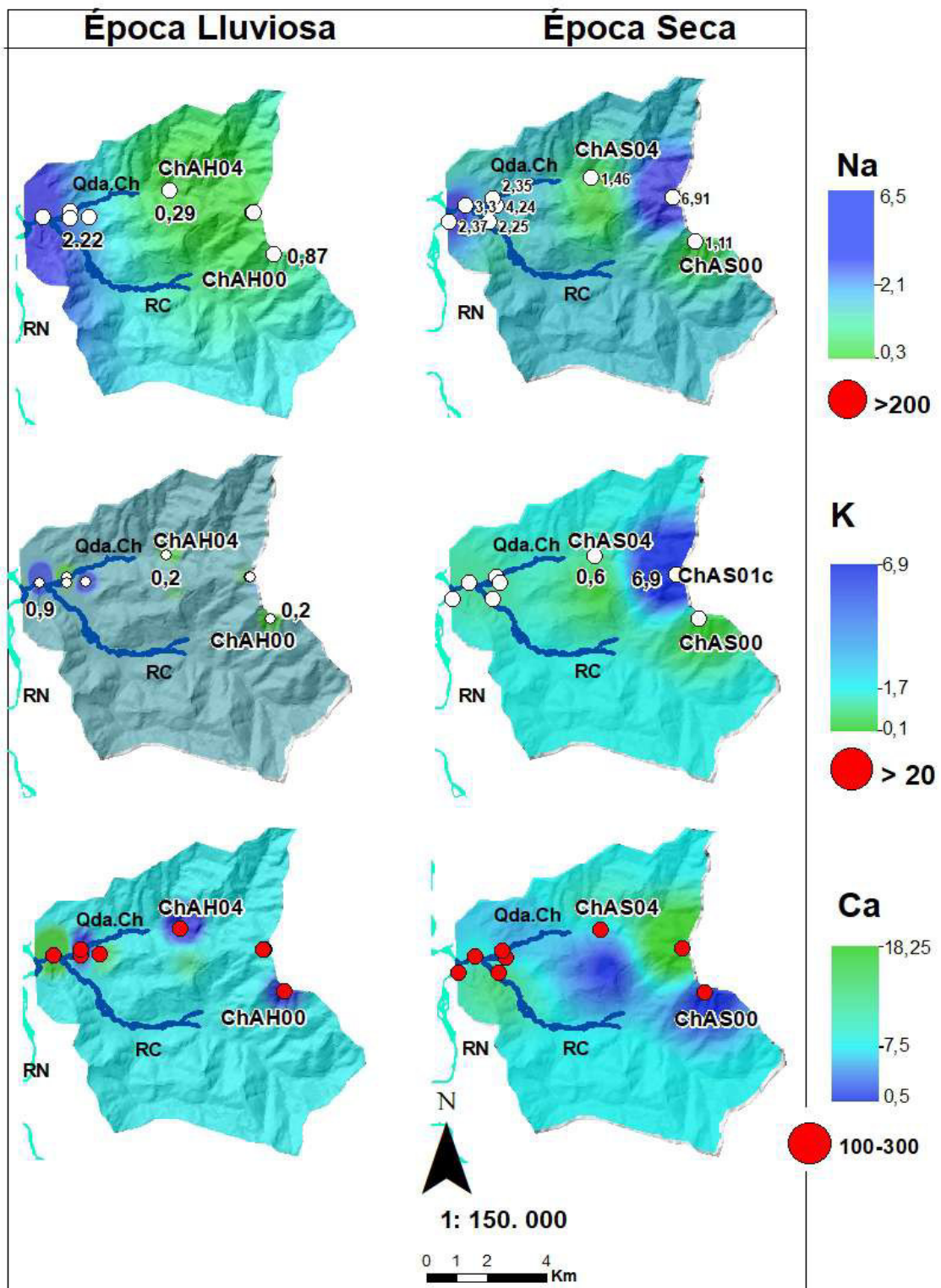
Las mayores concentraciones de nitratos y nitritos han sido detectadas en la Quebrada Chinapintza en época lluviosa, mientras en la época seca corresponden a la Quebrada Panguí y Quebrada Chinapintza (Anexo I).

Las concentraciones de  $\text{F}^-$  en la MCCH son mínimas con un valor máximo en época lluviosa de 0,069 mg/L en la muestra ChAH08, y en época seca el valor máximo (0,671 mg/L) corresponde a la Quebrada Panguí (Anexo I). Es probable que las concentraciones de  $\text{F}^-$  no sean altas, a pesar de que esta zona es altamente mineralizada y de recibir descargas de origen industrial en sus afluentes, puesto que las concentraciones de  $\text{F}^-$  suelen asociarse más en aguas subterráneas que a aguas superficiales (OMS, 2018).

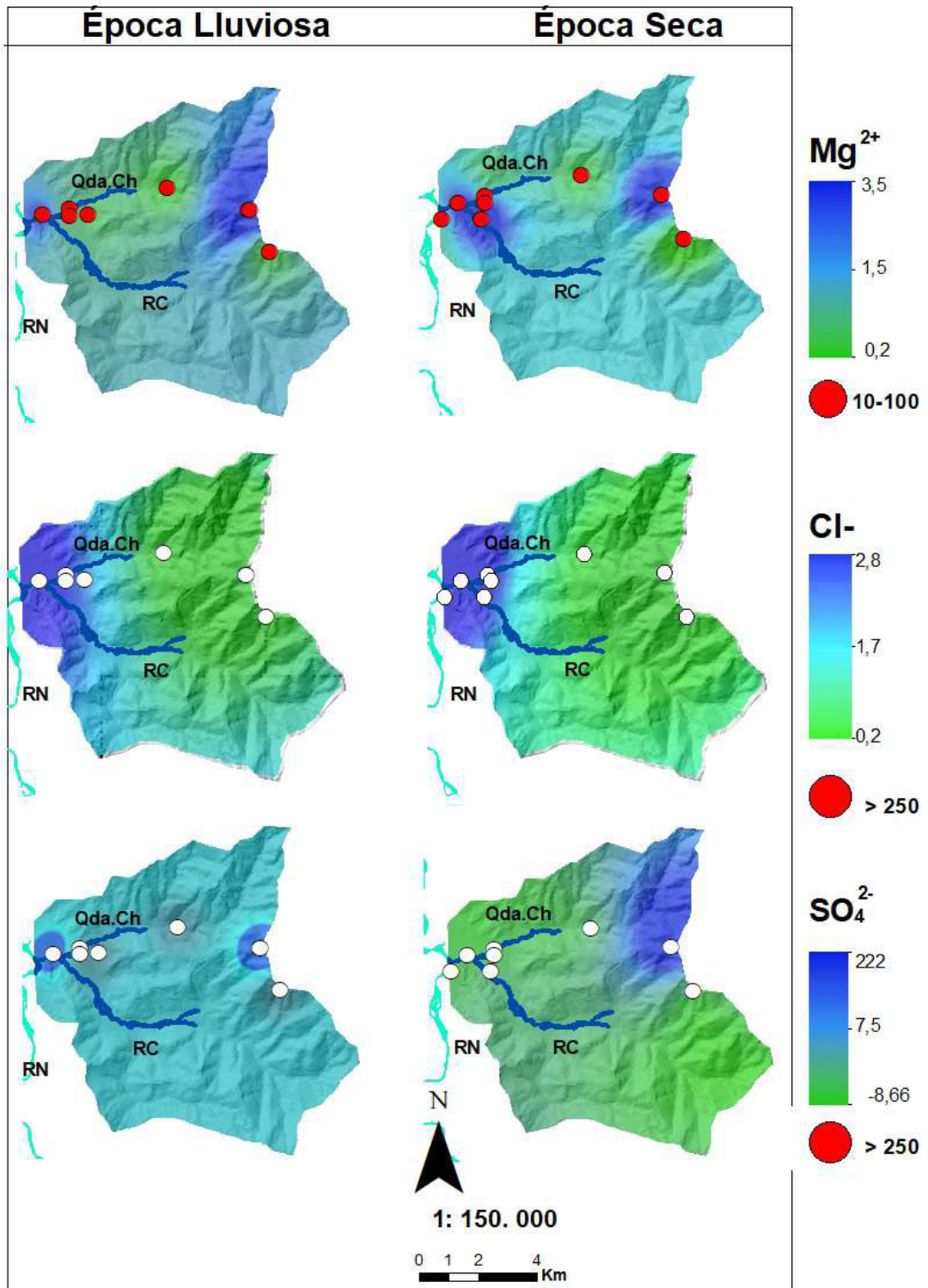


**Figura 4.38** Variación temporal y espacial del Oxígeno Disuelto (OD), Sólidos Totales Disueltos (STD) y Turbidez en la MCCH. Los puntos de muestreo de color rojo son aquellos que están sobre los límites máximos permisibles según TULAS (2005). RN Río Nangaritzza, RC Río Congüime, Qda. Ch Quebrada Chinapintza.





**Figura 4.39** Variación temporal y espacial del sodio (Na), potasio (K), y calcio (Ca), en la MCCH. Los puntos de muestreo de color rojo son aquellos que están sobre los límites máximos permisibles según TULAS (2005) y OMS (2018). La paleta de colores muestra que el color más fuerte (azul) es donde existe mayor concentración de iones. Río: RN Río Nangaritza, RC Río Congüime, Qda. Ch Quebrada Chinapintza.



**Figura 4.40** Variación temporal y espacial del magnesio ( $Mg$ ), cloruro ( $Cl$ ) y sulfato ( $SO_4^{2-}$ ), en la MCCH. Los puntos de muestreo de color rojo son aquellos que están sobre los límites máximos permisibles según TULAS (2005) y OMS (2018). La paleta de colores muestra que el color más fuerte (azul) es donde existe mayor concentración de iones. Río: RN Río Nangaritza, RC Río Congüime, Qda. Ch Quebrada Chinapintza.

De las 8 muestras analizadas para el  $Mn^{2+}$  en época lluviosa, únicamente 2 muestras de agua están bajo la norma de calidad, es decir, son menores a 0,1 mg/L. Estas concentraciones están en el Blanco de la microcuenca y en la Quebrada Chinapintza (Anexo I). Para la época seca, de las 11 muestras analizadas, únicamente 4 muestras de agua son consideradas aptas para consumo humano (Anexo I). Según la OMS (2018), al estar estas aguas sobre los límites permisibles, es posible que la causa sean fuentes naturales, ya que el manganeso se encuentra naturalmente en el suelo.

De acuerdo con la Geología local descrita en el Apartado 1, en la MCCH afloran rocas ígneas, sedimentarias, metamórficas, sub-volcánicas, volcánico-clásticas y depósitos cuaternarios (Figura 1.10). Los minerales de las rocas ígneas plagioclasa y feldespatos son susceptibles a alteraciones debido a las condiciones ambientales, transformándose mayormente en arcilla; a pesar de eso, no es común que el  $Na^+$ ,  $K^+$ ,  $Ca^{2+}$  y  $Mg^{2+}$  se encuentren de manera natural en el agua dulce, que coincide con las concentraciones muy bajas de las muestras.

A pesar de que las mineralizaciones en la MCCH (Apartado 1) presenta mineralizaciones de oro y plata en forma metálica y en algunos casos, en forma refractaria, asociados con mineralizaciones de sulfuros (Guerrero, 2014), presentando vetas complejas conformadas por sulfuros masivos (Egüez et al., 2019), las concentraciones de  $F^-$  y la mayoría de concentraciones de  $SO_4^{2-}$  no son muy altas, debido a que suelen asociarse más a aguas subterráneas que a aguas superficiales.

Las concentraciones de  $NO_3^-$ ,  $NO_2^-$  y  $Cl^-$  son muy altas en sectores como quebradas y ríos debido a que recogen toda la contaminación de la zona.

## 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 5.1. CONCLUSIONES

- La MCBR se caracteriza geológicamente, por la presencia de secuencias basálticas de la Unidad Pallatanga, con varios cuerpos intrusivos, cubiertos por rocas del Grupo Saraguro (Granda et al., 2017). Además de terrenos oceánicos fraccionados por sobrecorrimientos de bajo ángulo, fallas de rumbo NW-SE, dominada por minerales como pirrotina, pirita y calcopirita. Cantidades menores de esfalerita, galena y trazas de molibdenita, magnetita, oro nativo, minerales secundarios, cobre nativo, cuprita, calcosina, malaquita y covelina (PRODEMINCA, 2000; Egüez et al., 2017), explican la alta mineralización de esta zona minera, con oro asociado a sulfuros refractarios a la cianuración (Díaz et al., 1997).
- La MCSG se caracteriza geológicamente por la presencia de secuencias basálticas de la Unidad Pallatanga con cuerpos de gabro, complejos extrusivo-intrusivo superyacentes que forman “relictos exteriores” del Grupo Saraguro (Cordovez et al., 2017; Granda et al., 2017). Terreno ofiolítico superpuesto por magmatismo calco-alcalino entre las Fallas del Río Chico con rumbo NW, caracterizado por sobrecorrimientos y Fallas inversas con buzamientos SW, dominado por arsenopirita y/o pirita y localmente estibina, y trazas de oro nativo, pirrotina, calcopirita, esfalerita y molibdenita (PRODEMINCA, 2000; Egüez et al., 2017), que corresponde al tipo de mineralización de la zona.
- La MCNB se caracteriza geológicamente por la presencia de una secuencia no deformada de volcanosedimentos continentales y marinos, cuerpos de skarn formados por el contacto con el Complejo Intrusivo Zamora, y una fase lávica del arco volcánico calco-alcalino Misahuallí-Colán (Granda et al., 2017; Romeuf et al., 1995). Dominada por ocurrencias auríferas relacionadas con skarns cupríferos, pórfidos Cu-Au y Cu-Mo, epitermales de baja sulfuración en vetas y brechas, aluviales (placeres auríferos) en la cuenca del río Nambija, siendo el oro nativo la principal mineralización (PRODEMINCA, 2000; Egüez et al., 2017).

