

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

**FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA MINERA Y
METALÚRGICA**



**APLICACIÓN DE LA ESPECTROSCOPIA DE REFLECTANCIA EN
IDENTIFICACION DE MINERALES DE ALTERACION
INFORME DE SUFICIENCIA**

**PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE
INGENIERO GEÓLOGO**

**PRESENTADO POR:
YACQUELINE ISABEL PUMAHUANCA CARRION**

**Lima - Perú
2012**

SUMARIO

En este informe veremos la importancia que tiene la Espectroscopia de Reflectancia Aplicada para identificar minerales de alteración de grano fino y definir las variaciones en su composición de manera rápida y precisa.

El espectrómetro FieldSpec Pro hará posible tal identificación con poca preparación de la muestra. Los ensambles de alteración que se determinen, correlacionados con otros datos de exploración serán usados para establecer la ubicación de las perforaciones.

El FieldSpec Pro es de mucha ayuda donde la alteración mineral no es fácil de identificar en muestras de mano por el tamaño del grano o por intemperismo. Aún donde la cartografía de alteraciones de minerales es efectiva, el espectrómetro permite su reconocimiento mineralógico, las variaciones sutiles de sus composiciones y la mineralogía, que pueden ser importante para ubicar cuerpos mineralizados.

Los parámetros físicos como la cristalinidad, tamaño de grano, transparencia, orientación, etc. Influirán en los rasgos espectrales de cada mineral, por lo tanto en la forma final del espectro.

INDICE GENERAL

CAPITULO I Generalidades

1.1 Introducción	01
1.2 Antecedentes	02
1.3 Planteamiento del Estudio	03
1.4 Objetivo	03
1.5 Interesados	04

CAPITULO II Espectroscopía de Reflectancia Aplicada

2.1 Rasgos Espectrales	07
2.1.1 Componentes del Espectro	07
2.1.2 Análisis de la Curva Envolvente	09
2.1.3 Análisis de Rasgos Espectrales	10
2.2 Variabilidad Espectral	11
2.2.1 Cristalinidad	11
2.2.2 Química de los Minerales	16
2.2.3 La Orientación	18
2.2.4 Tamaño de Grano	20
2.2.5 Transparencia	21
2.2.6 Presencia de Agua	21
2.3 Espectrómetros Portátiles	23

CAPITULO III Cartografía de Alteraciones

3.1 Organización de un Levantamiento Espectral 27

CAPITULO IV Técnicas de colección de Datos y Análisis de Procesamiento

4.1 Colección de Datos 30

4.1.1 Consideraciones Importantes 30

4.1.1.1 Ventana del Sensor 30

4.1.1.2 Enfriamiento 31

4.1.1.3 Interferencia 32

4.1.1.4 Estabilidad Instrumental 33

4.1.1.5 Mediciones de Contacto 35

4.1.2 Variables que afectan a la colección de datos 37

4.1.2.1 Tamaño de Grano 37

4.1.2.2 Transparencia 38

4.1.2.3 Campo Visual 39

4.1.2.3 Tamaño de la Muestra 39

4.1.3 Tipos de Muestra 40

4.1.3.1 Roca 40

4.1.3.2 Pulverizado 41

4.1.3.3 Materiales fragmentados de sondajes 41

4.2 Análisis de datos Espectrales e Interpretación 41

CAPITULO V Ejemplos de Aplicación de La Espectroscopia de Reflectancia

5.1 Alteraciones Hidrotermales	43
5.1.1 Modelo de Alteración para Sistemas Epidermales	44
5.2 Depósitos Epidermales de Baja Sulfuración	46
5.2.1 Deposito Epidermal de Intermedia Sulfuración San Martin	46
5.2.1.1 Target San Martin	47
5.2.1.2 Target Yackelyn	49
5.2.2 Deposito de Baja Sulfuración Ares	50
5.2.2.1 Veta Victoria	51
5.2.3 Deposito Epidermal de Baja Sulfuración Pallancata	54
5.2.3.1 Trabajo de Campo	54
5.2.3.2 Mineralización	55
5.2.3.3 Alteración Hidrotermal en Veta Pallancata	55
Conclusiones y recomendaciones	60
Referencias Bibliográficas	63

CAPITULO I

GENERALIDADES

1.1 Introducción

La espectroscopia de Reflectancia en las regiones del infrarojo de onda corta (SWIR) y el infrarojo cercano (VNIR) es aplicable para la rápida caracterización de muchos de los ensambles de alteración asociada con depósitos económicos. Ya que estos conjuntos definen halos mineralógicos y geoquímicas asociadas con la mineralización económica y pueden ser reconocidos más allá de las evidentes limitaciones de los depósitos de mineral, que permiten la detección a distancia a través de la espectroscopia de reflectancia SWIR y VNIR. Este análisis espectroscópico hace uso de un espectrómetro portátil para la identificación y caracterización de ciertos grupos minerales (filosilicatos, arcillas, carbonatos y sulfatos).

.El sistema puede ser utilizado para desarrollar una amplia gama de modelos para el análisis de muchos tipos de muestras, incluyendo los afloramientos, las muestras de mano, núcleo, chips de RC de perforación, y pastas metalúrgicas, todo con poco o ninguna preparación de la muestra.

El espectrómetro portátil FieldSpec Pro está convirtiéndose, cada vez más, en una herramienta importante para la exploración. La identificación de ensambles de minerales de alteración es sólo el comienzo. Las variaciones sutiles de composición y Cristalinidad que se producen dentro de una zona de alteración proporcionan información adicional sobre el medio ambiente térmico y químico en el momento de la alteración. La cartografía de ensambles de alteración y las variaciones mineralógicas asociadas nos ayudaran a descifrar la compleja secuencia de eventos asociados con la alteración de un depósito en particular. Los espectrómetros portátiles son

usados en varios ambientes de mineralización, incluyendo depósitos epitermales de alta y baja sulfuración, depósitos porfíricos y mesotermales, yacimientos de oro y cobre en sedimentos, uranio, VMS y depósitos de kimberlitas. Al mismo tiempo el uso del espectrómetro SWIR en el campo permite que la mineralogía sea cartografiada e interpretada en secciones geológicas. La interpretación resultante puede ser aplicada en tiempo real para guiar la perforación y puede ser integrada con otro tipo de datos para mejorar los objetivos, modelos geológicos y guías regionales.

1.2 Antecedentes

La espectroscopía de reflectancia es una técnica analítica usada por químicos y mineralogistas desde comienzos de 1900, con los datos infrarrojos en minerales publicados entre 1905 y 1910 por W. W. Coblentz del U.S. Bureau of Standards. Los espectrofotómetros infrarrojos comercialmente disponibles a mediados de 1940 permitieron el incremento en el uso de esta técnica para la mineralogía. Las primeras compilaciones de espectros de minerales fueron publicadas por Lyon (1962) y Moenke (1962). Farmer (1974) publicó un libro bastante completo en sus aspectos teóricos y prácticos y Marel y Beutelspacher (1976) compilaron las características espectrográficas de las arcillas. Kodama (1985) publicó los análisis espectrales de minerales típicos encontrados en suelos, incluyendo una gran cantidad de hidróxidos, óxidos, filosilicatos, carbonatos y sulfatos. Los resultados espectrales obtenidos con el SWIR fueron inicialmente compilados por Hunt y Salisbury (1970, 1971). La base de datos de Hunt ofreció una referencia básica para minerales activos al infrarrojo de la región SWIR, base que todavía es usada. El trabajo se expandió con Clark et al. (1990). Hauff (1993) publicó una base de datos comercial de referencia. Investigadores del laboratorio "Jet Propulsion Laboratory" también aumentaron las referencias disponibles (Grove et al., 1992). Conociendo tales características espectrales para cada material hemos

reconocido que esta técnica tiene gran alcance más allá de las aplicaciones de la teledetección, especialmente en la exploración minera, **la demarcación de la zona de alteración** y la cartografía litológica.

1.3 Planteamiento de Estudio

El tema central del presente informe es dar a conocer en qué está basado el análisis de la espectroscopia de reflectancia que nos ayudara en la exploración regional así como de prospectos.

La espectroscopia de reflectancia es de mucha ayuda donde la alteración mineral no es fácil de identificar en muestras de mano por el tamaño del grano o por intemperismo. Aún donde el cartografiado de campo de la alteración de minerales es efectivo, el espectrómetro portátil FieldSpec Pro (ASD) permite su reconocimiento mineralógico, las variaciones sutiles de sus composiciones y la mineralogía, los que pueden ser importante para ubicar cuerpos mineralizados.

1.4 Objetivos

- El objetivo de este informe es mostrar al geólogo como puede aplicar e interpretar los resultados obtenidos de la espectroscopia de reflectancia para identificar minerales de alteración y otros.

- Definir con el Espectrómetro Portátil la alteración y mineralogía de un ambiente para determinar el zonamiento local y las direcciones que apuntan hacia la mejor mineralización.

- Simplificar el trabajo del geólogo en el campo en áreas extensas de alteración con arcillas que son difíciles de identificar durante un programa de exploración y que gracias al Espectrómetro Portátil FieldSpec Pro se realizara de manera más exacta.
- Obtener el título profesional de Ingeniero Geólogo.

1.5 Interesados

- Las empresas mineras y de exploraciones en general para un mejor conocimiento de los minerales de alteración presentes en la zona de interés.
- Compañía Minera Ares, porque ayudara a los geólogos a definir mejor la mineralización en las unidades y proyectos mineros de Ares, San Martín y Pallancata.
- Los geólogos geomecánicos, para que tengan un mejor conocimiento de la zona arcillosa y puedan recomendar un sostenimiento adecuado.
- Los geólogos de exploración, para que puedan elaborar e interpretar los planos de alteraciones de manera rápida.

CAPITULO II

ESPECTROSCOPIA DE REFLECTANCIA APLICADA

La espectroscopía de reflectancia aplicada puede definirse como la técnica que utiliza la energía en las regiones del espectro electromagnético de la luz visible (0.4-0.7 μm), la cercana infrarroja (0.7-1.3 μm) y la infrarroja de ondas cortas (1.3-2.5 μm) para analizar los materiales. La ciencia y técnicas de la espectroscopía de reflectancia aplicada están basadas en las propiedades espectrales de los materiales. Ciertos átomos y moléculas absorben energía en función de su estructura atómica. Esto se manifiesta en la forma de un gráfico o espectro de reflectancia con sus características rasgos de absorción.

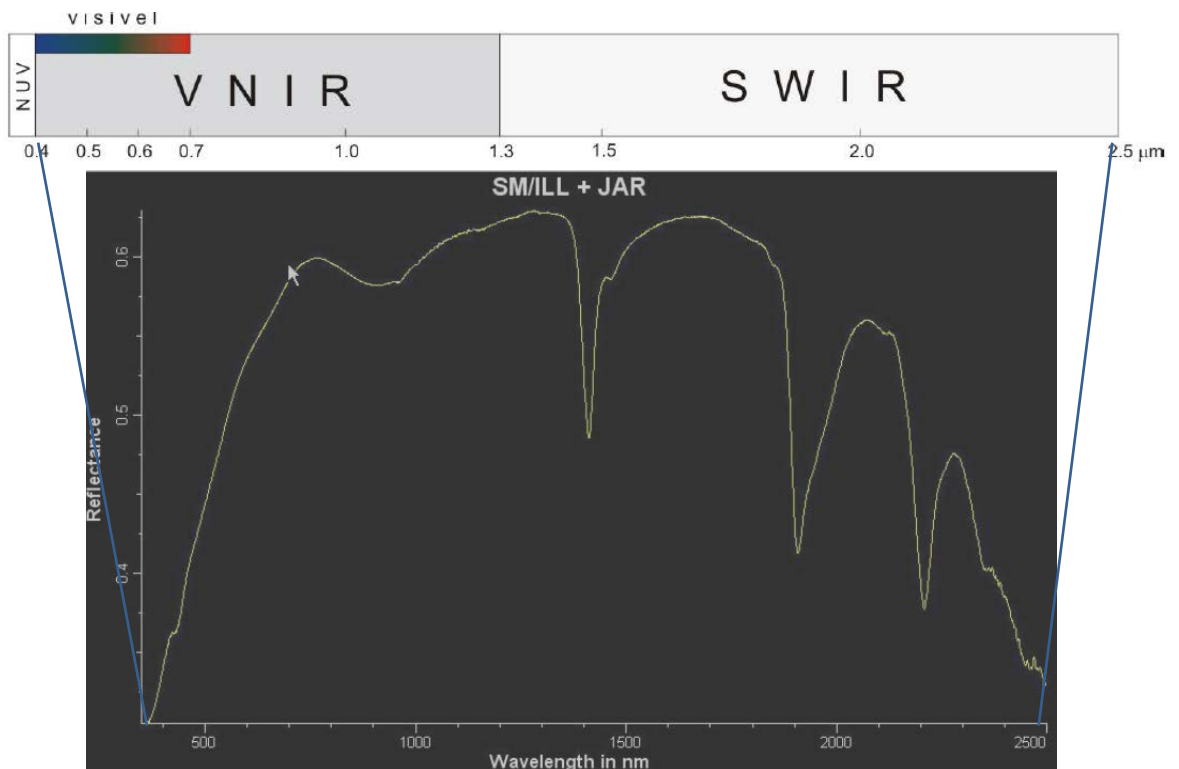


Fig.1 Región del Espectro Electromagnético usado por ASD. Se indican los valores de longitudes de onda de los rangos visibles (VIS), el infrarrojo cercano (NIR) y el infrarrojo de onda corta (SWIR). Tomado de Diego Ducart 2011.

Las posiciones de longitud de onda son determinadas por el catión y la longitud del enlace respectivo. El radio iónico del catión determina la longitud del enlace químico entre estos y las moléculas tales como las de agua, hidroxilo o carbonato a las cuales se enlazan. La Espectroscopia mide la energía vibracional de aquellos enlaces. Los enlaces vibran de modo diferente en ciertas longitudes de onda discretas dependiendo de sus longitudes. Por lo anterior, es posible usar estas consistentes longitudes de onda diferentes para la identificación. Por ejemplo, el enlace Al-OH se encuentra siempre en la zona de longitud de onda de 2200nm; los enlaces de Fe-OH se encuentran entre 2280-2295nm para las arcillas; los enlaces de Ca-CO₃ se encuentran alrededor de 2334nm (Fig.2).

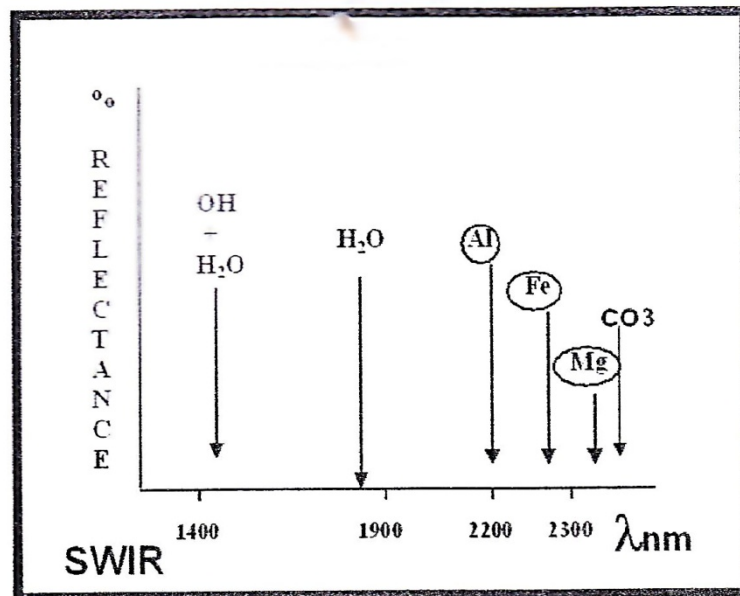


Fig.2 La figura ilustra las posiciones de longitudes de onda de algunos enlaces de minerales comunes. Tomado de Spectral International 2005

La región SWIR es particularmente sensible a los enlaces de OH, H₂O, CO₃, CH, NH₄. Los minerales detectados incluyen minerales de arcilla (caolinita, illita, dickita, halloysita, esmectita, paligorsita) y otros filosilicatos (serpentin, talco, pirofilita, cloritas), carbonatos (calcita, dolomita, malaquita, siderita, magnesita), hidróxidos (brucita, diásporo), sulfatos

seleccionados (jarositas, alunitas), anfíboles, micas, epidotas, zeolitas y el topacio.

Por lo tanto, la aplicación en exploración se hace evidente ya que estos suelen ser los minerales fundamentales para la definición de un tipo de depósito. Esta sensibilidad es una función de las moléculas presentes en las fases minerales, especialmente el agua, hidróxidos y carbonatos.

POSICION	MECANISMO	GRUPOMINERAL
1.4 μm	OH y agua	Arcilla, sulfatos, hidróxidos, zeolitas
1.56 μm	NH ₄	Especies con NH ₄
1.8 μm	OH	Sulfatos
1.9 μm	agua molecular	Smectita
2.02-2.12 μm	NH ₄	Especies con NH ₄
2.2 μm	AL-OH	Arcillas, anfíbolitas, sulfatos y micas
2.35 μm	CO ₃	Carbonatos

Tabla I. Rasgos mayores de absorción. Tomado de Spectral International 2005

2.1 Rasgos Espectrales

La información espectral de reflectancia de materiales se manifiesta visualmente como un conjunto de pares XY (posición de longitud de ondas en nanómetros contra el porcentaje de reflectancia), los cuales pueden ser ilustrados como un gráfico que es convencionalmente designado como un “Espectro de reflectancia”.

2.1.1 Componentes del Espectro

El espectro de reflectancia consiste en general en una curva envolvente o continua de rasgos de absorción que tienen frecuencias o posiciones específicas de longitud de onda y de amplitud de bandas. Los rasgos de absorción son mostrados convencionalmente como mínimos respecto al envolvente general de la curva. La intensidad de los rasgos o profundidad es controlada por la intensidad de las vibraciones de energía presentes en

las longitudes de onda específicas, que son características de cada mineral individual.

Las características espectrales y el componente “envolvente” son influenciados por múltiples variables, la presencia de las cuales no es siempre visiblemente perceptible dentro de la región de la longitud de onda de SWIR entre 1300-2500nm. Con el espectrómetro de rango completo, estas especies son fácilmente identificables.

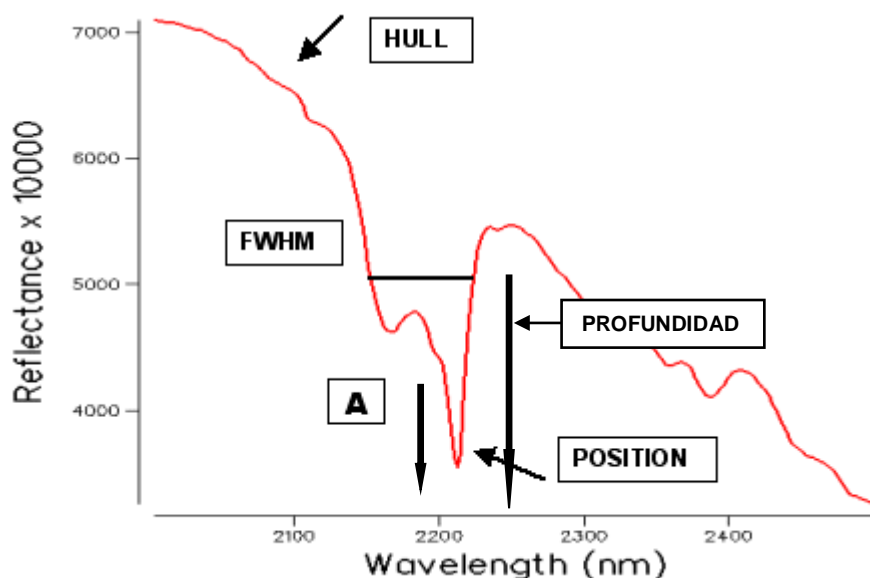


Fig. N 3. Los componentes de un espectro de reflectancia incluyen: La envolvente (Hull), los mínimos de absorción, las posiciones de las absorciones como valores de las longitudes de onda (A), los medios máximos de la anchura completa (FWHM) y la profundidad de absorción de dicho rasgo. Tomado de Spectral International 2005.

Las propiedades de reflectancia, tamaño de las partículas, grado de orientación de la muestra, presencia de agua en superficie y entre capas, fases asociadas de material orgánico o inorgánico, orientación de las partículas, forma de colección de datos y parámetros instrumentales tienen influencia sobre la forma de la curva resultante del espectro y rasgos de absorción. El aspecto de los rasgos es siempre de gran importancia, ya que esto cambia con los cambios en las variables enumeradas. Todas estas variables deben ser consideradas cuando se evalúa el espectro.

2.1.2 Análisis de la Curva Envolvente

Se calcula un “cociente de envolvente” para facilitar la remoción de este efecto y permitir la visualización normalizada de la curva. Conceptualmente el envolvente puede ser descrito como una cuerda estirada sobre el espectro y atada a cada extremo de él. Un cociente de envolvente se obtiene por la razón o cociente entre el valor de la reflectancia y su envolvente. Cuando el espectro coincide con el envolvente, su cociente es 1 (**fig. 4 a y b**). En el proceso de remover el envolvente las posiciones de los mínimos de las absorciones pueden sufrir algunos desplazamientos en longitud de onda.

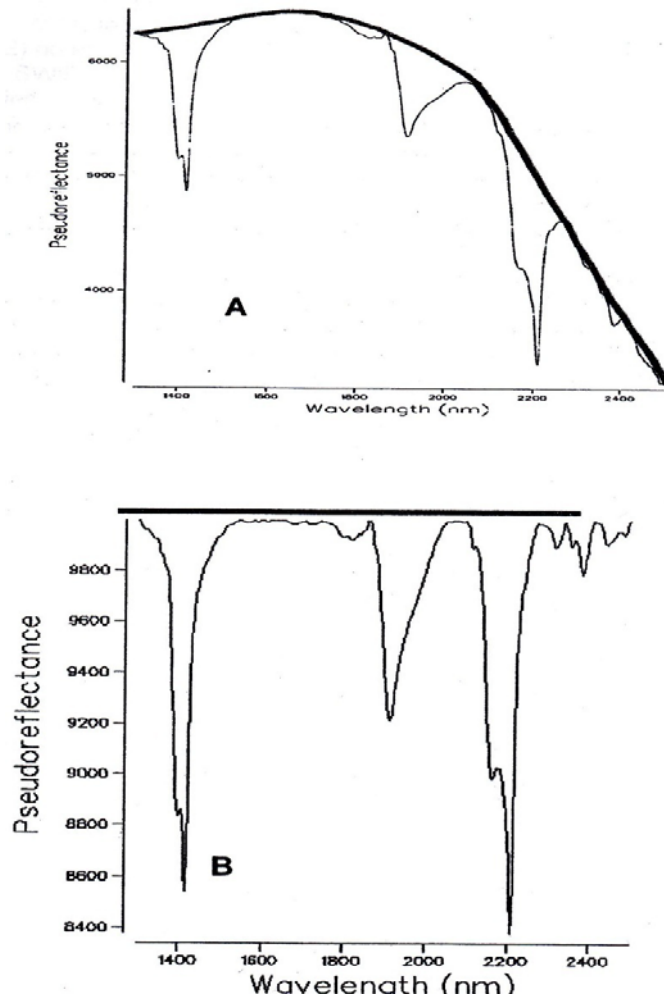


Fig.4 (A) es el espectro de reflectancia de caolinita pura que muestra el envolvente convexo superior que calza con la curva espectral. (B) muestra el espectro de cociente de envolvente derivado del espectro de reflectancia en (A). Donde el envolvente toca la curva de reflectancia, el valor del cociente de la envolvente es 1. Tomado de Spectral International 2005.

2.1.3 Análisis de Rasgos Espectrales

Cambios en las posiciones de longitud de onda proporcionan información en sustituciones químicas, múltiples fases presentes y contenido de agua. El análisis del aspecto de los rasgos individuales muestra cambios en Cristalinidad y ayudan en la identificación de múltiples componentes. Los algoritmos de extracción de los rasgos espectrales calculan la información numérica de los componentes del espectro. Ellos calculan la posición de los rasgos espectrales respecto a longitud de onda, determinan profundidades de los rasgos y la amplitud total en la mitad del máximo en varias maneras diferentes. El FWHM define la amplitud de banda e indica que tan cierta puede ser determinada la posición de dicha banda. Asimismo, permite estimar que tan preciso se puede medir un desplazamiento de longitud de onda.

