

# FACULTAD DE INGENIERÍA



Carrera de Ingeniería Geológica

“CARACTERIZACIÓN GEOQUÍMICA EN SUELOS PARA DETERMINAR LA DISPERSIÓN SECUNDARIA DE CU, AG, PB, ZN ALREDEDOR DEL INTRUSIVO YANAQUERO - SECTOR MICHICUILLAY 2020”

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniero Geólogo

Autores:

Jaime Renato Abanto Novoa

Marie Anne Sánchez Pajares

Asesor:

Mg. Ing. Miguel Ricardo Portilla Castañeda

Cajamarca - Perú

2021

## DEDICATORIA

A Dios por ser mi guía día a día y ayudarme a cumplir mis metas y objetivos.

A mis padres Jaime y Lesly quienes me apoyan en el camino de la vida.

A mi hermano Saulo de quien recibo su apoyo incondicional siempre.

A mis seres queridos que en ya no están presentes conmigo

Jaime Renato

A Dios por todas las bendiciones brindadas día a día. A mis padres Cesario y Elvia, por ser mi mayor ejemplo de fortaleza, empeño y dedicación. A mi abuelito Osias por todo el cariño y apoyo incondicional brindado en este proceso. A mi abuelita Mercedes y a mis hermanas Karen, Francesca, por el apoyo y la motivación brindada en todo este tiempo.

Marie Anne

## AGRADECIMIENTO

Nuestro eterno agradecimiento a Dios por guiar nuestro camino profesional. A nuestros padres por todo el apoyo moral constante, durante nuestra etapa universitaria y el transcurso de la elaboración de nuestra tesis.

A nuestra alma mater la “Universidad Privada del Norte”, al Ing. Shonel Cáceres por apoyarnos con el acceso a los laboratorios y equipos utilizados en nuestra investigación. A nuestro asesor el Ing. Ricardo Portilla, por el asesoramiento brindado.

Agradecimiento especial a Ing. Iván Ramírez Carrillo y la Ing. Karin Dávalos por todo el apoyo, y consejos durante nuestra investigación.

Al INGEMMET por brindarnos una capacitación sobre preparación mecánica de muestras, Al Ing. Jim Vigo Alvarado quien nos proporcionó equipamiento para realizar nuestra preparación física de las muestras.

De igual manera al Ing. Juan Carlos Flores, la Ing. Gladis Licapa, Ing. Oscar Vázquez Mendoza y a la Ing. Lorena Walter, por el apoyo técnico para la preparación química y análisis AAS de nuestras muestras.

Al presidente de la comunidad campesina Michiquillay Manuel Chávez y a los comuneros que nos apoyaron con la autorización de muestreo en sus terrenos, haciendo posible esta investigación.

## TABLA DE CONTENIDOS

	Pág.
<b>DEDICATORIA</b> .....	2
<b>AGRADECIMIENTO</b> .....	3
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	8
<b>RESUMEN</b> .....	10
<b>ABSTRACT</b> .....	11
<b>CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN</b> .....	12
1.1. Realidad problemática.....	12
1.2. Formulación del problema .....	15
1.3. Objetivos .....	15
1.3.1. Objetivo general .....	15
1.3.2. Objetivos específicos .....	15
1.4. Hipótesis.....	16
1.4.1. Hipótesis general.....	16
<b>CAPÍTULO II. METODOLOGÍA</b> .....	17
2.1. Tipo de investigación .....	17
2.2. Población y muestra .....	17
2.2.2. Muestra.....	17
2.3. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos.....	17
2.3.1. Técnicas de recolección de datos .....	17
2.3.2. Instrumentos de recolección de datos .....	18
2.3.3. Materiales y Equipos.....	18
2.3.4. Análisis de datos .....	18
2.4. Procedimiento.....	19
2.4.1. Etapa Pre Campo - Gabinete I.....	19
2.4.1.1. Revisión bibliográfica .....	19
2.4.1.2. Delimitación y elaboración de malla de muestreo en la zona de estudio ..	19
2.4.1.3. Elaboración de formatos de recolección de datos e información complementaria.....	21
2.4.2. Etapa de Campo .....	21
2.4.2.1. Muestreo de suelos.....	21
2.4.2.2. Recolección de datos geológicos .....	25
2.4.3. Etapa Post Campo – Gabinete II.....	26
2.4.3.1. Análisis en Laboratorio .....	26
2.4.3.1.1. Laboratorio de Mecánica de Suelos .....	26
2.4.3.1.2. Laboratorio Químico .....	26

2.4.3.1.3.	Laboratorio de Espectrofotometría de Absorción Atómica - AAS .....	27
2.4.3.2.	Gabinete II - Procesamiento de datos .....	28
2.4.3.2.1.	Tratamiento Estadístico.....	28
2.4.3.2.2.	Caracterización de los parámetros físico químicos:.....	38
2.4.3.2.3.	Parámetros Geoquímicos: .....	40
2.4.3.2.4.	Elaboración de Planos Geoquímicos en GIS .....	41
2.5.	Aspectos Generales .....	42
2.5.1.	Ubicación .....	42
2.5.2.	Accesibilidad.....	43
2.5.3.	Clima y Vegetación.....	43
2.6.	Aspectos Éticos .....	44
<b>CAPÍTULO III. RESULTADOS .....</b>		<b>45</b>
3.1.	Geología Local del depósito.....	45
3.1.1.	Unidades Litoestratigráficas y Rocas Ígneas .....	45
3.1.1.1.	Cenozoico.....	45
3.1.1.1.1.	Cuaternario Pleistoceno - Holoceno.....	45
3.1.1.1.2.	Neógeno – Mioceno .....	45
3.1.1.2.	Mesozoico .....	46
3.1.1.2.1.	Cretáceo Inferior .....	46
3.1.2.	Geología Estructural .....	49
3.1.3.	Brechas.....	52
3.1.4.	Alteración y Mineralización.....	54
3.2.	Muestras Superficiales Representativas .....	59
3.3.	Tratamiento Estadístico.....	64
3.3.1.	Prueba Estadística General.....	64
3.3.1.1.	Interpretación .....	66
3.3.2.	Identificación de Valores altos erráticos con Gráficas de Control.....	67
3.3.3.	Gráficas de Control sin valores altos erráticos.....	69
3.3.3.1.	Interpretación .....	70
3.3.4.	Prueba de Normalidad de Anderson Darling (AD).....	71
3.3.4.1.	Interpretación .....	72
3.3.5.	Normalización de datos con Logaritmo Natural (Ln).....	73
3.3.5.1.	Interpretación .....	74
3.3.6.	Estadística Descriptiva Univariable:.....	75
3.3.6.1.	Interpretación .....	77
3.3.7.	Estadística Descriptiva Bivariable – Correlación Pearson:.....	78
3.3.7.1.	Interpretación .....	79
3.3.8.	Caracterización de los parámetros físico-químicos. ....	80
3.3.8.1.	Color y Ph .....	80

3.3.9. Dispersión Geoquímica Secundaria.....	83
3.3.9.1. Cobre.....	83
3.3.9.1.1. Interpretación de Cobre.....	85
3.3.9.2. Plata.....	86
3.3.9.2.1. Interpretación de Plata.....	88
3.3.9.3. Plomo.....	89
3.3.9.3.1. Interpretación de Plomo.....	91
3.3.9.4. Zinc.....	92
3.3.9.4.1. Interpretación de Zinc.....	94
3.3.10. Zoneamiento Geoquímico Superficial.....	95
3.3.10.1. Interpretación.....	94
<b>CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES.....</b>	<b>97</b>
4.1 Discusión.....	97
4.2 Conclusiones.....	100
<b>REFERENCIAS.....</b>	<b>102</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>109</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
<b>Tabla 1</b> Técnicas Analíticas y Límites de detección. ....	29
<b>Tabla 2</b> Rangos de Correlación Positiva y Negativa Bivarial. ....	37
<b>Tabla 3</b> Clasificación de Anomalías. ....	41
<b>Tabla 4</b> Tabla de Coordenadas del Área de Estudio. ....	43
<b>Tabla 5</b> Tabla de accesibilidad y tiempo de tramo. ....	43
<b>Tabla 6</b> Muestra del Pórfido Diorítico. ....	59
<b>Tabla 7</b> Muestra del Pórfido de Diorítico con alteración Fílica. ....	60
<b>Tabla 8</b> Muestra de Brecha Hidrotermal. ....	61
<b>Tabla 9</b> Muestra de Brecha Hidrotermal N°2. ....	62
<b>Tabla 10</b> Muestra de Intrusivo Diorítico con Predominancia de Vetillas ....	63
<b>Tabla 11</b> Valores positivos y negativos para la correlación Pearson. ....	79

## ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
<b>Figura 1</b> Mapa de ubicación inicial de puntos de muestreo .....	20
<b>Figura 2</b> Mapa de ubicación final de puntos de muestreo .....	24
<b>Figura 3</b> Cartografiado con el método de transectas o perfiles. ....	25
<b>Figura 4</b> Creación del resumen gráfico de datos de entrada en Minitab .....	29
<b>Figura 5</b> Resumen estadístico gráfico - descriptivo de Cu con datos de entrada. ....	30
<b>Figura 6</b> Creación de graficas de control en el Minitab. ....	31
<b>Figura 7</b> Tablas de control con valores altos erráticos y valores altos. ....	31
<b>Figura 8</b> Selección de prueba Normalidad de la población de datos – Estadístico AD. ....	32
<b>Figura 9</b> Prueba de normalidad según Anderson Darling (AD).....	33
<b>Figura 10</b> Transformación de la población de datos a Logaritmo Natural.....	34
<b>Figura 11</b> Prueba de normalidad de datos transformados a Logaritmo Natural.....	34
<b>Figura 12</b> Cálculo de estadísticos descriptivos univariables. ....	35
<b>Figura 13</b> Tipos de Correlación Bivariar Pearson .....	37
<b>Figura 14</b> Procedimiento para elaborar la matriz de correlación bivariar Pearson.....	38
<b>Figura 15</b> Procedimiento del conteo de valores del Color y pH .....	39
<b>Figura 16</b> Procedimiento categorizar el color de la muestra en diagramas de caja.....	39
<b>Figura 17</b> Creación de mapas de dispersión - interpolación IDW ArcGIS.....	42
<b>Figura 18</b> Vegetación de zona de estudio.....	44
<b>Figura 19</b> Intrusivo Yanaquero - Pórfido Diorítico.....	46
<b>Figura 20</b> Calizas aflorando en corte de carretera .....	47
<b>Figura 21</b> Calizas aflorando cerca de puntos de muestreo .....	48
<b>Figura 22</b> Fósiles dentro de la litología sedimentaria.....	49
<b>Figura 23</b> Stockwork en alteración Argílica.....	50
<b>Figura 24</b> Stockwork en Pórfido Diorítico con relaciones de corte .....	51
<b>Figura 25</b> Falla local en el Pórfido Diorítico.....	51
<b>Figura 26</b> Brecha Hidrotermal en cuerpo tabular sub horizontal .....	52
<b>Figura 27</b> Brecha Hidrotermal en cuerpo tabular horizontal.....	53
<b>Figura 28</b> Brecha hidrotermal en cuerpo tabular.....	54
<b>Figura 29</b> Afloramiento de la alteración Fílica. ....	56
<b>Figura 30</b> Afloramiento de la alteración Argílica .....	57
<b>Figura 31</b> Afloramiento de la alteración Argílica .....	57
<b>Figura 32</b> Mapa litológico – estructural .....	58
<b>Figura 33</b> Resumen estadístico de Cu con valores iniciales.....	64

<b>Figura 34</b>	Resumen estadístico de Ag con valores iniciales .....	64
<b>Figura 35</b>	Resumen estadístico de Pb con valores iniciales .....	65
<b>Figura 36</b>	Resumen estadístico de Zn con valores iniciales .....	65
<b>Figura 37</b>	Gráficas de control de Cu, Ag, Pb y Zn – valores iniciales .....	67
<b>Figura 38</b>	Graficas de control de Cu, Ag, Pb – Sin valores altos erráticos .....	69
<b>Figura 39</b>	Prueba de normalidad de Cu, Ag, Pb y Zn con estadístico AD .....	71
<b>Figura 40</b>	Prueba de normalidad de Cu, Ag, Pb y Zn en base al Logaritmo Natural (Ln).....	73
<b>Figura 41</b>	Resumen estadístico final de LnCu.....	75
<b>Figura 42</b>	Resumen estadístico final de LnAg .....	75
<b>Figura 43</b>	Resumen estadístico final de LnPb .....	76
<b>Figura 44</b>	Resumen estadístico final de LnZn (ppm).....	76
<b>Figura 45</b>	Correlación bivariable Pearson entre Cu, Ag, Pb y Zn con valores en base a Ln... 78	
<b>Figura 46</b>	Colores identificados en laboratorio .....	81
<b>Figura 47</b>	Caracterización del color vinculado al contenido metálico en Cu, Ag, Pb y Zn ....	82
<b>Figura 48</b>	Caracterización del color y pH vinculado al contenido metálico en Cu .....	83
<b>Figura 49</b>	Dispersión secundaria de Cobre.....	84
<b>Figura 50</b>	Caracterización del color y pH vinculado al contenido metálico en Cobre.....	86
<b>Figura 51</b>	Dispersión secundaria de Plata .....	87
<b>Figura 52</b>	Caracterización del color y pH vinculado al contenido metálico en Plomo .....	89
<b>Figura 53</b>	Dispersión secundaria de Plomo.....	90
<b>Figura 54</b>	Caracterización del color y pH vinculado al contenido metálico en Zinc .....	92
<b>Figura 55</b>	Dispersión secundaria de Zinc .....	93
<b>Figura 56</b>	Zoneamiento geoquímico de Cu-Pb-Zn.....	95

## RESUMEN

El objetivo principal de este estudio fue conocer la Dispersión Secundaria de Cobre, Plata, Plomo y Zinc determinada por la caracterización geoquímica en suelos alrededor del intrusivo Yanaquero en el Sector Michiquillay; para ello se recolectó 38 muestras de suelos en una malla de muestreo rectangular con 200m de espaciamiento, a las que se les identificó el color, ph y contenido metálico (ppm), este último mediante la digestión química con Agua Regia, vía Absorción Atómica (AAS), además se complementó toda esta información con el cartografiado local del intrusivo en mención. Para la caracterización estadística de los datos se aplicó la transformación Log\_Normal modificando los altos erráticos e identificando anomalías, para Cobre 943.7 ppm y 764.3 ppm, para Plata 1.33 ppm y 1.15 ppm, para Plomo 117 ppm y por último para Zinc 252.8 ppm; así mismo, de la correlación Pearson, se obtuvo asociaciones bivariadas con buena correlación positiva (0.631) para Pb-Zn y mediana correlación positiva (0.337) para Cu-Pb, las tendencias identificadas de dispersión geoquímica de los metales en cuestión fueron, N-S para Cobre, NNE-SSO para Ag y NNO-SSE para Plomo y Zinc, además, las mayores dispersiones de color y pH lo tuvo Cu-Ag con Amarillo Oliva y Marrón Muy Pálido con pH Básico y Neutro y Pb-Zn con Marrón grisáceo Muy oscuro y Marrón Muy Pálido con pH Neutro y Ácido, de igual modo, en el cartografiado geológico se identificó la litología existente como una Diorita Porfirítica, con evidencia de alteración hidrotermal, coexistiendo con estructuras locales como fallas y brechas. Finalmente, del estudio de la dispersión geoquímica secundaria en suelos se identificó un zoneamiento superficial de Cu-Pb-Zn característico de sistemas del tipo Pórfido de Cobre.

**Palabras clave:** Dispersión geoquímica secundaria, Absorción Atómica, Correlación Pearson, Pórfidos de Cobre.

## ABSTRACT

The main object of this study was to know the Secondary Dispersion of Copper, Silver, Lead and Zinc determined by the geochemical characterization in soils around the intrusive Yanaquero in the Michiquillay Sector; For this, 38 soil samples were collected in a rectangular sampling mesh with 200m spacing, to which the color, pH and metal content (ppm) were identified, the latter by chemical digestion with Agua Regia, via Atomic Absorption (AAS), all this information was also supplemented with the local mapping of the intrusive in question. For the statistical characterization of the data, the Log\_Normal transformation was applied, modifying the erratic highs and identifying anomalies, for Copper 943.7 ppm and 764.3 ppm, for Silver 1.33 ppm and 1.15 ppm, for Lead 117 ppm and finally for Zinc 252.8 ppm; Likewise, from the Pearson correlation, bivariate associations were obtained with good positive correlation (0.631) for Pb-Zn and medium positive correlation (0.337) for Cu-Pb, the trends identified in the geochemical dispersion of the metals in question were, NS for Copper, NNE-SSO for Ag and NNO-SSE for Lead and Zinc, in addition, the largest dispersions of color and pH were found in Cu-Ag with Olive Yellow and Very Pale Brown with Basic and Neutral pH and Pb-Zn with Very Grayish Brown. dark and Very Pale Brown with Neutral and Acidic pH, in the same way, in the geological mapping the existing lithology was identified as a Porphyritic Diorite, with evidence of hydrothermal alteration, coexisting with local structures such as faults and breccias. Finally, from the study of secondary geochemical dispersion in soils, a superficial zoning of Cu-Pb-Zn characteristic of systems of the Copper Porphyry type was identified.

**Keywords:** Secondary geochemical dispersion, Atomic Absorption, Pearson Correlation, Copper Porphyries.

## CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

### 1.1. Realidad problemática

“La actividad de exploración es crucial para el desarrollo del subsector minero en el Perú, debido a que con ella se inicia la actividad minera, permitiendo no solo la importante captación de inversión nacional y extranjera, sino también descubrir nuevos yacimientos y alargar la vida de las minas que ya se encuentran en operación” (Aguinaga, et al., 2021, p.3).

Dada la riqueza y potencial geológico que la región de Cajamarca posee, es necesario complementar la información geológica disponible con estudios geoquímicos que permitan ampliar la cartera de proyectos mineros; Nosach (2009), hace referencia a los “métodos geoquímicos, pues estos son importantes en la búsqueda de yacimientos minerales, y tiene una amplia aplicación práctica en los trabajos geológicos, además son los más económicos, eficientes, y en combinación con los métodos geofísicos, pueden revelar aquellos yacimientos que no afloran en la superficie terrestre”.

En el Sector Michiquillay – Encañada, existen afloramientos intrusivos, entre ellos está el Yanaquero, el cual tiene rasgos de ser un pórfido cuprífero mineralizado, la información existente de la zona no involucran estudios de dispersión secundaria en suelos a detalle, por ello es necesario realizar un estudio de dispersión geoquímica secundaria en suelos, con el que conoceremos como se han distribuido geoquímicamente los principales metales Cobre, Plata, Plomo y Zinc en relación a los intrusivos existentes. Nosach (2009) Y SRK Consulting (2021), comentan la importancia de realizar un estudio geoquímico integral en la exploración, a través de muchos tipos de medios, tal fuese el caso, como suelos, sedimentos fluviales y demás, aplicando técnicas analíticas como la espectrofotometría, el análisis espectral,

los análisis de rayos X, la microscopia electrónica, la radiometría, el análisis isotópico, y muchas técnicas más, con la finalidad de encontrar nuevos yacimientos.

Se sabe que los cuerpos mineralizados generan aureolas y flujos de dispersión anómalos en un área definida, debido a que el material meteorizado es redepositado o transportado, a zonas relativamente cercanas (Geoveth, 2018). Lo que quiere decir que la distribución de los elementos metálicos migra de la roca fuente hacia los exteriores del sistema. (Palomino y Vásquez, 2012, p.4).

En un estudio geoquímico de dispersión es necesario establecer factores que sean indicadores de la presencia de cuerpos ígneos mineralizados, siendo los más importantes el tamaño granulométrico (en el ensayo químico) de cada muestra, el pH de las mismas, y los rasgos geológicos del ambiente. (Acosta, Valencia, Rivera, Vargas y Chira, 2006, p.1-4).

Para Trelles (2021) Y Segura (2018), toda la información geoquímica recolectada en campo debe tener su caracterización estadística, la que se complementará con trabajos de campo, mapeos geológicos, entre otros; pues tienen un enfoque importante, debido a que permiten confirmar o descartar la presencia de nuevos yacimientos minerales definiendo zonas de mayor interés para la exploración de pórfidos cupríferos.

Por otro lado, Córdova (2018) en su estudio Geológico, Geoquímico del Proyecto Huayrapongo en San Pablo, obtuvo mejores resultados al realizar la caracterización estadística de sus datos en base a transformaciones Log-Normal, modificando los altos erráticos e identificando anomalías, lo que indicaría que existe la presencia de un yacimiento con mineralización de Cobre. Teniendo la caracterización estadística, se sabe que a nivel de depósito es importante conocer las correlaciones geoquímicas

entre metales de interés económico, Así mismo el autor en mención, en su base de datos de geoquímica superficial empleo la matriz de correlación de Pearson, este es método es eficaz pues asocia los cambios proporcionales entre variables, permitiéndole determinar asociaciones entre elementos.

Se conoce que Pérez (2015), en el estudio de la caracterización de la dispersión geoquímica secundaria en sedimentos activos de quebrada, de los principales pórfidos Miocénicos: Minas Conga, El Galeno, La Carpa y Michiquillay; consideró que los metales más importantes en la exploración de yacimientos mineralizados Miocénicos, son el Cu, Au, Mo, Pb, Zn, As, Bi, Ag, Te y Mn, estos están relacionados por su comportamiento geoquímico similar, además, su dispersión está controlada por la distancia desde el área muestreada a los intrusivos (Pórfidos), lo que quiere decir que mientras más cerca a estos, la abundancia de estos será mayor. De igual forma, Manchego (2016) en su caracterización geológica - geoquímica y alteración hidrotermal del prospecto Pinco Pinco, Pórfido de Cu (Mo) en Tacna, explicó que los metales determinantes de este tipo de yacimientos cupríferos, son Cu, Mo, Au, Ag, Pb, Zn, Mn, pues presentan características geoquímicas superficiales anómalas, lo que los relacionaría con la presencia de actividad hidrotermal principalmente.

Finalmente López, Argote, y Astopilco (2014) Y Sillitoe (2010), explican el zoneamiento que presentan diversos yacimientos cupríferos, existiendo así una distribución zonal de los elementos, que parece corresponder a un orden de depositación secuencial decreciente de la solubilidad de los mismos en función de la temperatura, por lo que se diría que el Mo tiende a concertarse en anillos externos superpuestos a núcleos Cu-Au; con una gradación Cu-Mo-Au hacia la zona central y halos anómalos en zonas laterales del sistema a escala de km de Pb-Zn-Mn-As-Au ± Ag, que evidencian condiciones de más baja temperatura.

Para desarrollar esta investigación de caracterización geoquímica en suelos y determinar el comportamiento de distribución de los principales metales Cu, Ag, Pb, Zn en suelos alrededor del intrusivo Yanaquero en Sector Michiquillay 2020, se deberá tener en cuenta la información teórica expuesta anteriormente, como un conocimiento previo.

Por lo general esta investigación beneficiará principalmente a la comunidad estudiantil investigadora geológico - geoquímico como base teórica para la exploración a través del estudio de las dispersiones y zoneamientos geoquímicos de cuerpos intrusivos que presenten características de mineralización.

## **1.2. Formulación del problema**

¿Cómo es la dispersión secundaria de Cu, Ag Pb y Zn determinada por la caracterización geoquímica en suelos alrededor del intrusivo Yanaquero - Sector Michiquillay 2020?

## **1.3. Objetivos**

### **1.3.1. Objetivo general**

Interpretar la dispersión secundaria de Cu, Ag Pb y Zn determinada por la caracterización geoquímica en suelos alrededor del intrusivo Yanaquero - Sector Michiquillay 2020

### **1.3.2. Objetivos específicos**

Caracterizar estadísticamente el contenido metálico (ppm) obtenido mediante el análisis químico de AAS realizado en el estudio de la dispersión geoquímica secundaria de Cu, Ag, Pb y Zn en suelos, alrededor del intrusivo - Sector Michiquillay 2020.

Identificar valores anómalos de Cu, Ag, Pb y Zn en el estudio de la dispersión geoquímica secundaria de suelos, alrededor del intrusivo - Sector Michiquillay 2020.

Analizar la correlación Bivarial entre los metales Cu, Ag, Pb y Zn en el estudio de la dispersión geoquímica secundaria de suelos, alrededor del intrusivo - Sector Michiquillay 2020.

Identificar la tendencia de distribución de Cu, Ag, Pb y Zn en el estudio de la dispersión geoquímica secundaria de en suelos, alrededor del intrusivo - Sector Michiquillay 2020.

Determinar los parámetros físico-químicos (Color y Ph) con mayores dispersiones respecto al contenido metálico de Cu, Ag, Pb y Zn en los suelos alrededor del intrusivo Yanaquero - Sector Michiquillay 2020.

Realizar un cartografiado geológico general, del stock intrusivo Yanaquero - Sector Michiquillay 2020.

## **1.4. Hipótesis**

### **1.4.1. Hipótesis general**

La dispersión geoquímica secundaria de Cu, Ag Pb y Zn en suelos alrededor del intrusivo Yanaquero - Sector Michiquillay 2020, presentan un zoneamiento característico de un depósito porfirítico de Cu.

## **CAPÍTULO II. METODOLOGÍA**

### **2.1. Tipo de investigación**

La investigación tiene un enfoque cuantitativo, debido a que se centra en el estudio y análisis de la realidad, mediante diversos procedimientos basados en la medición. Según su propósito es aplicada, puesto que se basa en encontrar mecanismos o estrategias que permitan lograr un objetivo o resolver un problema. El diseño es no experimental – transversal, por tanto, no hay manipulación intencional ni asignación al azar de la variable de estudio, así mismo transversal, porque se recolecta los datos en un solo momento. Tiene un alcance correlacional, ya que pretende evaluar la relación entre dos o más variables (Hernández, Fernández y Baptista, 2014, p.4-88 y Oblitas, 2018, p.30).

### **2.2. Población y muestra**

#### **2.2.1. Población**

Los afloramientos de suelo presente en los alrededores del intrusivo Yanaquero - Sector Michiquillay 2020.

#### **2.2.2. Muestra**

38 muestras de suelo (Horizonte B) de 2 kg, extraídas alrededor del alrededor del intrusivo Yanaquero - Sector Michiquillay 2020.

### **2.3. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos**

#### **2.3.1. Técnicas de recolección de datos**

En esta investigación utilizaremos dos técnicas de recolección de datos principalmente. Para la técnica de análisis documental, se recolectará información bibliográfica respecto al tema a estudiar, así mismo, información publicada acerca

del área de estudio. La técnica de la observación y medición, consistirá en examinar y describir las características, del fenómeno estudiado y su entorno.

### **2.3.2. Instrumentos de recolección de datos**

Ficha de observación del suelo muestreado (Anexo 1).

Cuaderno de campo.

### **2.3.3. Materiales y Equipos**

Planos topográficos e imágenes satelitales con escala 1:5000.

Fichas de laboratorio.

Cámara fotográfica.

Brújula tipo Brunton.

Lupa 30x.

Flexómetro 5m

GPS – con sistema de coordenadas WGS 84.

Bolsas de muestreo de suelo (microporoso).

Bolsas de muestreo de rocas (polipropileno).

Cucharones de plástico.

Tablas Munsell Soil.

pH-metro digital PH-009 [I].

Espectrofotómetro de Absorción Atómica.

### **2.3.4. Análisis de datos**

Los valores del contenido metálico (ppm) de Cu, Ag, Pb y Zn, como la de los parámetros fisicoquímicos y la información cartográfica, serán digitalizadas, filtradas y procesadas en los softwares: Excel 2020, ArcGIS 10.7.1 y Minitab 20 respectivamente.

## 2.4. Procedimiento

Al desarrollar esta investigación se elaborará un plan de trabajo que consistirá en 3 etapas principalmente: Pre campo – Gabinete I, Campo y Post campo – Gabinete II.

### 2.4.1. Etapa Pre Campo - Gabinete I

#### 2.4.1.1. Revisión bibliográfica

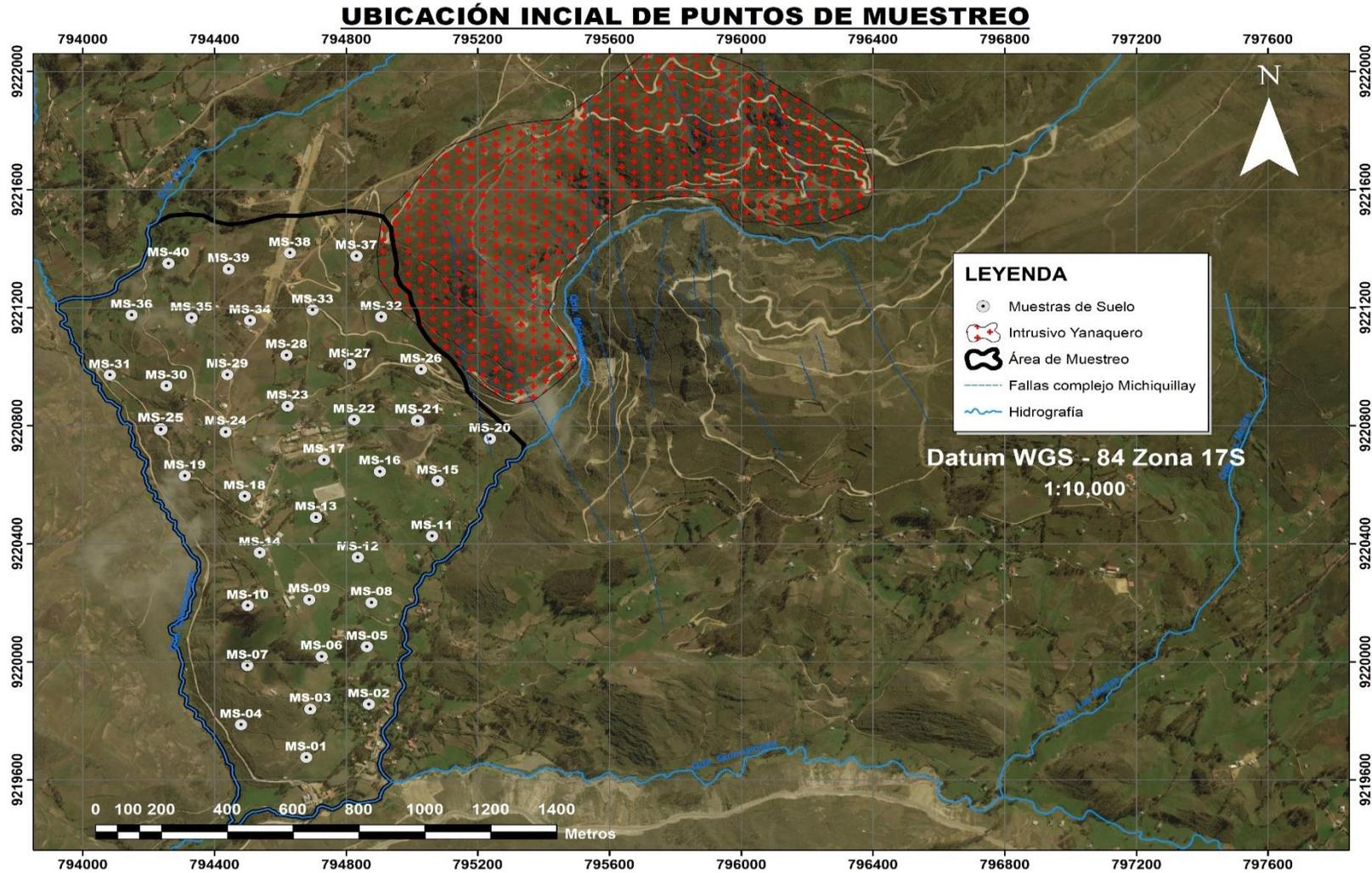
Iniciaremos revisando bibliografía relacionada al tema de investigación y documentación de la zona de estudio, en papers, informes, tesis, artículos y documentos virtuales. Esta información la obtendremos de las principales bases de datos como, EBSCO, Alicia, Dialnet, Ní nive, ANDGEO, Google Académico.

#### 2.4.1.2. Delimitación y elaboración de malla de muestreo en la zona de estudio

En el Sector Michiquillay – Encañada, localizaremos un área favorable para muestrear suelos, dentro de los terrenos permitidos por la comunidad, la superficie designada tendrá un área de 3 km<sup>2</sup> (1.5 x 2 km de longitud). Para el diseño de la malla de muestreo, se utilizará el criterio geológico – estructural donde la tendencia de distribución de las muestras será N-S; se consideró esta dirección, puesto a que se asume que la dispersión guarda alguna relación con la tendencia estructural principal, de las principales fallas del complejo Michiquillay que poseen una orientación NNW (Davies, 2002). El número de puntos muestreados serán 38, se consideró esta cantidad debido a que estadísticamente, por lo menos se debe contar con 40±2 muestras con el fin de encontrar al menos una anomalía (Vásquez, 2009, p. 54-55). Por otro lado, Siegel (1992) Y Nuchanong, Lavin, y Nichol (1991) establecen que el espaciamiento de la red de muestreo en suelos es variable, y depende de las tendencias estructurales-geológicas, movilidad de los elementos a estudiar, la escala prospectiva, entre otros; debido a ello se optará por un espaciamiento entre muestra de 200m aproximadamente.

Figura 1

Mapa de ubicación inicial de puntos de muestreo



Nota: El área de muestreo se ubica entre la red de drenajes y el intrusivo Yanaquero, con una tendencia de distribución N-S y 200m de espaciamentos entre cada una de ellas aproximadamente, aprovechando la accesibilidad a los terrenos de los comuneros. Imagen satelital del Sector Michiquillay, tomada de Sas Planet V.17.

### **2.4.1.3. Elaboración de formatos de recolección de datos e información complementaria.**

Antes de salir a campo se preparará los planos base para el cartografiado geológico general trabajándose en una escala de depósito 1:5000, así mismo, se elaborará los formatos de recolección de datos, entre ellos la ficha de muestreo de suelos insitu (Anexo 1), como también los que se usarán en laboratorio en las etapas posteriores.

### **2.4.2. Etapa de Campo**

Está sub dividido en 2 subetapas: Muestreo de suelos y Recolección de información geológica (cartografiado general).

#### **2.4.2.1. Muestreo de suelos:**

En este estudio se utilizará el muestreo sistemático, que consiste en obtener una muestra de suelo en cierto intervalo regular constante (Lambert, 2006, p.22). Para ello, en cada punto de muestreo establecido se realizará una calicata de 0.45 m<sup>2</sup> de área como mínimo (dependiendo de la disposición del terreno), la profundidad de esta, será variable, pero tendrá un máximo de 1.3m. La cantidad de suelo recolectada no debe ser inferior a 1.5 Kg, siendo recomendable una muestra de 2Kg, preferiblemente se muestreará el Horizonte B; puesto que, si el material a recolectar presenta alto contenido de agua, se adicionará ½ Kg. a la cantidad muestreada. Antes de almacenar la muestra en su respectiva bolsa, se tomará una porción de suelo, con el cual se determinará rápidamente el parámetro físico in situ (color), usando la Cartilla de Colores del Suelo Munsell. Esta información y datos complementarios se registrarán en la ficha de muestreo de suelos respectiva y se pasará a muestrear al siguiente punto designado (Anexo 2).

### **Procedimiento de muestreo**

Todos los instrumentos y herramientas usadas en el muestreo del día deben ser calibrados y limpiados antes de partir a campo, para evitar errores y contaminación de las muestras durante el trabajo.

1. Identificar las coordenadas del punto a muestrear en el mapa satelital diseñado.
2. Con ayuda del equipo de posicionamiento (GPS) sistema WGS-84 ubicar el lugar de muestreo lo más cerca posible a las coordenadas del punto de muestreo preseleccionado.
3. Limpiar de manera superficial el área a muestrear (radio de 1 m) retirando ramas sueltas, estiércol de animal u objetos producto de la contaminación por actividades antrópicas; si fuera necesario.

Si por factores externos no se puede muestrear en el punto seleccionado, replantear la ubicación, anotando las nuevas coordenadas Este, Norte y Cota, en la ficha de observación.

4. Diseñar la calicata a cavar de 0.45 m x 0.45 m de área como mínimo, retirando inicialmente toda vegetación superficial, la capa orgánica viva (Horizonte A del suelo), las raíces grandes y los fragmentos de rocas, según se requiera.
5. Cavar hasta encontrar el horizonte B del suelo, se reconoce por la variación de color (pardo o rojo en algunos casos) respecto a la capa orgánica que generalmente es de color marrón oscuro por la abundancia de materia orgánica descompuesta.

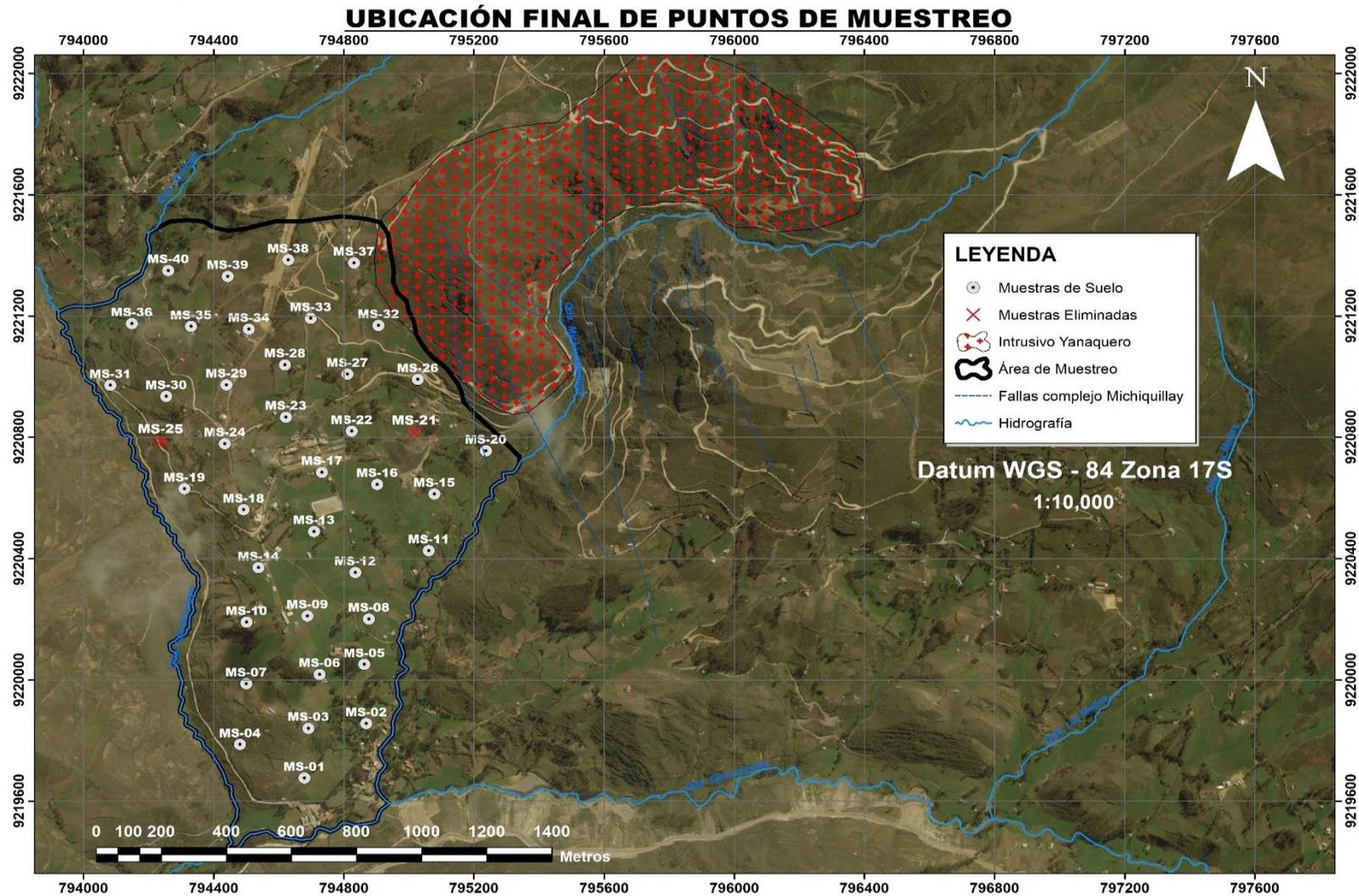
En el caso de llegar al nivel freático en el punto de muestreo, se recolectará 2.00Kg del material más cercano al Horizonte B. Y de no encontrar un cambio en el perfil inicial del suelo (Horizonte A) a más de 1.30m de profundidad, se eliminará dicho punto y se continuará con el siguiente.

6. Extraer la muestra del suelo con cucharones plásticos y la depositarla en la bolsa de muestreo. Con una balanza de mano pesar hasta alcanzar la cantidad requerida, evitando introducir agentes externos (hierbas, ramas, fragmentos de rocas, etc.).
7. De la muestra extraída, tomar una porción para determinar aproximadamente el color y la textura del suelo. A menos que el material se encuentre saturado de agua.
8. Medir el espesor de cada horizonte para luego anotarlo en la ficha de observación. Los horizontes deben marcarse claramente (A y B respectivamente). Luego tomar una fotografía con el número de la muestra, los marcadores de los horizontes y la ubicación. Si es posible se colocará una cinta métrica en el perfil.
9. Completar el resto de información requerida y/o descripción adicional en la ficha de observación en campo.
10. Por último, limpiar los materiales usados y luego rellenar la calicata con ayuda del material extraído; pasar al siguiente punto.

En campo se identificó 2 puntos de muestreo de la malla original, la muestra Ms-21 y Ms-25 estos que no serán considerados en este estudio, puesto que, al momento de muestrear en estos, no se encontró un cambio significativo sobrepasando el 1.30m de profundidad en el suelo, encontrándose únicamente horizonte A, de tal manera se regresó el material extraído al hoyo cavado y se pasó a muestrear el siguiente punto. En la base de datos las muestras recolectadas quedaron con su numeración original, y solo se eliminó la numeración de los puntos no muestreados.

Figura 2

Mapa de ubicación final de puntos de muestreo



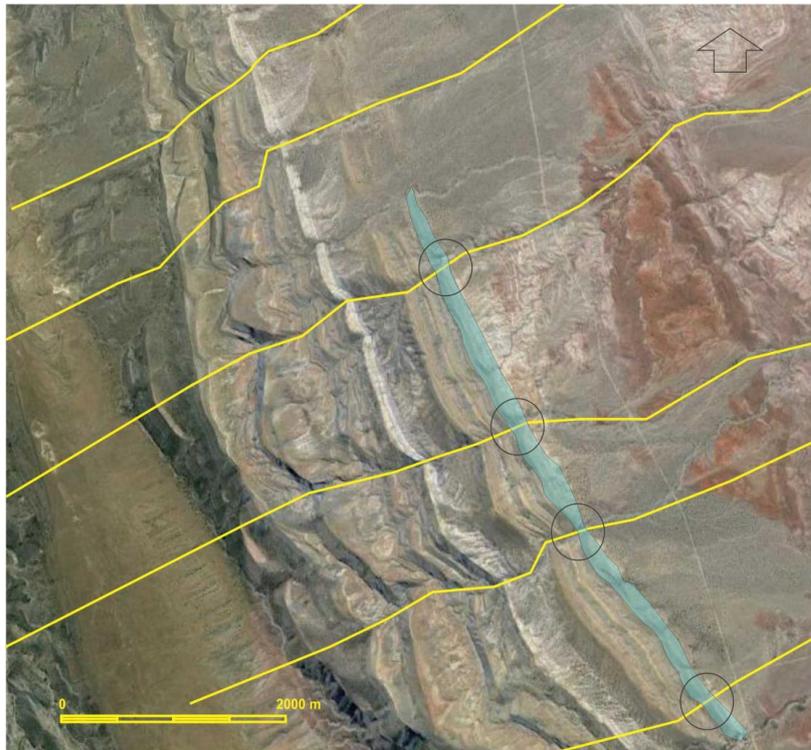
Nota: Observamos que las 38 muestras de suelo (descontando la MS-21 y MS-22), están dentro del parámetro estadístico establecido mencionado con anterioridad ( $40 \pm 2$  muestras). Imagen satelital del Sector Michiquillay, tomada de Sas Planet V.17.

### 2.4.2.2. Recolección de datos geológicos

Para complementar la información en la investigación se realizará un cartografiado general del intrusivo Yanaquero, este consistirá en combinar información geológica pre existente (elaborada por: Davies, (2002) y Minero Perú (1993)), con información geológica actual recopilada en campo. El método utilizado para el cartografiado local será el de “perfiles o transectas”, este mapeo implica simplemente levantar la geología mientras se camina a lo largo de una ruta predeterminada. Los contactos y otros rasgos geológicos serán extrapolados entre las observaciones realizadas, se camina siguiendo una ruta predeterminada levantando datos geológicos a medida que se progresa en el recorrido. Los itinerarios deben planificarse de tal manera que se corte lo más perpendicular posible la estructura geológica (Echeveste, 2018).

#### Figura 3

*Cartografiado con el método de transectas o perfiles.*



Nota: Un ejemplo de levantamiento por perfiles, líneas amarillas, de un sector de la faja plegada en la Cuenca Neuquina, visualizado desde Google Earth. Los círculos marcan los sectores donde cada perfil corta la unidad representada en el mapa con color celeste. Las zonas entre perfiles son interpretadas con ayuda de la figura. Figura tomada de Echeveste (2018).