- La MCCH se caracteriza geológicamente por la presencia de Unidades metamórficas, ígneas, volcánicas de afinidad MORB (Granda et al., Egüez et al., 2017). Dominado por mineralizaciones de oro y plata en forma metálica, generalmente se encuentran asociadas con mineralizaciones de sulfuros especialmente piritita, esfalerita y galena, con menores cantidades de arsenopiritita, pirrotina, calcopiritita y bornita (PRODEMINCA, 2000; Egüez et al., 2017).
- Los suelos de las microcuencas de Nambija y Chinapintza presentan altas pendientes y texturas finas a arcillosas, lo que favorece a que haya escorrentía más que infiltración del agua, en estas zonas. Por tanto, se puede afirmar que en estas microcuencas la contaminación será principalmente por las actividades antrópicas.
- La variación de la temperatura del agua de las microcuencas en Nambija y Chinapintza, es drástica en época seca, lo contrario de lo que ocurre en las microcuencas de Bella Rica y San Gerardo, donde la variación de la temperatura a lo largo de las áreas de estudio, no cambian de manera radical.
- La principal fuente de abastecimiento de agua para consumo humano y uso doméstico, en las microcuencas estudiadas en los múltiples distritos mineros, es el agua superficial (ríos, quebradas, etc.).
- La variación espacial y temporal presenta una mejor distribución de sus variables en época seca que en época lluviosa, por lo que en los mapas se puede diferenciar de mejor manera las distintas concentraciones de cada uno de los parámetros físico-químicos. Esto debido a que, en época lluviosa las precipitaciones diluyen los posibles contaminantes, homogenizando toda el área.
- En las zonas de mayor altura las microcuencas se caracterizan por presentar, en promedio, una baja temperatura, pH neutro y bajas concentraciones iónicas de  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ , y  $\text{Mg}^{2+}$ . A medida que el agua desciende, aumenta la cantidad de iones y temperatura, así como disminuye la cantidad de OD. Al llegar a las zonas más bajas el agua tiende a tener mayores concentraciones de  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$ ,  $\text{NO}_3^-$  y  $\text{NO}_2^-$ , producto de actividades mineras y agrícolas.
- Existe mayor conductividad eléctrica en las quebradas de las microcuencas, que en

los ríos, mostrando tener una mayor concentración de iones y de sólidos totales disueltos en el agua. Por consiguiente, estas zonas presentan valores más elevados de particulados minerales y posiblemente estén directamente asociadas a actividades antrópicas.

- Las áreas de estudio, en general presentan altas concentraciones de turbidez. Inclusive en las muestras de agua de consumo humano y Blancos (muestras de agua tomadas en las partes más altas y alejadas de la zona minera). Esto se debe principalmente a las actividades agrícolas y mineras, sobre todo a la minería aluvial. De acuerdo con la OMS (2018), el agua turbia (con partículas en suspensión) pierde “credibilidad” de consumo, provocando que los pobladores beban menos agua o usen fuentes alternativas (agua sin partículas en suspensión) que tal vez no sean seguras.
- La presencia de sulfatos y nitratos sobre los límites máximos permisibles para aguas de consumo humano y uso doméstico, están presentes en los ríos principales y las quebradas que recogen o drenan áreas que han sido significativamente afectadas por la minería o la agricultura.
- El cálculo del índice de calidad de agua (*WQI*) para consumo humano obtenido en aguas superficiales (ríos y quebradas), depende de los pesos ponderados para cada uno de los parámetros. Mientras mayor es el peso, mayor importancia tiene un parámetro en el cálculo. Esto implica que si no hubiera un parámetro que tenga un peso mayor, el cómputo para obtener la calidad de agua variará, modificando su eficacia. Por ello, se establece que este índice de calidad de agua es poco confiable, Adicionalmente se debe indicar que el *WQI* fue definido para aguas potables, no para aguas industriales, como las efluentes de la minería, sin tratamiento. Además, si todas las muestras de agua a excepción de  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{F}$  exceden los límites máximos permisibles de potabilidad, se esperaría tener calidad “mala” a muy “mala”, sin embargo, la calidad del agua en más de 20 muestras es “aceptable” o de calidad “media”. Lo que corrobora lo antes mencionado.
- De manera general, la calidad de agua en época lluviosa es mejor que en época seca. Debido a que en temporada lluviosa, los drenajes y los ríos tienen mayor caudal por las precipitaciones. Por tanto, hay mayor cantidad de agua facilitando que todos los posibles contaminantes circulen y se distribuyan homogéneamente; a diferencia de la

época seca en donde no hay precipitaciones y posiblemente la única agua que tienen estos cursos hídricos, son la de los procesos que pueden ser mineros o agrícolas.

- A pesar de que las muestras de agua consideradas como Blancos en cada microcuenca (ubicadas en las partes más altas y alejadas de la zona) deberían presentar la mejor calidad de agua para consumo humano y uso doméstico, muchas de ellas presentan un índice de calidad de agua, según el criterio general, como poco contaminadas. Así mismo algunos parámetros físico-químicos están sobre la norma de calidad, en estos puntos de muestreo de agua. Esto se debe principalmente a que estas zonas son altamente mineralizadas, además de la dificultad de encontrar verdaderas muestras Blanco, en zonas afectadas por actividades mineras y agrícolas, por décadas.
- La mayoría de las muestras de agua evidenciaron que, aunque no hay una distancia significativa entre ellas, es decir, la distancia de una muestra a otra es pequeña, se observa que si una muestra de agua tiene calidad aceptable o cumplen con los estándares para el consumo humano de agua establecidos por TULAS (2005) y OMS (2018), la muestra contigua está contaminada o sobre los límites permisibles para consumo humano. Esto es probablemente porque existe actividades antropogénicas en estas áreas, y dado que se trata de zonas mineralizadas, podría deberse a la actividad minera irregular, especialmente a la minera ilegal o aluvial en estas áreas mineras.
- En general, las concentraciones de calcio y magnesio no están en los límites requeridos para la conservación de la salud, establecida por OMS (2018). A pesar de ello, no se puede afirmar que la falta de estos nutrientes en el agua sea realmente peligrosa debido a que corresponderían tomar en cuenta la calidad de vida de las personas y la ingesta de otros alimentos que contengan estos nutrientes, para poder afirmar que las personas que ingieren esta agua necesitan estos nutrientes para vivir sin riesgos.

## 5.2. RECOMENDACIONES

- Se recomienda continuar con el muestreo de agua en las áreas de estudio y realizar más mediciones en los ríos principales, para tener una mejor idea de lo que sucede en estas zonas. La toma de muestras de agua debería ser una actividad permanente para el control de la calidad de agua, por medio de campañas de campo en las dos épocas del año.
- Es necesario recolectar muestras de agua en los pozos de cada microcuenca para establecer como mayor claridad cuál es el estado de los recursos hídricos de las áreas estudiadas; por ejemplo, para determinar las concentraciones de flúor, manganeso y sulfatos, ya que estos iones suelen estar ligados más a aguas subterráneas que a aguas superficiales.
- Se deberían tomar un mayor número de muestras de agua en las partes más bajas de las microcuencas, para establecer cuál es la concentración de los iones, debido a que en las partes más bajas existe mayor población y actividades agrícolas que podrían estar siendo afectadas por las altas concentraciones de iones en el agua.
- Analizar la mineralogía y litología principalmente de los acuíferos, de las áreas de estudio, con la finalidad de obtener la composición y concentración de los iones disueltos en el agua subterránea. Para así obtener una correlación a detalle, de la interacción agua-roca (interacción entre los iones del agua y los niveles acuíferos).
- Con el propósito de prevenir la disminución de la calidad del agua en cada microcuenca, se recomienda analizar las concentraciones iónicas de parámetros químicos que superan los límites máximos permisibles de potabilidad como sulfatos, nitratos y cloruros.
- Calcular las concentraciones de los fosfatos, para poder correlacionar esta información, con los datos de la calidad del agua.



## REFERENCIAS

- Appleton, J. D., Williams, T. M., Orbea, H., & Carrasco, M. (2001). Fluvial contamination associated with artisanal gold mining in the Ponce Enriquez, Portovelo-Zaruma and Nambija areas, Ecuador. *Water, Air, and Soil Pollution*, 131 (1–4), 19–39
- Aspden, J. A., Litherland, M. (1992). The geology and Mesozoic collisional history of the cordillera Real, Ecuador. *Tectonophysics*. 205(1), 187-204
- Baby, P., Rivadeneira, M., Barragán, R. (2004). La Cuenca Oriente: Geología y petróleo. Francia. *Institut français d'études andines*.
- Barragán, R., Christophoul, F., White, H., Baby, P., Rivadeneira, M., Ramírez, F., Rodas, J. (2015). Estratigrafía secuencial del cretácico de la Cuenca Oriente del Ecuador. *Institut français d'études andines*. 45-68
- Breilh, J., Campaña, A., Maldonado, A. (2007). *Informe Peritaje a la Salud de Trabajadores de Aerofumigación en Plantaciones Bananeras: Guayas, El Oro y Los Ríos*. Quito: CEAS. Recuperado de <https://www.biodiversidadla.org/Documentos/Ecuador-Informe-peritaje-a-la-salud-trabajadores-de-aerofumigacion-en-plantaciones-bananeras>
- Campos, D.H. (1998) *Procesos del ciclo hidrológico*. Vol. 3th. San Luis Potosí: Universidad Autónoma de San Luis Potosí
- Carling, G., Díaz, X., Ponce, M., Pérez, I., Nasimba, L., Pazmiño, E., Rudd, A., Merugu, S., Fernández D., Gales, B., Johnson, W.P (2013) Particulate and Dissolved Trace Element Concentrations in Three Southern Ecuador Rivers Impacted by Artisanal Gold Mining, *Water, Air, & Soil Pollution*, 224:1-16
- Chow, V. T., Maidment, D. R. y Mays, L. W. (1988). *Applied Hydrology*. Estados Unidos de América: Mc Graw-Hill
- Cordovez, M., Guerrero, G., Águila, C., Brito, S., Nuñez, C., Valencia, S. (2017). *Mapa Geológico del Ecuador, Hoja 36, Machala*. Ministerio de Minería e Instituto Nacional de Investigación Geológica Minero Metalúrgico
- Cotler, H., Ávalos, A., Galindo A., González, I., Pineda, R., Ríos, E. (2013). Cuencas hidrográficas. Fundamentos y perspectivas para su manejo y gestión. 1era Edición. Tlalpan: Centro de Educación y Capacitación para el Desarrollo Sustentable