La identificación de minerales está basada en la posición de las ondas, su intensidad, forma de la depresión relacionada a la absorción y la forma total del espectro.

Las longitudes de onda en la zona de onda corta del infrarrojo no son adecuadas para la mayoría de los silicatos anhidros. Además, es difícil identificar minerales presentes en cantidades menores al 5% a menos que la muestra sea una simple mezcla con cuarzo y que el mineral sea altamente reflectivo. La reflectividad o reflectancia al infrarrojo varía según las diferentes especies de mineral. En mezclas de minerales activos al infrarrojo el mineral dominante y típicamente más reflectivo, es fácilmente identificable, sin embargo, como regla general, 10% o más de un mineral debe de estar presente para su positiva identificación. Donde están presentes minerales de baja reflectancia, su reconocimiento requerirá del 20% o más cantidad del mineral existente en la muestra (por ejemplo: carbonatos, cloritas).

2.2 Variabilidad Espectral

Podemos describir la variabilidad espectral como el resultado de los cambios en los perfiles y en la longitud de onda de los rasgos de absorción. Tales cambios son signos diagnósticos de especies determinadas de minerales, estos representan una función de cambios en los parámetros físicos que definen cada especie y su interacción con su ambiente. Dichos cambios en los parámetros incluirán la composición química del mineral, su Cristalinidad, la orientación, la paragénesis, el habito, la textura, el tamaño de los granos, la presencia de agua, la matriz del mineral y su transparencia, todo ello influye sobre los signos espectrales y son observados en la región SWIR ya que es el rango mas diagnostico para la mayoría de las fases minerales que se detectan con sensores remotos.

2.2.1 La Cristalinidad

La Cristalinidad o grado de orden dentro de una red cristalina se controla según el tipo, tamaño y orden de los átomos y moléculas dentro de una celda individual, su carga eléctrica y los enlaces que los mantienen en una configuración estructural particular. Cuando los enlaces tienen una longitud regular y lo átomos llenan los sitios de la red cristalina en secuencias fáciles de predecir y de repetir se aumenta el orden del cristal. Los signos espectrales manifiestan esto mismo con perfiles bien definidos en los rasgos de absorción y con valores de reflectancia más altos. (fig. 5D, 5E, 5F). Cuando las longitudes de los enlaces varían para el mismo par atomo-molecula debido a dislocaciones, una falta de equilibrio en la carga eléctrica o sustituciones en sitios cercanos a las capas estructurales se llenan en una manera irregular; la estructura cristalina se vuelve desordenada y el signo espectral muestra todo esto con rasgos de absorción anchos y poco profundos, con valores de longitud de onda desplazados en los mínimos (Fig. 5A, 5B, 5C).

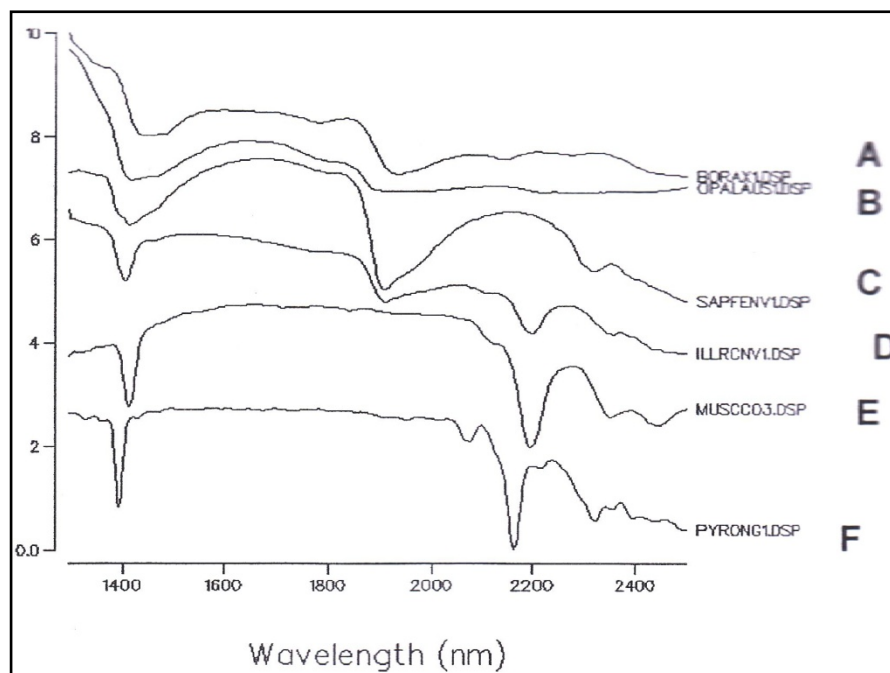


Fig.5 Perfiles espectrales de materiales de baja cristalinidad (A) bórax, (B) ópalo, (D) illita, (E) muscovita y (F) pirofilita. Tomado de Spectral International 2005.

Debido a que la espectroscopía infraroja mide la energía de los enlaces, es entonces bastante sensible a los cambios en el orden de la red cristalina y por lo tanto, a la Cristalinidad. El orden estructural que se observa en un mineral o en la asociación de minerales en un ambiente específico puede dar conocimientos útiles sobre la paragénesis, la alteración y en la meteorización natural que influyen en tal ambiente.

La Cristalinidad cambia con la temperatura. Como vemos en la figura 5, la muscovita y la pirofilita son especies con temperaturas más altas trazadas en el gráfico. Tienen mínimos agudos y bien definidos y continuos o líneas básicas casi rectas. La Cristalinidad cambia también cuando la acción de la intemperización influye en una estructura mineral y la degradan o crean otra fase, todo esto puede manifestarse en los perfiles espectrales de los minerales (Fig. 5), la cual contiene espectros basados en muestras tomadas de botaderos en Cripple Creek, Colorado, un depósito de oro histórico que también contiene sulfuros de Fe (Peters and Hauff, 1998).

En la figura 6 hay cuatro pares de espectros. El primer espectro en cada par corresponde al interior de la roca no afectada por meteorización, mientras que el otro espectro corresponde al lado exterior, afectado por la intemperización. Se puede entonces ver que la habilidad que tiene la espectroscopia infrarroja para delinear el orden de la estructura cristalina, puede utilizarse para adquirir más información con respecto a un ambiente específico.

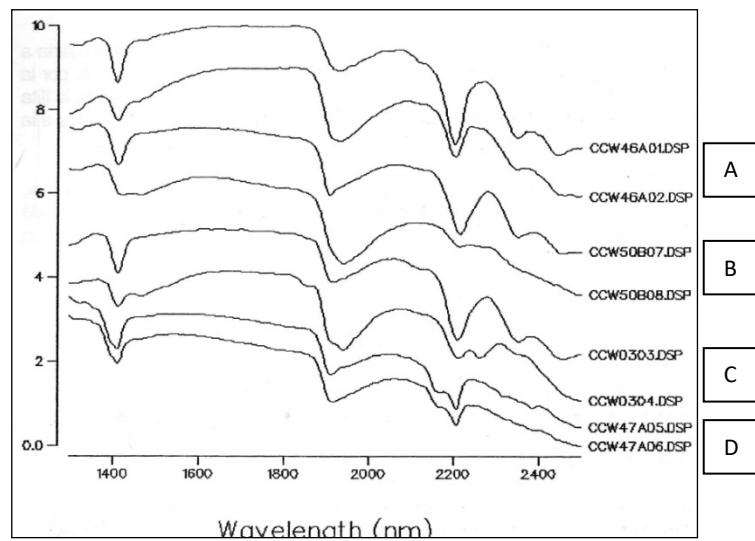


Fig. 6 Pares de espectros afectados por el clima. Tomado de Spectral International 2005.

El conjunto de pares en (A) muestran dos illitas. Note como el rasgo de agua es más grande, dado que el intemperismo también deposita sílice en la superficie expuesta de la roca. Los rasgos de absorción agudos son más pequeños y menos evidentes y todos son más anchos.

El conjunto (B) muestra más degradación. Se ve el desarrollo de bastante sílice en la superficie de la roca y la supresión de los rasgos de illita. Hay diferencias relacionadas con la composición de aluminio, entre el exterior y el interior. Esta es una función del proceso de lixiviación que debilita los enlaces de la capa octaédrica y quita el aluminio de aquellas capas. Esto es reconocible por el desplazamiento del rasgo de absorción de 2200nm.

El conjunto (C) muestra un cambio más radical. En este par, la illita ha sido degradada a smectita. El agua superficial en esta área es fuertemente acida con H_2SO_4 , creada por la oxidación de la pirita, dado que este mineral contiene sulfuro. El potasio escapa de la illita y la sílice junto con el Fe y el azufre escapan de la pirita.

El conjunto (D) se ha incluido para mostrar los cambios en la cristalinidad de la caolinita, debido a desgastes por meteorización. Notar como los mínimos de baja longitud de onda de los dos dobletes se convierten en inflexiones a medida que se rompen los enlaces y la estructura comienza a desintegrarse.

Además de los cambios en la estructura cristalina, estos espectros destacan porque aunque los procesos pueden ser similares en diferentes depósitos, los productos finales de esos procesos pueden mostrar diferencias significativas y esas diferencias dependen de que tan activa era el agua subterránea en la zona y que tan importante fue el desarrollo de aguas acidas.

La cristalinidad cambia cuando los procesos mecánicos desde un movimiento tectónico en una falla hasta una molienda manual en un mortero, rompen los lazos estructurales. Los ejemplos lo vemos en la (Fig.7)

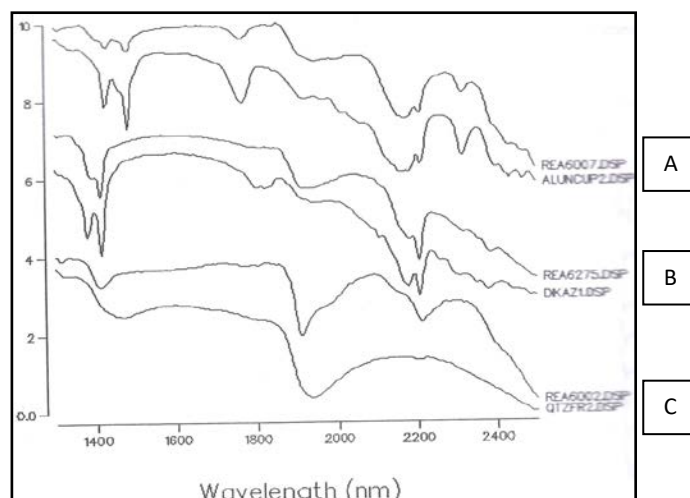


Fig. 7 La cristalinidad degradada por procesos mecánicos.

En la Figura 7 hay tres pares de espectros y en cada par se ve el material degradado en la parte superior y debajo se ve el espectro de referencia de Specmin. Estas muestras fueron accidentalmente pulverizadas antes de un análisis espectral. (A) Es alunita, (B) dickita y (C) cuarzo de baja temperatura. Todos los espectros de las muestras manifiestan rasgos de absorción mal desarrollados y reflectancia mas baja. La muestra de cuarzo aparentemente se recristalizo debido a que fue molido.

Se puede ver que la habilidad que tiene la espectroscopia infraroja para delinear el orden de la estructura cristalina, puede utilizarse para adquirir más información con respecto a un ambiente específico. Los cambios en el orden de la estructura cristalina fueron observados por mineralogistas de arcilla trabajando en los famosos depósitos de arcilla industrial Georgia Caolinita. Se han medido sus índices de cristalinidad con la espectroscopia infraroja (SWIR) para mostrar el cambio gradual en el perfil espectral y en contenido de agua (Fig.8), lo cual es una manifestación de cambios en el orden.

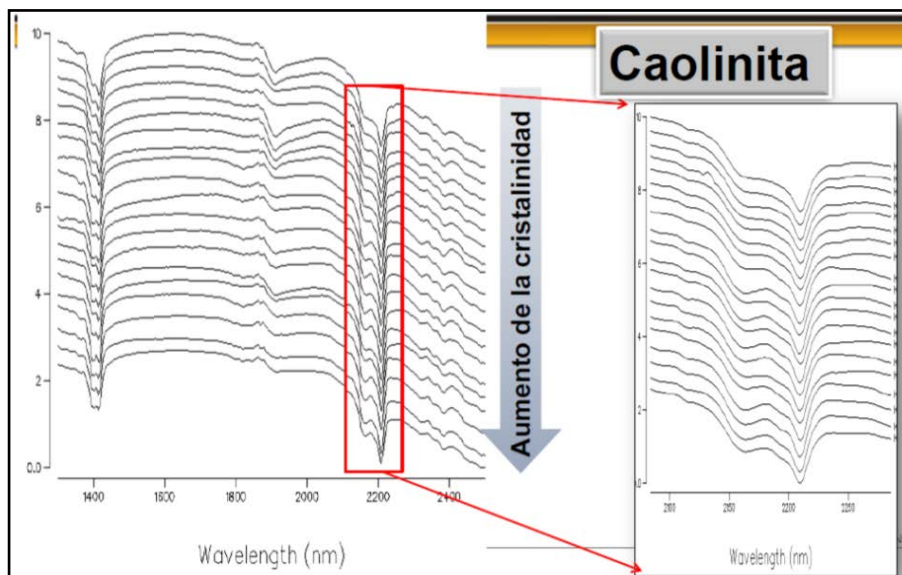


Fig. 8 Caolinitas de Georgia ordenadas en forma creciente respecto al orden estructural. Tomado de Diego Ducart 20011.

2.2.2 Química de los minerales

Una de las aplicaciones más útiles de espectroscopia SWIR, es la susceptibilidad que existe en la sustitución química entre los minerales. La Teoría SWIR nos dice que la espectroscopía infrarroja mide la energía de las vibraciones de los enlaces estructurales entre los átomos y las moléculas, y también dentro de las mismas moléculas. Tales energías cambiarán como una función de las longitudes de los enlaces. Una influencia importante en la longitud de los enlaces son los radios iónicos de los elementos y moléculas. El tamaño del radio iónico es único para cada átomo. Por lo tanto, como los átomos de diferentes tamaños ocupan diferentes sitios en la red cristalina, ellos tendrán también diferentes longitudes de enlaces con otros componentes de la red cristalina. Estos enlaces vibran con diferentes energías y tendrán diferentes valores de longitud de onda y por consecuencia, podrán identificarse en especial por medio de tales longitudes de onda. Dicho de una manera más sencilla, los cationes mayores como Al, Mg, Fe tienen diferentes longitudes de enlace que los conectan a moléculas mayores como OH, H₂O, CO₃ y NH₄, lo cual se puede detectar dentro de la región SWIR, y tienen diferentes posiciones de longitud de onda predecibles y generalmente posibles de distinguir. Estas posiciones de longitud de onda se pueden usar para identificar los enlaces moleculares específicos y tales posiciones se pueden usar para identificar las especies minerales. Entonces cualquier grupo de minerales infrarrojo o cualquier serie de soluciones sólidas donde la sustitución por medio de química es un factor que determina las especies, se puede definir con el método infrarrojo. Por lo tanto, esta posibilidad es enormemente útil para elaborar mapas e identificar minerales. La ventaja principal con el equipo es que se puede llevar al campo y que es más rápido que cualquier otro método. La presencia de hierro en la mayoría de los minerales resulta en una fuerte inclinación positiva entre 1300 a 1900 nm. Los cambios en los espectros y en las posiciones de los rasgos de absorción son drásticos y sus especies se pueden determinar, en general,

habiendo un mínimo de 15% de cloritas. Se puede distinguir entre una clorita de Fe y otra sin Fe por la inclinación positiva de la envolvente entre 1400nm – 1850nm (Fig. 9). Variaciones químicas del grupo de la alunita son manifestados por el cambio en la posición (1480 – 1495nm). Se muestra la serie desde la alunita potásica hasta los miembros extremos que contienen alunita sódica (Fig. 10). La variación química en el grupo de los carbonatos se manifiesta por un cambio en la posición de su característica mayor en función de la presencia de diferentes cationes. La característica dominante varía ampliamente, incluyendo la magnesita (Mg) a 2300 nm, dolomita (Mg, Ca) a 2320 nm, calcita (Ca) a 2330 nm y rodocrosita (Mn) a 2360 nm. La composición química para las illitas está reflejado en la longitud de onda de la absorción característica AlOH, la cual varia de 2180nm, asociado a una illita rica en Na (paragonita), hasta 2200nm, para illitas normales a 2228nm, típicamente asociado a illitas con mas Fe-Mg (fengita) sustituido. Conocer esta variabilidad química será de mucha importancia para poder vectorizar y poder diferenciar las zonas de mayor y menor temperatura.

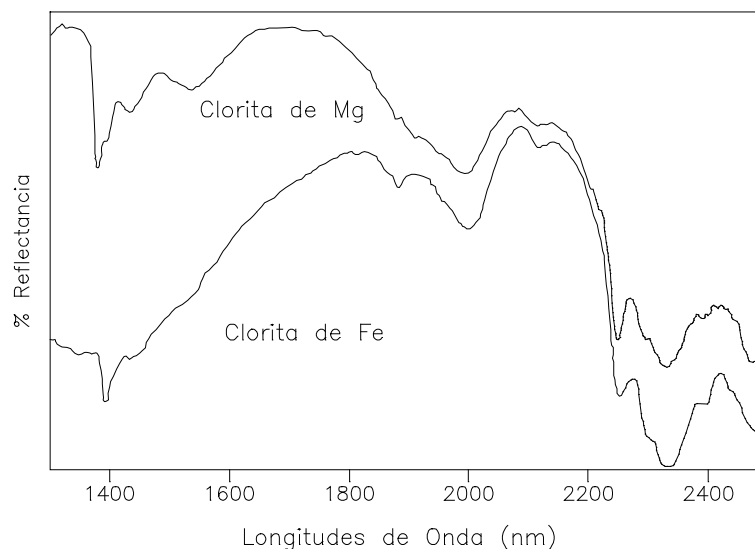


Fig.9 Muestra la composición química de la clorita con presencia de magnesio y hierro.

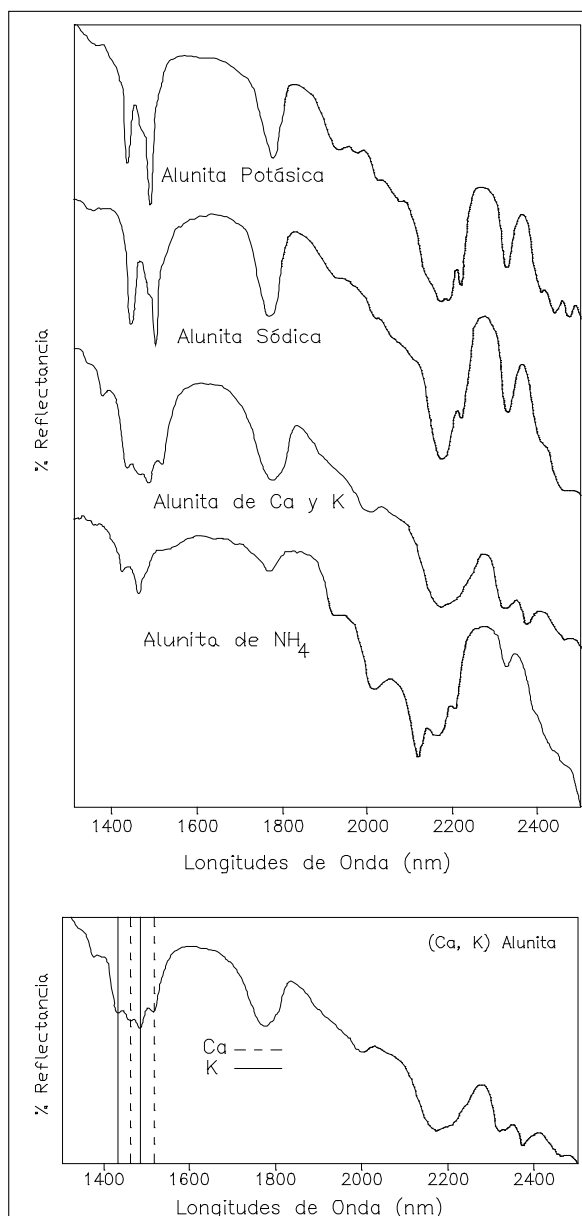


Fig. 10 Ejemplos del grupo de las alunitas ricas en K, Na, Ca y NH₄. La ampliación muestra la ubicación de las características distintiva de K y Ca de una muestra con Ca dominante. Tomado de Thompson et al. 1999.

2.2.3 La Orientación

Muchos minerales, especialmente los filosilicatos muestran los efectos de la orientación a lo largo del eje preferencial el cristal. Dado que muchos de los filosilicatos tienen un hábito hojoso o escamoso, estos se orientan siguiendo el plano basal 001. Los efectos de la orientación se ven en la **Fig. 11**, que

corresponden al espectro de un pulverizado de illita con orientaciones aleatorias (A), en contraste con un espectro de laminas de illita depositadas en una laminilla de vidrio usada para el análisis de arcillas (B). Como podemos ver el espectro que resulta parece menos cristalino que la muestra aleatoria. Observe como en B, el espectro bien orientado, el rasgo 1900nm es muy notable y redondo y que el rasgo de 1400nm se distorsiono debido al agua. Los rasgos de la capa octaédrica Al-OH en 2200, 2250 y 2450nm disminuyeron por los efectos del espectro de agua. Parecen menos intensos y por lo tanto, menos fáciles de detectar.

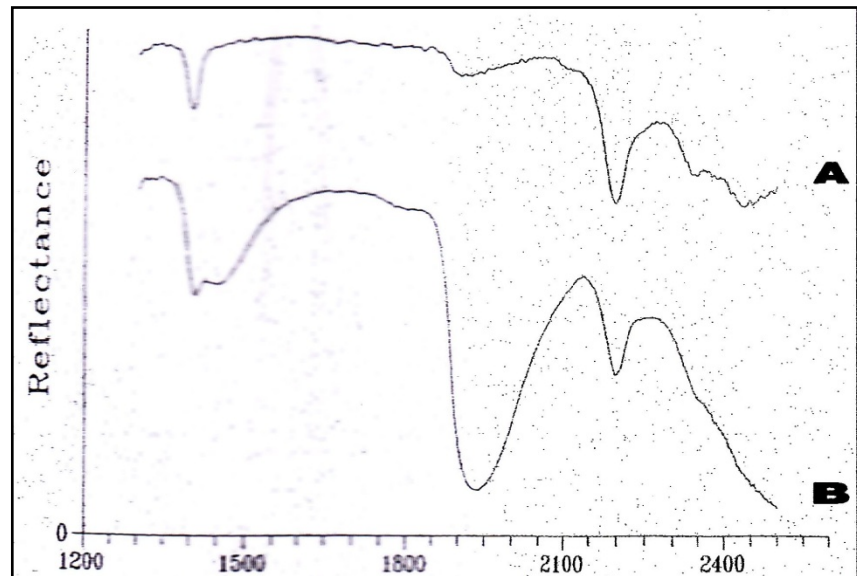


Fig.11 Espectros de illitas orientadas. Tomado de Spectral International 2005.

Se ve un ejemplo de orientación en los minerales de haloisita que ocurre en Dragon Mine como un depósito de arcilla industrial (Fig. 12). Los espectros A, B y C son de hayosita no orientada mientras que D, E y F muestran orientación.

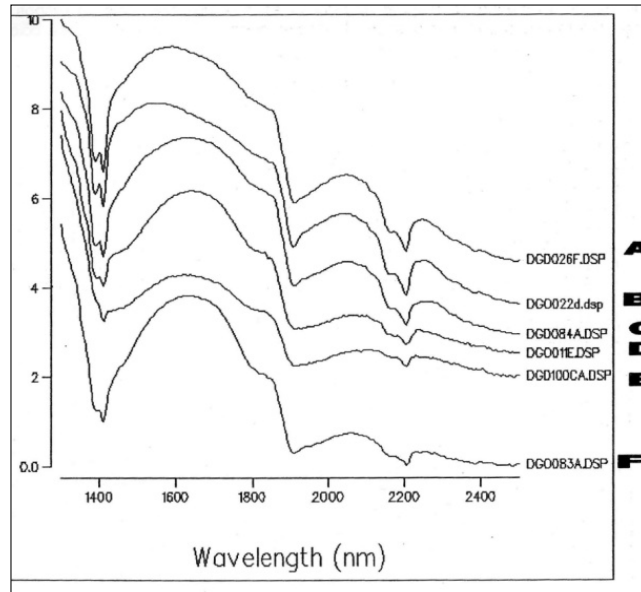


Fig. 12 Espectros de Haloisita. Tomado de Spectral International 2005.

