

FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de **Ingeniería Geológica**

“DISTRIBUCIÓN GEOQUÍMICA DEL HIERRO EN TORNO
AL PROYECTO VENTANILLAS, PROVINCIA DE
CONTUMAZA - PERÚ 2023”

Tesis para optar el título profesional de:

INGENIERO GEÓLOGO

Autores:

Gerson Alexander Julca Alva

Jhon Euler Leiva Vasquez

Asesor:

Mg. Ing. Wilder Chuquiruna Chávez

<https://orcid.org/0000-0002-5321-100X>

Cajamarca - Perú

2023

JURADO EVALUADOR

Jurado 1 Presidente(a)	RICARDO PORTILLA CASTAÑEDA	172707
	Nombre y Apellidos	Nº.COLEGIATURA O DNI

Jurado 2	VICTOR ALVAREZ LEON	132270
	Nombre y Apellidos	Nº.COLEGIATURA O DNI

Jurado 3	JULIAN DIAZ RUIZ	178795
	Nombre y Apellidos	Nº.COLEGIATURA O DNI

INFORME DE SIMILITUD

TESIS_GEOQUIMICA_S-F.docx

INFORME DE ORIGINALIDAD

20%

INDICE DE SIMILITUD

20%

FUENTES DE INTERNET

3%

PUBLICACIONES

0%

TRABAJOS DEL
ESTUDIANTE

ENCONTRAR COINCIDENCIAS CON TODAS LAS FUENTES (SOLO SE IMPRIMIRÁ LA FUENTE SELECCIONADA)

5%

★ vdocuments.es

Fuente de Internet

Excluir citas Activo

Excluir bibliografía Activo

Exclude assignment Activo
template

Excluir coincidencias < 2%

DEDICATORIA

A mis padres, por su apoyo incondicional que me permite llegar hasta este punto y alcanzar una de mis metas; a mis amigos cercanos por motivarme constantemente a terminar esta investigación.

Gerson Alexander Julca Alva

A mis padres y amigos que siempre estuvieron presentes cuando las cosas se tornaban complicadas ya que me animaron y motivaron a seguir adelante.

Jhon Leiva Vásquez

AGRADECIMIENTO

A mi alma máter la Universidad Privada del Norte por brindarme los conocimientos necesarios para realizar la investigación, a mis docentes que de manera directa e indirecta contribuyeron a mi desarrollo profesional y personal.

Gerson Alexander Julca Alva

A Dios por prestarme la vida para seguir adelante e ir logrando mis objetivos.

Jhon Leiva Vásquez

TABLA DE CONTENIDO

JURADO EVALUADOR.....	2
INFORME DE SIMILITUD	3
DEDICATORIA	4
AGRADECIMIENTO.....	5
TABLA DE CONTENIDO	6
ÍNDICE DE TABLAS	8
ÍNDICE DE FIGURAS	9
RESUMEN	12
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	13
1.1. Realidad problemática	13
1.2. Formulación del problema	15
¿Cuál es la distribución geoquímica superficial del hierro en las zonas aledañas al proyecto minero Ventanillas, Distrito de Tembladera, provincia de Contumazá, Cajamarca - 2023?.....	15
1.3. Objetivos.....	16
1.3.1. Objetivo general.....	16
1.3.2. Objetivos específicos	16
1.4. Hipótesis	16
1.4.1. Hipótesis general	16
CAPÍTULO II. METODOLOGÍA	17
2.1. Población y muestra	17
2.2. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos	17
2.3. Procedimiento	18
CAPÍTULO III. RESULTADOS	19
3.1. Ubicación	19
3.1.1. Ubicación Geográfica	19
3.1.2. Ubicación Política	19
3.1.3. Accesibilidad	20
3.2. Geología Regional.....	20
3.2.1. Neocomiano - Aptiano	20
3.2.1.1. Formación Tijones.....	21
3.2.1.2. Formación Chimú.....	23
3.2.1.3. Formación Santa.....	23

3.2.1.4. Formación Carhuaz.....	23
3.2.1.5. Formación Farrat	24
3.2.1.6. Formación Goyllarisquizaga	25
3.2.1.7. Formación Inca	27
3.2.1.8. Formación Chúlec	28
3.2.1.9. Formación Pariatambo	30
3.2.1.10. Formación Crisnejas	32
3.2.1.11. Grupo Pulluicana.....	33
3.2.1.12. Grupo Quillquiñan	36
3.3. Geología Local	38
3.4. Geología Estructural	39
3.5. Geomorfología.....	42
3.6. Hidrología.....	44
3.6.1. Cuenca del rio Jequetepeque.....	44
3.6.1.1. Ubicación Geográfica	44
3.6.1.2. Demarcación Política.....	44
3.6.1.3. Unidades Hidrográficas	44
3.7. Análisis geoquímico de Fe.....	46
3.7.1. Cateo de la zona	46
3.7.2. Cálculo de tamaño de muestra.....	47
3.7.3. Cálculo de frecuencia de muestreo	48
3.7.4. Diseño de malla de muestreo.....	49
3.7.5. Muestreo Aleatorio	50
Los puntos se seleccionaron de manera aleatoria, por lo que se programó una campaña de muestreo de aproximadamente 2 días para la extracción de un total de 35 muestras.....	50
3.7.6. Muestras tomadas	51
3.7.7. Pruebas de Normalidad (Ryan – Joiner).....	70
3.7.12.1. Determinación de zonas de interés.....	76
CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	78
REFERENCIAS	81
ANEXOS	82

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Vértices de la zona de estudio	19
Tabla 2: Acceso a la zona de estudio.....	20
Tabla 3: Unidades Hidrográficas	45
Tabla 4: Leyes de Fe% - Etapa de cateo.....	46
Tabla 5: Distribución y peso de muestra acorde al coeficiente de variación	48
Tabla 6: Espaciado para muestras acorde al coeficiente de variación.....	48
Tabla 7: Datos obtenidos en la prueba de Ryan – Joiner	70
Tabla 8: Análisis estadístico univariado	70
Tabla 9: Análisis estadístico univariado	71
Tabla 10: Parámetros geoquímicos	73
Tabla 11: Descripción de los rangos de anomalías.....	74
Tabla 12: Rangos de anomalías	74
Tabla 13: Porcentaje de muestras anómalas	74

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Método de Muestreo Aleatorio	17
Figura 2: Ubicación política	19
Figura 3: Geología local	38
Figura 4: Fotografía de una Falla Normal	39
Figura 5: Fotografía de una falla Inversa en calizas del Grupo Goyllarisquizga	40
Figura 6: Fotografía de una falla inversa junto a plegamientos de corta extensión	40
Figura 7: Fotografía de un anticlinal volcado.....	41
Figura 8: Mapa estructural.....	41
Figura 9: Fotografía de una planicie al sur de la zona de estudio	42
Figura 10: Fotografía de una lomada de 10° de pendiente aproximadamente	42
Figura 11: Fotografía de una ladera de 22° de pendiente aproximadamente	43
Figura 12: Fotografía de escarpas de 70° de pendiente aproximadamente	43
Figura 13: Leyes Fe% - Etapa de Cateo	47
Figura 14: Formula de COEFICIENTE DE VARIACIÓN.....	47
Figura 15: Malla de muestreo – Zona de investigación	49
Figura 16: Puntos de muestreo aleatorio – Zona de investigación.....	50
Figura 17: Distribución de muestras extraídas y sus leyes Fe% - Zona de investigación... 51	51
Figura 18: Arenisca con presencia de óxidos de hierro (Hematita + Limonita + Magnetita)	52
Figura 19: Arenisca con presencia de óxidos de hierro (Hematita + Magnetita) + Óxidos de manganeso	52
Figura 20: Areniscas con presencia de óxidos de hierro (Limonita + Goetita + Magnetita)	53
Figura 21: Areniscas con presencia de óxidos de hierro (Limonita + Hematita + Goethita + Magnetita) + Óxidos de manganeso	53
Figura 22: Areniscas con presencia de óxidos de hierro (Hematita + magnetita) + Óxidos de manganeso	54
Figura 23: Arenisca con presencia de óxidos de hierro (Hematita + Limonita + Magnetita) + Óxidos de manganeso.....	54
Figura 24: Arenisca con presencia de óxidos de hierro (Hematita + Magnetita).....	55

Figura 25: Arenisca con óxidos de hierro (Hematita + Magnetita) + Óxidos de manganeso	55
Figura 26: Arenisca con presencia de óxidos de hierro (Hematita + Magnetita)	56
Figura 27: Arenisca con abundantes óxidos de hierros (Hematita + Goethita + Magnetita)	56
Figura 28: Areniscas con presencia de óxidos de hierros (Hematita + Limonita + Magnetita) + Óxidos de manganeso	57
Figura 29: Areniscas con presencia de óxidos de hierro (Hematita + Goethita)	57
Figura 30: Arenisca con presencia de óxidos de hierro (Hematita + Limonita + Magnetita)	58
Figura 31: Muestra M002 - Areniscas con óxidos de hierro (Hematita)	58
Figura 32: Areniscas con presencia de óxidos de hierro (Hematita + Limonita + Magnetita) + Óxidos de manganeso	59
Figura 33: Arenisca con presencia de óxidos de hierro (Limonita + hematita + magnetita) + Óxidos de manganeso	59
Figura 34: Areniscas con presencia de óxidos de hierro (Hematita + Limonita)	60
Figura 35: Areniscas con presencia de óxidos de hierro (Hematita + Limonita + Magnetita)	60
Figura 36: Arenisca con presencia de óxidos de hierro (Hematita + Limonita + Magnetita)	61
Figura 37: Arenisca con óxidos de hierro (Hematita + Magnetita)	61
Figura 38: Arenisca con presencia de óxidos de hierro (Hematita + Magnetita)	62
Figura 39: Arenisca con presencia de óxidos de hierro (Hematita + Magnetita) + Óxidos de manganeso	62
Figura 40: Areniscas con presencia de óxidos de Hierro (Hematita + magnetita)	63
Figura 41: Areniscas con óxidos de hierro (Hematita)	63
Figura 42: Areniscas con presencia de óxidos de hierro (Hematita + Limonita)	64
Figura 43: Areniscas con presencia de óxidos de hierro (Hematita + Limonita)	64
Figura 44: Areniscas con presencia de óxidos de hierro (Hematita + Limonita)	65
Figura 45: Arenisca con presencia de óxidos de hierro (Limonita + Hematita + Magnetita) + Óxidos de manganeso	65
Figura 46: Arenisca con presencia de óxidos de hierro (Hematita + Magnetita) + Óxidos de manganeso	66

Figura 47: Arenisca con presencia de óxidos de hierro (Limonita + Hematita + Magnetita) + Óxidos de manganeso.....	66
Figura 48: Arenisca con presencia de óxidos de hierro (Hematita + Magnetita) + Óxidos de manganeso	67
Figura 49: Arenisca con presencia de óxidos de hierro (Limonita + Hematita + Magnetita) + Óxidos de manganeso.....	67
Figura 50: Arenisca con presencia de óxidos de hierro (Hematita + Magnetita) + Óxidos de manganeso	68
Figura 51: Arenisca con presencia de óxidos de hierro (Limonita + Hematita + Magnetita) + Óxidos de manganeso.....	68
Figura 52: Arenisca con presencia de óxidos de hierro (Hematita + Magnetita) + Óxidos de manganeso	69
Figura 53: Histograma de Ley Fe% sin normalizar.....	72
Figura 54: Histograma de Ley Fe% Log – natural	72
Figura 55: Gráfico de dispersión Ley Fe%	72
Figura 56: Box Plot – Ley Fe%	72
Figura 57: Distribución geoquímica del Fe%	75
Figura 58: Identificación de target exploratorio Noreste.....	76
Figura 59: Target Noreste.....	77

RESUMEN

El objetivo de la presente investigación es realizar la distribución geoquímica del hierro en superficie, en las zonas aledañas al yacimiento de Ventanillas en el 2023. La investigación se realizó mediante la recolección de información correspondiente a la zona, así como boletines pertenecientes al INGEMMET, así como la observación de campo, recolección de muestras y caracterización petromineralógica. Se realizó dos etapas fundamentales para el desarrollo del trabajo, en primera instancia se hizo un cateo y recolección de muestras en campo con lo que se pudo determinar algunas zonas con potencial a nivel de superficie, posteriormente se realizó una campaña de muestro y diseño de malla de muestreo, de manera aleatoria debido a los recursos limitados. Para el tratamiento de los datos se hizo uso del Software ArcGis 10.8 con el cual se logró generar los planos de distribución geoquímica mediante el método inverso a la distancia (IDW). Finalmente, también se propuso algunas zonas con interés económico debido a las leyes mostradas para Fe.

Palabras clave: Geoquímica, muestreo, hierro.

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad problemática

La prospección es la etapa inicial para la búsqueda de depósitos minerales, constituida de la geoquímica, y la geofísica, siendo la primera más efectiva; para el inicio de la prospección geoquímica, se emplea una evaluación regional y luego una prospección táctica más local; sin embargo, en los últimos años alrededor del mundo se ha venido realizando más las prospecciones tácticas generando que las evaluaciones sean más locales y con sesgo en los resultados. (Macedo & Alva , 2020)

La geoquímica de prospección/exploración es una rama de la geoquímica aplicada que utiliza elementos químicos, propiedades y distribución en la naturaleza para localizar y caracterizar depósitos minerales económicos. (Viladevall, 2008)

Los métodos geoquímicos utilizados en la exploración de minerales han avanzado para mapear grandes áreas del mundo, a menudo con un amplio espaciado de muestra. Además de proporcionar una indicación regional del potencial mineral, estos estudios indican líneas de base ambientales para el desarrollo mineral y de otro tipo. (Athanas , Xiaohui , Dalaly, K, & Fen , 2020)

En la tierra existe una infinita variedad de minerales y rocas que están formados por 118 elementos básicos, algunos minerales están compuestos por elementos puros y arreglos geoquímicos sencillos, mientras otros minerales son sumamente complejos ya que pueden agrupar muchísimos elementos, complicando su interpretación y descripción geoquímica. (Moscote et.al, 2018)

El hierro es el cuarto elemento más abundante de la corteza terrestre (54 kg/t) y el segundo de los metales, después del aluminio (81 kg/t). En las rocas ígneas más básicas, como es el basalto, puede alcanzar valores de hasta 86 kg/t, mientras que las más ácidas, como el granito, sólo tienen 27 kg/t y las pizarras hasta 47 kg/t. En las aguas su concentración suele ser baja, dependiendo de su pH y Eh, encontrándose en el agua del mar sólo 2 mg/l. Su abundancia en la naturaleza se debe a su carácter

geoquímico, pues siendo un elemento siderófilo, el más abundante en los meteoritos, tiene gran afinidad por el azufre y por el oxígeno. Por lo tanto, es también calcófilo y litófilo, e incluso biófilo. Este elemento tiene una gran importancia biológica, por sus funciones metabólicas en las plantas, interviniendo en la formación de la clorofila, y en los animales, formando una parte importante en los tejidos y especialmente en la sangre. (Ramírez & Arango, 2001)

El Hierro Nativo se encuentra en la corteza terrestre en muy pequeñas cantidades y en muy pocos yacimientos, apareciendo sólo en los lugares donde se ha producido un proceso de reducción semejante al que se realiza en los hornos altos de la industria siderúrgica, en los que se reducen los minerales de hierro oxidados o carbonatados con carbón. El óxido más importante es el Oligisto o Hematites Roja (Fe_2O_3), en el que el 70% es Fe. El otro mineral del grupo de los óxidos es la Magnetita (Fe_3O_4), en el que el 31% es FeO y el resto Fe_2O_3 . El oxi-hidróxido de hierro o Goethita, que tiene el 89.96% de FeO, es un mineral producido por la alteración de otros minerales de hierro, debido a la meteorización y por lo tanto formado en las condiciones ambientales oxidantes con una temperatura ordinaria y en contacto con el aire. Otro hidróxido es la Limonita, que realmente es una Goethita de tamaño de grano muy fino mezclada principalmente con arcilla. (Ramírez & Arango, 2001)

Goldschmidt estudió la distribución geoquímica de los minerales en la tierra, planteando hipótesis que pudieran explicar dicha distribución, partió de la idea de que la distribución inicial de los elementos en el planeta, probablemente tuvo lugar durante el Eón Hádico (4.600 M.a) con la formación de la tierra primitiva, en este tiempo geológico la tierra estaba totalmente fundida, Goldschmidt comparó este estado inicial de la tierra con la composición de los meteoritos, postulando un grupo con tres elementos mayores tales como el hierro, níquel y silicatos; así Goldschmidt dedujo que el enfriamiento paulatino de la tierra ocurrió en fases separadas, a las que llamó fase de metales, fases de sulfuros y fases de silicatos. (Moscote et.al, 2018)

Teniendo en cuenta los contenidos relativos de Si, Al y Fe en la corteza terrestre resulta interesante comparar el bajo contenido de hierro en las estructuras laminares covalentes de los argilominerales respecto a la abundancia de fases binarias de óxidos de hierro (de amplia difusión en sedimentos). Estas suelen presentarse en forma amorfa

y/o cristalina en tanto que el hierro en aluminosilicatos se encuentra como Fe(II) y/o Fe(III) en sitios de coordinación octaédrica y en muy baja proporción como Fe(III) en coordinación tetraédrica. (López, Etcheverry , & Botto, 2005)

Entre las técnicas de análisis aplicadas al estudio de especies metálicas en distinto estado de oxidación en una matriz oxidica, la reducción a temperatura programada (TPR o temperature programmed reduction) es un método termoanalítico simple desarrollado y aplicado en los últimos 25 años para la caracterización de materiales catalíticos (Jones y Nicol,1986). Permite analizar la reducibilidad de las especies presentes en un sólido oxidico mediante la acción de un gas reductor (H₂ diluido en N₂) por efecto de un aumento simultáneo de la temperatura del sistema. El procedimiento, sencillo y rápido, se ha aplicado en los últimos años en la caracterización mineralógica de especies conteniendo Fe, Mn, W. (Botto et al, 2000) brindando información en lo que respecta a la estabilidad cristalina, tipo y fuerza del enlace químico, sitios cristalográficos, grado de interacción estructural, estado de oxidación del elemento reducible, etc. (López, Etcheverry , & Botto, 2005)

En esta investigación se considera tanto los aspectos generales como la descripción mineralógica más visible como: Galena, Calcopirita, Niquelita, Cromita, Pirrotita, Tenantita, Hematita, Pirita y Arsenopirita, por lo que aplicaremos el muestreo geoquímico sistemático para determinar las zonas anómalas de hierro y de esta manera ver si se puede considerar una zona de cateo para su posterior explotación y aprovechamiento de este recurso mineral.

1.2. Formulación del problema

¿Cuál es la distribución geoquímica superficial del hierro en las zonas aledañas al proyecto minero Ventanillas, Distrito de Tembladera, provincia de Contumazá, Cajamarca - 2023?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Estudiar la distribución geoquímica del hierro a partir del análisis superficial de las rocas en zonas aledañas al proyecto Ventanillas, distrito de Tembladera, provincia de Contumazá, departamento de Cajamarca – Perú 2023.

1.3.2. Objetivos específicos

- Definir las áreas específicas con presencia mineral de Hierro de donde se extraerán las muestras representativas de su geología.
- Describir la mineralogía y petrología presente en las zonas aledañas al proyecto Ventanillas.
- Definir la zonificación geoquímica y la asociación mineralógica presente en las zonas aledañas al proyecto Ventanillas.

1.4. Hipótesis

1.4.1. Hipótesis general

Mediante el análisis geoquímico de superficie de las rocas aflorantes se tiene un zonamiento mineral de óxidos de fierro: hematita, magnetita asociada a goethita y jarosita hacia los niveles superficiales del yacimiento, finalmente una zona hipógena con presencia de minerales como pirita, calcopirita y arsenopirita. La propuesta de estudiar la distribución geoquímica por mineral de Hierro permitirá diferenciar la existencia mineral dentro del proyecto Ventanillas.

CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

2.1. Población y muestra

La población determinada para el estudio está delimitada por los afloramientos rocosos aledaños al proyecto Ventanillas, distrito de Tembladera, Provincia de Contumazá, Región de Cajamarca; la muestra seleccionada está representada por todas las rocas tomadas mediante el muestreo aleatorio dentro de los límites del proyecto Ventanillas.