### 2.4.3. Etapa Post Campo – Gabinete II

Esta etapa está dividida en dos actividades principalmente y son: Análisis en laboratorio y el Procesamiento de datos.

#### 2.4.3.1. Análisis en Laboratorio

##### 2.4.3.1.1. Laboratorio de Mecánica de Suelos

###### Preparación mecánica de las muestras

Este proceso contempla el secado, pulverización y tamizado de las muestras donde la fracción fina obtenida (menos malla #200 - 0.074mm.), pasará al laboratorio químico para su respectiva digestión. El método preparación mecánica empleado en esta investigación se describe a detalle en el Procedimiento de preparación mecánica para muestras de suelos, rocas, sedimentos **CÓDIGO: PR-T-M-001** (Anexo 3).

##### 2.4.3.1.2. Laboratorio Químico

###### Digestión de Muestras

En el laboratorio químico, la fracción fina del suelo obtenida anteriormente se descompondrá a través del ataque de los ácidos HCl y HNO<sub>3</sub> añadiendo como oxidante al H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, los cuales permitirán la disolución de la muestra y su posterior análisis a través de espectrofotometría de absorción atómica (AAS) (Anexo 4). El método digestión acida empleado en esta investigación se describe a detalle en el Procedimiento de digestión ácida para muestras de sedimentos, lodos y suelos.

**CÓDIGO: PR-T-M-002** (Anexo 4).

### **Medición de pH**

En el laboratorio químico, también mediremos el pH de las muestras de suelo, mediante el Procedimiento para la lectura de pH en muestras de suelo. **CÓDIGO: PR-T-M-003** (Anexo 5).

### **Identificación del color**

De igual manera en el laboratorio químico, se identificará el color del suelo seco con ayuda de la cartilla de colores del suelo Munsell utilizando el Procedimiento para identificación de color en muestras de suelo. **CÓDIGO: PR-T-M-004** (Anexo 6).

#### **2.4.3.1.3. Laboratorio de Espectrofotometría de Absorción Atómica - AAS**

Teniendo la muestra en base acida, solo queda analizar por Absorción Atómica AAS; para lo cual se preparará los estándares de calibración, muestras blancos para luego calibrar y optimizar el equipo (Agilent Technologies 240 FS) respectivamente; con los resultados obtenidos del equipo (mg/l) se calculará los ppm reales mediante la aplicación de una fórmula matemática. El método lectura por AAS empleado en esta investigación se describe a detalle en el Procedimiento para análisis de Cobre, Plata, Plomo y Zinc en muestras ácidas por Absorción Atómica **CÓDIGO: PR-T-M-005** (Anexo 7).

#### **2.4.3.2. Gabinete II - Procesamiento de datos**

Ya teniendo los resultados del análisis de laboratorio complementado con algunas observaciones adicionales de cada muestra, se realizará la Caracterización Estadística (CE) de los mismos. Para catalogar los datos del contenido metálico, usaremos los estadígrafos descriptivos a través de histogramas y diagramas de caja, así mismo, para color y pH utilizaremos los diagramas de caja únicamente; toda esta información se procesará utilizando los softwares Minitab 20 y Excel 2019.

##### **2.4.3.2.1. Tratamiento Estadístico**

Como primer paso tendremos el tratamiento estadístico de los datos, donde se emplearán técnicas estadísticas univariadas y bivariadas respectivamente.

###### **2.4.3.2.1.1. Límites de detección:**

Es la concentración mínima de un analito que se puede detectar confiablemente cuando se aplica un método para el análisis de una muestra, con un nivel de confianza aceptable (Briones, 2005).

En esta investigación, partiremos identificando los valores que se encuentren bajo el límite de detección para cada elemento analizado ( $<LD$ ), estos se sustituirán por el valor equivalente al valor absoluto de la mitad del límite de detección ( $|LD/2|$ ) (Quintanilla, 2017).

Usaremos como referencia los límites de detección para ensayos con Absorción Atómica (AAS) (Viladevall, 2008).

**Tabla 1**

*Técnicas analíticas y límites de detección.*

Elemento	INAA	IPC-AES	AAS	ES	XRF	C
Ag	0,2	50*	0.00	0.05	8	0,05
Cu		1	0.005	0.5	5	0,02
Pb			0,01	5	18	0,06
Zn	2	1	0,002	100	3	1

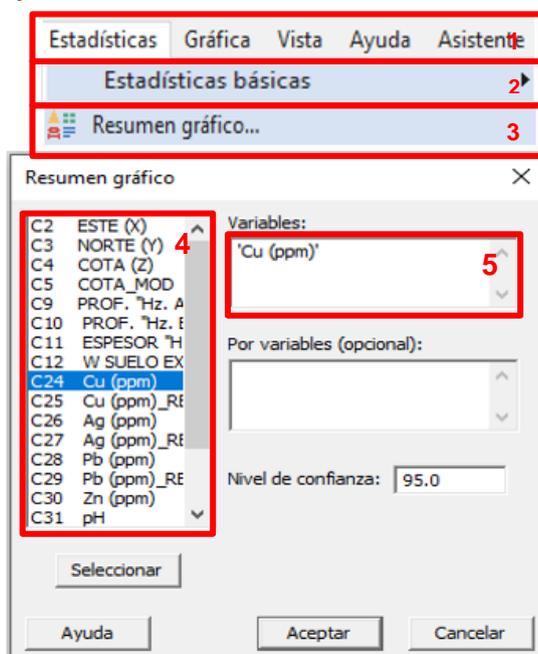
Nota: INNA (Activación Neutrónica); ICP-OES (Plasma de Inducción Atómica); AAS (Espectroscopia de Absorción Atómica); E.S. (Espectrografía de Emisión); F.R.X. (Fluorescencia de Rayos X; C (Colorimetría). Unidades dadas ppm; (\*) en ppb. Tomado de Viladevall (2008).

#### 2.4.3.2.1.2. Prueba Estadística general con valores iniciales:

Después de verificar que los valores estén dentro de los límites de detección permisibles, se realizará una prueba de estadística general, calculando la media, mediana, desviación estándar, entre otros, para cada elemento analizado; con el fin de comprobar si cumplen una tendencia de distribución normal, que es lo ideal para un tratamiento estadístico de valores geoquímicos.

**Figura 4**

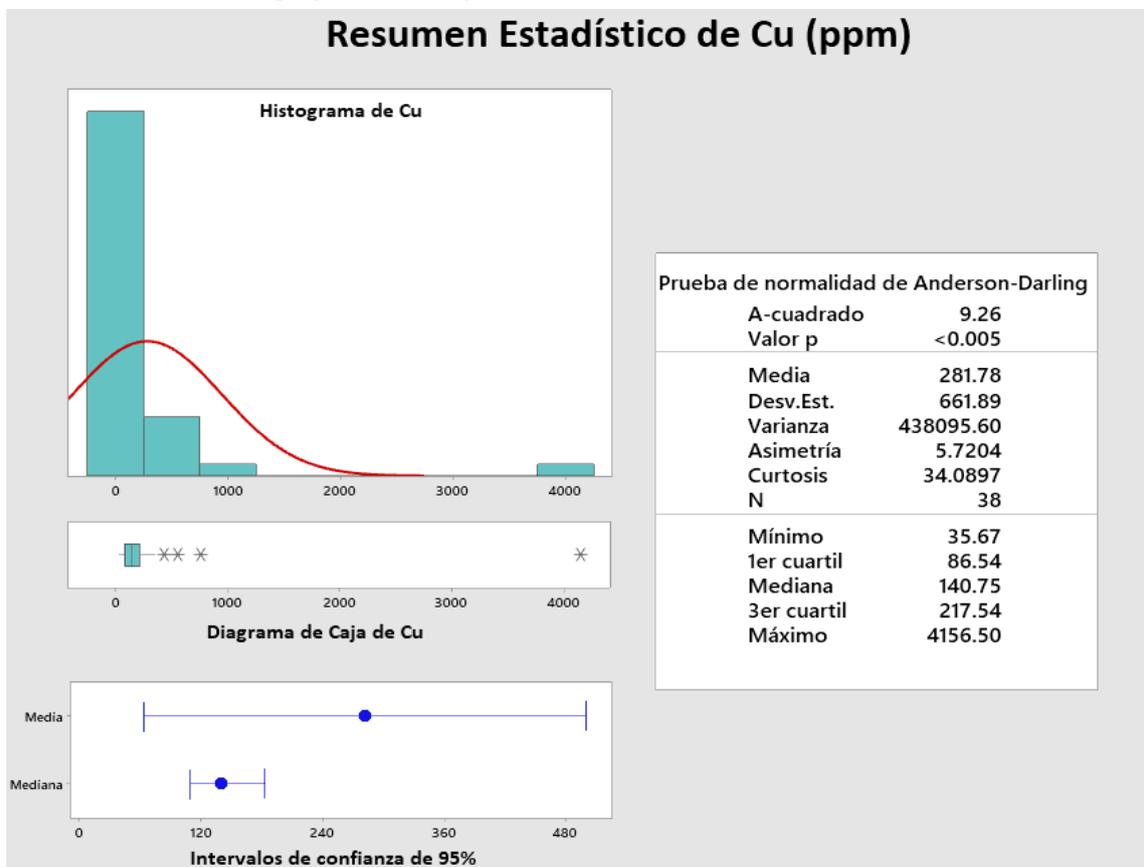
*Creación del resumen gráfico de datos de entrada en Minitab*



Nota: Para realizar el tratamiento estadístico, se ingresará la base de datos de Excel 2019 al software estadístico Minitab 20.

**Figura 5**

*Resumen estadístico gráfico - descriptivo de Cu con datos de entrada.*



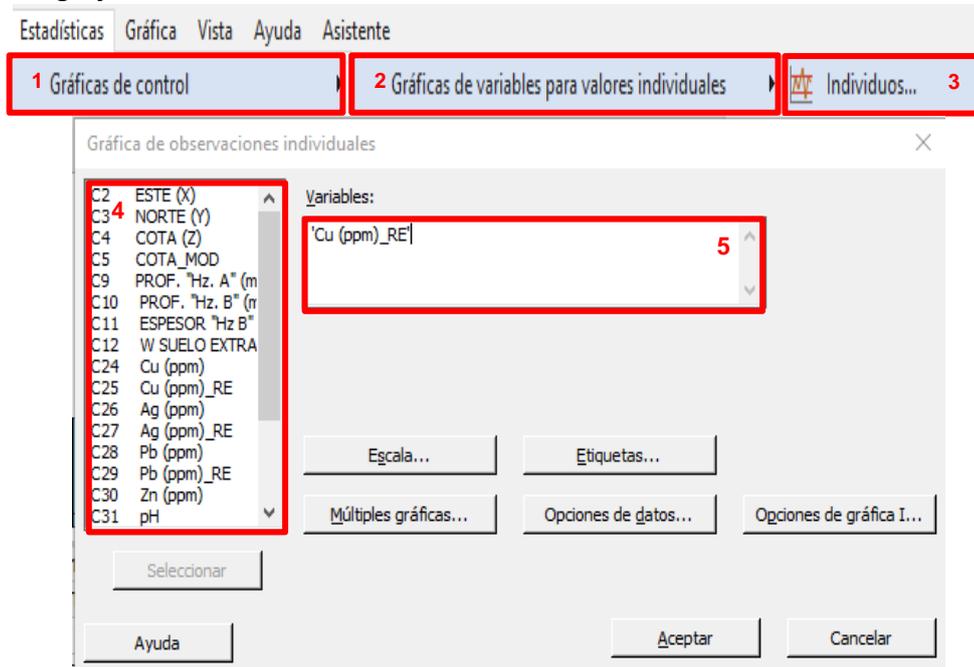
Nota: Ejemplo del resumen del Cu Estadístico Descriptivo (Parámetros estadísticos, histograma, diagrama de caja e intervalos de confianza), como ejemplo con valores iniciales sin transformar.

#### **2.4.3.2.1.3. Identificación de valores altos erráticos:**

Primero lo más importante es identificar si se trataría de altos erráticos o únicamente de valores altos, pues los altos erráticos generalmente representan menos del 5% del total de la población y por ello merecen una atención y un tratamiento especial, se pueden identificar fácilmente utilizando histogramas, gráficos probabilísticos de frecuencia acumulada, gráficas de control, entre otros (Canchaya, 2012). En este estudio, combinaremos las *gráficas de control* (Control Chart) con el criterio geológico para discriminar un alto errático de un valor alto; el cual será reemplazado por la media ( $\bar{x}$ ) + 1, 2 o 3 desviaciones estándar ( $\sigma$ ) según corresponda.

**Figura 6**

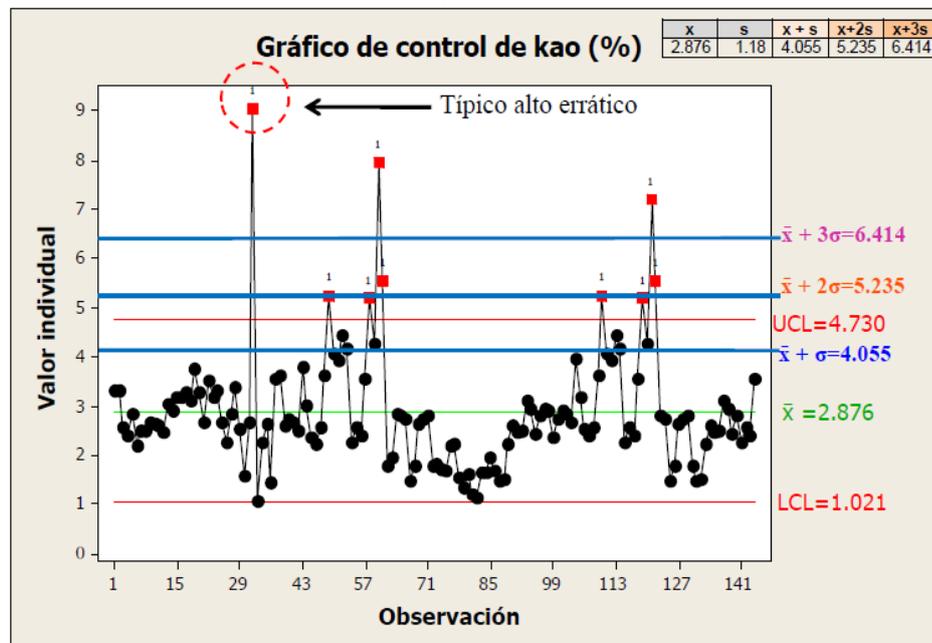
Creación de graficas de control en el Minitab.



Nota: En esta figura se observa el procedimiento para crear las gráficas de control en el Minitab 20, para cada uno de los elementos a estudiar.

**Figura 7**

Tablas de control con valores altos erráticos y valores altos.



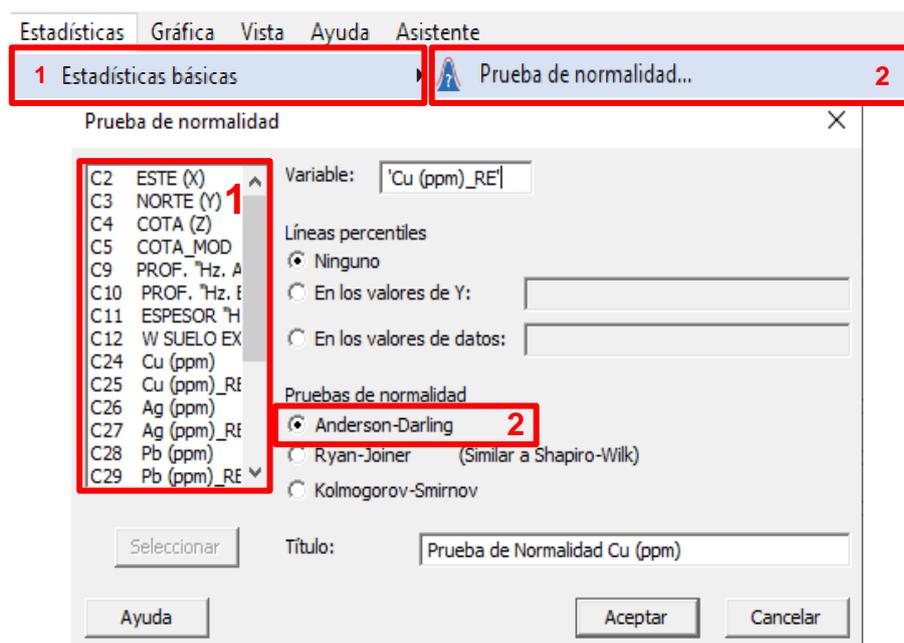
Nota: Ejemplo de grafica de control donde se identificará los valores altos erráticos, los cuales son valores anómalos muy distanciados; regularmente se ubican sobre  $\bar{x}+3\sigma$  de la población de datos y que gráficamente no tienen relación o tendencia preferente con los demás valores alto. Tomado de Canchaya (2012).

#### 2.4.3.2.1.4. Prueba de normalidad de los datos

Continuando con el procesamiento estadístico, lo ideal es que la población presente una distribución normal o gaussiana, por lo que, en el software estadístico Minitab comprobaremos esta condición realizando la prueba de normalidad con el test de Anderson – Darling. Para considerar que una población presenta una distribución normal, debemos verificar lo siguiente: el estadístico de AD, debe ser un valor bien pequeño, así mismo el valor-p debe ser mayor a 0.05 y por último la mayoría de datos deben ajustarse gráficamente a la línea de regresión, siendo esta última condición no indispensable; de no cumplirse con las dos primeras condiciones principalmente, se dirá que la población no presenta una distribución normal. Se usó el estadístico de AD puesto que este es considerado uno de los estadísticos más potentes para detectar discrepancia respecto a la normalidad de un conjunto de datos de bajo tamaño muestral (Pedrosa, Juarros-Basterretxea, Robles-Fernández, Basteiro, Y García-Cueto, 2014).

**Figura 8**

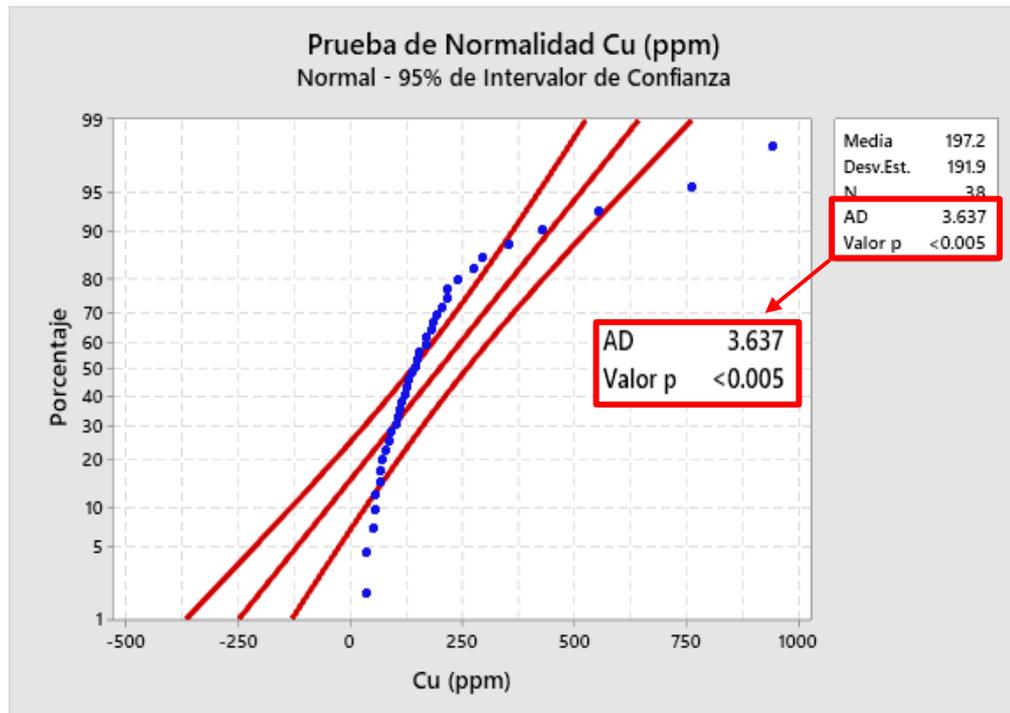
*Selección de prueba Normalidad de la población de datos – Estadístico AD.*



Nota: En esta figura se observa el procedimiento paso a paso para realizar la **prueba de normalidad** en el Minitab 20, usando al estadístico de Anderson – Darling.

**Figura 9**

*Prueba de normalidad según Anderson Darling (AD)*



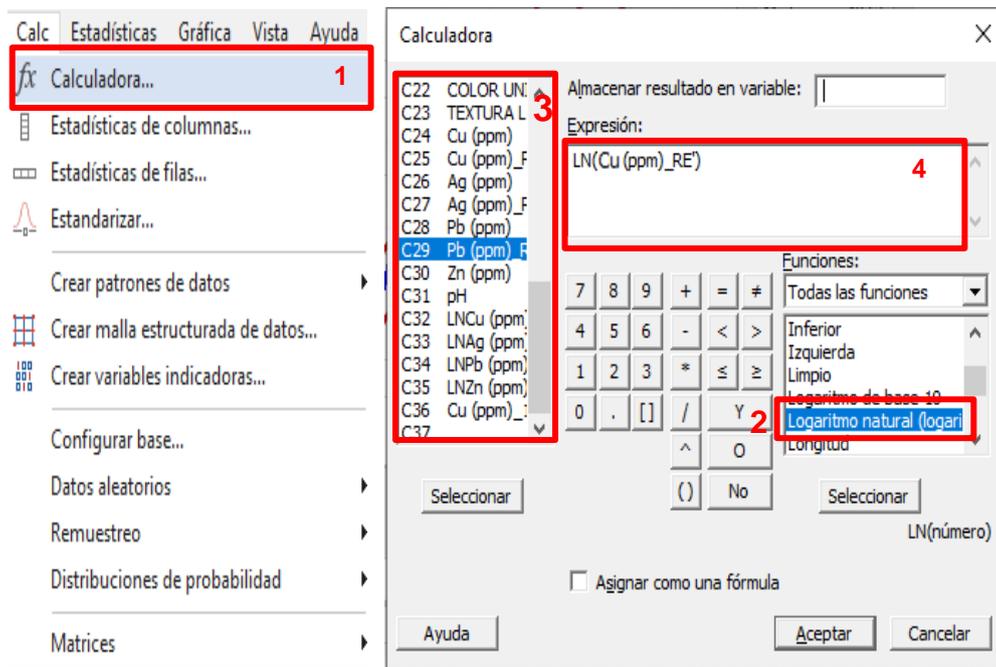
Nota: Para esta figura el parámetro de AD de la variable Cu es un valor elevado, además el valor-p es menor al 0.05 y también los datos (puntos azules) no se acomodan a la pendiente de regresión (línea roja); por ende, esta población **No posee una Distribución Normal**.

#### **2.4.3.2.1.5. Normalización de Datos con Logaritmo Natural (Ln):**

Para la población de datos que no tengan una distribución normal, se los transformará a una base de logaritmo natural (Ln), esta conversión es muy útil para los valores que presentan gran variación, puesto que comprime valores elevados y normaliza valores bajos, consiguiendo así una distribución normal o gaussiana en la población de datos. Luego para comprobar la efectividad de la transformación realizada y que la población de datos cumpla una distribución normal aplicaremos nuevamente la prueba de normalidad de Anderson-Darling respectivamente.

**Figura 10**

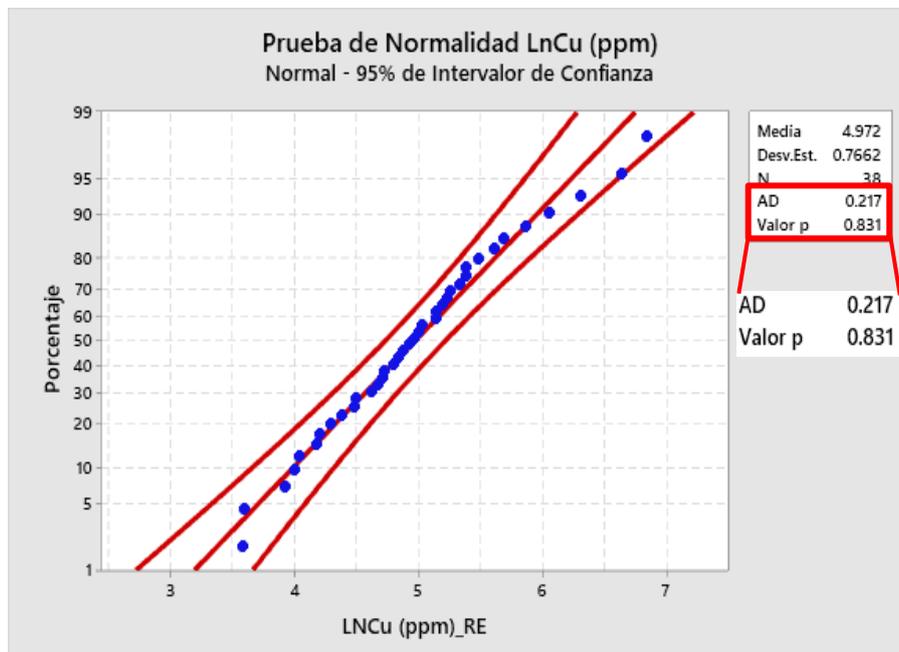
*Transformación de la población de datos a Logaritmo Natural.*



Nota: En esta figura observamos el procedimiento paso a paso para realizar la transformación de los datos de entrada a una base Logaritmo Natural (Ln).

**Figura 11**

*Prueba de normalidad de datos transformados a Logaritmo Natural.*



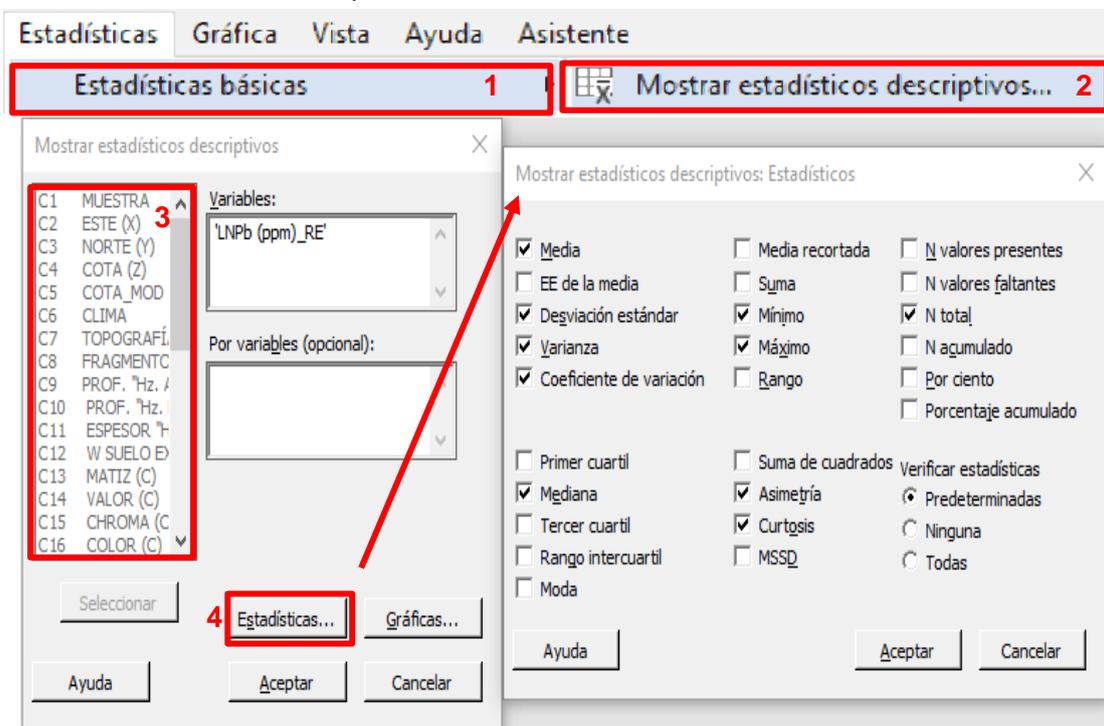
Nota: Observamos como después de haber transformado a Ln los valores de la variable Cu, el estadístico de AD ha disminuido considerablemente de igual manera el valor-p es mayor a 0.05, y gráficamente los datos (puntos azules) se alinean dentro de la pendiente de regresión (línea roja); esto quiere decir que los datos ya se acomodan a una **Distribución Normal**.

#### 2.4.3.2.1.6. Estadística Descriptiva Univariable:

Teniendo a los resultados de muestras con una distribución normal, calcularemos los estadísticos descriptivos para cada elemento analizado, como la **media, mediana, desviación estándar, varianza, asimetría, curtosis, coeficiente de variación**, así mismo, elaboraremos histogramas y diagramas de caja; todos estos parámetros nos ayudarán a conocer el comportamiento de la población de datos en nuestra área de estudio.

**Figura 12**

*Cálculo de estadísticos descriptivos univariados.*



Nota: En esta figura se observa el procedimiento para calcular los estadísticos descriptivos univariados, escogiendo la variable a trabajar (elemento metálico) seleccionando los estadísticos de interés.

#### 2.4.3.2.1.7. Estadística Descriptiva Bivariable o Correlacional:

Algunos trabajos geológicos requieren conocer y modelar como son las relaciones entre variables que son medidas en una misma unidad experimental, es decir como es el patrón de variación conjunta, para ello se utiliza la correlación, esta es una

técnica exploratoria usada para examinar si los valores de las variables cambian simultáneamente en forma constante. Cuando dos variables están relacionadas o asociadas varían en forma conjunta, si el valor de una aumenta el de la otra crece o decrece de manera permanente. Por otra parte, si las dos variables están funcionalmente relacionadas no sólo varían simultáneamente, sino que el valor de una de ellas permite predecir el valor de la otra (Alperin, 2013 p.125). En el análisis de datos existen tres métodos ampliamente utilizados para determinar la correlación entre variables. Estos coeficientes son: el de Pearson, Spearman y Kendall; pero su estimación va a depender de la naturaleza de las variables utilizada, si es cualitativa o cuantitativa.

**Correlación Kendall:** Se utiliza para medir la relación entre variables cualitativas de tipo ordinal se debe utiliza el **coeficiente de correlación de rangos de Kendall**, denominado  $\tau$  (tau) de Kendall, además su aplicación tiene sentido si las variables objeto de estudio no poseen una distribución poblacional conjunta normal (Morales y Rodríguez, 2016, p.5).

**Correlación Spearman:** El coeficiente de correlación de Spearman es recomendable utilizarlo cuando los datos presentan valores extremos, ya que dichos valores afectan mucho el coeficiente de correlación de Pearson, o ante distribuciones no normales. No está afectada por los cambios en las unidades de medida. (Martínez, Tuya, Martínez, Pérez Y Cánovas, 2009, p.5).

**Correlación Pearson:** El coeficiente de correlación de Pearson, también conocido como coeficiente de correlación producto - momento, es una medida de la relación lineal entre dos variables. Las variables deben ser medidas en escalas de intervalo o

de razón y deben provenir de poblaciones normalmente distribuidas. (Alperin, 2013 p.126).

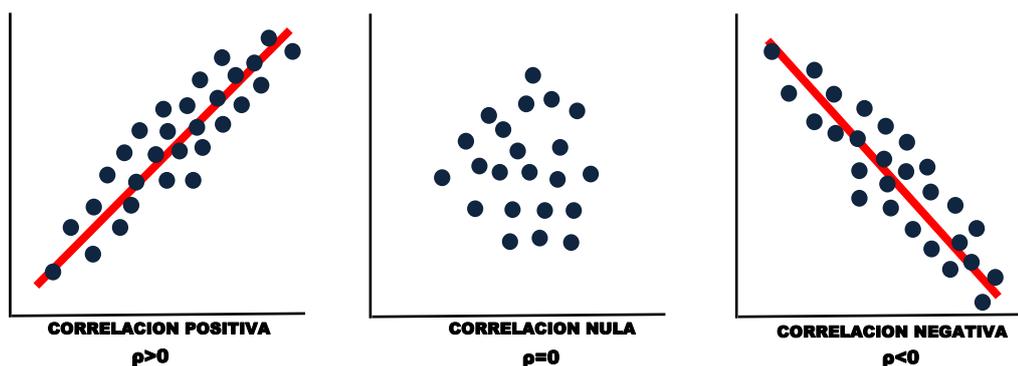
### Significado de coeficiente de correlación

**Fuerza** El valor del coeficiente de correlación puede variar de -1 a 1 mientras mayor sea el valor absoluto del coeficiente, más fuerte será la relación entre las variables

**Dirección** El signo del coeficiente indica la dirección de la relación si ambas variables tienden a aumentar o disminuir a la vez, el coeficiente es positivo y la línea que representa la correlación forma una pendiente hacia arriba (Rivasplata, 2020).

**Figura 13**

*Tipos de Correlación Bivariar Pearson*



Nota: En esta figura observamos los 3 tipos de correlación de Pearson existentes, la correlación positiva, nula y negativa.

**Tabla 2**

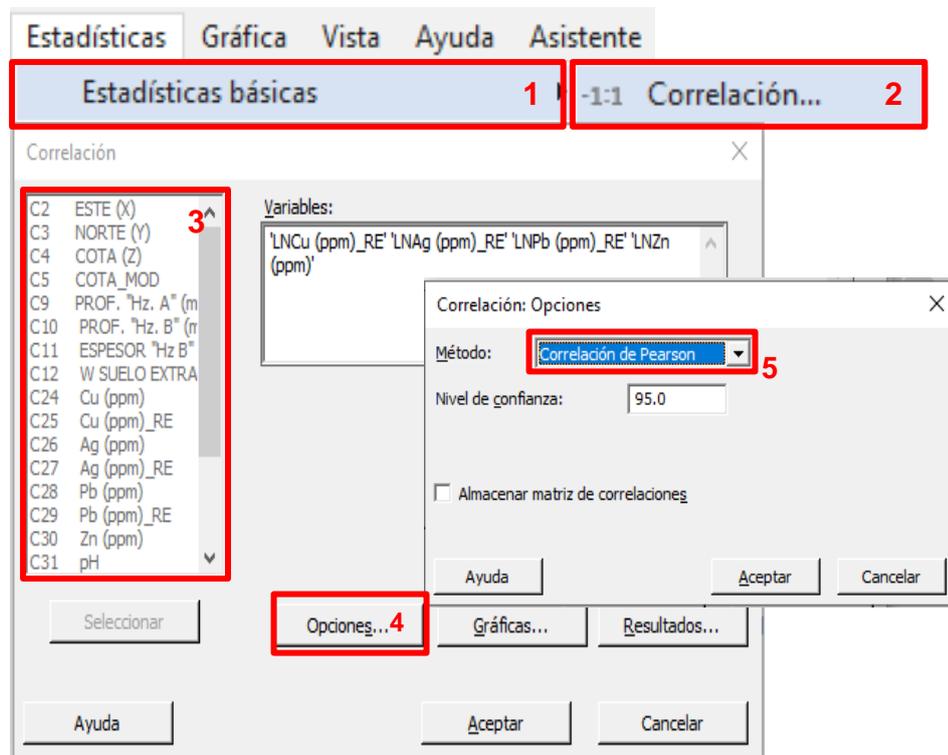
*Rangos de correlación positiva y negativa bivariar.*

VALOR POSITIVO	VALOR NEGATIVO	CORRELACIÓN
0.01 – 0.29	-0.01 a -0.29	BAJA CORRELACIÓN
0.30 – 0.49	-0.30 a -0.49	MEDIANA CORRELACIÓN
0.50 – 0.69	-0.50 a -0.69	BUENA CORRELACIÓN
0.70 – 1.00	-0.70 a -1.00	MUY BUENA CORRELACIÓN

Nota: En esta tabla se observa los rangos de correlación Pearson a usar en la investigación, estos valores pertenecen a la correlación positiva y negativa. Tomado de Rivasplata (2012) Y Hernández, et al. (2018).

**Figura 14**

Procedimiento para elaborar la matriz de correlación bivariante Pearson



Nota: En esta figura se observa el procedimiento para calcular la matriz de correlación Pearson entre todas las variables cuantitativas a trabajar, con un 95% de nivel de confianza.

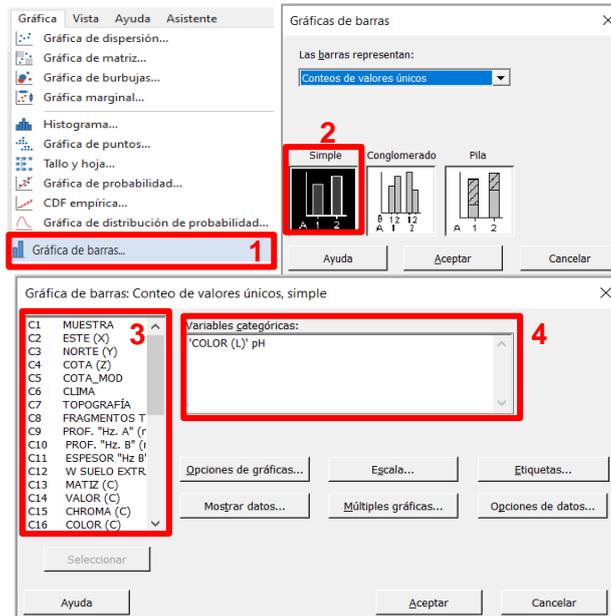
## 2.4.3.2.2. Caracterización de los parámetros físico químicos:

### 2.4.3.2.2.1. Color y pH

Para categorizar los parámetros físico - químicos de Color y el pH de cada muestra, usaremos los resultados del análisis con las cartillas de suelo Munsell y los del ensayo de pH en el laboratorio químico respectivamente, primero se realizará el conteo de estos a través de un gráfico de barras, posteriormente serán caracterizados estadísticamente a través del diagrama de caja, el cual se vinculará con el contenido metálico (ppm) de cada muestra para cada uno de los metales analizados (Cu, Ag, Pb y Zn).

**Figura 15**

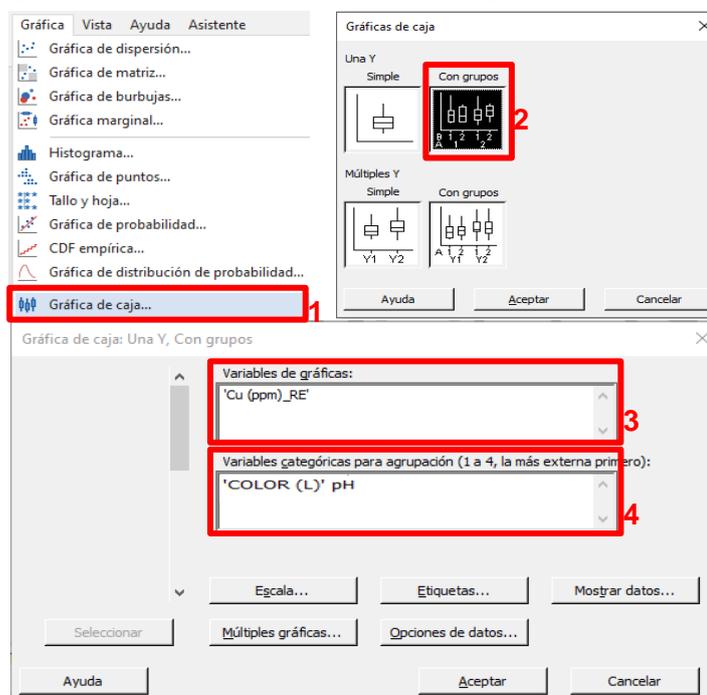
*Procedimiento del conteo de valores del Color y pH*



Nota: Para conocer la distribución de los parámetros físico-químicos en población de datos, realizaremos un conteo a través del diagrama de barras.

**Figura 16**

*Procedimiento categorizar el color de la muestra en diagramas de caja.*



Nota: Los parámetros físicos químicos (variables categóricas) se categorizarán estadísticamente con los diagramas de caja, los cuales están vinculados al contenido metálico (variables gráficas) para cada elemento.

### 2.4.3.2.3. Parámetros Geoquímicos:

Para este estudio, consideraremos al Background, Threshold y Anomalías como parámetros geoquímicos principales, estos nos ayudarán a sectorizar espacialmente los datos de la población para cada elemento químico, en base a contenido metálico (ppm).

#### Valores de Fondo o Background

La concentración de fondo para un elemento, es considerada como el intervalo normal de concentración para un elemento en un área, ambiente o tipo de material y es variable, puesto que la distribución de un elemento en cualquier material geológico no es uniforme (Hawkes y Webb, 1962). Para este estudio consideraremos al Background como el promedio geométrico de la población de muestras (Calcina, 2008); debido a que este no se deja influenciar por valores altos y bajos que pueda tener la población, por ello es el indicado para estimar el valor de fondo.

$$G = \sqrt[N]{X_1 * X_2 * X_3 \dots X_N} \quad \text{Log } G = \frac{\text{Log } x_1 * \text{Log } x_2 * \text{Log } x_3 \dots \text{Log } x_N}{N}$$

#### Valor Umbral O Threshold

El “umbral” o “Threshold” lo definiremos como los límites de fluctuación local y regional del valor normal, siendo este el límite superior de la fluctuación del valor de fondo (Background) (Rivera, 2007). Estadísticamente lo determinaremos con la siguiente formula:

$$\text{Threshold} = \text{Media geométrica } (\bar{x}) + 2 \text{ veces la desviación estándar } (\sigma).$$

#### Anomalía

La definición de anomalía geoquímica en relación a uno o varios elementos, implica más que solo un conjunto de valores inusuales, que pueden ser bajos o altos, en

cuanto a la concentración de un elemento o varios elementos, con respecto al valor de fondo ( $\bar{x}$ ) (Levinson, 1974). En este estudio se considerará como anomalía geoquímica, al valor por encima del Threshold ( $\bar{x}+2\sigma$ ). Las anomalías relacionadas a la mineralización y que pueden por lo tanto ser usados como guía en la prospección son denominadas anomalías significativas y las anomalías que no están relacionadas a mineralización son conocidas como anomalías no significativas (Pérez, 2015, p.14).

**Tabla 3**

*Clasificación de Anomalías.*

Tipo	Descripción
<b>Fluctuación de Fondo</b>	Valores sobre el Background hasta ( $\bar{x}+\sigma$ ), son valores fluctuantes con respecto al valor de fondo normal
<b>Anomalía posible</b>	Valores comprendidos entre ( $\bar{x}+\sigma$ ) y el umbral Threshold ( $\bar{x}+2\sigma$ ), son valores desviados de un valor de fondo, no considerados como anomalía no significativa.
<b>Anomalía probable</b>	Valores comprendidos entre el Threshold ( $\bar{x} +2\sigma$ ) y ( $\bar{x}+3\sigma$ ). Son valores que ya se empiezan a considerar anómalos y que se deben tener en cuenta.
<b>Anomalía cierta</b>	Valores que sobrepasan el ( $\bar{x}+3\sigma$ ), naturalmente son valores que necesariamente se tienen que considerar al momento de buscar mineralización.

Nota: Observamos la clasificación del Background y Anomalías, agrupadas en rangos con base a media ( $\bar{x}$ ) y la desviación estándar ( $\sigma$ ). Tomado y modificado de Pérez (2015).

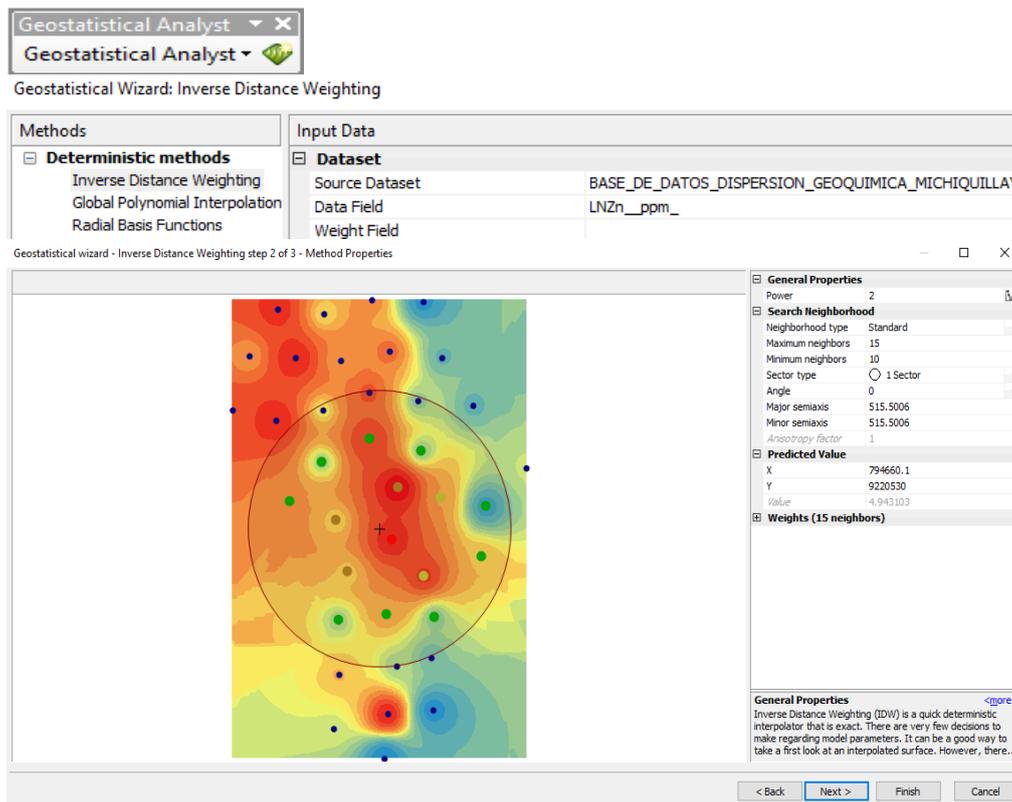
#### **2.4.3.2.4. Elaboración de Planos Geoquímicos en GIS**

Teniendo la información acerca de la estadística descriptiva univariable, bivivariable, los parámetros geoquímicos, solo nos queda representar toda esta información en mapas geoquímicos, para ello utilizaremos al software ArcGIS 10.7.1, donde elaboraremos mapas de contornos y mapas de dispersión (interpolación de IDW inverso a la distancia), estos son los mejores representantes de valores geoquímicos,

así mismo son un método eficaz para la interpretación y significado de los datos (Spadoni, Cavarreta, y Patera, 2004, p.593-597).