2.2.4 Tamaño de Grano

El tamaño de los granos es otra consideración importante. Podemos ver esto en la **fig.13**, cuya muestra fue tomada de Jim Crowley (US Geological Survey, Reston Virginia) en donde se ven diferentes tamaños de granos para unas muestras de calcita. En el ejemplo se ve que el material con mejor Cristalinidad, el clivaje de rombo, produce el peor signo espectral porque el tamaño de grano es demasiado grande.

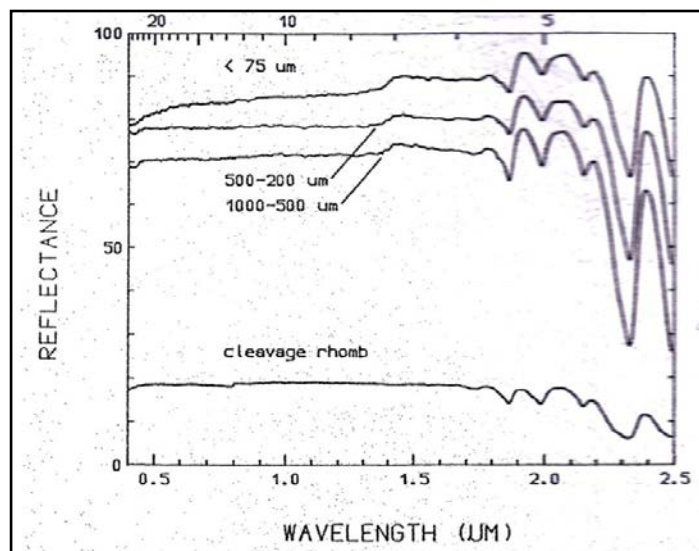


Fig.13 Cambios del tamaño de grano en muestras de calcita (James Crowley, US Geological Survey, Virginia). Tomado de Spectral International 2005.

2.2.5 Transparencia

Los efectos de la transparencia son más importantes en la espectroscopia practicada en el campo que en aquella practicada desde un avión, debido a las diferencias de escala. En la Fig. 14 tenemos un rombo de calcita que fue estudiado con el espectrómetro. Se tomo el espectro (A) que deja pasar la luz por el cristal, en (B) se puso una mano y un trozo de tela negra detrás del cristal en (C). El mejor espectro resulto en (D) cuando se puso un reflector metálico detrás del cristal, el cual reflejo la energía en dirección al detector del espectrómetro.

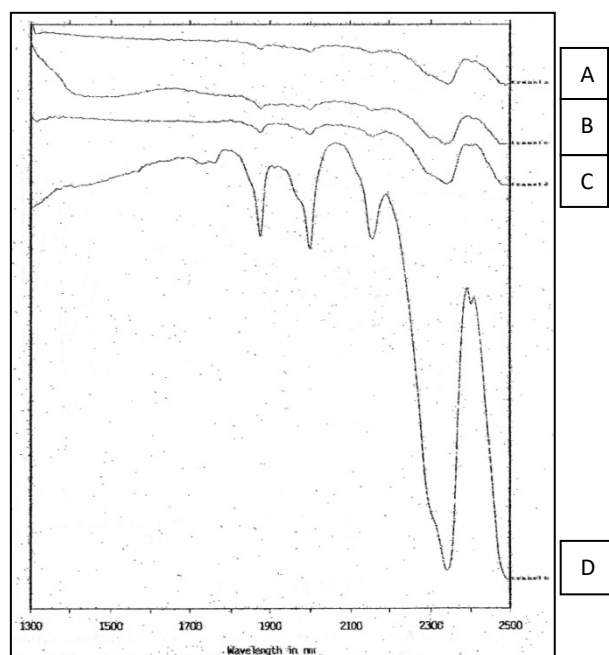


Fig. 14 Los efectos de la transparencia en la reflectancia. Tomado de Spectral International 2005.

2.2.6 Presencia de Agua

La espectroscopía infrarroja es particularmente sensible ante la presencia de agua. Es por eso que el agua parece dominar la mayoría de los espectros en materiales que la contienen. En la **Fig.15** tenemos al berilo (A) y zeolita (C), se muestra agua en canales, sobre lo cual ha influenciado la orientación del

mineral. El yeso (B) tiene enlaces estructurales para la molécula de agua. En (D) se ve la esmectita, que es un filosilicato y mineral de arcilla. La arcillas tienen agua con enlaces débiles en posiciones intercapas. En (E) se ve el espectro del agua líquida, que podría ser agua superficial, agua de lluvia, agua producida por condensación, etc. se puede ver como el agua va degradando los componentes de un signo espectral y reduce la reflectancia de las fases asociadas. Estos espectros fueron leídos con el FieldSpec Pro. Otro ejemplo muestra la influencia del agua líquida en un espectro de caolinita. Lo importante es que el agua en forma líquida influye en todos los aspectos de un espectro de ondas cortas infrarrojas y no solamente en las regiones de 1400 y 2900nm. Por lo tanto, el agua cambiara cada espectro del mineral de una manera diferente, por esta razón, es muy importante entender como la presencia del agua repercute en cada componente de una imagen Fig. (16).

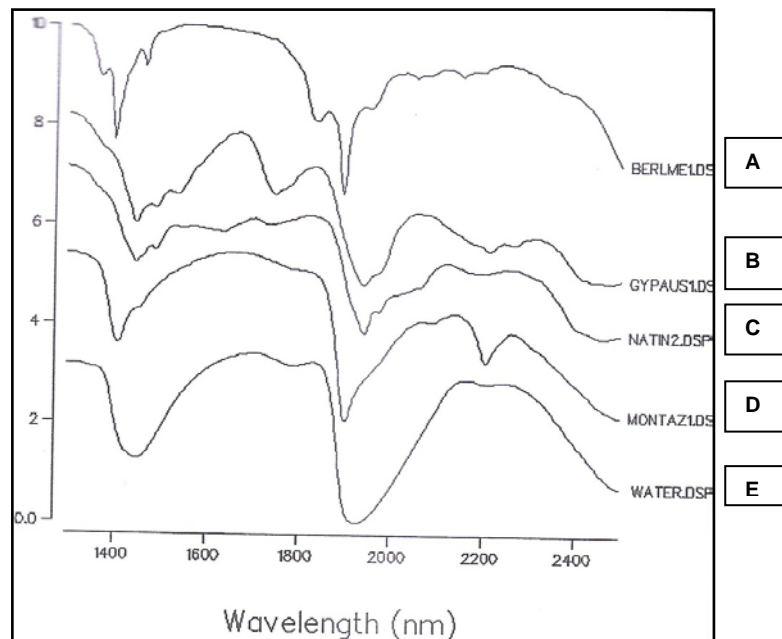


Fig.15 Tipos de Espectros que llevan agua. Tomado de Spectral International 2005.

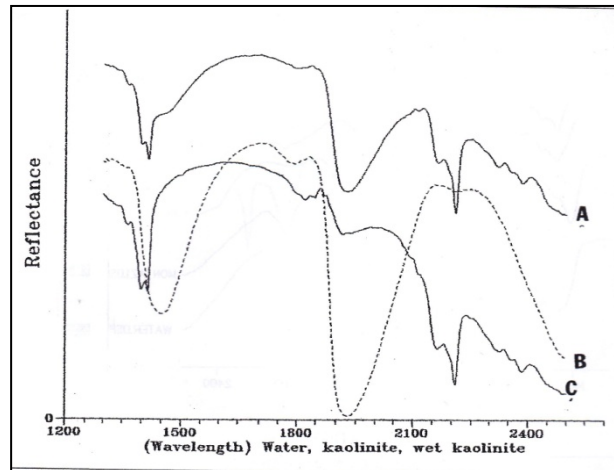


Fig. 16 Espectro de la caolinita donde se ve la influencia del agua en el perfil espectral y en la reflectancia. Tomado de Spectral International 2005.

2.3 Espectrómetros Portátiles

Varios espectrómetros de campo están disponibles en el mercado. Estos incluyen al GER-IRIS de Geophysical Environmental Research; el de Analytical Spectral Devices (ASD-FieldSpec) y el de Integrated Spectronics Pty. Ltd. (PIMA). Para fines de nuestra investigación hablaremos del ASD (FieldSpec pro) ya que fue el espectrómetro usado para nuestros análisis de alteraciones.

ASD ha desarrollado el TerraSpec ® Explorer o FieldSpec Pro como un sistema portátil fácil de usar y rápido en el campo, para la caracterización de cientos de muestras mineralógicas por día. El TerraSpec se adapta fácilmente a los diferentes entornos de laboratorio, campo, o una perforación, proporciona la información necesaria en tiempo real para optimizar su proceso de exploración. El sistema puede ser utilizado para desarrollar una amplia gama de modelos para el análisis de muchos tipos de muestras, incluyendo los afloramientos, las muestras de mano, núcleo, chips de RC de perforación, y las pulpas metalúrgicas, todo esto con poco o casi nada preparación de la muestra. Este espectrómetro proporciona datos con longitudes de onda de la zona visible del espectro y de las zonas cercanas y dentro del infrarrojo de onda corta. Por consiguiente el TerraSpec ® Explorer

es la herramienta ideal para identificar y caracterizar muchos de los minerales asociados con los depósitos de pórfido, epitermales, skarn, sulfuros masivo, mesotermales, mapeo de regolitos, etc. En el campo o en línea de producción, los espectrómetros de ASD proporcionan un análisis rápido, mineralogía precisa para la eficiencia óptima de la mina, los beneficios del analizador incluye:

- No hay retrasos, el análisis es en tiempo real que se mueve al ritmo de su sistema de producción
- Proporciona una mayor capacidad de la pruebas
- Operación optimizada de la mina a través de datos más precisos de las propiedades de los minerales
- Técnica ecológica que ayuda a reducir los residuos químicos, con el ahorro de energía y disminución en el tiempo de procesamiento.

Con este espectrómetro los operadores de mina y geólogos tiene todas las herramientas que necesitan para identificar y caracterizar yacimientos con precisión en una amplia variedad de opciones:

- Estudio de exploración en superficie de grandes áreas de interés.
- Estudios de teledetección hiperespectral.
- Las ubicaciones de perforaciones.

La capacidad de identificar rápidamente y determinar los principales minerales de alteración, y en muchos casos los alrededores térmicos de su formación, hace que el analizador sea una herramienta ideal para cartografiar depósitos en la exploración de minerales, para determinar la mineralogía de las rocas alteradas que ayudaran a identificar los patrones de alteración, localizar y clasificar los sistemas de mineralización. Este poderoso instrumento detecta minerales tales como arcillas y otros filosilicatos, carbonatos, óxidos de hierro y sulfatos seleccionados, y también

es sensible a variaciones en la composición y cristalográfica de las especies minerales individuales que a menudo son trazadores de mineralización.

Espectrómetros Portátiles

ASD TerraSpec



Analytical Spectral Devices



CAPITULO III

CARTOGRAFIA DE ALTERACIONES

La cartografía de alteraciones y las variaciones mineralógicas asociadas ayudan a desentrañar la compleja secuencia de eventos asociados con la alteración de un depósito en particular. Típicamente, los mapas de alteración están basados en observaciones macroscópicas de campo ayudados por algunos estudios petrográficos y/o de difracción con rayos X. Estudios de alteración a la escala del yacimiento son limitados o basados en estudios detallados necesariamente restringidos a un número limitado de muestras. La geoquímica de rocas es usada en algunos medios para evaluar la alteración pero sólo funciona bien donde las litologías y su petrología son bastante conocidas. La geoquímica de roca es difícil de aplicar en áreas extensas de alteración con arcillas que son difíciles de identificar durante un programa de exploración.

La importancia del uso de minerales y de ensambles de minerales fue reconocida por Rose y Burt (1979) y autores posteriores, pero este enfoque no es siempre aplicado durante una exploración. La clasificación de alteraciones por mineralogía implica observaciones de campo que pueden ser ayudados por el espectrómetro portátil. El uso del espectrómetro en el campo permite que la mineralogía sea cartografiada e interpretada en secciones geológicas: La interpretación resultante puede ser aplicada en tiempo real para guiar la perforación y puede ser integrada con otro tipo de datos para mejorar los objetivos, modelos geológicos y guías regionales.

Los análisis de espectroscopia de reflectancia ayudan en la exploración regional así como de prospectos. Por ejemplo, en zonas complejas de sistemas intrusivos la alteración mineralógica determinada durante la

cartografía ayuda a definir zonamientos verticales y horizontales y los ambientes de mineralización relacionados con ellos. Dentro de cada ambiente su alteración y mineralogía pueden definir el zonamiento local y las direcciones que apuntan hacia la mejor mineralización. El espectrómetro es de mucha ayuda donde la alteración mineral no es fácil de identificar en muestras de mano por el tamaño del grano o por intemperismo. Aún donde la cartografía de campo de alteración de minerales es efectiva, el espectrómetro portátil permite su reconocimiento mineralógico, las variaciones sutiles de sus composiciones y la mineralogía, los que pueden ser importante para ubicar cuerpos mineralizados.

Las sutiles variaciones de composición y cristalinidad que se producen dentro de una zona de alteración pueden proporcionar información adicional sobre el medio ambiente térmico y químico en el momento de la alteración. La cartografía de alteraciones y las variaciones mineralógicas asociadas ayudan a desentrañar la compleja secuencia de eventos asociados con la alteración de un depósito en particular. Al descubrir los eventos clave de la alteración asociada con la formación de minerales, los exploradores a menudo pueden definir conjuntos de alteraciones que proporcionan a los depósitos los vectores económicos.

3.1 Organización de un Levantamiento Espectral

Para tener un óptimo levantamiento Espectral es necesario definir los siguientes puntos:

- Definir el objetivo del levantamiento
- Ubicación y tamaño del área de estudio
- Escala de mapeo final
- Diseño de muestreo
- Origen de la muestra, si se trata de una muestra tomada en superficie o sondajes

- Tipo de muestras para medir, tener presente si se trata de roca o suelo
- Si se trata de muestras de sondaje se tiene que especificar si se trata de chips, testigos.
- Cantidad de muestras a tomar
- Cantidad de mediciones por muestra
- Espacio entre muestras
- Medición de muestra si se hará in situ o gabinete

Teniendo claro estos puntos pasamos a definir el diseño de muestreo que es importante para nuestro levantamiento Espectral.

- **Muestreo aleatorio**, se tomara las muestras al azar sin seguir un orden determinado
- **Muestreo Sistemático en Mallas**, se tomaran las muestras siguiendo un orden definido (cada 2m o 5m según lo conveniente.). Usado en afloramientos.
- **Muestreo Sistemático lineal**, más usado en sondajes.

Para nuestro levantamiento Espectral debemos tener presente los tipos de muestras que vamos a analizar, que pueden ser principalmente:

Muestras de Afloramiento: son excelentes para nuestro análisis espectral, debido a que la meteorización es menos intensa, por lo que la alteración hidrotermal puede preservarse. Debemos evitar cobertura externa, con alteración supergénica visible.

Muestras de cutting RC: nos dan datos espectrales de buena calidad, estas muestras son generalmente homogéneas por lo tanto producen un espectro que responde al promedio de firmas para todo el intervalo muestreado.

Muestras de sondaje: se obtienen datos espectrales con la mejor calidad, para estudios detallados y precisos. Se pueden realizar mediciones muy selectivas, ejemplo, matriz, clastos, venillas, vetas, superficie de fractura, etc. Muestreo realizado por el geólogo al mismo tiempo que logea el sondaje.

Estas muestras deben ser llenadas en bolsas de manera independiente con su respectivo ticket de tarjeta ASD. Ya en gabinete al ser analizadas se les da la nomenclatura más adecuada tanto para la muestra como para los espectros.

CAPITULO IV

PREPARACION DE LA MUESTRA Y TECNICAS DE COLECCION DE DATOS

Para un trabajo estricto de identificación, el espectrómetro requiere poca preparación de las muestras ya que está diseñado para trabajar en distintos tipos de superficies y con diferentes tamaños de granos de mineral.

La cantidad de luz absorbida en una superficie cualquiera es función de la longitud de la trayectoria del haz de luz a través del material, lo cual a su vez es afectado por el tamaño del grano de los minerales y el coeficiente de absorción del material (Clark and Rousch, 198). En minerales que son relativamente transparentes, la luz se dispersa hacia fuera de las muestras de grano fino, antes de que ocurra alguna absorción de esta radiación. El espectro resultante tiene débiles rasgos de absorción y fondo de alta reflectancia. Tamaño de granos mayores muestran bandas de absorción más pronunciadas. En materiales con granos muy gruesos, tanto la reflectancia de fondo como las absorciones individuales pueden ser sustancialmente reducidas.

Teniendo estas potenciales variables en consideración, se encuentran a continuación algunas recomendaciones para una colección de espectros más efectiva con el espectrómetro portátil.

4.1 COLECCIÓN DE DATOS

4.1.1 Consideraciones Importantes

4.1.1.1 La ventana del Sensor

La ventana del sensor para el FieldSpec Pro está hecha de zafiro, por lo cual es muy durable y resistente a las rayas provocadas por la mayoría de los materiales. También se encuentra protegida en muchos diseños de instrumentos de terreno. Si el instrumento es usado para leer suelos o muestras terrosas in situ, limpie cuidadosamente la ventana con un paño suave seco, después de cada lectura. No frote la ventana con los dedos ya que puede haber transferencia de grasa y por lo tanto reducir la capacidad de transmisión de luz a través de ella. La grasa puede también incorporar partículas y mantenerlas cubriendo parcialmente el campo visual de la ventana.

Se recomienda que la ventana del sensor nunca sea expuesta directamente a los líquidos como agua, aceites o disolventes orgánicos. Si se pretende obtener lecturas de líquidos se debe usar capsulas de Petri de tamaño adecuado para retenerlos, evitando el contacto con la ventana. Se recomienda también evitar el contacto directo de materiales pulverizados con la ventana del instrumento. La Ventana de este sensor del FieldSpec es removible para limpieza pero se debe evitar esta operación al máximo.

4.1.1.2 Enfriamiento

Los instrumentos ASD requieren muy poco enfriamiento. Tienen interiormente ventiladores muy resistentes que permiten la circulación del aire refrigerante dentro de su gabinete. Adicionalmente estos tienen muy pocas partes móviles. Solo los accesorios, como el sensor de minerales estándar o de laboratorio, contienen fuentes de luz interna y por lo tanto pueden calentarse pero se encuentran separados del cuerpo de los instrumentos. El analizador Espectral FieldSpec Pro puede ser operado bajo la luz solar sin inconvenientes a diferencia del Pima que no es recomendable operarlo a temperaturas externas o internas mayores a 40°C.

4.1.1.3 Interferencias

Magnetómetro

Tenemos que considerar que un magnetómetro situado cerca del espectrómetro causa interferencia.

Ruido Cíclico

Los minerales del grupo de filosilicato tales como micas y otros de tipo finamente hojoso son particularmente estratificados. Estos minerales pueden ser también transparentes o translucidos. Pueden encontrarse en granos gruesos o finos y en cristales euhedrales. Este tipo de mineral es difícil de pulverizar muy fino. Cuando se analiza este tipo de minerales, es frecuente obtener espectros con interferencias como el que se muestra en la figura 17.

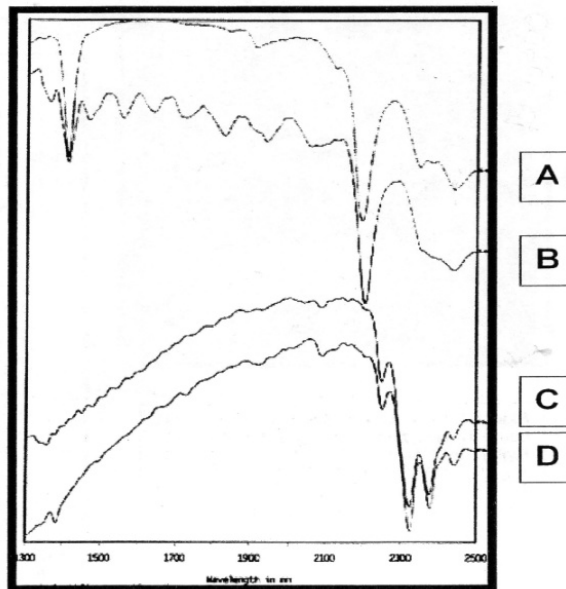


Fig. 17 Espectros A y B son de muscovita. (B) fue tomado de un libro de mica que resulta en ruido cíclico. En (A) la muestra fue pulverizada finamente. Tomado de Spectral International 2005.

Los espectros (A) y (B) son de muscovita. (B) fue tomada de un libro de mica que resulta en ruido cíclico provenientes de las capas del mineral. En (A) la muestra fue pulverizada.

Los espectros (C) y (D) son de flogopita. (C) fue leída de un libro y (D) fue leído de un pulverizado. Como podemos ver en este caso no mejora mucho.

Luz Fluorescente

La Luz fluorescente crea importantes interferencias en los espectros. Estos se manifiestan como ruido cíclico en el rango SWIR y como fuertes máximos (picos) en el rango visible. (Fig. 18).

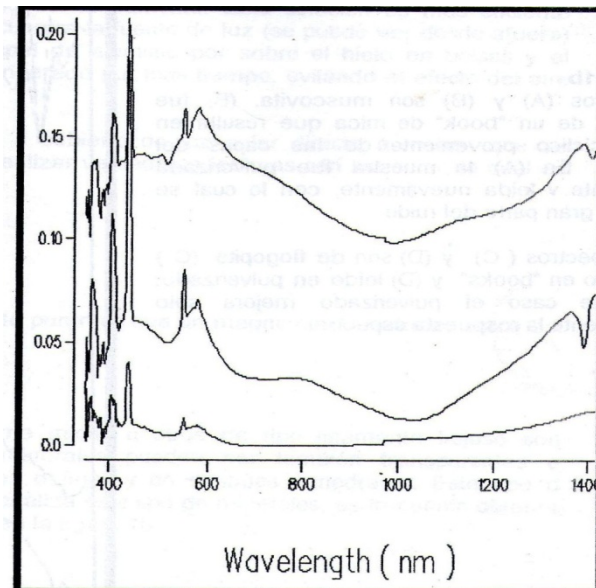


Fig. 18 Estas firmas espectrales muestran el efecto de la luz fluorescente en la zona visible. Tomado de Spectral International 2005.

4.1.1.4 Estabilidad Instrumental

Existen diferentes categorías de estabilidad instrumental. El FieldSpec Pro parece no estar afectado por movimiento en un vehículo.

Cuando se opera con la luz interna del instrumento, el espectrómetro ASD funciona bastante estable y sus espectros reproducibles. Aunque se recomienda estabilizar el instrumento por al menos media hora antes de trabajar con él, esto no es necesariamente imperativo, en la función del cabezal lector de contacto al momento de analizar las muestras.

Movimiento

Se debe tomar especial cuidado de no mover las muestras respecto al instrumento durante la lectura. El movimiento causa desplazamiento y deformaciones en la envolvente del espectro. El espectro puede también mostrar varios niveles diferentes de absorción conectados por líneas verticales.

Si el instrumento se usa en posición vertical sujeto con algún soporte, es recomendable mantenerlo fijo durante la lectura. (fig. 19).

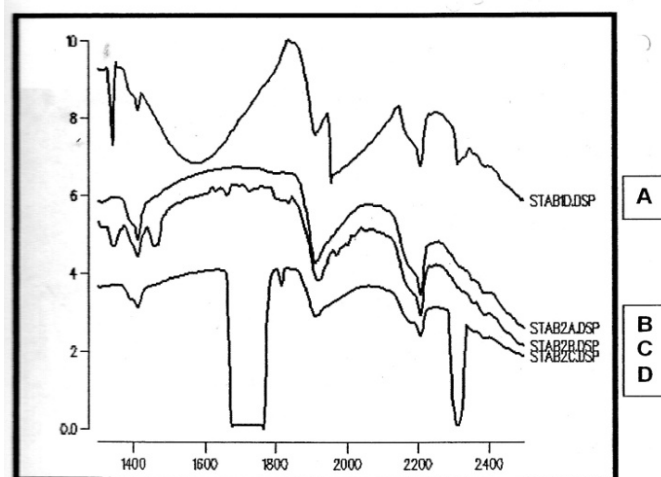


Fig.19 Muestra ejemplos de cómo son afectados los espectros debido al movimiento y saturación. Espectro(A) representa saturación, (B) espectro sin movimiento, (C) la muestra fue movida y en el espectro (D) la muestra fue retirada antes de tiempo. Tomado de Spectral International 2005.