2.2. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos

De acuerdo con el enfoque que se busca en la investigación, se optó por el uso de los siguientes instrumentos: ficha para recolección de datos de muestreo geoquímico de superficie, análisis petrológico y mineralógico, cartografiado geológico. Para los equipos se ha tomado en cuenta todo lo necesario para el trabajo de campo, gabinete y laboratorio, los cuales son: GPS Navegatorio, cámara, protector, HCl, libreta de Campo, brújula, picota de geólogo, bolsas de muestreo, cincel, comba, tablero, rayador, lápices y colores.

Dentro del método a usar, se tomó en consideración la elaboración de un muestreo sistemático, aplicando una malla de muestreo cada 50 metros como intervalo constante con el fin de afianzar la certeza del análisis y comprender la distribución geoquímica del hierro en superficie. Debido a las condiciones económicas se realizará un muestreo aleatorio probabilístico, acompañado de la determinación de coordenadas, características elementales como litología, alteraciones, fotografías y muestra de gabinete.

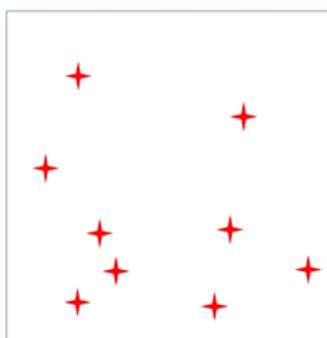


Figura 1: Método de Muestreo Aleatorio
Fuente: (Porras, 2014)

2.3. Procedimiento

La investigación parte de la elección de una zona de interés a nivel geoquímico tal es el caso de las zonas aledañas al Yacimiento Ventanillas, localizado en el distrito de Tembladera, provincia de Contumazá, región de Cajamarca. Con esto se procederá a la revisión bibliográfica correspondiente a investigaciones realizadas en la zona o trabajos que tengan propósito similar, es decir que esbozen un esquema de análisis geoquímico a nivel de superficie. El trabajo tiene un enfoque netamente de campo en el cual se definirá la elaboración de una malla de muestreo, identificando las zonas con altos anomalos de Fe y el cartografiado geológico correspondiente. Finalmente, con estos datos, se determina la distribución Geoquímica del Hierro en el proyecto Ventanillas.

CAPÍTULO III. RESULTADOS

3.1. Ubicación

3.1.1. Ubicación Geográfica

Geográficamente la zona de estudio está ubicada en la cordillera occidental del norte peruano al oeste del departamento de Cajamarca, con cotas comprendidas entre los 436 a 500 m.s.n.m. delimitada por los siguientes vértices:

Tabla 1: Vértices de la zona de estudio

Punto	Este	Norte
1	694252	9195043
2	695248	9195043
3	695248	9194044
4	694249	9194044

3.1.2. Ubicación Política

Políticamente se encuentra en el departamento de Cajamarca, provincia de Contumazá, distrito de Yonán tal como se muestra en la figura 2.

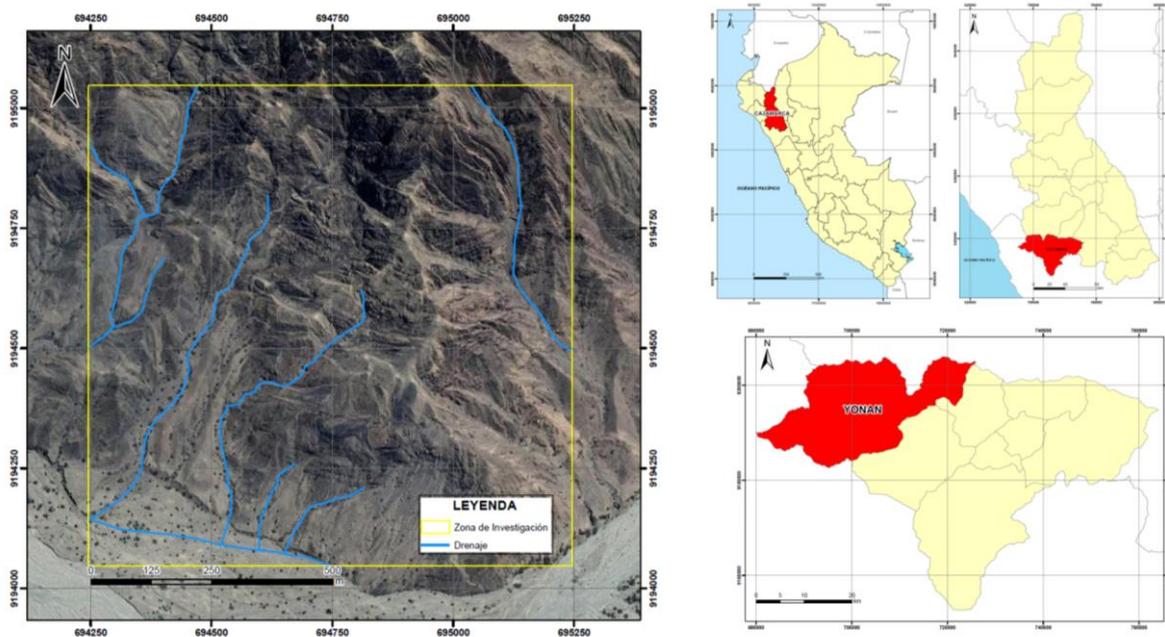


Figura 2: Ubicación política

3.1.3. Accesibilidad

Partiendo desde el centro de la ciudad de Cajamarca seguimos la carretera Cajamarca – Ciudad de Dios, recorriendo 130 km hasta la ciudad de Tembladera, luego se sigue avanzando hasta la comunidad de Ventanillas

Tabla 2: Acceso a la zona de estudio

Tramo	Tipo de carretera	Distancia (km)	Tiempo (minutos)
Cajamarca – Tembladera	Asfaltada	130	180
Tembladera – Ventanillas	Asfaltada	22 aprox.	20

3.2. Geología Regional

La Geología Regional presente consta del periodo Neocomiano - Aptiano.

3.2.1. Neocomiano - Aptiano

En una gran parte de los Andes del norte y centro del país, las formaciones mayormente clásticas del Neocomiano y Aptiano se dividen fácilmente en una facies de cuarcitas delgadas al este y una facies más gruesa y con mayor contenido lutáceo al oeste. La facies occidental se acumuló en el Miogeosinclinal peruano, y consiste en las formaciones Chimú, Santa, Carhuaz y Farrat o Goyllarisquizga, mientras que la facies oriental se depositó sobre el flanco del Geoanticlinal del Marañón y constituye la Formación Goyllarisquizga. Esta clasificación de las unidades neocomianas y aptianas tiene que modificarse en la región en estudio, donde un patrón paleotectónico diferente. La relación estratigráfica mencionada llega hasta el valle de Chicama y Cajamarca, al norte de los cuales se observa un adelgazamiento general del Cretáceo inferior. Por ejemplo, en el valle del Chicama afloran las lutitas titonianas y una secuencia relativamente gruesa del Neocomiano y Aptiano, mientras que en el área de Chepén no hay Jurásico superior y el Cretáceo inferior se ha reducido substancialmente.

El cambio estratigráfico ocurre aproximadamente a lo largo del valle de Cupisnique que forma el límite meridional de la región en estudio. Un brazo del Miogeosinclinal Peruano se extiende al norte de Cajamarca, por el sector central de la

región en estudio, de tal manera que la Formación Carhuaz aflora en algunas regiones del cuadrángulo de Chota y en la esquina suroccidental del Cuadrángulo de Celendín. Sin embargo, las unidades inferiores de la facies miogeosinclinal (Formaciones Chimú y Santa) no afloran y es evidente que desaparecen gradualmente al norte de Cajamarca.

La Formación Carhuaz se adelgaza al norte y por aumento en la proporción de cuarcitas, pasa a formar parte de la Formación Goyllarisquizga, de tal manera que en el valle de Huancabamba se encuentra solamente algunas decenas de metros de cuarcitas. El mismo fenómeno sucede yendo hacia el este o hacia el oeste del brazo mencionado del miogeosinclinal. En el área al norte de Chongoyape se encuentra una facies del Cretáceo inferior que muestra alguna similitud con la secuencia hallada en el cuadrángulo de Chota en el sentido que hay una unidad superior de cuarcitas correspondientes a la Formación Goyllarisquizga, y una parte inferior más lutácea. Esta última posee algunas características de la Formación Carhuaz, pero además tiene un contenido importante de tobas y grauvacas de modo que merece distinguirse como una unidad separada que se describe aquí como Formación Tinajones. (Boletín N.º 38, noviembre de 1984. Serie A: Carta Geológica Nacional. (WILSON, 1984)

3.2.1.1. Formación Tijones

La Formación Tinajones fue descrita por Bonstorf como una serie de lutitas, cuarcitas y tobas pertenecientes al Cretáceo inferior y que afloran en los alrededores de Chongoyape. Durante el presente estudio se ha encontrado la misma secuencia en varias partes de la región. Se extiende al este casi hasta el río Chotano, en el cuadrángulo de Incahuasi, y también llega más al norte de Salas (c. de Jayanca). Sin embargo, desaparece al sur de Chongoyape y no se encuentra en los valles de Zaña y Jequetepeque.

Relaciones Estratigráficas. La Formación Tinajones yace con discordancia paralela o ligeramente angular sobre los volcánicos Oyatún. En algunos casos resulta difícil fijar el contacto debido a la presencia de material volcánico en ambas unidades. Sin embargo, la Formación Tinajones contiene cuarcitas que hasta la fecha no se ha encontrado en el Volcánico Oyatún, y en casos de dificultad se ha empleado este factor para separar las unidades. Hacia arriba la Formación Tinajones

pasa gradualmente por aumento en la proporción de cuarcitas a la Formación Goyllarisquizga. El contacto está trazado en la base del primer banco de cuarcita maciza que marca el piso de la Formación Goyllarisquizga.

Litología y Grosor: La Formación Tinajones consiste de un grosor variable de tobas, grauvacas, lutitas, cuarcitas y conglomerados. La secuencia está bien estratificada en capas delgadas a medianas con abundantes ejemplos de rizaduras y estratificación cruzada. Los afloramientos generalmente dan colinas suaves con tonos marrón-rojizos debido al intemperismo. La litología de la formación es:

1. Lutita blanca, marrón o verdosa, en estratos delgados
2. Grauvaca marrón o gris conteniendo bastante material de origen volcánico, posiblemente derivado del Volcánico Oyotún.
3. Cuarcita blanca o marrón rojiza, dura y compacta
4. Conglomerado de guijarros volcánicos en una matriz arenosa.

Todo esto se encuentra intercalado más o menos uniformemente a través de la formación, con la excepción de las cuarcitas que aumentan en importancia, hacia arriba. No se ha hallado derrames ni calizas en la formación. Sills dacíticos son comunes en algunos afloramientos, como por ejemplo entre Batán Grande y Chongoyape. El grosor de la Formación Tinajones es muy variable, al norte y este de Chongoyape alcanza un grosor de aproximadamente 1,000 m. presentando un adelgazamiento abrupto hacia el sur, de manera que, en el valle de Zaña, las cuarcitas de la Formación Goyllarisquizga suprayacen directamente a los volcánicos Oyotún, probablemente se debe en parte a cambios laterales de facies. Aunque no se ha podido estudiar el fenómeno en detalle parece que, al sur de Chongoyape, la Formación Tinajones pasa lateralmente a la Formación Goyllarisquizga por pérdida de material pelítico y volcánico y aumento de la proporción de cuarcitas. (Boletín N.º 38, noviembre de 1984. Serie A: Carta Geológica Nacional. (WILSON, 1984))

3.2.1.2. Formación Chimú

La Formación Chimú sólo aflora en el extremo meridional del cuadrángulo de Celendín, en el límite con el cuadrángulo de San Marcos; esta unidad se encuentra mejor expuesta en el área de Cajamarca (Ver Boletín N° 31 – Serie A). Esta unidad está constituida por una alternancia de areniscas, cuarcitas y lutitas; en la secuencia se observa estructuras sedimentarias como estratificación cruzada y marcas de oleaje, en el área de estudio se estima un grosor de 600 metros. La base de esta formación no se observa en la zona de estudio y al techo le yace concordantemente la Formación Santa. (Boletín N.º 38, noviembre de 1984. Serie A: Carta Geológica Nacional. (WILSON, 1984)

3.2.1.3. Formación Santa

La Formación Santa al igual que la Formación Chimú, sólo aflora en el límite de los cuadrángulos de Celendín y San Marcos. Litológicamente consta de lutitas grises, con intercalaciones de calizas margosas y areniscas gris oscuras. Las relaciones estratigráficas de esta unidad son concordantes tanto en la base como en el techo. (Boletín N.º 38: noviembre de 1984. Serie A: Carta Geológica Nacional. (WILSON, 1984)

3.2.1.4. Formación Carhuaz

La Formación Carhuaz aflora en los sectores central y meridional del cuadrángulo de Chota y en la esquina suroccidental de Celendín. Como se trata de una unidad bien conocida, descrita por varios autores (BENAVIDES V. 1956; WILSON J. J. 1963; WILSON et. al. 1964, etc.), en áreas cercanas, se propone simplemente resumir aquí las características principales de la formación.²³ La Formación Carhuaz tienen un grosor variable y consiste en lutitas, areniscas y cuarcitas marrones y grisáceas bien estratificadas en capas delgadas y medianas. No se conocen secciones completas de la formación en esta región y los afloramientos observados muestran grosores solamente hasta de 200 m. El grosor verdadero es probablemente mucho mayor que esta cifra, ya que BENAVIDES V. (1956) midió una sección también incompleta, de 556 m. en el área de Cajamarca, cerca del límite meridional de la región en estudio.

La Formación Carhuaz suprayace a las formaciones Santa y Chimú en el área de Cajamarca. Estas últimas desaparecen hacia el norte, porque no llegan al valle del río Huancabamba. El techo de la Formación Carhuaz es concordante con las areniscas y cuarcitas de la Formación Farrat. La Formación Carhuaz aflora en el sector central de la región de estudio, pero desaparece lateralmente hacia el norte, este y oeste, por adelgazamiento y también por cambio de facies a la cuarcita Goyllarisquizga. Hacia el noroeste la formación probablemente se intercala con las tobas y cuarcitas de la Formación Tinajones. La Formación Carhuaz representa un depósito mayormente continental, acumulado en el Miogeosinclinal Peruano durante el Neocomiano y Aptiano. Se correlaciona con depósitos clásticos de edad similar, del resto de los Andes Peruanos (parte del Grupo Goyllarisquizga) y con parte del Grupo Oriente de la Selva. (Boletín N.º 38, noviembre de 1984. Serie A: Carta Geológica Nacional. (WILSON, 1984)

3.2.1.5. Formación Farrat

La Formación Farrat aflora en el extremo sur de los cuadrángulos de Chota y Celendín. Esta unidad consta de cuarcitas y areniscas blancas de grano medio a grueso en la que se observa estratificación cruzada y marcas de oleaje. La Formación Farrat por su constitución litológica, en afloramiento presenta escarpas conspicuas, lo que facilita su cartografiado. La base de esta formación yace concordantemente sobre la Formación Carhuaz y el techo es cubierto, en discordancia paralela, por la Formación Inca. La edad de esta formación es determinada en base a la edad de las unidades infra y suprayacentes, razón por la cual se le considera del aptiano. (Boletín N.º 38, noviembre de 1984. Serie A: Carta Geológica Nacional. (WILSON, 1984)

3.2.1.6. Formación Goyllarisquizaga

La Formación Goyllarisquizga aflora a través de casi toda la región bajo estudio con un grosor variable de areniscas y cuarcitas, con intercalaciones de lutita. En sus relaciones Estratigráficas, la base de la unidad varía de una discordancia fuerte con rocas pre cretáceas a un contacto concordante y gradacional con las Formaciones Carhuaz y Tinajones del Cretáceo Inferior. En general la relación discordante caracteriza a los sectores oriental y septentrional, mientras el contacto concordante se encuentra en el sector central de la región. El tope de la formación es generalmente una discordancia paralela, arriba de la cual yacen las areniscas y lutitas de la Formación Inca. A pesar de una similitud general entre las formaciones Goyllarisquizga e Inca resulta fácil ubicar el contacto por el contenido ferruginoso y color marrón rojizo o anaranjado de la unidad más joven.

En cuanto a su litología y grosor; la Formación Goyllarisquizga consiste en areniscas y cuarcitas blanquecinas y marrones bien estratificadas en capas medianas e intercaladas con horizontes de lutita gris, marrón y rosada. La estratificación cruzada es común en la mayoría de los afloramientos, mientras que lentes conglomerádicos se intercalan en las cuarcitas en algunas áreas especialmente en el sector oriental de la región. El contenido lutáceo de la formación varía de un sitio a otro, pero sin embargo la unidad mantiene una litología relativamente constante a través de la región.

El grosor de la formación varía bastante debido a factores paleotectónicos. Alcanza un máximo de 700 a 800 m. en el cuadrángulo de Chota y en las partes adyacentes de Chongoyape y Celendín. Esta área corresponde al brazo del miogeosinclinal que se prolonga al norte de Cajamarca. Es en esta misma parte donde se encuentran mantos más o menos extensos de carbón, intercalados con las cuarcitas y lutitas.

La formación se adelgaza hacia el norte, este y oeste, donde hubo elementos paleotectónicos positivos durante el Cretáceo temprano. Hacia el este quedó el Geoanticlinal del Marañón contra el cual las cuarcitas se adelgazaron abruptamente. En el valle del Marañón, a corta distancia al este de Celendín, la Formación

Goyllarisquizga está representada por solamente 200 m. de areniscas y cuarcitas conglomerádicas. Este grosor caracteriza también al sector oriental del cuadrángulo de Cutervo, donde las cuarcitas generalmente no pasan de 300 m. Al oeste del sector central, la formación se adelgaza contra un elemento positivo al que denominamos el Geoanticlinal de la Cordillera Real. Por este motivo las cuarcitas en el área de Chepén-Chongoyape alcanzan grosores de solamente 280 a 300 m. mientras más al extremo norte del cuadrángulo de Incahuasi queda reducida a 20-30 m.²⁶

Edad y Correlación: La Formación Goyllarisquizga no contiene fósiles diagnósticos y por lo tanto todavía no se puede precisar su edad. Infrayace a la Formación Inca del Albiano inferior (BENAVIDES V., 1956) y debe representar partes del Aptiano y Neocomiano. Es imposible fijar la edad de la base de la formación, que seguramente es transgresiva de un sitio a otro, pero los horizontes más antiguos deben corresponder a niveles interiores del Neocomiano.

Ambiente de Deposición. La presencia de plantas y mantos de carbón y la ausencia de fósiles marinos sugieren que la Formación Goyllarisquizga es un depósito mayormente continental. En el pasado siempre se ha pensado en la posibilidad que los restos de los fósiles marinos habrían sido lixiviados durante la diagénesis de las cuarcitas. Es interesante señalar que durante el presente estudio se ha encontrado restos bien conservados de Trigonía en cuarcitas pertenecientes a la formación Tinajones que son litológicamente muy similares a las cuarcitas de la Formación Goyllarisquizga. Este hallazgo tiende a apoyar la idea que la falta de invertebrados marinos en la Formación Goyllarisquizga, se debe a un ambiente continental de deposición y no a una falta de conservación de dichos fósiles. En otras palabras, si las trigonias se han preservado con las cuarcitas de Tinajones, porque no se habrían conservado con las cuarcitas similares y adyacentes de la Formación Goyllarisquizga. (Boletín N.º 38, noviembre de 1984. Serie A: Carta Geológica Nacional. (WILSON, 1984)

3.2.1.7. Formación Inca

La Formación Inca consiste de algunos metros o decenas de metros de arenisca y lutita con intercalaciones calcáreas. Aflora prácticamente a través de toda la región en estudio, y se caracteriza por la naturaleza ferruginosa de sus sedimentos, lo cual facilita su reconocimiento en el campo.