**Figura 17**

*Creación de mapas de dispersión - interpolación IDW ArcGIS.*



Nota: La ponderación de distancia inversa (IDW) es un interpolador determinista rápido que es exacto. Hay muy pocas decisiones que tomar con respecto a los parámetros del modelo. Puede ser una buena forma de echar un primer vistazo a una superficie interpolada. Sin embargo, no hay una evaluación de los errores de predicción, y IDW puede producir "ojos de buey" alrededor de las ubicaciones de los datos. No se requieren suposiciones de los datos. Figura Tomada de ArcGIS (2016).

## 2.5. Aspectos Generales

### 2.5.1. Ubicación

La zona de estudio se encuentra ubicada aproximadamente a 48 km al Nor-Este de la ciudad de Cajamarca, con elevaciones que fluctúan entre los 3000 y los 3800 msnm. Pertenece al Paraje de Michiquillay, distrito de La Encañada; provincia y departamento de Cajamarca, respectivamente. (Anexo 8).

**Tabla 4**

*Tabla de coordenadas del área de estudio.*

PUNTOS	COORDENADAS ESTE	COORDENADAS NORTE
P – 1	792 500	9 220 000
P – 2	792 500	9 225 000
P – 3	797 500	9 220 500
P – 4	797 500	9 220 500

Nota: En esta tabla se observa las coordenadas de 4 puntos referenciales del área de estudio.

### 2.5.2. Accesibilidad.

El acceso principal es únicamente por vía terrestre a través de una carretera asfaltada y una trocha carrozable, el tiempo total de viaje es aproximadamente 02 horas, en vehículo menor (camioneta). (Anexo 8).

**Tabla 5**

*Tabla de accesibilidad y tiempo de tramo.*

Destinos	Km	Tiempo
Carretera asfaltada	44	1h45min
Cajamarca – Desvío Michiquillay		
Desvío Michiquillay – Ex campamento	4	15 min
Michiquillay		

Nota: En esta tabla mostramos el recorrido por trayectos hacia la zona de estudio, el tiempo de viaje y la distancia en kilómetros.

### 2.5.3. Clima y Vegetación.

La zona de estudio, presenta un clima frío, debido a la rarefacción atmosférica ocasionada por la altura. Por lo general las temperaturas son bajas con variaciones muy marcadas entre las temperaturas diurnas y nocturnas. El clima más extenso es el lluvioso con deficiencias de humedad en otoño e invierno y templado, B(o,i)B'. Desde el punto de vista hídrico existe el clima lluvioso y frío, con humedad en todas las estaciones del año, B(r)C. (Castro, et al., 2021, p.51-53). La zona se caracteriza

por la presencia de suelos moderadamente desarrollados, de características favorables para la instalación de cultivos propios de la zona, pero en su mayor extensión conducidos al secano. Los cultivos agrícolas por razones de parcelación de la propiedad, variabilidad y fisiografía heterogénea de la zona, en su gran porcentaje se encuentran asociados a pastos y vegetación arbustiva (Eucalipto, pinos, vegetación silvestre, etc.) (Alcántara, 2011, p.19-20).

### Figura 18

*Vegetación de zona de estudio.*



Nota: La zona de estudio presenta un relieve entre vertientes montañosas y planicies cubiertas por vegetación silvestre y arbustiva, además, presentan zonas aptas para trabajos de agricultura.

### 2.6. Aspectos Éticos

En el presente estudio consideramos como aspectos éticos el respeto hacia cada uno de los comuneros involucrados en el mismo, como también la información detallada en esta investigación es objetiva y veraz, además, todos los conceptos e información bibliográfica han sido correctamente referenciados, garantizando los derechos de autor de los mismos.

## CAPÍTULO III. RESULTADOS

### 3.1. Geología Local del depósito

#### 3.1.1. Unidades Litoestratigráficas y Rocas Ígneas:

En el área del yacimiento y alrededores aflora una potente secuencia de sedimentos cretáceos la cual muestra cambios notables en el ambiente de deposición desde continentales a litorales o marinas esa secuencia muestra plegamientos repetitivos con una orientación regional de sus ejes en la dirección noroeste sureste. (Samamé, 1981, p.147-154).

##### 3.1.1.1. Cenozoico

###### 3.1.1.1.1. Cuaternario Pleistoceno - Holoceno

En el área de estudio principalmente como cobertura cuaternaria (Pleistoceno - Holoceno) se presentan depósitos fluvio-glaciares para las zonas más elevadas y aluviales en las faldas de cerros y laderas de valles, respectivamente. Los depósitos fluvio-glaciares constituidos por material fino areno-arcilloso en cambio los aluviales constituidos por gravas en matriz areno-arcillosa (Reyes, 1980, p.40-41).

###### 3.1.1.1.2. Neógeno – Mioceno

Dentro de este Periodo tenemos al cuerpo ígneo subvolcánico principal, el Pórfido de Michiquillay (19.77 ~ 0.05 Ma). Según los testigos de perforación se reconocen al menos dos fases intrusivas importantes, donde la litología más común es una Diorita Porfídica de grano medio, con fenocristales de plagioclasa, biotita y hornblenda; los fenocristales de cuarzo son redondeados, tienen poca abundancia y se ubican en zonas localizadas, la plagioclasa se presenta en fenocristales euhedrales ( $An_{42-52}$ ) de 3 a 5 mm, siendo este el mineral más abundante, los fenocristales euhedrales de biotita varían de 0.5 a 8 mm y contienen inclusiones menores de feldespato potásico, por último los fenocristales de hornblenda son aciculares 0.3 a 1

cm. Se producen ligeras variaciones de tamaño de grano y la abundancia del mineral en todo el intrusivo (Davies, 2002). Hollister y Sirvas (1974) se refirieron a esto como una Monzonita de biotita de cuarzo. Sin embargo, la evidencia petrográfica indica que los fenocristales de feldespato primario son plagioclasa y los granos de hornblenda primarios han sido reemplazados por biotita secundaria. Por lo tanto, se sugiere que esta unidad intrusiva se clasifique como Pórfido Diorítico de biotita-hornblenda.

### Figura 19

Intrusivo Yanaquero - Pórfido Diorítico.



Nota: Con vista al NE se aprecia el Intrusivo denominado “Yanaquero”, este es un Pórfido Diorítico de grano fino con edad  $19.77 \sim 0.05$  Ma.

### 3.1.1.2. Mesozoico

#### 3.1.1.2.1. Cretáceo Inferior:

El área de estudio se encuentra bordeando al intrusivo Michiquillay, el cual esta alojado entre unidades de cuarcita al norte del grupo Goyllarisquizga (Ki-g) descrito

por cuarcitas blancas masivas y areniscas generalmente de grano medio y color blanquecino, en la parte inferior, con intercalaciones delgadas de lutitas marrones y grises en la parte superior, por el sur se encuentran unidades de roca caliza la formación Chúlec – Pariambo (Ki-Chu-pt) indiviso, donde se describe a una secuencia de lutitas calcáreas, margas amarillentas y lechos de calizas que presentan color pardo por intemperismo (Davies, 2002 Y Reyes, 1980).

### Figura 20

*Calizas aflorando en corte de carretera*



Nota: Con vista al E se aprecia las rocas sedimentarias químicas aflorantes en el corte de carretera, se trataría de la formación Chúlec, la cual se caracteriza por ser una caliza de color beige con potentes paquetes de 70cm aproximadamente intercalado con margas amarillentas, además se aprecia la presencia de fósiles característicos.

**Figura 21**

*Calizas aflorando cerca de puntos de muestreo*



Nota: Con vista al Norte, se aprecia las rocas sedimentarias químicas aflorantes a 20 metros del punto muestreado MS-03, por las características que presentan sería la formación Chúlec, con dirección  $130^{\circ}/30^{\circ}$ .

## Figura 22

### *Fósiles dentro de la litología sedimentaria*



Nota: Con vista en planta, se observa un fósil (Bivalvo) en el macizo rocoso sedimentario aflorante (Caliza Fm-Chúlec) de aproximadamente 5 cm, característico de la formación.

### 3.1.2. Geología Estructural

En la interpretación estructural Davies (2002), describe al complejo intrusivo de Michiquillay está ubicado en bloque techo de una falla inversa con tendencia al NO. La falla tiene un buzamiento de  $\sim 60^\circ$  hacia el NE, esta se la conoce como la **Falla Michiquillay** (Hollister y Sirvas, 1974 Y Metal Mining Agency, 1975). Se caracteriza por contener una brecha de matriz soportada, con fragmentos de cuarcita y caliza, aunque no se observaron fragmentos intrusivos.

La falla de Michiquillay no se interceptó en los taladros de perforación de perforación, sin embargo, en la zona sur del depósito, la repetición de las existencias y el cambio de la alteración potásica a la fílica hacia el fondo de algunos barrenos se interpreta para indicar que la falla Michiquillay está cerca.

A nivel depósito local, las fallas a escala prospectiva oblicuas cruzan el depósito de pórfido y fueron previamente mapeadas por MMA (1975). Estas ocurren predominantemente hacia el centro del depósito y son reconocibles en el afloramiento por un aumento en la densidad de fractura hacia la parte central de la zona de falla, son subverticales con direcciones de NNO o al NNE y separan las zonas de alteración potásica en el NE y SO del complejo, además, definen el límite exterior de una zona de alteración fílica fuerte.

Se observó un aumento en la densidad del stockwork a lo largo de estos planos de falla, las fallas con dirección NNO son dominantes en el depósito y se deduce que han influido fuertemente tanto en la alteración como en la mineralización.

### Figura 23

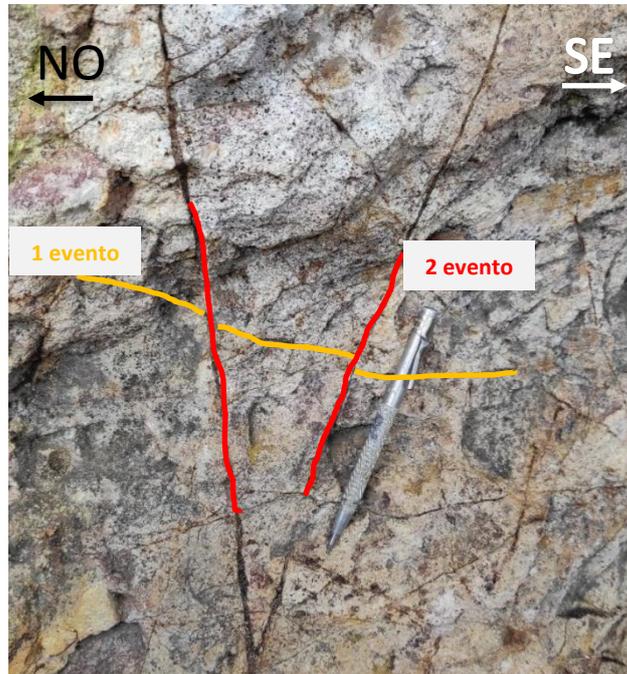
*Stockwork en alteración Argílica.*



Nota: Con vista al O se observa el intrusivo Porfirítico, cortado por vetillas stockwork, la alteración presente es Argílica, con predominancias de arcillas (caolinita); las vetillas van desde 0.5 cm a 2 cm con patrones conjugados de direcciones N290, N75 respectivamente, rellenas por OxFe con predominancia de goethita en menor proporción Hematita-Limonita.

**Figura 24**

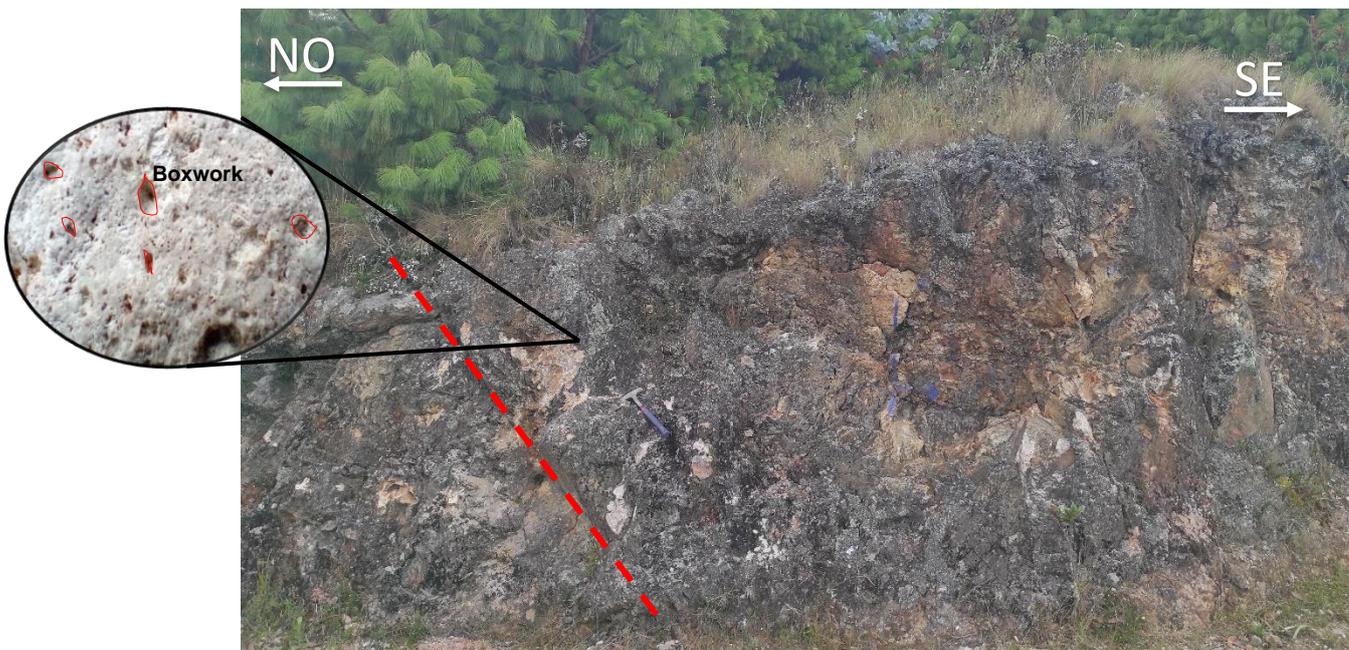
*Stockwork en Pórfido Diorítico con relaciones de corte*



Nota: Con vista al NE se aprecia el Stockwork en el intrusivo Porfírico, las vetillas varían entre 0.5 a 1cm de espesor, con persistencia de 45 cm a más, de igual modo están rellenas por OxFe (Goethita), se puede apreciar la relación de corte, donde el 1 evento facturamiento (sub horizontales) están cortándose por el 2 evento facturamiento (verticales).

**Figura 25**

*Falla local en el Pórfido Diorítico*



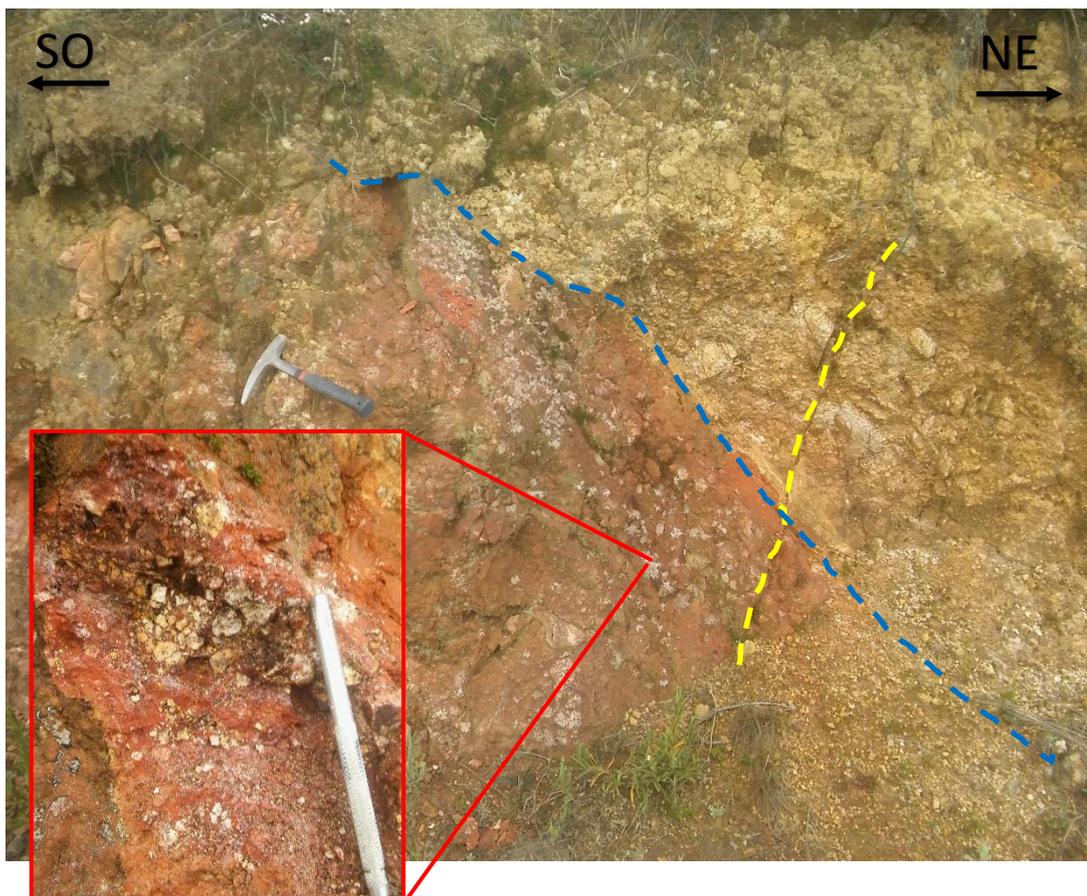
Nota: Con vista al NE observamos una falla local 204/43 en el intrusivo Porfírico, acompañado de estructuras tipo stockwork, con destrucción parcial de las plagioclasas y moldes de boxwork.

### 3.1.3. Brechas

Las brechas ubicadas en el cartografiado local del intrusivo Yanaquero, se reconocen por ser cuerpos tabulares, son de origen Hidrotermal, post intrusión, debido a que los clastos predominantes son de roca porfirítica de grano fino, estos cuerpos tienen una tendencia NO-SE y NE-SO y se aprecia que los eventos de brechamiento tienen relación, o mejor dicho ha surgido coetáneamente, puesto que, en las muestras de mano, presentan similitud entre sí. Existe la posibilidad que estas posean un mayor tenor mineralizado.

**Figura 26**

*Brecha Hidrotermal en cuerpo tabular sub horizontal*



Nota: Con vista al NO observamos la roca totalmente obliterada, con predominancia de arcillas y OxFe Hematita – Limonita, claramente se aprecia un cuerpo de brecha hidrotermal tabular sub horizontal de 0.5m aproximadamente, posiblemente esta aprovechó la debilidad estructural (posible falla) para emplazarse.

**Figura 27**

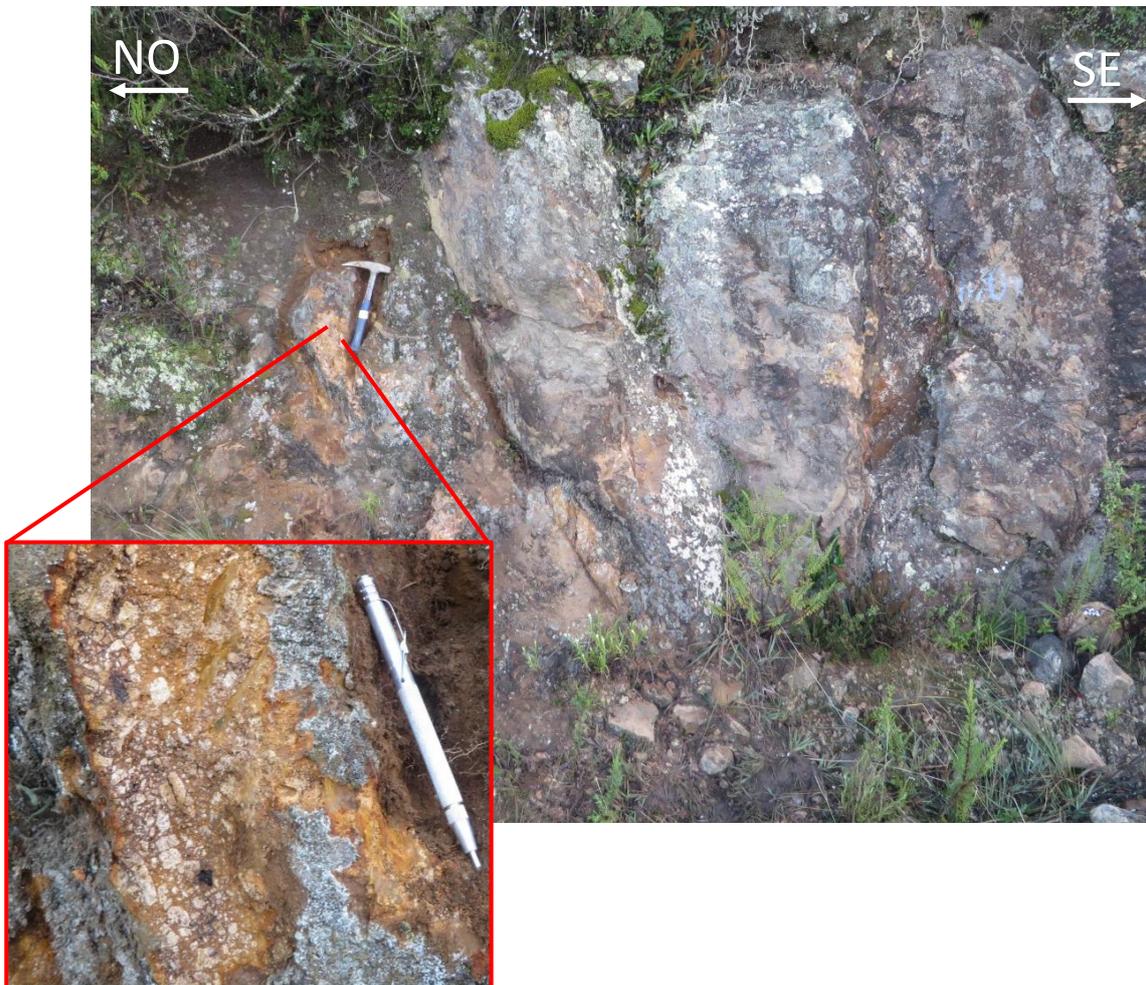
*Brecha Hidrotermal en cuerpo tabular horizontal*



Nota: Con vista al NE observamos una brecha hidrotermal sub horizontal (350°/18°) en la roca obliterada (arcillas), con presencia de OxFe Limonita – Hematita en abundancia.

**Figura 28**

*Brecha hidrotermal en cuerpo tabular*



Nota: Con vista al NE se observa un afloramiento con un cuerpo tabular de brecha Hidrotermal, el espesor aproximado es de 1.5m, la brecha clastos (intrusivo) soportados, con cemento de OxFe (Limonita - Hematita).

### 3.1.4. Alteración y Mineralización

La alteración potásica es más fuerte en las partes noreste y suroeste de la perspectiva, pero se extiende solo unos pocos metros en la roca caja. Las expresiones superficiales de las zonas de alteración potásica tienen una tendencia NE. Esta alteración se caracteriza por la sustitución de plagioclasa por k-feldespato y la precipitación de biotita hidrotermal de grano fino que está fuertemente desarrollada en la zona suroeste. La zona noreste existe una moderada biotización, pero una fuerte alteración de cuarzo – feldespato. A pesar de estas ligeras variaciones, las zonas suroeste y

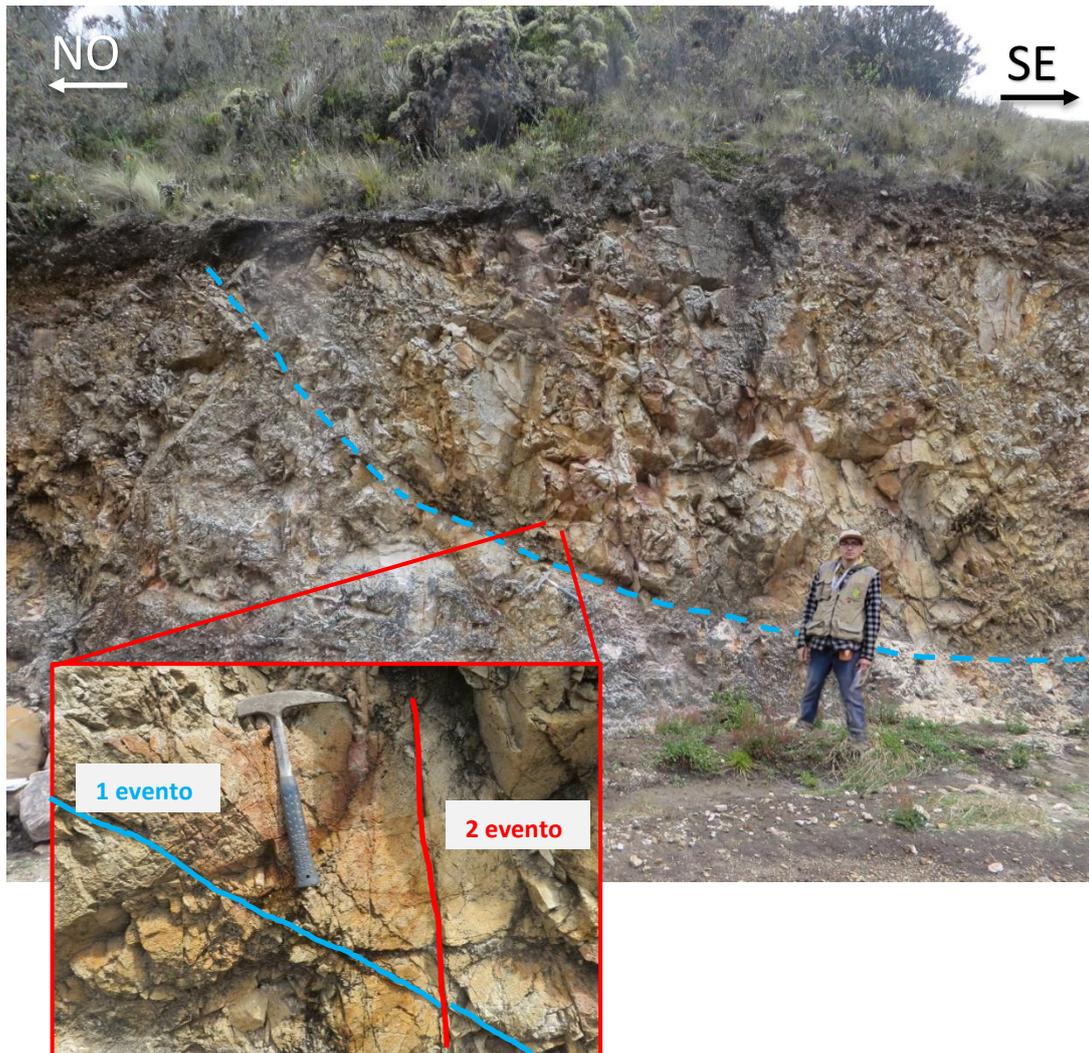
noreste muestran estilos de alteración muy similares. Las vetillas asociadas con la alteración potásica incluyen magnetita temprana (1-2 mm) y vetillas de biotita que son atravesadas por vetillas de cuarzo. Los sulfuros hipógenos asociados con la alteración potásica incluyen Calcopirita, Molibdenita, Pirita y Bornita en menor proporción. Estos minerales se encuentran como relleno en las venas y fracturas, así como diseminados en la masa microcristalina. Según los resultados del registro y los datos de ensayo correspondientes los grados promedio de hipógeno para estas zonas son aproximadamente 0.14 g / t de Au y 0.8% de Cu. Las zonas de alteración del complejo ocupan zonas de alteración intensas de cuarzo, moscovita y pirita (Fílicas) y caolinita tardía (Argílicas). Las vetillas de cuarzo-pirita con halo de moscovita / illita se observan en todo el complejo intrusivo y cruzan todas las venillas. La alteración fílica intensa ha sobreimpresionado destructivamente texturas más antiguas. Sin embargo, la intensidad de la alteración cuarzo-moscovita se debilita hacia los bordes del núcleo donde ha reemplazado parcialmente las rocas con alteración potásica. Como se mencionó anteriormente, se infiere que las fallas con dirección NNO han controlado la distribución de estos conjuntos de alteración. Los sulfuros precipitados durante esta alteración incluyen grandes cantidades de pirita, más molibdenita menor y calcopirita, en otros estudios también identificó enargita, luzonita y tetrahedrita-tennantita dentro de las partes centrales superiores de la zona de alteración fílica. Los grados de Au y Cu en esta zona (0.08 g / t de Au y 0.57% Cu) son más bajos que en las zonas de alteración potásica (Davies, 2002).

En la parte central y el borde de la zona cuarzo sericita (alteración Fílica), se encuentra afectado por la alteración argílica, la cual puede ser difícilmente separada en una zona aislada, debido a su irregularidad y discontinuidad, la mayor parte de las

arcillas se encuentran relacionadas a las fallas locales existente, el mineral predominante es la caolinita (Samamé, 1981, p.153).

**Figura 29**

*Afloramiento de la alteración Fílica.*



Nota: Con vista al N observamos al macizo rocoso, completamente alterado, la alteración que presente es la Fílica, característico por presentar vetillas de Qz-sericita, y sin presencia de ferromagnesianos, predominan las fracturas son sub horizontales (20° aproximadamente), como también sub verticales (75°), igual que en el stockwork observamos relación de corte entre ambas. Así mismo una estructura sub vertical (falla) generando zona de daño (parte inferior de la foto).

**Figura 30**

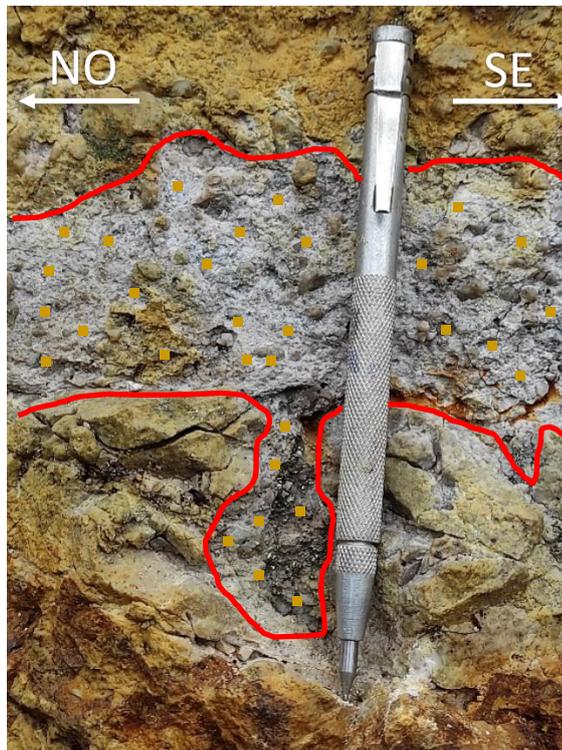
*Afloramiento de la alteración Argílica*



Nota: Con vista al N la roca intrusiva deleznable alterada a arcillas, con una menor intensidad de stockwork.

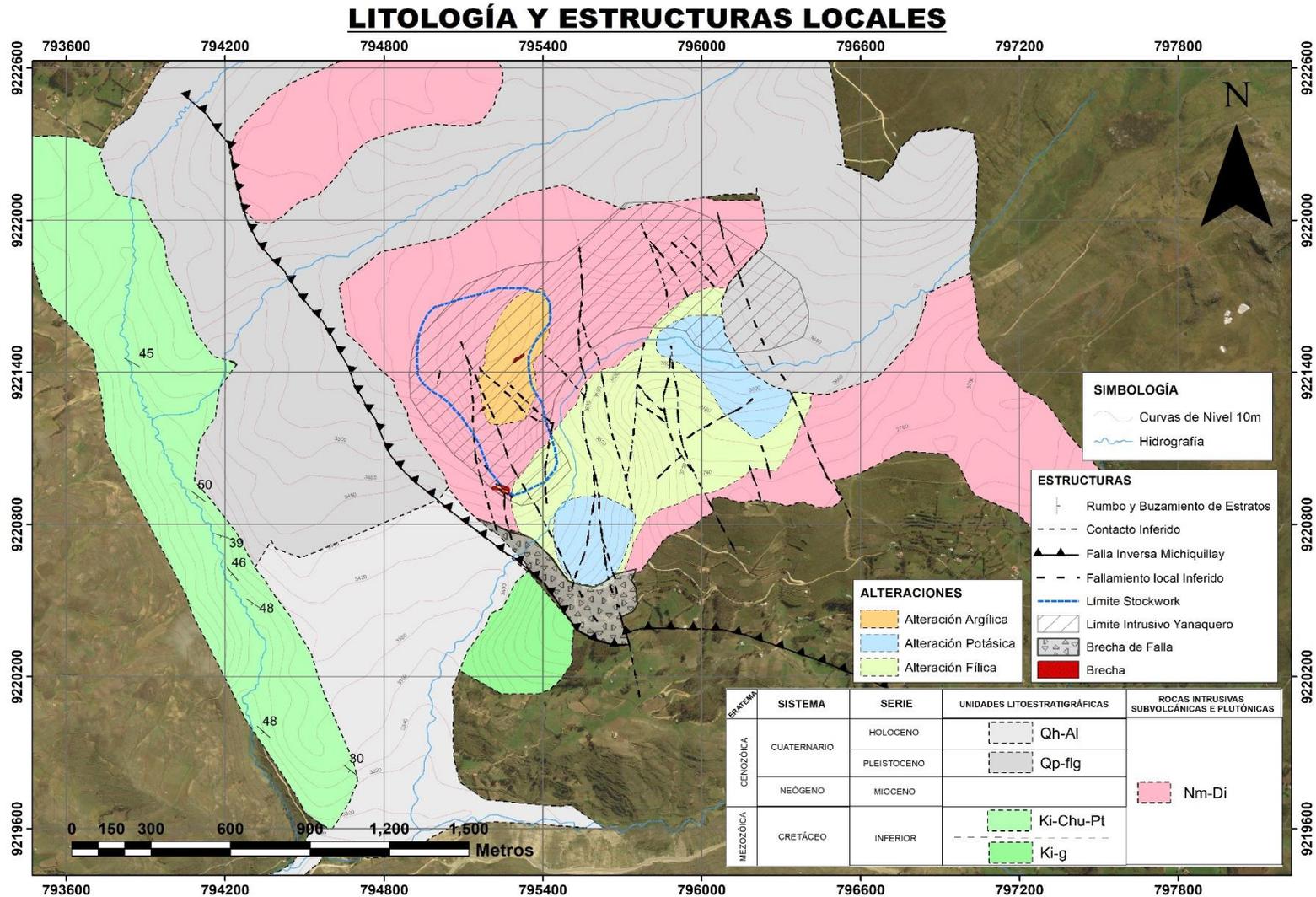
**Figura 31**

*Afloramiento de la alteración Argílica*



Nota: Con vista al SW se aprecia la textura de la roca totalmente destruida por la alteración argílica, en muestra de mano se observa pequeños cristales de pirita ( $\text{FeS}_2$ ), con olor característico a sulfuros.

**Figura 32**  
*Mapa litológico – estructural*



Nota: Mapa de geología y estructuras presentes en el área, producto de la combinación de información cartográfica existente (Davies, (2002) y Minero Perú (1993)) e información actual recolectada en el estudio.

### 3.2.Muestras Superficiales Representativas

**Tabla 6**

*Muestra del Pórfido Diorítico*

<b>ESTUDIO MACROSCÓPICO</b>	
<b>Muestra:</b>	MiY - 01
<b>Clasificación:</b>	Pórfido Diorítico.
<b>Textura:</b>	Porfirítica de grano fino
<b>Color:</b>	Blanquecino



Nota: La muestra presenta un color blanquecino, con vetillas de 1mm rellenas por OxFe (Limonita. Hematita), los moldes de fenocristales de plagioclasas fueron reemplazados por arcillas y Qz, los boxwork de biotita fueron rellenos con OxFe.

**Tabla 7**

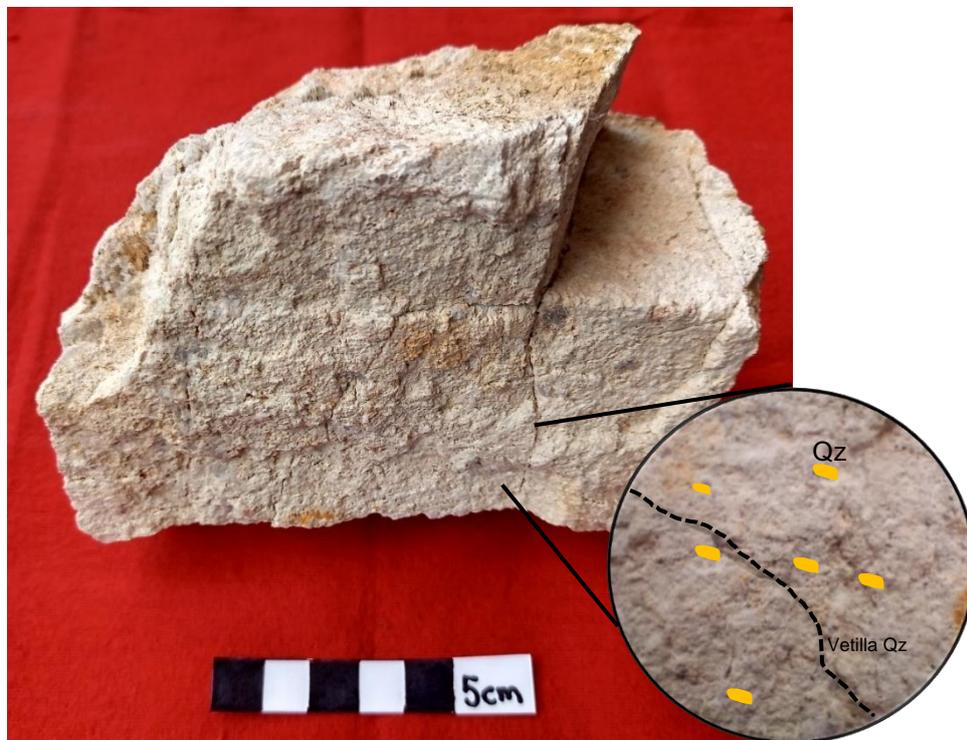
*Muestra del pórfido de Diorítico con alteración Fílica.*

---

**ESTUDIO MACROSCÓPICO**

---

<b>Muestra:</b>	MiY-002
<b>Clasificación:</b>	Pórfido Diorítico.
<b>Textura:</b>	Porfirítica de grano fino
<b>Color:</b>	Blanquecino




---

Nota: En la muestra procedente de la alteración fílica con fenocristales de Qz, los minerales primarios completamente rellenado con sericita y alunita, con cristales de pirita diseminada menores a 1mm. Así mismo se observa la presencia de vetillas de Qz con relación de corte.

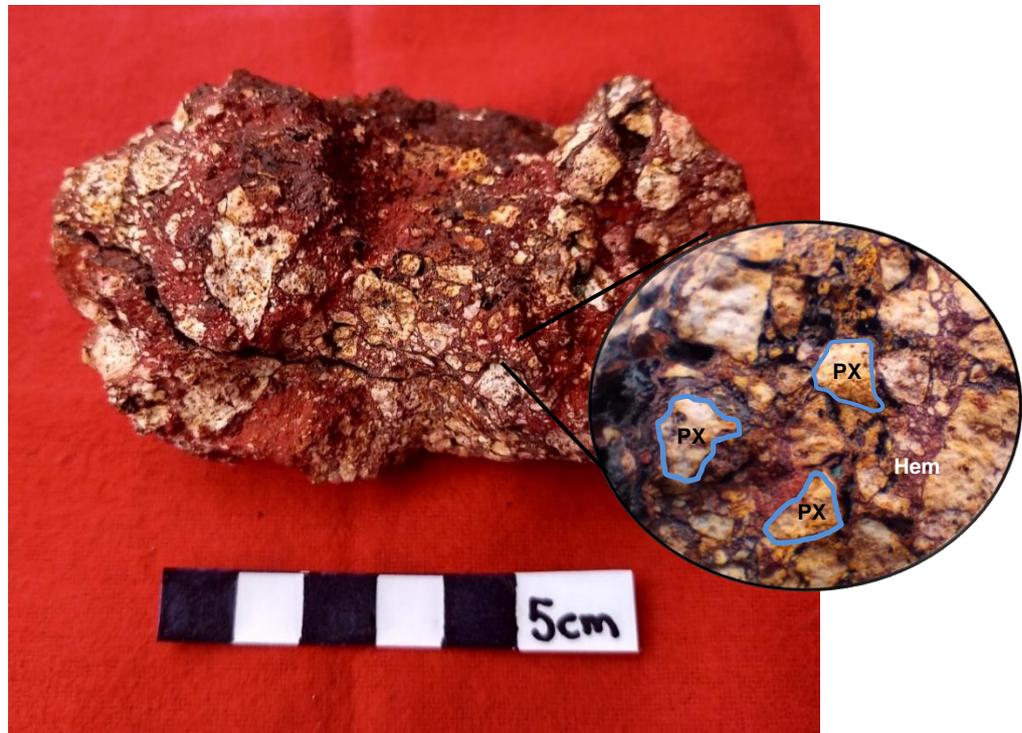
**Tabla 8**

*Muestra de brecha hidrotermal.*

---

<b>ESTUDIO MACROSCÓPICO</b>	
<b>Numero de Muestra:</b>	MiY-003
<b>Clasificación:</b>	Brecha hidrotermal
<b>Color:</b>	Marrón / Pardo / Rojizo

---



Nota: Brecha hidrotermal con clastos soportados de composición monomíctica (roca intrusiva), subangulares de 0.5 – 1 cm, la matriz de grano fino está reemplazada por cemento OxFe (mayor predominancia de Hematita). Cortado por vetilla de goethita, con un espesor de 1mm aproximadamente.

**Tabla 9**

*Muestra de brecha hidrotermal N2*

---

**ESTUDIO MACROSCÓPICO**

---

<b>Numero de Muestra:</b>	MiY-004
<b>Clasificación:</b>	Brecha hidrotermal 2
<b>Color:</b>	Marrón / Pardo / Rojizo




---

Nota: Brecha monomítica de clastos sub redondeados de aproximadamente de 0.5 – 1 cm, con matriz soportada. Con cemento de OxFe (Hematita - Limonita) y cristales de Qz con espesor de 1-2mm aproximadamente.

**Tabla 10**

*Muestra de intrusivo Diorítico con predominancia de vetillas*

---

**ESTUDIO MACROSCÓPICO**

---

<b>Numero de Muestra:</b>	MiY- 005
<b>Clasificación:</b>	Pórfido Diorítico.
<b>Textura:</b>	Porfirítica Grano fino
<b>Color:</b>	Marrón / Pardo / Rojizo



---

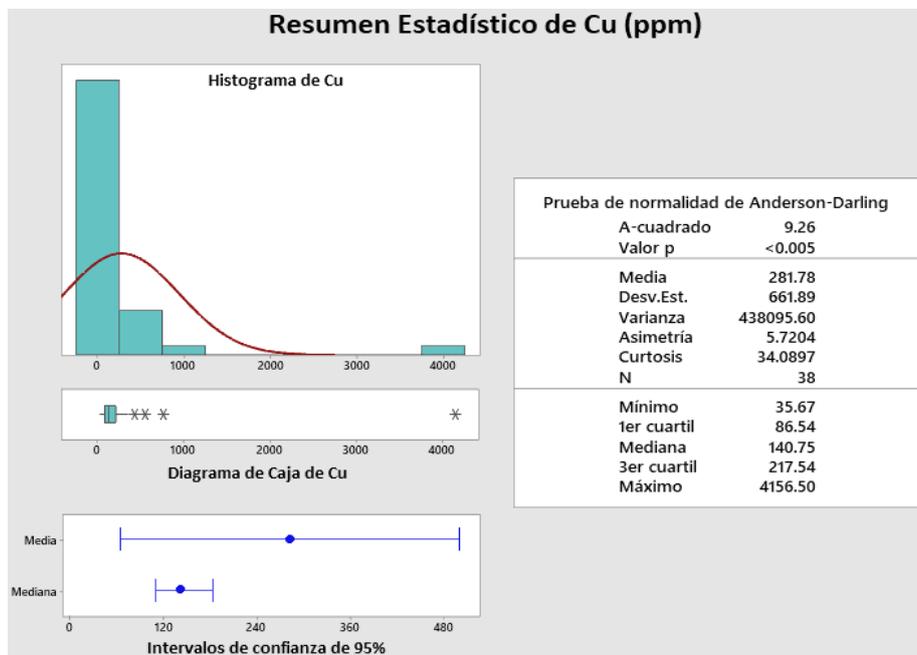
Nota: Muestra de mano del Pórfido Diorítico alterado, cortado por vetillas de 1 a 1.5 cm de espesor rellenas de OxFe (Goethita - Hematita) y con presencia de Limonita.