Sobresaturación

En el sistema detector del espectrómetro usado existe otro fenómeno que causa efectos indeseados en los espectros. El usuario es alertado que esto ocurre por sonido o timbre durante el proceso de colección de datos. Y por la formas planas que toman los espectros en sus partes máximas. Los espectrómetros calculados pueden mostrar desplazamientos, rasgos demasiado redondos y amplios, y extrañas líneas verticales en los perfiles espectrales.

4.1.1.5 Mediciones de Contacto

El método usado en la colección de los datos para este trabajo es el del contacto de la superficie de la muestra con la ventana lectora. La figura muestra dos accesorios ASD que se usan para las lecturas de contacto. Estos son el lector de laboratorio (**Fig.20**) que se ocupa mejor para las muestras de mano, líquidas y pulverizadas y el lector de contacto (**Fig. 21**) que se usa en afloramientos, cartografía de testigos, mapeo de testigo, muestras de suelo y roca, chips de sondaje de aire reverso, granos pequeños y mapeo de testigos.



Fig.20 Lector de Laboratorio.

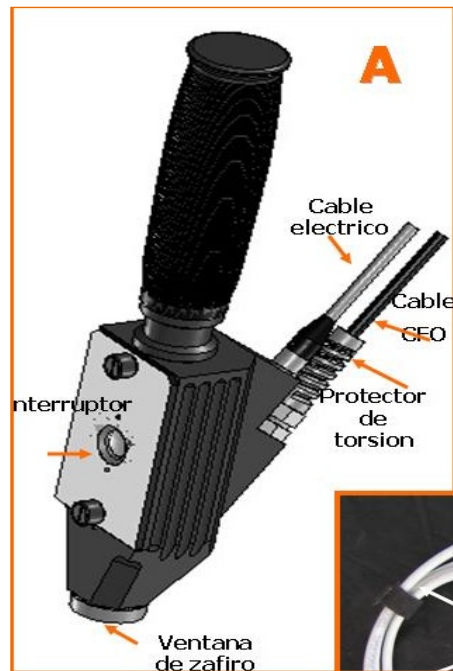


Fig.21 Lector de Contacto.

Superficie de contacto

Cuando se lee cualquier superficie, se debe preferir aquellas superficies planas para asegurar un buen contacto con el lector de minerales. Obviamente, las superficies de rocas no son frecuentemente planas del todo. Recordar que lo menos regular que pueda ser una superficie significa que será lo menos reflectante para la luz que será dispersada fuera del lector. Si no se analiza una superficie relativamente plana, entonces existe una reducción de la intensidad de la señal recibida por el detector, debido a que parte de ella no regresa de vuelta. El resultado de un espectro como este se ve degradado o puede verse ruidoso y de baja resolución.

Por otra parte, si la superficie es demasiado plana o pulida, como una superficie que ha sido cortada por sierra de diamante o por una corona, la abrasión mecánica del proceso de corte tiende a remover o revolver la superficie de los materiales, especialmente arcillas y esto lleva a obtener como resultado una señal pobre o de poca resolución. La señal puede ser

mejorada, lijando la superficie y creando una interface de material pulverizado entre la roca y el lector.

Dependiendo del objetivo de la medición, se debe considerar también el crear una superficie fresca, a menos de que la superficie de meteorización sea realmente el objetivo de la medición. Se debe destacar que cuando se usa el lector de Laboratorio del FieldSpec Pro no es necesario preocuparse de las calidades de las superficies de las muestras o su completo contacto con la ventana lectora, debido al diseño geométrico de la trayectoria de la luz en estos accesorios como consecuencia de la colección de luz a través de la fibra óptica.

4.1.2 Variables que Afectan a la Colección de Muestras

4.1.2.1 Tamaño del Grano

Cuando se investiga minerales como carbonatos, zeolitas, evaporitas, micas y otros que tienden a formarse en cristales grandes, pulverizados de ellos pueden permitir los mejores resultados.

Si el material no es blando, esto puede lograrse fácilmente rayando o gastando las superficies de las muestras o afloramientos con un cortaplumas. El pulverizado se puede poner en contacto directo con la ventana lectora.

Si los cristales a analizar son demasiado grandes y especialmente si son transparentes o translucidos la fuente de luz tiende a pasar directamente a través del material produciendo un espectro degradado con rasgos amplios o poco definidos.

La Figura.22 muestra los efectos del tamaño del grano. La muestra es un cristal grande blanco de pirsonita, (mineral evaporítico). Primero se obtuvo un espectro débil (A). Al moler la muestra en (B) mejoró la señal hasta el

punto que fue posible identificar la especie mineral. La pulverización en (C) permitió una definición de rasgos aún mejor.

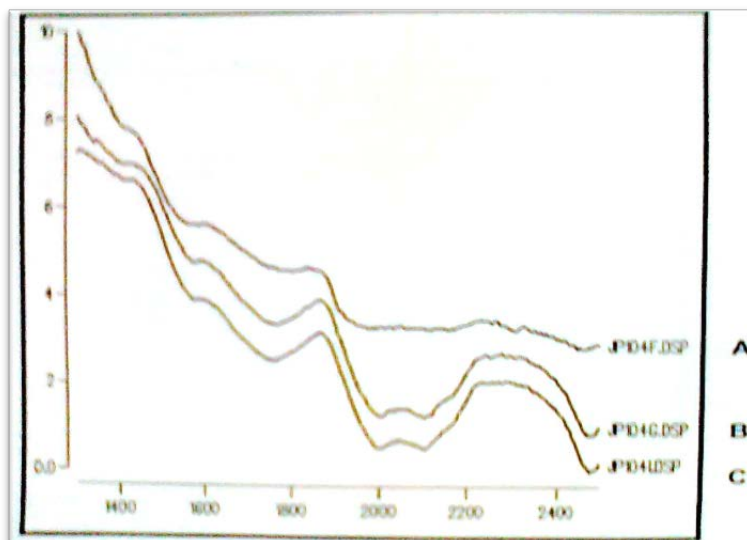


Fig. 22 Cristal de pirsonita transparente, de grano grueso. Tomado de Spectral International 2005.

4.1.2.2 Transparencia

Los materiales transparentes permiten al paso de la luz a través de ellos, lo que resulta en una señal muy débil o falta de señal del todo. La luz por lo tanto, debe ser reflejada de vuelta al detector a través del cristal o líquido. Esto generalmente puede ser obtenido usando un reflector en la parte atrás de la muestra transparente, que puede ser un pedazo de metal, una moneda o lámina de aluminio en la parte externa de la muestra transparente. Esto también puede lograrse pulverizando una cara del cristal.

Se puede observar en la Figura 23(D) que el metal funciona bien para reducir la difusión de la luz y reflejarla de vuelta al detector, pero debemos tener cuidado respecto a que varios de los materiales que son considerados buenos reflectores de luz pueden ser activos al infrarojo y podrían tener influencia indeseable en los espectros analizados.

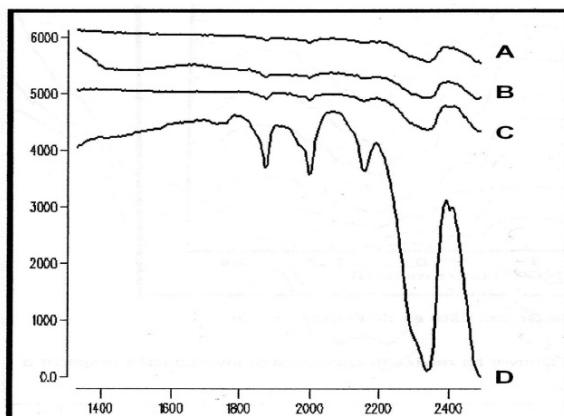


Fig.23 Grafica de un cristal translucido de calcita. Variación en relación a la transparencia de la muestra. Tomado de Spectral International 2005.

4.1.2.3 Campo Visual

El campo visual del espectrómetro es aproximadamente $2 \times 10\text{mm}$ en la parte central de la ventana. Esto significa que el espectrómetro puede apuntar a sectores de interés bastante, pequeños. Sin embargo debemos cuidar que ingrese luz externa al instrumento. Esto implica que se debe cuidar que el lector de minerales cubra totalmente la zona de interés, tapando la muestra con la mano o con algún género.

Si entra luz externa durante la lectura, el espectro puede ser ruidoso.

4.1.2.4 Tamaño de la Muestra

El tamaño de la muestra es una consideración similar a la del campo visual. Si la muestra es muy pequeña la señal puede ser reducida. No será lo suficientemente intensa comparados con aquellos de muestras grandes. Las muestras pequeñas son por lo general muy ruidosas.

La Fig.24 muestra ejemplos del problema del tamaño de la muestra. El espectro (A) es una delgada línea de pulverizado, dejando parte de la

ventana expuesta. En (B) la ventana fue completamente cubierta por la muestra y se uso un reflector en la parte de atrás.

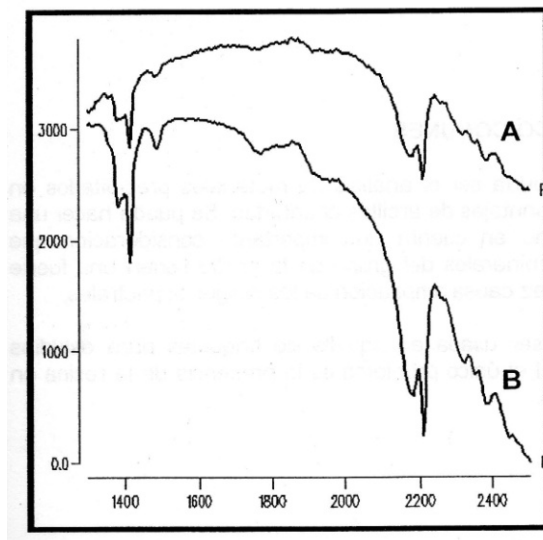


Fig.24 Comparación de tamaño de muestras.
Tomado de Spectral International 2005.

4.1.3 Tipos de Muestras

Los tipos de muestras a analizar pueden ser diversas pero para este trabajo analizamos principalmente las siguientes:

4.1.3.1 Roca

La espectroscopia está orientada a objetivos ligeramente diferentes de aquellos del muestreo geológico en general y del muestreo de exploración y caracterización.

La espectroscopia analiza rocas argilizados ya que es muy sensible a este grupo de minerales, rocas blancas o alteradas de colores claros porque son altamente reflectantes y producen buenos espectros. Por la rapidez de este método es posible realizar lecturas transversales desde el interior hasta los halos de las vetillas, que nos ayudara a observar cambios en la alteración, podemos leer vesículas y rellenos que se encuentran en las cavidades de

los minerales porque estos entregan bastante información acerca de la paragénesis del sistema.

Analizar las brechas son de gran importancia ya que transportan fragmentos de otras partes del sistema mineralizado, por ello se deben analizar por separado.

4.1.3.2 Pulverizado

Los materiales pulverizados entregan resultados muy consistentes, los cuales cuando se trabajan cuidadosamente calibrados, pueden entregar análisis semi-cuantitativo. Los pulverizados pueden ser analizados fácilmente. El FieldSpec puede trabajar verticalmente con la ventana lectora hacia arriba. El material pulverizado se coloca en un recipiente de vidrio muy delgado sobre la ventana del sensor. Pero para los que trabajamos con FieldSpec lo podemos colocar de manera directa. Por supuesto, el lector de Minerales debe ser limpiado después de cada lectura.

4.1.3.3 Materiales Fragmentados de Sondajes (Chips)

Los chips y sondajes de roca que han sido chancados también pueden ser analizados en un recipiente o de manera directa sobre la ventana del sensor. El lector de minerales del FieldSpec ha sido diseñado para analizar chips directamente en las cajas de sondajes, haciendo posible la cartografía espectral a lo largo de sondajes y tomar lecturas con diferencias de segundos entre uno y otro compartimiento de sondajes.

También se pueden analizar muestras de líquidos y pulpas.

4.2 Análisis de Datos Espectrales e Interpretación

Para el análisis de los datos espectrales será necesario realizar lo siguiente:

- 1) Primera revisada general de los espectros.

- 2) Interpretación visual de cada espectro, comparando con espectros de referencia a través de algún software (ej. specmin) y haciendo anotaciones si es necesario.
- 3) Clasificación de los datos en intervalos de paragénesis minerales.
- 4) Cálculo de índices minerales (parámetros espectrales) a partir de los espectros.
- 5) Evaluar relaciones espaciales de los resultados espectrales.
- 6) Integración de los resultados espectrales con bases de datos asociadas (ej. Geoquímica, logueo), buscando tendencias y relaciones.

Durante el análisis no siempre veremos que el espectro resultante corresponde a minerales puros, también se pueden presentar mezclas de minerales con mayor frecuencia.

Cuando tenemos este caso trataremos de identificar primero al mineral espectralmente dominante de la misma manera que para el mineral puro, luego por comparación con espectros de referencia, identificaremos la longitud de onda para los rasgos de absorción adicionales. Y por último buscaremos en la biblioteca espectral de referencia que minerales pueden estar causando estos rasgos adicionales.

Para nuestros fines se trabajo con el Specmin que es una biblioteca espectral de referencia mineral. Es un sistema de identificación de minerales para la espectroscopia SWIR, que incluye una amplia y dinámica biblioteca de los espectros de referencia para los minerales, aproximadamente 2000 espectros en total. Esto también incluye información sobre propiedades físicas para cada mineral a identificar.

CAPITULO V

EJEMPLOS DE APLICACIÓN DE LA ESPECTROSCOPIA DE REFLECTANCIA

Los siguientes casos estudiados ilustran el uso de la Espectroscopia de Reflectancia en la exploración minera. Todos los análisis fueron recopilados con el espectrómetro FieldSpec Pro. Estas muestras enfatizan el uso de la técnica VNIR y SWIR como una herramienta de cartografía para integrarlo con otros tipos de información. Los ejemplos incluyen mapas de alteraciones. La identificación de minerales y las variaciones de posición de sus características espectrales son mostradas para definir zonas de alteración y proveer indicadores o guías hacia la mineralización. Sin embargo, la aplicación a ciegas de datos digitales puede llevar a resultados falsos basados en un muestreo inadecuado o en una mala interpretación de las variaciones espectrales. Pero antes de ir a los ejemplos veamos el concepto de alteraciones hidrotermales y espectros de referencia.

5.1 Alteraciones Hidrotermales

Entendemos como proceso de alteración hidrotermal al intercambio químico ocurrido durante una interacción fluido hidrotermal- roca. En estricto rigor, una alteración hidrotermal se considerada como un proceso de metasomatismo, dándose transformación química y mineralógica de la roca original en un sistema termodinámico abierto.

Las características mineralógicas, químicas y morfológicas de alteración entregan información acerca de las condiciones termodinámicas del fluido hidrotermal que las generó (Fig.25). Los distintos tipos de alteración e intensidad son dependientes de factores tales como composición del fluido

hidrotermal, composición de la roca huésped, **temperatura**, Ph, eh, razón agua / roca, y tiempo de interacción, entre otros.

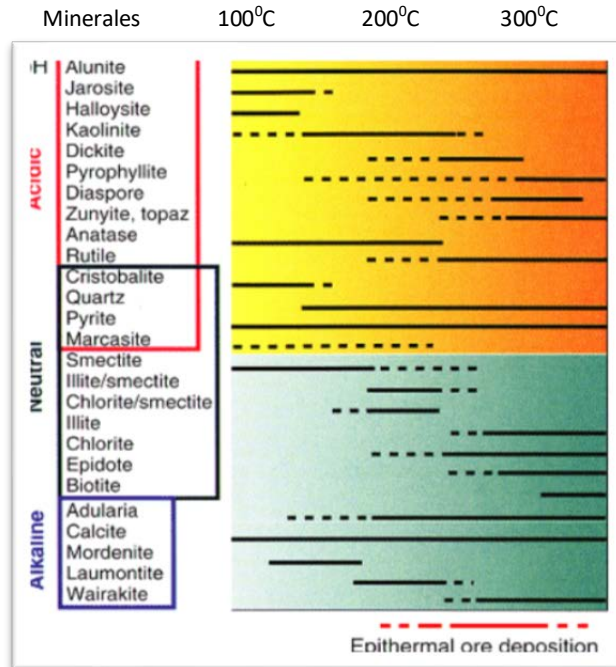


Fig.25 Temperaturas de estabilidad de minerales hidrotermales. Según Hedenquist et (1996).

Existe una variedad de depósitos Hidrotermales, pero para nuestros fines hablaremos de los depósitos Epitermales (Baja Sulfuración).

5.1.1 Modelo de Alteración para sistemas epitermales

La mineralización Epitermal de metales preciosos puede formarse a partir de dos tipos de fluidos químicamente distintos. Los de “**baja sulfuración**” son reducidos y tienen un pH cercano a neutro (la medida de concentración de iones de hidrógeno) y los fluidos de “**alta sulfuración**”, los cuales son más oxidados y ácidos. Los términos de alta y baja sulfuración fueron introducidos por Hedenquist (1987) y se refieren al estado de oxidación del azufre. En los de alta sulfuración el azufre se presenta como S^{+4} en forma de SO_2 (oxidado) y en los de baja sulfuración como S^{-2} en forma de H_2S (reducido).

Los fluidos de baja sulfuración (BS) son una mezcla de aguas-lluvias (aguas meteóricas) que han percolado a subsuperficie y aguas magmáticas (derivadas de una fuente de roca fundida a mayor profundidad en la tierra) que han ascendido hacia la superficie. Los metales preciosos han sido transportados en solución como iones complejos (en general bi-sulfurados a niveles epitermales; clorurados a niveles más profundos) y para fluidos de baja sulfuración la precipitación de metales ocurre cuando el fluido hierve al acercarse a la superficie (ebullición).

Los fluidos de alta sulfuración (AS) se derivan principalmente de una fuente magmática y depositan metales preciosos cerca de la superficie cuando el fluido se enfría o se diluye mezclándose con aguas meteóricas. Los metales preciosos en solución derivan directamente del magma o pueden ser lixiviados de las rocas volcánicas huéspedes a medida que los fluidos circulan a través de ellas.

Los sistemas de Baja Sulfuración presentan con mayor frecuencia las siguientes zonas de alteración (Fig. 26):

Silicificación: cuarzo calcedónico, masivo que pasa a cuarzo crustiforme y coloforme. Cuarzo cristalino, con adularia cristalina, sulfuros y carbonatos debajo del nivel de ebullición masiva.

Argilica Avanzada: cuarzo, dickita, caolinita.

Argilica: sericita, illita, esmectita, caolinita. (Fig.27)

Propilitica: cloritas, epidota y carbonatos. (Fig.28)

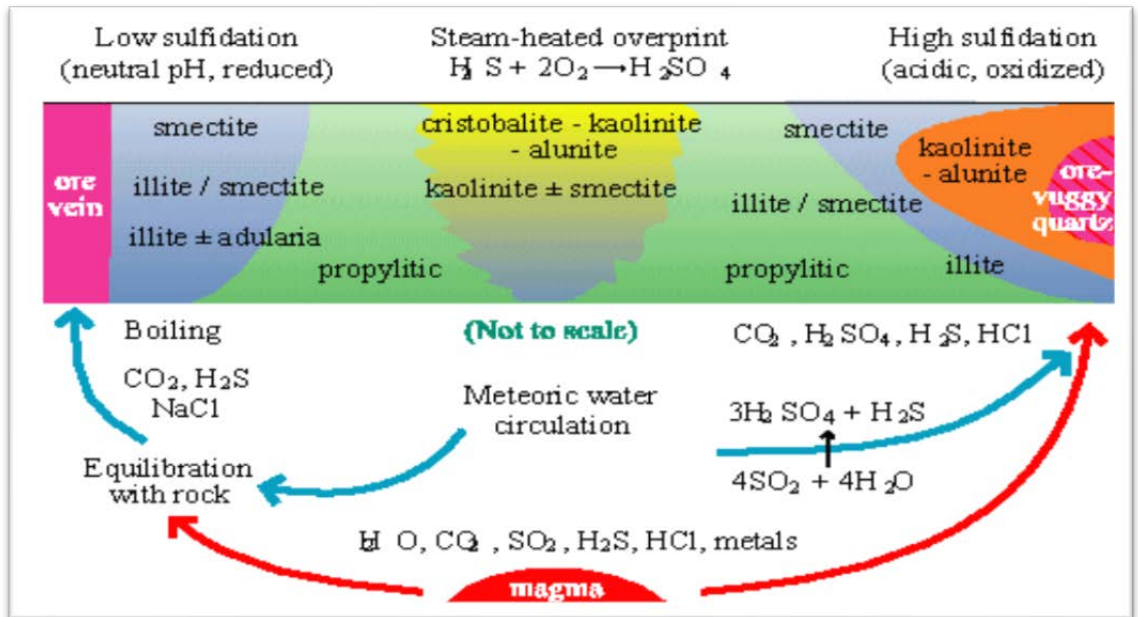


Fig.26 Modelo de alteración para depósitos epitermales. Tomado de Hedenquist 1987.

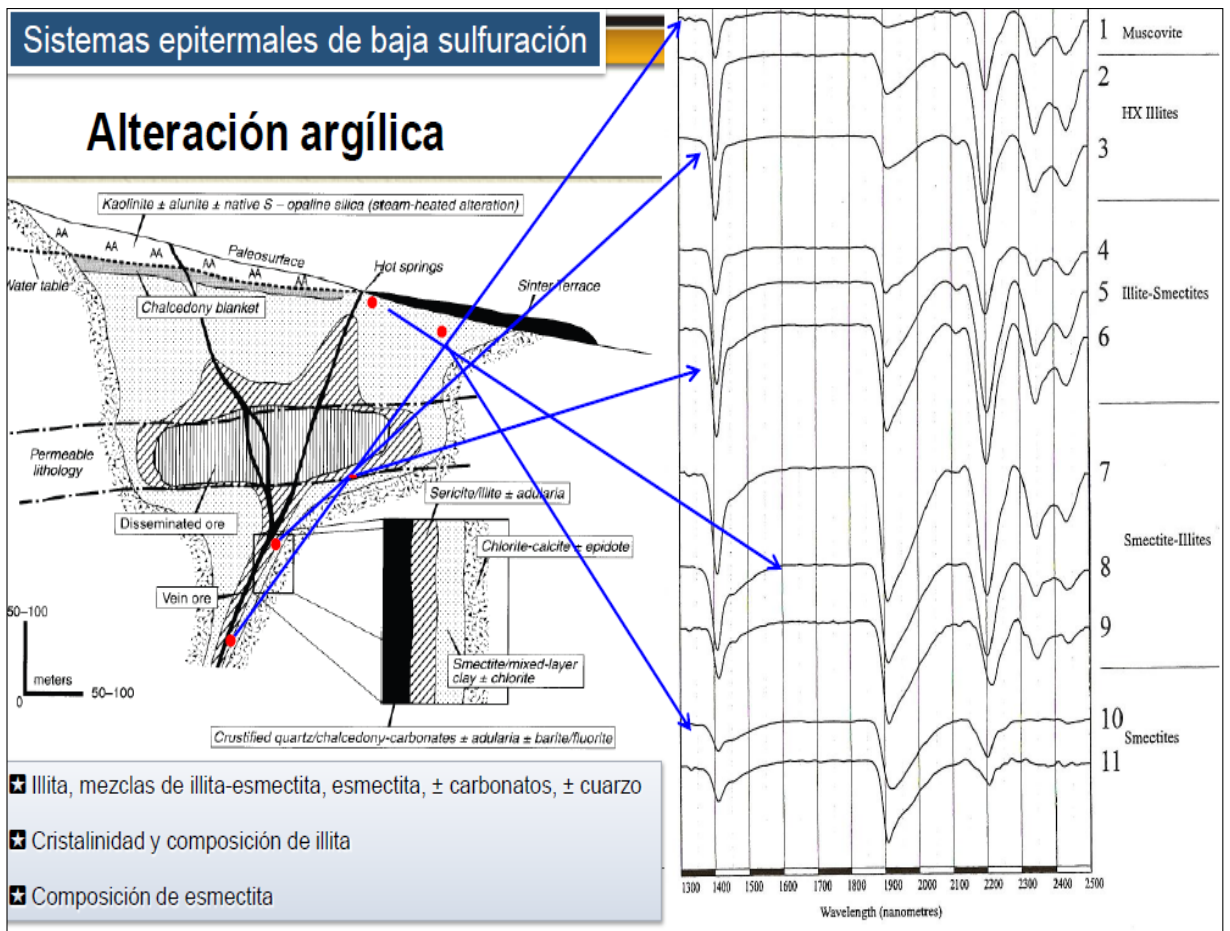


Fig.27 Alteración Argílica con sus respectivos espectros de reflectancia. Tomado de Sillitoe 1993 y Pontual et al. 1997.