- Cunningham, W., Cunningham, M., Saigo, B. (2003). *Environmental Science A Global Concern*. Vol. 7th. New York: McGraw-Hill
- Dadzie, E. (2012) *Assessment of heavy metal contamination of Densu River, Weija from Leachate*. Master of Environmental Science Thesis. Kwame Nkrumah University of Science and Technology. Ghana
- Davies, R. J., Smith, D. (2001). Turbidity suspended sediment, and water clarity: A review1. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, 37(5), 1085-1101.
- Dawson Robert. (2011). *How Significant Is a Boxplot Outlier?* *Journal of Statistics Education*, 19(2)
- Díaz, X., Quintana, V., De la Torre, E. (1997) Recuperación del oro refractario de sulfuros y sulfoarseniuros. Anales, 17th. World Mining Congress, XXII Convention of AIMMGM,AC, Acapulco.
- Drever, J.I. (2002). *The Geochemistry of Natural Waters*. 3rd Edition. Upper Saddle River: Prentice Hall
- Egüez, A., Gaona, M., Albán, A. (2017). *Mapa Geológico de la República del Ecuador*. Ministerio de Minería e Instituto Nacional de Investigación Geológico Minero Metalúrgico
- Egüez, A., Albán, A., Gallardo, E. (2019). *Mapa Metalogénico de la República del Ecuador*. Ministerio de Minería e Instituto Nacional de Investigación Geológico Minero Metalúrgico.
- Frank, N., Kenner, J., McCallio, M., Espinoza. (1992). *Manual de agua: Su naturaleza, tratamiento y aplicaciones*. McGraw-Hill. 968-980
- Feininger, T., Bristow, C. R. (1980). Cretaceous and Paleogene geologic history of coastal Ecuador. *Geologische Rundschau*. 69(3), 849-874
- Fernández, N., Solano, F. (2005). Índices de Calidad (ICAs) e Índices de contaminación (ICOs del agua de Importancia mundial. Recuperado de [http://www.unipamplona.edu.co/unipamplona/portallG/home\\_10/recursos/general/vinci2013/pag](http://www.unipamplona.edu.co/unipamplona/portallG/home_10/recursos/general/vinci2013/pag)
- García, A., López, J., Nova, G., Guzman, R., Vargas, F., Torres, M. (1997). *Manual técnico para el manejo integral de cuencas hidrográficas*. Bogotá: Servicio Nacional de Aprendizaje, SENA
- Gaspari, F., Rodríguez, A., Senisterra, G., Delgado, M., Besterio, S (2013). *Elementos metodológicos para el manejo de cuencas hidrográficas*, La Plata. Universidad Nacional

de La Plata

- Granda, B., Balseca, V., Nuñez, C., Loachamin, S. (2015). *Memoria Técnica Hoja Geológica Zamora*. e Instituto Nacional de Investigación Geológico Minero Metalúrgico.
- Granda, B., Águila, C., Egüez, A., Condoy, D., Yáñez, E. (2017). *Mapa Geológico del Ecuador, Hoja 35, Naranjal*. Ministerio de Minería e Instituto Nacional de Investigación Geológico Minero Metalúrgico.
- Granda, B., Águila, C., Revelo, R., Otavalo, C., Carranco, A., Tipán, A. (2017). *Mapa Geológico del Ecuador, Hoja 77, Zamora*. Ministerio de Minería e Instituto Nacional de Investigación Geológico Minero Metalúrgico.
- Gravetter, F. J., & Wallnau, L. (2000). *Statistics for the behavioral sciences*. Stamford. CT: Wadsworth
- Guerrero, F. (2014). *Comportamiento Geoambiental con Datos Mineralógicos y Análisis Químicos de Metales de la Zona Minera "La Herradura", Área Minera de Chinapintza, Provincia de Zamora Chinchipe-Ecuador*. Trabajo de titulación en Geología y Minas. Universidad Técnica Particular de Loja. Loja- Ecuador.
- Hall M., Ramón, P., Mothes, P., LePennec, J. L., García, A., Samaniego, P., Yepes, H. (2004). Volcanic eruptions with little warning: the case of Volcán Reventador's Surprise November 3, 2002 Eruption, Ecuador. *Revista geológica de Chile*. 31(2), 349–358
- Harari, R. (2009). *Trabajo, Ambiente y Salud en Producción Bananera del Ecuador* En: Harari, R., Harari, H. y Harari N. Manual de Salud Ocupacional y Ambiental de los trabajadores y trabajadoras de las plantaciones bananeras y poblaciones vecinas del Ecuador. Quito: IFA.  
[http://www.fao.org/fileadmin/templates/banana/documents/IFA\\_Trabajo\\_Medioambiente\\_Salud\\_Ecuador\\_Nov\\_09.pdf](http://www.fao.org/fileadmin/templates/banana/documents/IFA_Trabajo_Medioambiente_Salud_Ecuador_Nov_09.pdf)
- Hem, J. D. (1985). *Study and interpretation of the chemical characteristics of natural water* (Vol. 2254). Department of the Interior, US Geological Survey.
- Hernández, Z. (2012). *Métodos de Análisis de Datos: Apuntes*. Vol. N°6. Logroño: Servicio de Publicaciones, Universidad de la Rioja
- Hounslow Arthur. (1995). *Water Quality Data: Analysis and Interpretation*. CRC Press.
- Hughes, R. A., Pilatasig, L. F. (2002). Cretaceous and Tertiary terrane accretion in the Cordillera Occidental of the Andes of Ecuador. *Tectonophysics*. 345(1), 29-48.

- INAMHI (2017). *TIPOS DE CLIMA ECUADOR 2017*. Geoinformación hidrometeorológica. Recuperado de: <http://www.serviciometerologico.gob.ec/geoinformacion-hidrometeorologica/>
- INEC (2010). *Población y Demografía*. Instituto Nacional de Estadística y Censos. Recuperado de: <https://www.ecuadorcifras.gob.ec/censo-de-poblacion-y-vivienda/>
- Jadán, A., Zapata, E., Yacila, J., Morochoz, S. (2015-2030). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del Azuay Actualizado*. Gobierno Provincial del Azuay
- Jaillard, E., Ordóñez, M., Benítez, S., Berrones, G., Jiménez, N., Montenegro, G. (1995). Basin development in an accretionary, oceanic-floored fore-arc setting: southern coastal Ecuador during late cretaceous-late eocene time. *Petroleum basins of South America*, 62. 615-631.
- Johnson, D.L., Ambrose, S.H., Bassett, T.J., Bowen, M.L., Crummey, D.E., Isaacson, J.S., Johnson, D.N., Lamb, P., Saul, M., Winter-Nelson, A.E. (1997) Meanings of environmental terms. *Journal of Environmental Quality*, 26 (3) 581-589
- León, M. (2014). *Diagnóstico de la calidad de agua en la microcuenca del río Congüime y diseño de una propuesta de mitigación para la zona crítica establecida mediante el índice de calidad de agua (ICA BROWN) en la provincia de Zamora Chinchipe cantón Paquisha*. Trabajo de grado en Ingeniería Ambiental. Universidad Central del Ecuador, Quito- Ecuador.
- León, P. (2015). *Estabilización de Taludes en el Sector "El Tierrero" de la Mina Nambija*. Trabajo de grado en Ingeniería de Minas. Universidad Central del Ecuador, Quito- Ecuador.
- Léon, A. (2016). *Evaluación de la Calidad del Agua del Río Siete en el Sector Minero Del Cantón Camilo Ponce Enríquez, Provincia del Azuay*. Proyecto Integrador para Obtención de Título en Ingeniería Civil. Escuela Superior Politécnica del Litotal, Guayaquil- Ecuador.
- Litherland, M., Aspden, J., Jemielita, R. (1994). Newly discovered Jurassic skarnfields in the Ecuadorian Andes. *Journal of South American Earth Sciences*. 6, 67-75
- Litherland, M., Aspden, J. A., Jemielita, R. (1994). The metamorphic belts of Ecuador. *British Geological Survey, Keyworth*. 147
- Luoma, S., Okkonen, J., Korkka-Niemi, K., Hendriksson, N., Backman, B. (2015). Confronting the vicinity of the surface water and sea shore in a shallow glaciogenic aquifer in southern Finland. *Hydrology and Earth System Sciences*. 19, 1353-1370
- Luzieux, L., Heller, F., Spikings, R., Vallejo, C., Wrinkler, W. (2006). Origin and Cretaceous

- tectonic history of the coastal Ecuadorian forearc between 1°N and 3°S: Paleomagnetic, radiometric and fossil evidence. *Earth and Planetary Science Letters*. 249, 400-414
- Martínez, P.E., Martínez, P., Castaño, S. (2006). *Fundamentos de Hidrogeología*. Madrid: Editorial Mundi-Prensa.
- Mitchell, M.K., Stapp, W.B. (2008) *Field Manual for Water Quality Monitoring: An Environmental Education Program for Schools*, 13th Edition. Dubuque: Kendall Hunt Publishing
- Nocquet, J.M., Villegas-Lanza, J.C., Chileh, M., Mothes, P.A., Rolandone, F., Jarrin, P., Cisneros, D., Alvarado, A., Audin, L., Bondoux, F., Martin, X., Font, Y., Régnier, M., Vallée, M., Tran, T., Beauval, C., Maguiña Mendoza J.M., Martínez, W., Tavera H., Yepes H. (2014). Motion of continental silvers and creeping subduction in the northern Andes. *Nature Geoscience*. 7 (4), 287-291
- Organización Mundial de la Salud, (2018). *Guías para la calidad del agua de consumo*. Recuperado de <http://apps.who.int/iris>
- Ottens, H. (1992). *The proliferation of GIS: How about the developing countries?* In: Van Teeffelen, P.B.B., L. Van Grunsven, and O. Verkoren (eds). Possibilities and constraints of GIS applications in developing countries. Utrecht: Netherlands Geographical Studies 152
- Petrie, A., Sabin, C. (2007). *Medical statistics*. São Paulo: Roca.
- Polo, P. (2020) Determinación social de la salud en el territorio, miradas de los trabajadores bananeros, Tenguel (Ecuador). *Rev Cienc Salud*. 18(Especial):1-22
- PRODEMINCA. (1999) *Monitoreo ambiental de las áreas mineras en el sur de Ecuador 1996 – 1998*. Ministerio de Energía y Minas, Quito - Ecuador.
- PRODEMINCA. (2000) *Evaluación de Distritos Mineros del Ecuador "Depósitos Porfídicos y Epimesotermales Relacionados con Intrusiones de las cordilleras Occidental y Real"*. Ministerio de Energía y Minas, Quito - Ecuador.
- PRODEMINCA. (2000) *Evaluación de Distritos Mineros del Ecuador "Depósitos Porfídicos y Epimesotermales Relacionados con Intrusiones de la Cordillera el Cóndor"*. Ministerio de Energía y Minas, Quito - Ecuador
- Romeuf, N., Pierre, S., Jaillard, E., Aguirre, L., Feraud, G., Ruffet, G. (1995). Middle Jurassic volcanism in the Northern and Central Andes. *Revista geológica de Chile*. 22 (2), 243 -259

- Rosas Lorena. (2009). *Manual de procedimientos de delimitación y codificación de unidades hidrográficas*.
- Spikings, R. A., Winkler, W., Seward, D., & Handler, R. (2001). Along-strike variations in the thermal and tectonic response of the continental Ecuadorian Andes to the collision with heterogeneous oceanic crust. *Earth and Planetary Science Letters*. 186(1), 57-73.
- SENAGUA (2014). Demarcaciones Hidrográficas/Zonas Hidrográficas
- Sierra Rodrigo. (1999). Propuesta preliminar de un sistema de clasificación de vegetación para el Ecuador Continental. Proyecto INEFAN/GEF-BIRF y EcoCiencia. Quito, Ecuador
- Tarras-Wahlberg, N.H., Flachier, A., Fredriksson, G., Lane, S., Lundberg, B., Sangfors, O. (2000) Environmental impact of small-scale and artisanal gold mining in southern Ecuador. *AMBIO A J. Hum. Environ.*, 29, 484–491.
- TULAS. (2005). *Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes: Recurso agua. Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente, Libro VI Anexo 1*. Quito: MAE
- USGS (2019). National Field Manual for the collection of water-Quality data (NFM). Recuperado de <https://www.usgs.gov/mission-areas/water-resources/science/national-field-manual-collection-water-quality-data-nfm>
- Vallejo, C., Winkler, W., Spikings, R., Luzieux, L. (2009). Evolución geodinámica de la cordillera occidental (cretácico tardío- paleógeno). *Proyectos Semilla 2008*. Obtenido de <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/5633>
- Vásconez, M., Mancheno, A., Álvarez, C., Prehn, C., Cevallos, C., Ortiz., L. (2019). *Cuencas hidrográficas*. Quito: Editorial Abya-Yala
- Water Research Center. (2014-2020). Monitoring the Quality of Surface Waters (WQI Calculator). Recuperado de <https://www.water-research.net/index.php/water-treatment/water-monitoring/monitoring-the-quality-of-surfacewaters>
- Williams, T.M., Dunkley, P.N., Cruz, E., Acitimbay, V., Gaibor, A., Lopez, E., Baez, N., Aspden, J.A. (2000) Regional geochemical reconnaissance of the Cordillera Occidental of Ecuador: Economics and environmental applications. *Appl. Geochem.* 15, 531-550.
- Winkler, W., Villagómez, D., Spikings, R., Abegglen, P., Tobler, St., Egüez, A. (2005). The Chota basin and its significance for the inception and tectonic setting of the inter-Andean depression in Ecuador. *Journal of South American Earth Sciences*. 19(1), 5- 19.

Yáñez, M. (2016). *Caracterización e interpretación geológico-estructural de las secuencias litotectónicas de la cordillera Real entre las longitudes 78°34' y 78°30' O, y las latitudes 1°40' y 1°50' S al este de Chambo, Provincia de Chimborazo*. Trabajo de titulación en Geología. Escuela Politécnica Nacional. Quito-Ecuador

## **ANEXOS**

Anexo A: Variables fisiográficas e intrínsecas del suelo

Anexo B: Inventario de puntos de agua

Anexo C: Parámetros físico-químicos de la información disponible

Anexo D: STD y conductividad eléctrica

Anexo E: Estadística descriptiva de las áreas de estudio

Anexo F: Balance iónico

Anexo G: Curvas de función de calidad WRC

Anexo H: Cálculo del índice de calidad de agua (WQI)

Anexo I: Parámetros físico-químicos según TULAS (2005) y OMS (2018).