### 3.3. Tratamiento estadístico

#### 3.3.1. Prueba estadística general

**Figura 33**

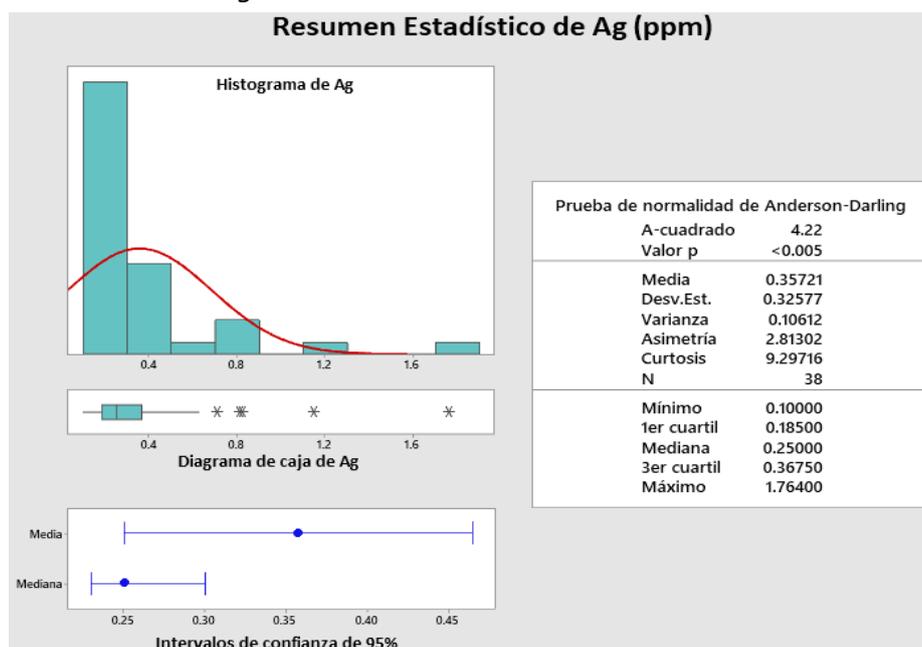
*Resumen estadístico de Cu con valores iniciales*



Nota: En la figura mostramos los principales estadísticos descriptivos para el elemento Cu, con valores iniciales obtenidos en el análisis químico.

**Figura 34**

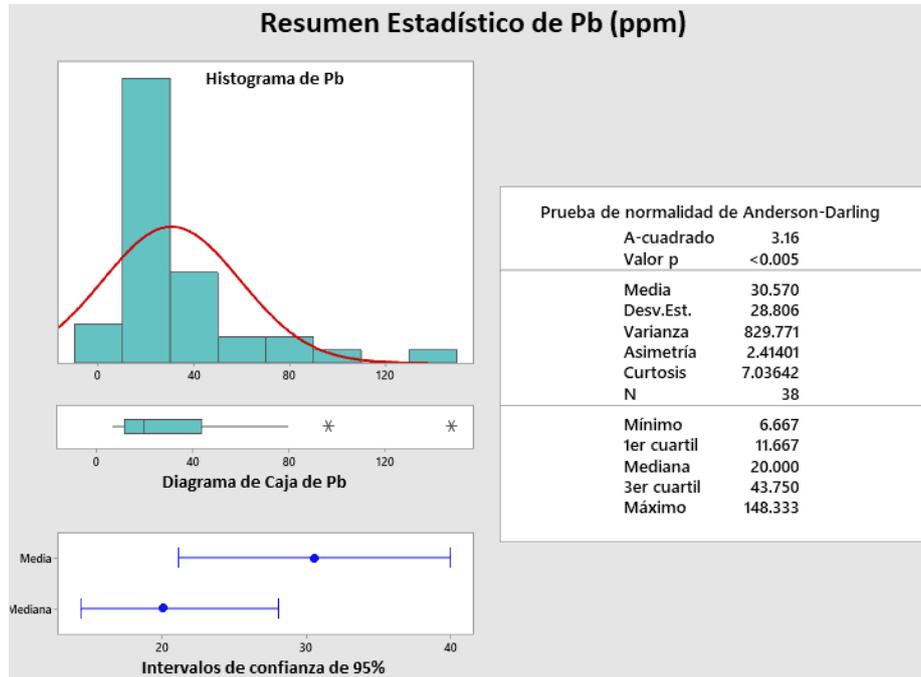
*Resumen estadístico de Ag con valores iniciales*



Nota: En la figura mostramos los principales estadísticos descriptivos para el elemento Ag, con valores iniciales obtenidos en el análisis químico.

**Figura 35**

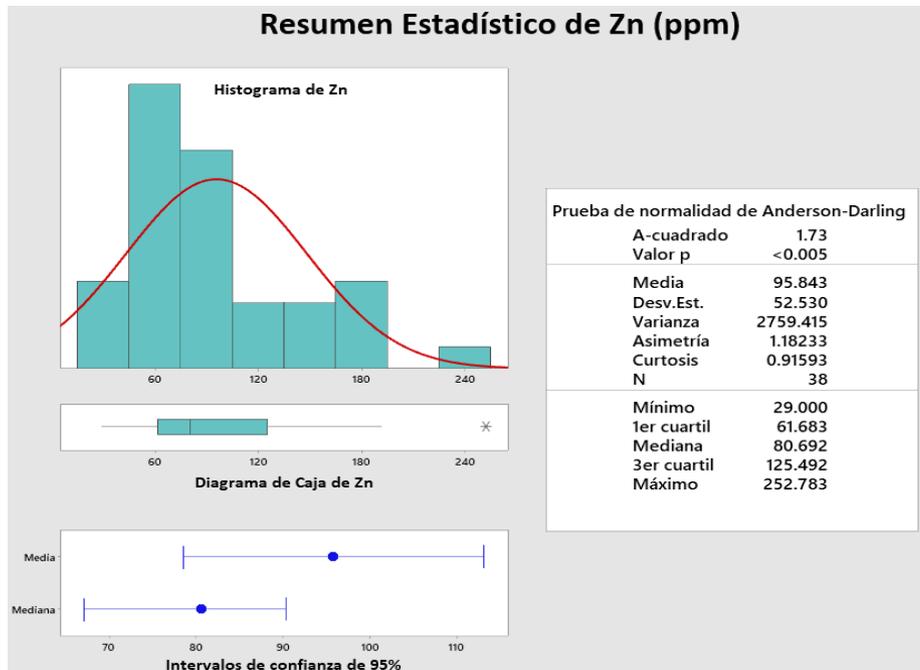
*Resumen estadístico de Pb con valores iniciales*



Nota: En la figura mostramos los principales estadísticos descriptivos para el elemento Pb, con valores iniciales obtenidos en el análisis químico.

**Figura 36**

*Resumen estadístico de Zn con valores iniciales*



Nota: En la figura mostramos los principales estadísticos descriptivos para el elemento Zn, con valores iniciales obtenidos en el análisis químico.

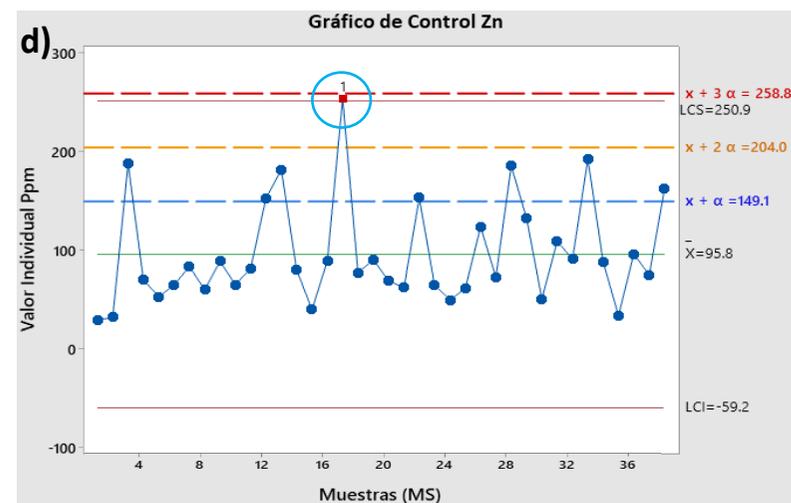
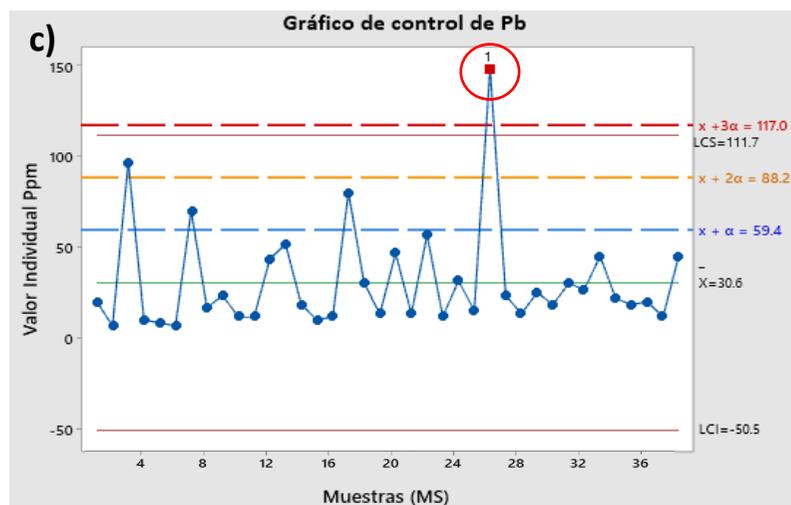
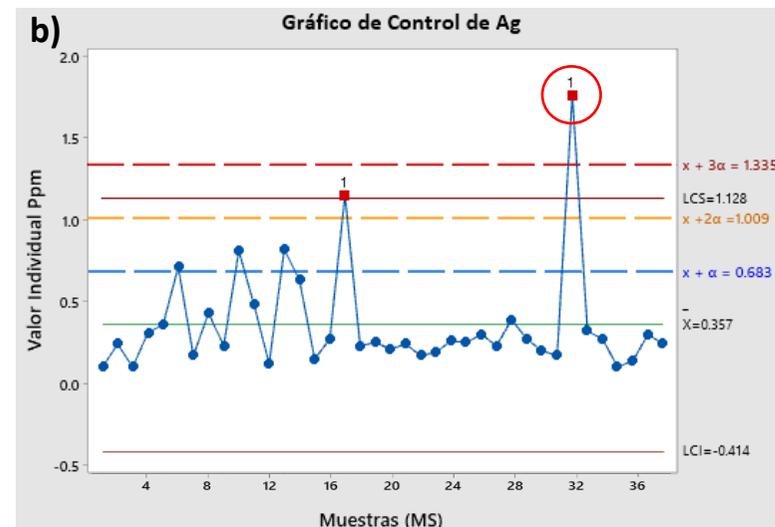
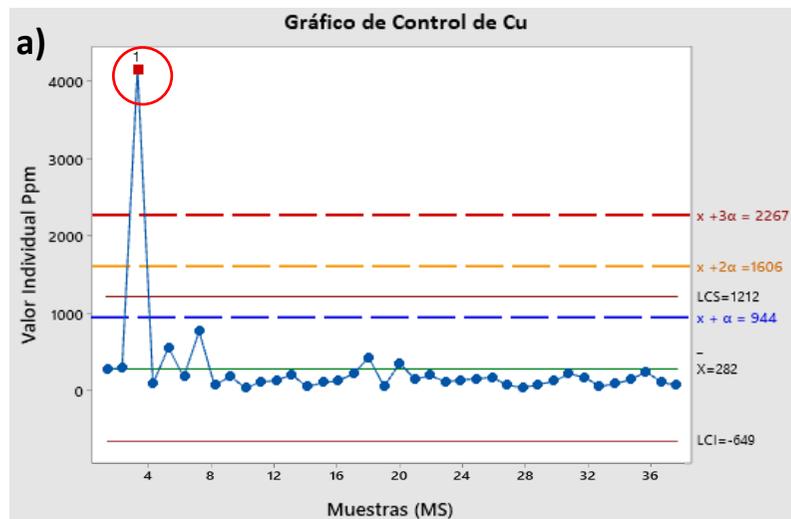
### 3.3.1.1. Interpretación

Partiremos caracterizando estadísticamente los datos, por ello es necesario que esta población siga una **distribución de normal**. Los datos del contenido metálico de Cu, Pb, Zn y Ag poseen mucha variabilidad y no siguen la tendencia de normalidad, pudimos comprobarlo a través de los estadígrafos descriptivos, donde los valores de la media  $\gg$  mediana, la asimetría  $> 0$  (asimetría positiva) y la curtosis  $> 0$  (distribución leptocúrtica), además el valor de la desviación estándar para los 4 metales es sumamente elevada; gráficamente también observamos en los histogramas y diagramas de caja la presencia de valores atípicos alejados de la población de datos lo que nos indicaría una mayor dispersión en la misma. Esto hace imposible caracterizar estadísticamente los datos de entrada, y es necesario realizarles un tratamiento especial.

### 3.3.2. Identificación de valores altos erráticos con Gráficas de Control.

Figura 37

Gráficas de control de Cu, Ag, Pb y Zn – valores iniciales



Nota: En la figura se observan las gráficas de control, la cual usaremos para identificar altos erráticos, una para cada elemento respectivamente en base a los valores iniciales sin filtrar obtenidos después en el análisis químico.

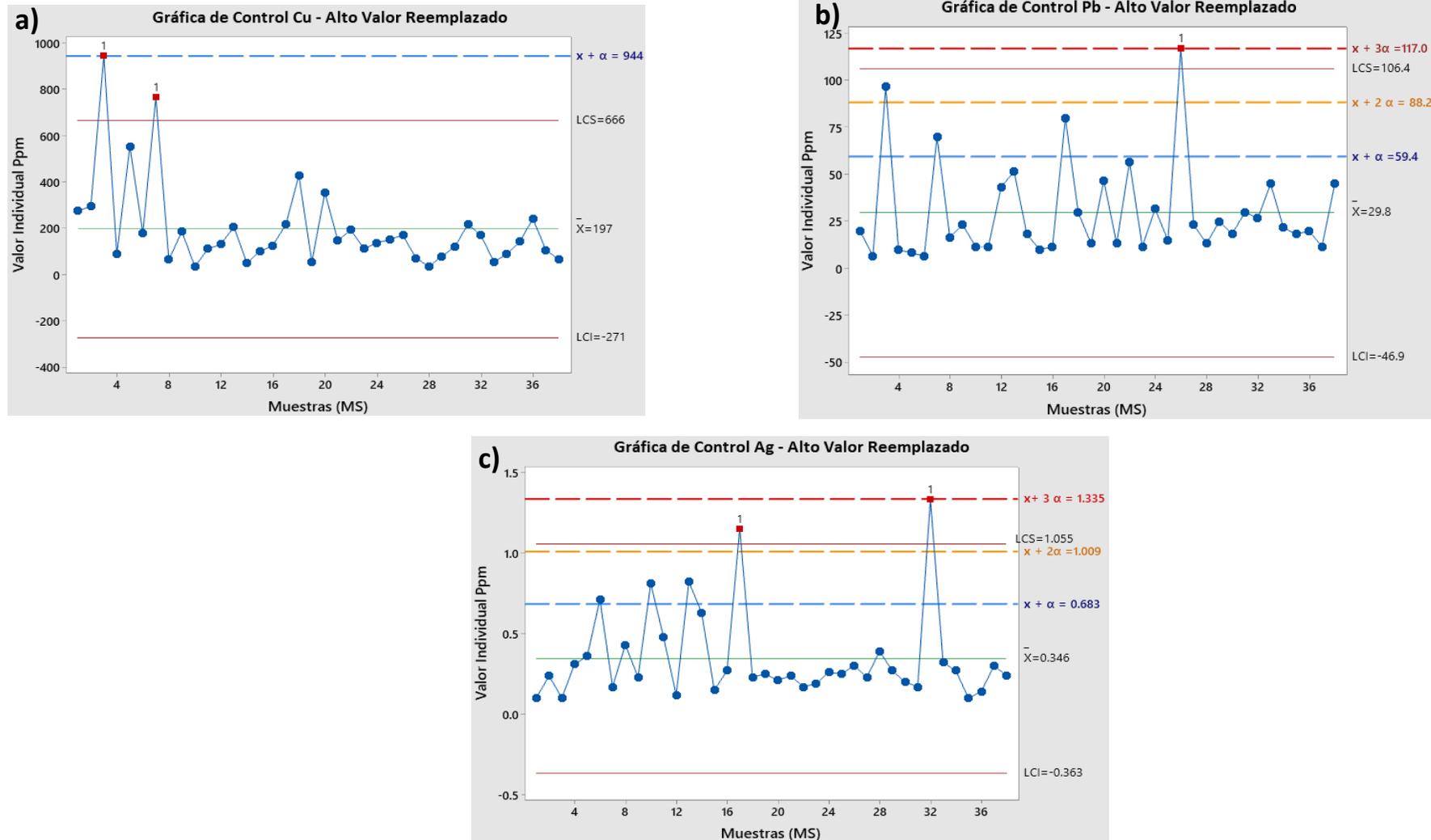
### 3.3.2.1. Interpretación

Hemos considerado como alto errático, al valor que sobrepasa  $\bar{x}+3\sigma$  y no guarda relación gráfica con los valores de otras muestras, estos valores no se eliminarán, pero recibirán un tratamiento estadístico especial según corresponda. **a)** El Cu, en la Ms-03 alcanzó el valor máximo (4157ppm), considerándose alto errático debido a que este sobrepasa aproximadamente el doble del límite de  $\bar{x}+3\sigma$  (2267ppm) permisible, además, se observa gráficamente que no muestra una relación con los valores de las otras muestras. **b)** La Ag, de igual manera las muestras Ms-17 y Ms-34 se consideran posibles altos erráticos, donde se descartaría esta proposición para la primera (1.15ppm), ya que esta se encuentra dentro de los valores permisibles menores a  $\bar{x}+3\sigma$  (1.335ppm) para la segunda (1.764ppm) se observa que además de poseer un valor elevado, no guarda relación con ninguna de las demás muestras. **c)** El Pb tiene a la muestra Ms-28 (148.3ppm) que sobre pasa igualmente el valor límite  $\bar{x}+3\sigma$  (117ppm), y gráficamente no tiene relación con los valores de las otras muestras, por ende, es una alto errático. **d)** Por último el Zn con la muestra Ms-17 (252.8ppm), no se reemplazará pues que, solo se la consideraría como valor alto debido a que está dentro de lo permitido (258.8ppm) y gráficamente si guarda una relación espacial con el resto de las muestras.

### 3.3.3. Gráficas de Control sin valores altos erráticos

Figura 38

Gráficas de control de Cu, Ag, Pb – Sin valores altos erráticos



Nota: En la figura se observan las gráficas de control, ya sin valores altos erráticos, estos fueron reemplazados por la media ( $\bar{x}$ ) + 1, 2 o 3 desviaciones estándar ( $\sigma$ ) según el criterio respectivo para cada elemento.

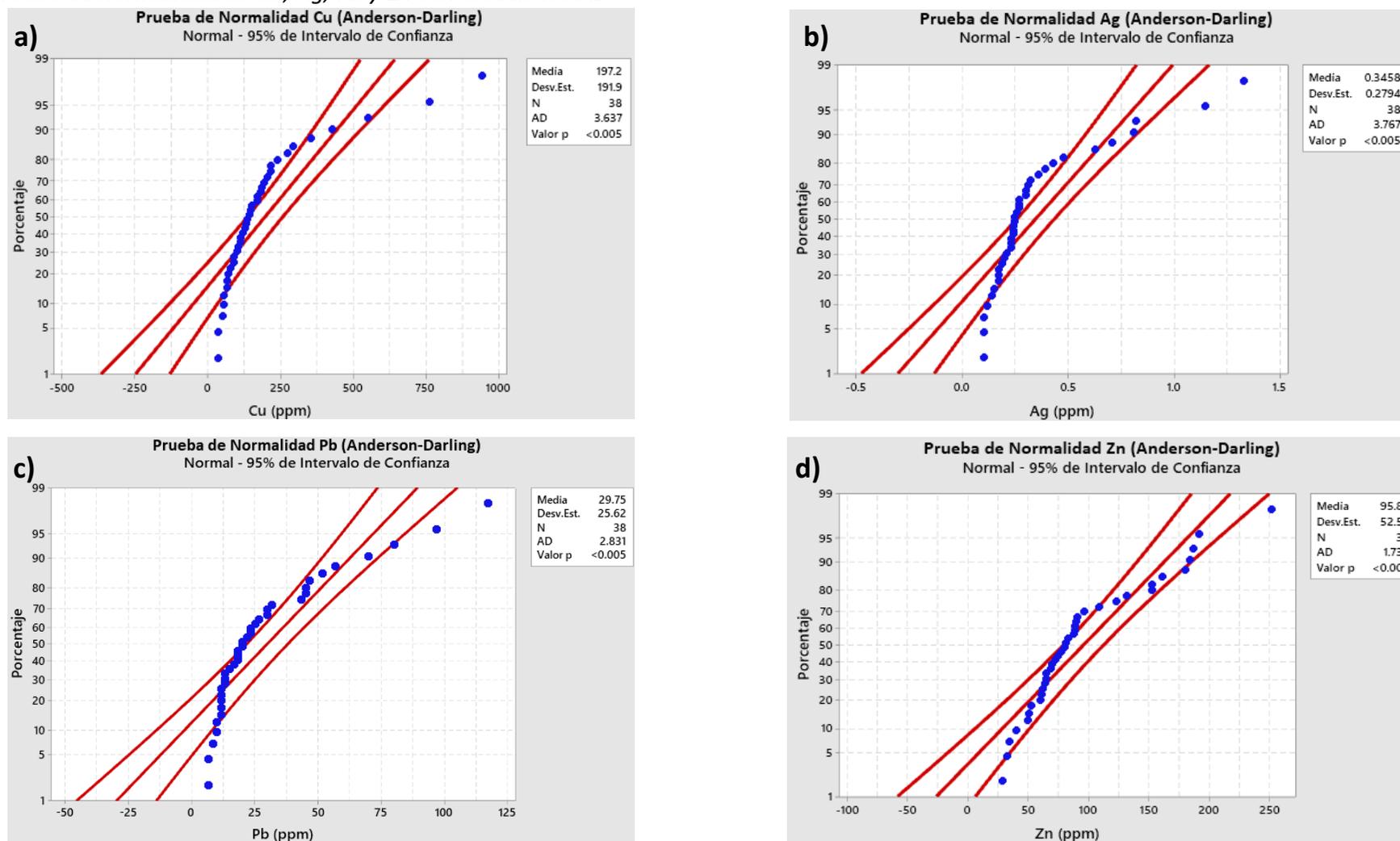
### 3.3.3.1. Interpretación

a) En el Cu, el alto errático se reemplazó por  $\bar{x}+1\sigma$ , con la finalidad de considerarlo únicamente como un valor alto, además de relacionado gráficamente con las demás muestras. b) En Ag, el alto errático se reemplazó por  $\bar{x}+3\sigma$ , quedando dentro del límite permisible, así mismo se consideró como un valor únicamente alto. c) De la misma manera al valor alto errático del Pb, se reemplazó por  $\bar{x}+3\sigma$ , quedando gráficamente relacionado con las demás muestras. Finalmente, se generó gráficas con mayor proporcionalidad y todos estos valores reemplazados se los debe tener en cuenta en la interpretación geológica la cual los considerará como valores anómalos de ser el caso.

### 3.3.4. Prueba de normalidad de Anderson Darling (AD)

Figura 39

Prueba de normalidad de Cu, Ag, Pb y Zn con estadístico AD



Nota: En la figura se observan las pruebas de normalidad según AD, una para cada elemento respectivamente; los puntos azules representan los valores de las muestras (MS) y las líneas rojas presentan el modelo idealizado para una Distribución Normal según este estadístico.

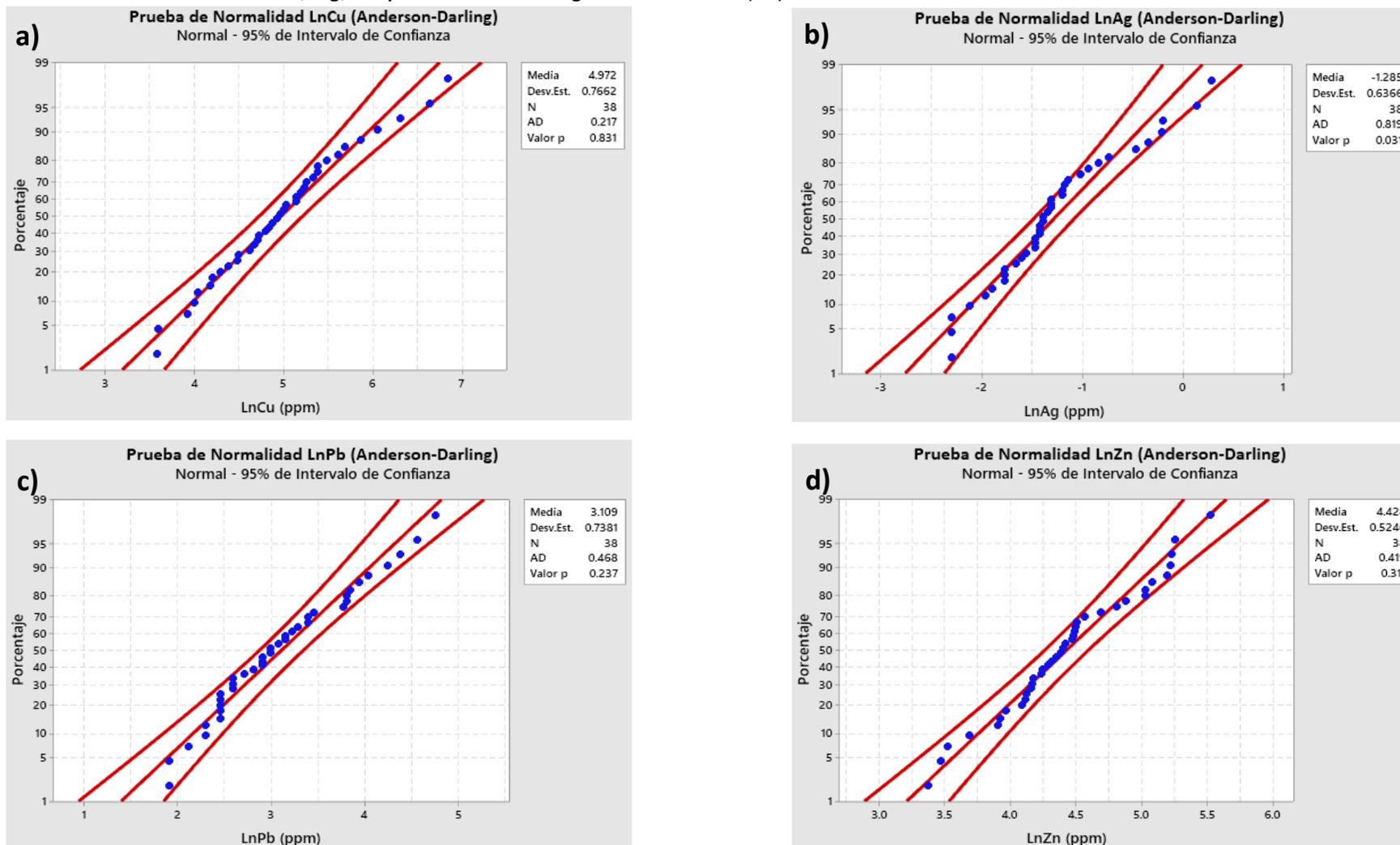
#### 3.3.4.1. Interpretación

En **a, b, c y d** identificamos que el estadístico de Anderson Darling son: 3.637, 3.767, 2.821 y 1.730 respectivamente, estos valores altos no tienen tendencia a 0, por ello se dice que la distribución de los datos no es normal; además, el “*valor p*” para los 4 metales es  $< 0.005$  de igual manera no cumple con la condición de normalidad (*valor p* mayor a 0.05), por último los valores de las muestras (puntos azules), no se ajustan gráficamente a las líneas idealizadas de regresión, para ninguno de los 4 metales. Con estas condiciones mencionadas podemos decir que las distribuciones de los datos para los 4 metales no cumplen una tendencia de normalidad, por lo que se tendrá que realizar una transformación a Ln todos los datos para cada metal respectivamente.

### 3.3.5. Normalización de datos con Logaritmo Natural (Ln)

Figura 40

Prueba de normalidad de Cu, Ag, Pb y Zn en base al Logaritmo Natural (Ln)



Nota: En la figura se observan las pruebas de normalidad según AD, después de aplicar Ln a todos los valores de cada elemento respectivamente; los puntos azules representan los valores de las muestras (MS) y las líneas rojas presentan el modelo idealizado para una Distribución Normal según este estadístico.

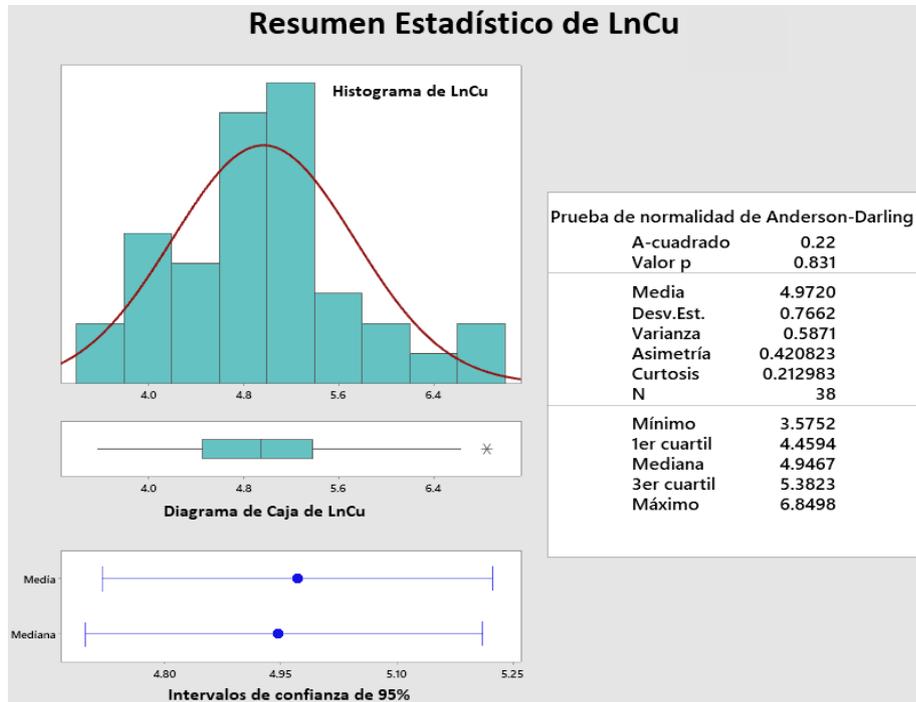
### 3.3.5.1. Interpretación

Después de transformar la población de datos de **a**, **b**, **c** y **d** a una base Ln, volvemos a realizar la prueba de normalidad con el mismo estadístico Anderson Darling (AD) donde obtuvimos los valores de: 0.217, 0.819, 0.468 y 0.419 respectivamente, estos tienen una tendencia a 0 y son valores muy pequeños a comparación de los anteriores; así mismo, el “*valor p*” para los 4 metales si cumple con la condición de normalidad (*valor p* mayor a 0.05) con valores de: 0.831, 0.031, 0.237 y 0.311 respectivamente. Por último, gráficamente en los 4 metales los valores de las muestras (puntos azules) presentan una alineación dentro de las líneas regresión idealizadas (líneas rojas); lo que se interpreta que después de la transformación a Ln la población de datos ya cumplen la condición de distribución normal, por ende, ya se puede trabajar estadísticamente los valores y establecer las respectivas interpretaciones geológicas.

### 3.3.6. Estadística descriptiva univariable:

**Figura 41**

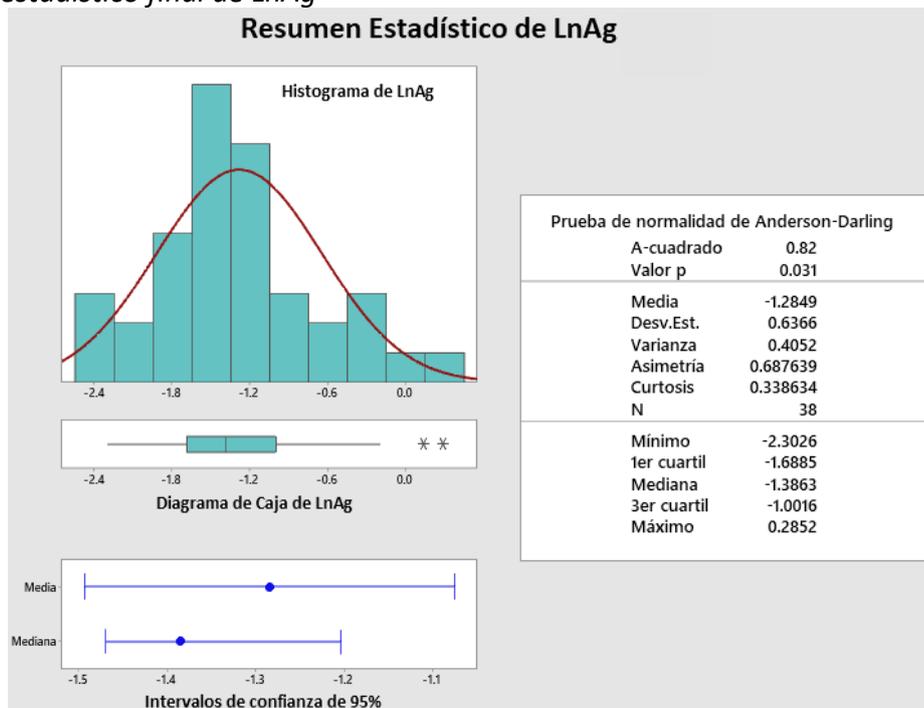
*Resumen estadístico final de LnCu*



Nota: En el resumen estadístico de Cu se presenta al histograma, diagramas de caja e intervalos de confianza para los valores finales de este elemento en base al Logaritmo Natural.

**Figura 42**

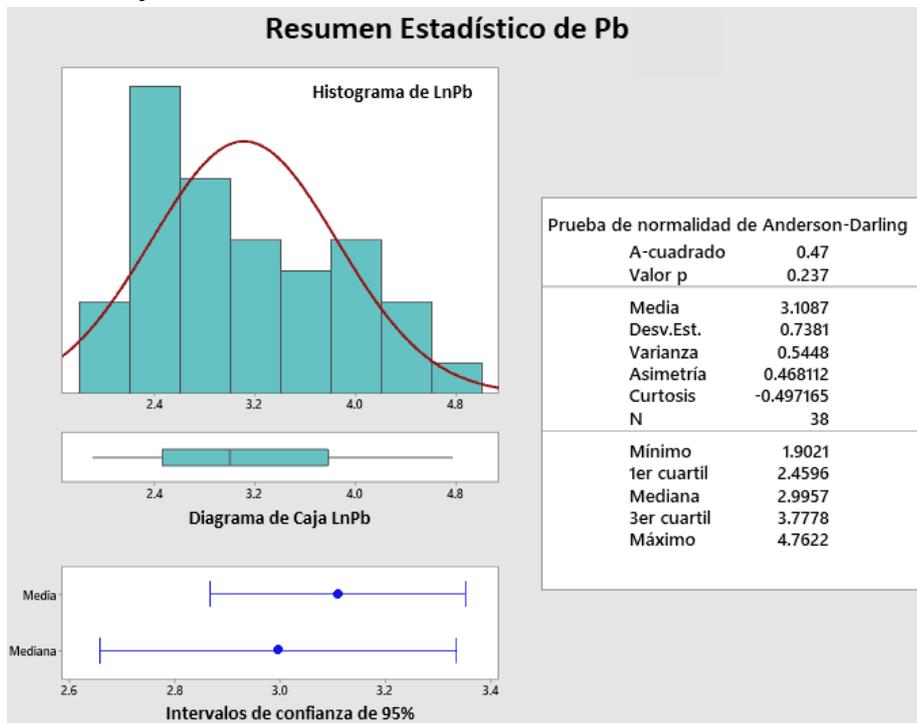
*Resumen estadístico final de LnAg*



Nota: En el resumen estadístico de Ag se presenta al histograma, diagramas de caja e intervalos de confianza para los valores finales de este elemento en base al Logaritmo Natural.

**Figura 43**

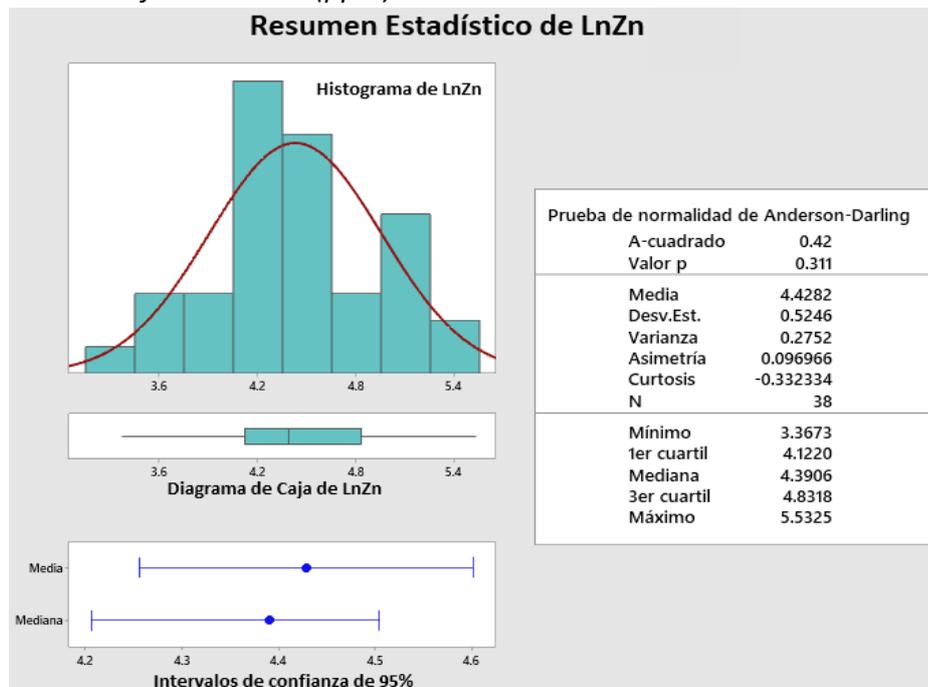
*Resumen estadístico final de LnPb*



Nota: En el resumen estadístico de Pb se presenta al histograma, diagramas de caja e intervalos de confianza para los valores finales de este elemento en base al Logaritmo Natural.

**Figura 44**

*Resumen estadístico final de LnZn (ppm)*



Nota: En el resumen estadístico de Zn se presenta al histograma, diagramas de caja e intervalos de confianza para los valores finales de este elemento en base al Logaritmo Natural.

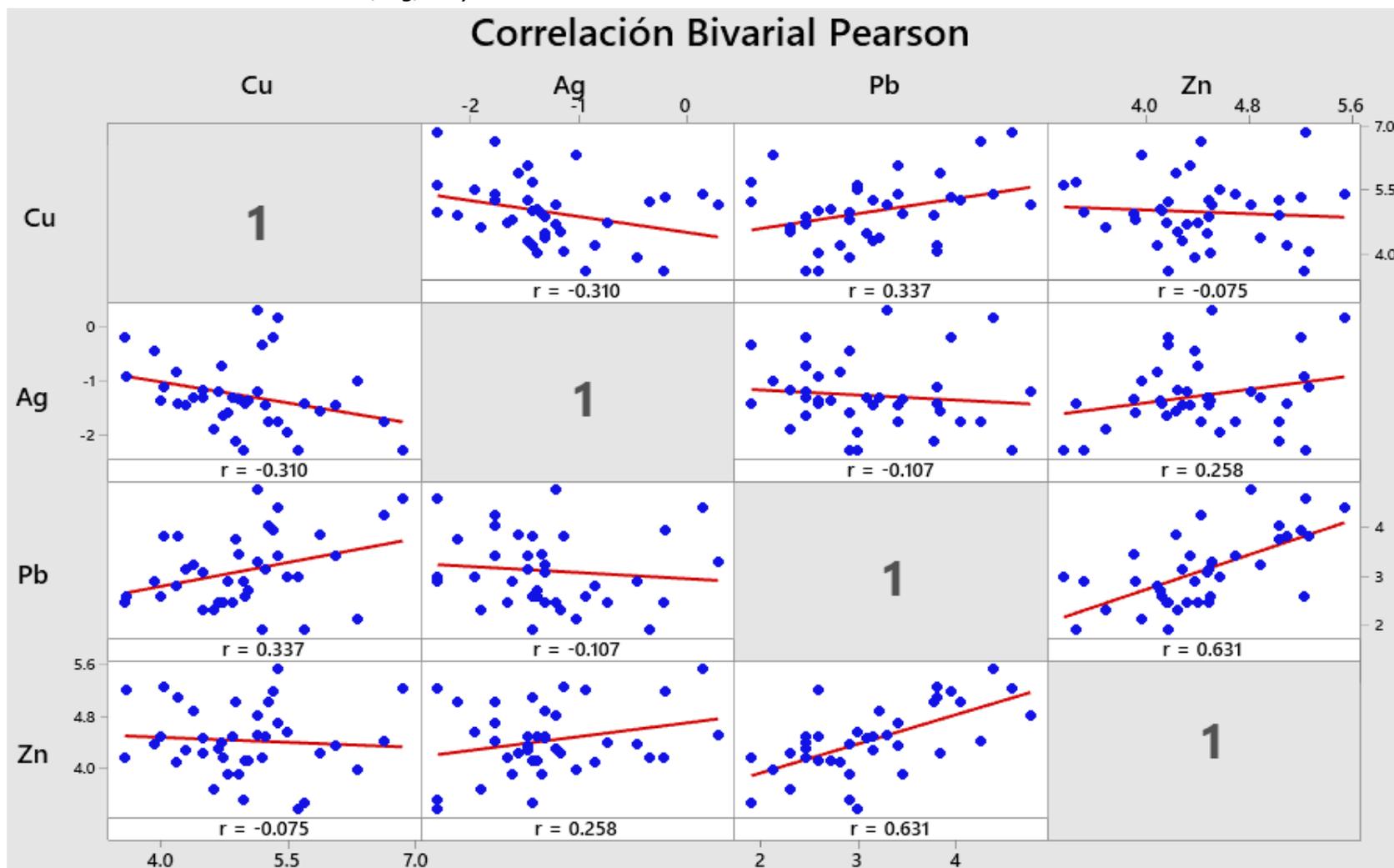
### **3.3.6.1. Interpretación**

Para la población de datos de Cu, Ag, Pb y Zn sin altos erráticos, transformados a Ln, los valores estadísticos descriptivos como la media y la mediana tienen a coincidir, no existe mucha variabilidad, así mismo la desviación estándar para cada uno de ellos no sobrepasa la 1, gráficamente el histograma de estos se acomoda a una distribución normal idealizada, es decir estos se alinean a la campana de gauss, y a través del diagrama de caja observamos que no existen valores atípicos. Lo que indica que los valores están listos para procesar y generar las interpretaciones respectivas.

### 3.3.7. Estadística descriptiva bivariable – Correlación Pearson:

Figura 45

Correlación bivariable Pearson entre Cu, Ag, Pb y Zn con valores en base a Ln



Nota: En la figura observamos la matriz correlación Pearson bivariar donde el valor “r” el cual fluctúa entre  $-1 \leq r \leq 1$ ; si este es 1 o -1 se consideran una muy buena correlación y 0 si es una correlación nula.

En esta investigación se optó por usar el coeficiente de correlación de Pearson, este coeficiente es utilizado cuando la población muestral de los datos correlacionados presenta una distribución normal, además de ser de gran aplicación en las ciencias naturales ya que realiza una relación paramétrica de una población muestras. Para el caso que las variables no se distribuyan normalmente se pueden coeficiente de correlación no paramétrico de Spearman. (Alperin, 2013, p.126 Y Rivasplata, 2012, p.9)

**Tabla 11**

*Valores positivos y negativos para la correlación Pearson.*

VALOR POSITIVO	VALOR NEGATIVO	CORRELACIÓN
0.01 – 0.29	-0.01 a -0.29	BAJA CORRELACIÓN
0.30 – 0.49	-0.30 a -0.49	MEDIANA CORRELACIÓN
0.50 – 0.69	-0.50 a -0.69	BUENA CORRELACIÓN
0.70 – 1.00	-0.70 a -1.00	MUY BUENA CORRELACIÓN

Nota: En esta tabla se observa los rangos de correlación Pearson a usar en la investigación, estos valores pertenecen a la correlación positiva y negativa. Tomado de Rivasplata (2012) y Hernández, et al (2018).