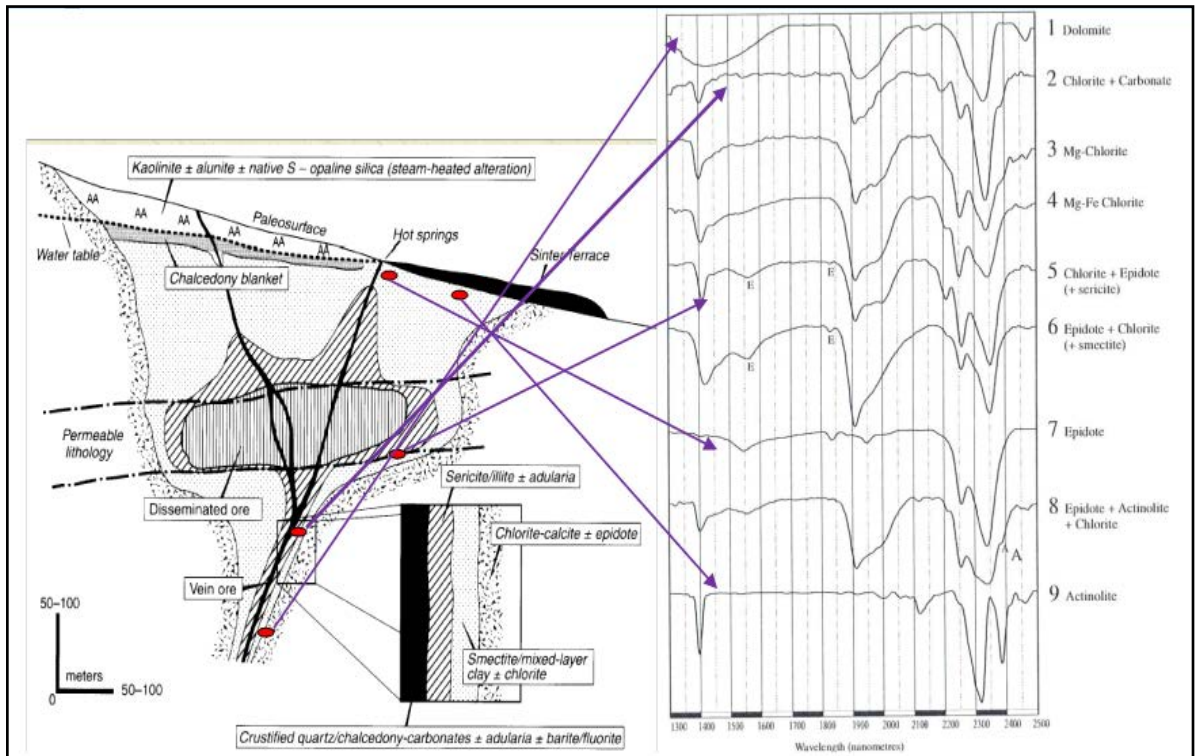


Fig. 28. Alteración Propilitica con sus respectivos espectros de reflectancia. Tomado de Sillitoe 1993 y Pontual et al. 1997.

5.2 Depósitos Epitermales de Baja Sulfuración

La alteración en depósitos de baja-sulfuración se caracteriza por las texturas de reemplazamientos de adularia y calcita dentro de vetas de cuarzo con gradaciones hacia las rocas de caja a zonas de illita, illita-esmectita e illita-esmectita-clorita. Calcita también puede ocurrir dentro de la zona de alteración.

5.2.1 Deposito Epitermal de baja Sulfuración San Martin

El Prospecto San Martin está ubicado dentro de la comunidad de Quiñota Collana, distrito de Puyca, provincia de La Unión y región política de Arequipa. Destacan dos targets, denominados San Martín (vetas epitermales de Intermedia Sulfuración) y Jackelyn (sistema ácido – sulfato) (**Fig. 29**).

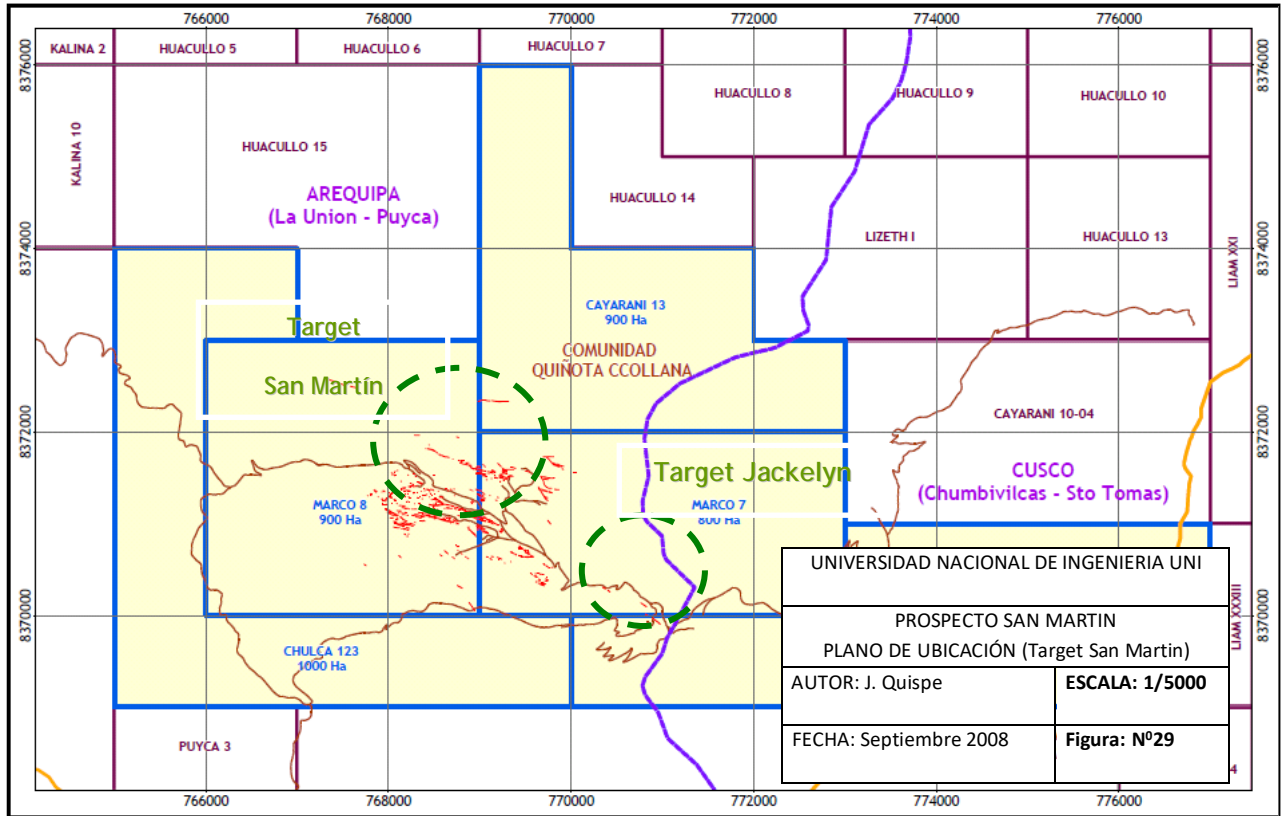


Fig. 29 Target San Martín y Jackelyn.

5.2.1.1 Target San Martín

Las estructuras mineralizadas en el *target* San Martín, están constituidas por vetas de relleno y reemplazamiento de sulfuración intermedia, hospedadas en los volcánicos basales y domos riolíticos.

El objetivo del trabajo fue determinar las características de las zonas de alteración con respecto a la mineralización usando el espectrómetro ASD FieldSpec Pro. En la zona del Proyecto San Martín, la principal alteración hidrotermal es la silicificación distribuida en halos centimétricos alrededor de las estructuras, seguido por un halo de argilización representado por el

ensamble Illita-esmectita que se distribuye de manera extensa en todo el proyecto.

La información fue obtenida de testigos de perforación (cada 2-3m) disponibles y algunas muestras de mano.

Alteración

Aplicando el análisis espectral se identificó los siguientes minerales de alteración, cuarzo en el núcleo que gradúa a cuarzo-caolinita y esta última a illita – esmectita (**Fig.30**). La alteración fue definida en base a los ensambles de minerales y las características de la alteración que fueron determinadas con el análisis espectral, usadas para predecir zonas de mejor mineralización. Los análisis espectrales se realizaron cada 2-3 metros hacia abajo de la perforación.



Fig. 30 Veta bandeada. San Martín. Tomado de Greg Corbett Rep. Int 2004.

5.2.1.2 Target Jackelyn

El Proyecto Jackelyn se ubica a 3 Km al Este del Proyecto San Martín y comprende tres sectores con variadas litologías.

El sector Norte presenta un paquete de andesitas porfiríticas de coloración grisácea, que infrayacen a un potente horizonte de lahar de similar composición. Cubriendo y rellenando pequeñas cuencas, se presentan afloramientos de tobas dacíticas y líticas y finalmente en la parte superior se observa lavas andesíticas afaníticas. En el sector central las lavas andesíticas de texturas afaníticas a porfiríticas, están cubiertas por tobas dacíticas con niveles puntuales de brechas piroclásticas. En el sector Sur afloran tobas dacíticas cortadas por domos riolíticos de textura bandeada. En el área de Jacqueline la alteración es del tipo ácido sulfato. La distribución espacial de la alteración hidrotermal consiste de un núcleo silicificado con una orientación NE - SO al NE se desarrolla un halo con alteración cuarzo - alunita que gradúa a cuarzo - caolín. Envolviendo a estas alteraciones la alteración argílica con ensamblajes del tipo dickita - caolínita e Illita – Smectita al borde se presenta propilitización. El resultado del análisis Espectral lo apreciamos en el **plano N° 01 de alteraciones del Prospecto San Martín al final del informe**, podemos ver claramente las zonas de alteración.

5.2.2 Depósito Epitermal de Baja Sulfuración Ares

El Yacimiento Aurífero Ares se localiza en el paraje de Vizcacuto a 30 Km. al NE del pueblo de Orcopampa capital del mismo nombre, provincia de Castilla, departamento de Arequipa.

El ambiente geológico del yacimiento, está constituido mayormente por tufos poco compactados y argilizados que afloran dentro de un área semicircular de aproximadamente 1.7 Km. de diámetro (“ventana volcánica alterada”), rodeada por rocas volcánicas frescas y más recientes, provenientes de 2 volcanes vecinos.

El Estudio de Alteraciones Hidrotermales en el Yacimiento Epitermal de baja sulfuración Ares se desarrollo principalmente en Veta de Ag/Au del sistema **Victoria** que veremos a continuación.

Los halos de alteración que se muestran en los planos están basados en los resultados obtenidos por el **Espectrómetro** y en la interpretación del geólogo. Este análisis se realizo bajo la técnica llamada Espectroscopia de Reflectancia.

5.2.2.1 VETA VICTORIA

La Veta Victoria es la principal ocurrencia mineral de la zona, presenta un afloramiento de 20m, y el resto se encuentra cubierta por volcánicos del barroso o por Cuaternarios, en interior mina se ha reconocido 1010m, de desarrollo a lo largo de su rumbo y de 220m a lo largo de su buzamiento; con rumbo N 60° a 70° E y buzamiento subvertical en el sector NE, de 65° a 80° al SE en el sector SW, con potencias variables de 0.50m. y en tramos de hasta 14m, es una estructura de comportamiento estructural variable.

Metodología

Los datos de ensambles de minerales de alteración se obtuvieron con los resultados del análisis espectroscópico. Para ello se realizo un muestreo sistemático donde, se tomaron muestras de mano de la parte central de la estructura (veta Victoria) cada 50m y su respectiva roca caja adyacente. Estas, muestras fueron tomadas de las diferentes labores: galerías, estocadas, tajos, ventanas y cruceros. Se obtuvo un total de 344 muestras de mano y 330 muestras de sondaje con respecto a Victoria.

Alteración

Ares exhibe en superficie, una alteración hidrotermal más extensa y notable que los yacimientos cercanos Arcata y Orcopampa, debido a que los afloramientos de tufos poco compactados se encuentran intensamente

caolinizados, originados posiblemente por su permeabilidad para la circulación de vapores calientes y de soluciones hidrotermales algo ácidas por encima del nivel freático.

La parte superior de la veta Victoria alojada en tufos, se encuentra flanqueada por una ancha franja de alteración destructiva que gradúa lateralmente de caolinita a caolinita /clorita hacia la periferie con escasas diseminaciones de pirita mayormente oxidadas. La silicificación es muy débil y está restringida a una franja angosta menor a los 2 m. a ambos lados de la veta. Por debajo de los tufos, la parte inferior de la veta alojada en dacita, se encuentra flanqueada por una franja de alteración argílica mas angosta, que gradúa lateralmente de una banda delgada de caolinita/illita adyacente a la veta a illita/caolinita con diseminaciones de pirita de grano fino y finalmente a illita/esmectita hacia la periferie. La silicificación afecta más intensa y extensamente a la dacita en algunos sectores hasta más de 100 m. de la veta.

La alteración en la Veta Victoria se caracteriza por un alto contenido de caolinita/illita, mostrando al mismo tiempo que esto se relaciona con buenas leyes de oro. Es notable la presencia de caolinita junto con illita, dentro del relleno de veta, no obstante que estos minerales se forman en diferentes ambientes físico-químicos. Al parecer parte de la caolinita fue introducida por aguas meteóricas con un pH bajo, que se infiltraron en la estructura de veta durante la apertura de la falla que la alberga. Y otra parte de la caolinita se originó in situ, posiblemente por la alteración de la illita, debido a la evolución y cambios en la composición de las soluciones mineralizantes ascendentes.

La caolinita lo encontramos principalmente intercalado con cuarzo blanco coloforme y sílice negra bandeada (alta ley de oro) (**Fig. 32**), y llenando espacios abiertos de cuarzo blanco macizo con poco cuarzo gris (baja ley de oro) (**Fig. 33**).

En la roca caja tenemos a las andesitas algo argilizada con la presencia de zonas de Illita, Illita/Smectita-caolinita y más a la superficie algo de cloritas, la presencia de caolinita-illita es notoria en la estructura, en el **plano N° 02** vemos las zonas de alteración determinadas con la espectroscopia SWIR y VNIR. Es importante mencionar la presencia de una zona de Dickita – caolinita hacia el lado SW de la veta que indica una zona de mayor temperatura a diferencia de las demás coincidiendo con la zona de baja mineralización, esto lo podemos apreciar en la sección **03SW (lamina N° 01)** realizada en veta Victoria.

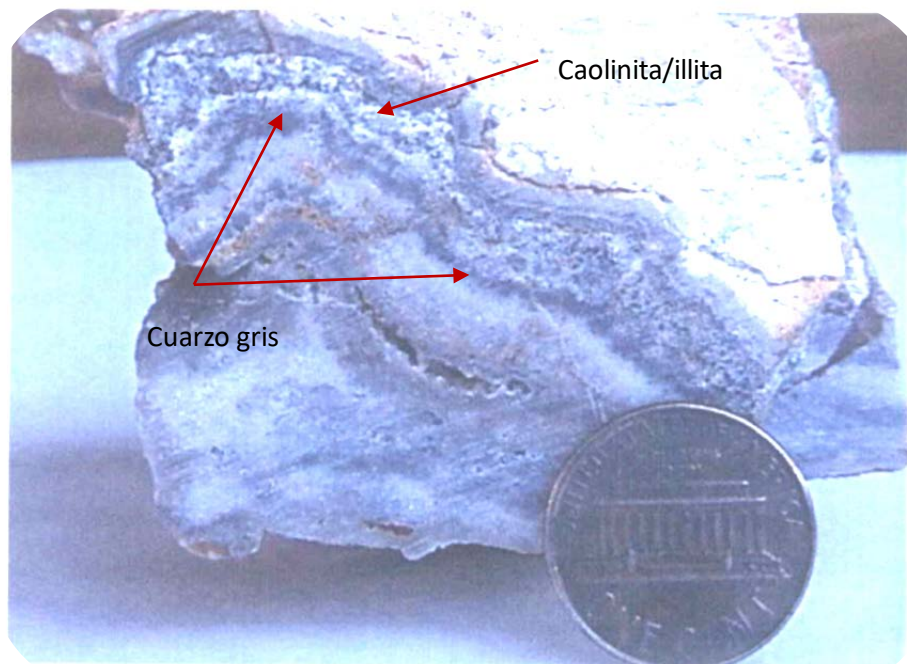


Fig. 32 Sílice negra intercalada con bandas delgadas de arcillas. Veta Victoria. Tomado de Leandro Echavarría 2002.

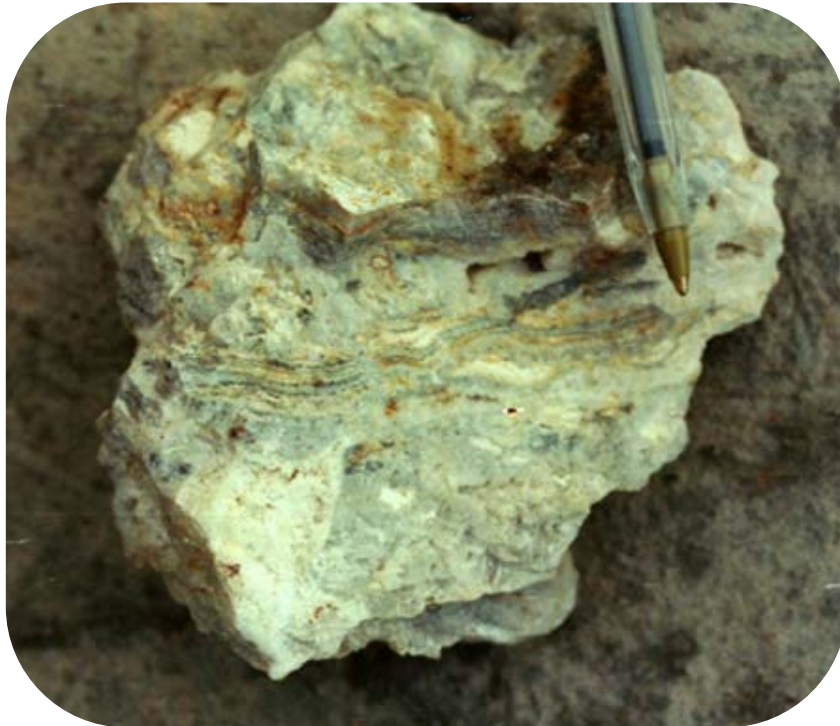


Fig. 33 Cuarzo blanco intercalado con escaso cuarzo gris. Veta Victoria. Tomado de Leandro Echavarría 2002.

.2.3 Deposito de Baja Sulfuración Pallancata

El proyecto Pallancata está localizado aprox. a 520km. al SW de Lima, departamento de Ayacucho. Abarca 19 concesiones mineras, 8 pertenecientes a IMC y 11 conjuntamente con Suroeste.

5.2.3.1 Trabajo de campo (Metodología)

Desarrollamos el siguiente trabajo:

Muestreo en los sondajes realizados

Se realizó un muestreo sistemático a lo largo de todo los sondaje DLPL-01, DLPL-02, DLPL.03, DLPL-04, DLPL-05, DLPL-6, DLPL-7 donde, se tomaron muestras cada 30 m en el caso de la roca caja, pero en tramos de veta las distancias fueron más pequeñas. Se recolecto un total de 224 muestras.

5.2.3.2 Mineralización

Han sido identificadas cuatro áreas principales de mineralización, cubriendo un área aproximadamente de 20km²; Pallancata, Mariana, Soroche y Ranichico. Está presente una mineralización de baja sulfuración Ag-Au en un sistema complejo de vetas, brechas y zonas silicificadas. Las zonas de veta comprenden vetas brechadas de cuarzo blanco lechoso a semitraslúcido de grano grueso con clastos in situ con texturas de reemplazamiento de carbonatos y lixiviación parcial. Se aprecian múltiples eventos de vetilleo y brechamiento.

La estructura de Pallancata es el objetivo principal en el área, es una zona compleja de multi eventos de vetilleo y fallamiento, los cuales se acuñan, se bifurcan y muestran zonas de gran dilatación.

La mineralización generalmente es pobre en sulfuros e incluye argentita, (pirargirita/proustita), pirita, marcasita, galena, esfalerita, electrum y oro nativo muy escaso. La mayoría de la mineralización de plata en los testigos, ocurren dentro de zonas de veta brecha con texturas de reemplazamiento de carbonatos.

5.2.3.3 Alteraciones Hidrotermales en Veta Pallancata

Pallancata es un sistema Epitermal de baja sulfuración caracterizado por vetas de cuarzo con contenidos de plata y oro, situado en la Cordillera Occidental del Sur de Perú.

La veta Pallancata tiene una extensión longitudinal superficial reconocida de 1.6 km, con potencias que pueden alcanzar hasta 5.85m en promedio (zona Noroeste); y se prolonga en profundidad hasta por lo menos 400m.

Es importante mencionar que para el análisis de Alteraciones Hidrotermales se hizo uso de un **Espectrómetro portátil ASD** (Analytical Spectral Devices), empleados típicamente para determinar la mineralogía de rocas

alteradas y así ayudar en la clasificación de los sistemas de mineralización, identificar los patrones de alteración, y consecuentemente, localizar mineralización económica. Gracias a ello podemos determinar los ensambles de minerales de alteración en conjunto que son importantes para entender la exploración de depósitos mineros hidrotermales.

El análisis de Alteraciones se realizó principalmente sobre los 7 primeros sondajes pertenecientes a la **Zona Oeste de Pallancata** (DLPL-01, DLPL-02, DLPL.03, DLPL-04, DLPL-05, DLPL-6, DLPL-7). En el plano **Nº 03** podemos apreciar la sección longitudinal de la veta, mostrando las zonas de alteración.

Gracias a la identificación de los minerales de alteración se puede ver que en esta zona oeste están presentes 3 tipos de alteración principalmente: Silicificación, Alteración argílica y la Alteración propilítica.

Alteración Argílica: Esta zona se caracteriza por presentar ensambles de Caolinita – Illita cercanas a la estructura principal pasando a zonas de Illita.

Alteración Propilítica: Está presente en zonas más distales a la estructura encontrándose típicos ensambles de Illita/Smectita, cloritas y cierto porcentaje de carbonatos.

Para tener una idea más clara de cómo va variando la alteración conforme nos alejamos de la estructura principal veamos lo que sucede en los sondajes

DLPL - A0 1

- Veta: encontramos principalmente un cuarzo oqueroso relleno por puntos esporádicos de sulfuros negros y **caolinita**.
- Caja piso: tenemos a la caolinita que va pasando a Illita – Caolinita conforme se aleja de la estructura. Esta caolinita en las cajas debe su presencia al venilleo de sílice en las mismas.

- Caja Techo: También tenemos el ensamble Caolinita – Illita, pasando a Illita / Smectita conforme se acerca a superficie. Casi toda la caja es toba lapillítica. (**Lámina N 02**).

DLPL - A0 2

- Veta: presenta cuarzo masivo, oqueroso y brechado cuyas oquedades están siendo rellenadas por caolinita.
- Caja Piso: tenemos como ensamble de alteración a la Illita pasando a Illita/Smectita
- Caja Techo: Cercana a la estructura encontramos buen porcentaje de caolinita pasando a una zona de Illita – Cloritas cercana a superficie. (**Lámina N 03**).

DLPL-A0 3

- Veta: Esta presente un cuarzo de textura oqueroso y masiva encontrando a la caolinita en las oquedades.
- Caja Piso: En esta zona está presente la Illita / Smectita principalmente con ciertos porcentajes de cloritas.
- Caja Techo: tenemos a la caolinita cercana a la estructura en halos muy pequeños pasando a Illita / Smectita donde los halos son más anchos. (**Lamina N 04**).

DLPL - A0 4

- - Veta: Qz hialino oqueroso, texturas de reemplazamiento, también encontramos a la Caolinita.
- Caja Piso: aquí la toba silicificado presenta a la Smectita pasando a illita como minerales de alteración.
- Caja Techo: En esta zona tenemos el ensamble Caolinita – Illita pasando a Illita – cloritas hacia la superficie. (**Lámina N 05**).