## Anexo A

### A1: Variable fisiográfica: pendiente

Variable	Rangos	Clasificación
Pendiente	0-5%	Plano a casi plano
	5-12%	Suave a ligeramente inclinado
	12-25%	Ligeramente ondulado (micro relieve)
	25-50%	Moderadamente ondulado
	50-70%	Colinado
	> 70%	Escarpado
No aplicable	Glaciares, cuerpos de agua, zonas urbanas.	

### A2: Variables intrínsecas: textura y taxonomía

VARIABLE	CLASIFICACIÓN	Observación
TEXTURA	Arenosa	Fina, media, gruesa
	Franco arenoso	Fina a gruesa
	Franco arcilloso arenoso	Media a fina
	Franco arcilloso limoso	Media a fina
	Arcilloso arenoso	Media a fina
	No aplicable	Glaciares, cuerpos de agua, zonas urbanas.
TAXONOMÍA	Alfisol	Suelos con moderada a alta saturación, con horizonte argílico
	Alfisol + Inceptisol	-
	Inceptisol	Suelos derivados de depósitos fluviónicos como residuales
	Mollisol	Suelos superficiales a moderadamente profundos desarrollado de materiales volcánicos y sedimentarios
	Entisol	Suelos minerales derivados de materiales aluviónicos como residuales
	No aplicable	Glaciares, cuerpos de agua, zonas urbanas.



## ANEXO B

N°	ID	UTMX	UTMY	Fecha de muestreo	B	C	D	Observaciones
1	12SgAS	636683	9672031	Agosto	X			Muestra de agua tomada en el Río Gala en época seca.
2	14aSgAS	640292,056	9669677,97	Agosto		X		Muestra de agua tomada en el poblado La Fortuna, yacimiento minero San Gerardo, en época seca.
3	14bSgAS	640098,955	9669860,35	Agosto		X		Muestra de agua tomada en el poblado La Fortuna, yacimiento minero San Gerardo, en época seca.
4	14cSgAS	639036,9	9670171,46	Agosto		X		Muestra de agua tomada aguas abajo del Río Chico en época seca.
5	BrAH00	645905,5	9656360,2	16/3/2019			X	Muestra de agua tomada en el Río Margarita, zona más alejada de las actividades antrópicas, por ello, es considerada la muestra "Blanco" del área de estudio.
6	BrAH01	643718,1	9656835,8	16/3/2019			X	Muestra de agua tomada en el Río Margarita el cual está siendo afectado por actividad minera reciente.
7	BrAH02c	641248,9	9657298	16/3/2019			X	Muestra de agua tomada en el Río Vainillo después de una pequeña represa que retiene sólidos en suspensión.
8	BrAH02d	641248,9	9657298	16/3/2019			X	Muestra de agua tomada en el Río Vainillo antes de una pequeña represa que retiene sólidos en suspensión.
9	BrAH03	638452	9659919	16/3/2019			X	Muestra de agua tomada en el Río Siete al llegar a la carretera.
10	BrAH04	640821,5	9661353,9	20/3/2019			X	Muestra de agua tomada en la Quebrada Guanache.
11	Br*AH07	643779	9659498	20/3/2019			X	Muestra de agua de consumo humano tomada en el poblado de la mina de Bella Rica.

12	BrAS00	645905,5	9656360,2	16/8/2019	X	Muestra de agua tomada en el Río Margarita,, zona más alejada de las actividades antrópicas, por ello, es considerada la muestra “Blanco” del área de estudio.
13	BrAS01	643718,1	9656835,8	16/8/2019	X	Muestra de agua tomada en el Río Margarita que está siendo afectada por actividad minera reciente.
14	BrAS02c	641248,9	9657298	16/8/2019	X	Muestra de agua tomada en el Río Vainillo después de una pequeña represa que retiene sólidos en suspensión.
15	BrAS02d	641248,9	9657298	16/8/2019	X	Muestra de agua tomada en el Río Vainillo antes de una pequeña represa que retiene sólidos en suspensión.
16	BrAS03	638452	9659919	16/8/2019	X	Muestra de agua tomada en el Río Siete al llegar a la carretera.
17	BrAS04	640821,5	9661353,9	16/8/2019	X	Muestra de agua tomada en la Quebrada Guanache.
18	Br*AS07	643779	9659498	16/8/2019	X	Muestra de agua de consumo humano tomada en la población de la mina Bella Rica.
19	BrAS13	641236,6	9657379,3	16/8/2019	X	Muestra de agua tomada en el Río Siete solamente en época seca debido al alto caudal en época lluviosa que impidió el muestreo.
20	SgAH01	652926	9662819,3	17/3/2019	X	Muestra de agua tomada en el Río Pinillo, en el nacimiento de los cursos hídricos a un costado de la vía, por ello considerada la muestra “Blanco” del área de estudio
21	SgAH03	647257	9668432	17/3/2019	X	Muestra de agua tomada en el Río Chico en época lluviosa que recoge los efluentes tanto de la explotación como del beneficio en la minería.
22	SgAH05	641603,2	9669767,8	17/3/2019	X	Muestra de agua tomada en el Río Chico en el sitio donde llega la carretera.
23	Sg*AH09	651621	9662892	17/3/2019	X	Muestra de agua de consumo humano tomada en casa del poblado La Fortuna, yacimiento minero de San Gerardo. Esta agua es entubada y viene del nacimiento de aguas cercanas a la zona.

24	SgAH10	641603,42	9670574,42	16/3/2019	X	Muestra de agua tomada en el Río Gala el cual no es afectado por la actividad minera del distrito San Gerardo.
25	SgAS01	652926	9662819,3	13/8/2019	X	Blanco San Gerardo, nacimiento de los cursos hídricos a un costado de la vía, muestra tomada en el Río Pinillo (Blanco del área de estudio).
26	SgAS03	647257	9668432	13/8/2019	X	Muestra de agua tomada en el Río Chico que recoge los efluentes tanto de la explotación como del beneficio en la minería.
27	SgAS05	641603,2	9669767,8	13/8/2019	X	Muestra de agua tomada en el Río Chico en el sitio donde llega la carretera.
28	Sg*AS09	651621	9662892	13/8/2019	X	Muestra de agua de consumo humano tomada en casa del poblado La Fortuna, yacimiento minero de San Gerardo. Esta agua es entubada y viene del nacimiento de aguas cercanas a la zona.
29	SgAS10	641603,42	9670574,42	14/8/2019	X	Muestra de agua tomada en el Río Gala el cual no es afectado por la actividad minera del distrito San Gerardo.
30	NbAH00	746765	9549992	27/2/2019	X	Muestra de agua tomada en la zona más alta de la Quebrada Nambija, considerada el "Blanco" de la zona de estudio.
31	NbAH01	742915	9549090	27/2/2019	X	Muestra de agua tomada en la Quebrada del Hierro la cual drena un área que no está siendo afectada significativamente por la minería.
32	NbAH02	742304	9550353	27/2/2019	X	Muestra de agua tomada en la Quebrada del Fierro (o Quebrada Nambija), por la cual drenan los efluentes de Nambija.
33	NbAH03	741648	9556612	27/2/2019	X	Muestra de agua tomada en el Río Nambija.
34	NbAS00	746765	9549992	27/2/2019	X	Muestra de agua tomada en la zona más alta de la Quebrada Nambija, considerada el "Blanco" de la zona de estudio.
35	NbAS01	742915	9549090	27/2/2019	X	Muestra de agua tomada en la Quebrada del Hierro la cual drena un área que no está siendo afectada significativamente por la minería.

36	NbAS02	742304	9550353	27/2/2019	X	Muestra de agua tomada en la Quebrada del Fierro (o Quebrada Nambija), por la cual drenan los efluentes de Nambija.
37	NbAS03	741648	9556612	27/2/2019	X	Muestra de agua tomada en el Río Nambija.
38	Nb*AS07	745472,7	9549577,6	2/8/2019	X	Muestra de agua de consumo humano tomada en el poblado de Nambija.
39	ChAH00	770286	9551830	24/2/2019	X	Muestra de agua tomada en el área más alta, considerada el "Blanco" de la microcuenca, zona altamente mineralizada.
40	ChAH01a	769590	9553270	25/2/2019	X	Muestra de agua tomada cercana a la planta de beneficio de la zona minera La Herradura.
41	ChAH01b	769628	9553256	25/2/2019	X	Muestra de agua tomada en los efluentes que viene de la explotación minera La Herradura.
42	Ch*AH03	767091	9552796	25/2/2019	X	Muestra de agua tomada en el invernadero usado por las mujeres de Puerto Minero.
43	ChAH04	766791,05	9554005,15	25/2/2019	X	Muestra de agua tomada en la Quebrada Chinapintza la cual recoge el agua de la explotación minera desde la zona de la Herradura.
44	ChAH06	763480	9553288	25/2/2019	X	Muestra de agua tomada en la Quebrada Chinapintza la cual recoge el agua de la explotación minera desde la zona de la Herradura..
45	ChAH07	762564	9553075	25/2/2019	X	Muestra de agua tomada aguas abajo del Río Congüime, después de la confluencia de la Quebrada Chinapintza con el Río Congüime. Refleja la actividad de toda la explotación minera de Chinapintza.
46	ChAH08	763478,8	9553066,6	26/2/2019	X	Muestra tomada en el afluente de la Quebrada Chinapintza de la zona alterada por la actividad antrópica minera.

47	CgAH00	764099	9553107	26/2/2019	X	Muestra de agua tomada en la planicie de Congüime, considerado el "Blanco" de la zona.
48	ChAS00	770286	9551830	31/7/2019	X	Muestra de agua tomada en el área más alta considerada el Blanco de la microcuenca, zona altamente mineralizada.
49	ChAS01c	769515	9553347	31/7/2019	X	Muestra de agua tomada en la Quebrada Pangui próxima a las minas, que recoge los afluentes de todo el sector minero de esa zona.
50	Ch*AS03	767091	9552796	31/7/2019	X	Muestra de agua tomada en el invernadero usado por las mujeres de Puerto Minero.
51	ChAS04	766791,05	9554005,15	31/7/2019	X	Muestra de agua tomada en la Quebrada Chinapintza recoge el agua de la actividad minera desde la zona de la Herradura.
52	ChAS06	763479,5	9553287,9	30/7/2019	X	Muestra de agua tomada en la Quebrada Chinapintza, recoge el agua de la actividad minera desde la zona de la Herradura.
53	ChAS07	762564	9553075	30/7/2019	X	Muestra de agua tomada aguas abajo del Río Congüime, después de la confluencia de la Quebrada Chinapintza con el Río Congüime. Refleja la actividad de toda la explotación minera de Chinapintza.
54	ChAS08	763607	9553058	1/8/2019	X	Muestra tomada en el afluente de la Quebrada Chinapintza de la zona alterada por la actividad antrópica minera.
55	Ch*AS09	766811	9552835,6	31/8/2019	X	Muestra de agua de consumo humano tomada en Puerto Minero.
56	ChAS10	762018,784	9552510,18	1/8/2019	X	Muestra de agua tomada en el río Nangaritz.
57	CgAS05	763366,1	9552513,8	1/8/2019	X	Muestra de agua tomada en el río Congüime

58 Cg\*AS06 762256 9553070,2 30/7/2019 X Muestra de agua de consumo humano tomada en el campamento de la explotación aluvial de Congüime.

---

Br: Distrito minero Bella Rica, Sg: Distrito minero San Gerardo, Nb: Distrito minero Nambija, Ch: Distrito minero Chinapintza, Cg: Congüime

A: agua superficial, \*A: agua de consumo humano, H: época lluviosa, S: época seca, B: Utah y EPN (2012), C: Utah y EPN (2014), D: Proyecto PIMI 16-05 (2019).