### 3.3.7.1. Interpretación

De los valores obtenidos en el diagrama anterior, consideraremos los valores a resaltar a los que poseen Mediana Correlación y Buena Correlación positiva.

El **Cu - Pb** tienen *mediana correlación directa* (0.337), lo que quiere decir que a medida que el Cu se enriquece el Pb sigue la misma tendencia, este enriquecimiento se debe principalmente a una afinidad Calcófila que presentan estos metales, debido grandes anomalías de azufre, ante la presencia de un cuerpo intrusivo del tipo pórfidos cupríferos a distancia (Rojas, 2018, p.14).

De la misma manera **Pb – Zn**: poseen una *buena correlación Positiva* (0.631), a medida que el contenido metálico del Pb aumenta, en el Zn se sigue la misma

tendencia; igualmente que para el caso anterior estos metales presentan una afinidad Calcófila (azufre), además esta asociación en particular se debe al zoneamiento característico de un sistema tipo pórfido de cobre, debido a que estos dos metales no se asocian a las zonas de alta temperatura, y por ello migran a hacia la parte externa del sistema (Sillitoe, 2010).

### **3.3.8. Caracterización de los parámetros físico-químicos.**

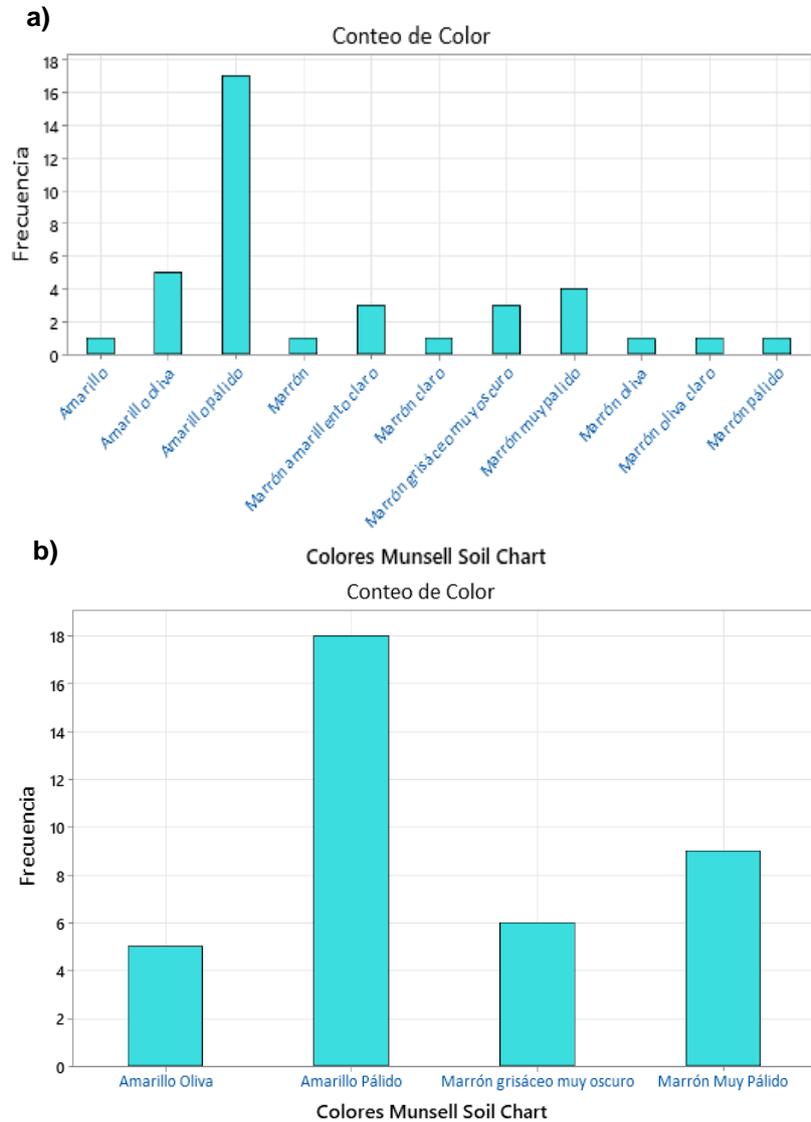
#### **3.3.8.1. Color y pH**

En el laboratorio mediante las tablas de Munsell para suelos se identificó el color de cada una de las muestras de suelo, usando los siguientes matices: 2.5Y, 5Y, 7.5YR y 10YR en los cuales se observó 11 colores para el total de las muestras, debido a la variabilidad de estos y con el fin de caracterizarlos se agrupó por similitud, de tal manera nos quedamos únicamente con 4 colores: Amarillo pálido, Amarillo oliva, Marrón muy pálido y Marrón grisáceo muy oscuro.

Así mismo para el pH, identificamos 15 valores distribuidos por todas las muestras en el rango de 4.6 a 7.6, los resultados de estos análisis no se podían categorizar por la variedad en los valores obtenidos, debido a esto es que se utilizó la tabla movilidad de elementos traza en ambiente superficial de (Hoffman, 1986) (Anexo 9). para unificar los rangos de pH en sub categorías que se incluyan cada uno de estos y son: Acido, Neutro y Básico.

**Figura 46**

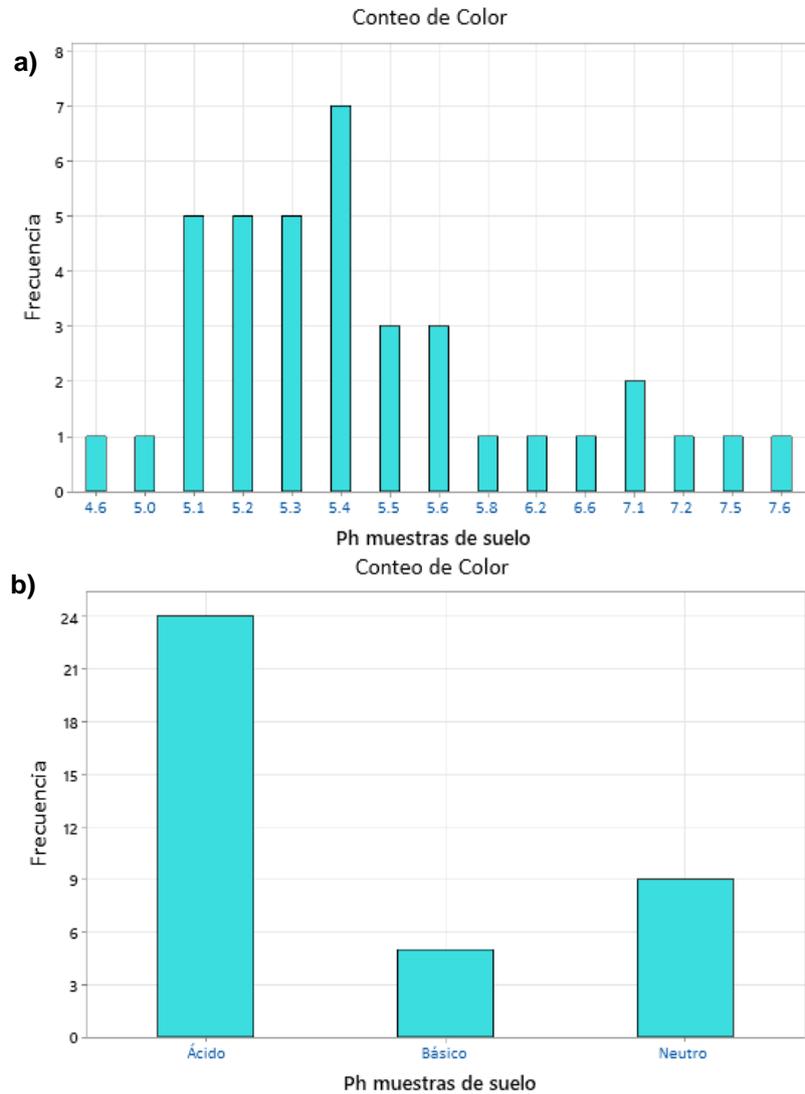
Colores identificados en laboratorio



Nota: **a)** Se observa los 11 colores iniciales, los cuales hacen difícil la caracterización, por ello de acuerdo a similitud se unificaron **b)** quedando únicamente 4 categorías.

**Figura 47**

Caracterización del color vinculado al contenido metálico en Cu, Ag, Pb y Zn



Nota: **a)** Se observa los 15 valores de Ph iniciales, los cuales hacen difícil la caracterización, por ello se unificaron en base a tabla movilidad de elementos traza en ambiente superficial de Hoffman **b)** quedando únicamente 3 categorías: Ácido, Neutro y Básico.

### 3.3.9. Dispersión geoquímica secundaria.

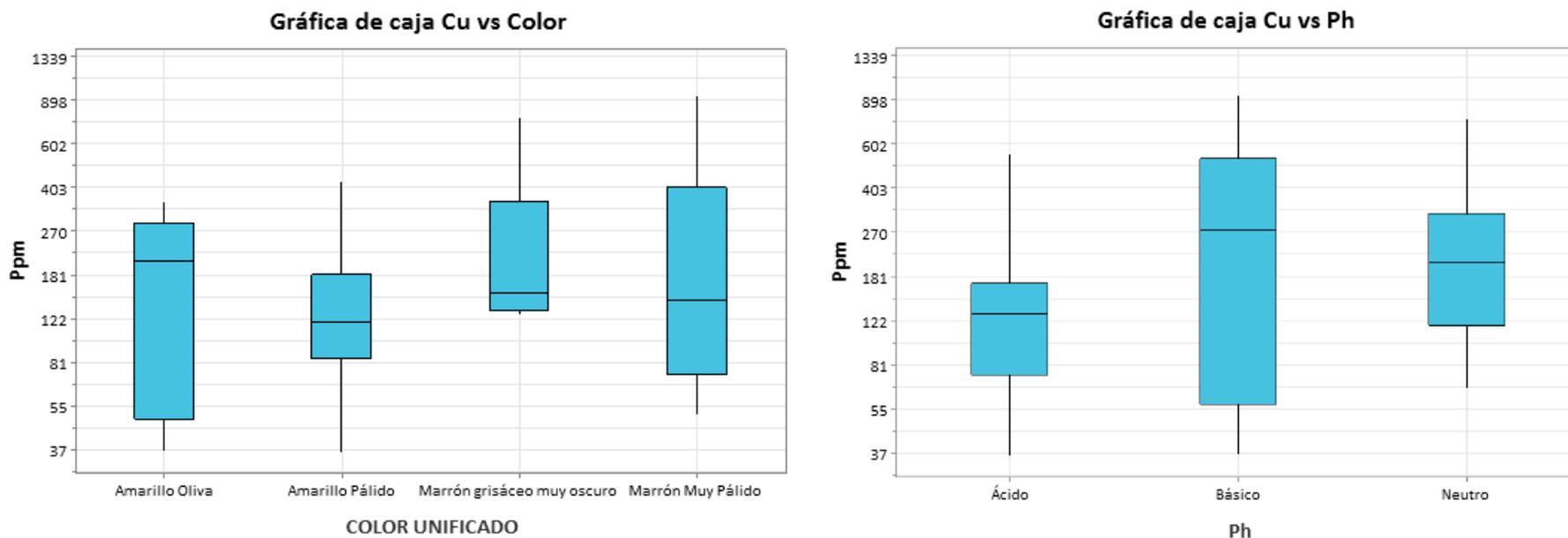
#### 3.3.9.1. Cobre

ELEMENTO	LN_CU	CU (PPM)
N° muestras	38	38
Valor Min	3.58	35.69
Valor Max	6.85	943.88
Desv. Std ( $\sigma$ )	0.77	2.15
Background ( $\bar{x}$ )	4.97	144.32
Threshold ( $\bar{x}+2\sigma$ )	6.50	668.09
N° Anomalías ( $>\bar{x}+2\sigma$ )	-----	2

Nota: Parámetros geoquímicos de Cobre con valores en Ln y Ppm

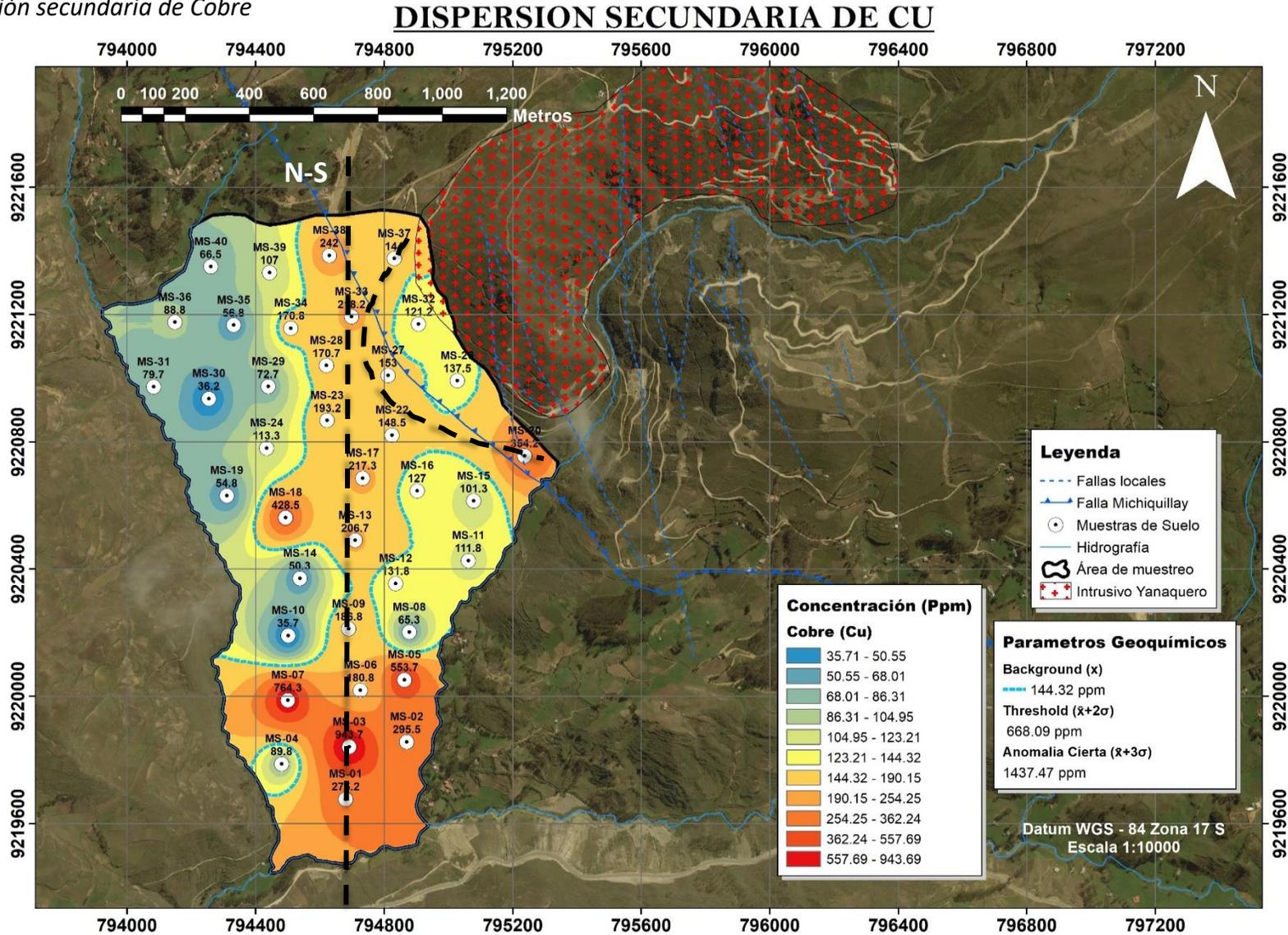
**Figura 48**

*Caracterización del color y pH vinculado al contenido metálico en Cobre*



Nota: Color y pH relacionado al contenido metálico del Cobre, en diagramas de caja.

**Figura 49**  
Dispersión secundaria de Cobre



Nota: Dispersión Geoquímica Secundaria del Cu en suelos a lo largo del área de estudio.

### 3.3.9.1.1. Interpretación de Cobre

De la figura antes mostrada, podemos interpretar que la dispersión de Cu, con valores que sobrepasan el background (144.32 ppm) se dispersan con una tendencia N-S, pero también se identifica un halo tipo anillo que bordea el intrusivo en estudio, el pH predominante en este sector es ácido, característico de la alta movilidad del Cu en ambientes superficiales (Hoffman, 1986); las muestras con valores inferiores al Background se ubican preferentemente al SO, con pH ácidos, la explicación a esto se da debido a que el cobre por su alta movilidad en ambientes ácidos se estaría transportando a través de la red de drenajes, empobreciendo la zona muestreada. Por otra parte, a 1360 m con dirección SSO del Yanaquero aproximadamente, se ubican las muestras Ms-03 y Ms-07 con los valores anómalos de 943.7 ppm y 764.3 ppm ( $>$ Threshold - 668.09ppm), con un pH Básico y Neutro, este hallazgo se relaciona a que cerca de puntos muestreados existe afloramientos sedimentarios (caliza), lo que estaría restringiendo la movilidad del Cu, haciendo que estos metales precipiten, además, cabe la posibilidad de que el Cu en esos puntos esté relacionado a otra fuente diferente al Yanaquero migrando a esa zona específicamente, este comentario queda solo en una hipótesis puesto que no se tiene mayor información de ello. De todo lo presentado anteriormente se interpretaría, que las fallas locales del complejo Michiquillay podrían estar influenciando en las tendencias de dispersión de cada elemento en los suelos.

Las mayores dispersiones respecto al color lo tienen, el Amarillo Oliva con valor promedio 206.70 ppm, y el Marrón Muy Pálido con valor promedio de 144 ppm. Las mayores dispersiones respecto al pH tienen, Básico con valor promedio de 275 ppm y el Neutro con valor promedio de 206 ppm.

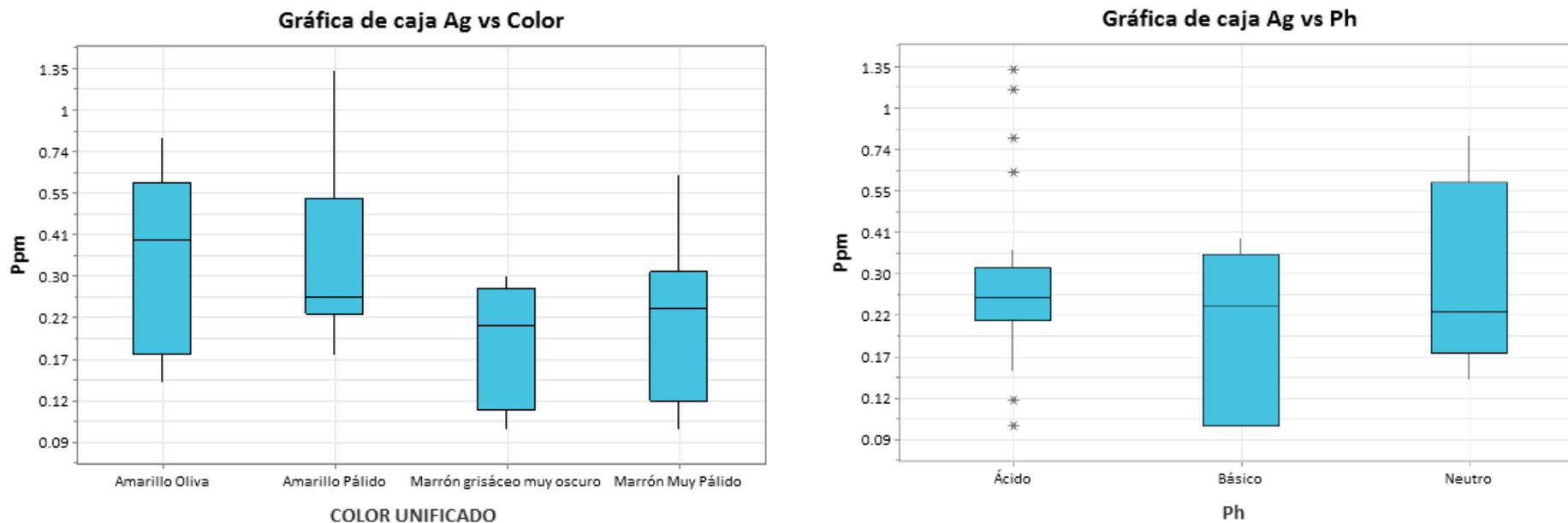
### 3.3.9.2. Plata

ELEMENTO	LN_AG	AG (PPM)
N° muestras	38	38
Valor Min	-2.303	0.100
Valor Max	0.285	1.330
Desv. Std ( $\sigma$ )	0.637	1.891
Background ( $\bar{x}$ )	-1.285	0.277
Threshold ( $\bar{x}+2\sigma$ )	-0.011	0.989
N° Anomalías ( $>\bar{x}+2\sigma$ )	-----	2

Nota: Parámetros geoquímicos de Plata con valores en Ln y ppm

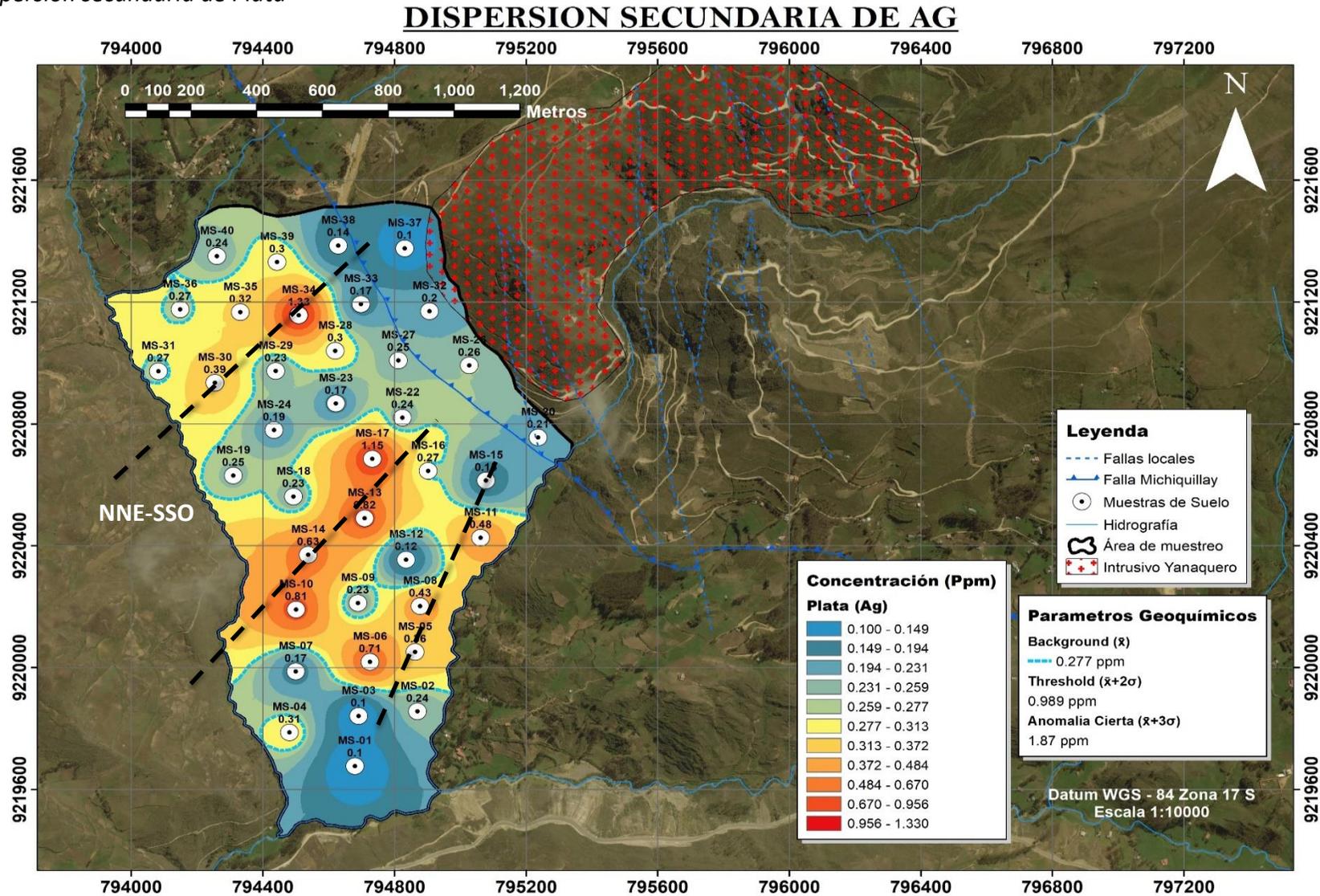
**Figura 50**

Caracterización del color y pH vinculado al contenido metálico en Plata



Nota: Color y Ph relacionado al contenido metálico del Plata, en diagramas de caja.

**Figura 51**  
Dispersión secundaria de Plata



Nota: Dispersión Geoquímica Secundaria de la Plata en suelos a lo largo del área de estudio.

### 3.3.9.2.1. Interpretación de Plata

De la figura antes mostrada, observamos que el contenido de dispersión de Ag en suelos es bajo a comparación de los otros metales estudiados, dado esto interpretamos que los valores sobrepasan el Background (0.277 ppm), se concentran al SO y O a una distancia de 650m aproximadamente del Yanaquero y estos dispersan con una tendencia NNE - SSO en un medio ácido (Hoffman, 1986), por otro lado, los valores bajo el Background se concentran al borde SO del Yanaquero, lo sé que asemeja teóricamente, que Ag se concentra mejor en las zonas periféricas de un cuerpo intrusivo, donde la temperatura es menor (Emmons, 1927). Las muestras Ms-17 y Ms-34 se consideran anómalos debido a que sobrepasan el Threshold (0.989 ppm) con valores de 1.15 ppm y 1.33 ppm respectivamente. De todo lo presentado anteriormente se interpretaría, que las fallas locales del complejo Michiquillay podrían estar influenciando en las tendencias de dispersión de cada elemento en los suelos.

Las mayores dispersiones de Ag lo tienen el color Amarillo Oliva con un valor promedio de 0.39 ppm seguido del Marrón Muy Pálido con un valor promedio de 0.24 ppm. Para el pH las mayores dispersiones lo tienen, el Básico con valor promedio de 0.24 ppm y el Neutro con valor promedio de 0.23 ppm.

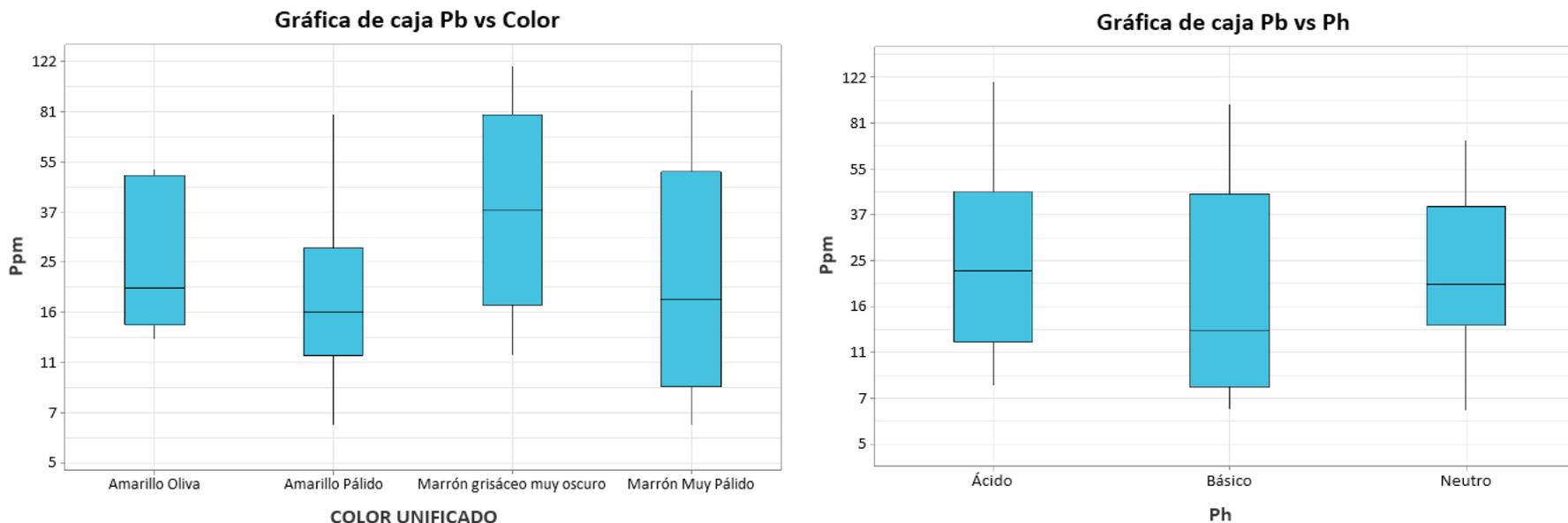
### 3.3.9.3. Plomo

ELEMENTO	LN_PB	PB (PPM)
N° muestras	38	38
Valor Min	1.90	6.70
Valor Max	4.76	116.98
Desv. Std ( $\sigma$ )	0.74	2.09
Background ( $\bar{x}$ )	3.11	22.40
Threshold ( $\bar{x}+2\sigma$ )	4.59	98.03
N° Anomalías ( $>\bar{x}+2\sigma$ )	1	1

Nota: Parámetros geoquímicos de Plomo con valores en Ln y Ppm

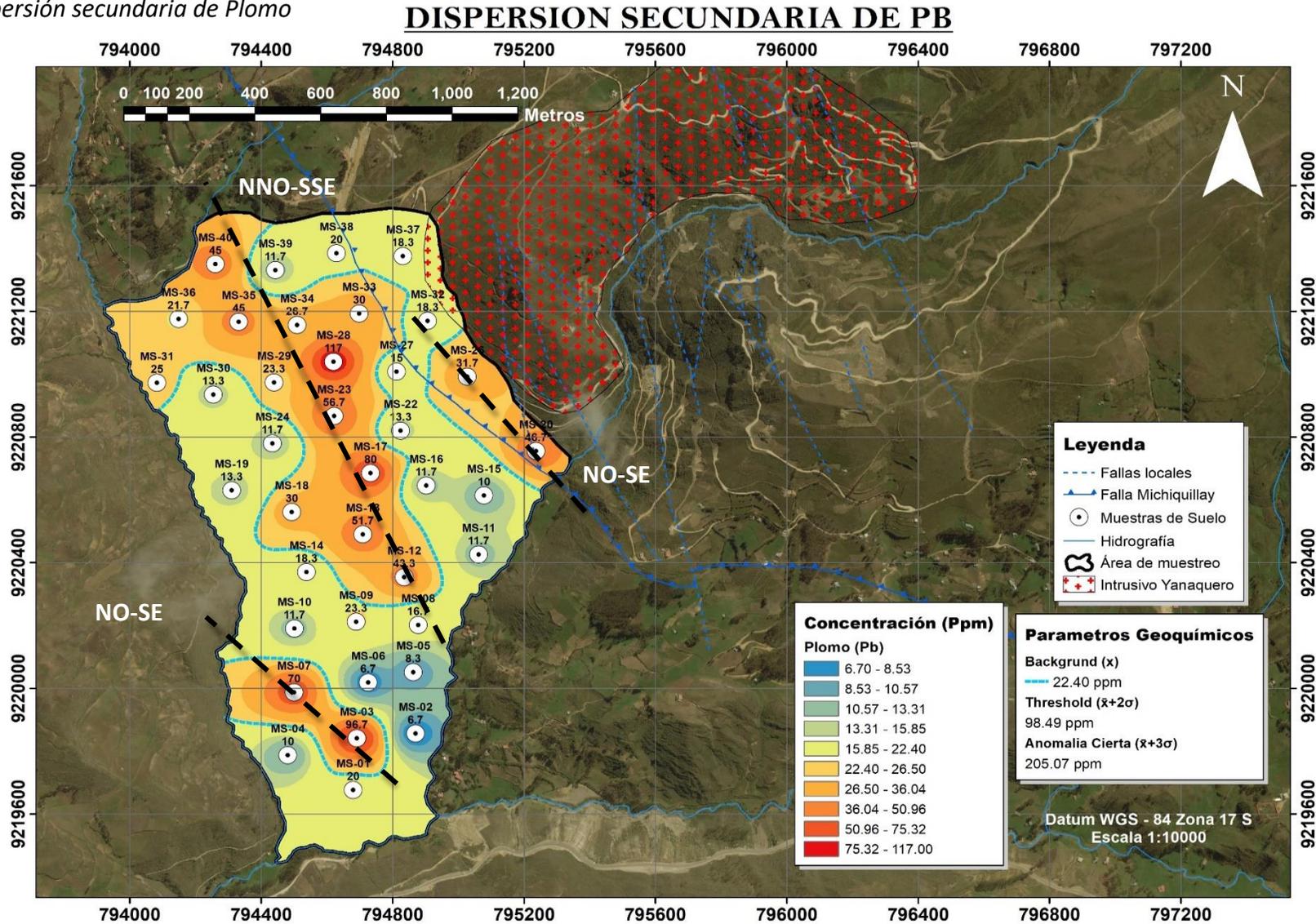
**Figura 52**

*Caracterización del color y pH vinculado al contenido metálico en Plomo*



Nota: Color y Ph relacionado al contenido metálico del Plomo, en diagramas de caja.

**Figura 53**  
Dispersión secundaria de Plomo



Nota: Dispersión Geoquímica Secundaria del Plomo en suelos a lo largo del área de estudio.

### 3.3.9.3.1. Interpretación de Plomo

De la figura antes mostrada, observamos que los valores que sobre pasan el background (22.40ppm) se distribuyen en tres halos principalmente, uno SE del Yanaquero formando un halo de dispersión con tendencia NNO-SSE en un medio ácido, ubicado a una distancia de 300m respecto al intrusivo aproximadamente, esta dispersión es característico del zoneamiento de Pb en ambientes Porfiríticos (Sillitoe, 2010) donde la temperatura menor esta a los bordes del sistema, dentro de este halo se ubica la muestra Ms-28 con valor de 117 ppm sobrepasando el Threshold (98.03ppm), por ello se consideraría anómala; por otro lado, al SSO a 100m del Yanaquero se ubica en segundo halo representado por las muestras Ms-26 y Ms-20 con valores de 31.7 ppm y 46.7 ppm respectivamente, estas muestras precipitaron en un medio ácido con una tendencia de NO-SE. Al SO a 1200m del Yanaquero se ubica el tercer halo representado por las muestras Ms-03 y Ms-07 que presentan valores de 96.7 ppm y 70ppm respectivamente que se dispersan con una tendencia NO-SE en un medio Básico, de igual manera que para el caso del Cu, se diría que la dispersión y concentración del Pb en esta zona, se daría debido a una fuente diferente al Yanaquero, esto solo sería una hipótesis puesto que no se tiene mayor información de ello. De todo lo presentado anteriormente se interpretaría, que las fallas locales del complejo Michiquillay podrían estar influenciando en las tendencias de dispersión de cada elemento en los suelos.

Las mayores dispersiones de Pb lo tienen el color Marrón Muy Pálido con un valor promedio 18.30 de ppm seguido del Marrón Grisáceo Muy Oscuro con un valor promedio de 33.05 ppm. Las mayores dispersiones respecto al pH tienen, Básico con valor promedio de 13.30 ppm y el Acido con valor promedio de 22.49 ppm.

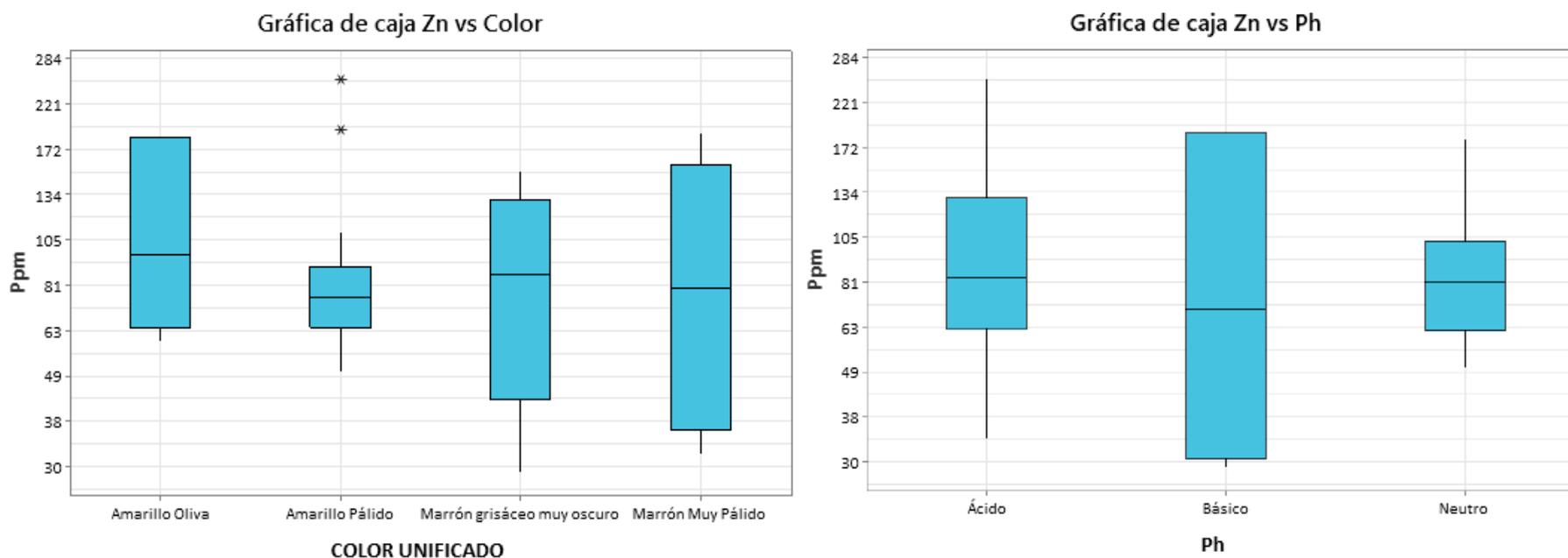
### 3.3.9.4.Zinc

ELEMENTO	LN_ZN	ZN (PPM)
N° muestras	38	38
Valor Min	3.37	29.00
Valor Max	5.53	252.78
Desv. Std ( $\sigma$ )	0.52	1.69
Background ( $\bar{x}$ )	4.43	83.78
Threshold ( $\bar{x}+2\sigma$ )	5.48	239.22
N° Anomalías ( $>\bar{x}+2\sigma$ )	1	1

Nota: Parámetros geoquímicos de Zinc con valores en Ln y Ppm

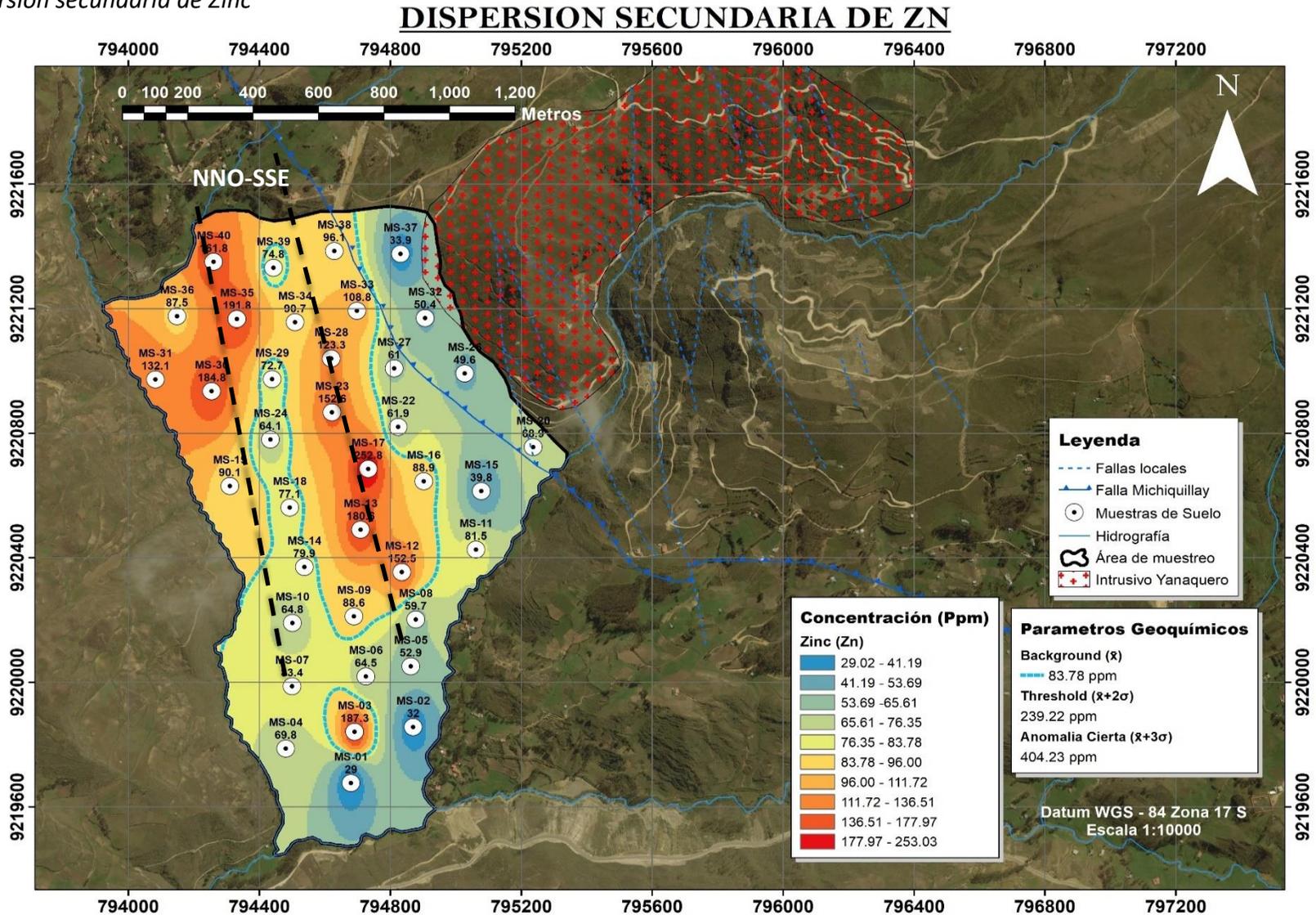
**Figura 54**

*Caracterización del color y pH vinculado al contenido metálico en Zinc*



Nota: Color y Ph relacionado al contenido metálico del Zinc, en diagramas de caja.

**Figura 55**  
Dispersión secundaria de Zinc



Nota: Dispersión Geoquímica Secundaria del Zinc en suelos a lo largo del área de estudio.

#### 3.3.9.4.1. Interpretación de Zn

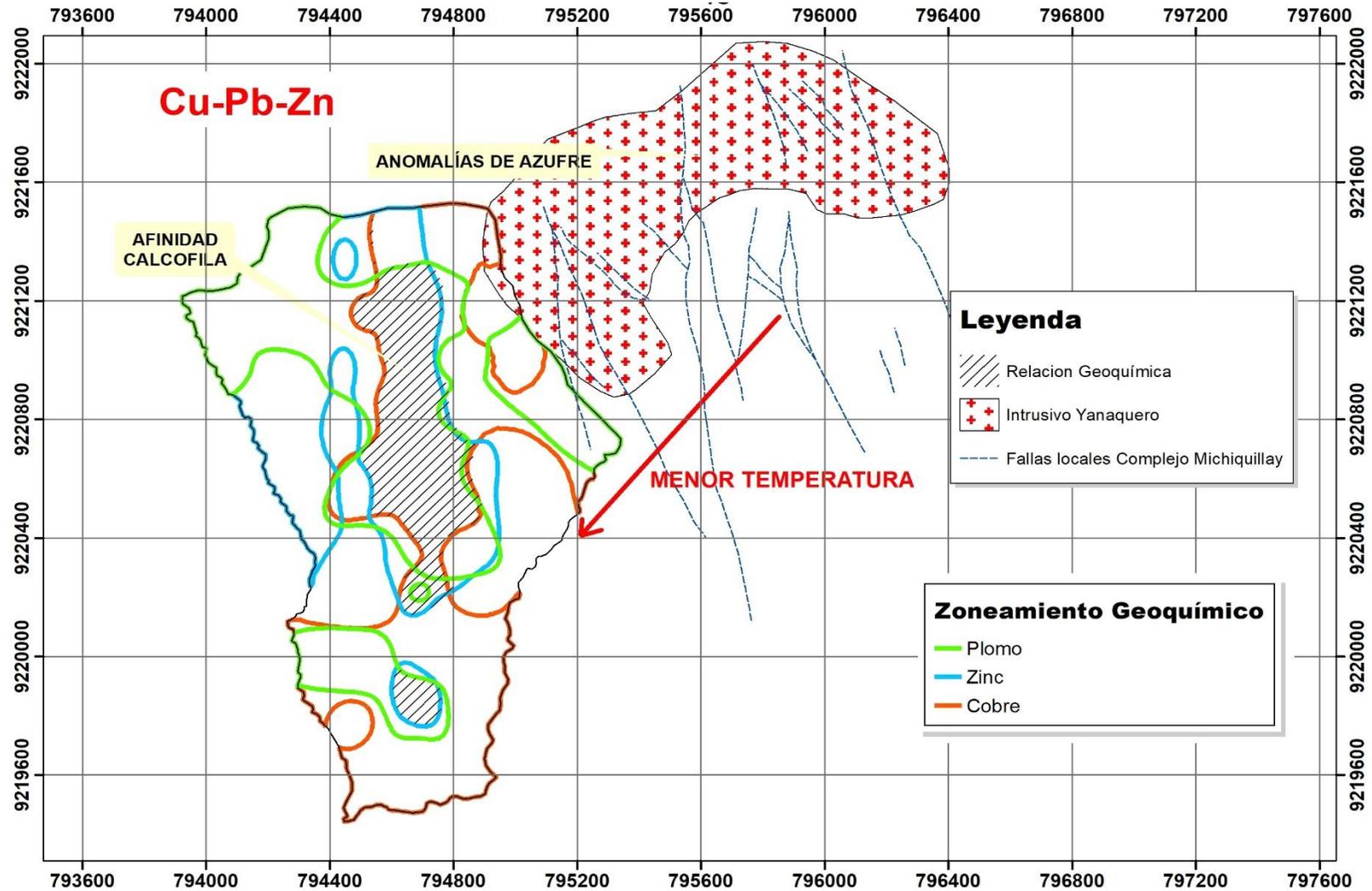
Del grafico anterior observamos que los valores mayores al Background (83.78 ppm) forman un halo de dispersión que ubican al SO con una distancia promedio de 300m al Yanaquero, y poseen un tendencia de dispersión NNO-SSE, esta dispersión es característico del zoneamiento de Zn en ambientes Porfíricos (Sillitoe, 2010) donde la temperatura menor esta a los bordes del sistema, así mismo, en esta zona se identificó una anomalía Ms-17, que sobrepasa el valor del Threshold (239.22) con 252.8ppm, de igual manera, la dispersión de Zn en este estudio coincide teóricamente con la movilidad del mismo, que se da en un ambiente Acido, existe una peculiaridad en la concentración de los valores sobre el Threshold, al O del intrusivo Yanaquero, donde se ubican algunos afloramientos sedimentarios (calizas), esto es producto de la mayor precipitación del Zn en presencia de un carbonato (Hoffman, 1986). Por otro lado, al SSO a 1200m se ubica la muestra Ms-03 se observa que la dispersión y concentración del Zn en esta muestra, se daría debido a una fuente diferente al Yanaquero, igualmente esto solo es una hipótesis puesto que no se tiene mayor información de ello. Igualmente, anteriormente se interpretaría, que las fallas locales del complejo Michiquillay podrían estar influenciando en las tendencias de dispersión de cada elemento en los suelos.