Sus relaciones estratigráficas de la Formación Inca yacen discordantemente sobre los sedimentos clásticos de la Formación Goyllarisquiza. A pesar del hecho de que ambas unidades son mayormente arenosas, el contacto está bien marcado por contraste entre las cuarcitas blanquecinas de la Formación Goyllarisquiza y los sedimentos ferruginosos de la Formación Inca. El contacto superior con la Formación Chúlec, es concordante pero bastante nítido. Está indicado por la desaparición del material arenoso ferruginoso y el predominio hacia arriba de sedimentos finos y calcáreos que dan colores grises y anaranjados que ofrecen un contraste con los tonos rojizos y anaranjados de la Formación Inca.

En cuanto a su litología y grosor, la Formación Inca varía en grosor de 4 m. a más de 100 m. en la región de estudio. Las secciones más delgadas están en el sector occidental, o sea en los cuadrángulos de Chepén y Chongoyape, donde la formación generalmente no pasa de 25 m. de grosor. Se nota un aumento de grosor hacia el norte y este, alcanzando un espesor promedio de 60-80 m. en los cuadrángulos de Incahuasi, Cutervo, Chota y en el sector occidental de Celendín. Tiene un máximo de 114 en el área de Lajas (BENAVIDES, V. 1956).

La Formación Inca generalmente comienza con algunos metros de caliza maciza arenosa con abundantes restos de *Exogyra* limonitizada. En algunos sitios la caliza contiene brechas intraformacionales. Afloramientos frescos presentan tonos menos grisáceos, pero al intemperizarse la roca tiene un color marrón bien característico. La caliza basal tiene una litología constante y distintiva sobre una gran área, y al parecer se extiende más allá de los límites de la región de estudio. En algunas pequeñas secciones de los cuadrángulos de Chepen y Chongoyape, la caliza abarca la mayor parte del grosor de la Formación Inca y está seguida por la Formación Chúlec. Sin embargo, la litología distintiva de la caliza permite su

reconocimiento a pesar de su espesor reducido. En el resto de la región, la caliza basal está seguida por areniscas y lutitas ferruginosas bien estratificadas en capas delgadas a medianas e intercaladas con algunas capas de caliza impura. Los sedimentos son marrones, pero al intemperizarse presentan tonos rojizos y anaranjados muy llamativos. Las areniscas son de grano medio a grueso y tienen un cemento limonítico. Son duras y compactas y por este motivo, la Formación Inca generalmente sobresale topográficamente y forma una escarpa distinta. Algunas de las areniscas son lutáceas, blandas y friables y contienen moldes abundantes de especies de *Trigonia*. Las lutitas y caliza de la formación son generalmente arenosas y ferruginosas. La proporción entre areniscas y lutitas en la Formación Inca, es bastante variable. Hasta la fecha no se ha notado un cambio gradual y constante de una u otra dirección, pero parece que la formación se vuelve generalmente más lutácea hacia el sur.

En cuanto a su edad y correlación, estos afloramientos de la Formación Inca en el cuadrángulo de Chota y el sector occidental de Celendín, contienen amonites del género *Parahoplites*, basado en esto BENAVIDES V. (1956), la dató en el Albiano inferior. Hacia el norte y el oeste, los amonites son escasos, y la fauna de la formación consiste principalmente en especies de *Exogyra* y *Trigonia*. *Pterotrigonia tocaimana* (LEA), *Yaadia hondaana* (LEA) y *Buchotrigonia abrupta* (von BUCH), son especialmente abundantes como moldes dentro de las areniscas margosas y friables. (Boletín N.º 38, noviembre de 1984. Serie A: Carta Geológica Nacional. (WILSON, 1984)

3.2.1.8. Formación Chúlec

La Formación Chúlec consiste de algunas decenas y hasta algunas centenas de metros de lutitas, margas y calizas nodulares. Aflora en casi toda la región, materia del presente estudio y se caracteriza por presentar un color de intemperismo generalmente crema o gris amarillento. Como los sedimentos componentes de la Formación Chúlec son mayormente blandos, la topografía que se desarrolló es de lomadas de pendientes suaves. La Formación Chúlec tiene contactos concordantes tanto con la Formación Inca como con la Formación Pariatambo. El contacto inferior está indicado por el cambio de material lutáceo a los sedimentos arenosos

y ferruginosos de la Formación Inca, mientras que el contacto superior está ubicado en el horizonte donde aparecen las calizas en lajas de la Formación Pariatambo. La Formación Chúlec aflora sobre la mayor parte de esta región, pero está reemplazada hacia el este por las margas y lutitas que constituyen la base de la Formación Crisnejas.

El mejor desarrollo de la Formación Chúlec se encuentra en el sector central de la región, en el cuadrángulo de Chota y en el sector occidental de Celendín, donde tiene un grosor promedio, de 250 m. pero según BENAVIDES V. (1956), alcanza hasta 474 m. en el área de Lajas (c. de Chota). Consiste en capas delgadas bien estratificadas de lutitas gris, marga amarillenta y calizas marrón crema. Las calizas son lutáceas o margosas, generalmente se presentan en capas delgadas y nodulares. Como ya se ha mencionado, la Formación Chúlec, pasa hacia el este a formar la parte inferior de la Formación Crisnejas, adelgazándose. También se nota un cambio de facies y reducción de grosor hacia el norte y oeste, de manera que en el sector septentrional de Cutervo y en los cuadrángulos de Incahuasi, Chongoyape, Chiclayo y Chepén, la Formación Chúlec, está representada por menos de 50 m. de lutitas, con escasas capas calcáreas. La formación es mucho menos calcárea que al este, y contiene intercalaciones de material²⁹ tobáceo que no se presentan en los cuadrángulos de Chota y Celendín. Además, las lutitas son más oscuras en el sector occidental y septentrional, donde muestran tonos de gris negruzco y marrón oscuro. En los cuadrángulos de Chongoyape, Chiclayo y Chepén, donde la Formación Inca es bien delgada, podría confundirse a las lutitas oscuras de la Formación Chúlec con el tope de la Formación Goyllarisquizga, que también presenta una facies lutácea. Tal es el caso de los afloramientos cretáceos de los valles de Zaña, Jequetepeque y Chancay. Sin embargo, la presencia de un banco de caliza correspondiente a la Formación Inca, sirve de guía para distinguir las lutitas de la Formación Chúlec de las de la Formación Goyllarisquizga además de su naturaleza tobácea y de su contenido de fósiles marinos.

En cuanto a la edad y correlación, la Formación Chúlec muestra facies gruesas en los cuadrángulos de Chota y Celendín conteniendo una fauna abundante de amonites, erizos y lamelibranquios. Los amonites son principalmente especies

de Knemiceras y Parenonoceras que según BENAVIDES V. (1956), indican la parte inferior del Albiano medio. La facies más delgada contiene escasos amonites y abundantes restos de Trigonía, Exogyra, Neithea y de Echinoidea. La Formación Chúlec se correlaciona con la parte inferior de la Formación Crisnejas, que aflora en el valle del Alto Marañón.

Ambiente de Sedimentación. La Formación Chúlec representa una segunda etapa de la transgresión marina del Albiano. La naturaleza arcillosa del material clástico hace suponer que el mar durante esta deposición de sedimentos alcanzó una mayor profundidad que la que predominó durante la deposición de la Formación Inca, aunque en general, el mar era somero. El aumento del grosor de la formación, hacia los sectores de Chota y Celendín, indica el inicio de una subsidencia mayor en esta área, de tal manera que se formó una pequeña cuenca abierta hacia el sur y hacia el norte, este y oeste, una cuenca rodeada por plataformas. (Boletín N.º 38, noviembre de 1984. Serie A: Carta Geológica Nacional. (WILSON, 1984)

3.2.1.9. Formación Pariatambo

La Formación Pariatambo está representada por 100 a 300 m. de caliza, lutita y toba que aflora en muchas partes de la región. A pesar de las variaciones en su litología, siempre se presenta en capas delgadas. Uniformemente estratificadas. La Formación es generalmente resistente a la erosión y forma escarpas prominentes que resaltan del material blando de la Formación Chúlec. La Formación Pariatambo suprayace concordantemente a las margas, lutitas y calizas de la Formación Chúlec. Hay un contraste marcado entre las calizas y tobas de la Formación Pariatambo estratificadas en lajas y las margas y calizas nodulares infrayacentes. El contacto superior, con el Grupo Pullucana, es generalmente concordante, pero fácil de reconocer por el cambio hacia arriba de calizas oscuras y toba a bancos más potentes de caliza gris clara. En el sector occidental de la región es posible que haya una discordancia paralela entre la Formación Pariatambo y el Grupo Pullucana.

En cuanto a su litología y grosor, esta se desarrolló en los cuadrángulos de Cutervo, Chota y Celendín, donde presenta un grosor de 150-250 m. de caliza con intercalaciones delgadas de lutitas. La caliza es fina de color negro, bituminosa y

generalmente tiene un olor fétido. Su estratificación es delgada y uniforme, de tal manera que forma lajas bastante características. Las lutitas son negras y bituminosas y ocurren como intercalaciones delgadas entre las capas calcáreas. Esta facies de la Formación Pariatambo, es bien fosilífera, con abundantes amonites bien conservados y escamas de peces. La formación muestra cambios de facies en las áreas circundantes a este sector central. Pasa hacia el este a la parte superior de la Formación Crisnejas, por aumento de la proporción de lutita y pérdida del aspecto bituminoso, que lo caracteriza en sus afloramientos más típicos. Yendo hacia el norte y hacia el oeste del área de Chota y Celendín, la Formación Pariatambo se vuelve tobácea. En el valle de Jequetepeque (c. de Chepén), la formación consiste en calizas oscuras intercaladas con lutitas grises y tobas de color violáceo. La misma facies aflora en los alrededores de San Gregorio (sector nororiental de Chepén) y en el área entre Cumbil y Llama (sector oriental de Chongoyape). En los alrededores de la localidad de Pucará (c. de Incahuasi), se notan intercalaciones menores de tobas color violáceo en la Formación Pariatambo. Esta misma observación se ha efectuado aún más al norte, en el cuadrángulo de Pomahuaca (BALDOCK, J. 1971). Las intercalaciones tobáceas se vuelven más importantes en los sectores más occidentales de los cuadrángulos de Chongoyape y Chepén, donde comúnmente constituyen la mayor parte de la formación. Esta facies bien tobácea, aflora en el área de Huaca Blanca (al sur del pueblo de Chongoyape), en los alrededores de C° Culpón, en el valle de Zaña (c. de Chongoyape) y en las Viejas (c. de Chepén). Generalmente consiste de 200 a 300 m. de tobas bien estratificadas con intercalaciones de caliza gris. A pesar de la diferencia en litología,³¹ se notan las mismas características de estratificación con las rocas calcáreas que afloran en el área de Cutervo y Chota. Las tobas son finas, duras y solidificadas, y sobresalen a las capas calcáreas. Estas últimas también han sufrido silicificación en algunas áreas. La facies tobácea de la Formación Pariatambo, muestra ejemplos locales de plegamiento contemporáneo. Así los afloramientos del C° Motete, en el valle de Zaña (c. de Chongoyape), contienen pliegues complicados, en pequeña escala. Igualmente, los afloramientos del C° Conquis, en el límite meridional del cuadrángulo de Chongoyape donde se observa una orientación contorsionada. En cuanto a su edad y correlación esta esta denotada por su fauna, la cual está compuesta mayormente por especies de amonites y escamas de peces. La facies calcárea de la formación es bien fosilífera, pero los amonites son relativamente

escasos en la facies tobácea del sector occidental de la región. Sin embargo, todas las facies contienen *Oxitropidoceras carbonarium* (GABB), que indica la parte superior del Albiano medio. La Formación Pariatambo se correlaciona con la parte superior de la Formación Crisnejas del valle del Alto Marañón. También equivale a la Formación Muerto, de los cerros Amotape, cuya litología de calizas oscuras en capas delgadas intercaladas con lutitas y tobas, es idéntica a una gran parte de la Formación Pariatambo en la región en estudio.

Ambiente de Sedimentación. El hundimiento progresivo indicado por las formaciones Inca y Chúlec, siguió durante la parte tardía del Albiano medio. La cubeta que se había formado en el tiempo de Chúlec, en el área de Chota y Celendín, se acentuó hasta formar una cuenca definida en la cual el ambiente fue euxínico. La fauna fue exclusivamente pelágica y la falta de oxígeno en el fondo de la cuenca permitió la deposición de sedimentos bituminosos. Esta cuenca siguió hacia el sur y quizá también el noroeste, pero estaba cerrada al este y oeste por plataformas menos profundas. El material tobáceo en el sector occidental del área tiene que haber provenido del oeste o norte. Sin embargo, no se conoce la ubicación precisa de este volcánico albiano. (Boletín N.º 38, noviembre de 1984. Serie A: Carta Geológica Nacional. (WILSON, 1984)

3.2.1.10. Formación Crisnejas

Formación Crisnejas está representada por algunos cientos de metros de margas, lutitas, areniscas y calizas que afloran en el sector oriental del cuadrángulo de Celendín y en el resto del valle del Alto Marañón, al sur de esta región. La formación no es muy resistente a la erosión y generalmente se presenta en terrenos bajos. La Formación Crisnejas está delimitada tanto arriba como abajo por discordancias paralelas. El contacto inferior es una discordancia nítida debajo de la cual yacen las areniscas del Grupo Goyllarisquizga. La discordancia superior separa a esta formación de las calizas más macizas del Grupo Pullucana y en otras áreas de la Formación Jumasha. Hacia el oeste del pueblo de Celendín la Formación Crisnejas cambia de facies, pasando a las Formaciones Chúlec y Pariatambo.

En las cercanías del pueblo de Celendín, la Formación Crisnejas consiste aproximadamente de 400 m. de lutitas margas, calizas y areniscas calcáreas. Se nota en la formación dos miembros, el inferior que consiste mayormente de margas y lutitas, con intercalaciones delgadas de arenisca y caliza nodular, y el miembro superior que contiene una proporción mayor de calizas en capas medianas o delgadas. La formación se adelgaza al este y sureste del área mapeada y comúnmente tienen un grosor de 100 a 200 m. en el valle del Alto Marañón. La Formación Crisnejas es bastante fosilífera y tiene una fauna que consiste principalmente en especies de lamelibranquios, gasterópodos y echinoidea. También se encuentra amonites pero son relativamente escasos.

En cuanto a su edad y correlación de la Formación la biota de los amonites encontrados en la formación incluyen a *Knemiceras Raimondii* (LISSON) y *Oxitropidoceras carbonarium*, (GABB), que pertenecen respectivamente a las partes temprana y tardía del albiano medio. Estas son las mismas especies que en el área (al oeste del pueblo de Celendín) caracterizan a las Formaciones Chúlec y Pariatambo con las cuales la Formación Crisnejas se correlaciona.

La fauna y la litología de la formación indican deposición en un mar somero como ambiente de sedimentación. Ya se ha descrito como en el albiano medio se inició y desarrolló una cuenca dentro de la cual están las áreas correspondientes al cuadrángulo de Chota y al sector occidental de Celendín. La Formación Crisnejas representa el material depositado sobre la plataforma relativamente positiva que formaba el límite oriental de dicha cuenca. (Boletín N.º 38, noviembre de 1984. Serie A: Carta Geológica Nacional. (WILSON, 1984)

3.2.1.11. Grupo Pulluicana

Grupo Pulluicana generalmente consiste en algunos cientos de metros de caliza, marga, lutita y arenisca; aflora en muchos lugares de la región mapeada. En algunas partes del norte del Perú el grupo es claramente divisible en las Formaciones Yumagual y Mujarrún. Esta separación no es muy evidente en la mayor parte de la región bajo estudio, y por lo tanto la unidad ha sido tratada como un grupo indiviso. La manera de aflorar del grupo depende de la litología local y

por lo tanto es bastante variable. Generalmente se presenta en escarpas más o menos pronunciadas, pero también puede presentar terrenos ondulados. Los colores de intemperismo del grupo varían entre crema y marrón claro. El contacto inferior del Grupo Pulluicana con la Formación Pariatambo varía de una relación concordante a una discordancia paralela. Es común hallar un contacto más o menos concordante en muchas áreas, por ejemplo, en los cuadrángulos de Cutervo, Chota y Celendín; pero parece que existe una franca discordancia en el sector oriental de la región. En todos los casos hay un contraste marcado entre los sedimentos claros estratificados en capas medianas a gruesas del Grupo Pulluicana y las calizas y tobas en capas delgadas de la Formación Pariatambo. El contacto superior, con las lutitas y margas del Grupo Quilquiñán, es concordante y nítido ya que siendo éstas, bastante blandas contrastan con los sedimentos mucho más calcáreos y duros del Grupo Pulluicana.

En cuanto a su grosor y litología. El Grupo Pulluicana está mejor desarrollado en los cuadrángulos de Chota y Celendín, donde está representado por aproximadamente 800 a 1,100 m. de calizas, margas y lutitas. La litología predominante es una caliza arcillosa, grisácea, que intemperiza a crema o marrón claro y que se presenta en capas medianas, nodulares o irregularmente estratificadas. Intercaladas con las calizas hay capas de margas marrones y lutitas grisáceas o verdosas, así como algunas capas de limolitas y areniscas.

Las proporciones de las calizas, margas y lutitas son variables, con predominio de las calizas. Dirigiéndose al este, norte y oeste de los cuadrángulos de Chota y Celendín, el Grupo Pulluicana muestra cambios importantes de grosor y litología. El grupo se adelgaza hacia el este de tal manera que estaría representado por solamente algunos cientos de metros de caliza en el valle del Alto Marañón, en el sector oriental del cuadrángulo de Celendín. Más al norte de Chota, o sea en los cuadrángulos de Cutervo e Incahuasi, el Grupo Pulluicana está representado por un promedio de 600 m. de areniscas, limolitas y lutitas con intercalaciones de calizas nodulares.

Las calizas son menos importantes que las del sur habiendo un aumento en la proporción de sedimentos clásticos. Esta litología está bien expuesta en la carretera de Cochabamba a Cutervo (cuadrángulo de Cutervo), donde abundan areniscas y limolitas marrones intercaladas con calizas arcillosas nodulares. Los afloramientos del Grupo Pulluicana, en el sector occidental del área, o sea en los cuadrángulos de Chongoyape y Chepén, muestran facies delgadas y clásticas. En los alrededores de Tembladera (c. de Chepén) el grupo está representado por unos 700 m. de areniscas, limolitas y lutitas marrones con escasas intercalaciones de calizas. Ofrece un contraste bien marcado con la facies calcárea del grupo que aflora en Chota y Celendín.

En el cuadrángulo de Chongoyape el Grupo Pulluicana está representado por calizas y lutitas negras o marrones. La secuencia tiene un grosor promedio de 200 m. pero se reduce a 25 m. en el C° Las Minas que queda en la margen izquierda del río Chancay, frente al pueblo de Chongoyape. En este lugar se encuentran algunos bancos de calizas macizas grisáceas, entre la facies tobácea de la Formación Pariatambo y las lutitas correspondientes al Grupo Quilquilán. Este adelgazamiento, relativamente local, es un buen índice del grado de reducción de grosor del grupo en el sector occidental de la región del presente estudio.

En cuanto a su edad; el Grupo Pulluicana generalmente tiene una fauna relativamente abundante de especies de: *Exogyra*, *Inoceramus*, pero los amonites son escasos. BENAVIDES, V. (1956) lo dató en el intervalo comprendido entre la parte tardía del albiano medio y el Cenomaniano temprano en base al hallazgo de *Oxytropidoceras carbonarium* (GABB) en las capas basales y a especies de *Acanthoceras* en la parte superior del grupo. Por lo tanto, el Grupo Pulluicana se correlaciona con la parte inferior de la Formación Jumasha de los Andes Centrales, y con la parte inferior de la Formación Copa Sombrero del noroeste del país. La litología y la fauna del Grupo Pulluicana indican deposición en un mar somero. El contraste litológico con la Formación Pariatambo, infrayacente, sugiere que hubo una regresión del mar de corta duración, más o menos a fines del albiano medio. En este lugar se llevó a cabo una sedimentación continua como se observa en el área de Chota y Celendín, pero se formó una discordancia paralela en gran parte de la

región habiendo tenido una relación concordante antes que el mar volviera a cubrirla. Desde el punto de vista paleotectónico siguen los mismos elementos estructurales que se formaron en el albiano.