DLPL - A0 5

- Veta: Presenta textura brechosa, cuarzo brechado con clastos de roca caja silicificadas encontrando también a la caolinita como mineral de alteración.
- Caja Piso: tenemos al contacto con la estructura a la Illita.
- Caja Techo: Al contacto con la estructura se tiene un halo de Illita / Smectita pasando a Illita con cierto porcentaje de caolinita. **(Lamina N 06).**

DLPL - A0 6

- Veta: Presenta cuarzo blanco con venillas de sílice gris, cuarzo oqueroso y masivo con presencia de caolinita rellenando oquedades, aquí se la encuentra en mayor % comparado con los sondajes anteriores.
- Caja Piso: presenta una caja muy silicificada con un ensamble mineral de Illita / Smectita.
- Caja Techo: Presenta un halo amplio de caolinita en contacto con la estructura pasando a la Illita – Clorita y por ultimo encontramos a la Smectita cercana a superficie.
- En estas cajas se encuentra un halo ancho de caolinita. **(Lamina N 07).**

DLPL - A0 7

- Veta: Textura masiva, oquerosa y brechada, cuarzo hialino con sílice gris en parches y presencia de caolinita.
- Caja Piso: En contacto con la estructura, tenemos un amplio halo de caolinita mayor a la que se tiene en el techo, pasando a Illita a más profundidad.

- Caja Techo: También tenemos a la caolinita como mineral de alteración, en halos mas angostos pasando a una zona de mucha Illita con algo de cloritas e Illita / Smectita acercándose a la superficie. **(Lamina N 08)**.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- 1.- La Espectroscopia Infraroja es un método bien establecido para la detección de variaciones químicas y la tendencia de la cristalinidad en los minerales, basada en la posición de la longitud de onda, anchura y profundidad del espectro.
2. La cartografía Espectral es rápida, objetiva y exacta, ya que son capaces de medir 1500-2000 metros de testigo de perforación por día, por lo tanto también es muy rentable.
- 3.- La cartografía Espectral de alteraciones nos permite, por ejemplo distinguir entre una biotita rica en Fe y Mg y determinar la cristalinidad de la caolinita.
- 4.- Los mapas espectrales de los minerales de alteración son aplicables a una variedad de ambientes de depósitos que incluyen Epitermales de alta y baja sulfuración, pórfido, mesotermal, VMS, kimberlitas, skarn, IOCG y depósitos de carbonato.
- 5.- Las interpretaciones se pueden aplicar en tiempo real para guiar una perforación y exploración.
- 6.- Los datos de espectros se utilizan para describir y cartografiar la distribución de los diferentes ensambles de alteración hidrotermal.
- 7.- La interpretación espectral es de gran ayuda en la búsqueda de vectores hacia las zonas potenciales del sistema de alteración.
- 8.-La cristalinidad de los minerales puede ayudar a diferenciar illita de muscovita. La muscovita es mucho más cristalina.

9.- En la veta Pallancata, la caolinita es el mineral de alteración que está presente en toda la estructura.

10.- La mayor mineralización de plata en los testigos de veta Pallancata, ocurren dentro de la veta brechada con texturas de reemplazamiento de carbonatos y texturas oquerosas que están siendo rellenados por óxidos y caolinita.

11.- En el sondaje DLPL - A06 de veta Pallancata se observa un amplio halo de alteración formado por caolinita debido a la presencia de venillas de cuarzo en las cajas que están en contacto con la estructura principal.

12.- En la Veta Pallancata se evidencia mineralización en las cajas (toba silicificadas) que tiene como ensamble de alteración a la Illita / Smectia e Illita.

13.- Ares exhibe en superficie, una alteración hidrotermal más extensa y notable que los yacimientos cercanos Arcata y Orcopampa, debido a que los afloramientos de tufos poco compactados se encuentran intensamente caolinizados, originados posiblemente por su permeabilidad para la circulación de vapores calientes y de soluciones hidrotermales algo ácidas por encima del nivel freático.

14.- Ares, y en particular la veta Victoria, se caracteriza por un alto contenido de caolinita y una relación, reportada por los geólogos del sitio, entre las altas leyes de oro con caolinita, y una rápida caída de oro debajo del nivel de desarrollo de caolinita.

15.- La extensa alteración de caolinita deriva de la reacción con la caja roca de los fluidos ácidos colapsantes generados por la oxidación de volátiles en la zona vadosa.

Recomendaciones

- 1.- Se recomienda que las muestras antes de ser analizadas deben estar bien secas (<35 °C).
- 2.- El muestreo para el análisis espectroscópico debe ser realizado al mismo tiempo que el logueo. Se recomienda que lo realice un geólogo.
- 3.- Para el análisis Espectroscópico es recomendable extraer el núcleo del fragmento de roca para evitar fuerte alteración supergénica.

BIBLIOGRAFIA

<http://www.asdi.com/mining-ore-properties/applications/exploration-epithermal-deposits>

<http://www.pimausa.com/>

<http://www.geocosas.files.wordpress.com/2008/02/swir.doc>

http://www.geopool.fi/data/GeoPool_SMAM_2008.pdf

Diego F. Ducart (2011). Introducción a la Espectroscopia de Reflectancia y su Aplicación a la Exploración Minera.

Spectral Mapping of Alteration Mineral. By Ab Scandinavian GeoPool LTD.

Spectral international, inc. (2006), Espectroscopia de Reflectancia Aplicada.

Brian K. Townley (2006). Metalogénesis: Hidrotermalismo y Modelos de Yacimientos, Geología Económica.

Hauff, P.L. 1993. SPECMIN TM Sistema de Identificación de Minerales y Archivo Espectral, v. 1 y 2.: Arvada, Colorado, Spectral International, Inc., 600 p.

Hunt, G.R., y Ashley, R.P. 1979. Espectros de rocas alteradas en el infrarrojo visible y el infrarrojo cercano: Economic Geology, v. 74, p. 1613-1629.

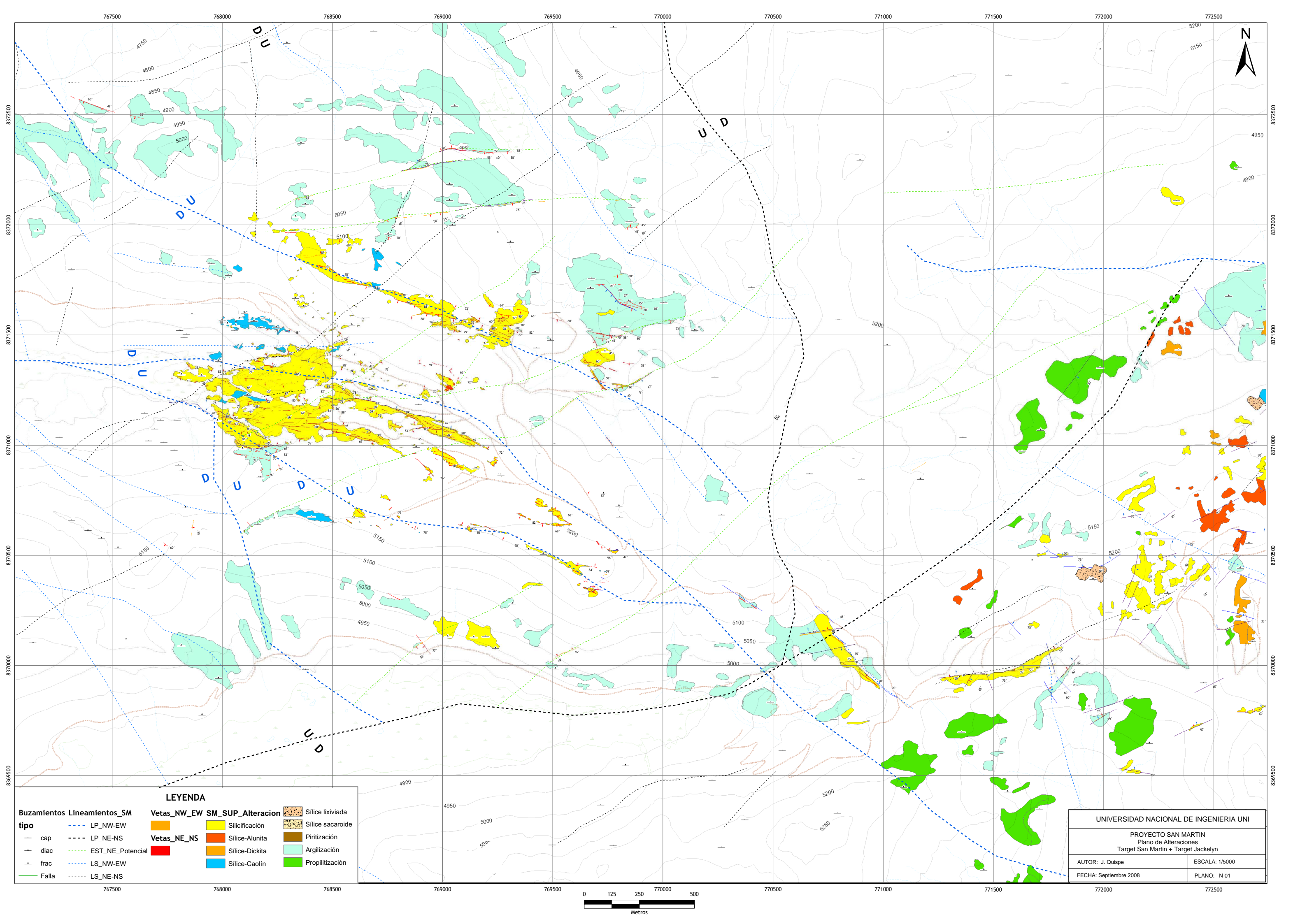
Minera Ares (2006). Informes internos del Proyecto San Martín, Ares y Pallancata.

Clark, R.N., King, T., Klefwa, M., Swayze, G.A. y Vergo, N. (1990). Espectroscopía de reflectancia de alta resolución para minerales: Journal of Geophysical Research, v. 95, no. B-8, p. 12,653-12,680.

Hugo Candiotti de los Ríos, Mauricio Hochschild, Leandro Echevarría (2004). Yacimiento Epitermal de Au-Ag de baja Sulfuración Ares.

G. Corbett (2002). Comentarios sobre los Proyectos en el Distrito de Ares, Arcata, Selene y Caylloma.

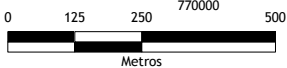
Leandro E. Echavarría (2002). Paragénesis Mineral Mina Ares.

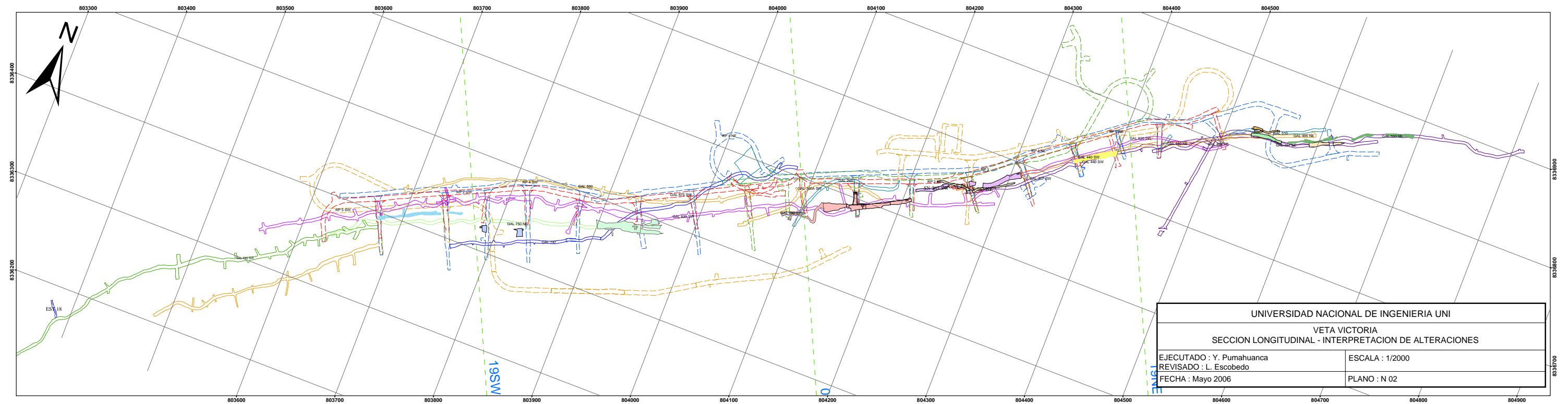
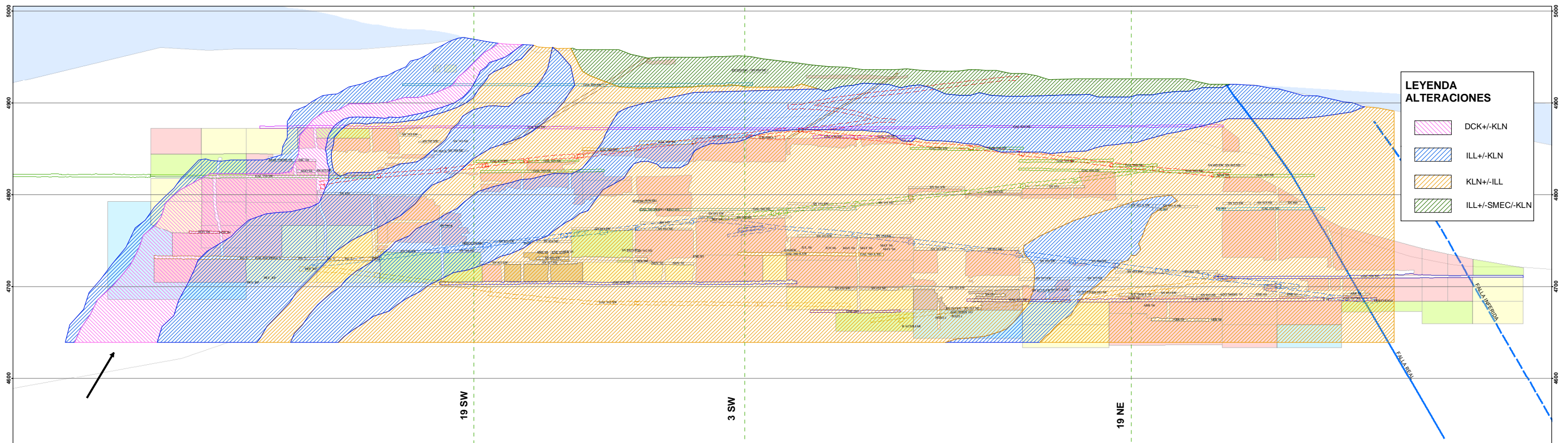


LEYENDA

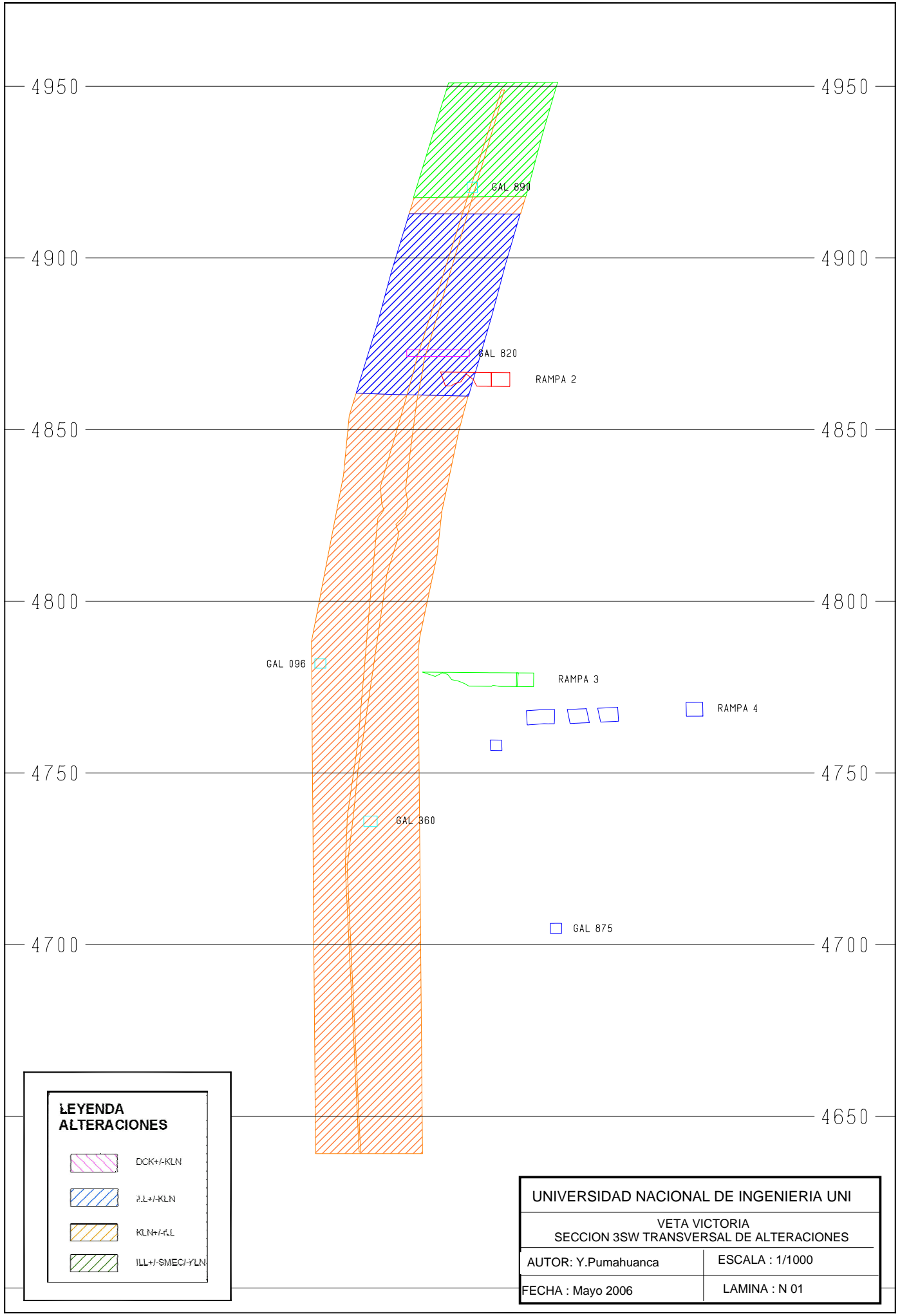
Buzamientos	Lineamientos_SM	Vetas_NW_EW	SM_SUP_Alteracion		Silice lixiviada
cap	LP_NW-EW		Silicificación		Silice sacaroides
diac	LP_NE-NS		Silice-Alunita		Piritización
frac	EST_NE_Potencial		Silice-Dickita		Argilización
Falla	LS_NW-EW		Silice-Caolin		Propylitización
	LS_NE-NS				

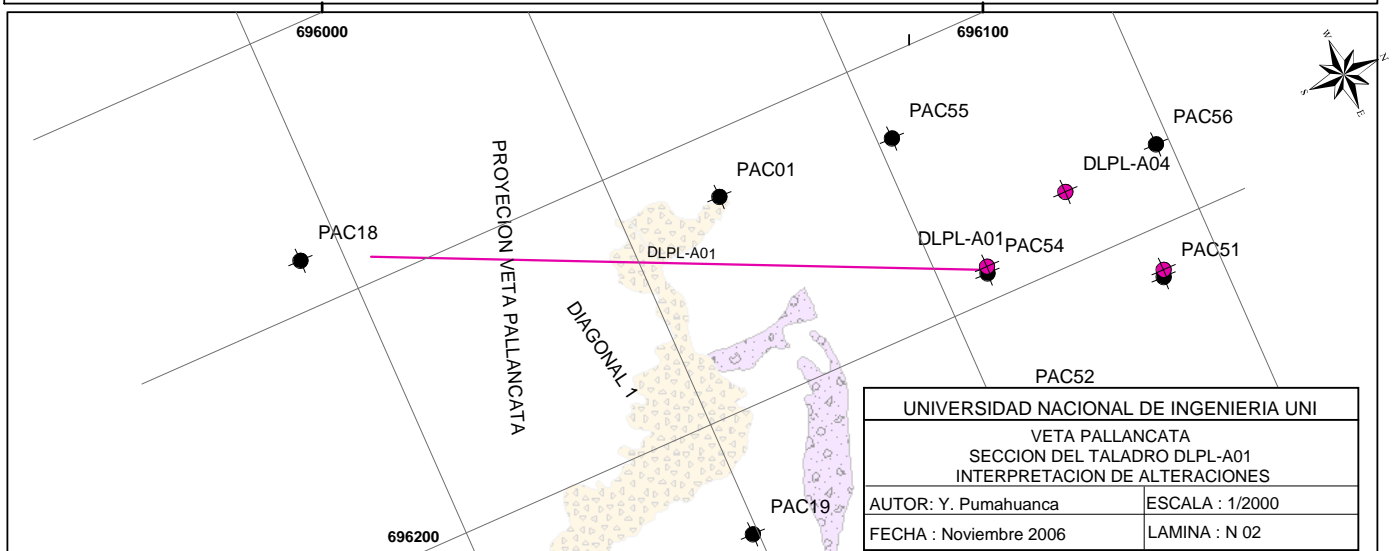
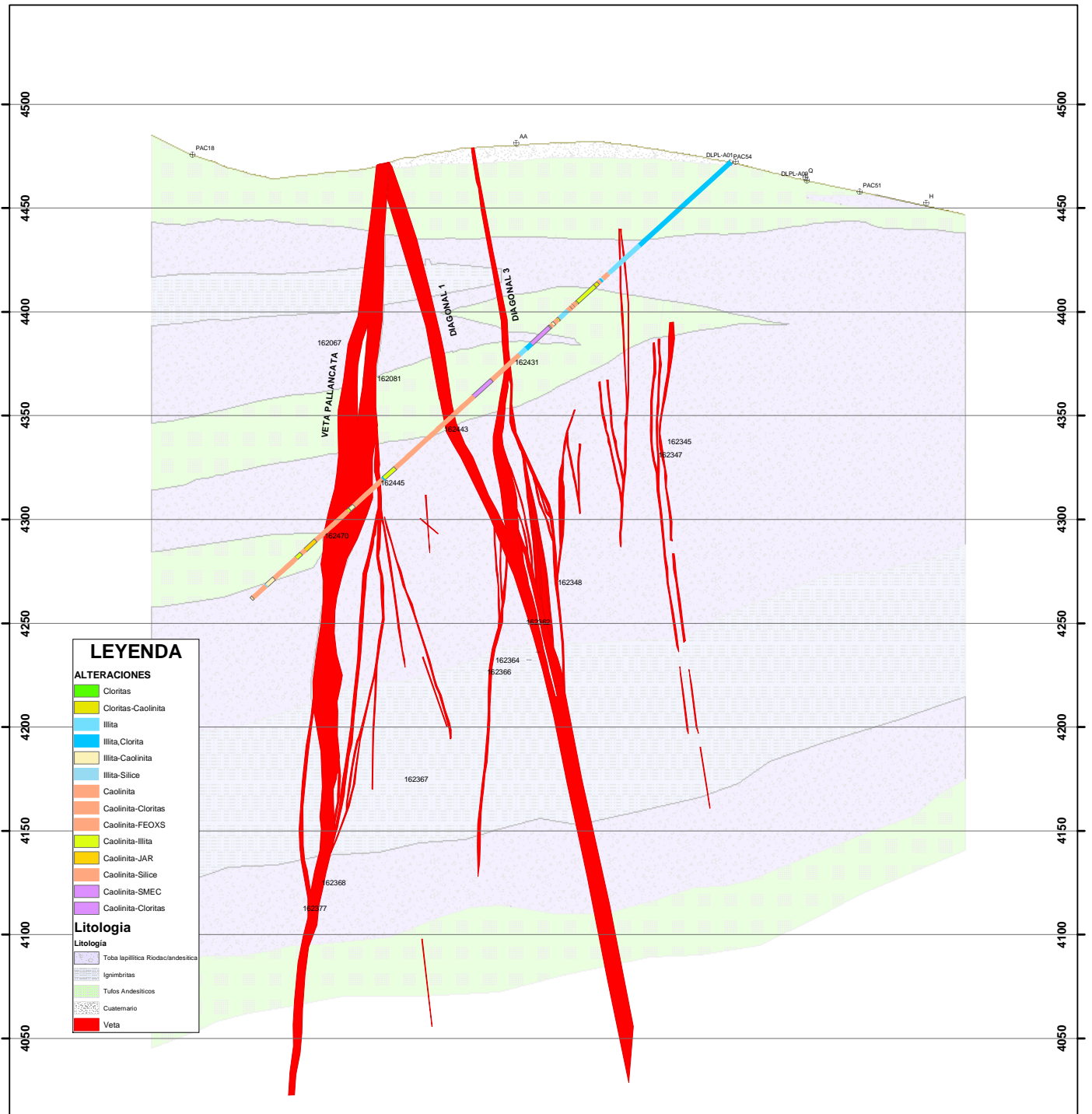
UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA UNI	
PROYECTO SAN MARTIN Plano de Alteraciones Target San Martin + Target Jackelyn	
AUTOR: J. Quispe	ESCALA: 1/5000
FECHA: Septiembre 2008	PLANO: N 01