Las mayores dispersiones de Zn lo tienen el color Marrón Muy Pálido con un valor promedio 77.52 de ppm seguido del Marrón Grisáceo Muy Oscuro con un valor promedio de 86.11 ppm. Las mayores dispersiones respecto al pH tienen, Básico con valor promedio de 69.81 ppm y el Acido con valor promedio de 83.63 ppm.

### 3.3.10. Zoneamiento geoquímico superficial

Figura 56

Zoneamiento geoquímico de Cu-Pb-Zn



Nota: Zoneamiento Geoquímico de Cu-Pb-Zn en suelos del área de estudio.

### 3.3.10.1. Interpretación

De acuerdo al análisis correlacional bivariable de Pearson en el **sub capítulo 3.3.7.** se escogió a los metales que poseían de mediana a buena correlación positiva, para establecer relaciones zonales entre los mismos y se obtuvo lo siguiente: Al SO se ubica las asociaciones de Cu-Pb-Zn, esta se debe principalmente a una afinidad Calcófila que presentan estos, lo que indicaría que cerca al área muestreada por donde se dispersan estos existe una fuente con anomalías de azufre, por ello es estos precipitan en cantidades sobre el valor de fondo, además, se sabe que teóricamente existe zoneamientos geoquímicos establecidos por Sillitoe (2010), en el cual que considera que la correlación de Pb-Zn es un indicativo de un zoneamiento característico, que presenta un cuerpo intrusivo mineralizado de Cu (Pórfido) en las zonas laterales del sistema, donde la temperatura es menor. Así mismo al SSO a 1200m del Yanaquero existe el mismo zoneamiento Cu-Pb-Zn, lo que se podría interpretar es que cerca a ese halo existe una fuente diferente al Yanaquero, que ha permitido la precipitación de estos metales, igualmente esto solo es una hipótesis puesto que no se tiene una mayor cantidad de información respecto a esa área.

## CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

### 4.1 Discusión

De acuerdo a los resultados obtenidos mediante del muestreo de suelos, aplicando el análisis por espectrometría e identificando anomalías de Cu, Ag, Pb y Zn en base a la caracterización estadística univariable y bivivariable (correlación Pearson), y con la interpretación de los planos de dispersión y zoneamiento geoquímico en el área de estudio, aceptamos nuestra hipótesis que afirma que la dispersión geoquímica Secundaria de Cu, Ag Pb y Zn en suelos alrededor del intrusivo Yanaquero - Sector Michiquillay 2020, presentan un zoneamiento característico de un depósito porfirítico de Cu.

De igual forma que Nosach (2009) Y SRK Consulting (2021), coincidimos que, al realizar un estudio geoquímico integral, en combinación con un medio de muestreo específico (suelos, sedimentos o rocas) y empleando una o más técnicas analíticas, se pueden identificar nuevos yacimientos minerales de favorable aprovechamiento.

Geoveth (2018) Y Palomino y Vásquez (2012) establecen que todo cuerpo mineralizado siempre, genera aureolas y flujos de dispersión anómalos en un área definida, debido a que todo el material que se meteorizó se transporta y redeposita en zonas cerca de la misma, migrando de la roca fuente hacia los exteriores del sistema, de igual forma en este estudio coincidimos con los autores, además, consideramos importante lo que se menciona, debido que al muestrear en los suelos alrededor del intrusivo Yanaquero, se encontró anomalías de Cu, Ag, Pb y Zn, de 943.7 ppm, 1.33 ppm, 117 ppm y 252.8 ppm respectivamente, lo que nos indicaría el intrusivo Yanaquero es un cuerpo mineralizado.

Por otro lado, Acosta et al (2006), consideran importante que en todo estudio de dispersión geoquímica se relacione a los factores granulométricos presente en el

ensayo químico, el Ph de las muestras y los rasgos geológicos, con la finalidad de encontrar nuevos cuerpos intrusivos mineralizados, de lo expuesto anteriormente concordamos con el autor, debido a que en nuestra investigación se utilizó la granulometría (menos malla #200) en el análisis químico garantizando una digestión completa de la muestra, además se calculó el pH para cada una de las muestras que fue uno de los indicadores más importantes en la investigación pues nos indicaron el comportamiento de movilidad para cada metal a lo largo del ambiente secundario estudiado y para complementar esta información se identificó los rasgos geológicos del medio.

Desde el punto de vista de Trelles (2021) y Segura (2018) es importante considerar a la caracterización estadística de la información geoquímica como el primer paso para el análisis geoquímico, además de complementarla con trabajos de campo, mapeos geológicos entre otros, de igual manera coincidimos referente a este punto de vista, puesto que, en nuestra investigación fue necesario realizar la caracterización estadística de nuestra información geoquímica, para poder calcular los estadísticos descriptivos, que nos sirvió para elaborar las interpretaciones respectivas, así mismo, con el cartografiado local del Intrusivo Yanaquero, se complementó la información obtenida anteriormente.

Córdova (2018), expresa que la transformación Log-Normal en datos geoquímicos permite elaborar una mejor caracterización estadística, además de incluir en esta la matriz de correlación Pearson como método eficaz para asociar los cambios proporcionales entre dos variables; de la misma manera, la información presentada coincide con lo investigado, debido a que, nuestra población muestral no presentaba una distribución normal por ende se generaba falsas interpretaciones de los datos, por ello fue necesario transformar nuestros datos a una base Log-Normal, obteniendo

como resultado una buena interpretación geoquímica. Así mismo, se usó a Pearson en la correlación bivarial debido a que nuestros datos finales presentaron una distribución normal.

En el estudio de dispersión geoquímica secundaria de Pérez (2015), considera a Cu, Au, Mo, Pb, Zn, As, Bi, Ag, Te y Mn como los metales más importantes en la búsqueda de yacimientos Miocénicos (Pórfidos) mineralizados, lo que quiere decir que mientras más cerca a ellos, abundancia de estos será mayor y la dispersión de estos presentará un comportamiento geoquímico similar. Para Manchego (2016) de igual manera considera importante el análisis de los metales Cu, Mo, Au, Ag, Pb, Zn, Mn, puesto que son los pathfinder en la búsqueda de yacimientos cupríferos, lo que indicaría que la información presentada por los autores concuerda con lo encontrado en el sector Michiquillay, ya que la dispersión geoquímica secundaria de Cu, Ag, Pb y Zn presenta tendencias de distribución similares entre sí, lo que evidenciaría la presencia de un intrusivo mineralizado a pocos kilómetros.

López, et al. (2014) y Sillitoe (2010) enmarcan un zoneamiento geoquímico característico de los sistemas tipo pórfido cuprífero, donde Cu-Mo-Au se gradan hacia la zona central, y en zonas laterales del sistema se generan halos anómalos a escala de km de los metales de Pb-Zn-Mn-As-Au±Ag, que evidencian condiciones de más baja temperatura; de igual forma coincidimos parcialmente con lo expuesto, debido a que en nuestro estudio, se presentaron las gradaciones de temperatura, Pb-Zn características de una zona distal en un ambiente intrusivo mineralizado.

Por último, es necesario aclarar que, en las investigaciones mostradas anteriormente, no han considerado al Color de la muestra como un parámetro importante para sus interpretaciones, debido a ello en este estudio se consideró como una importante característica del suelo, como información adicional, puesto que existen relaciones

entre el color y el contenido metálico presentando las mayores dispersiones a Cu-Ag con los colores Amarillo Oliva y Marrón Muy Pálido y Pb – Zn con Marrón grisáceo Muy oscuro y Marrón Muy Pálido y por ultimo para la asociación final de Cu-Pb-Zn el color predominante fue el Marrón Muy Pálido.

Esta investigación está limitada teóricamente a estudios de exploración relacionados a ambientes ígneos (intrusivos); a nivel practico la limitante principal en el área de estudio fue el acceso a los terrenos, puesto que se estaba pensando cubrir una mayor área en el muestreo, pero por cuestiones de permisos de los pobladores de la zona no pudimos hacerlo, por otro lado, la limitante temporal fue el inicio de la pandemia, que nos atrasó en la recolección y la presentación de la información respectiva.

De la presente investigación se recomienda, realizar un muestreo a detalle en los puntos anómalos, con el fin de corroborar o descartar las anomalías presentes, así mismo, reanalizar las pulpas, a través de una digestión multiactiva con lectura multielemental ICP-MS, para mejorar la interpretación geoquímica de la zona de estudio. Por último, se recomendaría un muestreo sistemático de rocas y un estudio estructural a detalle en el intrusivo Yanaquero para establecer relaciones con la dispersión geoquímica secundaria en los suelos muestreados.

## **4.2 Conclusiones**

Se interpreto que la dispersión geoquímica secundaria de Cu, Ag, Pb y Zn en suelos alrededor del intrusivo Yanaquero - Sector Michiquillay, se relaciona a la movilidad y zoneamiento geoquímico, en ambientes superficiales de yacimientos tipo pórfido de Cu.

Se caracterizó estadísticamente los valores de la población muestral, aplicando la transformación Log\_Normal, con el objetivo de modificar los altos erráticos e identificar anomalías en el área de estudio.

Se identificó anomalías ( $>$ Threshold) para cada metal analizado, distribuidas a lo largo del área muestreada, en el Cu: 943.7 ppm y 764.3 ppm, para Ag: 1.33ppm y 1.15ppm, para Pb: 117 pm y por último para Zn: 252.8ppm.

Se analizó la correlación bivariada a través del método de Pearson, donde se identificó buena correlación positiva (0.631) para Pb-Zn y mediana correlación positiva (0.337) para Cu-Pb.

Se identificó las tendencias de dispersión geoquímica secundaria para cada metal, obteniendo N-S para Cobre, NNE-SSO para Plata y NNO-SSE para Plomo y Zinc.

Se determinó las mayores dispersiones para Cu-Ag al Amarillo Oliva y Marrón Muy Pálido, para el Pb-Zn al Marrón Grisáceo Muy oscuro y Marrón Muy Pálido y por último para Cu-Pb-Zn al Marrón Muy Pálido, y así mismo las mayores dispersiones de Ph respecto al contenido metálico fueron, para Cu-Ag: Básico y Neutro y para Pb-Zn: Básico y Ácido.

Se realizó el cartografiado geológico general, del intrusivo Yanaquero, identificando como litología principal a la Diorita Porfírica de grano fino, con evidencia de alteración hidrotermal, coexistiendo con estructuras locales como fallas y brechas.

## REFERENCIAS

- Acosta, J., Valencia, M., Rivera, R., Vargas, L. y Chira, L. (2006). *Aplicación de la Dispersión mecánica y química en la Prospección de Pórfidos de Cobre: Ejemplo "La Granja" en el norte del Perú*. Lima: Sociedad Geológica del Perú.
- Aguinaga, V., Hoyos, D., Carranza, V., Ramírez, D., Heracles, J., y Abanto C. (2021). *Cartera de Proyectos de Exploración Minera*. Ministerio de Energía y Minas. Lima. Perú. p.3.
- Alcántara, G. (2011). *Cobertura vegetal y uso actual del de Cajamarca*. Cajamarca.
- Alperin, M. (2013). *Introducción al análisis estadístico de datos geológicos*. Editorial de la Universidad Nacional de La Plata (EDULP). <https://doi.org/10.35537/10915/34221>.
- ArcGIS. (2016). *Cómo funciona IDW*. Obtenido de ArcGIS for Desktop: <https://desktop.arcgis.com/es/arcmap/10.3/tools/spatial-analyst-toolbox/how-idw-works.htm>
- Briones, M (2005), *Validación de métodos analíticos para la determinación de Alcalinidad, Dureza, Hidrocarburos totales de petróleo (TPH) y Fósforo, en aguas residuales, en el laboratorio de Eismaster CIA LTDA (Proyecto de investigación)*. Quito, Ecuador. Escuela Politécnica Nacional, Ladrón de Guevara E11-253.
- Calcina M. (2008) “*Exploración geoquímica y determinación de elementos pathfinder - target proyecto: Achanizochaparra - Caravelí – Arequipa*”. Puno. Investigación UNA.
- Canchaya, S. (2012). *Taller de Geoestadística Aplicada (Curso aplicado)*. Cajamarca, Perú.
- Castro, A., Dávila, C., Cubas, F., Ávalos, G., López, C., y Villena, D, (2021). *Climas del Perú*. Lima: Red Activa Soluciones Gráficas SAC.

- Condori, W. (2016). *Validación de un método para la determinación de Cobre, Cromo, Manganeso y Níquel en suelo por Absorción Atómica de Flama* (Tesis de Grado). Lima, Perú. Universidad Nacional Federico Villarreal.
- Córdova, E. (2018). *Estudio Geológico, Geoquímico del Proyecto Huayrapongo, sector California, distrito de San Bernardino – San Pablo -Cajamarca – Perú 2016*. Cajamarca. Universidad Nacional de Cajamarca.
- Dammert, A. y Molinelli, F. (2007). *Panorama de la Minería del Perú*. Lima: OSINERGMIN.
- Davies, R. (2002). *Tectonic, Magmatic and Metallogenic evolution of the Cajamarca mining district, northern Perú* (tesis de doctorado). Australia. James Cook University.
- Echeveste, H. (2018). *Manual de levantamiento geológico: una introducción a la geología de campo*. Editorial de la Universidad Nacional de La Plata (EDULP).
- Emmons, W. (1927). *Relations of disseminated copper ores in porphyry to igneous intrusions*. American Institute of mining and metallurgical Engineers, Transactions v.75, p. 797-809.
- Geoveth, E. (2018). *Prospección Geoquímica del sector Intermedio de la franja aurífera Melonera-Oropesa, Villa Clara*. Noa. Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa.
- Hawkes, H., y Webb, J. S. (1962). *Geochemistry in Mineral Exploration*. New York, Estados Unidos de América: Harper & Row.
- Hernández, J., Espinosa, F., Rodríguez, J., Chacón, J., Toloza, C., Arenas, M., Carrillo, S. y Bermúdez. (2018). *Sobre el uso adecuado del coeficiente de correlación de Pearson: definición, propiedades y suposiciones*. Archivos Venezolanos de Farmacología y Terapéutica, 37 (5), 587-595. [Fecha de Consulta 10 de noviembre de 2021]. ISSN: 0798-0264. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=55963207025>.

- Hernández, R., Fernández, C., y Baptista, P. (2014). *Metodología de la investigación: Roberto Hernández Sampieri, Carlos Fernández Collado y Pilar Baptista Lucio (6ta)*. México D.F.: McGraw-Hill, p.4-88
- Hoffman, S. (1986). *Soil Sampling. Exploration Geochemistry: Design and Interpretation of Soil Surveys*, 3, pp.39-77.
- Hollister, V., y Sirvas, E. (1974). *El Pórfido de Cobre Michiquillay*. Boletín Sociedad Geológica del Perú, XLIV, 11-27p.
- Lambert, A. (2006). *Manual de Muestreo para Exploración, Minería Subterránea Y Rajo Abierto*. Coquimbo, p.22-45.
- Levinson, A. (1974). *Introduction to Exploration Geochemistry*. Illinois. Editorial: Applied Publishing Ltd.
- Licapa, G. (2015). *Influencia del Tiempo de Retención y Composición del Sustrato en la Remoción de Hierro y Cobre del Drenaje Ácido de Mina en Humedales Artificiales* (tesis de maestría). Cajamarca, Perú. Universidad Nacional de Cajamarca.
- López, W., Argote, A., y Astopilco H. (2014). *Evidencia Geoquímica de un Pórfido soterrado, prospecto Rey Baltazar, Cañete*. Artículo de congreso, Sociedad Geológica del Perú. Lima Perú.
- Manchego, J. (2016). *Caracterización Geológica-Geoquímica y Alteración Hidrotermal del Prospecto Pinco Pinco, Pórfido de Cu (Mo)*. Tacna. Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann.
- Martínez, R., Tuya, L., Martínez, M., Pérez A., Y Cánovas, A. (2009). *El Coeficiente De Correlación De Los Rangos De Spearman Caracterización*. Revista Habanera de Ciencias Médicas, 8(2) Recuperado en 05 de setiembre de 2021, de

[http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1729519X2009000200017&lng=es&tlng=es](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1729519X2009000200017&lng=es&tlng=es).

Metal Mining Agency. (1975). *Report on geological survey of the Michiquillay area, Republic of Peru*. Public. Internal Report for Metal Mining Agency, Japan International Cooperation Agency and Government of Japan, November 1975.

Minero Perú. (1993). *Investment opportunities Michiquillay Project Information Memorandum*. Lima: Minero Perú SA.

Minitab. (2020). *Soporte Minitab 20*. Obtenido de <https://support.minitab.com/es-mx/minitab/18/help-and-how-to/statistics/basic-statistics/supporting-topics/normality/test-for-normality/ort.minitab.com/es-mx/minitab/18/help-and-how-to/statistics/basic-statistics/supporting-topics/normality/test-for-normality>

Morales, P. y Rodríguez, L. (2016). *Aplicación De Los Coeficientes Correlación De Kendall Y Spearman*, p.1-8.

Munsell Color. (1994). *Munsell soil color charts*. Maryland, Estados Unidos de América: Munsell Color.

Nosach, S. (2009). *Aplicación de los métodos geoquímicos en el estudio del yacimiento Mazur, Azov, Ucrania*. Ingeniería Investigación Y Desarrollo, 9(2), 57-59. Recuperado a partir de [https://revistas.uptc.edu.co/index.php/ingenieria\\_sogamoso/article/view/909](https://revistas.uptc.edu.co/index.php/ingenieria_sogamoso/article/view/909).

Nuchanong, T., Lavin, O.P., & Nichol, I. (1991). *Geochemical dispersion of gold related to copper-gold mineralization in northeastern Thailand*. Journal of Geochemical Exploration, 40, 49-71.

Oblitas, J. (2018). *Guía de investigación Científica 2018 V(2)*. Universidad Privada del Norte. Perú, p.30.

- Palomino, C. y Vásquez, R. (2012). *Caracterización Geoquímica secundaria, asociada a los yacimientos de Magistral y Pasto Bueno*. Lima: INGEMMET.
- Pedrosa, I., Juarros-Basterretxea, J., Robles-Fernández, A., Basteiro, J., y García-Cueto, E. (2014). *Pruebas de bondad de ajuste en distribuciones simétricas, ¿qué estadístico utilizar?*. *Universitas Psychologica*, 14(1), 245–254.  
<https://doi.org/10.11144/Javeriana.upsy14-1.pbad>
- Pérez, V. (2015). *Estudio de la dispersión geoquímica secundaria de Cobre-Oro y sus pathfinder asociados a los pórfidos de Minas Conga, El Galeno, La Carpa y Michiquillay en la región de Cajamarca Perú* (tesis de pregrado). Cajamarca, Perú. Universidad Nacional de Cajamarca.
- Quintanilla, B. (2017). *Estadística en Variables con censura: Aplicación a datos Medioambientales* (Trabajo de Investigación). Universidad Oberta de Catalunya, Barcelona, España.
- Reyes, L. (1980). *Boletín 31: Geología de los cuadrángulos de Cajamarca, San Marcos y Cajabamba*. Lima: INGEMMET, p.40-41.
- Rivera, H., (2007). *Introducción a la Geoquímica General y Aplicada*. 2ª Edición. Lima. Perú. 475 pp.
- Rivasplata, V. (2012). *Geología y Geoquímica del Prospecto Andrea, área de exploración regional de Minera Yanacocha – Cajamarca* (Tesis Pregrado). Cajamarca Perú. Universidad Nacional de Cajamarca.
- Rivasplata, V. (2020). *Estudio de Casos; Generación de Targets del tipo Pórfido – Epitermal*). Presentación curso online. Cajamarca, Perú.

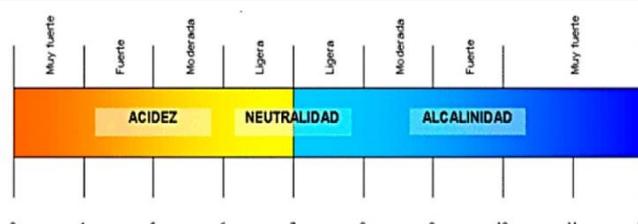
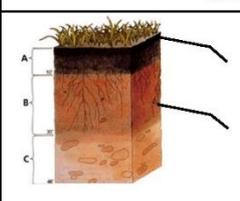
- Rojas, J. (2018). *Evaluación De Índice De Trabajo, (Work Index); En Un Yacimiento Tipo Pórfido De Cobre Y Su Implicancia Geometalúrgica*. Lima Perú. Pontificia universidad Católica del Perú.
- Samamé, M. (1981). *El Perú Minero: Yacimientos*. 3V. 146-154. Lima:IncITEMI.
- Segura, J. (2018). *Geología y Evaluación de Patrones Geoquímicos de Dispersión-Prospecto de Jaguay*. Arequipa. Universidad Nacional San Agustín.
- Siegel, F. (1992). *Geoquímica Aplicada*. Washington D.C, Estados Unidos de América: Secretaría General de la Organización de los Estados Americanos, Programa Regional de Desarrollo Científico y Tecnológico.
- Sillitoe, R. (2010). *Porphyry Copper Systems*. Society of economic Geologist. England. v. 105, pp 3 – 41.
- Spadoni, M, Cavarreta, G. y Patera, A. (2004). *Cartographic techniques for mapping the geochemical data of stream sediments: the “Sample Catchment Basin” approach*. *Environmental Geology*. 45, p.593-597.
- SRK Consulting. (2021). *Geoquímica de Exploraciones*. Obtenido de: <https://www.srk.com/es/servicios/geoquimica-de-exploracion>
- Trelles, G. (2021). *Estudio de la dispersión geoquímica secundaria de los metales base en los volcánicos del Neógeno, en la microcuenca Chahuarma – Huancavelica, Perú*. Lima. Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
- United State Environmental Protection Agency (1996). *Method 3050B, Acid Digestion of Sediments, Sludgles, and Soils*. Revisión 2. Washington, DC.
- Vásquez R. (2009). *"Distribución de Tierras Raras y otros elementos traza en la franja Polimetálica 9°-10°S del Perú Central"*. Tesis, Universidad Nacional de Cajamarca, p. 54-55.

Viladevall, M (2008). *La Prospección Geoquímica (La Prospección Geoquímica y sus métodos)*. Barcelona.

## ANEXOS

ANEXO n.º 1	Ficha de observación del suelo muestreado.....	110
ANEXO n.º 2	Muestreo de Suelos.....	111
ANEXO n.º 3	Procedimiento De Preparación De Mecánica De Muestras Suelos, Rocas, Sedimento	115
ANEXO n.º 4	Procedimiento De Digestión Acida De Muestras De Sedimentos, Lodos Y Suelos....	116
ANEXO n.º 5	Procedimiento De Para La Lectura De Ph En Muestras De Suelo. ....	122
ANEXO n.º 6	Procedimiento Para Identificación De Color En Muestras De Suelo .....	125
ANEXO n.º 7	Procedimiento Para Análisis De Cu, Ag, Pb Y Zn En Muestras Acidas por AAS .....	128
ANEXO n.º 8	Plano de Ubicación y Accesibilidad .....	134
ANEXO n.º 9	Movilidad de elementos traza en ambiente superficial (Hoffman, 1986).....	135
ANEXO n.º 10	Plano de Puntos de Muestreo.....	137
ANEXO n.º 11	Plano Litologías y Estructuras Yanaquero.....	138
ANEXO n.º 12	Dispersión Geoquímica Secundaria De Cu.....	139
ANEXO n.º 13	Dispersión Geoquímica Secundaria De Ag .....	140
ANEXO n.º 14	Dispersión Geoquímica Secundaria De Pb .....	141
ANEXO n.º 15	Dispersión Geoquímica Secundaria De Zn.....	14142
ANEXO n.º 16	Zoneamiento Geoquímico Superficial .....	141
ANEXO n.º 17	Base de Datos.....	141

**ANEXO n.º 1**
*Ficha de observación del suelo muestreado*

“Caracterización Geoquímica en Suelos para determinar la Dispersión Secundaria de Cu, Ag, Pb, Zn alrededor del intrusivo Yanaquero - Sector Michiquillay 2020”						MS -	
Registrado / muestreado por :							
<b>DATOS GENERALES</b>							
Fecha: ___/___/20__		Hora: :		Clima	Soleado	Nublado	Precipitación
					<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
COORDENADAS UTM WGS-84				Planeada:		Ejecutada:	
				ESTE	NORTE	COTA	Punto GPS
Topografía:	Cima de colina <input type="radio"/>	Pendiente suave <input type="radio"/>	Pendiente >20° <input type="radio"/>	Llano <input type="radio"/>	Depresión <input type="radio"/>	Otra:	
<b>CARACTERISTICAS DEL SUELO</b>							
<b>IN SITU</b>				<b>LABORATORIO</b>			
CONTENIDO DE HUMEDAD		Seco <input type="radio"/>	% HUMEDAD	$= (W_{HUM} - W_{SEC} / W_{HUM}) \times 100$			
		Húmedo <input type="radio"/>		(    -    /    ) x 100 =    %			
		Saturado <input type="radio"/>					
COLOR - MUNSELL SOIL CHART				COLOR - MUNSELL SOIL CHART			
Matiz:				Matiz:			
Valor:				Valor:			
Chroma:				Chroma:			
Color:				Color:			
CONTENIDOS DE FRAGMENTOS > 1 CM				pH "MEDIDOR DE pH DIGITAL PH-009(I)"			
REGOLITO CON MISMA MATRIZ DEL SUELO		TRANSPORTADOS		"Metodo 1:2.5 (Zagal y Sadzawka, 2009)"			
Sin fragmentos <input type="radio"/>		Sin fragmentos <input type="radio"/>		Nº pH Suelo:			
0-5% <input type="radio"/>		SEDIMENTARIA					
5-10% <input type="radio"/>		IGNEA					
10-25% <input type="radio"/>		METAMÓRFICA					
30 - MÁS <input type="radio"/>		OTRA:					
<b>PERFIL DE SUELO</b>				Nº pH Agua Desionizada:			
		Profundidad Horizonte A:					
		_____ m *					
		Profundidad Horizonte B:					
		Desde: _____ m *					
		Hasta : _____ m					
<b>OTROS DATOS</b>							
CODIGO DE ANEXOS				CANTIDAD DE SUELO RECOLECTADO			
Fotografía N°: Desde _____ Hasta _____				_____ Kg			
Observaciones Adicionales y/o descripción de alrededores:							

## ANEXO n.º 2

### Muestreo de suelos



Nota: **a)** Se determina y limpia el área a muestrear. **b)** Cavar hasta encontrar el cambio de la capa orgánica (horizonte A) al horizonte B del suelo. **c)** Extraer la muestra del suelo con cucharones plásticos y la depositarla en la bolsa de muestreo, tomando una porción de este para identificar el color. **d)** Medir el espesor de cada horizonte y tomar la fotografía del punto **e)** Completar el resto de información requerida y/o descripción adicional en la ficha de observación en campo. **f)** Rellenar la calicata y limpiar herramientas de muestreo con ayuda del material extraído, evitando que material muestreado se quede en los cucharones de plástico

**ANEXO n.º 3**

*Procedimiento De Preparación De Mecánica De Muestras Suelos, Rocas, Sedimentos*

<b>PROCEDIMIENTO DE PREPARACIÓN DE MÉCANICA DE MUESTRAS SUELOS, ROCAS, SEDIMENTOS</b>	
<b><u>CÓDIGO: PR-T-M-001</u></b>	Versión: 2020
Área: Geología	Página 1 de 4

**1. Referencia Principal**

Tomado del Proceso de Preparación Mecánica utilizada en INGEMMET – Lima Perú. (Por temas de confidencialidad no se muestra a detalle).

**2. Alcance**

Este instructivo es aplicable para muestras de suelo, rocas y sedimentos, a las que se le realizará a una digestión acida (Agua regia, Multiacida).

**3. Definiciones**

- Cuarteo de muestras: División de la muestra en una porción representativa que permite agilizar el proceso de preparación mecánica, para la división de muestras se utiliza un cuarteador de rifles.
- Chancado de muestras: Reducción de la muestra de tal manera que cumpla con el tamaño de partícula necesario.
- Secado de muestras: Eliminación de la humedad de la muestra para evitar que esta se pegue en las paredes de los equipos.
- Pulverizado de muestras: Reducción de la muestra a un tamaño de partícula de acuerdo al requerimiento de la norma utilizada para el análisis químico.

**4. Materiales y equipos**

- Horno a gas.
- Juego de tamices (#10 - #200).
- Bandejas plásticas.
- Maso de goma (Triturador manual de muestras).
- Triturador de quijada.
- Balanza volumétrica.
- Cuarteador Jones.
- Envases plásticos (conservación de muestras).
- Máquina de pulverizado y/o mortero de porcelana.
- Compresora de aire 0.5hp.

<b>PROCEDIMIENTO DE PREPARACIÓN DE MÉCANICA DE MUESTRAS SUELOS, ROCAS, SEDIMENTOS</b>	
<b><u>CÓDIGO: PR-T-M-001</u></b>	Versión: 2020
Área: Geología	Página 113 de 4

#### **5. Descripción del Procedimiento.**

1. Se calcula el peso inicial de la muestra de suelo.
2. Colocar la muestra de suelo en una bandeja y llevarla al horno con su respectiva identificación para su proceso de secado la misma a  $60^{\circ} \pm 5^{\circ} \text{C}$  /  $140^{\circ}\text{F}$  entre 24 a 30 horas, o hasta completar el secado total.
3. Volver a pesar la muestras y se procederá a calcular el % de humedad.
4. Antes de triturar la muestra, retirar los agentes orgánicos externos al suelo (ramas, hojas de árboles, entre otros).
5. Triturar la muestra hasta lograr un tamaño menor a 2mm de diámetro aproximadamente, luego tamizarla bajo la malla #10 (2mm).
6. Utilizando el cuarteador Jones, dividir la fracción pasante del suelo tantas veces se necesario, hasta obtener un peso final aproximado de 130 a 180 gr.
7. La fracción del suelo aceptable se colocará en la bandeja plástica pequeña con su respectivo código para luego pulverizarse.
8. La fracción del suelo obtenida anteriormente se pulverizará utilizando un pulverizador de discos o un mortero de porcelana, hasta obtener la granulometría fina (menos malla #200). La fracción resultante debe ser por lo menos el >90% de la fracción inicial.
9. Al término de cada pulverizado se retira la fracción de suelo resultante de la bandeja de recepción del pulverizador o mortero se verte este material a un envase plástico para su posterior digestión ácida.
10. Lavar y secar todo el material, pasar a la siguiente muestra. (de ser materiales no lavables utilizar alcohol y aire comprimido para su limpieza).

#### **4. Restricciones**

Los operadores tendrán que realizar sus tareas asignadas garantizando la seguridad en procedimiento.

Está prohibido realizar el trabajo sin EPP (Guardapolvo o mandil plástico, Lentes de seguridad, guantes, Mascarilla para Polvo).

Comunicar al encargado del laboratorio en caso existir desperfectos en el desarrollo de la tarea.

**PROCEDIMIENTO DE PREPARACIÓN DE MÉCANICA DE MUESTRAS SUELOS, ROCAS, SEDIMENTOS**

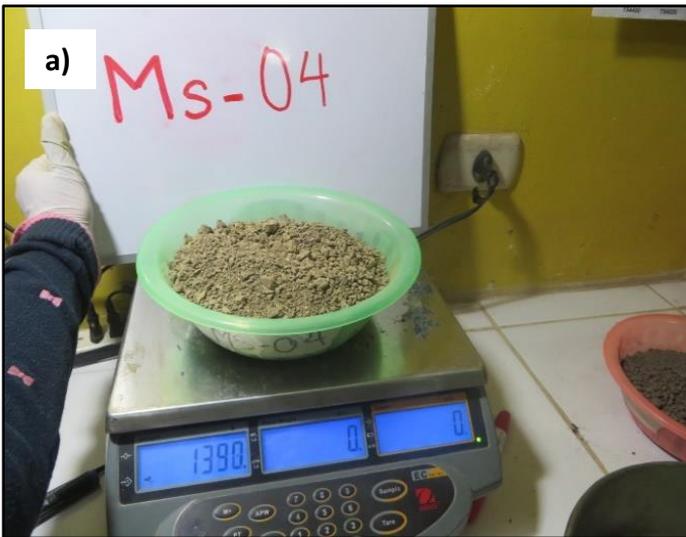
**CÓDIGO: PR-T-M-001**

Versión: 2020

Área: Geología

Página 3 de 4

**5. Diagramas /Imágenes:**



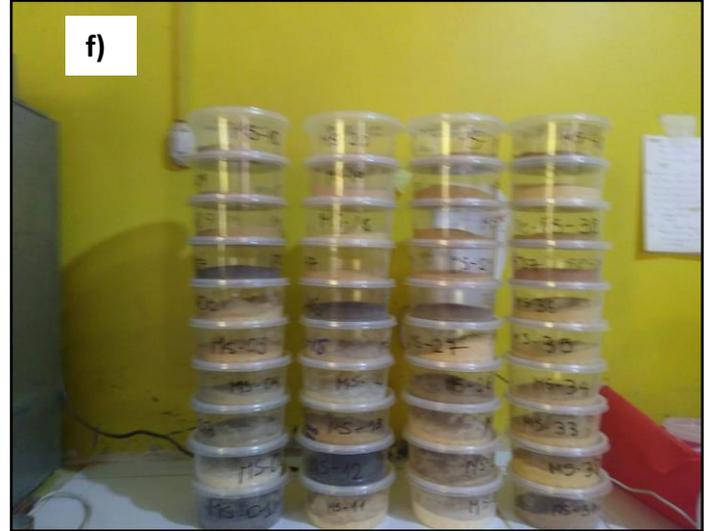
**PROCEDIMIENTO DE PREPARACIÓN DE MÉCANICA DE MUESTRAS SUELOS, ROCAS, SEDIMENTOS**

**CÓDIGO: PR-T-M-001**

Versión: 2020

Área: Geología

Página 4 de 4



Nota: **a)** Desembolsar la muestra, pesarla y proceder a secar la muestra a  $60^{\circ} \pm 5^{\circ} \text{C}$  /  $140^{\circ}\text{F}$  entre 24 a 30 horas, o hasta completar el secado total. **b)** Retirar los agentes externos al suelo y triturar la muestra. **c)** Tamizar a un tamaño menor al tamiz N° 10 (2 mm) de diámetro de partícula aproximadamente. **d)** Dividir la muestra con el cuarteador Jones, hasta conseguir un peso final de entre 130 - 180g. aproximadamente **e)** Pulverizar con una máquina de pulverizado y/o mortero de porcelana, hasta tener la fracción fina de granulometría menos malla N°200 (por lo menos el >90% de la fracción inicial). **f)** Almacenar el material obtenido en un envase de plástico debidamente rotulado, para su posterior análisis, limpiar todo el material utilizado y pasar a la siguiente muestra.

**ANEXO n.º 4**

*Procedimiento De Digestión Acida De Muestras De Sedimentos, Lodos Y Suelos*

<b>PROCEDIMIENTO DE DIGESTIÓN ACIDA DE MUESTRAS DE SEDIMENTOS, LODOS Y SUELOS</b>	
<b><u>CÓDIGO: PR-T-M-002</u></b>	Versión: 2020
Área: Geología	Página 1 de 6

**1. Referencia Principal**

Tomado de United State Environmental Protection Agency (1996). Method 3050B, Acid Digestion of Sediments, Sludgles, and Soils. Revisión 2. Washington, DC.

**2. Alcance**

Este método se ha escrito para proporcionar el procedimiento de digestión dos ácidos en muestras de sedimentos, lodos y suelos para análisis por absorción atómica de llama (AAS) o espectrometría de emisión atómica de plasma acoplado inductivamente (ICP-AES).

**3. Fundamento del método para la determinación químico-analítico**

Es una digestión ácida muy fuerte que disolverá casi todos los elementos que podrían “estar disponibles para el medio ambiente”. Pero por su diseño, los elementos unidos a estructuras de silicato normalmente no se disuelven mediante este procedimiento, ya que generalmente no son móviles en el ambiente.

**4. Aparatos y Materiales.**

- Recipientes de digestión - 250 ml.
- Dispositivo de recuperación de vapor (lentes de reloj, dispositivo de reflujo apropiado).
- Hornos de secado - capaces de mantener 30°C + 40°C.
- Dispositivo de medición de temperatura capaz de medir al menos 125°C con precisión y exactitud adecuadas (por ejemplo, termómetro, sensor IR, termopar, termistor, etc.)
- Papel de filtro - Whatman No. 41 o equivalente.
- Centrifugadora y tubos de centrifuga.
- Balanza analítica - capaz de pesajes precisos hasta 0,01 g.
- Fuente de calentamiento: ajustable y capaz de mantener una temperatura de 90-95°C. (por ejemplo, placa caliente, digestor de bloques, microondas, etc.)
- Embudo o equivalente.
- Cilindro graduado o dispositivo de medición de volumen equivalente.
- Frascos volumétricos - 100 ml.

**PROCEDIMIENTO DE DIGESTIÓN ACIDA DE MUESTRAS DE SEDIMENTOS, LODOS Y SUELOS**

**CÓDIGO: PR-T-M-002**

Versión: 2020

Área: Geología

Página 117 de 6

## 5. Reactivos

- **Agua Desionizada.** El desionizada estará libre de interferencias. Todas las referencias al agua en el método se refieren al agua destilada, a menos que se especifique lo contrario.
- **Ácido nítrico** (concentrado), HNO<sub>3</sub>. El ácido debe ser analizado para determinar el nivel de impurezas. Si el blanco del método es <MDL, se puede usar el ácido.
- **Ácido clorhídrico** (concentrado), HCl. El ácido debe ser analizado para determinar el nivel de impurezas. Si el blanco del método es <MDL, se puede usar el ácido.
- **Peróxido de hidrógeno** (30%), H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>. El oxidante debe analizarse para determinar el nivel de impurezas. Si el blanco del método es <MDL, se puede usar el peróxido.

## RECOGIDA, PRESERVACIÓN Y MANIPULACIÓN DE MUESTRAS

- Todas las muestras deben haberse recolectado utilizando un plan de muestreo que aborde las consideraciones explicadas.
- Se debe demostrar que todos los contenedores de muestras están libres de contaminación en o por debajo del límite de notificación. Son adecuados recipientes de plástico y vidrio.
- Las muestras no acuosas deben refrigerarse al recibirse y analizarse lo antes posible.
- Puede ser difícil obtener una muestra representativa con materiales húmedos o mojados. Las muestras húmedas pueden secarse, triturarse y triturarse para reducir la variabilidad de la submuestra siempre que el secado no afecte la extracción de los analitos de interés en la muestra.

## 6. Descripción del Procedimiento.

6.1. Mezcle bien la muestra para lograr homogeneidad (Cuarteo) Todo el equipo utilizado para la homogeneización debe limpiarse de acuerdo con las instrucciones de la sección 5 (RECOGIDA, PRESERVACIÓN Y MANIPULACIÓN DE MUESTRAS) para minimizar el potencial de contaminación cruzada. Para cada procedimiento de digestión, pese a los 0.01 g más cercanos y transfiera una muestra de 1-2 g (peso húmedo) o una muestra de 1 g (peso seco) a un recipiente de digestión. Para muestras con alto contenido de líquido, se puede usar un tamaño de muestra más grande siempre que se complete la digestión.

NOTA: Todos los pasos que requieran el uso de ácidos deben ser realizados bajo una campana de extracción por personal debidamente capacitado, utilizando el equipo de seguridad de laboratorio apropiado. Se recomienda el uso de un sistema de depuración de vapor ácido para minimizar los desechos.

**PROCEDIMIENTO DE DIGESTIÓN ACIDA DE MUESTRAS DE SEDIMENTOS, LODOS Y SUELOS**

**CÓDIGO: PR-T-M-002**

Versión: 2020

Área: Geología

Página 3 de 6

- 6.2. Para la digestión de muestras, agregue 10 ml de HNO<sub>3</sub> 1: 1, mezcle la suspensión y cubra con un dispositivo de recuperación de vapor o luna de reloj. Calentar la muestra a 95°C ± 5°C y someter a reflujo durante 10 a 15 minutos sin hervir. Deje que la muestra se enfríe, agregue 5 ml de HNO<sub>3</sub> concentrado, vuelva a colocar la cubierta y a reflujo durante 30 minutos. Si se generan humos marrones, lo que indica la oxidación de la muestra por HNO<sub>3</sub>, repita este paso (adición de 5 ml de HNO<sub>3</sub> concentrado) una y otra vez hasta que la muestra no emita humos marrones, lo que indica la reacción completa con HNO<sub>3</sub>. Con un sistema de recuperación de vidrio o vapor de reloj acanalado, permita que la solución se evapore a aproximadamente 5 ml sin hervir o caliente a 95°C ± 5°C sin hervir durante dos horas. Mantenga una cubierta de solución sobre el fondo del recipiente en todo momento.
- 6.3. Una vez que se haya completado el paso en la Sección 6.2 y se haya enfriado la muestra, agregue 2 ml de agua y 3 ml de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> al 30%. Cubra el recipiente con un dispositivo de recuperación de vidrio o una luna reloj y devuelva el recipiente cubierto a la fuente de calor para que se caliente y comience la reacción de peróxido. Se debe tener cuidado para garantizar que no se produzcan pérdidas debido a una efervescencia excesivamente vigorosa. Calentar hasta que desaparezca la efervescencia y enfriar el recipiente.
- 6.4. Cuando la muestra se enfrió durante 5 minutos, agregue lentamente 10 ml de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> al 30%. Se debe tener cuidado para asegurar que las pérdidas no se produzcan debido a una vigorosa efervescencia excesiva.
- 6.5. Continúe agregando 30% de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> en alícuotas de 1 ml con calentamiento hasta que la efervescencia sea mínima o hasta que la apariencia general de la muestra no cambie.
- NOTA:** No agregue más de un total de 10 ml de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> al 30%.
- 6.6. Cubra la muestra con un dispositivo de recuperación de vidrio o luna de reloj y continúe calentando el digestato de peróxido de ácido hasta que el volumen se haya reducido a aproximadamente 5 ml o se caliente a 95°C ± 5°C sin hervir durante dos horas. Mantenga una cubierta de solución sobre el fondo del recipiente en todo momento.
- 6.7. Agregue 10 ml HCl concentrado y se cubre con un dispositivo de recuperación de vapor o luna de reloj. Coloque la muestra en la fuente de calor y que esta refluya a 95°C ± 5°C durante 15 minutos.
- Filtre el digestato a través del papel de filtro Whatman No. 41 (o equivalente) y recoja el filtrado en un matraz volumétrico de 100 ml. Realiza a volumen y analiza por AAS o ICP-AES.

**PROCEDIMIENTO DE DIGESTIÓN ACIDA DE MUESTRAS DE SEDIMENTOS, LODOS Y SUELOS**

**CÓDIGO: PR-T-M-002**

Versión: 2020

Área: Geología

Página 4 de 6

La siguiente sección puede usarse para mejorar las solubilidades y recuperaciones de antimonio, bario, plomo y plata cuando sea necesario. Estos pasos son opcionales y no se requieren de forma rutinaria.