Los grosores máximos del grupo en el área Chota-Celendín indican que en este sector se ubicó el eje de la cuenca y que se abrió, al sur, hacia Cajamarca, quedando la cuenca limitada al este, norte, y oeste por plataformas. En el período Pariatambo existen evidencias de una fuente de sedimentación más al oeste, que proporcionó las tobas de la Formación Pariatambo y el material clástico que compone la mayor parte del Grupo Pulluicana, en los sectores septentrional y occidental de la región. (Boletín N.º 38, noviembre de 1984. Serie A: Carta Geológica Nacional. (WILSON, 1984)

3.2.1.12. Grupo Quillquiñán

El Grupo Quillquiñán está compuesto por las Formaciones Romirón y Coñor que en conjunto están representados por 100 a 200 m. de lutitas y margas con algunas intercalaciones calcáreas. No se ha separado las dos formaciones en el mapeo porque en muchas áreas el grupo se presenta como una sola unidad litológica. Como el grupo consiste mayormente de sedimentos blandos sus afloramientos son escasos y ocupan terrenos bajos. En muchos lugares los terrenos de cultivo ocupan áreas donde afloran rocas del Grupo Quillquiñán y están caracterizados por suelos de color marrón oscuro. El Grupo Quillquiñán suprayace al Grupo Pulluicana e infrayace a la Formación Cajamarca. Ambos contactos son concordantes. El contacto inferior está sobre el último banco de caliza nodular o arenisca calcárea del Grupo Pulluicana. El contacto superior es reconocible por la aparición de la primera capa de caliza fina y pura de la Formación Cajamarca. En ambos casos existe un contraste nítido con el material arcilloso del Grupo Quillquiñán.

Por otra parte el Grupo Quillquiñán no muestra los cambios de grosor y litología evidenciados por las unidades cretáceas infrayacentes. Por el contrario, tiene características bastantes constantes en la región en estudio. Varía de un grosor de 120 m., en el cuadrángulo de Chongoyape, a un máximo conocido de

281 m. en el área de Tembladera (c. de Chapén) presentando un promedio de 150 a 200 m. en los cuadrángulos de Cutervo, Chota, Chongoyape y Celendín. El grupo consiste en lutitas friables gris oscuras y margas azuladas en capas delgadas que intemperizan a marrón oscuro o marrón rojizo. Una de las características de la formación es la presencia de fragmentos compuestos por *Exogyra* principalmente *Exogyra olisiponensis* SHARPE, que abundan en muchas partes del afloramiento. También se encuentran intercalaciones delgadas, de 10 a 15 cm de grosor, de margas porosas y ferruginosas que contienen abundantes moldes de lamelibranquios. Las calizas que se intercalan con las lutitas y margas son generalmente delgadas y escasas, aumentando en importancia hacia el este. Más allá del límite oriental de la región mapeada el grupo se pierde por cambio de facies a calizas de la Formación Jumasha. El Grupo Quillquiñán es fosilífero y contiene una fauna variada de amonites, lamelibranquios y echinoidea. BENAVIDES V., (1956) lo dató en el intervalo Cenomaniano Tardío-Turoniano temprano por su contenido de amonites. Por lo tanto, se correlaciona con parte de la Formación Jumasha de otras áreas del norte y centro del Perú, y con parte de la Formación Copa Sombrero del noroeste del país.

El desarrollo del ambiente de sedimentación, muestra una litología del grupo y la fauna abundante en amonites, echinoidea y lamelibranquios, incluyendo a coquinas de *Exogyra*, indican que la unidad se depositó en un mar somero. Parece que en toda la región predominaron condiciones más o menos uniformes de plataforma. Resulta difícil reconocer los rasgos paleotectónicos regionales que controlaron la sedimentación a fines del Cenomaniano y comienzos del Turoniano. El aumento de material clástico hacia el oeste podría indicar una fuente de sedimentación en esa dirección, tal como se postula en el caso del Grupo Pullucana, pero la evidencia no es tan segura. (Boletín N.º 38, noviembre de 1984. Serie A: Carta Geológica Nacional. (WILSON, 1984)

3.3. Geología Local

La geología local está constituida por depósitos cuaternarios como los fluviales y aluviales, además de la Formación Goyllarisquizga, las cuales se cartografiaron y se evidencian en la figura 3.

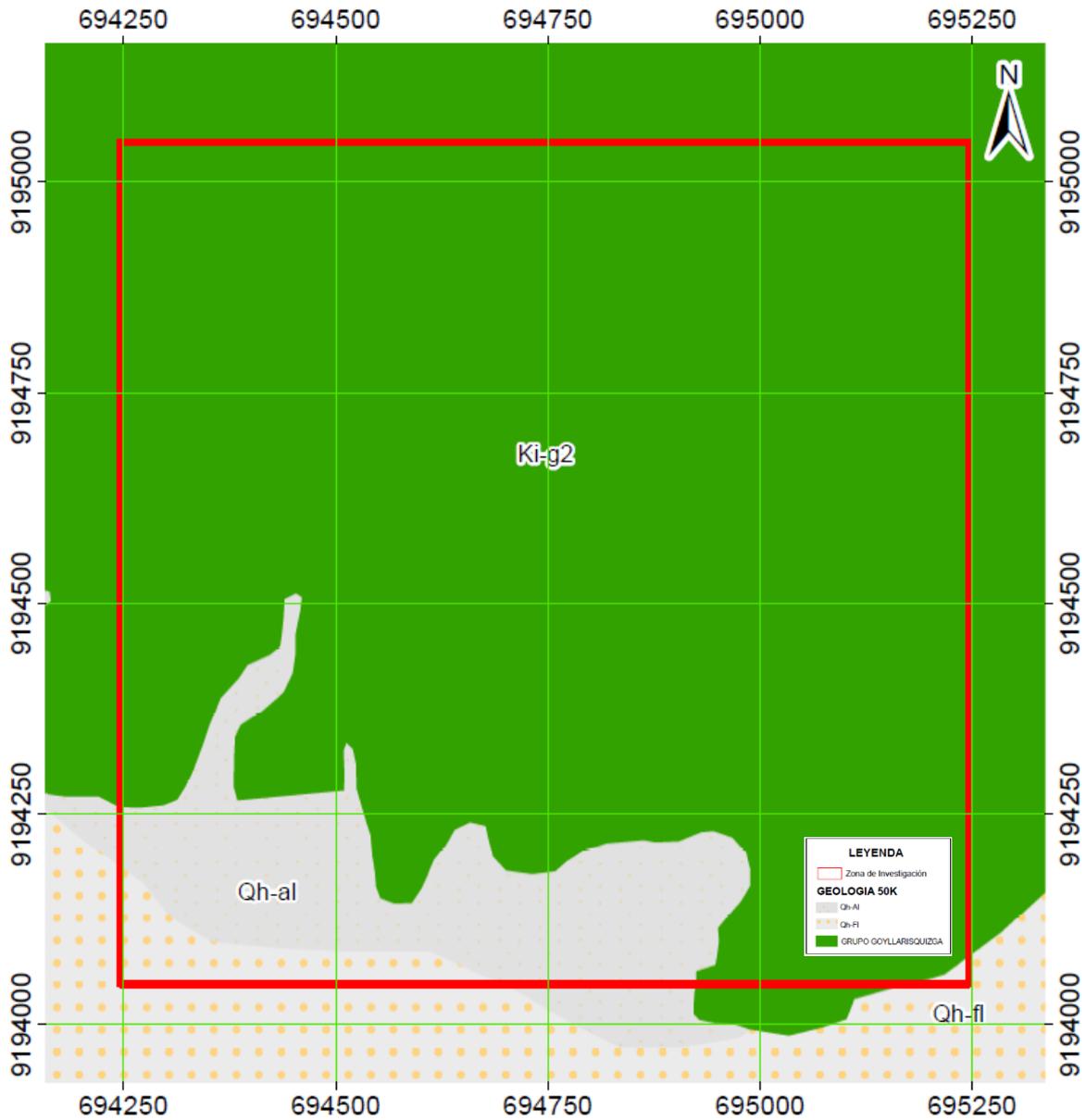


Figura 3: Geología local

3.4. Geología Estructural

Las estructuras geológicas se forman por procesos tectónicos y en la zona de investigación tenemos evidencia de un fuerte tectonismo, es por ello que encontramos estructuras tales como:

3.4.1. Fallas Normales

Las fallas normales las encontramos en la parte NE de la zona de estudio, consideramos normales por el efecto que tienen las fuerzas distensivas sobre los estratos.



Figura 4: Fotografía de una Falla Normal

3.4.2. Fallas Inversas

Estas fallas son mucho más frecuentes en la zona de estudio por lo que de ello podemos inferir que los esfuerzos compresivos fueron más frecuentes y originaron fallas inversas en la parte SE y NE de la zona de estudio, además debido al efecto compresivo también encontramos plegamientos, aunque no muy extensos como para cartografiar sus ejes.



Figura 5: Fotografía de una falla Inversa en calizas del Grupo Goyllarisquiza



Figura 6: Fotografía de una falla inversa junto a plegamientos de corta extensión

3.4.3. Plegamientos

La zona de estudio presenta también frecuentemente estas estructuras, generadas producto del tectonismo y a diferencia de las fallas no han llegado a cizallarse, es por ello que encontramos anticlinales y sinclinales.



Figura 7: Fotografía de un anticlinal volcado

A continuación, se muestran en el mapa estructural las principales estructuras de la zona de estudio.

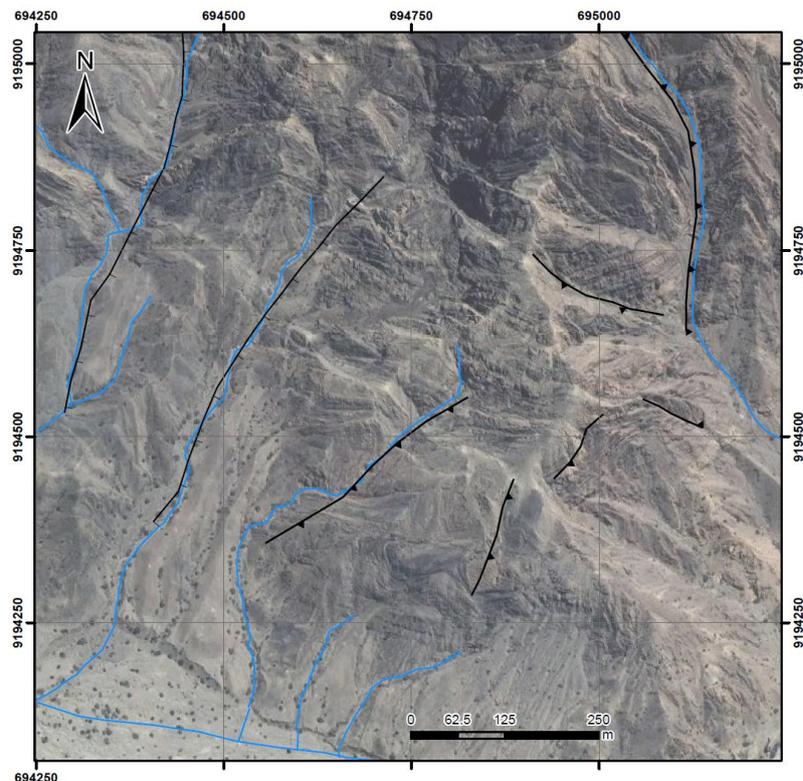


Figura 8: Mapa estructural

3.5. Geomorfología

La geomorfología es producto de la modificación del relieve mediante procesos geológicos como la erosión, meteorización, entre otros, generando cuerpos geológicos que se los define como geformas, existen diversas clasificaciones, una de ellas es la de Rodríguez & Tolentino (2015), las clasifica en: planicies (0° - 8°), lomadas (8° a 20°), laderas (20° a 50°) y escarpas ($>50^{\circ}$).



Figura 9: Fotografía de una planicie al sur de la zona de estudio

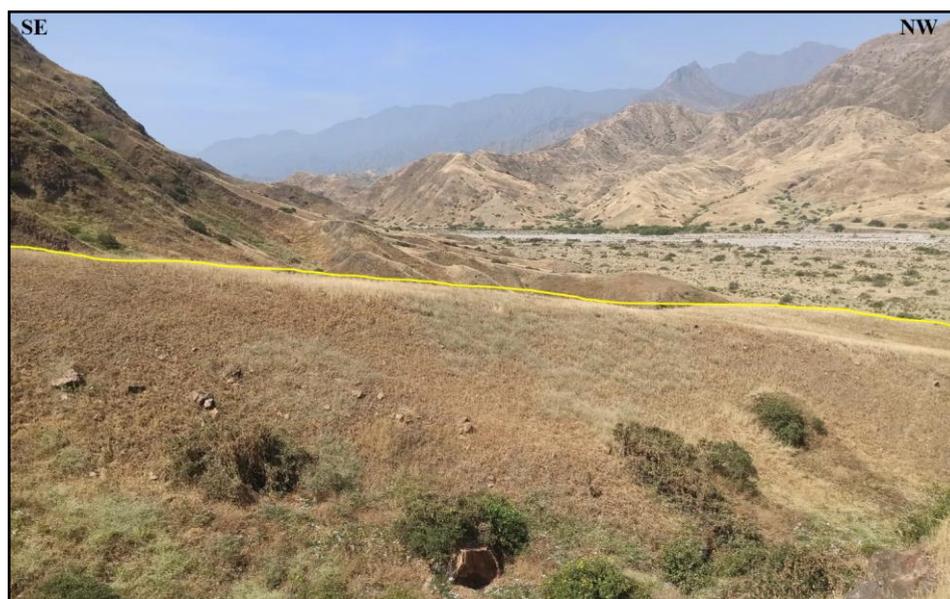


Figura 10: Fotografía de una lomada de 10° de pendiente aproximadamente



Figura 11: Fotografía de una ladera de 22° de pendiente aproximadamente



Figura 12: Fotografía de escarpas de 70° de pendiente aproximadamente

3.6. Hidrología

3.6.1. Cuenca del río Jequetepeque

3.6.1.1. Ubicación Geográfica

Según el Ministerio de Agricultura y Riego ,(2015) la cuenca del río Jequetepeque ocupa una superficie de 3 956 Km² y se ubica en la costa norte del Perú en el departamento de Cajamarca principalmente, comprendida entre las coordenadas geográficas 6°48' y 7°26' de Latitud Sur y los Meridianos 78°20' y 79°35' de Longitud Oeste.

3.6.1.2. Demarcación Política

Comprende a 4 provincias del Departamento de Cajamarca y la provincia de Pacasmayo en La Libertad; las provincias a su vez comprenden los siguientes distritos distribuidos de la siguiente manera: Provincia de San Miguel con los distritos de San Silvestre de Cochán, Llapa.

San Miguel, El Prado, Agua Blanca y parcialmente Calquis; Provincia de San Pablo con los distritos de Tumbaden, San Pablo, San Bernardino y San Luis; Provincia de Cajamarca con los distritos de Chetilla, Magdalena, San Juan, Asunción y parcialmente Cajamarca y Jesús. Provincia de Contumaza con los distritos de Contumaza, Chilete, Santa Cruz de Toledo, Tantarica Yonan y parcialmente Cupisnique. Provincia de Pacasmayo con los distritos de Guadalupe, San José y Jequetepeque, siendo la ciudad de Guadalupe el mayor centro urbano localizado a 700 Km de Lima.

3.6.1.3. Unidades Hidrográficas

La cuenca del río Jequetepeque (que comprende a nueve subcuencas descritas en este Estudio) tiene un área total de 3 956 Km², el perímetro una longitud total de 655,4 Km y la altitud media es de 577,2 msnm. El cauce del río Jequetepeque presenta una longitud de recorrido de 175 Km, presenta una pendiente promedio de 1,7% y las descargas son continuas durante todo el año. El río Jequetepeque, cuyos principales tributarios provienen de zonas montañosas de ambas márgenes, se origina por la unión de los ríos Chilete y

San Miguel, y tiene tributarios como los ríos: Magdalena, Chanta, Huertas, Contumaza, Llaminchán, en la parte baja destacan el río Pallac y Chiminote. La presa Gallito Ciego se ubica aguas debajo de la estación hidrométrica Yonan.

Tabla 3: Unidades Hidrográficas

Nombre de Unidad Hídrica	Área (Km²)	%	Río principal
Bajo Jequetepeque	660.5	16.7%	Tramo del río Jequetepeque
Chausis	205.9	5.2%	Quebrada Chimonote
Medio Bajo Jequetepeque	153.3	3.9%	Tramo del río Jequetepeque
Pallac	236.9	6.0%	Río Pallac
Medio Jequetepeque	144.3	3.6%	Tramo del río Jequetepeque
Contumaza	187.7	4.7%	Río Contumaza
Medio Alto Jequetepeque	3.6	0.1%	Tramo del río Jequetepeque
San Miguel	1041.9	26.3%	Río San Miguel
Alto Jequetepeque	1322.2	33.4%	Río Magdalena
Total	3956.4	100.0%	

3.7. Análisis geoquímico de Fe

La prospección geoquímica, es una de las herramientas más importantes para la prospección minera y en análisis, de zonas con anomalías geoquímicas, así como la determinación de zonas metalogénicas. En consecuencia, la prospección geoquímica se realiza en todas las fases de la minería, desde la prospección a nivel regional hasta en la estimación de un yacimiento. (Viladevall, 2008)

3.7.1. Cateo de la zona

La zona tuvo un primer reconocimiento con fines de cateo y evaluación geológica previa, además se recolectó algunas muestras en el recorrido con el fin de evaluar la presencia de leyes de Fe% de alto interés económico.

Tabla 4: Leyes de Fe% - Etapa de cateo

MUESTRA	FE%
M001	26.00%
M002	30.00%
M003	15.00%
M004	26.00%
M005	24.00%
M006	19.00%
M007	31.00%
M008	40.00%
M009	24.00%
M010	26.00%
M011	23.00%
M012	20.00%
M013	35.00%
M014	38.00%
M015	39.00%
M016	41.00%
M017	30.00%

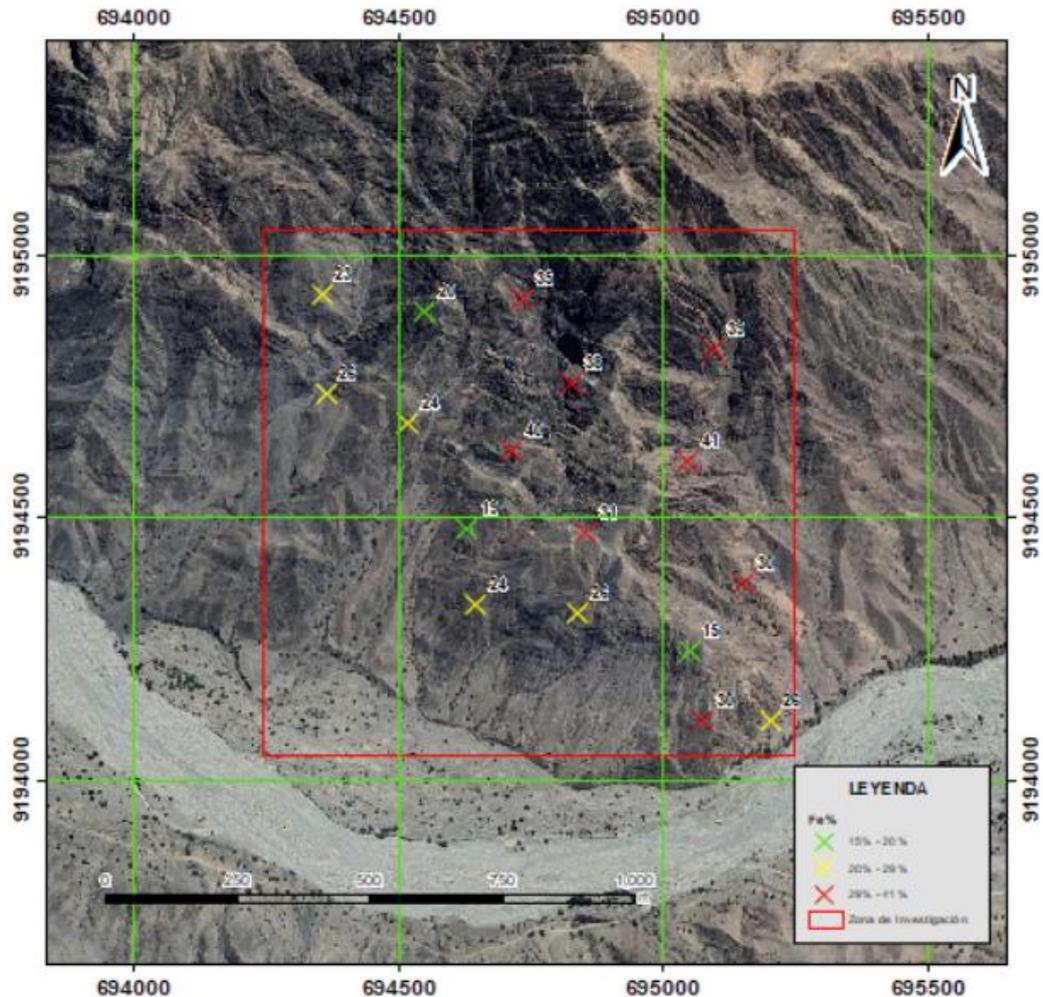


Figura 13: Leyes Fe% - Etapa de Cateo

De acuerdo con los resultados obtenidos en campo y conforme a las leyes de las muestras se definió una zona ligeramente homogénea en su distribución, por lo que se puede observar una posible zonificación con altas leyes de Fe.