## ANEXO C

### C1: Universidad de Utah y EPN (2012)

N°	ID	OD (mg/L)	OD %	T °C	CE (μS/cm)	pH	ORP (mV)	Alcalinidad (mg/L)	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Mn <sup>2+</sup>	F <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
1	12SgAS	9,5	118,1	26,3	117,7	7,92	161,9	44	3,44	0,8	9,31	0,91	5,977	0,17	0,076	2,55

Sg: Distrito minero San Gerardo  
A: agua superficial, S: época seca,  
Concentración de iones en mg/L

### C2: Universidad Utah y EPN (2014)

N°	ID	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Mn <sup>2+</sup>
1	14aSgAS	11,6	1,06	27,05	11,94	0,35
2	14bSgAS	4,17	0,8	10,37	3,24	0,01
3	14cSgAS	4,85	0,87	13,65	5,29	0,17

Sg: Distrito minero San Gerardo  
A: agua superficial, S: época seca  
Concentración de iones en mg/L

### C3: Proyecto PIMI 16-05 (2019)

ID	OD	OD	T	CE	pH	Turbidez (NTU)	STD (mg/L)	Alcalinidad	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Mn <sup>2+</sup>	F <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>
	(mg/L)	%	°C	(μS/cm)				(mg/L)										
BrAH00	9,1	109	22	40,2	7,05	-	-	34	0,75	0,2	1,65	0,45	0,38	1,55	0,0007	0,004	0,341	0,254
BrAH01	9,3	109	22,2	51,7	7,22	6	78	46	2,31	0,5	5,24	1,75	0,527	2,017	0,0044	0,004	0,56	0,254
BrAH02c	8,3	93	25,7	122,4	7,16	63	194	58	5,53	0,7	10,25	3,2	2,299	15,268	0,016	0,01	1,764	< 0,240
BrAH02d	8,3	103	25,7	101,7	6,94	-	-	60,8	5,48	0,7	9,04	3,02	2,318	10,156	0,0131	0,014	1,527	< 0,240
BrAH03	7,9	103	24	145,3	7,2	3	224	40	3,46	1,5	10,19	4,07	0,83	43,924	0,0395	0,004	3,486	< 0,240
BrAH04	8,3	102	24,8	440,04	6,37	726	650	4	7,92	0,4	41,79	18,63	1,84	202,976	1,1987	0,035	11,692	< 0,240
Br*AH07	5,8	70	19,8	18,2	6,92	6	74	15,6	1,36	0,4	1,68	0,56	0,262	0,615	0,0016	0,001	< 0,040	< 0,240
BrAS00	4	46	20	58,4	7,41	24	160	31	3,6	0,4	7,48	2,58	0,584	2,77	0,0006	0,001	0,825	0,247
BrAS01	3,9	44	20,6	68,8	7,64	3	112	27	3,45	0,4	6,52	1,88	0,475	2,861	0,0003	0,001	0,843	0,247
BrAS02c	6	68	20,7	80,8	7,45	-	198	44	4,38	0,5	10,39	3,05	0,797	5,671	0,0084	0,007	0,879	0,247
BrAS02d	6,3	71	21,1	80	7,44	18	142	33,6	4,07	0,4	8,55	2,89	0,811	5,608	0,0065	0,01	1,153	0,254
BrAS03	3,7	43	23	562	7,59	39	742	27	-	-	-	-	4,441	222,832	-	0,001	34,759	0,894
BrAS04	6,7	77	22	531	7,28	2001	1562	11	12,37	1,4	49,03	19,76	2,527	261,454	0,8048	0,014	36,346	0,423
Br*AS07	-	-	-	-	-	24	152	19,4	2,33	0,3	3,64	1,05	0,683	0,608	0,0009	0,014	0,05	0,254
BrAS13	4,9	56	21,9	583	7,7	90	1134	43	29,97	2,3	64,32	15,59	3,948	233,739	0,4214	0,001	37,741	1,129
SgAH01	7,8	100	19,2	77,7	7,29	24	116	81,2	4,18	0,5	9,08	2,83	0,555	1,04	0,0042	0,01	0,095	< 0,240
SgAH03	8,3	100	23,8	161,9	7,82	6	362	108	3,92	0,4	16,27	7,63	1,1	16,16	0,0384	0,02	5,246	< 0,240
SgAH05	7,3	92	26,2	186,7	7,64	120	278	116	4,7	0,6	17,67	8,16	1,66	19,222	0,398	0,007	3,669	< 0,240
Sg*AH09	6,4	82	21,7	156,1	7,85	24	154	160	3,02	-	18,46	7,35	0,546	4,367	0,0014	0,056	1,28	< 0,240
SgAH10	8	96	23,7	82,8	6,8	159	172	52,8	3,01	0,6	7,8	2,67	0,579	3,042	0,0085	0,01	0,305	< 0,240
SgAS01	7,6	96	18,5	92,2	7,55	-	224	55,2	5,27	0,3	11,64	3,65	0,451	1,131	0,002	0,01	0,059	< 0,240
SgAS03	6	73	24	287,5	9,02	24	288	82	11,29	0,6	29,24	12,75	1,423	48,597	0,0167	0,099	18,102	0,269
SgAS05	7,7	95	25,8	261	8,73	138	374	92	10,26	1	25,09	11,41	2,768	38,017	0,0093	0,01	9,896	< 0,240
Sg*AS09	5,7	76	23,7	181,4	7,82	84	252	72	5,22	0,2	21,23	7,26	1,067	7,722	0,0021	0,004	6,523	0,247
SgAS10	6	69	21,9	89,7	7,65	18	146	42	4,07	0,6	10,24	3,11	-	-	0,0003	-	< 0,040	< 0,240
NbAH00	6,6	83	14,1	19,2	6,48	33	294	24,4	1,07	0,5	0,89	0,41	0,622	0,364	0,0038	0,014	< 0,040	< 0,240
NbAH01	8,1	99	18	28,9	7,36	39	52	26	1,69	0,5	2,43	0,66	2,645	1,347	0,0349	0,014	< 0,040	< 0,240
NbAH02	7,8	99	19,6	213	7,93	876	774	84,4	2,88	0,9	22,22	4,05	2,024	88,956	0,1819	0,084	1,59	< 0,240
NbAH03	8,4	100	19,1	59,6	7,23	705	388	41,6	0,47	-	1,02	0,29	3,304	6,961	0,0183	0,017	0,113	< 0,240
NbAS00	8,3	103	13,4	18,5	6,9	21	108	11,8	2,09	0,9	1,63	0,65	0,219	0,559	0,0047	0,001	< 0,040	< 0,240



NbAS01	7,8	96	18,5	30,5	7,45	-	-	14	2,28	0,5	3,08	0,81	0,233	2,944	0,0218	0,004	< 0,040	< 0,240
NbAS02	8,1	104	20,5	257	8,16	9003	5312	42	5,88	1,6	34,72	7,3	3,214	87,38	0,3018	0,072	1,563	< 0,240
NbAS03	9,6	115	18,6	45,9	6,63	285	804	18	2,59	0,7	5,45	1,41	-	-	0,0613	-	< 0,040	< 0,240
Nb*AS07	7,5	99	18,1	77,6	7,34	18	134	12	1,92	1,1	12,25	1,76	0,674	7,199	0,0231	0,014	0,742	0,269
ChAH00	5,9	77	17,7	15,2	6,5	33	110	11,2	0,87	0,2	2,25	0,18	0,404	0,845	0,0025	0,056	< 0,040	< 0,240
ChAH01a	7,7	100	24,2	101,4	6,9	834	526	25,60	0,86	0,4	3,95	1,04	0,285	13,573	2,2195	0,035	< 0,040	< 0,240
ChAH01b	7,6	100	24,3	104	7	561	886	30,80	0,99	0,5	4,31	1,19	0,446	15,721	1,5438	0,032	< 0,040	< 0,240
Ch*AH03	5	68	22,8	17,8	6,4	414	690	11,20	0,91	0,4	4,66	0,49	-	-	1,4176	-	< 0,040	< 0,240
ChAH04	5,2	66	20,6	61,8	6,9	3	8	14,00	0,29	0,2	0,5	0,09	0,219	0,343	0,0015	0,007	< 0,040	< 0,240
ChAH06	7,9	100	21,9	57,3	7	120	54	28,00	0,54	0,2	1,58	0,31	0,247	5,385	0,3912	0,017	0,296	0,262
ChAH07	7,7	100	23,6	84,8	7	414	262	30,00	2,04	0,9	7,13	1,79	0,432	11,934	2,1124	0,02	0,259	0,254
ChAH08	-	89	23,1	153,7	6,2	39	290	124,40	2,22	0,7	5,19	1,89	0,527	2,331	2,7352	0,069	< 0,040	< 0,240
CgAH00	7,1	-	21,5	49,2	6,3	12	78	58,4	-	-			0,712	1,18		0,056	0,059	< 0,240
ChAS00	7,8	97	15,6	12,6	6,83	-	58	40	1,11	-	1,76	0,2	0,205	1,278	0,0018	-	< 0,040	< 0,240
ChAS01c	7,4	99	19,8	452,5	3,36	1131	1432	-	6,91	6,9	18,25	3,04	2,688	221,465	26,5817	0,671	2,548	< 0,240
Ch*AS03	5,1	74	26,3	18,1	5,86	12	44	35	1,05	0,2	1,97	0,34	0,233	0,768	0,0025	-	0,259	0,247
ChAS04	7,3	89	18,8	72,7	5,87	204	292	50	1,46	0,6	7,85	0,8	0,285	21,788	2,7182	0,001	1,691	0,276
ChAS06	7,9	96	20	77,7	6,58	42	324	75	2,35	0,6	6,5	1,17	0,276	13,643	1,9367	0,004	0,588	0,276
ChAS07	7,3	91	21,6	120,9	6,56	42	88	70	3,3	1,2	8,23	2,32	-	-	1,3993	-	< 0,040	< 0,240
ChAS08	7,5	94	21,5	59,7	6,88	-	-	175	4,24	0,8	6,73	2,59	0,285	0,601	0,0544	0,017	0,141	0,247
Ch*AS09	5,1	74	26,3	18,1	5,86	6	56	35	1,5	0,4	2,61	0,61	0,224	0,51	0,001	-	0,442	0,269
ChAS10	7	91	23,4	92,2	7,58	141	214	97	2,37	0,6	6,8	1,22	0,65	8,307	0,9689	0,02	0,214	< 0,240
CgAS05	6,1	78	22,3	139,8	6,3	162	442	77	2,25	1	10,82	2,7	0,271	36,197	4,4543	0,02	0,195	0,262
Cg*AS06	7,8	100	22,4	57,7	6,76	21	110	245	6,56	0,8	8,05	3,46	0,285	1,389	0,0009	0,017	< 0,040	< 0,240

Br: Distrito minero Bella Rica; Sg: Distrito minero San Gerardo; Nb: Distrito minero Nambija; Ch: Distrito minero Chinapintza; Cg: Congüime

A: agua superficial, \*A: agua de consumo humano, H: época lluviosa, S: época seca

Concentración de iones en mg/L

## ANEXO D1: Sólidos totales disueltos y conductividad eléctrica

ID	STD	Error admisible (0,55-0,75)*CE	Acceptable †
BrAH01	78	28,44 - 38,78	
BrAH02c	194	67,32-91,80	
BrAH03	224	79,92-108,98	
BrAH04	650	242,02-330,03	
Br*AH07	74	10,01-13,65	
BrAS00	160	32,12-43,80	
BrAS01	112	37,84-51,60	
BrAS02c	198	44,44-60,60	
BrAS02d	142	44-60	
BrAS03	742	309,1-421,50	
BrAS04	1562	292,052-398,25	
BrAS13	1134	320,65-437,25	
SgAH01	116	42,735-58,28	
SgAH03	362	89,05-121,43	
SgAH05	278	102,69-140,03	
Sg*AH09	154	85,86-117,08	
SgAH10	172	45,54-62,10	
SgAS01	224	50,71-69,15	
SgAS03	288	158,13-215,63	
SgAS05	374	143,55-195,75	
Sg*AS09	252	99,77-136,05	
SgAS10	146	49,34-67,28	
NbAH00	294	10,56-14,40	
NbAH01	52	15,90-21,68	
NbAH02	774	117,15-159,75	
NbAH03	388	32,70- 44,70	
NbAS00	108	10,18-13,88	
NbAS02	5312	141,35-192,75	
NbAS03	804	25,25-34,43	
Nb*AS07	134	42,68-58,20	
ChAH00	110	8,36-11,40	
ChAH01a	526	55,77-76,05	
ChAH01b	886	57,2-78	
Ch*AH03	690	9,79-13,35	
ChAH04	8	33,99-43,35	
ChAH06	54	31,52-42,98	
ChAH07	262	46,64-63,6	
ChAH08	290	84,54-115,28	
CgAH00	78	27,06-36,90	
ChAS00	58	6,93-9,45	

ChAS01c	1432	248,88 - 339,38	
Ch*AS03	44	9,96 - 13,58	
ChAS04	292	39,99 - 54,53	
ChAS06	324	42,74 - 58,28	
ChAS07	88	66,50 - 90,68	<b>X</b>
Ch*AS09	56	9,96 - 13,58	
ChAS10	214	50,71 - 69,15	
CgAS05	442	76,89 - 104,85	
Cg*AS06	110	31,74 - 43,28	

Se considera Aceptable si se encuentra entre los rangos del error admisible establecido en relación con CE.

Br: Distrito minero Bella Rica; Sg: Distrito minero San Gerardo; Nb: Distrito minero Nambija;  
Ch: Distrito minero Chinapintza; Cg: Congüime

A: agua superficial, \*A: agua de consumo humano, H: época lluviosa, S: época seca.

## ANEXO E

### E1: Universidad de Utah y EPN (2014)

Parámetros	Unidades	Mín.	Máx.	Media	Mediana	Desv.Std
Na <sup>+</sup>	mg/L	4,17	11,16	6,73	4,85	3,85
K <sup>+</sup>	mg/L	0,8	1,06	0,910	0,870	0,135
Ca <sup>2+</sup>	mg/L	10,37	27,05	17,02	13,65	8,84
Mg <sup>2+</sup>	mg/L	3,236	11,943	6,82	5,29	4,55
Mn <sup>2+</sup>	mg/L	0,007	0,352	0,175	0,167	0,173

Valores extremos (Mínimo=Mín., Máximo= Máx.), medidas de tendencia central (media, mediana) y variabilidad (desviación estándar= Desv. Std). Para época seca de los datos disponibles para el 2014 en la MCSG.