- a. Añadir 2.5 ml de HNO<sub>3</sub> concentrado y 10 ml HCl concentrado a una muestra de 1-2 g (peso húmedo) o 1 g de muestra (peso seco) y cubra con un dispositivo de recuperación de vapor o vidrio de reloj. Coloque la muestra en / en la fuente de calentamiento y refluya durante 15 minutos.
- b. Filtrar el digerido a través del papel de filtro Whatman No. 41 (o equivalente) y recoger el filtrado en un matraz volumétrico de 100 ml. Lave el papel de filtro, mientras esté en el embudo, con no más de 5 ml de HCl caliente (~ 95°C), luego con 20 ml de agua reactiva caliente (~ 95°C). Recoger los lavados en el mismo matraz volumétrico de 100 ml.
- c. Retire el filtro y los residuos del embudo y vuelva a colocarlos en el recipiente. Añadir 5 ml de concentrado. HCl, vuelva a colocar el recipiente en la fuente de calentamiento y caliente a 95°C ± 5°C hasta que el papel de filtro se disuelva. Retire el recipiente de la fuente de calor y lave la cubierta y los lados con agua reactiva. Filtrar el residuo y recoger el filtrado en el mismo matraz aforado de 100 ml. Permita que el filtrado se enfríe, luego diluya a volumen.

**NOTA:** Las altas concentraciones de sales metálicas con solubilidades sensibles a la temperatura pueden resultar en la formación de precipitados al enfriar los filtrados primarios y / o secundarios. Si se produce una precipitación en el matraz al enfriarse, no lo diluya al volumen.

- d. Si se forma un precipitado en el fondo de un matraz, agregue hasta 10 ml de HCl concentrado para disolver el precipitado. Después de disolver el precipitado, diluir a volumen con agua reactiva. Analizar por AAS o ICP-AES.

## 7. Restricciones

Los operadores tendrán que realizar sus tareas asignadas garantizando la seguridad en procedimiento.

Realizar todo el procedimiento anterior bajo una campana de extracción de gases, en un laboratorio con permanente ventilación.

Está prohibido realizar el trabajo sin EPP (Guardapolvo, Lentes de seguridad, guantes).

Comunicar al encargado del laboratorio en caso existir desperfectos en el desarrollo de la tarea.

**PROCEDIMIENTO DE DIGESTIÓN ACIDA DE MUESTRAS DE SEDIMENTOS, LODOS Y SUELOS**

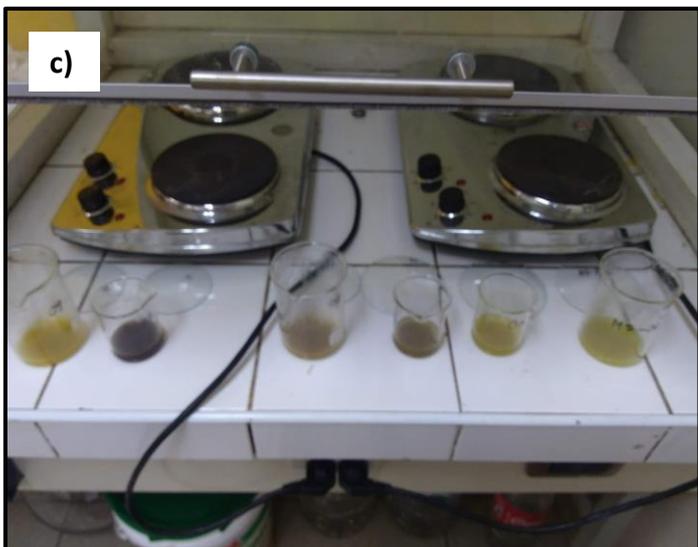
**CÓDIGO: PR-T-M-002**

Versión: 2020

Área: Geología

Página 5 de 6

**8. Diagramas/ Imágenes.**



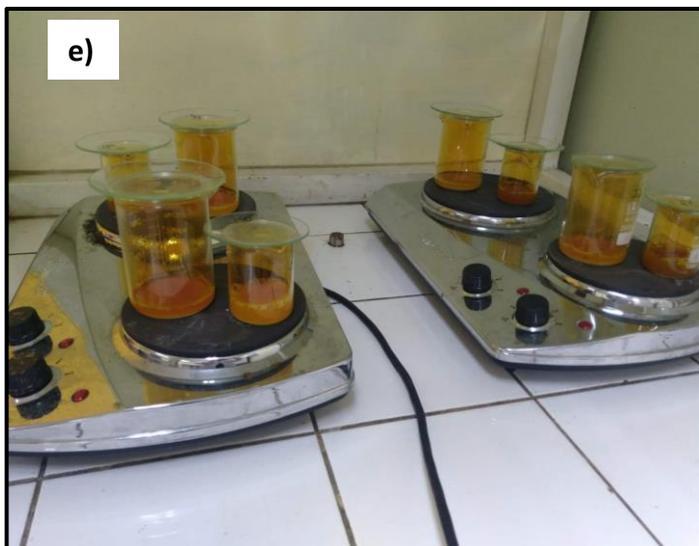
**PROCEDIMIENTO DE DIGESTIÓN ACIDA DE MUESTRAS DE SEDIMENTOS, LODOS Y SUELOS**

**CÓDIGO: PR-T-M-002**

Versión: 2020

Área: Geología

Página 6 de 6



Nota: **a)** Preparar todos los materiales a utilizar y mezclar la muestra a homogeneidad y cuartear la misma. **b)** Seleccionar 1g de la muestra aceptada. **c)** Transferir a un vaso de precipitación donde se le agregará 10ml de HNO<sub>3</sub> 1:1. **d)** Se procederá a calentar la muestra donde se someterá a reflujo durante 15 minutos. **e)** Añadir 5ml de HNO<sub>3</sub> y mantener a reflujo a T° constante durante 30 minutos; repetir hasta completar la reacción. También se añadirá 2ml de agua y 3ml de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> al 30%, para luego añadir 10ml de HCL concentrado a la digestión y cubrir al reflujo durante 15 min. **f)** Después de enfriar, diluir el digestato a 100 ml con agua destilada y Filtrar. Listo para análisis AAS o ICP-AES.

**ANEXO n.º 5**

*Procedimiento De Para La Lectura De Ph En Muestras De Suelo.*

<b>PROCEDIMIENTO DE PARA LA LECTURA DE PH EN MUESTRAS DE SUELO</b>	
<b><u>CÓDIGO: PR-T-M-003</u></b>	Versión: 2020
Área: Geología	Página 1 de 3

**1. Referencia principal**

Tomado de Zagal, E., y Sadzawka, A. (2007). Protocolo de Métodos de Análisis para Suelos y Lodos, 19-23.

**2. Alcance**

Este método es aplicable a todos los tipos de suelos (excepto a los suelos orgánicos) y a los lodos generados en plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas.

**3. Fundamento**

En los suelos, el pH es usado como un indicador de la acidez si el suelo contiene una concentración elevada de iones de hidrógeno, o alcalinidad si contiene pocos iones de hidrógeno; un pH=7 indica un suelo neutro.

**4. Equipos, Materiales y complemento.**

- Agitador magnético.
- Varillas de vidrio o de plástico.
- Luna de reloj.
- Medidor de pH.
- Recipientes de vidrio o plástico de al menos 100 ml de capacidad.
- Agua destilada

**5. Descripción del Procedimiento**

1. Antes de iniciar, Calibrar el medidor de pH siguiendo las instrucciones del fabricante y usando dos soluciones estándar PH: 4.0, la de PH 6.8.
2. Pesar 10g (precisión de 0,1 g) de la fracción fina de rechazo del suelo que fue pulverizado y tamizado bajo la malla N°200 y colocarla en un vaso Baker o envase plástico.
3. Agregar 25 ml de agua destilada a una temperatura entre 20°C y 25°C.
4. Agitar vigorosamente la suspensión durante 5 min usando el agitador magnético y dejar reposar al menos 10 min.

**PROCEDIMIENTO DE PARA LA LECTURA DE PH EN MUESTRAS DE SUELO**

**CÓDIGO: PR-T-M-003**

Versión: 2020

Área: Geología

Página 2 de 3

4.1 Alternativa: Agitar en forma manual con ayuda de una varilla de vidrio o de plástico.

5. Introducir los electrodos el pHmetro digital.
6. Leer el pH una vez estabilizada la lectura y anotar el valor con decimales.
7. La lectura puede considerarse estable cuando el pH medido en un período de 5 s varía en no más de 0,02 unidades. El tiempo requerido para la estabilización generalmente es de 1 min o menos.

**NOTA:**

El valor del pH (en suelos alcalinos es más difícil alcanzar la estabilización de la lectura del pH).

La mezcla mecánica de la suspensión antes de la medición de pH puede ayudar a lograr

lecturas estables en un menor tiempo.

**6. Restricciones**

Los operadores tendrán que realizar sus tareas asignadas garantizando la seguridad en procedimiento.

Está prohibido realizar el trabajo sin EPP (Guardapolvo, guantes).

Comunicar al encargado del laboratorio en caso existir desperfectos en el desarrollo de la tarea.

**PROCEDIMIENTO DE PARA LA LECTURA DE PH EN MUESTRAS DE SUELO**

**CÓDIGO: PR-T-M-003**

Versión: 2020

Área: Geología

Página 3 de 3

**7. Diagramas/ Imágenes**



Nota: **a)** Tomar 10g de la fracción fina de rechazo del suelo que fue pulverizado y tamizado bajo la malla N°200. **b)** Colocarla en un vaso Baker o recipiente de plástico y agregar 25ml de agua destilada. **c)** Homogenizar la mezcla con un agitador magnético o una varilla de vidrio, para dejar reposar la mezcla por al menos 10 minutos. **d)** Introducir el medidor de pH (hasta el nivel de inmersión) y esperar entre 1 min hasta que este se estabilice, luego anotar el valor de la lectura.

**ANEXO n.º 6**

*Procedimiento Para Identificación De Color En Muestras De Suelo*

<b>PROCEDIMIENTO PARA IDENTIFICACIÓN DE COLOR EN MUESTRAS DE SUELO</b>	
<b><u>CÓDIGO: PR-T-M-004</u></b>	Versión: 2020
Área: Geología	Página 1 de 3

**1. Referencia Principal**

Flores, L. y Alcalá, J. (2010). Manual de Procedimientos Analíticos - Laboratorio de Física de Suelos. México. Departamento de Geología: Universidad Nacional Autónoma de México. p.33.

Cartillas de Color de suelo Munsell Color (1994).

**2. Alcance**

Este procedimiento cubre la identificación visual del color, de una amplia variedad de suelos.

**3. Fundamento**

El color del suelo es una propiedad física relacionada con la longitud de onda del espectro visible que el suelo refleja al recibir los rayos de luz. El tono y la intensidad de los colores del suelo superficial y de sus horizontes permiten hacer inferencias sobre sus características y procesos pedogenéticos. La composición de este está determinado por la cantidad y estado de los minerales, así como de la materia orgánica, además de la existencia de procesos de oxidación o reducción. El color del suelo afecta, indirectamente, la temperatura y la humedad, a través de su efecto sobre la energía radiante.

**4. Materiales**

- Cartillas Munsell.
- Luna de reloj.
- Balanza volumétrica pequeña.

**5. Descripción del Procedimiento.**

1. Para determinar el color se toma una muestra de suelo secada, Tomar 10 g de muestra de suelo pulverizado y tamizado bajo la malla N°200 (muestra de rechazo), colocarla sobre una luna de reloj.
2. Identificar las cartillas Munsell, que se asemejen al color de la muestra y seleccionar una de ellas. Se compara el color de la muestra con el de las tablas estándar hasta obtener las tres propiedades del color del suelo: matiz, brillo, e intensidad cromática.
3. Registrar el Matiz (tono) y ubicar el color con mayor parecido a la muestra; escoger una casilla.

PROCEDIMIENTO PARA IDENTIFICACIÓN DE COLOR EN MUESTRAS DE SUELO	
<b>CÓDIGO: PR-T-M-004</b>	Versión: 2020
Área: Geología	Página 2 de 3

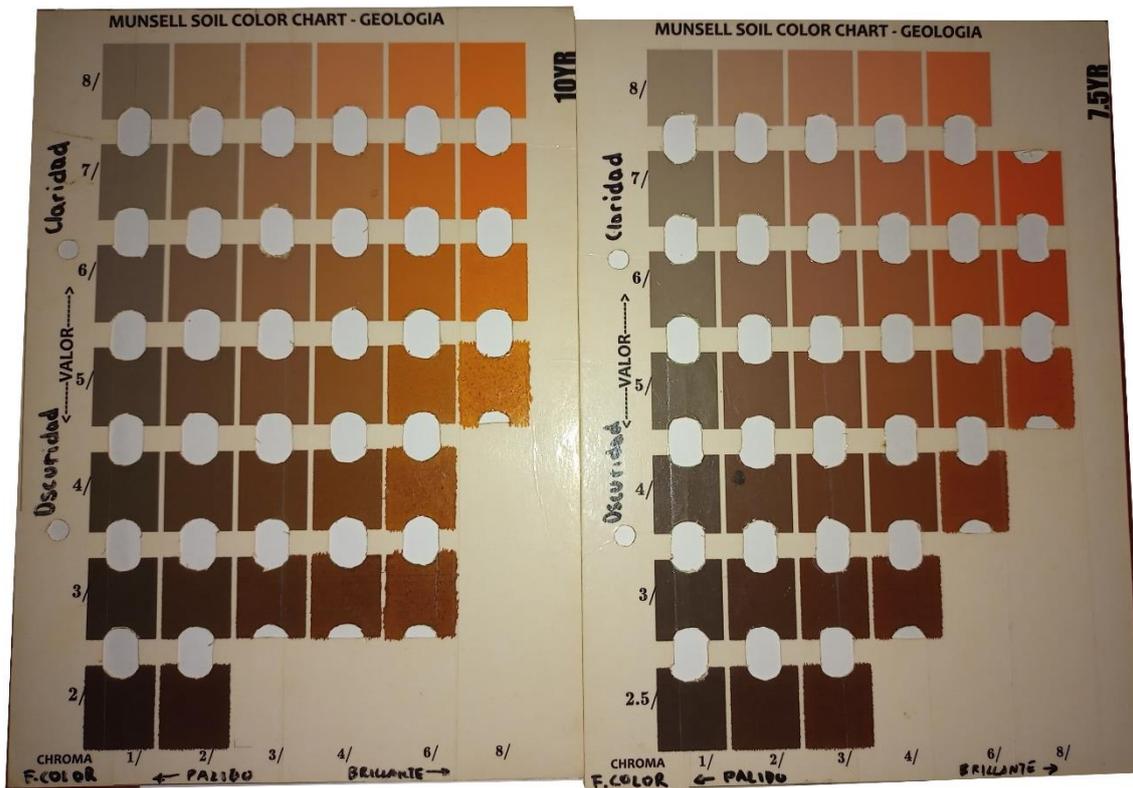
## 6. Restricciones

Los operadores tendrán que realizar sus tareas asignadas garantizando la seguridad en procedimiento.

Está prohibido realizar el trabajo sin EPP (Guardapolvo y guantes).

Comunicar al encargado del laboratorio en caso existir desperfectos en el desarrollo de la tarea.

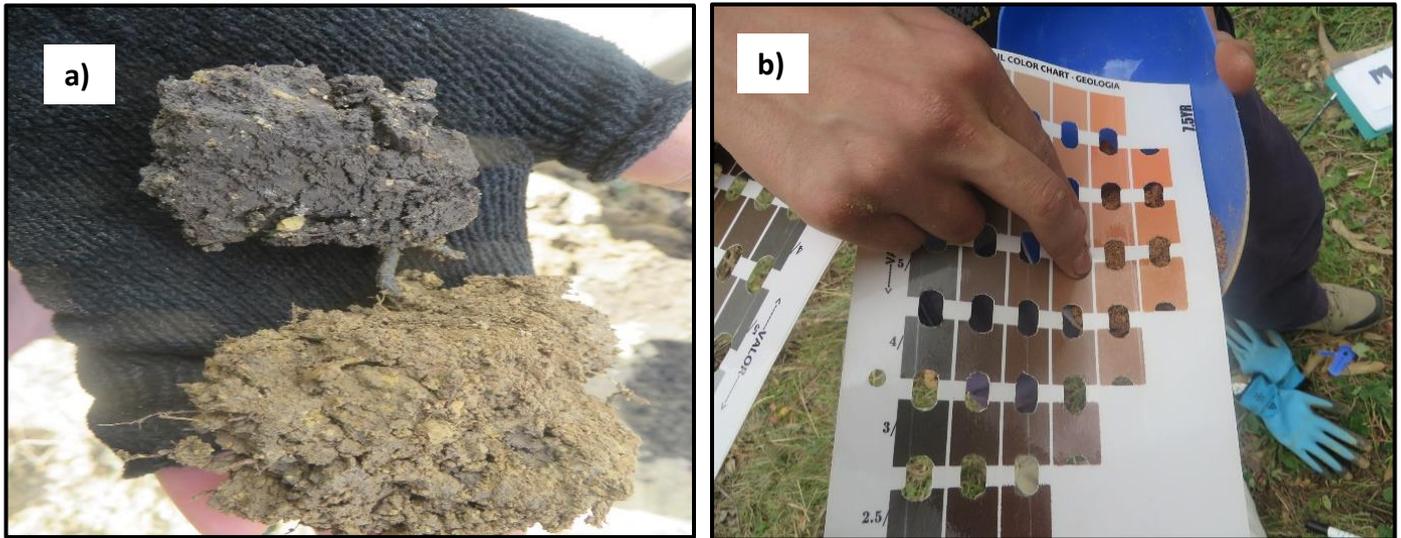
## 7. Diagramas/ Imágenes



Nota: Tablas Munsell utilizadas principalmente, con matices: 2.5Y, 5Y, 7.5YR y 10YR

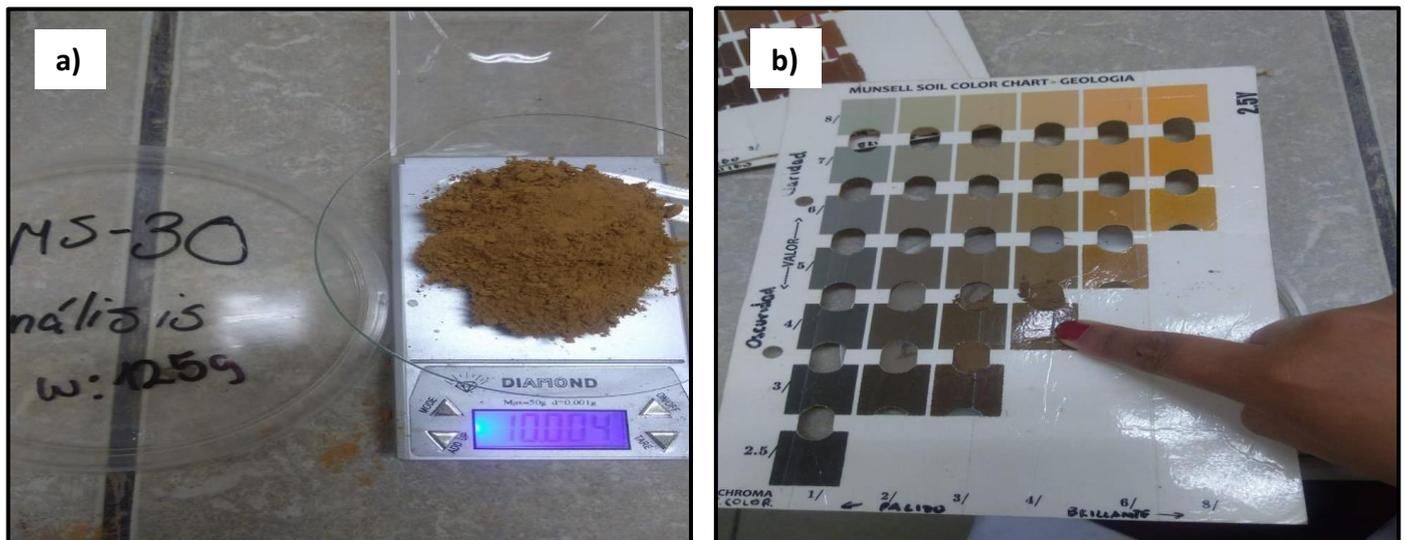
PROCEDIMIENTO PARA IDENTIFICACIÓN DE COLOR EN MUESTRAS DE SUELO	
<b>CÓDIGO: PR-T-M-004</b>	Versión: 2020
Área: Geología	Página 1 de 3

### IN SITU



Nota: **a)** Tomar una porción de la muestra obtenida del Horizonte B. **b)** Identificar las cartillas Munsell, que se asemejen al color de la muestra y seleccionar una de ellas y registrar el Matiz (tono) y ubicar el color con mayor parecido a la muestra; escoger una casilla.

### EN LABORATORIO



Nota: **a)** Tomar 10 g de muestra de rechazo del suelo pulverizado tamizado bajo la malla N°200, colocarla en una luna de reloj. **b)** Identificar las cartillas Munsell, que se asemejen al color de la muestra y seleccionar una de ellas y registrar el Matiz (tono) y ubicar el color con mayor parecido a la muestra; escoger una casilla.

**ANEXO n.º 7**

*Procedimiento Para Análisis De Cu, Ag, Pb Y Zn En Muestras Ácidas por AAS*

<b>PROCEDIMIENTO PARA ANÁLISIS DE COBRE, PLATA, PLOMO Y ZINC EN MUESTRAS ÁCIDAS POR ABSORCIÓN ATÓMICA</b>	
<b>CÓDIGO: PR-T-M-005</b>	Versión: 01
Área: Geología	Página 1 de 6

**1. Referencia principal**

- Tomado y modificado de Protocolo para el Análisis de Hierro y Cobre en muestras de agua por Absorción atómica – Tesis Post grado Licapa (2015).

- Condori, W. (2016). Validación de un método para la determinación de Cobre, Cromo, Manganeso y Níquel en suelo por Absorción Atómica de Flama (Tesis de Grado). Lima, Perú. Universidad Nacional Federico Villarreal.p.42.

**2. Alcance**

Se realiza una metodología de análisis para cobre, plata, plomo y zinc en digestatos ácidos por espectrofotometría de absorción atómica.

**3. Fundamento del método para la determinación químico-analítico**

Basado en el análisis cuantitativo de espectroscopia de absorción atómica que se rige en la absorción de la radiación de los átomos libres en la serie de los niveles de energía electrónica de un átomo y su longitud de onda dentro del espectro. El cual es único para cada elemento de la tabla periódica.

Expresado también como la apropiada medida de luz a través de una nube de átomos, la fuente de luz es proporcionada por una lámpara de cátodo hueco, esta luz se absorbe preferentemente por átomos no excitados, según la teoría de Beer-Lambert en la siguiente ecuación.

**4. Equipos y Materiales.**

- Equipo de absorción atómica Agilent Technologies 240 FS
- Dispensadores automáticos de 10 y 25 ml, para la adición de ácidos.
- Campanas extractoras.
- Destilador de agua y/o desionizador de agua.
- Agitador mecánico.
- Vasos de precipitación de 250 ml.
- Embudos de vidrio.
- Fiolas de 25 ml, clase A.
- Lunas de reloj.
- Frasco lavador (pizeta)

**PROCEDIMIENTO PARA ANÁLISIS DE COBRE, PLATA, PLOMO Y ZINC EN MUESTRAS ÁCIDAS POR ABSORCIÓN ATÓMICA**

**CÓDIGO: PR-T-M-005**

Versión: 01

Área: Geología

Página 2 de 6

- Pinzas para vasos.
- Tubos de ensayo
- Brochas.
- Espátulas.
- Guantes quirúrgicos descartables.
- Detergente para lavado de material de vidrio.

## 5. Procedimiento.

### Método de preparación de patrones para la curva de calibración del equipo de absorción atómica para Cu y Fe

#### -Blanco

- En un matraz vacío y limpio de 100 ml, seguir el procedimiento de la muestra.

#### -Patrones

- La preparación de cada patrón de calibración se realiza a través del cálculo de relación de concentración con la fórmula:  $C_1 \times V_1 = C_2 \times V_2$ , donde: **C1**=concentración inicial, **V1**=volumen inicial, **C2**=concentración final y **V2**=volumen final.  
\* Para cada elemento preparar fioles limpias y secas de 25 ml, donde se realizarán las concentraciones respectivas.

#### COBRE (Cu), PLOMO (Pb), ZINC (Zn):

- Solución base de 100 ppm. – Tomar una alícuota de 2.5 ml de la solución de 1000 ppm y aforar a 25 ml. con HCl (10%).
- Solución de 5 ppm. - Tomar una alícuota de 1.25 ml de solución de 100 ppm y aforar a 25 ml. con HCl (10%).
- Solución de 10 ppm. - Tomar una alícuota de 2.5 ml de solución de 100 ppm y aforar a 25 ml. con HCl (10%)
- Solución de 20 ppm. - Tomar una alícuota de 5 ml de la solución de 100 ppm y aforar a 25 ml. con HCl (10%)
- Solución de 30 ppm. - Tomar una alícuota de 7.5 ml de la solución de 100 ppm y aforar a 25 ml. con HCl (10%)

#### PLATA (Ag):

- Solución base de 100 ppm. – Tomar una alícuota de 2.5 ml de la solución de 1000 ppm y aforar a 25 ml. con agua destilada.

**PROCEDIMIENTO PARA ANÁLISIS DE COBRE, PLATA, PLOMO Y ZINC EN MUESTRAS ÁCIDAS POR ABSORCIÓN ATÓMICA**

**CÓDIGO: PR-T-M-005**

Versión: 01

Área: Geología

Página 3 de 6

- Solución de 0.6 ppm. - Tomar una alícuota de 0.15 ml de solución de 100 ppm y aforar a 25 ml. con agua destilada.
- Solución de 0.8 ppm. - Tomar una alícuota de 0.20 ml de solución de 100 ppm y aforar a 25 ml. con agua destilada.

Luego de la preparación de estándares, almacenar los mismos en frascos de vidrio ámbar.

**Optimización del equipo de Absorción Atómica Agilent Technologies 240 FS**

1. Prender el equipo.
2. Activar la PC y abrir la hoja de trabajo.
3. En la pestaña análisis se presenta la hoja de trabajo.
4. En el ícono optimizar dar click izquierdo y comprobar el elemento deseado y activar.
5. Activada la lámpara debe estar aproximadamente 5 minutos de calentamiento, para alcance la estabilidad deseada. De trabajar con un elemento inestable (longitud de onda menor a 200 nm) activar la lámpara de Deuterio por 15 minutos, para que esta se caliente.
6. Alinear la lámpara con las dos perillas para maximizar la energía.
7. En la ventana de optimización dar click izquierdo en el ícono optimizar lámparas, cuando la barra de energía esté llena en el ícono ajuste escala una vez ganado la
8. máxima absorbancia click en ajuste de señal.
9. Presionar en el ícono cero instrumentales hasta que la absorbancia sea 0.000, mantener la ventana abierta para optimizar el equipo.

**Calibración del equipo de Absorción Atómica Agilent Technologies 240 FS**

1. Los patrones de la curva de calibración se preparan a partir de las disoluciones Stock y/o Intermedia.
2. Se coloca la lámpara del elemento correspondiente y se optimiza para empezar el calibrado.
3. Dar click en el ícono empezar, y el equipo de absorción atómica automáticamente comenzará la calibración con los patrones preestablecidos por el analista.
4. El software te pide ingresar el blanco y dar click izquierdo en aceptar.
5. El software te pide ingrese el patrón 1 y click en aceptar.
6. Nuevamente el software te pide ingrese el patrón 2 y click en aceptar.
7. Finalmente, el equipo está calibrado para la lectura de las muestras.

<b>PROCEDIMIENTO PARA ANÁLISIS DE COBRE, PLATA, PLOMO Y ZINC EN MUESTRAS ÁCIDAS POR ABSORCIÓN ATÓMICA</b>	
<b>CÓDIGO: PR-T-M-005</b>	Versión: 01
Área: Geología	Página 4 de 6

### Lectura Cu, Ag, Pb y Zn por absorción atómica

1. Con el equipo calibrado, el software te pide que ingreses la muestra desconocida para su respectiva lectura.
2. La lectura se hace por separado para cada elemento puesto que, cada elemento tiene distintos parámetros instrumentales.

### Cálculos finales

Para el Cu, Ag, Pb y Zn el software te muestra los resultados de la muestra aspirada sin considerar las diluciones ni el peso inicial de la muestra por lo que se tiene realizar cálculos posteriores utilizando la fórmula.

$$\text{Elem. (ppm)} = \frac{\text{conc. Leída (mg/L)} \times \text{Volumen (ml)} \times \text{Factor de Dilución}}{\text{Peso de muestra (g)}}$$

### 6. Restricciones

- Los operadores tendrán que realizar sus tareas asignadas garantizando la seguridad en procedimiento.
- Al maniobrar el equipo se mantener la campana extractora de gases encendida.
- Está prohibido realizar el trabajo sin EPP (Guardapolvo, Lentes de seguridad, guantes).
- Comunicar al encargado del laboratorio en caso existir desperfectos en el desarrollo de la tarea.

**PROCEDIMIENTO PARA ANÁLISIS DE COBRE, PLATA, PLOMO Y ZINC EN MUESTRAS ÁCIDAS POR  
ABSORCIÓN ATÓMICA**

**CÓDIGO: PR-T-M-005**

Versión: 01

Área: Geología

Página 5 de 6

**7. Diagramas / Imágenes:**



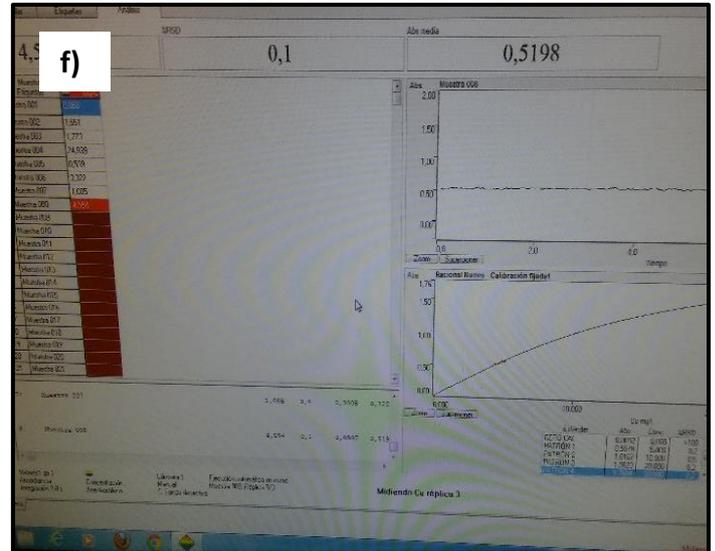
**PROCEDIMIENTO PARA ANÁLISIS DE COBRE, PLATA, PLOMO Y ZINC EN MUESTRAS ÁCIDAS POR ABSORCIÓN ATÓMICA**

**CÓDIGO: PR-T-M-005**

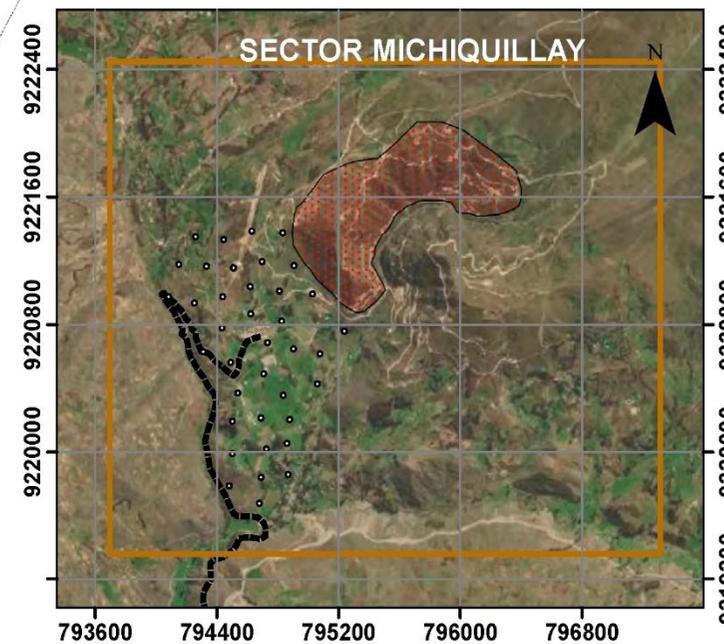
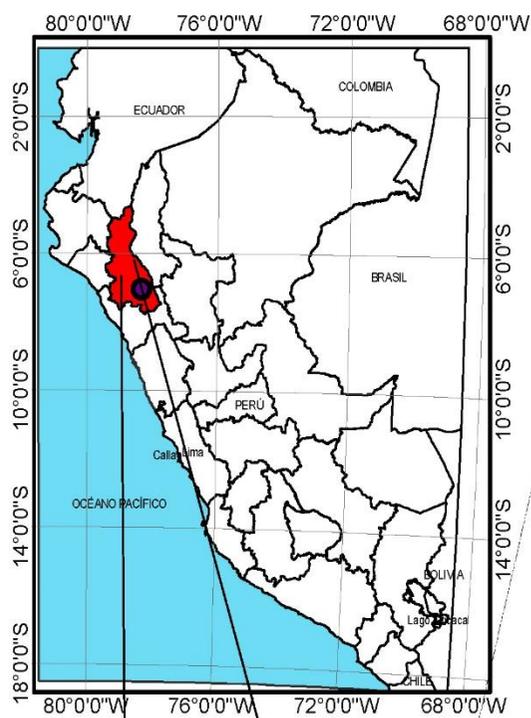
Versión: 01

Área: Geología

Página 6 de 6



Nota: **a)** Primero se preparará para cada metal una solución madre. **b)** Se realizará la preparación de las soluciones estándares para cada elemento, en base a la solución madre ya preparada. **c)** El espectrofotómetro se optimizará y calibrará con las soluciones estándar para cada metal. **d)** Se realizará la lectura de blancos para rectificar la calibración del equipo **e)** Se empezará a ingresar cada muestra desconocida para su respectiva lectura, (lectura se hace por separado para cada elemento puesto que, cada elemento tiene distintos parámetros instrumentales). **f)** Finalmente el software te muestra los resultados de la muestra para los metales analizados, solo queda hacer los cálculos respectivos.



LEYENDA	
Puntos de Muestreo	•
Intrusivo Yanaquero	■ (red hatched)
Área de estudio	■ (orange hatched)
Distrito	■ (red)
Vía Nacional	— (solid black)
Trocha Carrosable	- - - (dashed black)
Límite distrital	□ (black outline)

<b>UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE</b>	
FACULTAD DE INGENIERÍA	
Tesis: "Caracterización Geoquímica en Suelos para determinar la Dispersión Secundaria de Cu, Ag, Pb, Zn alrededor del Intrusivo Yanaquero - Sector Michiquillay 2020"	
Plano: <b>UBICACIÓN Y ACCESIBILIDAD</b>	
Tesisistas: Abanto Novoa, Jaime Renato Sánchez Pajares, Marie Anne	
Asesor: Ing. Mg. Miguel Ricardo Portilla Castañeda	
Fecha: Octubre, 2021	Escala: E/V
Sistema: Datum WGS-84	
<b>P01</b>	

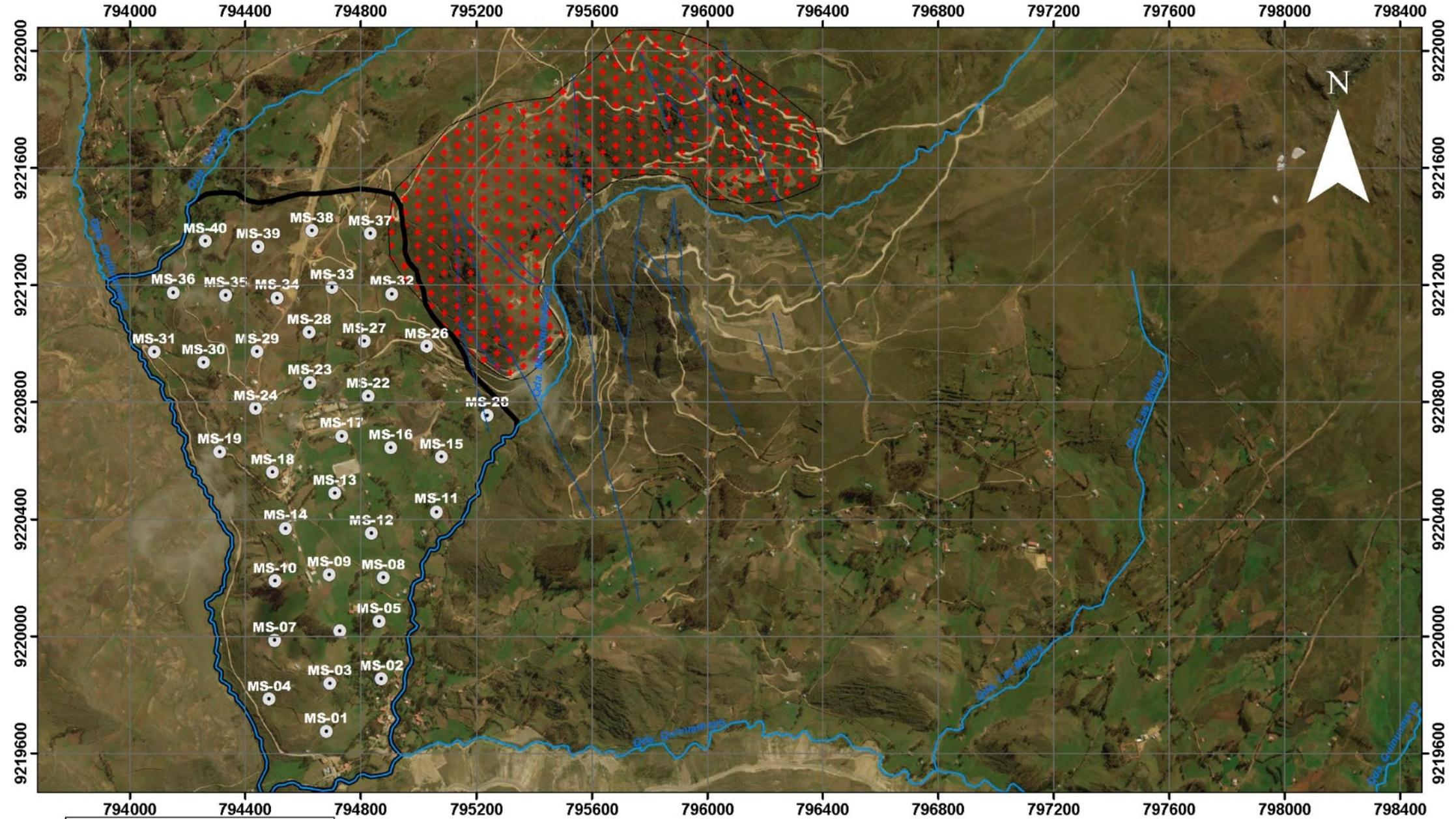
**ANEXO n.º 9**

*Movilidad de elementos traza en ambiente superficial (Hoffman, 1986)*

Elemento	<u>Condiciones de pH</u>			<u>Factores de Inmovilización</u>			Minerales Pesados
	Acido <5.5	Neutral pH 5.5 -7.0	Alcalino pH >7.0	Óxidos Fe/Mn	Materia Orgánica	Otros	
<b>Antimonio</b>	Bajo	Bajo	Bajo	Si		Sulfuro; condiciones reductoras.	
<b>Arsénico</b>	Medio	Medio	Medio	Si		Sulfuro, condiciones de arcilla.	
<b>Bario</b>	Bajo	Bajo	Bajo			Sulfato, condiciones reductoras, carbonato, arcilla.	
<b>Berilio</b>	Bajo	Bajo	Bajo	Si	Si	Arcilla	
<b>Bismuto</b>	Bajo	Bajo	Bajo	Bastante		Condiciones reductoras	
<b>Boro</b>	Muy Alto	Muy Alto	Muy Alto				Turmalina
<b>Cadmio</b>	Medio	Medio	Medio			Condiciones reductoras	
<b>Cerio</b>	Insoluble	Insoluble	Insoluble				Minerales de Tierras raras
<b>Cromo</b>	Muy Bajo	Muy Bajo	Muy Bajo				Cromita
<b>Cobalto</b>	Alto	Medio a Bajo	Muy Bajo			Sulfuro, Adsorción	
<b>Cobre</b>	Alto	Medio a Bajo	Muy Bajo	Si	Si	Sulfuro, Adsorción	
<b>Flúor</b>	Alto	Alto	Alto			CaF <sub>2</sub> , Adsorción	
<b>Oro</b>	Inmóvil	Inmóvil	Inmóvil				Oro nativo
<b>Hierro Fe<sup>+++</sup></b>	Alto a Muy Bajo	Muy Bajo	Muy Bajo	Si			Magnetita
<b>Hierro Fe<sup>++</sup></b>	Alto	Medio a Bajo	Muy Bajo	Si		Condición oxidante	
<b>Plomo</b>	Bajo	Bajo	Bajo			Carbonato insoluble, sulfato, fosfato, condición reductora.	
<b>Litio</b>	Bajo	Bajo	Bajo	Si		Arcillas	
<b>Manganeso</b>	Alto	Alto	Alto a Muy Bajo	Si		Arcillas	
<b>Mercurio (acuoso)</b>	Medio	Bajo	Bajo	Si		Sulfuro	Cinabrio
<b>Mercurio (volatil)</b>	Alto	Alto	Alto				

<b>Molibdeno</b>	Bajo	Medio	Alto	Si		Adsorción, en presencia de Pb, Fe, Ca; carbonato; sulfato; condiciones reductoras.	
<b>Níquel</b>	Alto	Medio a Bajo	Muy Bajo			Sulfuro, adsorción, minerales de silicato.	
<b>Niobio</b>	Insoluble	Insoluble	Insoluble				Si
<b>Tantalio</b>							
<b>Platino</b>	Insoluble	Insoluble	Insoluble				Platino Nativo
<b>Radio</b>	Alto	Alto	Alto	Si	Si	Co-precipitación con Ba, Ca, Fe, Mn.	
<b>Radón</b>	Alto	Alto	Alto			Limitado por la vida media	
<b>Selenio</b>	Alto	Alto	Muy Alto	Si		Condiciones reductoras, adsorción.	
<b>Plata</b>	Alto	Medio a Bajo	Muy Bajo	Si	Si	Condiciones reductoras; sulfato; precipitado por Pb, Cl, cromato, arseniato.	
<b>Teluro</b>	Muy Bajo	Muy Bajo	Muy Bajo				Si
<b>Torio</b>	Muy Bajo	Muy Bajo	Muy Bajo			Adsorción por arcillas, hidróxidos de aluminio.	Si
<b>Estaño</b>	Insoluble	Insoluble	Insoluble				Casiterita
<b>Tungsteno</b>	Insoluble	Insoluble	Insoluble	Si			Wolframita
<b>Uranio</b>	Bajo a Medio	Alto	Muy Alto	Si	Si	Condiciones reductoras; precipitación especial; adsorción.	V-Magnetitas

Nota: Tabla de movilidad respecto al ambiente Ph donde se encuentre el metal.