3.7.2. Cálculo de tamaño de muestra

Para la determinación del peso de las muestras a extraer fue necesario usar el “**METODO DE COEFICIENTE DE VARIACIÓN**” esta fórmula determina el nivel de homogeneidad o distribución de las leyes.

$$CV = 100 \cdot S / X$$

Figura 14: Formula de COEFICIENTE DE VARIACIÓN

Promedio: 29% = 0.272

Desviación estándar: 0.08

$$CV = 100 * 0.08 / 0.29 = 34.2315\%$$

Coefficiente de variación = 34%

Tabla 5: Distribución y peso de muestra acorde al coeficiente de variación

DISTRIBUCION DEL MINERAL EN EL DEPÓSITO	COEFICIENTE DE VARIACIÓN (%)	PESO DE LA MUESTRA (KG)
Muy regular	Hasta 20	0.6 – 0.8
Regular	20 – 40	1.8 – 2.4
Irregular	40 – 80	3.6 – 4.8
Muy irregular	80 – 150	5.4 – 7.2
Extraordinariamente irregular	Más de 150	7.2 – 9.6

Alfaro (2002), menciona que, para calcular el peso de la muestra, se utiliza la tabla 5; tomando como referencia el 34% obtenido para el coeficiente de variación, lo que nos indica que su distribución del mineral en el depósito es (**Regular**), con ello el peso ideal debe oscilar entre 1.8 – 2.4 kilogramos de muestra, debido al comportamiento el hierro tomaremos como promedio de 2 kg de muestra para nuestra campaña de muestreo.

3.7.3. Cálculo de frecuencia de muestreo

Para la determinación de la frecuencia de muestreo fue necesario usar el “**METODO DE COEFICIENTE DE VARIACIÓN**” apoyándose de los resultados en la etapa de cateo, por lo cual tomaremos los datos de Coeficiente de variación obtenidos anteriormente.

Tabla 6: Espaciado para muestras acorde al coeficiente de variación

DISTRIBUCIÓN DEL MINERAL	COEFICIENTE DE VARIACIÓN V (%)	ESPACIADO ENTRE MUESTRAS (M)
Regular	< 40	50 – 60
Irregular	40 – 100	6 – 4
Muy irregular	100 – 150	4 – 2,5
Extremadamente irregular	> 150	2,5 – 2

Acorde a la tabla de coeficientes de variación el espaciado ideal debe oscilar entre 50 – 60 metros entre muestras, debido a la necesidad de realizar una malla de muestreo de acuerdo con el tamaño de la zona de investigación de decidió usar un espaciado de 50m entre muestras.

3.7.4. Diseño de malla de muestreo

Para el diseño de la malla de muestreo fue necesario hacer uso del Software ArcGis 10.8, además de tener en consideración un espaciado de 50m entre muestras.

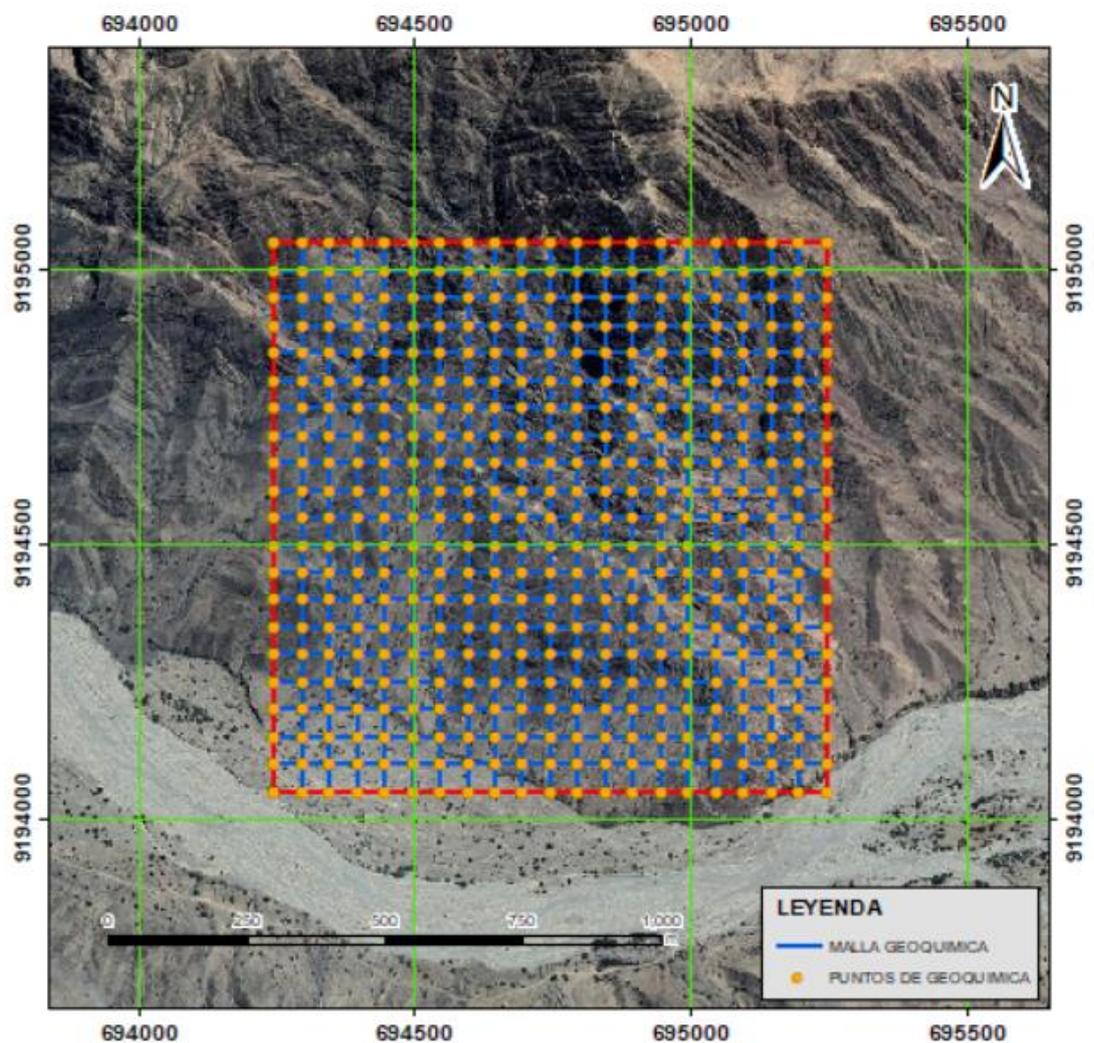


Figura 15: Malla de muestreo – Zona de investigación

3.7.5. Muestreo Aleatorio

La distribución de la población muestral es homogénea y con una población de 484 puntos muestrales, sin embargo, será necesario realizar un muestreo aleatorio, seleccionando los puntos a muestrear teniendo en cuenta criterios simples como el acceso y la presencia de Magnetita en la zona.

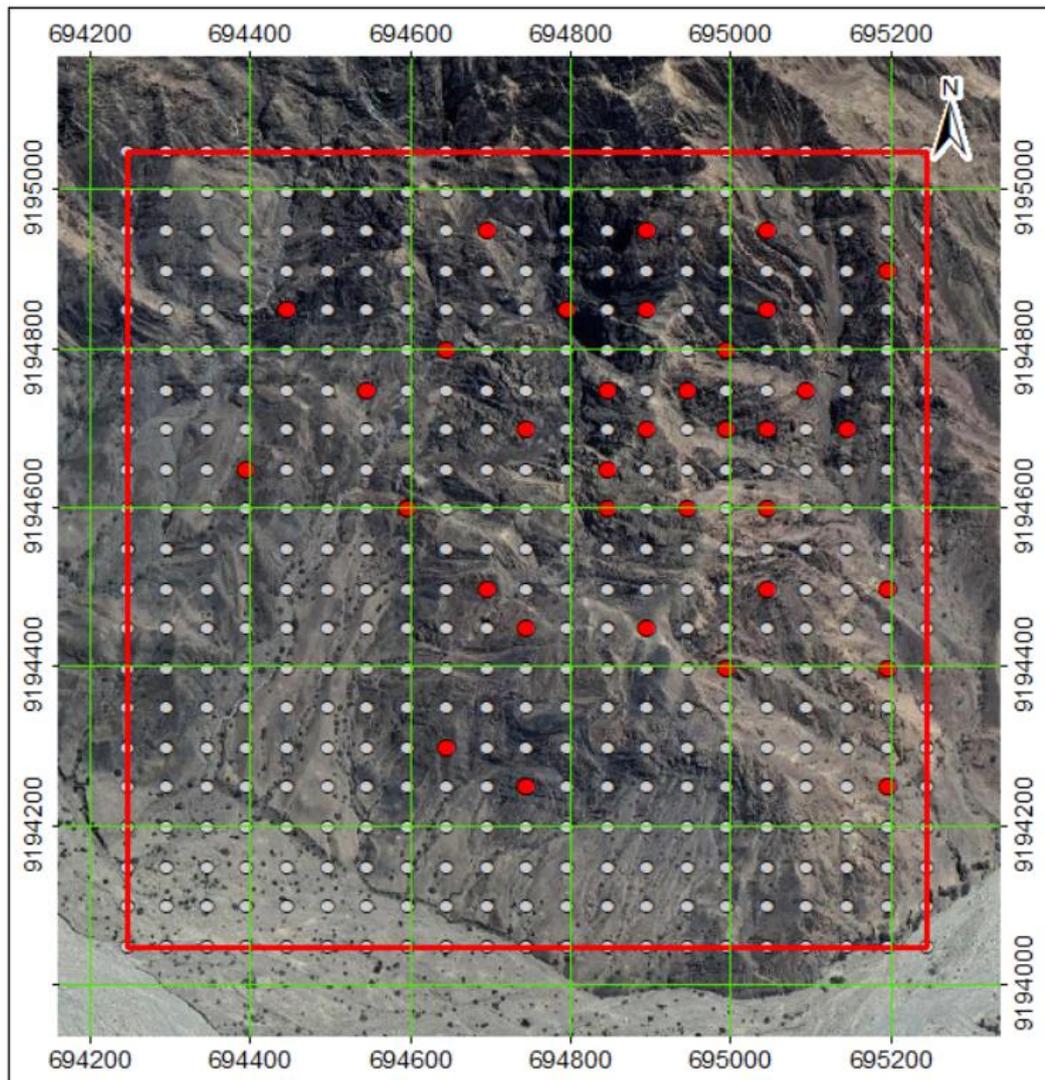


Figura 16: Puntos de muestreo aleatorio – Zona de investigación

Los puntos se seleccionaron de manera aleatoria, por lo que se programó una campaña de muestreo de aproximadamente 2 días para la extracción de un total de 35 muestras.

3.7.6. Muestras tomadas

Las muestras por extraer en campo se realizaron haciendo uso de equipos esenciales para facilitar la extracción para posteriormente ser enviadas a laboratorio bajo estrictos protocolos de control. (Ver figura 17)

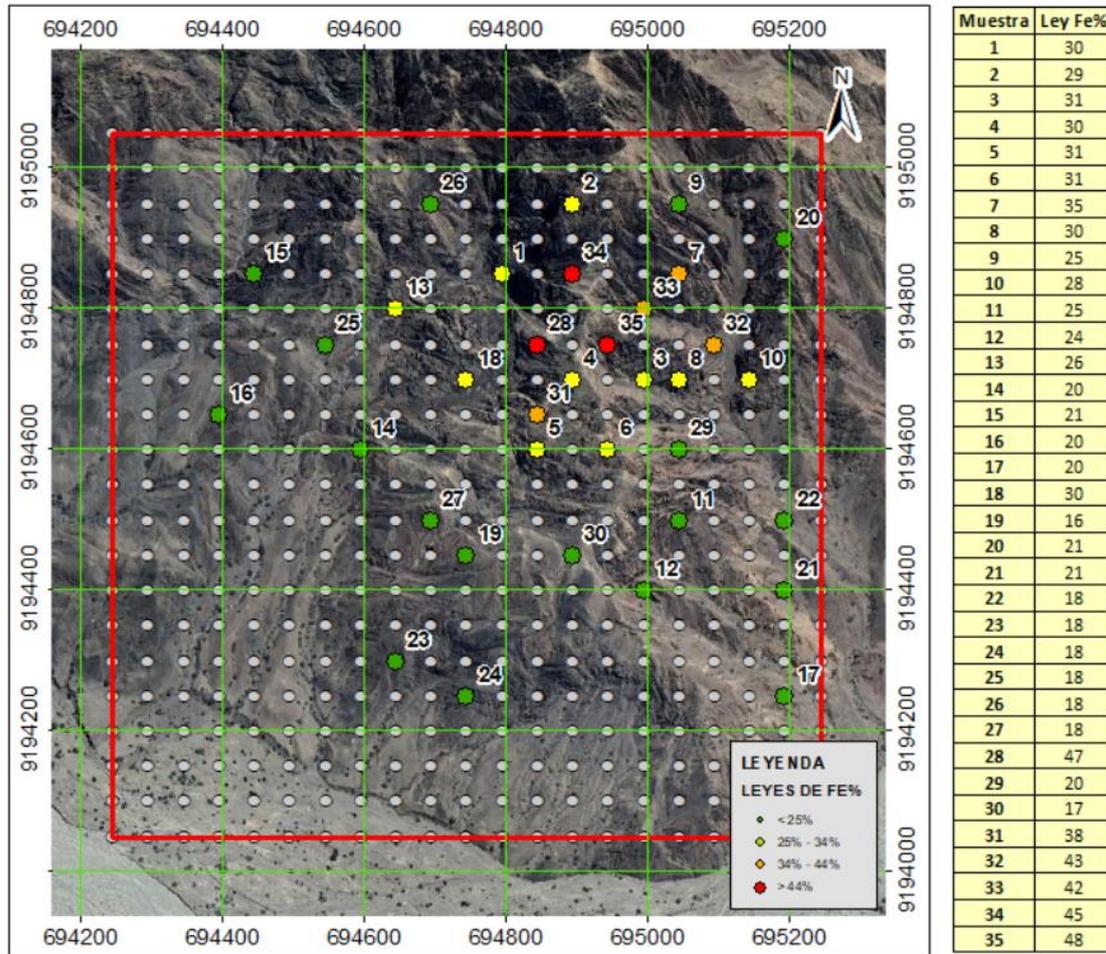


Figura 17: Distribución de muestras extraídas y sus leyes Fe% - Zona de investigación

Se detallará cada una de las muestras extraídas considerando detalles de interés para su evaluación, tales como Mineralogía y alteraciones en superficie.

• **M001**

Formación: Fm. Farrat
Roca: Arenisca de grano medio
Mineralogía: Limonita + Goetita + Magnetita
Alteraciones: Óxidos



Figura 18: Arenisca con presencia de óxidos de hierro (Hematita + Limonita + Magnetita)

NORTE	ESTE	COTA	TIPO	LEY FE%
9194847	694795	699 msnm	MUESTREO ALEATORIO	30%

• **M002**

Formación: Fm. Farrat
Roca: Arenisca de grano medio
Mineralogía: Limonita + Goetita + Magnetita + Óxidos de manganeso
Alteraciones: Óxidos



Figura 19: Arenisca con presencia de óxidos de hierro (Hematita + Magnetita) + Óxidos de manganeso

NORTE	ESTE	COTA	TIPO	LEY FE%
9194897	694895	793 msnm	MUESTREO ALEATORIO	29%

- **M003**

Formación: Fm. Farrat
Roca: Arenisca de grano medio
Mineralogía: Limonita + Goetita + Magnetita
Alteraciones: Óxidos



Figura 20: Areniscas con presencia de óxidos de hierro (Limonita + Goetita + Magnetita)

NORTE	ESTE	COTA	TIPO	LEY FE%
9194798	694946	751 msnm	MUESTREO ALEATORIO	31%

- **M004**

Formación: Fm. Farrat
Roca: Arenisca de grano medio
Mineralogía: Limonita + Hematita + Goetita + Magnetita + Óxidos de manganeso
Alteraciones: Óxidos



Figura 21: Areniscas con presencia de óxidos de hierro (Limonita + Hematita + Goethita + Magnetita) + Óxidos de manganeso

NORTE	ESTE	COTA	TIPO	LEY FE%
9194698	694896	705 msnm	MUESTREO ALEATORIO	30%

- **M005**

Formación: Fm. Farrat

Roca: Arenisca de grano medio

Mineralogía: Hematita + Magnetita + Óxidos de manganeso

Alteraciones: Óxidos



Figura 22: Areniscas con presencia de óxidos de hierro (Hematita + magnetita) + Óxidos de manganeso

NORTE	ESTE	COTA	TIPO	LEY FE%
9194598	694846	634 msnm	MUESTREO ALEATORIO	31%

- **M006**

Formación: Fm. Farrat

Roca: Arenisca de grano medio

Mineralogía: Hematita + Limonita + Magnetita + Óxidos de manganeso

Alteraciones: Óxidos



Figura 23: Arenisca con presencia de óxidos de hierro (Hematita + Limonita + Magnetita) + Óxidos de manganeso

NORTE	ESTE	COTA	TIPO	LEY FE%
9194598	694946	679 msnm	MUESTREO ALEATORIO	31%

- **M007**

Formación: Fm. Farrat

Roca: Arenisca de grano medio

Mineralogía: Hematita + Magnetita

Alteraciones: Óxidos



Figura 24: Arenisca con presencia de óxidos de hierro (Hematita + Magnetita)

NORTE	ESTE	COTA	TIPO	LEY FE%
9194848	695046	742 msnm	MUESTREO ALEATORIO	35%

- **M008**

Formación: Fm. Farrat

Roca: Arenisca de grano medio

Mineralogía: Hematita + Magnetita + Óxidos de manganeso

Alteraciones: Óxidos



Figura 25: Arenisca con óxidos de hierro (Hematita + Magnetita) + Óxidos de manganeso

NORTE	ESTE	COTA	TIPO	LEY FE%
9194698	695046	662 msnm	MUESTREO ALEATORIO	30%

- **M009**

Formación: Fm. Farrat

Roca: Arenisca de grano medio

Mineralogía: Hematita + Magnetita

Alteraciones: Óxidos



Figura 26: Arenisca con presencia de óxidos de hierro (Hematita + Magnetita)

NORTE	ESTE	COTA	TIPO	LEY FE%
9194948	695046	824 msnm	MUESTREO ALEATORIO	25%

- **M010**

Formación: Fm. Farrat

Roca: Arenisca de grano medio

Mineralogía: Hematita + Goethita + Magnetita + Óxidos de manganeso

Alteraciones: Óxidos



Figura 27: Arenisca con abundantes óxidos de hierros (Hematita + Goethita + Magnetita)

NORTE	ESTE	COTA	TIPO	LEY FE%
9194698	695146	620 msnm	MUESTREO ALEATORIO	28%

- **M011**

Formación: Fm. Farrat

Roca: Arenisca de grano medio

Mineralogía: Hematita + Goethita + Magnetita + Óxidos de manganeso

Alteraciones: Óxidos



Figura 28: Areniscas con presencia de óxidos de fierros (Hematita + Limonita + Magnetita) + Óxidos de manganeso