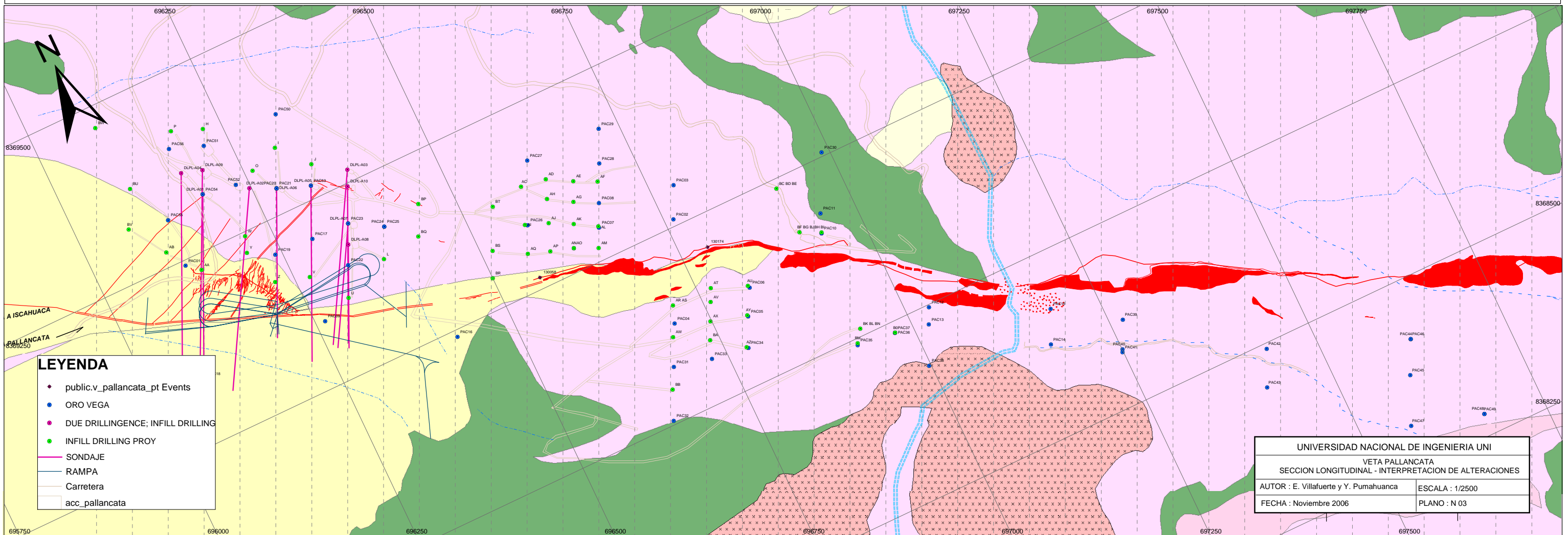
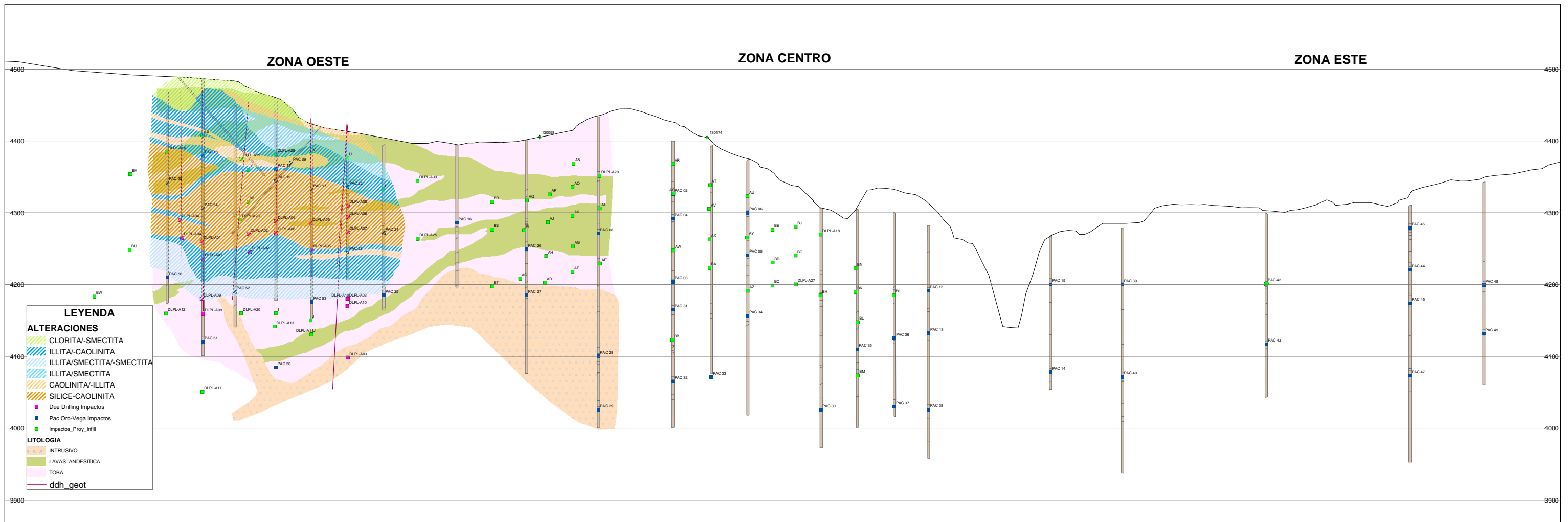


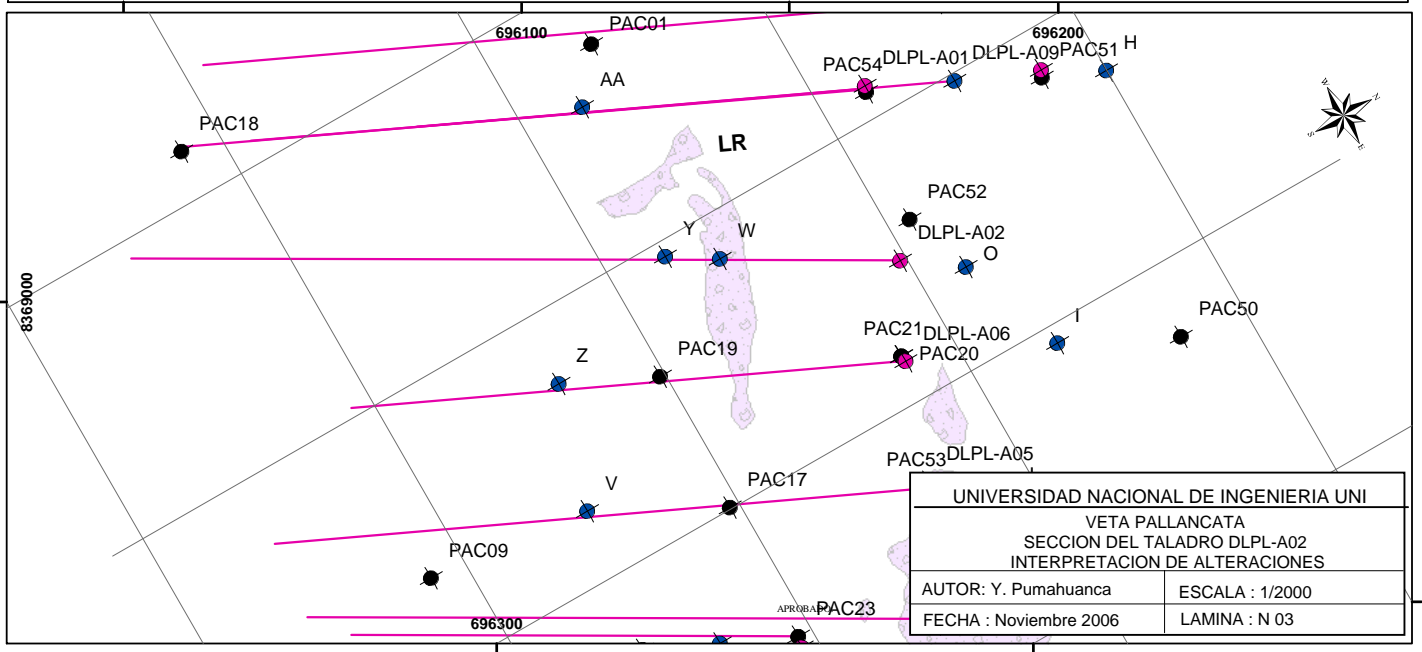
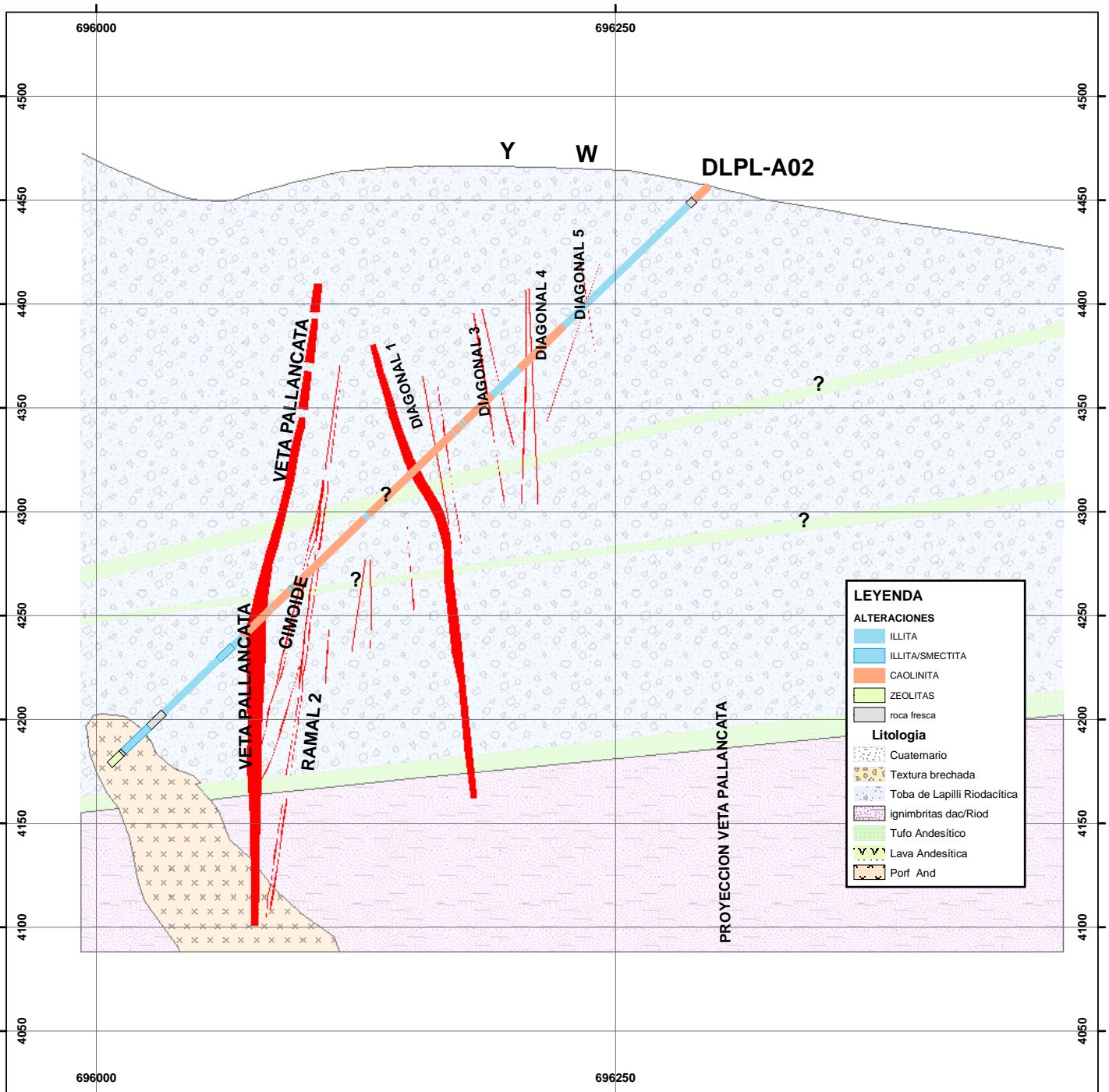


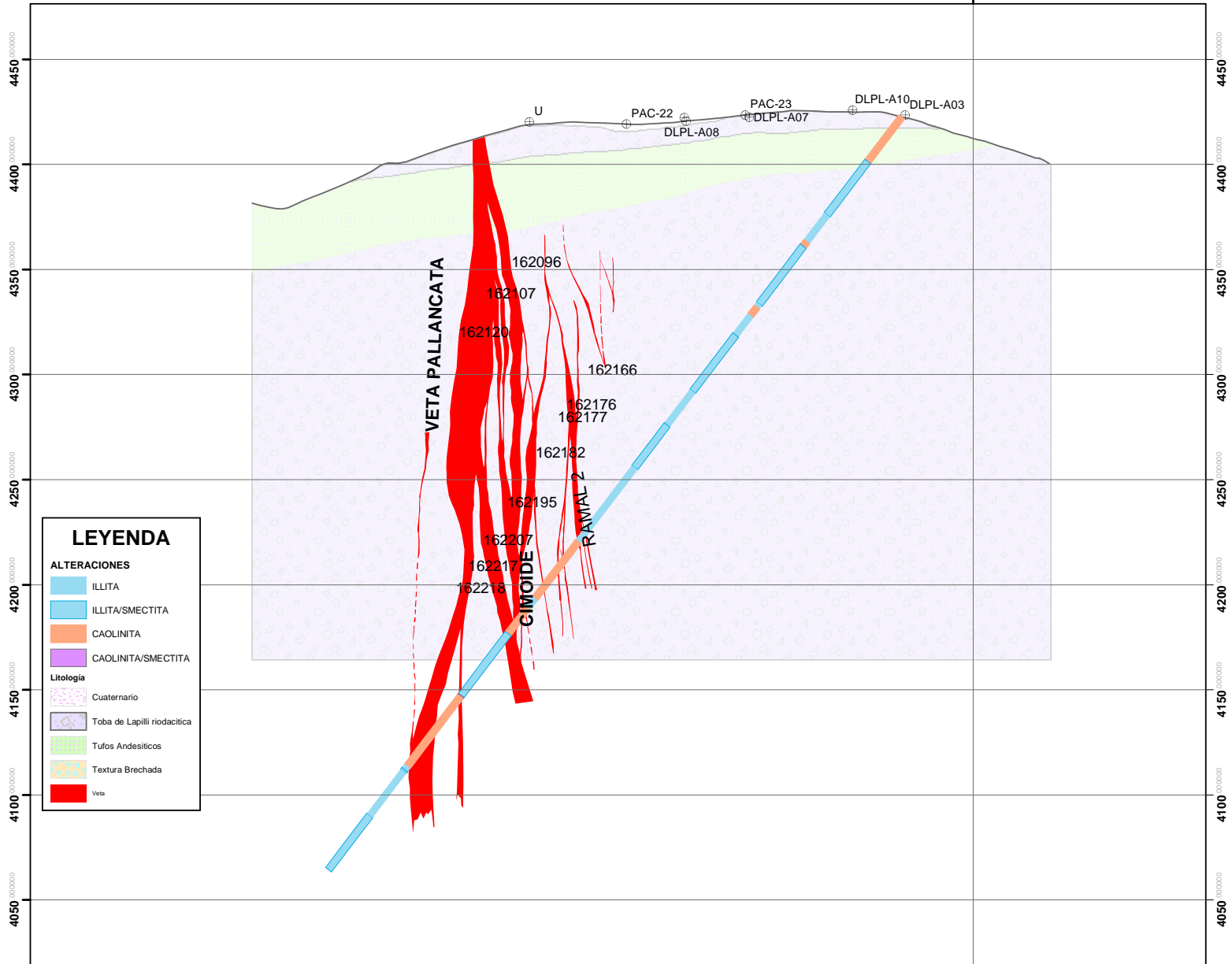
UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA UNI	
VETA VICTORIA	
SECCION LONGITUDINAL - INTERPRETACION DE ALTERACIONES	
EJECUTADO : Y. Pumahuanca	ESCALA : 1/2000
REVISADO : L. Escobedo	PLANO : N 02
FECHA : Mayo 2006	











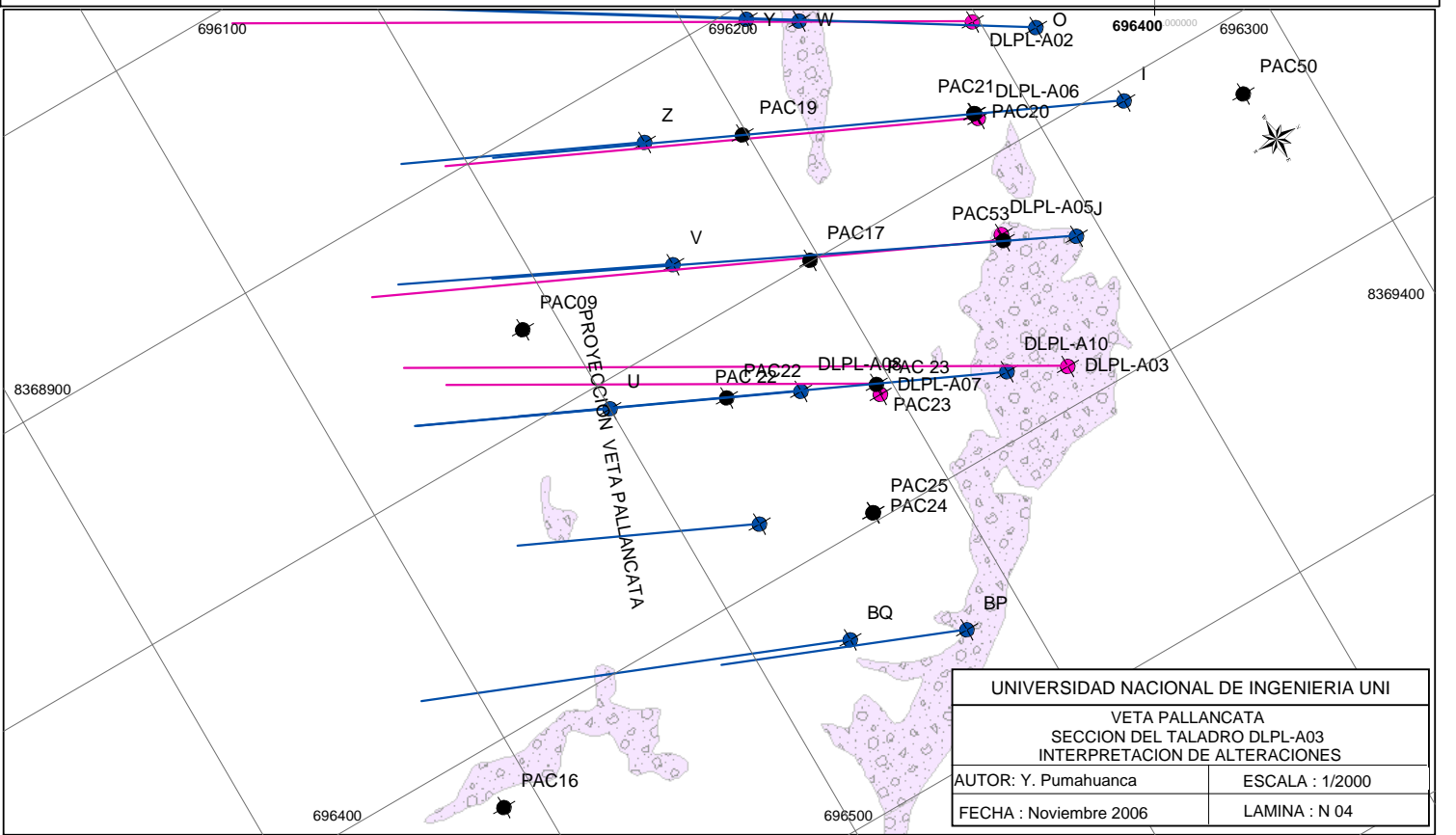
LEYENDA

ALTERACIONES

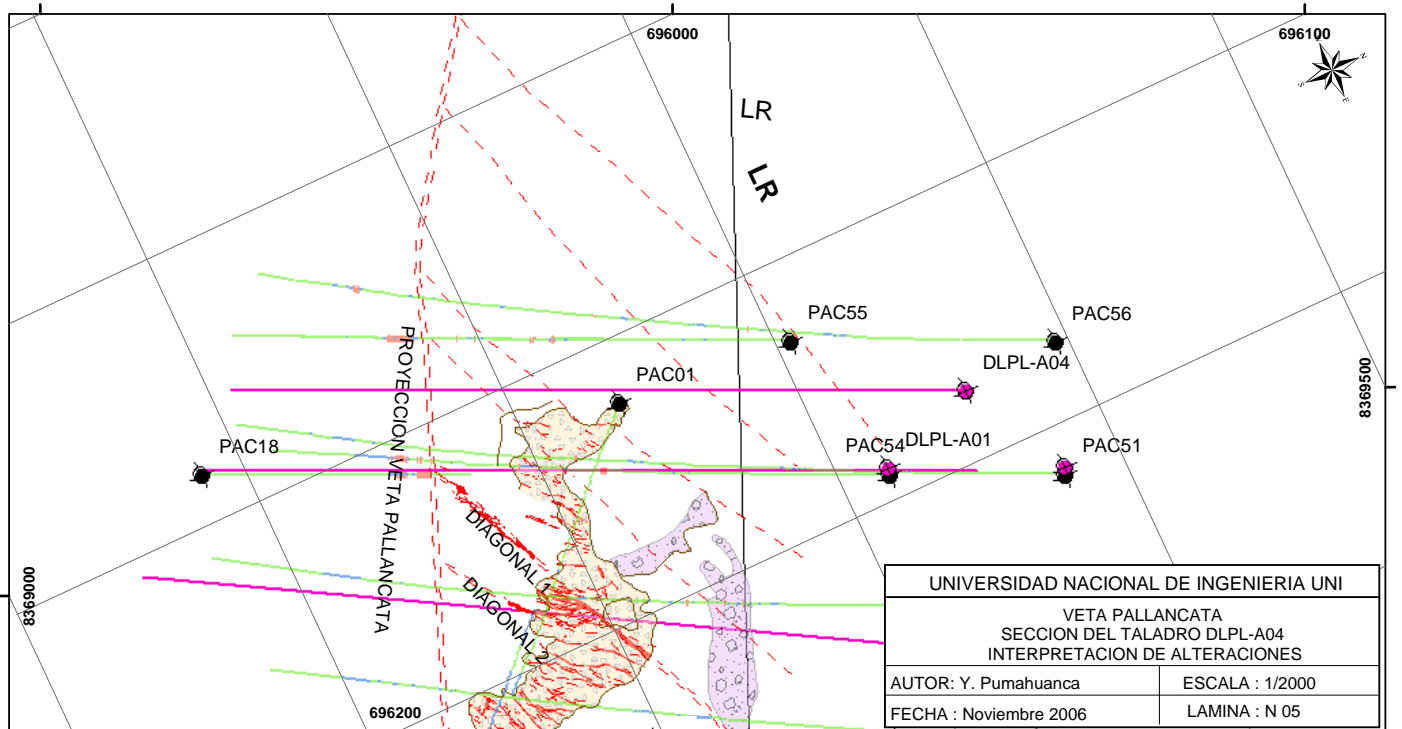
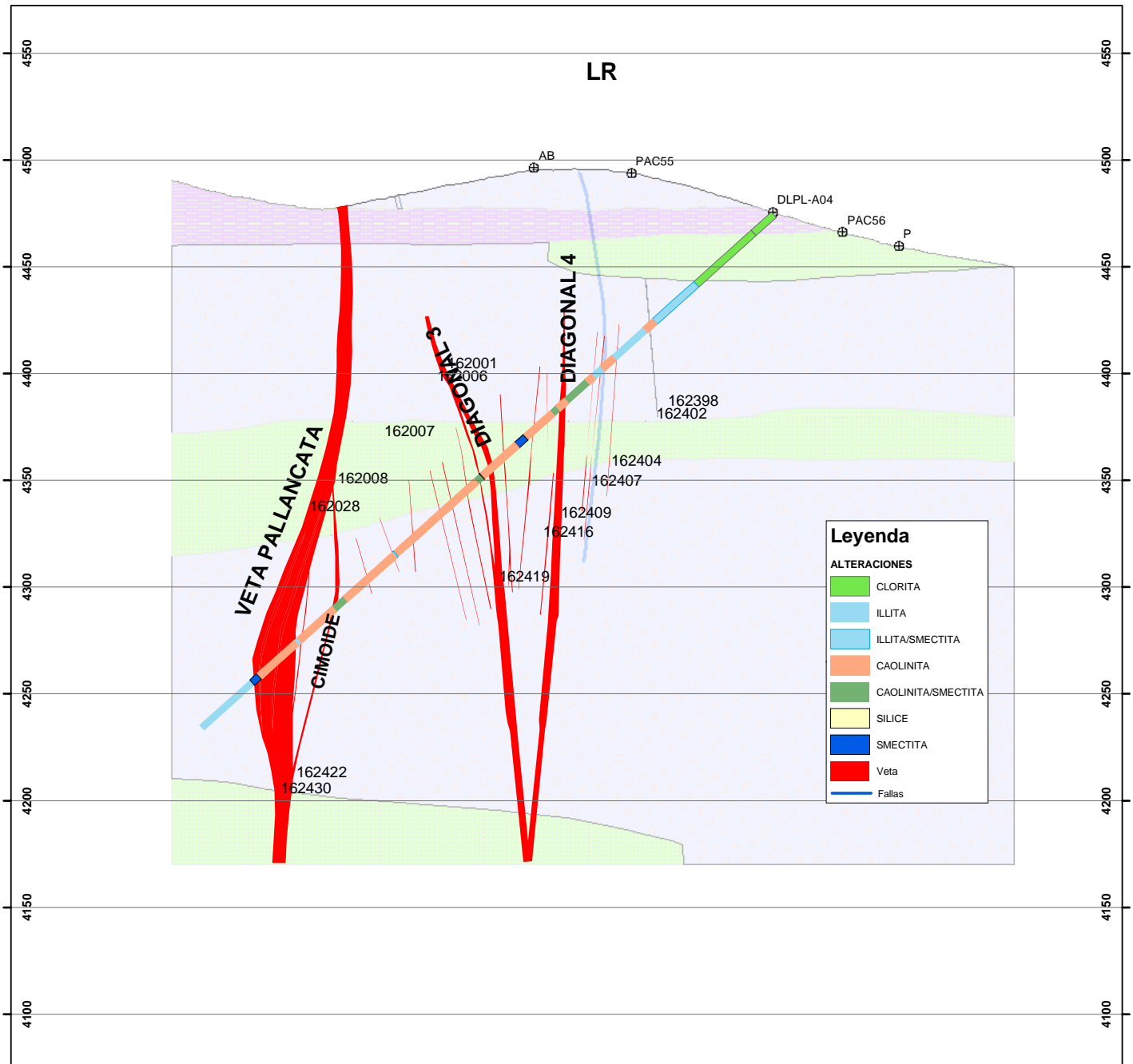
- ILLITA
- ILLITA/SMECTITA
- CAOLINITA
- CAOLINITA/SMECTITA