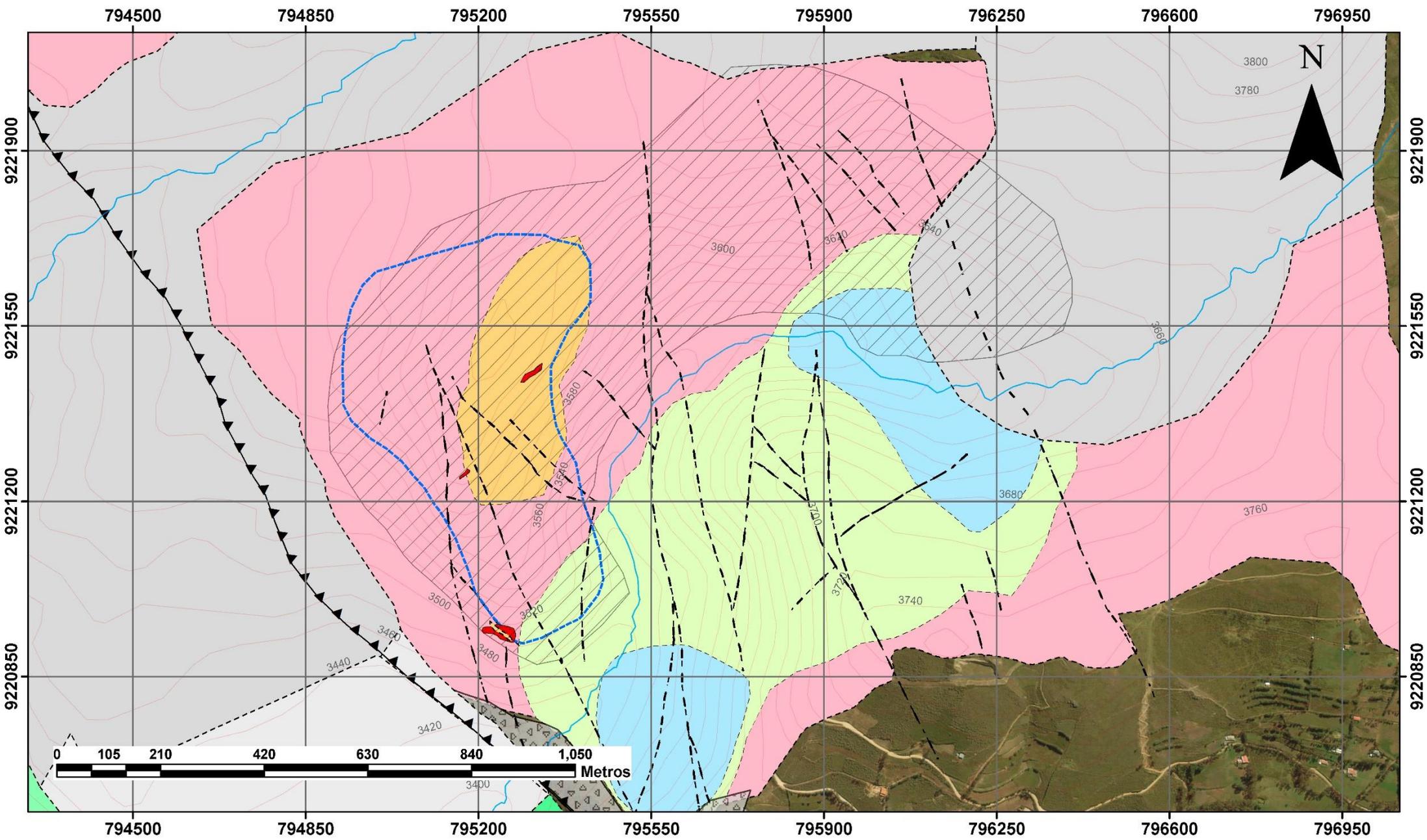
**LEYENDA**

-  Muestras de Suelo
-  Intrusivo Yanaquero
-  Área de Muestreo
-  Fallas complejo Michiquillay
-  Hidrografía



**Zona 17 S**

 <b>UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE</b>	
FACULTAD DE INGENIERÍA	
Tesis: "Caracterización Geoquímica en Suelos para determinar la Dispersión Secundaria de Cu, Ag, Pb, Zn alrededor del Intrusivo Yanaquero - Sector Michiquillay 2020"	
Plano: PUNTOS DE MUESTREO	
Tesisistas: Abanto Novoa, Jaime Renato Sánchez Pajares, Marie Anne	
Asesor: Ing. Mg. Miguel Ricardo Portilla Castañeda	
Fecha: Octubre, 2021	Escala: 1:12000
Sistema: Datum WGS-84	
P02	



ERA/TEMPO	SISTEMA	SERIE	UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS	ROCAS INTRUSIVAS SUBVOLCÁNICAS E PLUTÓNICAS
GENOZOICA	CUATERNARIO	HOLOCENO	Qh-Al	Nm-Di
		PLEISTOCENO	Qp-flg	
	NEÓGENO	MIOCENO		
MEZOZOICA	CRETÁCEO	INFERIOR	Ki-Chu-Pt	
			Ki-g	

ESTRUCTURAS
--- Contacto Inferido
▲▲ Faltas Inversas Michiquillay
- - - Fallamiento local Inferido
--- Límite Stockwork
--- Límite Intrusivo Yanaquero
△ Brecha de Faltas
■ Brecha

SIMBOLOGÍA
--- Curvas de Nivel 10m
--- Hidrografía

ALTERACIONES
Alteración Argílica
Alteración Potásica
Alteración Filica

**UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE**

FACULTAD DE INGENIERÍA

Tesis: "Caracterización Geoquímica en Suelos para determinar la Dispersión Secundaria de Cu, Ag, Pb, Zn alrededor del Intrusivo Yanaquero - Sector Michiquillay 2020"

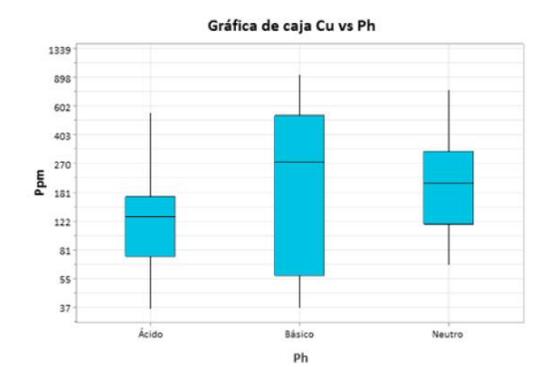
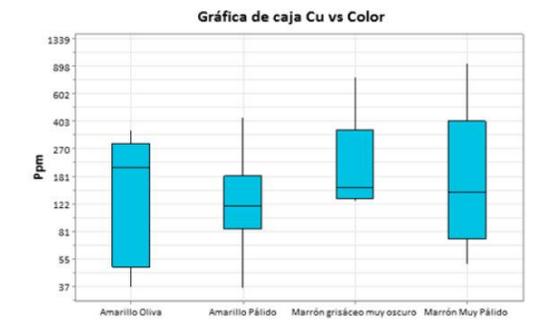
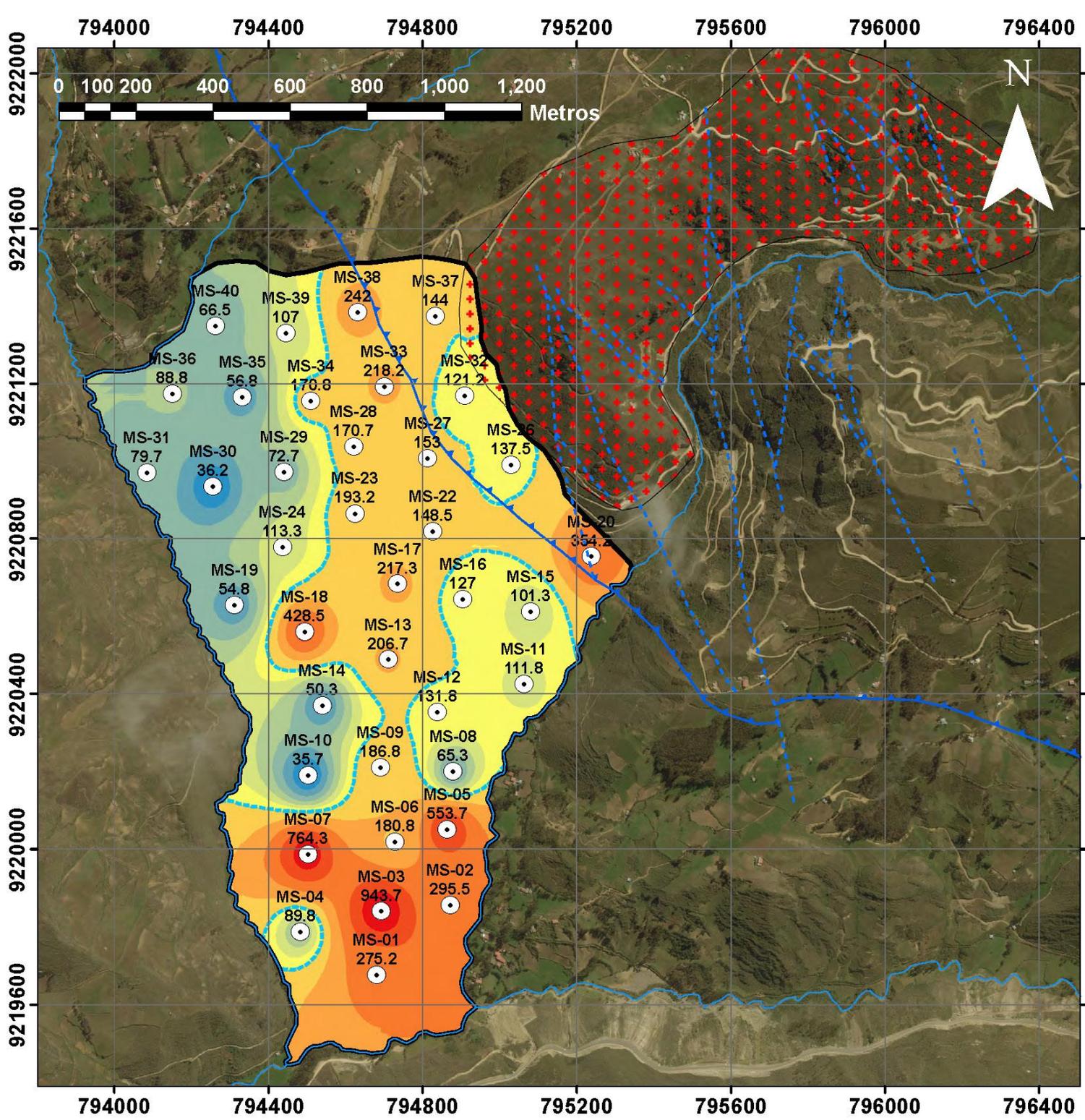
Plano: **LITOLOGIA Y ESTRUCTURAS YANAQUERO**

Tesistas: Abanto Novoa, Jaime Renato  
Sánchez Pajares, Marie Anne

Asesor: Ing. Mg. Miguel Ricardo Portilla Castañeda

Fecha: Octubre, 2021 | Escala: 1:7000 | Sistema: Datum WGS-84

P04



**Concentración (Ppm)**

**Cobre (Cu)**

- 35.71 - 50.55
- 50.55 - 68.01
- 68.01 - 86.31
- 86.31 - 104.95
- 104.95 - 123.21
- 123.21 - 144.32
- 144.32 - 190.15
- 190.15 - 254.25
- 254.25 - 362.24
- 362.24 - 557.69
- 557.69 - 943.69

**Legenda**

- Muestras de Suelo
- Falla Michiquillay
- - - Fallas locales
- ★ Intrusivo Yanaquero
- ⊕ Área de muestreo
- Hidrografía

**Parametros Geoquimicos**

**Background (x)**  
144.32 ppm

**Threshold (x\*2σ)**  
688.09 ppm

**Anomalia Cierta (x\*3σ)**  
1437.47 ppm

**UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE**

FACULTAD DE INGENIERÍA

Tesis: "Caracterización Geoquímica en Suelos para determinar la Dispersión Secundaria de Cu, Ag, Pb, Zn alrededor del Intrusivo Yanaquero - Sector Michiquillay 2020"

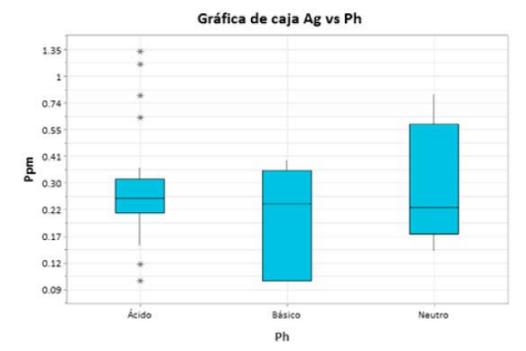
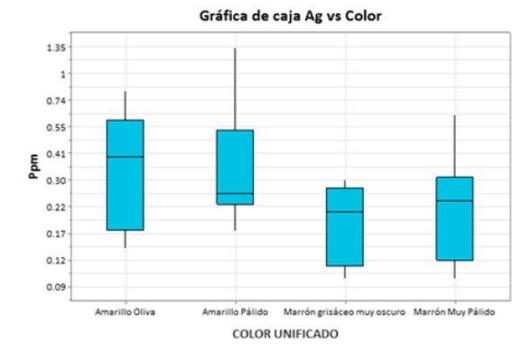
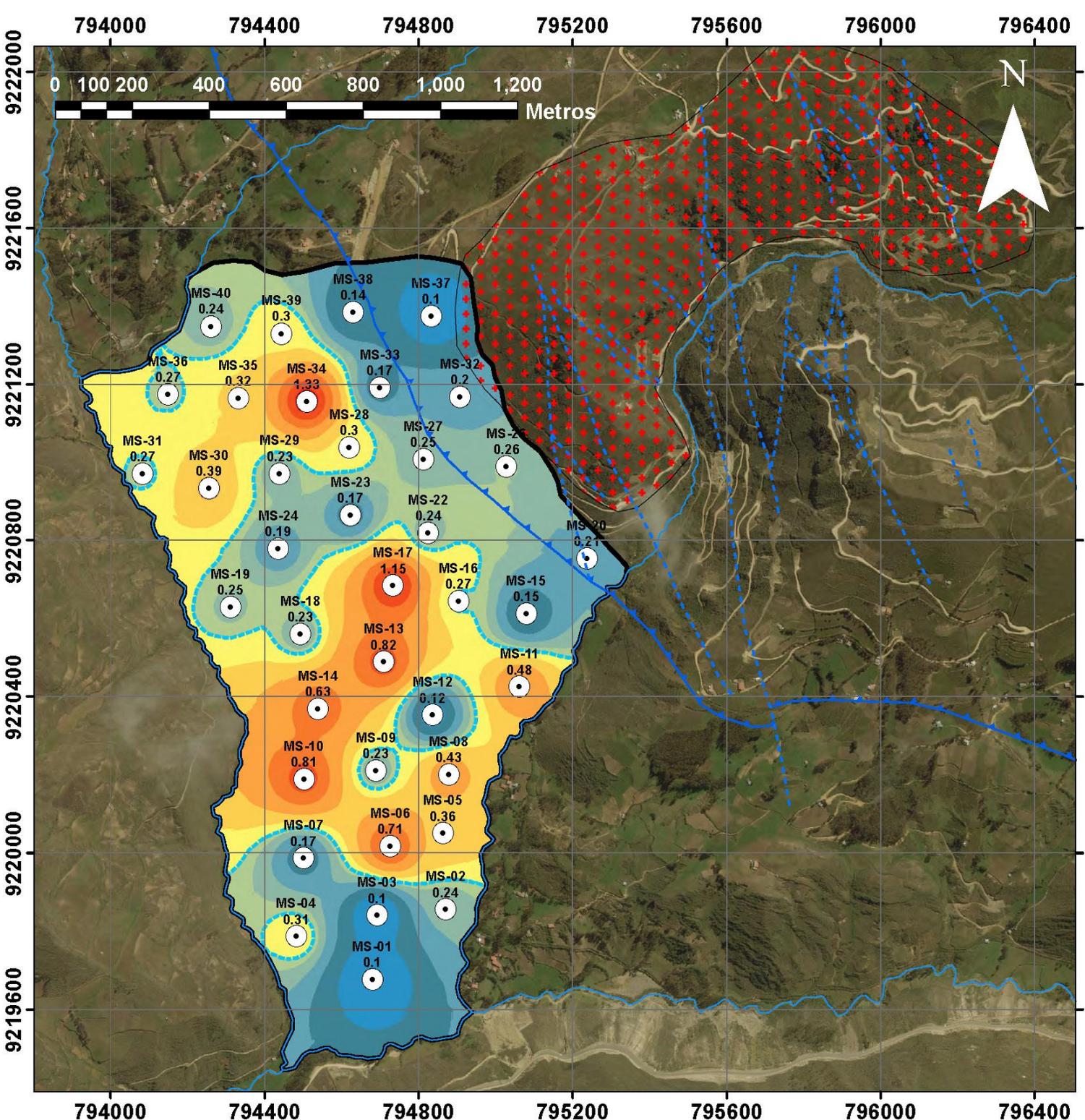
Plano: **DISPERSION GEOQUIMICA SECUNDARIA DE CU**

Tesistas: Abanto Novoa, Jaime Renato  
Sánchez Pajares, Marie Arme

Asesor: Ing. Mg. Miguel Ricardo Portilla Castañeda

Fecha: Octubre, 2021 | Escala: 1:8500 | Sistema: Datum WGS-84

**P05**



**Concentración (Ppm)**

**Plata (Ag)**

0.100 - 0.149
0.149 - 0.194
0.194 - 0.231
0.231 - 0.259
0.259 - 0.277
0.277 - 0.313
0.313 - 0.372
0.372 - 0.484
0.484 - 0.670
0.670 - 0.956
0.956 - 1.330

**Leyenda**

- Muestras de Suelo
- Falla Michiquillay
- Fallas locales
- Intrusivo Yanaquero
- Área de muestreo
- Hidrografía

**Parámetros Geoquímicos**

<b>Background (<math>\bar{x}</math>)</b>	0.277 ppm
<b>Threshold (<math>\bar{x}+2\sigma</math>)</b>	0.989 ppm
<b>Anomalia Cierta (<math>\bar{x}+3\sigma</math>)</b>	1.87 ppm

**UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE**

FACULTAD DE INGENIERÍA

Tesis: "Caracterización Geoquímica en Suelos para determinar la Dispersión Secundaria de Cu, Ag, Pb, Zn alrededor del Intrusivo Yanaquero - Sector Michiquillay 2020"

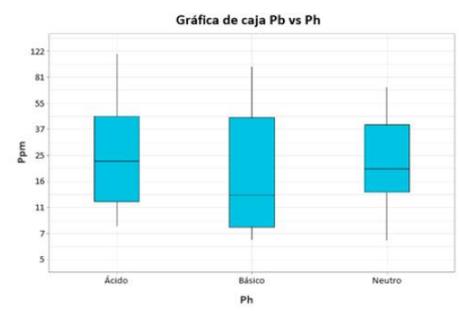
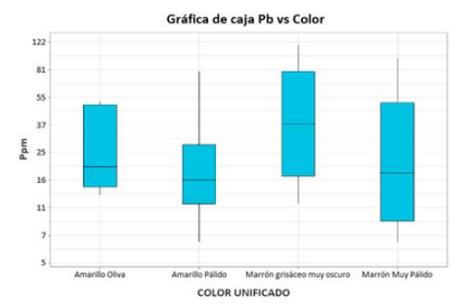
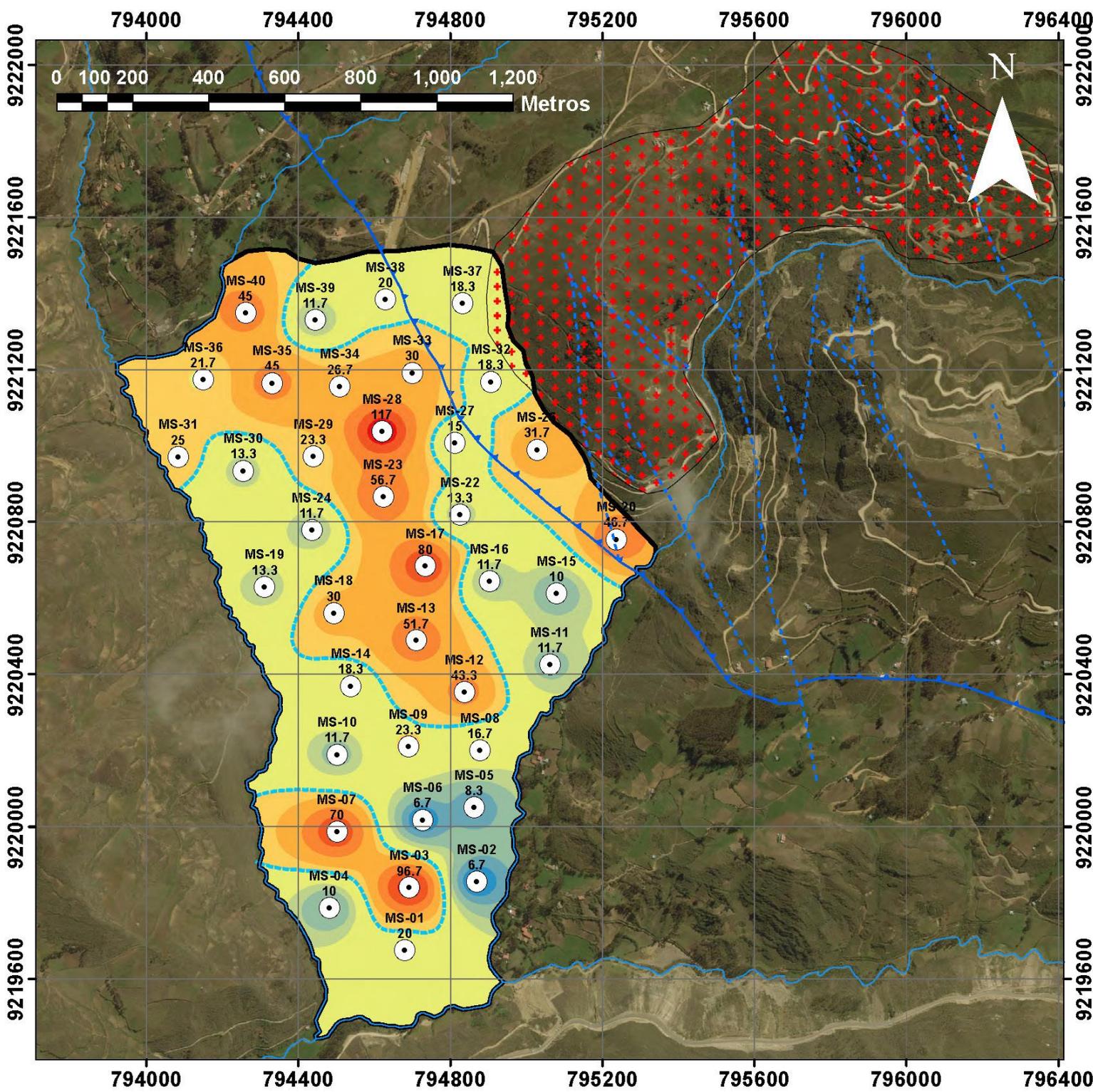
Plano: **DISPERSION GEOQUIMICA SECUNDARIA DE AG**

Tesis: Abanto Novoa, Jaime Renato  
Sánchez Pajares, Marie Anne

Asesor: Ing. Mg. Miguel Ricardo Portilla Castañeda

Fecha: Octubre, 2021 | Escala: 1:8500 | Sistema: Datum WGS-84

**P06**



**Concentración (Ppm)**

**Plomo (Pb)**

- 6.70 - 8.53
- 8.53 - 10.57
- 10.57 - 13.31
- 13.31 - 15.85
- 15.85 - 22.40
- 22.40 - 26.50
- 26.50 - 36.04
- 36.04 - 50.96
- 50.96 - 75.32
- 75.32 - 117.00

**Leyenda**

- Fallas locales
- Falla Michiquillay
- Muestras de Suelo
- Hidrografía
- ⬭ Área de muestreo
- ✱ Intrusivo Yanaquero

**Parametros Geoquimicos**

**Background (x)**  
22.40 ppm

**Threshold (x+2σ)**  
98.49 ppm

**Anomalia Cierta (x+3σ)**  
205.07 ppm

**UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE**

FACULTAD DE INGENIERÍA

Tesis: "Caracterización Geoquímica en Suelos para determinar la Dispersión Secundaria de Cu, Ag, Pb, Zn alrededor del Intrusivo Yanaquero - Sector Michiquillay 2020"

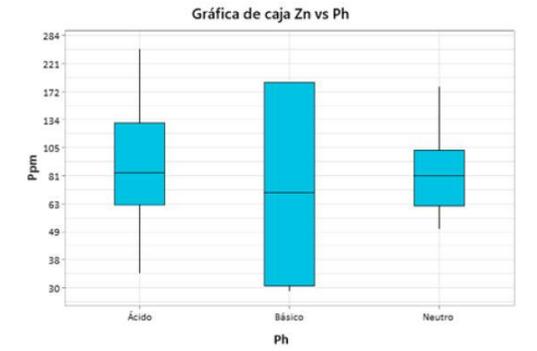
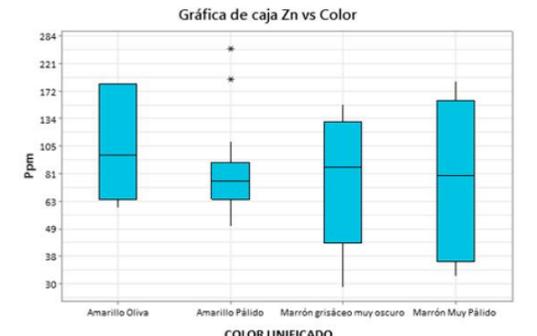
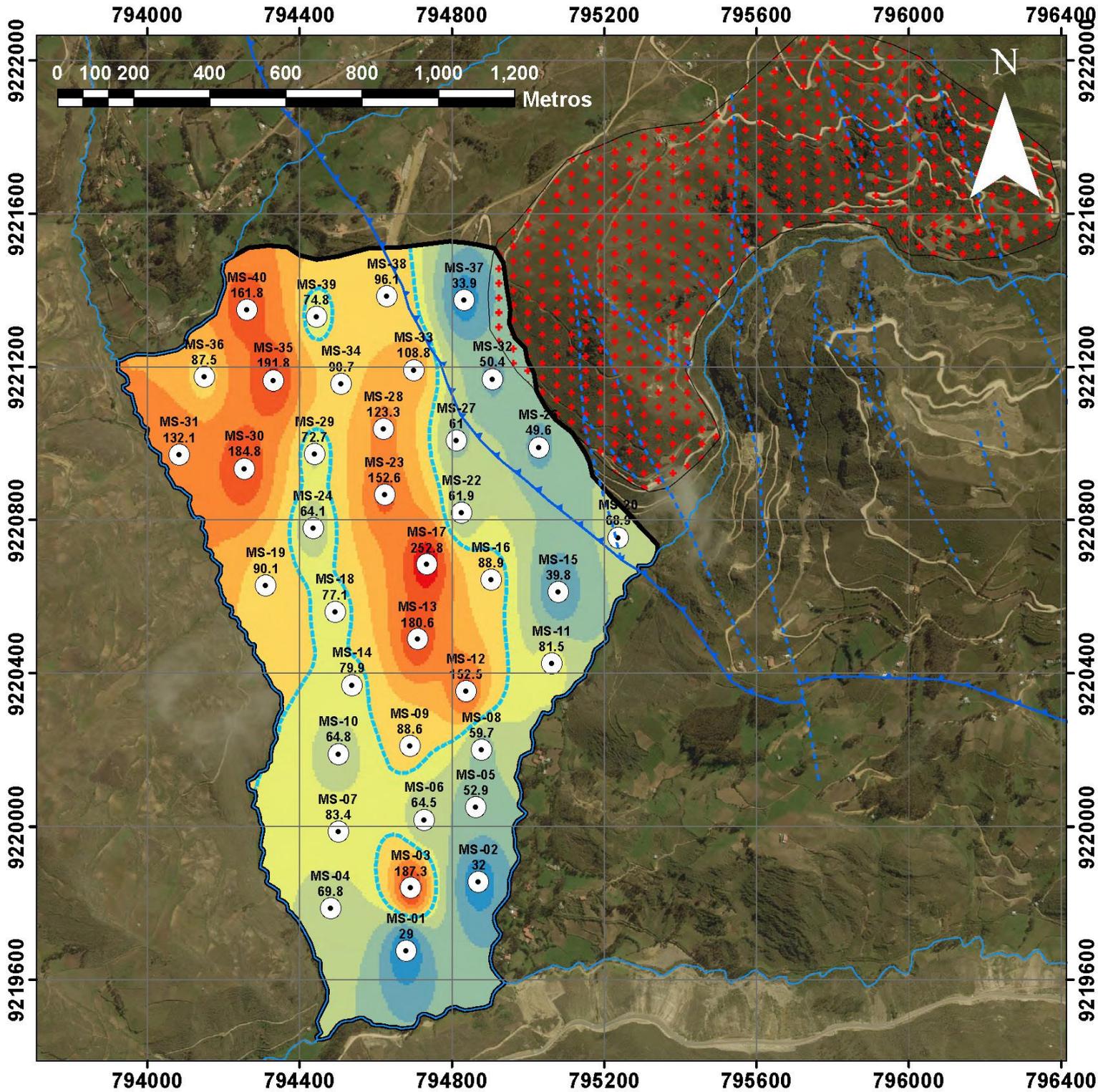
Plano: **DISPERSION GEOQUIMICA SECUNDARIA DE PB**

Tesis: Abanto Novoa, Jaime Renato  
Sánchez Pajares, Marie Anne

Asesor: Ing. Mg. Miguel Ricardo Portilla Castañeda

Fecha: Octubre, 2021 | Escala: 1:8500 | Sistema: Datum WGS-84

**P07**



**Concentración (Ppm)**

**Zinc (Zn)**

29.02 - 41.19
41.19 - 53.69
53.69 - 65.61
65.61 - 76.35
76.35 - 83.78
83.78 - 96.00
96.00 - 111.72
111.72 - 136.51
136.51 - 177.97
177.97 - 253.03

- Leyenda**
- Fallas locales
  - Falla Michiquillay
  - Muestras de Suelo
  - Hidrografía
  - ⬭ Área de muestreo
  - ★ Intrusivo Yanaquero

**Parametros Geoquimicos**

<b>Background (<math>\bar{x}</math>)</b>	83.78 ppm
<b>Threshold (<math>\bar{x}+2\sigma</math>)</b>	239.22 ppm
<b>Anomalia Cierta (<math>\bar{x}+3\sigma</math>)</b>	404.23 ppm

**UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE**

FACULTAD DE INGENIERÍA

Tesis: "Caracterización Geoquímica en Suelos para determinar la Dispersión Secundaria de Cu, Ag, Pb, Zn alrededor del Intrusivo Yanaquero - Sector Michiquillay 2020"

Plano: **DISPERSION GEOQUIMICA SECUNDARIA DE ZN**

Tesisistas: Abanto Novoa, Jaime Renato  
Sánchez Pajares, Marie Anne

Asesor: Ing. Mg. Miguel Ricardo Portilla Castañeda

Fecha: Octubre, 2021 | Escala: 1:8500 | Sistema: Datum WGS-84

**P08**

**Cu-Pb-Zn**

ANOMALÍAS DE AZUFRE

AFINIDAD CALCOFILA

MENOR TEMPERATURA



**Leyenda**

- Relacion Geoquímica
- Intrusivo Yanaquero
- Fallas locales Complejo Michiquillay

**Zoneamiento Geoquímico**

- Plomo
- Zinc
- Cobre

**UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE**  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
Tesis: "Caracterización Geoquímica en Suelos para determinar la Dispersión Secundaria de Cu, Ag, Pb, Zn alrededor del Intrusivo Yanaquero - Sector Michiquillay 2020"  
Plano: ZONEAMIENTO GEOQUÍMICO CU-PB-ZN  
Tesisistas: Abanto Novoa, Jaime Renato  
                  Sánchez Pajares, Marie Arne  
Asesor: Ing. Mg. Miguel Ricardo Portilla Castañeda  
Fecha: Octubre, 2021 | Escala: 1:15000 | Sistema: Datum WGS-84

**P09**

MUESTRA	ESTE (X)	NORTE (Y)	COTA (Z)	CLIMA	TOPOGRAFÍA	FRAGMENTOS TRANSPORTADOS >1 CM ENCONTRADOS DENTRO DE LA CALICATA	PROF. "Hz. A" (m)	PROF. "Hz. B" (m) EXTRACCION DE MUESTRA	ESPOSOR "Hz B" (m)	W SUELO EXTRAIDO (Kg)	MATIZ (C)	VALOR (C)	CHROMA (C)	COLOR (C)	MATIZ (L)	VALOR (L)	CHROMA (L)	COLOR (L)	COLOR UNIFICADO (L)	PH	PH UNIFICADO	LNcu	LNag	LNpb	LNzn	Cu (ppm)	Ag (ppm)	Pb (ppm)	Zn (ppm)
MS-01	794680.000	9219676.000	3305	Soleado	Pendiente >20°	Sedimentaria(caliza), ígnea (intrusivo)	0.42	0.68	0.26	2.3	2.5Y	5	1	Gris	2.5Y	3	2	Marrón grisáceo muy oscuro	Marrón grisáceo muy oscuro	7.1	BASICO	5.6175	-2.30259	2.99573	3.3673	275.2	0.10	20.0	29.0
MS-02	794870.000	9219856.000	3336	Soleado	Pendiente >20°	NINGUNO	0.15	0.42	0.27	2.5	2.5Y	8	2	Amarillo pálido	10YR	8	2	Marrón muy pálido	Marrón Muy Pálido	7.2	BASICO	5.68867	-1.42712	1.90211	3.46574	295.5	0.24	6.7	32.0
MS-03	794692.000	9219840.000	3374	Nublado	Llano	Semimentaria (arenisca), ígnea (intrusivo), Brecha	0.52	0.72	0.20	2.4	2.5Y	4	4	Gris oscuro	2.5Y	6	3	Marrón amarillento claro	Marrón Muy Pálido	7.5	BASICO	6.84981	-2.30259	4.57161	5.23253	943.7	0.10	96.7	187.3
MS-04	794481.030	9219786.720	3379	Soleado	Pendiente >20°	NINGUNO	0.72	0.80	0.08	2.3	2.5Y	5	4	Marrón oliva claro	2.5Y	7	3	Amarillo pálido	Amarillo Pálido	7.6	BASICO	4.49758	-1.17118	2.30259	4.24587	89.8	0.31	10.0	69.8
MS-05	794863.000	9220051.000	3372	Nublado	Pendiente suave	NINGUNO	0.41	0.64	0.23	2.5	7.5YR	5	4	Marrón	10YR	7	4	Marrón muy pálido	Marrón Muy Pálido	5.4	ACIDO	6.31662	-1.02165	2.11626	3.9684	553.7	0.36	8.3	52.9
MS-06	794726.546	9220018.165	3378	Soleado	Cima de colina	Sedimentaria (arenisca), ígnea (intrusivo)	0.45	0.70	0.25	2.3	2.5Y	6	6	Amarillo oliva	2.5Y	8	4	Amarillo pálido	Amarillo Pálido	6.6	NEUTRO	5.19739	-0.34249	1.90211	4.16641	180.8	0.71	6.7	64.5
MS-07	794501.000	9219987.000	3399	Soleado	Pendiente suave	NINGUNO	0.69	0.72	0.03	2.5	10YR	2	1	Negro	7.5YR	4	2	Marrón	Marrón grisáceo muy oscuro	6.2	NEUTRO	6.63896	-1.77196	4.2485	4.42365	764.3	0.17	70.0	83.4
MS-08	794878.000	9220201.000	3378	Nublado	Pendiente >20°	Sedimentaria (arenisca), ígnea (intrusivo)	0.16	0.30	0.34	2.5	10YR	4	4	Marrón oscuro amarillento	5Y	6	6	Amarillo oliva	Amarillo Oliva	5.5	ACIDO	4.17899	-0.84397	2.81541	4.08961	65.3	0.43	16.7	59.7
MS-09	794689.187	9220211.046	3390	Soleado	Pendiente suave	NINGUNO	0.81	1.00	0.19	2.6	10YR	4	6	Marrón oscuro amarillento	2.5Y	7	4	Amarillo pálido	Amarillo Pálido	5.4	ACIDO	5.23004	-1.46968	3.14845	4.48376	186.8	0.23	23.3	88.6
MS-10	794502.000	9220190.000	3413	Nublado	Cima de colina	NINGUNO	0.16	0.35	0.19	2.3	5Y	5	5	Oliva	2.5Y	8	3	Amarillo pálido	Amarillo Pálido	5.1	ACIDO	3.57515	-0.21072	2.45959	4.17105	35.7	0.81	11.7	64.8
MS-11	795062.000	9220426.000	3391	Soleado	Pendiente >20°	Ígnea (intrusivo)	0.46	0.68	0.22	2.3	2.5Y	6	5	Amarillo oliva	2.5Y	8	4	Amarillo pálido	Amarillo Pálido	5.6	NEUTRO	4.71671	-0.73397	2.45959	4.4006	111.8	0.48	11.7	81.5
MS-12	794835.991	9220353.700	3385	Soleado	Pendiente suave	NINGUNO	0.17	0.56	0.39	2.53	2.5Y	3	1	Gris muy oscuro	2.5Y	3	2	Marrón grisáceo muy oscuro	Marrón grisáceo muy oscuro	5.2	ACIDO	4.88129	-2.12026	3.76815	5.02738	131.8	0.12	43.3	152.5
MS-13	794709.342	9220489.461	3422	Soleado	Pendiente suave	NINGUNO	1.04	1.20	0.16	2.5	2.5Y	5	5	Marrón oliva claro	2.5Y	6	6	Amarillo oliva	Amarillo Oliva	5.8	NEUTRO	5.33127	-0.19845	3.94546	5.19647	206.7	0.82	51.7	180.6
MS-14	794538.000	9220370.000	3420	Soleado	Pendiente suave	Ígnea (intrusivo)	0.36	0.39	0.03	2.3	2.5Y	7	2	Gris claro	10YR	8	2	Marrón muy pálido	Marrón Muy Pálido	5.4	ACIDO	3.91801	-0.46204	2.9069	4.38057	50.3	0.63	18.3	79.9
MS-15	795079.000	9220613.000	3425	Nublado	Llano	Ígnea (intrusivo)	0.43	0.45	0.10	2.03	No Completado	No Completado	No Completado	No Completado	10YR	7	3	Marrón muy pálido	Marrón Muy Pálido	5.4	ACIDO	4.61809	-1.89712	2.30259	3.68387	101.3	0.15	10.0	39.8
MS-16	794903.000	9220645.000	3421	Precipitación	Pendiente suave	Ígnea (intrusivo)	0.13	0.46	0.33	3	No Completado	No Completado	No Completado	No Completado	2.5Y	3	2	Marrón grisáceo muy oscuro	Marrón grisáceo muy oscuro	5.3	ACIDO	4.84419	-1.30933	2.45959	4.4877	127.0	0.27	11.7	88.9
MS-17	794733.419	9220684.724	3420	Soleado	Pendiente suave	Ígnea (intrusivo)	0.33	0.54	0.21	2.75	2.5Y	5	4	Marrón oliva claro	2.5Y	8	4	Amarillo pálido	Amarillo Pálido	5.3	ACIDO	5.38128	0.13976	4.38203	5.53253	217.3	1.15	80.0	252.8
MS-18	794493.000	9220561.000	3451	Soleado	Pendiente suave	Sedimentaria (arenisca)	0.37	0.73	0.26	2.5	5Y	8	6	Amarillo	5Y	8	6	Amarillo	Amarillo Pálido	5.6	NEUTRO	6.06029	-1.46968	3.4012	4.34532	428.5	0.23	30.0	77.1
MS-19	794311.000	9220630.000	3413	Soleado	Pendiente suave	Sedimentaria (arenisca)	0.60	1.00	0.40	2.5	10YR	6	6	Amarillo parduzco	2.5Y	7	4	Amarillo pálido	Amarillo Pálido	5.1	ACIDO	4.00369	-1.38629	2.58776	4.50129	54.8	0.25	13.3	90.1
MS-20	795237.000	9220755.000	3439	Nublado	Pendiente suave	Ígnea (intrusivo)	0.46	0.63	0.17	3	10YR	6	8	Amarillo parduzco	2.5Y	6	6	Amarillo oliva	Amarillo Oliva	4.6	ACIDO	5.86986	-1.56065	3.84374	4.23266	354.2	0.21	46.7	68.9
MS-22	794825.000	9220820.000	3467	Precipitación	Pendiente suave	NINGUNO	0.34	0.70	0.36	2	2.5Y	7	4	Amarillo pálido	2.5Y	8	4	Amarillo pálido	Amarillo Pálido	5.3	ACIDO	5.00058	-1.42712	2.58776	4.12552	148.5	0.24	13.3	61.9
MS-23	794622.832	9220866.237	3457	Nublado	Pendiente suave	Ígnea (intrusivo)	0.89	1.05	0.16	2	10YR	3	4	Marrón oscuro amarillento	2.5Y	6	4	Marrón amarillento claro	Marrón Muy Pálido	5.1	ACIDO	5.26373	-1.77196	4.03777	5.02804	193.2	0.17	56.7	152.6
MS-24	794434.660	9220779.083	3452	Soleado	Pendiente suave	Sedimentaria (arenisca)	0.22	1.13	0.91	2.1	2.5Y	7	8	Amarillo	2.5Y	8	4	Amarillo pálido	Amarillo Pálido	5.2	ACIDO	4.73004	-1.66073	2.45959	4.16044	113.3	0.19	11.7	64.1
MS-26	795028.000	9220991.000	3499	Nublado	Cima de colina	NINGUNO	No Completado	No Completado	No Completado	2.1	10YR	3	4	Marrón oscuro amarillento	2.5Y	5	4	Marrón oliva claro	Marrón grisáceo muy oscuro	5	ACIDO	4.92362	-1.34707	3.45632	3.90365	137.5	0.26	31.7	49.6
MS-27	794812.000	9221008.000	3505	Nublado	Cima de colina	Alt. Venillas	0.93	1.03	0.10	No Completado	2.5Y	7	6	Amarillo	2.5Y	8	4	Amarillo pálido	Amarillo Pálido	5.4	ACIDO	5.03044	-1.38629	2.70805	4.11142	153.0	0.25	15.0	61.0
MS-28	794620.000	9221039.000	3510	Soleado	Pendiente >20°	Sedimentaria (arenisca)	1.08	1.25	0.17	2.3	10YR	3	2	Marrón grisáceo muy oscuro	2.5Y	4	4	Marrón oliva	Marrón grisáceo muy oscuro	5.2	ACIDO	5.13991	-1.20397	4.76217	4.81462	170.7	0.30	117.0	123.3
MS-29	794439.300	9220972.966	3471	Nublado	Pendiente >20°	Sedimentaria (arenisca), ígnea (intrusivo)	0.55	1.10	0.55	2.65	2.5Y	8	6	Amarillo	2.5Y	8	4	Amarillo pálido	Amarillo Pálido	5.2	ACIDO	4.28634	-1.46968	3.14845	4.28611	72.7	0.23	23.3	72.7
MS-30	794255.000	9220935.000	3450	Soleado	Pendiente >20°	Sedimentaria (bloques)	0.11	0.47	0.29	2.1	10YR	4	6	Marrón oscuro amarillento	2.5Y	6	6	Amarillo oliva	Amarillo Oliva	7.1	BASICO	3.58906	-0.94161	2.58776	5.21918	36.2	0.39	13.3	184.8
MS-31	794083.223	9220971.855	3387	Nublado	Pendiente >20°	Sedimentaria (arenisca), ígnea (intrusivo)	0.37	0.65	0.28	2.7	10YR	3	4	Marrón oscuro amarillento	10YR	6	3	Marrón pálido	Marrón Muy Pálido	5.3	ACIDO	4.37827	-1.30933	3.21888	4.88331	79.7	0.27	25.0	132.1
MS-32	794907.000	9221169.000	3543	Soleado	Pendiente >20°	NINGUNO	0.60	0.80	0.20	2.2	2.5Y	6	6	Amarillo oliva	2.5Y	8	4	Amarillo pálido	Amarillo Pálido	5.6	NEUTRO	4.79744	-1.60944	2.9069	3.92065	121.2	0.20	18.3	50.4
MS-33	794699.073	9221192.342	3518	Soleado	Pendiente >20°	Sedimentaria (arenisca), ígnea (intrusivo)	0.31	0.52	0.21	2.65	10YR	5	6	Marrón amarillento	2.5Y	8	4	Amarillo pálido	Amarillo Pálido	5.5	ACIDO	5.38541	-1.77196	3.4012	4.68951	218.2	0.17	30.0	108.8
MS-34	794509.256	9221156.446	3505	Soleado	Pendiente suave	Sedimentaria (arenisca), ígnea (intrusivo)	0.60	0.70	0.10	3	10YR	4	6	Marrón oscuro amarillento	2.5Y	8	4	Amarillo pálido	Amarillo Pálido	5.1	ACIDO	5.14049	0.28518	3.28466	4.50737	170.8	1.33	26.7	90.7
MS-35	794331.507	9221165.958	3471	Soleado	Pendiente >20°	Sedimentaria (arenisca)	0.63	0.85	0.22	2.5	2.5Y	5	6	Marrón oliva claro	2.5Y	7	4	Amarillo pálido	Amarillo Pálido	5.4	ACIDO	4.03954	-1.13943	3.80666	5.25645	56.8	0.32	45.0	191.8
MS-36	794149.000	9221175.000	3462	Soleado	Cima de colina	Sedimentaria (arenisca)	0.65	0.90	0.25	2.5	10YR	5	6	Marrón amarillento	2.5Y	7	4	Amarillo pálido	Amarillo Pálido	5.3	ACIDO	4.48639	-1.30933	3.07731	4.47221	88.8	0.27	21.7	87.6
MS-37	794832.000	9221375.000	3583	Soleado	Cima de colina	Sedimentaria (arenisca)	0.30	0.60	0.30	2.5	2.5YR	4	4	Marrón oliva	7.5YR	6	4	Marrón claro	Marrón Muy Pálido	5.1	ACIDO	4.96981	-2.30259	2.9069	3.52243	144.0	0.10	18.3	33.9
MS-38	794629.610	9221384.992	3542	Soleado	Cima de colina	Sedimentaria (arenisca), ígnea (intrusivo)	0.50	0.75	0.25	2.8	10YR	4	6	Marrón oscuro amarillento	2.5Y	6	6	Amarillo oliva	Amarillo Oliva	5.5	ACIDO	5.48894	-1.96611	2.99573	4.56504	242.0	0.14	20.0	96.1
MS-39	794444.000	9221331.000	3538	Soleado	Pendiente >20°	Sedimentaria (arenisca)	0.65	0.81	0.16	2.5	5Y	8	6	Amarillo	2.5Y	8	3	Amarillo pálido	Amarillo Pálido	5.2	ACIDO	4.67283	-1.20397	2.45959	4.3146	107.0	0.30	11.7	74.8
MS-40	794261.000	9221350.000	348																										