NORTE	ESTE	COTA	TIPO	LEY FE%
9194498	695046	599 msnm	MUESTREO ALEATORIO	25%

- **M012**

Formación: Fm. Farrat

Roca: Arenisca de grano medio

Mineralogía: Hematita + Goethita

Alteraciones: Óxidos



Figura 29: Areniscas con presencia de óxidos de hierro (Hematita + Goethita)

NORTE	ESTE	COTA	TIPO	LEY FE%
9194398	694996	568 msnm	MUESTREO ALEATORIO	24%

- **M013**

Formación: Fm. Farrat

Roca: Arenisca de
grano medio

Mineralogía: Hematita
+ Goethita + Magnetita

Alteraciones: Óxidos



Figura 30: Arenisca con presencia de óxidos de hierro (Hematita + Limonita + Magnetita)

NORTE	ESTE	COTA	TIPO	LEY FE%
9194798	694646	560 msnm	MUESTREO ALEATORIO	26%

- **M014**

Formación: Fm. Farrat

Roca: Arenisca de
grano medio

Mineralogía: Hematita

Alteraciones: Óxidos



Figura 31: Muestra M002 - Areniscas con óxidos de hierro (Hematita)

NORTE	ESTE	COTA	TIPO	LEY FE%
9194598	694596	495 msnm	MUESTREO ALEATORIO	20%

- **M015**

Formación: Fm. Farrat

Roca: Arenisca de grano medio

Mineralogía: Hematita
+ Goethita+ Magnetita
+ Óxidos de manganeso

Alteraciones: Óxidos



Figura 32: Areniscas con presencia de óxidos de hierro (Hematita + Limonita + Magnetita) + Óxidos de manganeso

NORTE	ESTE	COTA	TIPO	LEY FE%
9194848	694446	516 msnm	MUESTREO ALEATORIO	21%

- **M016**

Formación: Fm. Farrat

Roca: Arenisca de grano medio

Mineralogía: Hematita
+ Limonita + Magnetita
+ Óxidos de manganeso

Alteraciones: Óxidos



Figura 33: Arenisca con presencia de óxidos de hierro (Limonita + hematita + magnetita) + Óxidos de manganeso

NORTE	ESTE	COTA	TIPO	LEY FE%
9194648	694396	447 msnm	MUESTREO ALEATORIO	20%

- **M017**

Formación: Fm. Farrat

Roca: Arenisca de
grano medio

Mineralogía: Hematita
+ Limonita

Alteraciones: Óxidos



Figura 34: Areniscas con presencia de óxidos de hierro (Hematita + Limonita)

NORTE	ESTE	COTA	TIPO	LEY FE%
9194248	695196	437 msnm	MUESTREO ALEATORIO	20%

- **M018**

Formación: Fm. Farrat

Roca: Arenisca de
grano medio

Mineralogía: Hematita
+ Limonita + Magnetita

Alteraciones: Óxidos



Figura 35: Areniscas con presencia de óxidos de hierro (Hematita + Limonita + Magnetita)

NORTE	ESTE	COTA	TIPO	LEY FE%
9194698	694746	608 msnm	MUESTREO ALEATORIO	30%

- **M019**

Formación: Fm. Farrat

Roca: Arenisca de grano medio

Mineralogía: Hematita + Limonita + Magnetita

Alteraciones: Óxidos



Figura 36: Arenisca con presencia de óxidos de hierro (Hematita + Limonita + Magnetita)

NORTE	ESTE	COTA	TIPO	LEY FE%
9194448	694746	530 msnm	MUESTREO ALEATORIO	16%

- **M020**

Formación: Fm. Farrat

Roca: Arenisca de grano medio

Mineralogía: Hematita

Alteraciones: Óxidos



Figura 37: Arenisca con óxidos de hierro (Hematita + Magnetita)

NORTE	ESTE	COTA	TIPO	LEY FE%
9194898	695196	743 msnm	MUESTREO ALEATORIO	21%

- **M021**

Formación: Fm. Farrat

Roca: Arenisca de grano medio

Mineralogía: Hematita + Magnetita

Alteraciones: Óxidos



Figura 38: Arenisca con presencia de óxidos de hierro (Hematita + Magnetita)

NORTE	ESTE	COTA	TIPO	LEY FE%
9194398	695196	473 msnm	MUESTREO ALEATORIO	21%

- **M022**

Formación: Fm. Farrat

Roca: Arenisca de grano medio

Mineralogía: Hematita + Magnetita + Óxidos de manganeso

Alteraciones: Óxidos



Figura 39: Arenisca con presencia de óxidos de hierro (Hematita + Magnetita) + Óxidos de manganeso

NORTE	ESTE	COTA	TIPO	LEY FE%
9194498	695196	511 msnm	MUESTREO ALEATORIO	18%

- **M023**

Formación: Fm. Farrat

Roca: Arenisca de grano medio

Mineralogía: Hematita + Magnetita

Alteraciones: Óxidos



Figura 40: Areniscas con presencia de óxidos de Hierro (Hematita + magnetita)

NORTE	ESTE	COTA	TIPO	LEY FE%
9194298	694646	419 msnm	MUESTREO ALEATORIO	18%

- **M024**

Formación: Fm. Farrat

Roca: Arenisca de grano medio

Mineralogía: Hematita

Alteraciones: Óxidos



Figura 41: Areniscas con óxidos de hierro (Hematita)

NORTE	ESTE	COTA	TIPO	LEY FE%
9194248	694746	428 msnm	MUESTREO ALEATORIO	18%

- **M025**

Formación: Fm. Farrat

Roca: Arenisca de grano medio

Mineralogía: Hematita + Limonita

Alteraciones: Óxidos



Figura 42: Areniscas con presencia de óxidos de hierro (Hematita + Limonita)

NORTE	ESTE	COTA	TIPO	LEY FE%
9194748	694546	495 msnm	MUESTREO ALEATORIO	18%

- **M026**

Formación: Fm. Farrat

Roca: Arenisca de grano medio

Mineralogía: Hematita + Limonita

Alteraciones: Óxidos



Figura 43: Areniscas con presencia de óxidos de hierro (Hematita + Limonita)

NORTE	ESTE	COTA	TIPO	LEY FE%
9194948	694696	512 msnm	MUESTREO ALEATORIO	18%

- **M027**

Formación: Fm. Farrat
Roca: Arenisca de grano medio
Mineralogía: Hematita + Limonita
Alteraciones: Óxidos



Figura 44: Areniscas con presencia de óxidos de hierro (Hematita + Limonita)

NORTE	ESTE	COTA	TIPO	LEY FE%
9194498	694696	523 msnm	MUESTREO ALEATORIO	18%

- **M028**

Formación: Fm. Farrat
Roca: Arenisca de grano medio
Mineralogía: Hematita + Limonita + Magnetita + Óxidos de manganeso
Alteraciones: Óxidos



Figura 45: Arenisca con presencia de óxidos de hierro (Limonita + Hematita + Magnetita) + Óxidos de manganeso

NORTE	ESTE	COTA	TIPO	LEY FE%
9194748	694846	602	MUESTREO ALEATORIO	47%

- **M029**

Formación: Fm. Farrat

Roca: Arenisca de grano medio

Mineralogía: Hematita + Magnetita + Óxidos de manganeso

Alteraciones: Óxidos



Figura 46: Arenisca con presencia de óxidos de hierro (Hematita + Magnetita) + Óxidos de manganeso

NORTE	ESTE	COTA	TIPO	LEY FE%
9194598	695046	598	MUESTREO ALEATORIO	20%

- **M030**

Formación: Fm. Farrat

Roca: Arenisca de grano medio

Mineralogía: Hematita + Limonita + Magnetita + Óxidos de manganeso

Alteraciones: Óxidos



Figura 47: Arenisca con presencia de óxidos de hierro (Limonita + Hematita + Magnetita) + Óxidos de manganeso

NORTE	ESTE	COTA	TIPO	LEY FE%
9194448	694896	550	MUESTREO ALEATORIO	17%

- **M031**

Formación: Fm. Farrat

Roca: Arenisca de grano medio

Mineralogía: Hematita + Magnetita + Óxidos de manganeso

Alteraciones: Óxidos



Figura 48: Arenisca con presencia de óxidos de hierro (Hematita + Magnetita) + Óxidos de manganeso

NORTE	ESTE	COTA	TIPO	LEY FE%
9194648	694846	598	MUESTREO ALEATORIO	38%

- **M032**

Formación: Fm. Farrat

Roca: Arenisca de grano medio

Mineralogía: Hematita + Limonita + Magnetita + Óxidos de manganeso

Alteraciones: Óxidos



Figura 49: Arenisca con presencia de óxidos de hierro (Limonita + Hematita + Magnetita) + Óxidos de manganeso

NORTE	ESTE	COTA	TIPO	LEY FE%
9194748	695096	550	MUESTREO ALEATORIO	43%

- **M033**

Formación: Fm. Farrat

Roca: Arenisca de grano medio

Mineralogía: Hematita + Magnetita + Óxidos de manganeso

Alteraciones: Óxidos



Figura 50: Arenisca con presencia de óxidos de hierro (Hematita + Magnetita) + Óxidos de manganeso

NORTE	ESTE	COTA	TIPO	LEY FE%
9194748	694996	598	MUESTREO ALEATORIO	42%

- **M034**

Formación: Fm. Farrat

Roca: Arenisca de grano medio

Mineralogía: Hematita + Limonita + Magnetita + Óxidos de manganeso

Alteraciones: Óxidos



Figura 51: Arenisca con presencia de óxidos de hierro (Limonita + Hematita + Magnetita) + Óxidos de manganeso

NORTE	ESTE	COTA	TIPO	LEY FE%
9194898	694896	550	MUESTREO ALEATORIO	45%

- **M035**

Formación: Fm. Farrat

Roca: Arenisca de
grano medio

Mineralogía: Hematita
+ Magnetita + Óxidos
de manganeso

Alteraciones: Óxidos



Figura 52: Arenisca con presencia de óxidos de hierro (Hematita + Magnetita) + Óxidos de manganeso

NORTE	ESTE	COTA	TIPO	LEY FE%
9194648	694996	598	MUESTREO ALEATORIO	48%

3.7.7. Pruebas de Normalidad (Ryan – Joiner)

Para las pruebas de normalidad se realizó el método de Ryan – Joiner, (Flores & Flores, 2021), en el artículo “Pruebas para comprobar la normalidad de datos en procesos productivos: Anderson-Darling, Ryan-Joiner, Shapiro-Wilk y Kolmogórov-Smirnov”; menciona que es la prueba más adecuada; si se cuenta una población muestral mayor a 30 muestras.

- **H0**: Los datos siguen una distribución normal
- **H1**: Los datos analizados no siguen una distribución normal

La significancia de las pruebas de normalidad corresponde a $\alpha = 5\% = 0.05$, la regla de contraste sería:

- Si **p-valor** $\geq 0.05 \rightarrow$ Aceptar H_0
- Si **p-valor** $< 0.05 \rightarrow$ Rechazar H_0

Tabla 7: Datos obtenidos en la prueba de Ryan – Joiner

Elemento	Ryan – Joiner			
	#Muestral	Valor	Significancia	Hipótesis
Fe_%	35	<0.010	0.05	Se rechaza

Los resultados obtenidos a partir de Ryan – Joiner no se tiene una distribución normal de las leyes de Fe% por lo que se necesita una transformación log-natural.

3.7.8. Estadística Univariada

Se presenta los resultados de una estadística básica (media, mediana, desviación estándar, asimetría, curtosis y coeficiente de variación sin transformación log-natural.

Tabla 8: Análisis estadístico univariado

Elemento	N°	Media	Mediana	Desv. Est	Varianza	Asimetría	Coef. Var	Curtosis
FE%	35	27.20	25	9.31	86.6941	0.86	34.23	-0.23

Se puede notar gran variación entre la mediana y la media, esto gracias a los disparos altos en las leyes de Fe%, el coeficiente de variación es de 34.23, por lo que nos indica una alta variación de los valores, la asimetría es superior a 0, indicando la presencia de un sesgo hacia la izquierda y la curtosis tiene un valor de -0.23, indicando que los valores no se encuentran entorno a la media.

Se presenta los resultados de una estadística básica (media, mediana, desviación estándar, asimetría, curtosis y coeficiente de variación con transformación log-natural.

Tabla 9: Análisis estadístico univariado

Elemento	N°	Media	Mediana	Desv. Est	Varianza	Asimetría	Coef. Var	Curtosis
FE%	34	3.23	3.22	0.3107	0.105	0.41	9.61	-0.90

Se puede notar el cambio de la variación entre la mediana y la media, el coeficiente de variación es de 9.61, por lo que nos indica una distribución más homogénea de los valores, la asimetría se reduce considerablemente llegando casi a 0, indicando la presencia de una reducción del sesgo y la curtosis tiene un valor de -0.90, indicando que los valores no se encuentran entorno a la media.

3.7.9. Comportamiento del Fe%

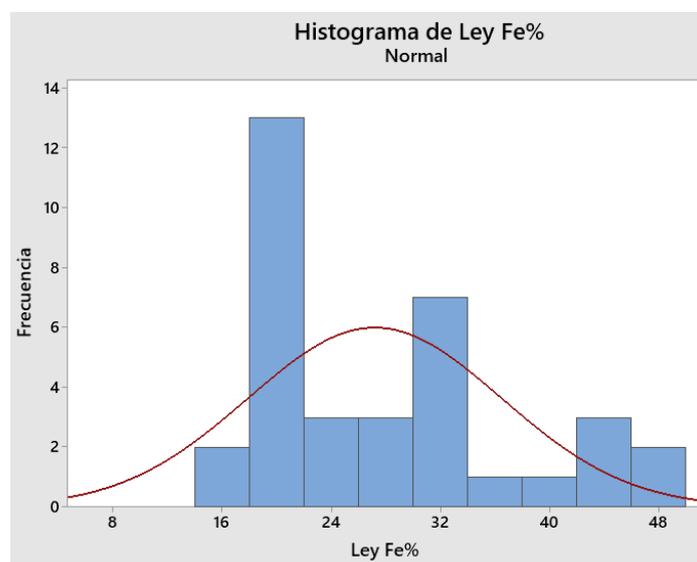


Figura 53: Histograma de Ley Fe% sin normalizar

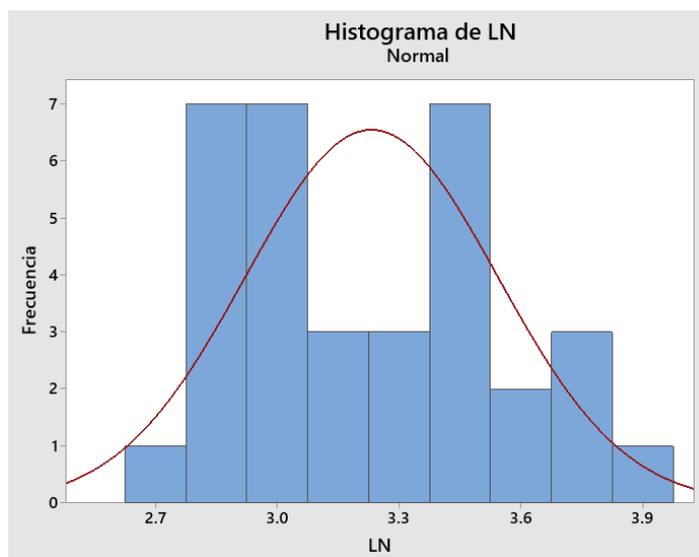


Figura 54: Histograma de Ley Fe% Log – natural

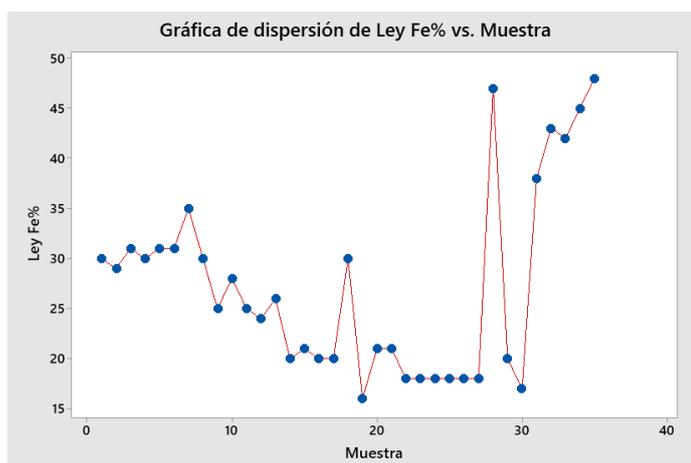


Figura 55: Gráfico de dispersión Ley Fe%

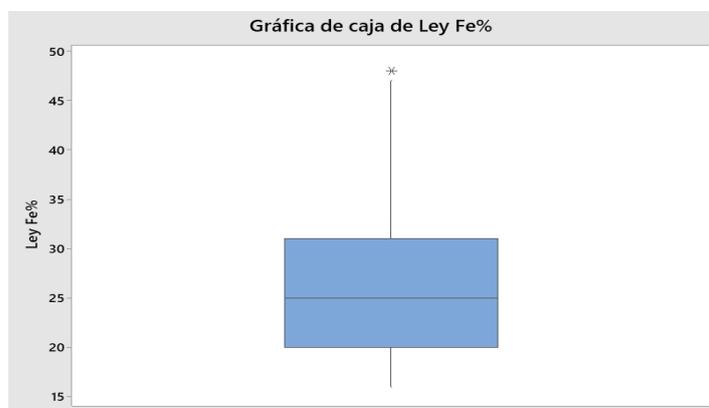


Figura 56: Box Plot – Ley Fe%

3.7.10. Parámetros geoquímicos (Background y Threshold)

El background es el valor promedio de un elemento en una exploratoria. Para la presente investigación se consideró la mediana como medida ideal para el valor de fondo.

Elemento	Mediana
Fe%	25

El threshold es un valor por encima del background y es un límite de fluctuaciones representada por la siguiente fórmula:

$$T = B + SD$$

Donde:

- T es el Threshold
- B es el Background
- SD es la desviación estándar

$$T = 25 + (9.31) \quad 2T = 25 + 2(9.31) \quad 3T = 25 + 3(9.31)$$

$$T = 34.31\% \quad 2T = 43.62\% \quad 3T = 52.93\%$$

Tabla 10: Parámetros geoquímicos

Elemento	Muestras empleadas	Background	Threshold	2 Threshold	3 Threshold
Fe%	34	25	34.31	43.62%	52.93%

3.7.11. Cálculo de anomalías geoquímica

Las anomalías se determinan de acuerdo con el contenido de las leyes de Fe%, por lo que se puede definir como un alto en los valores con respecto a la distribución normal de los mismos dentro de la zona de exploración

- **Determinación de rangos anómalos**

En la tabla 11 se describe la cantidad de muestras, teniendo en cuenta el Background y la desviación estándar (la cual varía entre dos y tres en función al Threshold que se desea calcular).

Tabla 11: Descripción de los rangos de anomalías

Elemento	Muestras	Muestras Empleadas	Background	Threshold	2 Threshold	3 Threshold
Fe %	35	34	$X < B$	$B - T$	$T - 2T$	$2T - 3T$

Para la determinación de los rangos anómalos, se utilizó la tabla 10 de parámetros geoquímicos; en el cual se obtuvo 2 Threshold y 3 Threshold.

Tabla 12: Rangos de anomalías

Elemento	Muestras	Muestras Empleadas	Background	Threshold	2 Threshold	3 Threshold
Fe %	35	34	25%	34%	44%	53%

Para determinar el porcentaje de muestras anómalas, se utilizó los valores obtenidos de la figura 17, la cual nos indica el porcentaje de Fe, y lo vamos a clasificar en función a su Background y Threshold.

Tabla 13: Porcentaje de muestras anómalas

Elemento	Muestras	Muestras Empleadas	Background %	Débil %	Moderado %	Fuerte %
Fe %	35	34	16 (45.8%)	12 (34%)	4 (11.4%)	3 (8.8%)

3.7.12. Distribución geoquímica del Fe

Se realizó el plano de Isovalores para determinar la distribución de las leyes de Fe y con ello obtener zonas de interés, para esto fue necesario hacer uso del software ArcGIS 10.8; a través de sus parámetros por defecto. Debido a la baja cantidad de muestras con las que se cuenta, se utiliza el método inverso a la distancia. Zhunio (2017), menciona se aplica en función al factor de ponderación a cada muestra que rodea al punto central de la zona de interés y en muestras que sean mínimas.