## E2: Proyecto PIMI 16-05 (2019)

Parámetros	Unidades	Estadística descriptiva época lluviosa					Estadística descriptiva época seca				
		Mín.	Máx.	Mediana	Mediana	Desv.Std	Mín.	Máx.	Media	Median	Desv.Std
OD	mg/L	7,3	8,3	7,87	8	0,513	6	7,7	6,57	6	0,98
T	°C	23,7	26,2	24,57	23,8	1,415	21,9	25,8	23,9	24	1,952
CE	µS/cm	82,8	186,7	143,8	161,9	54,263	89,7	287,5	212,73	261	107,37
pH	-	6,8	7,82	7,42	7,64	0,544	7,65	9,02	8,47	8,73	0,72
Turbidez	NTU	6	159	95	120	79,505	146	374	269,33	288	115,14
STD	mg/L	172	362	270,67	278	95,212	172	362	270,67	278	95,21
Alcalinidad	mg/L	52,8	116	92,27	108	34,412	42	92	72	82	26,46
Na <sup>+</sup>	mg/L	3,01	4,7	3,88	3,92	0,846	4,07	11,29	8,54	10,26	3,91
K <sup>+</sup>	mg/L	0,4	0,6	0,53	0,6	0,115	0,6	1	0,73	0,6	0,23
Ca <sup>2+</sup>	mg/L	7,8	17,67	13,91	16,27	5,340	10,24	29,24	21,523	25,09	9,99
Mg <sup>2+</sup>	mg/L	2,67	8,16	6,15	7,63	3,028	3,11	12,75	9,09	11,41	5,22
Cl <sup>-</sup>	mg/L	0,579	1,66	1,113	1,1	0,541	1,42	2,77	2,10	2,10	0,95
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	mg/L	3,042	19,222	12,808	16,16	8,595	38,02	48,60	43,31	43,31	7,48
Mn <sup>2+</sup>	mg/L	0,0085	0,398	0,148	0,0384	0,217	0,00	0,02	0,01	0,01	0,008
F <sup>-</sup>	mg/L	0,007	0,02	0,01	0,01	0,007	0,01	0,10	0,05	0,05	0,063
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/L	0,305	5,246	3,07	3,669	2,524	9,90	18,10	14,00	14,00	5,803

Valores extremos (Mínimo=Mín., Máximo= Máx.), medidas de tendencia central (media, mediana) y variabilidad (desviación estándar= Desv. Std). De los datos disponibles para el 2019 en la MCSG.

### E3: Proyecto PIMI 16-05 (2019)

Parámetros	Unidades	Estadística descriptiva época lluviosa					Estadística descriptiva época seca				
		Mín.	Máx.	Media	Mediana	Desv. Std	Mín.	Máx.	Media	Mediana	Desv. Std
OD	mg/L	7,9	9,3	8,42	8,3	0,522	3,7	6,7	5,25	5,45	1,27
T	°C	22,2	25,7	24,48	24,8	1,458	20,6	23	21,55	21,5	0,92
CE	µS/cm	51,7	440,04	172,228	122,4	153,649	68,8	583	317,6	305,9	264,63
pH	-	6,37	7,22	6,978	7,16	0,358	7,28	7,7	7,52	7,52	0,16
Turbidez	NTU	0	726	159,6	6	317,698	3	2001	430,2	39	878,72
STD	mg/L	78	650	286,5	209	250,378	112	1562	648,33	470	604,36
Alcalinidad	mg/L	4	60,8	41,76	46	22,766	11	44	30,93	30,3	12,26
Na <sup>+</sup>	mg/L	2,31	7,92	4,94	5,48	2,158	3,45	29,97	10,85	4,38	11,30
K <sup>+</sup>	mg/L	0,4	1,5	0,76	0,7	0,434	0,4	2,3	1	0,5	0,84
Ca <sup>2+</sup>	mg/L	5,24	41,79	15,302	10,19	14,948	6,52	64,32	27,762	10,39	26,98
Mg <sup>2+</sup>	mg/L	1,75	18,63	6,134	3,2	7,034	1,88	19,76	8,634	3,05	8,40
Cl <sup>-</sup>	mg/L	0,527	2,318	1,5628	1,84	0,837	0,475	4,441	2,167	1,67	1,74
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	mg/L	2,017	202,976	54,8682	15,268	84,286	2,861	261,45	122,03	114,25	129,13
Mn <sup>2+</sup>	mg/L	0,0044	1,1987	0,25434	0,016	0,528	0,0003	0,8048	0,25	0,0084	0,36
F <sup>-</sup>	mg/L	0,004	0,035	0,0134	0,01	0,013	0,001	0,014	0,006	0,004	0,01
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/L	0,56	11,692	3,8058	1,764	4,533	0,843	37,741	15,075	1,15	19,36
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	mg/L	-	-	-	-	-	0,247	1,129	0,532	0,3385	0,38

Valores extremos (Mínimo=Mín., Máximo= Máx.), medidas de tendencia central (media, mediana) y variabilidad (desviación estándar= Desv. Std). De los datos disponibles para el 2019 en la MCBR.

#### E4: Proyecto PIMI 16-05 (2019)

Parámetros	Unidades	Estadística descriptiva época lluviosa					Estadística descriptiva época seca				
		Mín.	Máx.	Media	Mediana	Desv. Std	Mín.	Máx.	Media	Mediana	Desv. Std
OD	mg/L	7,8	8,4	8,1	8,1	0,30	7,8	9,6	8,325	8,1	0,96
T	°C	18	19,6	18,9	19,1	0,82	18,5	20,5	19,025	18,6	1,13
CE	µS/cm	28,9	213	100,5	59,6	98,63	30,5	257	90,975	45,9	126,56
pH	-	7,23	7,93	7,51	7,36	0,37	6,63	8,16	7,2175	7,45	0,77
Turbidez	NTU	39	876	540	705	442,22	285	9003	3191	4644	6164,56
STD	mg/L	52	774	404,67	388	361,29	804	5312	2306,67	3058	3187,64
Alcalinidad	mg/L	26	84,4	50,67	41,6	30,24	14	42	22	18	15,14
Na <sup>+</sup>	mg/L	0,47	2,88	1,680	1,69	1,21	2,28	5,88	3,2575	2,59	2,00
K <sup>+</sup>	mg/L	0,5	0,9	0,700	0,7	0,28	0,5	1,6	0,825	0,7	0,59
Ca <sup>2+</sup>	mg/L	1,02	22,22	8,56	2,43	11,85	3,08	34,72	11,5825	5,45	17,62
Mg <sup>2+</sup>	mg/L	0,29	4,05	1,67	0,66	2,07	0,81	7,3	2,5825	1,41	3,59
Cl <sup>-</sup>	mg/L	2,02	3,30	2,66	2,65	0,64	0,233	3,214	1,23	1,7235	2,11
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	mg/L	1,35	88,96	32,42	6,96	49,04	2,944	87,38	31,09	45,162	59,71
Mn <sup>2+</sup>	mg/L	0,02	0,18	0,08	0,03	0,09	0,0218	0,3018	0,10	0,0613	0,15
F <sup>-</sup>	mg/L	0,01	0,08	0,04	0,02	0,04	0,004	0,072	0,027	0,038	0,048
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/L	0,113	1,59	0,85	0,85	1,04	-	-	-	-	-

Valores extremos (Mínimo=Mín., Máximo= Máx.), medidas de tendencia central (media, mediana) y variabilidad (desviación estándar= Desv. Std). De los datos disponibles para el 2019 en la MCNB.

## E5: Proyecto PIMI 16-05 (2019)

Parámetros	Unidades	Estadística descriptiva época lluviosa					Estadística descriptiva época seca				
		Mín.	Máx.	Media	Mediana	Desv.Std	Mín.	Máx.	Media	Mediana	Desv.Std
OD	mg/L	5,2	7,9	7,20	7,65	1,02	7	7,9	7,40	7,35	0,30
T	°C	20,6	24,3	22,74	23,1	1,43	18,8	23,4	20,85	20,75	1,64
CE	µS/cm	49,2	153,7	87,46	84,8	36,27	59,7	452,5	145,95	84,95	151,63
pH		6,2	7	6,75714286	6,9	0,35	3,36	7,58	6,14	6,57	1,47
Turbidez	NTU	3	834	336,86	414	309,12	42	1131	312,00	141	463,00
STD	mg/L	8	886	300,571429	262	313,87	88	1432	470,00	292	545,41
Alcalinidad	mg/L	14	124,4	44,46	30	37,72	50	175	93,40	75	48,58
Na <sup>+</sup>	mg/L	0,29	2,22	1,157	0,925	0,79	1,46	6,91	3,44	2,835	1,95
K <sup>+</sup>	mg/L	0,2	0,9	0,483	0,450	0,28	0,6	6,9	1,78	0,7	2,52
Ca <sup>2+</sup>	mg/L	0,5	7,13	3,777	4,13	2,41	6,5	18,25	9,06	7,325	4,55
Mg <sup>2+</sup>	mg/L	0,09	1,89	1,05	1,12	0,74	0,8	3,04	1,86	1,77	0,91
Cl <sup>-</sup>	mg/L	0,22	0,712	0,41	0,43	0,18	0,276	2,688	0,84	0,285	1,05
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	mg/L	0,34	15,721	7,21	5,39	6,40	0,601	221,465	53,16	13,643	94,40
Mn <sup>2+</sup>	mg/L	0,00	2,7352	1,50	1,83	1,09	0,0544	26,5817	5,61	1,668	10,31
F <sup>-</sup>	mg/L	0,01	0,069	0,03	0,03	0,02	0,001	0,671	0,14	0,017	0,30
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/L	0,059	0,296	0,205	0,259	0,128	0,141	2,548	1,04	0,588	1,05
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	mg/L	0,254	0,262	0,258	0,258	0,006	0,247	0,276	0,27	0,276	0,02

Valores extremos (Mínimo=Mín., Máximo=Máx.), medidas de tendencia central (media, mediana) y variabilidad (desviación estándar= Desv. Std). De los datos disponibles para el 2019 en la MCCH.



## ANEXO F

N°	ID	Σ Cationes (meq/L)	Σ Aniones (meq/L)	BI%
1	BrAH00	0,16	0,39	-42,95
2	BrAH01	0,52	0,53	-1,17
3	BrAH02c	1,03	0,99	2,10
4	BrAH02d	0,96	0,91	2,52
5	BrAH03	1,03	1,39	-14,90
6	BrAH04	3,97	4,51	-6,29
7	Br*AH07	0,20	0,18	6,19
8	BrAS00	0,75	0,40	30,29
9	BrAS01	0,64	0,36	27,81
10	BrAS02c	0,97	0,60	23,72
11	BrAS02d	0,85	0,50	26,07
12	BrAS04	4,65	6,22	-14,48
13	Br*AS07	0,38	0,23	23,80
14	BrAS13	5,86	6,04	-1,56
15	SgAH01	0,88	0,85	1,76
16	SgAH03	1,62	1,53	2,84
17	SgAH05	1,77	1,67	3,14
18	Sg*AH09	1,66	1,73	-2,02
19	SgAH10	0,76	0,61	10,47
20	SgAS01	1,12	0,59	31,02
21	SgAS03	3,01	2,17	16,32
22	SgAS05	2,66	1,95	15,49
23	Sg*AS09	1,89	1,02	30,08
24	NbAH00	0,14	0,27	-32,34
25	NbAH01	0,26	0,36	-16,11
26	NbAH02	1,59	2,78	-27,19
27	NbAH03	0,10	0,66	-74,64
28	NbAS00	0,25	0,14	29,40
29	NbAS01	0,33	0,21	23,07
30	NbAS02	2,63	2,35	5,52
31	Nb*AS07	0,87	0,31	47,78
32	ChAH00	0,17	0,14	9,38
33	ChAH01a	0,33	0,55	-24,64
34	ChAH01b	0,37	0,65	-27,43
35	Ch*AH03	0,32	0,11	48,50
36	ChAH04	0,05	0,15	-50,72
37	ChAH06	0,13	0,41	-50,96
38	ChAH07	0,61	0,57	3,78
39	ChAH08	0,53	1,31	-42,35
40	CgAH00	0,00	0,63	-100,00
41	ChAS00	0,15	0,43	-47,80
42	ChAS01c	1,64	4,73	-48,54
43	Ch*AS03	0,18	0,38	-36,63
44	ChAS04	0,54	0,99	-29,92
45	ChAS06	0,54	1,06	-32,51
46	ChAS07	0,78	0,70	5,18

47	ChAS08	0,75	1,78	-40,42
48	Ch*AS09	0,26	0,38	-19,46
49	ChAS10	0,56	1,16	-35,17
50	Cg*AS06	0,99	1,16	-7,96
52	CgAS05	0,89	2,48	-47,45

Br: Distrito minero Bella Rica; Sg: Distrito minero San Gerardo; Nb: Distrito minero Nambija; Ch: Distrito minero Chinapintza; Cg: Congüime

A: agua superficial, \*A: agua de consumo humano, H: época lluviosa, S: época seca.