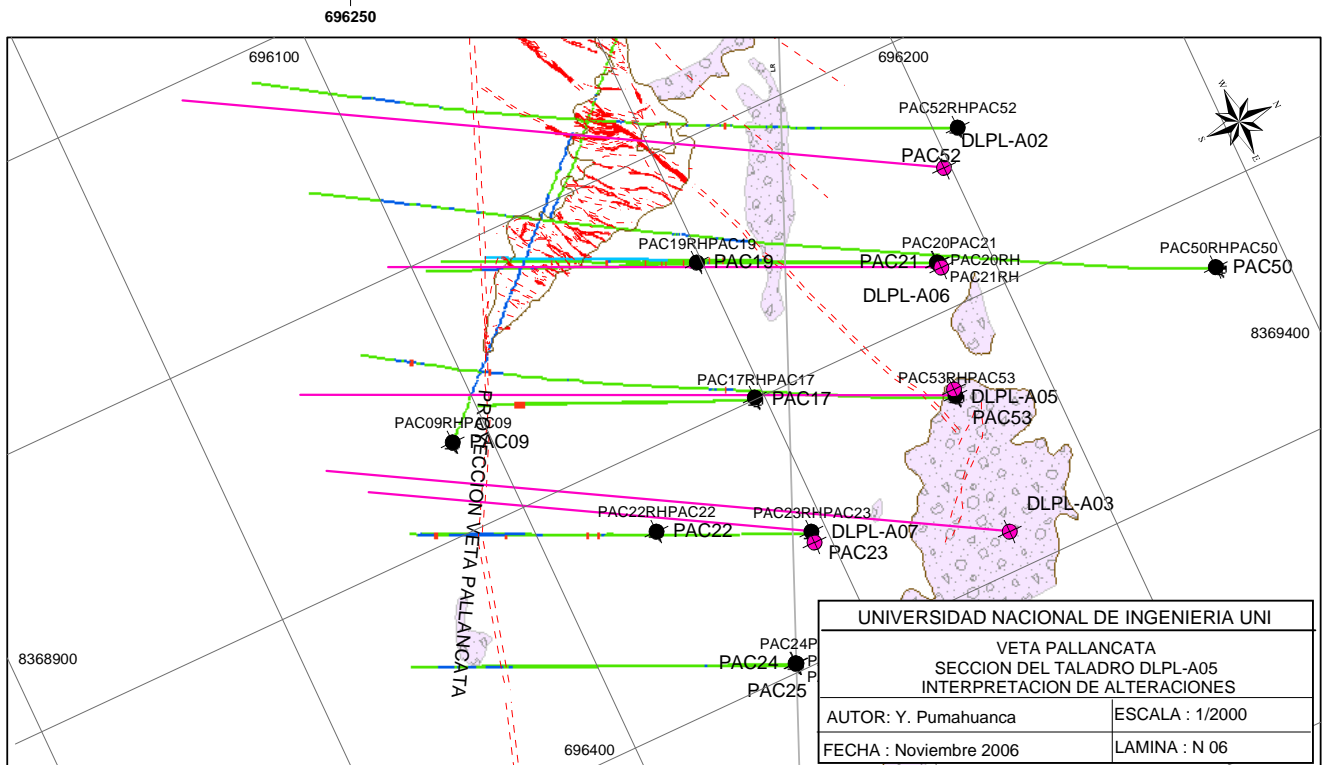
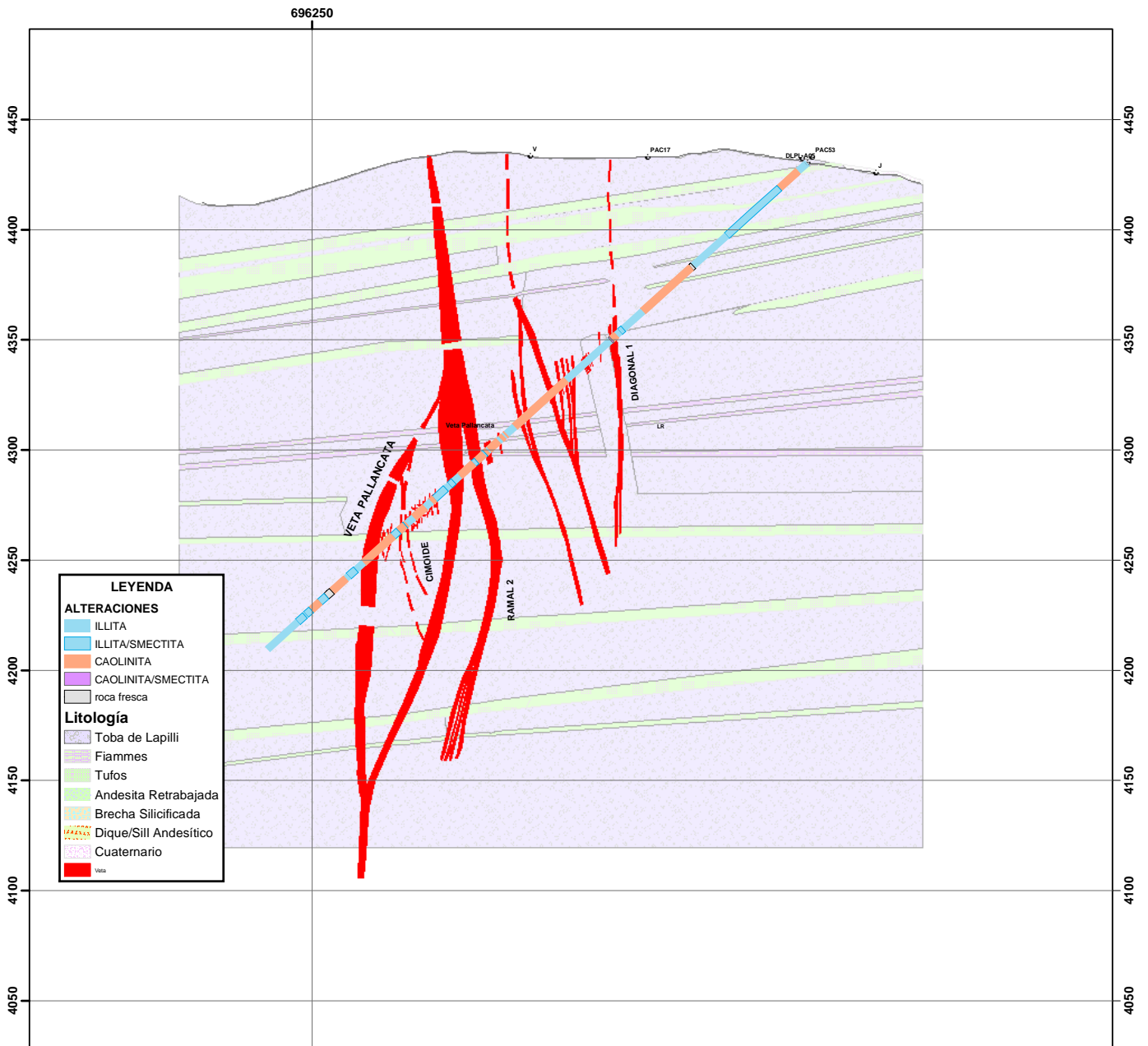
Litología

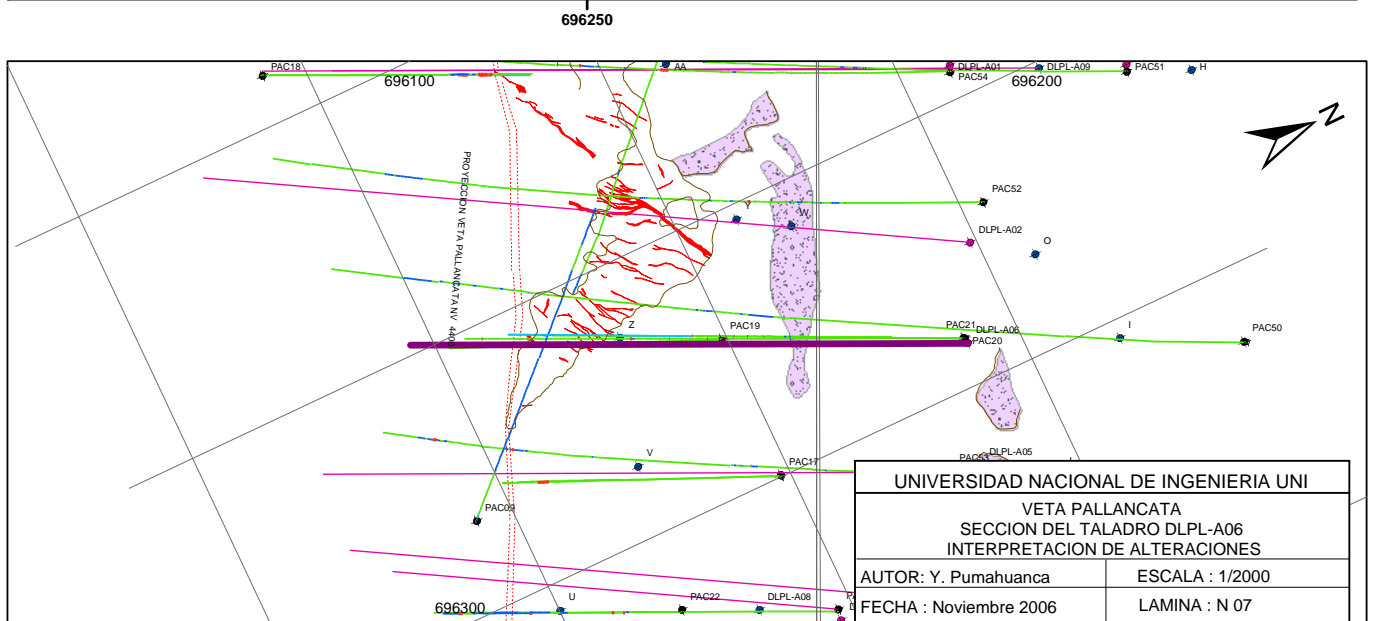
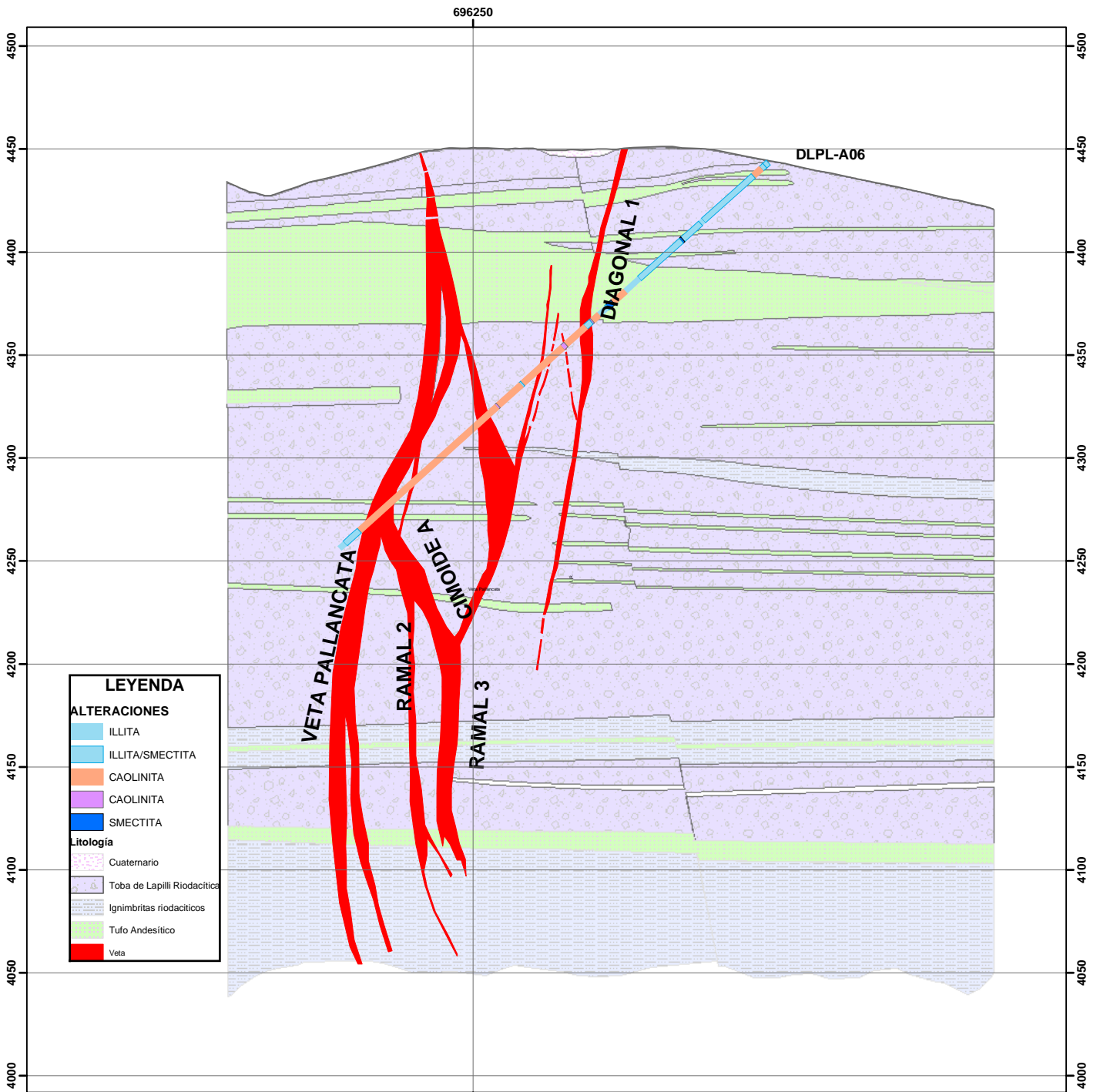
- Cuaternario
- Toba de Lapilli rioladitica
- Tufos Andesiticos
- Textura Brechada
- Veta

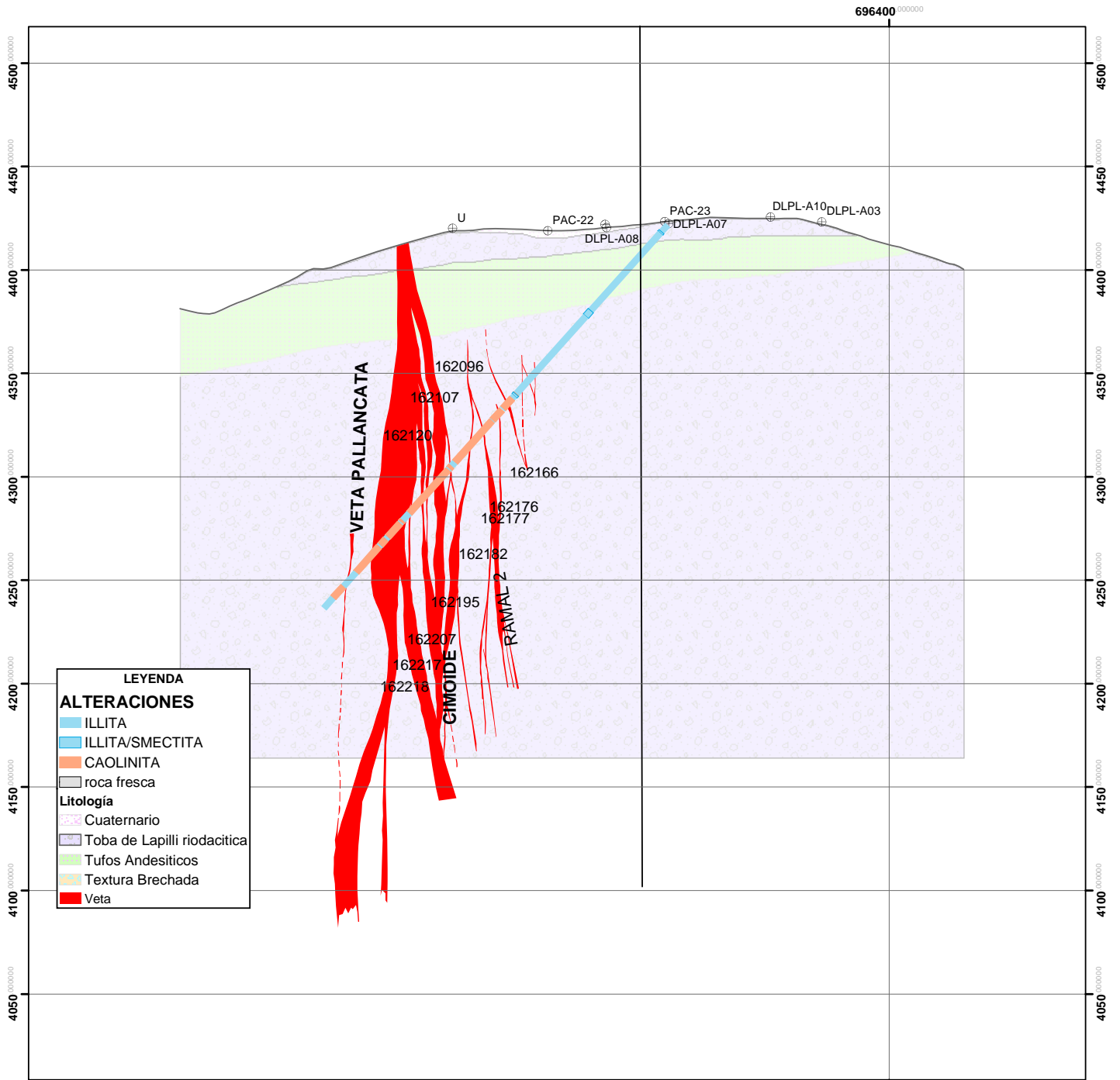


UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA UNI	
VETA PALLANCATA	
SECCION DEL TALADRO DLPL-A03	
INTERPRETACION DE ALTERACIONES	
AUTOR: Y. Pumahuanca	ESCALA: 1/2000
FECHA: Noviembre 2006	LAMINA: N 04









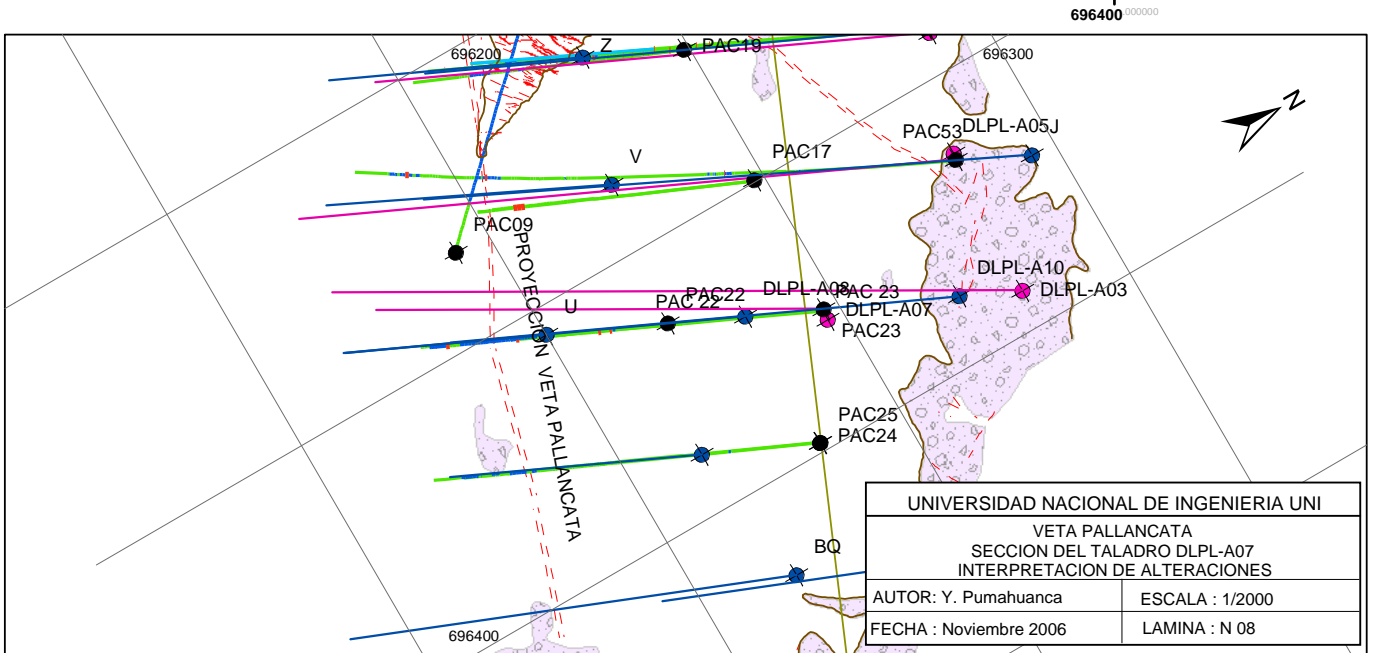
LEYENDA

ALTERACIONES

- ILLITA
- ILLITA/SMECTITA
- CAOLINITA
- roca fresca

Litología

- Cuaternario
- Toba de Lapilli riódacítica
- Tufos Andesíticos
- Textura Brechada
- Veta



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA UNI	
VETA PALLANCATA SECCION DEL TALADRO DLPL-A07 INTERPRETACION DE ALTERACIONES	
AUTOR: Y. Pumahuanca	ESCALA : 1/2000
FECHA : Noviembre 2006	LAMINA : N 08