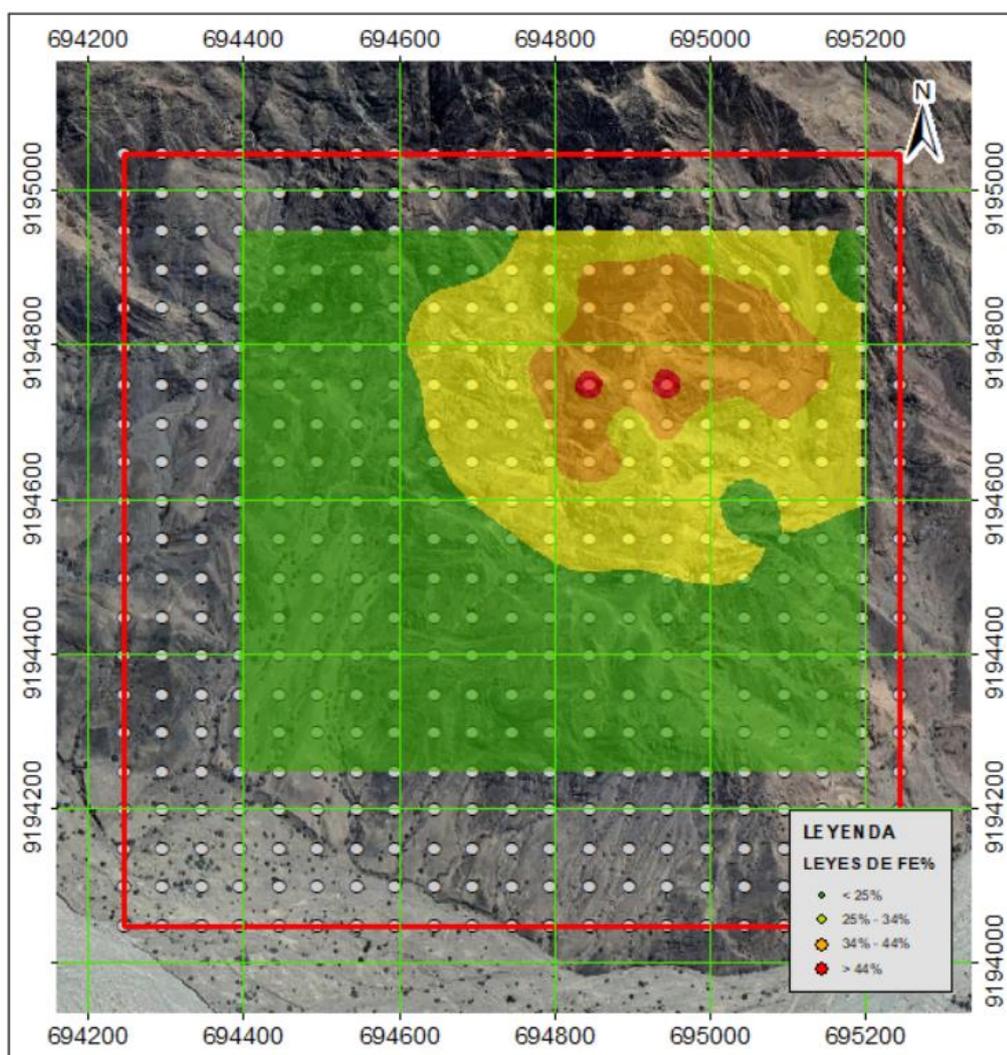


Figura 57: Distribución geoquímica del Fe%

La mayor concentración de leyes de Fe, se localizan al Noreste de la zona de estudio, las leyes fluctúan entre el 34% a leyes que alcanzan el 48%, siendo

esta concentración de gran interés económico, localizándose magnetita en conjunto con óxidos de hierro (Hematita + Limonita) en superficie, tal como se detalla en el plano geoquímico (Figura 57)

3.7.12.1. Determinación de zonas de interés

Con la determinación del plano geoquímico se logró identificar zonas con interés económico debido a las altas leyes de Fe, lo que generó posibles targets exploratorios.

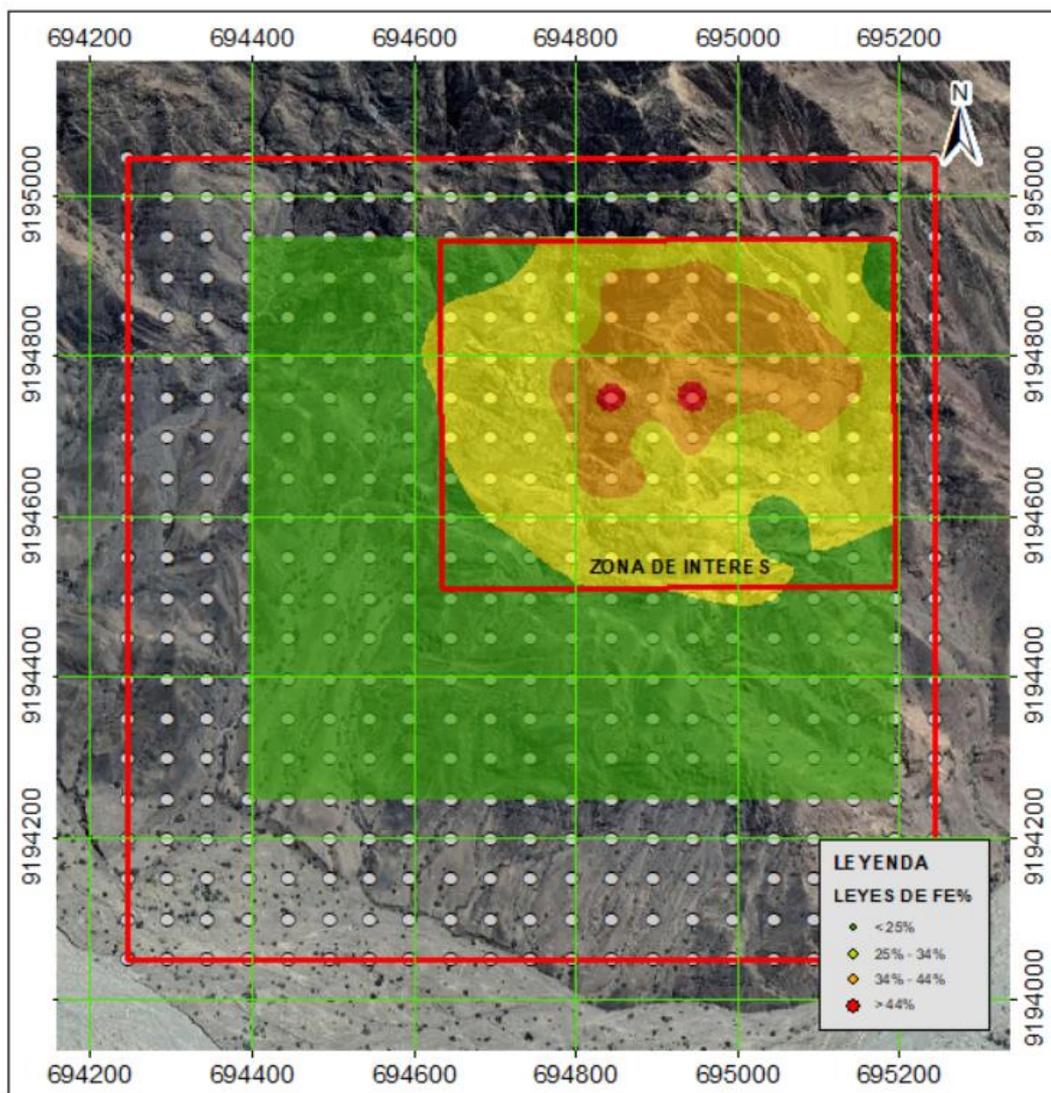


Figura 58: Identificación de target exploratorio Noreste

La alta concentraciones de leyes de Fe al Noreste de la zona de estudio, hacen de este sector, un posible target exploratorio, así mismo las caracterizaciones de campo y en concordancia con las muestras analizadas de forma macroscópica, muestra mineralogías propicias para la localización de yacimientos de hierro, tal es el caso de la presencia abundante de magnetita.

3.7.12.2. Prospecto Noreste

Al noreste de la zona de investigación se localizó la mayor concentración de leyes de Fe, por lo que se propone como zona de investigación de alta prioridad, de la mano de un muestreo sistemático, con mayor número de muestras a fin de elevar los niveles de confiabilidad.

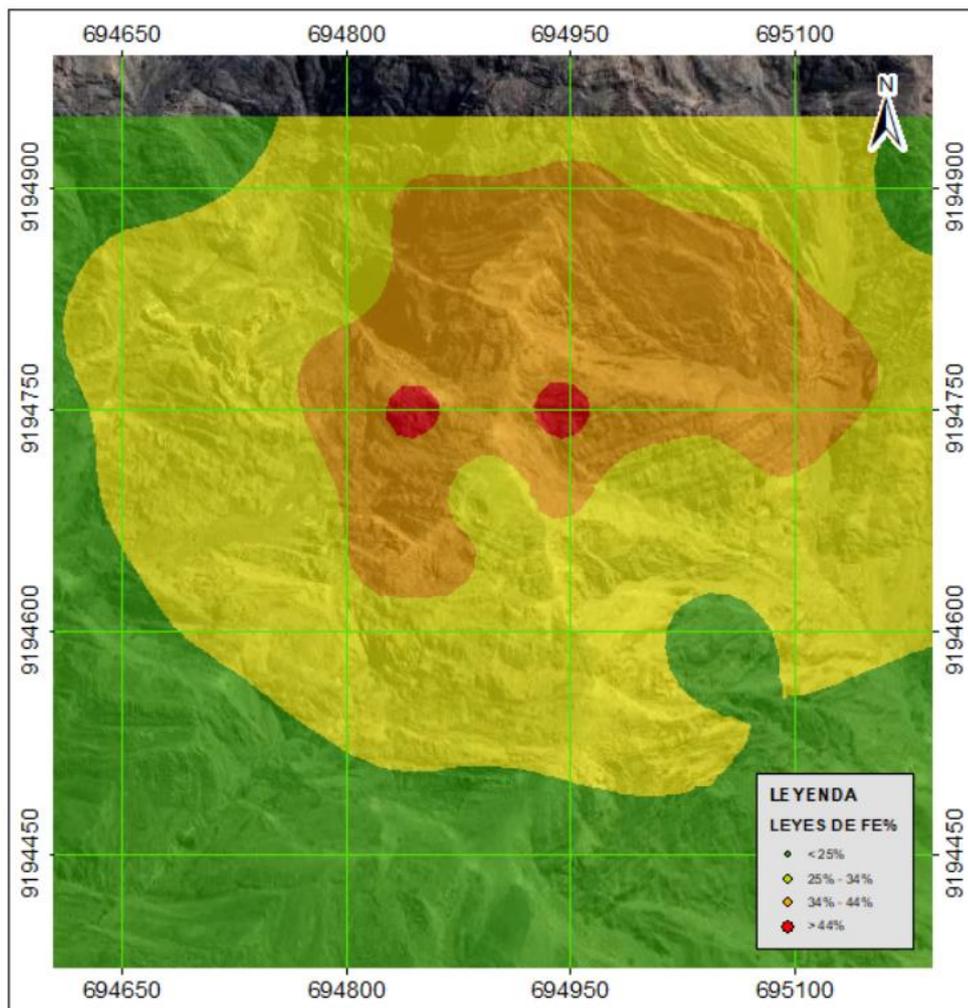


Figura 59: Target Noreste

CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

4.1 Discusión

Los principales minerales menas de hierro ubicadas en la zona de investigación son la magnetita, gohetita y en menor proporción la limonita de las cuales se encuentran en óxidos, de acuerdo con Moscote et.al. (2017), la magnetita (Fe_3O_4) y hematita (Fe_2O_3) son los principales minerales de hierro. La magnetita es negra o marrón-negra con un brillo metálico, la hematita es de color negro a acero o gris plata, marrón a marrón rojizo, o rojo. Las variedades incluyen la hematita reniforme, martita (pseudomorfo de la magnetita), hierro rosa y especularita (hematita especular). Mientras que las formas de hematitis varían, todas tienen una raya de color rojo-óxido, además la magnetita es importante en la comprensión de las condiciones bajo las cuales se formaron las rocas. Reacciona con el oxígeno para producir hematita, y ambos minerales generan un tapón para controlar la fugacidad de oxígeno. La hematita puede precipitar fuera del agua o acumularse en capas en los fondos de lagos, manantiales u otras aguas estancadas. También puede generarse sin presencia de agua, sin embargo, por lo general son resultado de actividad volcánica. Las concentraciones de óxidos de hierro reflejan un factor de enriquecimiento, este factor es considerado cuando la concentración sobrepasa la abundancia y distribución normal del mineral en la roca, para el caso del hierro el factor de enriquecimiento debe ser cuatro veces mayor con relación a su distribución normal.

En la zona de investigación podemos aplicar este concepto y corroborar mediante el análisis geoquímico que se realizó para determinar el porcentaje de hierro en cada una de ellas por lo que manifestaciones de hierro aflorantes en la zona de investigación representan un interés económico.

El muestreo geoquímico aleatorio nos puede acercar a la realidad para determinar zonas de interés económico, sin embargo es de manera superficial solamente, por lo que a profundidad se debe realizar sondajes y aplicar otro método de análisis geoquímico como lo sugiere de Castillo (2016), que realizó 14 sondajes de los cuales 6 de ellos son sondajes de aire reverso y 8 restantes de diamantina, además propone que se deber realizar el ensayo magnético Davis Tube Test (DTT)

que consiste en moler la muestra hasta que pasa completamente por el tamiz 100; luego se humedece la muestra y se hace pasar mediante un flujo de agua por un tubo a 45°, el cual en su zona media a través de un imán genera un campo electromagnético que es capaz de retener las partículas magnéticas y de esta manera estimar el porcentaje de hierro magnetizado, por su parte Osco (2014), defiende la idea del muestreo aleatorio por lo que realiza una exploración dirigida principalmente a la ubicación y delimitación de las principales zonas con alta concentración de hematita, para lo cual se realizaron observaciones de campo, así como mediciones de la susceptibilidad magnética en cada punto de muestreo; igualmente se tomaron 35 muestras de mineral en superficie para análisis químicos. Y determinó que la mineralización de hierro está compuesta principalmente de magnetita masiva y en pequeños cuerpos de brecha, localizadas zonas de hematita y en menor proporción limonita y goethita. Del estudio mineragráfico de seis muestras, se ha determinado que la mayor parte de la hematita proviene de la alteración secundaria de la magnetita en forma de martita y que la mena principal es la magnetita. Esto es sumamente importante ya que nos indicaría que la profundización de la hematita puede ser muy variable.

De las discusiones anteriores podemos afirmar que en la zona de investigación se tiene buenas concentraciones de hierro, sin embargo, las cuales deberían ser complementadas y corroboradas por diferentes métodos de análisis geoquímico y de muestreo (sistemático) para tener mayor claridad en cuanto al valor económico del yacimiento.

4.2 Conclusiones

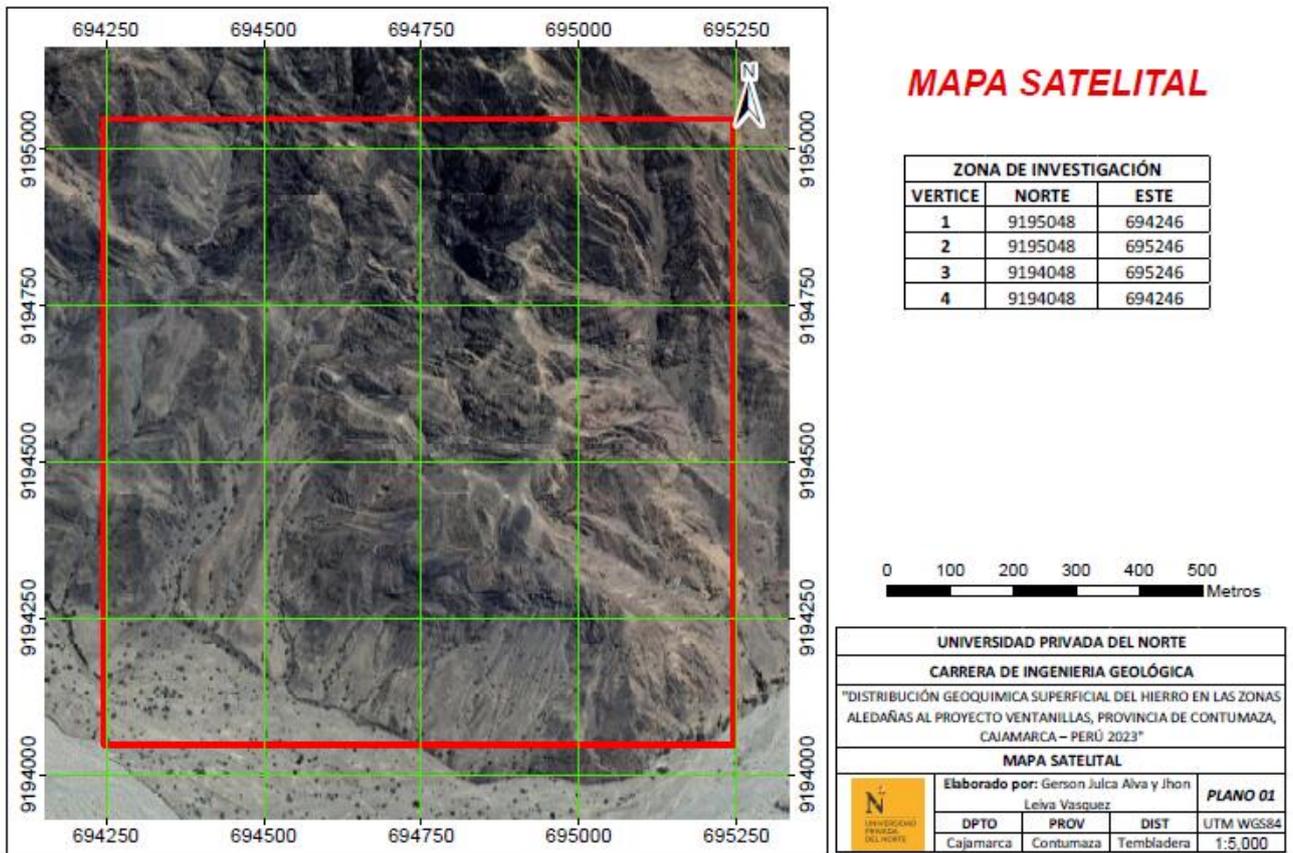
- La zona de investigación contó con una etapa de cateo la cual permitió localizar en primera instancia las zonas más óptimas para la extracción de muestras mediante una grilla y por selección aleatoria, debido a los recursos limitados, sin embargo, esto permitió inclinar los esfuerzos a las zonas con mayor evidencia de mineralización de Hierro en superficie.
- La zona de investigación está compuesta litológicamente por areniscas de la Formación Farrat las cuales se encuentran ampliamente oxidadas en superficie, donde se pudo caracterizar minerales tales como Hematita, Limonita, Goethita y Magnetita, siendo este último uno de los principales indicadores de las altas leyes de Hierro.
- La zona de investigación cuenta con potencial para la extracción de Hierro, especialmente en la zona Noreste, donde las anomalías de hierro en superficie logran superar el 30%, tal como se describe en el plano de distribución geoquímica. Además, debido a las evidencias positivas obtenidas en campo se recomienda una campaña intensiva de muestreo a nivel sistemático.