## ANEXO F1: error analítico

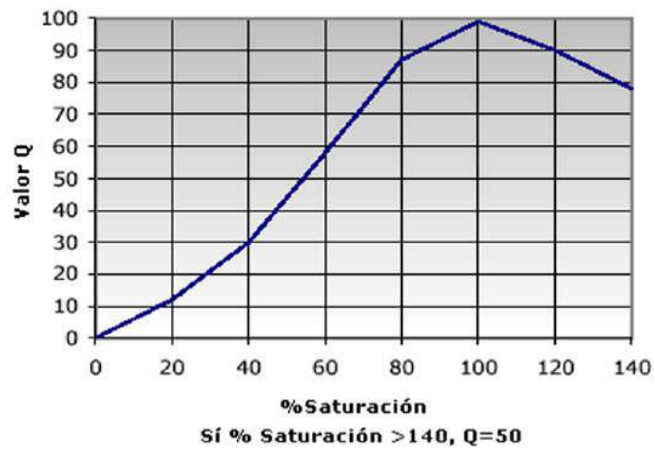
N°	ID	BI< %10	BI> %10	BI acceptable
1	BrAH00		-42,95	
2	BrAH01	-1,17		X
3	BrAH02c	2,10		X
4	BrAH02d	2,52		X
5	BrAH03		-14,90	
6	BrAH04	-6,29		X
7	BrAH07	6,19		X
8	BrAS00		30,29	
9	BrAS01		27,81	
10	BrAS02c		23,72	
11	BrAS02d		26,07	
12	BrAS04		-14,48	
13	BrAS07		23,80	
14	BrAS13	-1,56		X
15	SgAH01	1,76		X
16	SgAH03	2,84		X
17	SgAH05	3,14		X
18	SgAH09	-2,02		X
19	SgAH10		10,47	
20	SgAS01		31,02	
21	SgAS03		16,32	
22	SgAS05		15,49	
23	SgAS09		30,08	
24	SgAS10		39,14	
25	NbAH00		-32,34	
26	NbAH01		-16,11	
27	NbAH02		-27,19	
28	NbAH03		-74,64	
29	NbAS00		29,40	
30	NbAS01		23,07	
31	NbAS02	5,52		X
32	NbAS03		48,50	
33	NbAS07		47,78	
34	ChAH00	9,38		X
35	ChAH01a		-24,64	
36	ChAH01b		-27,43	
37	ChAH03		48,50	
38	ChAH04		-50,72	
39	ChAH06		-50,96	
40	ChAH07	3,78		X
41	ChAH08		-42,35	
42	ChAS00		-47,80	
43	ChAS01c		-48,54	
44	ChAS03		-36,63	

45	ChAS04		-29,92	
46	ChAS06		-32,51	
47	ChAS07	5,18		<b>X</b>
48	ChAS08		-40,42	
49	ChAS09		-19,46	
50	ChAS10		-35,17	
51	Cg*AS06	-7,96		<b>X</b>
52	CgAS05		-47,45	

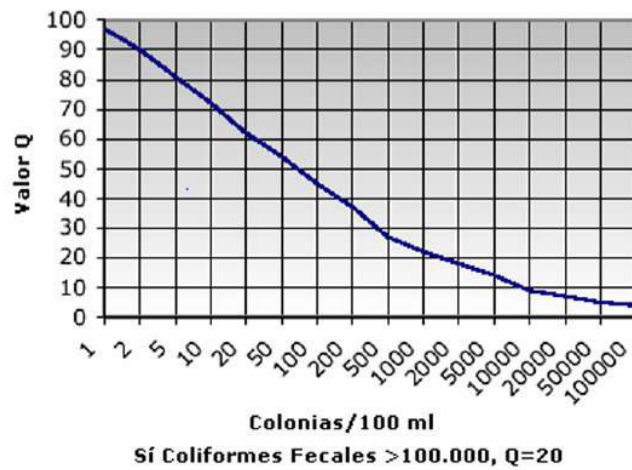
---

## ANEXO G

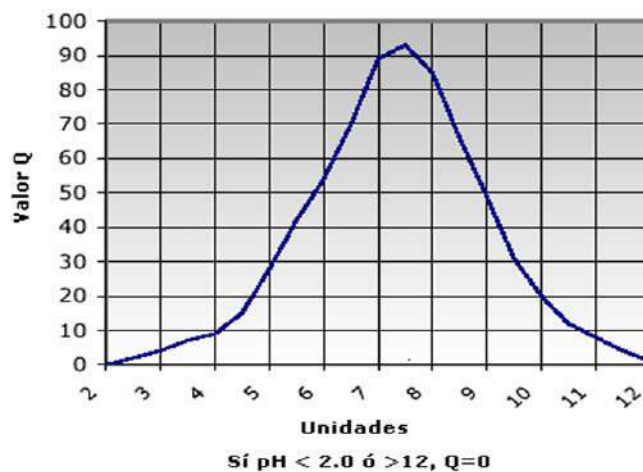
### G1: gráfico Oxígeno Disuelto



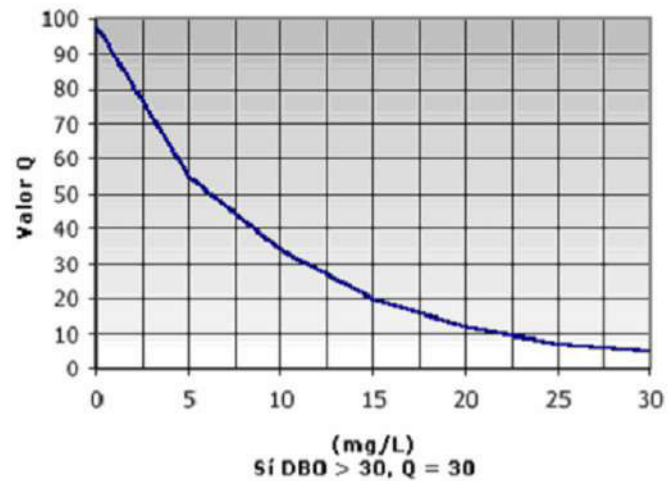
### G2: gráfico Coliformes Fecales



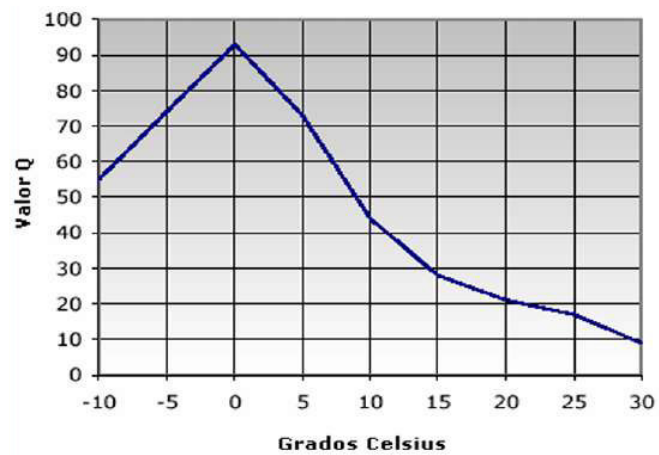
### G3: gráfico pH



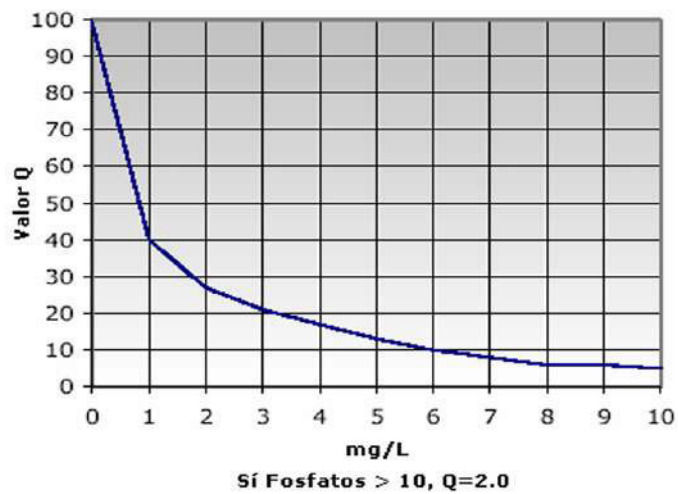
#### G4: gráfico Demanda Bioquímica de Oxígeno



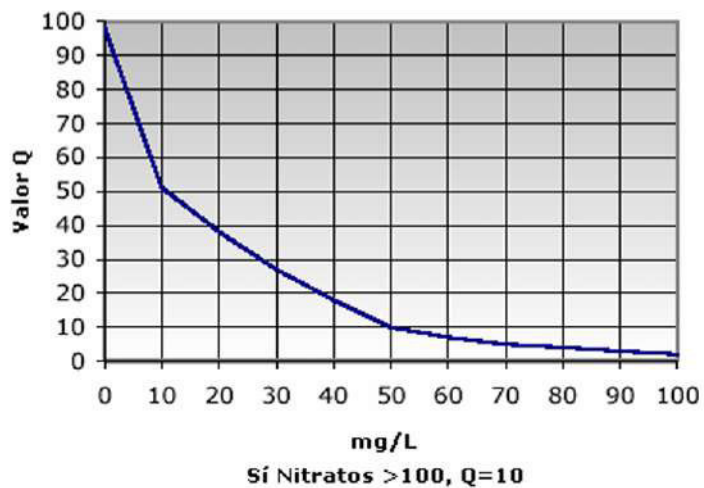
#### G5: gráfico Temperatura



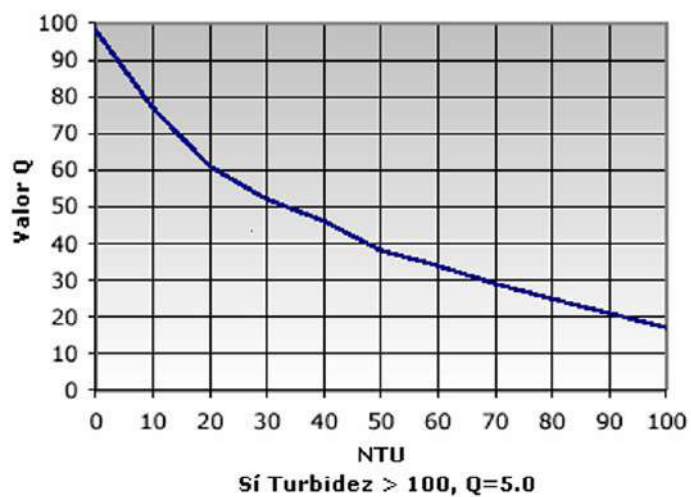
#### G6: gráfico Total Fosfato



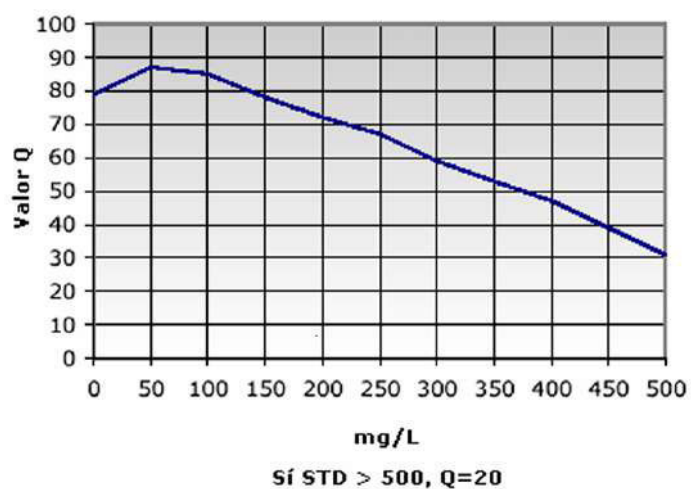
### G7: gráfico Nitrato



### G8: gráfico Turbidez



### G9: gráfico Sólidos Totales Disueltos



## ANEXO H

Época Lluviosa		Época Seca	
ID	WQI	ID	WQI
		12SgAS	75
BrAH00	79	BrAS00	61
BrAH01	80	BrAS01	65
BrAH02c	71	BrAS02c	71
BrAH02d	78	BrAS02d	71
BrAH03	78	BrAS03	39
BrAH04	50	BrAS04	47
BrAH07	65	BrAS13	41
SgAH01	78	SgAS01	79
SgAH03	72	SgAS03	53
SgAH05	72	SgAS05	58
SgAH09	74	SgAS09	60
SgAH10	65	SgAS10	65
NbAH00	62	NbAS00	70
NbAH01	73	NbAS01	78
NbAH02	64	NbAS02	63
NbAH03	67	NbAS03	50
		NbAS07	78
ChAH00	71	ChAS00	71
ChAH01a	50	ChAS01c	41
ChAH01b	57	ChAS03	63
ChAH03	41	ChAS04	57
ChAH04	62	ChAS06	67
ChAH06	71	ChAS07	64
ChAH07	68	ChAS08	78
ChAH08	66	ChAS09	64
CgAH00	64	ChAS10	68
		CgAS05	56
		CgAS06	67

Br: Distrito minero Bella Rica, Sg: Distrito minero San Gerardo, Nb: Distrito minero Nambija, Ch: Distrito minero Chinapintza, Cg: Congüime  
 12: año 2012, agua superficial, \*A: agua de consumo humano, H: época lluviosa, S: época seca.