REFERENCIAS

- Alfaro, M. (2002). Introducción al muestreo minero. Santiago de Chile: Instituto de ingenieros de minas de Chile.
- Athanas , S., Xiaohui , M., Dalaly, L., K, P., & Fen , Y. (2020). Applied Geochemistry Advances in Mineral Exploration Techniques. Elsevier, 3-5.
- Flores, C., & Flores, K. (2021). Pruebas para comprobar la normalidad de datos en procesos productivos: Anderson-Darling, Ryan-Joyner, Shapiro-Wilk y Kolmogórov-Smirnov. Societas. Revista de Ciencias Sociales y Humanísticas.
- López, K., Etcheverry , R., & Botto, I. (2005). Algunos aspectos de la Geoquímica del Hierro en Minerales de Arcilla del Sistema de Tandilla (Buenos Aires). ResearchGate, 2-3.
- Macedo , L., & Alva , D. (2020). Prospección Geoquímica y ubicación de blancos exploratorios, Colla Chica, Distrito San Marcos, Ancash, 2020. Repositorio UPN Cajamarca , 2-3.
- Moscote, Y., Morón, J., Madiedo, G., Rojas, E., Córdoba, A., & Manco, D. (2018). Evidencias mineralógicas y geoquímicas de las manifestaciones de hierro hospedadas en La Unidad Riodacita de los Tábanos sector de Corral de Piedras, San Juan del Cesar, La Guajira. Prospectiva, Vol 16 (1), 2.
- Ramírez, A., & Arango , C. (2001). El Hierro en la Naturaleza. Andes de la Real Academia de Doctores(5), 331-341.
- Rodríguez Cruzado, R., & Tolentino Iparraguirre, V. (2015). Método de investigación geológico-geotécnico para el análisis de inestabilidad de laderas por deslizamientos zona Ronquillo-Corisorgona Cajamarca-Perú. FIGMMG –UNMSM, 20(39), 2.
- Serra, B. R. (10 de Octubre de 2018). Universo Fórmulas . Obtenido de Universo Fórmulas : <https://www.universoformulas.com/estadistica/inferencia/muestreo-sistemico/>
- Viladevall, M. (2008). La Prospección Geoquímica. Barcelona : S.E.
- WILSON, J. (1984). BOLETÍN N 38. Lima.
- Zhonio, J. (2017). Evaluación de reservas, estudio de pre factibilidad económica y diseño de explotación en un depósito aluvial. Cuenca: Universidad del Azuay.

ANEXOS

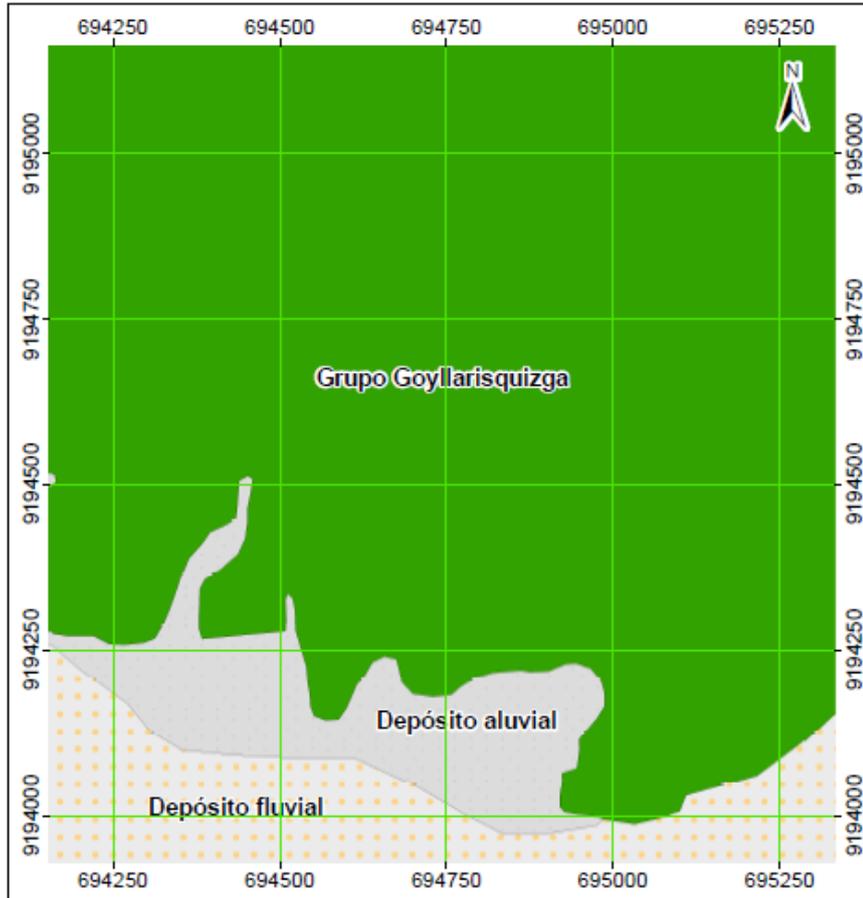
ANEXO 01



MAPA N° 1: Mapa satelital

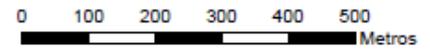
ANEXO 02

MAPA GEOLÓGICO



GEOLOGIA 50K	
	Qh-AI
	Qh-FI
	GRUPO GOYLLARISQUIZGA

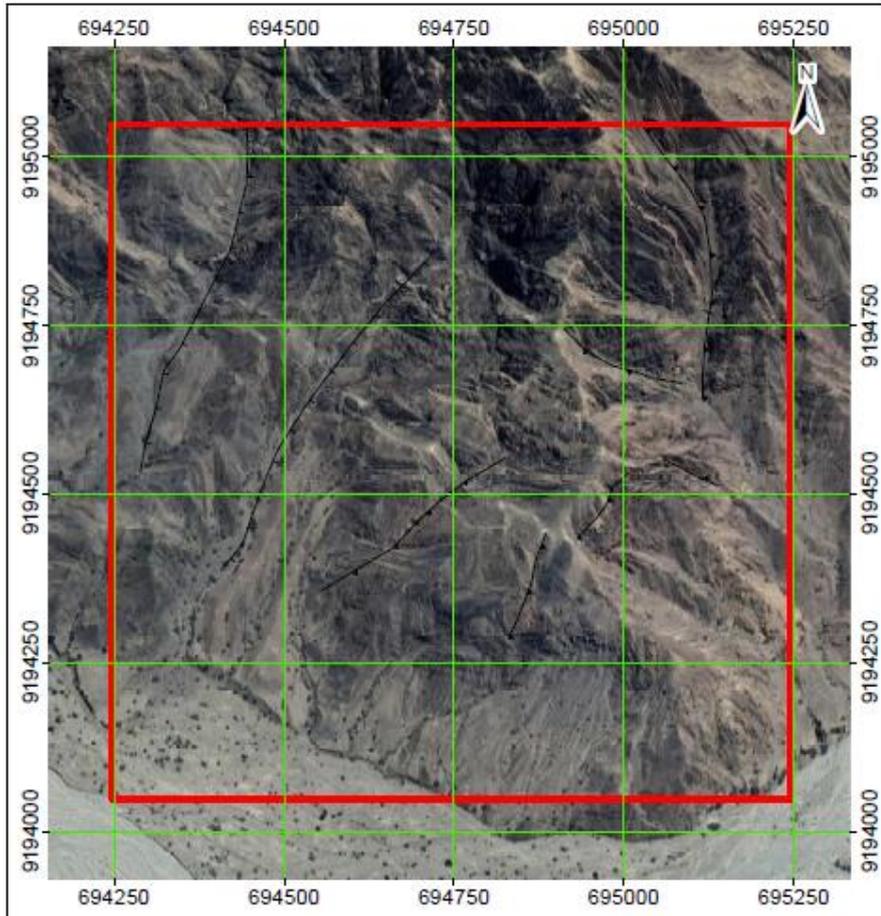
ZONA DE INVESTIGACIÓN		
VERTICE	NORTE	ESTE
1	9195048	694246
2	9195048	695246
3	9194048	695246
4	9194048	694246



UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE			
CARRERA DE INGENIERIA GEOLÓGICA			
"DISTRIBUCIÓN GEOQUÍMICA SUPERFICIAL DEL HIERRO EN LAS ZONAS ALEDAÑAS AL PROYECTO VENTANILLAS, PROVINCIA DE CONTUMAZA, CAJAMARCA - PERÚ 2023"			
MAPA GEOLÓGICO			
	Elaborado por: Gerson Julca Alva y Jhon Leiva Vasquez		PLANO 02
	DPTO	PROV	
	Cajamarca	Contumaza	Tembladera
			UTM WGS84 1:5,000

MAPA N° 2: Mapa geológico

ANEXO 03



MAPA ESTRUCTURAL

LEYENDA	
	Zona de Investigación
	Fallas Normales
	Fallas Inversas

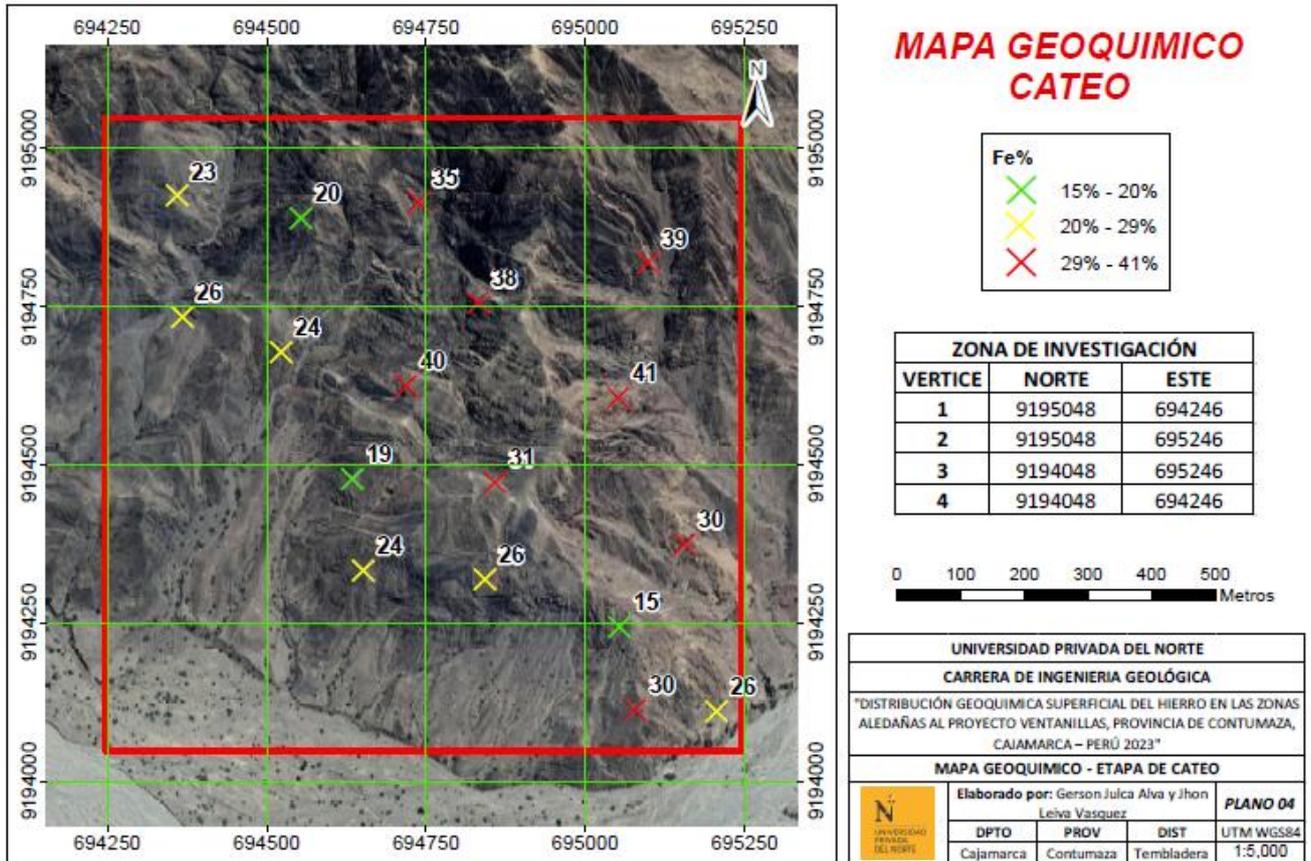
ZONA DE INVESTIGACIÓN		
VERTICE	NORTE	ESTE
1	9195048	694246
2	9195048	695246
3	9194048	695246
4	9194048	694246



UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE			
CARRERA DE INGENIERIA GEOLÓGICA			
"DISTRIBUCIÓN GEOQUÍMICA SUPERFICIAL DEL HIERRO EN LAS ZONAS ALEDAÑAS AL PROYECTO VENTANILLAS, PROVINCIA DE CONTUMAZA, CAJAMARCA - PERÚ 2023"			
MAPA ESTRUCTURAL			
	Elaborado por: Gerson Julca Alva y Jhon Leiva Vasquez		PLANO 03
	DPTO	PROV	DIST
	Cajamarca	Contumaza	Tembladera
			UTM WGS84 1:5,000

MAPA N° 3: Mapa estructural

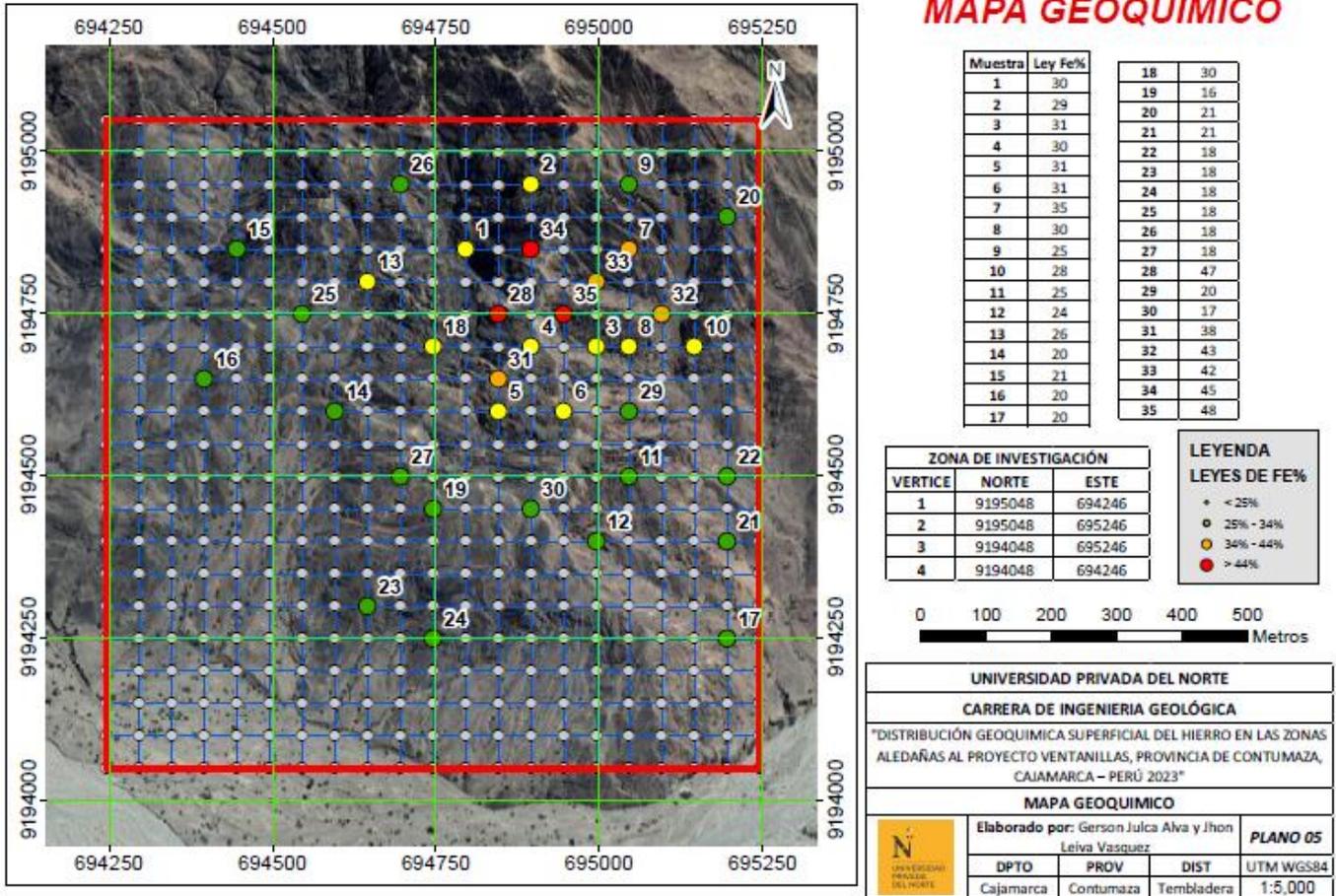
ANEXO 04



MAPA N° 4: Mapa geoquímico – etapa de cateo

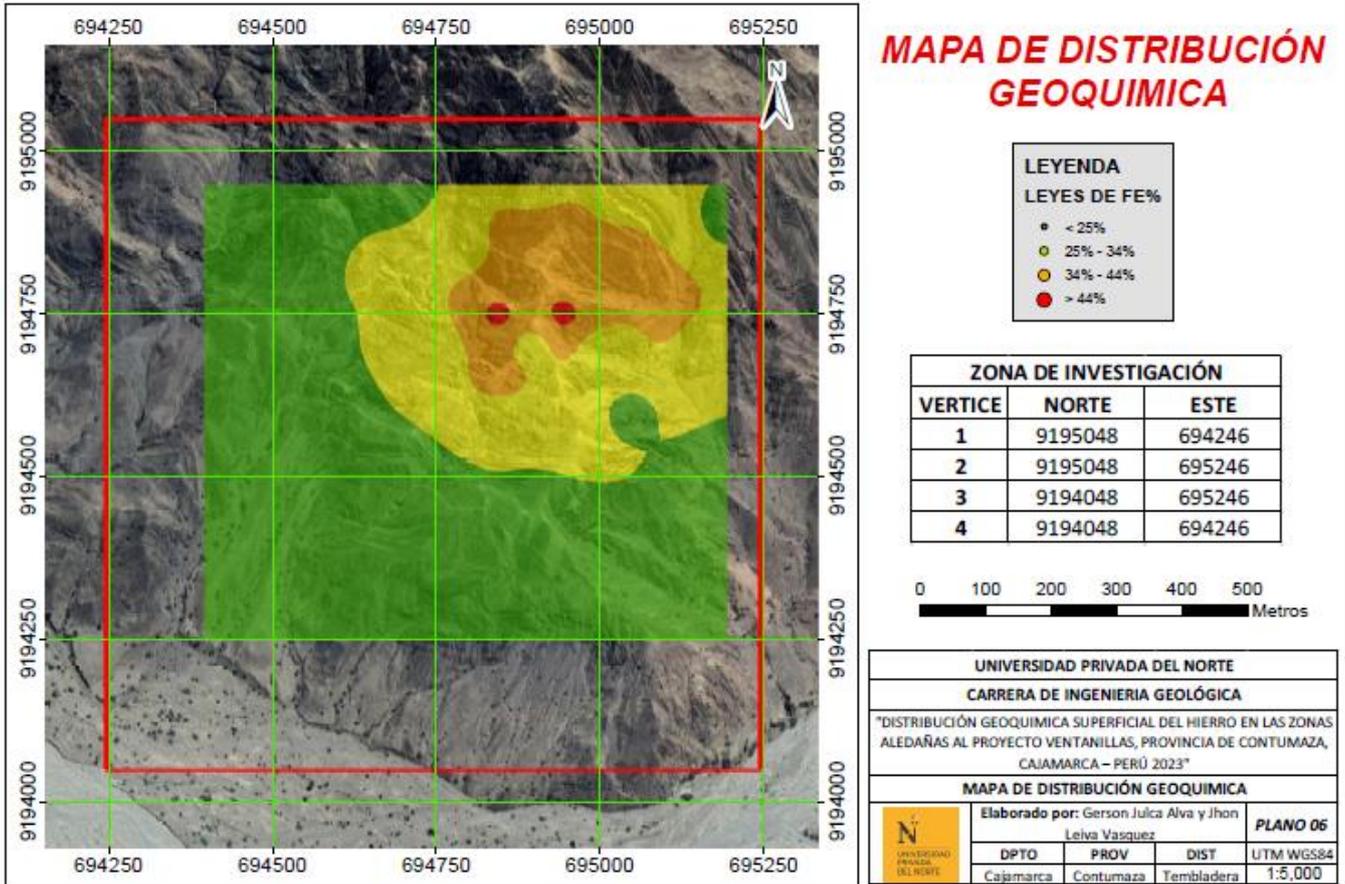
ANEXO 05

MAPA GEOQUÍMICO



MAPA N° 5: Mapa geoquímico

ANEXO 06



MAPA N° 6: Mapa de distribución geoquímica Fe%