	No contaminada		Contaminada
	Aceptable		Muy contaminada
	Poco contaminada		



## ANEXO I

### I1: Universidad de Utah y EPN (2012)

N°	ID	OD (mg/L)	pH	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Mn <sup>2+</sup>	F <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
1	12SgAS	9,5	7,92	3,44	0,8	<b>9,31</b>	0,91	5,977	<b>0,17</b>	0,076	2,55

Sg: Distrito minero San Gerardo

A: agua, S: época seca

**X**: parámetros que están sobre la norma TULAS (2005) y la OMS (2018)

Concentración de iones en mg/L

### I2: Universidad de Utah y EPN (2014)

N°	ID	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Mn <sup>2+</sup>
1	14aSgAS	11,6	1,06	<b>27,05</b>	11,94	<b>0,35</b>
2	14bSgAS	4,17	0,8	<b>10,37</b>	<b>3,24</b>	0,01
3	14cSgAS	4,85	0,87	<b>13,65</b>	<b>5,29</b>	<b>0,17</b>

Sg: Distrito minero San Gerardo

A: agua, S: época seca

**X**: parámetros que están sobre la norma TULAS (2005) y la OMS (2018)

Concentración de iones en mg/L

### I3: Proyecto PIMI 16-05 (2019)

N°	ID	OD (mg/L)	pH	STD (mg/L)	Turbidez (NTU)	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Mn <sup>2+</sup>	F <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>
1	BrAH00	9,1	7,05	-	-	0,75	0,2	<b>1,65</b>	<b>0,45</b>	0,38	1,55	0,0007	0,004	0,341	0,254
2	BrAH01	9,3	7,22	78	6	2,31	0,5	<b>5,24</b>	<b>1,75</b>	0,527	2,017	0,0044	0,004	0,56	0,254
3	BrAH02c	8,3	7,16	194	<b>63</b>	5,53	0,7	<b>10,25</b>	<b>3,2</b>	2,299	15,268	0,016	0,01	1,764	<0,240
4	BrAH02d	8,3	6,94	-	-	5,48	0,7	<b>9,04</b>	<b>3,02</b>	2,318	10,156	0,0131	0,014	1,527	<0,240
5	BrAH03	7,9	7,2	224	3	3,46	1,5	<b>10,19</b>	<b>4,07</b>	0,83	43,924	0,0395	0,004	3,486	<0,240
6	BrAH04	8,3	6,37	<b>650</b>	<b>726</b>	7,92	0,4	<b>41,79</b>	18,63	1,84	202,976	<b>1,1987</b>	0,035	<b>11,692</b>	<0,240
7	Br*AH07	<b>5,8</b>	6,92	74	6	1,36	0,4	<b>1,68</b>	<b>0,56</b>	0,262	0,615	0,0016	0,001	<0,040	<0,240
1	BrAS00	<b>4</b>	7,41	160	<b>24</b>	3,6	0,4	<b>7,48</b>	<b>2,58</b>	0,584	2,77	0,0006	0,001	0,825	0,247
2	BrAS01	<b>3,9</b>	7,64	112	3	3,45	0,4	<b>6,52</b>	<b>1,88</b>	0,475	2,861	0,0003	0,001	0,843	0,247
3	BrAS02c	6	7,45	198	-	4,38	0,5	<b>10,39</b>	<b>3,05</b>	0,797	5,671	0,0084	0,007	0,879	0,247
4	BrAS02d	6,3	7,44	142	<b>18</b>	4,07	0,4	<b>8,55</b>	<b>2,89</b>	0,811	5,608	0,0065	0,01	1,153	0,254
5	BrAS03	<b>3,7</b>	7,59	<b>742</b>	<b>39</b>	-	-	-	-	4,441	222,832	-	0,001	<b>34,759</b>	0,894
6	BrAS04	6,7	7,28	<b>1562</b>	<b>2001</b>	12,37	1,4	<b>49,03</b>	19,76	2,527	<b>261,454</b>	<b>0,8048</b>	0,014	<b>36,346</b>	0,423
7	Br*AS07	-	-	152	<b>24</b>	2,33	0,3	<b>3,64</b>	<b>1,05</b>	0,683	0,608	0,0009	0,014	0,05	0,254
8	BrAS13	<b>4,9</b>	7,7	<b>1134</b>	<b>90</b>	29,97	2,3	<b>64,32</b>	15,59	3,948	233,739	<b>0,4214</b>	0,001	<b>37,741</b>	<b>1,129</b>

Br: Distrito minero Bella Rica

A: agua superficial, \*A: agua de consumo humano, H: época lluviosa, S: época seca

**X**: parámetros que están sobre la norma TULAS (2005) y la OMS (2018)

Concentración de iones mg/L

#### I4: Proyecto PIMI 16-05 (2019)

N°	ID	OD (mg/L)	pH	STD (mg/L)	Turbidez (NTU)	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Mn <sup>2+</sup>	F <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>
1	SgAH01	7,8	7,29	116	<b>24</b>	4,18	0,5	<b>9,08</b>	<b>2,83</b>	0,555	1,04	0,0042	0,01	0,095	<0,240
2	SgAH03	8,3	7,82	362	6	3,92	0,4	<b>16,27</b>	<b>7,63</b>	1,1	16,16	0,0384	0,02	5,246	<0,240
3	SgAH05	7,3	7,64	278	<b>120</b>	4,7	0,6	<b>17,67</b>	<b>8,16</b>	1,66	19,222	<b>0,398</b>	0,007	3,669	<0,240
4	Sg*AH09	6,4	7,85	154	<b>24</b>	3,02	-	<b>18,46</b>	<b>7,35</b>	0,546	4,367	0,0014	0,056	1,28	<0,240
5	SgAH10	8	6,8	172	<b>159</b>	3,01	0,6	<b>7,8</b>	<b>2,67</b>	0,579	3,042	0,0085	0,01	0,305	<0,240
1	SgAS01	7,6	7,55	224	-	5,27	0,3	<b>11,64</b>	<b>3,65</b>	0,451	1,131	0,002	0,01	0,059	<0,240
2	SgAS03	6	<b>9,02</b>	288	<b>24</b>	11,29	0,6	<b>29,24</b>	12,75	1,423	48,597	0,0167	0,099	<b>18,102</b>	0,269
3	SgAS05	7,7	8,73	374	<b>138</b>	10,26	1	<b>25,09</b>	11,41	2,768	38,017	0,0093	0,01	9,896	<0,240
4	Sg*AS09	<b>5,7</b>	7,82	252	<b>84</b>	5,22	0,2	<b>21,23</b>	<b>7,26</b>	1,067	7,722	0,0021	0,004	6,523	<0,240
5	SgAS10	6	7,65	146	<b>18</b>	4,07	0,6	<b>10,24</b>	<b>3,11</b>	-	-	0,0003	-	<0,040	<0,240

Sg: Distrito minero San Gerardo

A: agua superficial, \*A: agua de consumo humano, H: época lluviosa, S: época seca

**X**: parámetros que están sobre la norma TULAS (2005) y la OMS (2018)

Concentración de iones mg/L

## I5: Proyecto PIMI 16-05 (2019)

N°	ID	OD (mg/L)	pH	STD (mg/L)	Turbidez (NTU)	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Mn <sup>2+</sup>	F <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>
1	NbAH00	6,6	6,48	294	<b>33</b>	1,07	0,5	<b>0,89</b>	<b>0,41</b>	0,622	0,364	0,0038	0,014	<0,040	<0,240
2	NbAH01	8,1	7,36	52	<b>39</b>	1,69	0,5	<b>2,43</b>	<b>0,66</b>	2,645	1,347	0,0349	0,014	<0,040	<0,240
3	NbAH02	7,8	7,93	<b>774</b>	<b>876</b>	2,88	0,9	<b>22,22</b>	<b>4,05</b>	2,024	88,956	<b>0,1819</b>	0,084	1,59	<0,240
4	NbAH03	8,4	7,23	388	<b>705</b>	0,47	-	<b>1,02</b>	<b>0,29</b>	3,304	6,961	0,0183	0,017	0,113	<0,240
1	NbAS00	8,3	6,9	108	<b>21</b>	2,09	0,9	<b>1,63</b>	<b>0,65</b>	0,219	0,559	0,0047	0,001	<0,040	<0,240
2	NbAS01	7,8	7,45	-	-	2,28	0,5	<b>3,08</b>	<b>0,81</b>	0,233	2,944	0,0218	0,004	<0,040	<0,240
3	NbAS02	8,1	8,16	<b>5312</b>	<b>9003</b>	5,88	1,6	<b>34,72</b>	<b>7,3</b>	3,214	87,38	<b>0,3018</b>	0,072	1,563	<0,240
4	NbAS03	9,6	6,63	<b>804</b>	<b>285</b>	2,59	0,7	<b>5,45</b>	<b>1,41</b>	-	-	0,0613	-	<0,040	<0,240
5	Nb*AS07	7,5	7,34	134	<b>18</b>	1,92	1,1	<b>12,25</b>	<b>1,76</b>	0,674	7,199	0,0231	0,014	0,742	0,269

Nb: Distrito minero Nambija

A: agua superficial, \*A: agua de consumo humano, H: época lluviosa, S: época seca

**X**: parámetros que están sobre la norma TULAS (2005) y la OMS (2018)

Concentración de iones mg/L

## I6: Proyecto PIMI 16-05 (2019)

N°	ID	OD (mg/L)	pH	STD (mg/L)	Turbidez (NTU)	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Mn <sup>2+</sup>	F <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>
1	ChAH00	5,9	6,5	110	33	0,87	0,2	2,25	0,18	0,404	0,845	0,0025	0,056	<0,040	<0,240
2	ChAH01a	7,7	6,9	526	834	0,86	0,4	3,95	1,04	0,285	13,573	2,2195	0,035	<0,040	<0,240
3	ChAH01b	7,6	7	886	561	0,99	0,5	4,31	1,19	0,446	15,721	1,5438	0,032	<0,040	<0,240
4	Ch*AH03	5	6,4	690	414	0,91	0,4	4,66	0,49	-	-	1,4176	-	<0,040	<0,240
5	ChAH04	5,2	6,9	8	3	0,29	0,2	0,5	0,09	0,219	0,343	0,0015	0,007	<0,040	<0,240
6	ChAH06	7,9	7	54	120	0,54	0,2	1,58	0,31	0,247	5,385	0,3912	0,017	0,296	0,262
7	ChAH07	7,7	7	262	414	2,04	0,9	7,13	1,79	0,432	11,934	2,1124	0,02	0,259	0,254
8	ChAH08	-	6,2	290	39	2,22	0,7	5,19	1,89	0,527	2,331	2,7352	0,069	<0,040	<0,240
9	CgAH00	7,1	6,3	78	12	-	-	-	-	0,712	1,18	-	0,056	0,059	<0,240
1	ChAS00	7,8	6,83	58	-	1,11	-	1,76	0,2	0,205	1,278	0,0018	-0,005	<0,040	<0,240
2	ChAS01c	7,4	3,36	1432	1131	6,91	6,9	18,25	3,04	2,688	221,465	26,5817	0,671	2,548	<0,240
3	Ch*AS03	5,1	5,86	44	12	1,05	0,2	1,97	0,34	0,233	0,768	0,0025	-0,005	0,259	0,247
4	ChAS04	7,3	5,87	292	204	1,46	0,6	7,85	0,8	0,285	21,788	2,7182	0,001	1,691	0,276
5	ChAS06	7,9	6,58	324	42	2,35	0,6	6,5	1,17	0,276	13,643	1,9367	0,004	0,588	0,276
6	ChAS07	7,3	6,56	88	42	3,3	1,2	8,23	2,32	-	-	1,3993	-	<0,040	<0,240
7	ChAS08	7,5	6,88	-	-	4,24	0,8	6,73	2,59	0,285	0,601	0,0544	0,017	0,141	0,247
8	Ch*AS09	5,1	5,86	56	6	1,5	0,4	2,61	0,61	0,224	0,51	0,001	-0,005	0,442	0,269
9	ChAS10	7	7,58	214	141	2,37	0,6	6,8	1,22	0,65	8,307	0,9689	0,02	0,214	<0,240
10	CgAS05	6,1	6,3	442	162	2,25	1	10,82	2,7	0,271	36,197	4,4543	0,02	0,195	0,262
11	Cg*AS06	7,8	6,76	110	21	6,56	0,8	8,05	3,46	0,285	1,389	0,0009	0,017	<0,040	<0,240

Ch: Distrito minero Chinapintza

A: agua superficial, \*A: agua de consumo humano, H: época lluviosa, S: época seca

X: parámetros que están sobre la norma TULAS (2005) y la OMS (2018)

Concentración de iones mg/L

