

## **Geofísica**

- 4.0 Instrumentos
- 4.1 Instrumentos de Polarización Inducida
  - 4.1.1 Especificaciones técnicas del Transmisor GDD
  - 4.1.2 Especificaciones Técnicas del Receptor GDD GRx8-32
  - 4.1.3 Especificaciones Técnicas del PAD Allegro
  - 4.1.4 Especificaciones técnicas de Motor Honda
- 4.2 Instrumentos de Magnetometría
- 4.3 Mapas de Modelo de inversión de Cargabilidad y Resistividad Pampa Grande
- 4.4 Mapas Magnéticos y Modelo de Inversión Magnética
- 4.5 Teoría general de los métodos empleados
  - 4.5.1 Teoría General Estudios de Polarización Inducida – IP3D
    - 4.5.1.1 Resistividad Aparente
    - 4.5.1.2 Cargabilidad
    - 4.5.1.3 Error Standard
  - 4.5.2 Teoría General Estudios de Magnetometría
    - 4.5.2.1 Interferencia Cultural
- 4.6 Procesamiento de datos geofísicos
  - 4.6.1 Procesamiento de datos magnéticos y aplicación de filtros
    - 4.6.1.1 Reducción al Polo
    - 4.6.1.2 Primera y Segunda Derivada
    - 4.6.1.3 Señal Analítica
  - 4.6.2 Procesamiento de polarización inducida
    - 4.6.2.1 Modelo de Inversión RES3DINV

## **Geofísica**

- 4.0 Instrumentos
- 4.1 Instrumentos de Polarización Inducida
  - 4.1.1 Especificaciones técnicas del Transmisor GDD
  - 4.1.2 Especificaciones Técnicas del Receptor GDD GRx8-32
  - 4.1.3 Especificaciones Técnicas del PAD Allegro
  - 4.1.4 Especificaciones técnicas de Motor Honda
- 4.2 Instrumentos de Magnetometría
- 4.3 Mapas de Modelo de inversión de Cargabilidad y Resistividad Pampa Grande
- 4.4 Mapas Magnéticos y Modelo de Inversión Magnética
- 4.5 Teoría general de los métodos empleados
  - 4.5.1 Teoría General Estudios de Polarización Inducida – IP3D
    - 4.5.1.1 Resistividad Aparente
    - 4.5.1.2 Cargabilidad
    - 4.5.1.3 Error Standard
  - 4.5.2 Teoría General Estudios de Magnetometría
    - 4.5.2.1 Interferencia Cultural
- 4.6 Procesamiento de datos geofísicos
  - 4.6.1 Procesamiento de datos magnéticos y aplicación de filtros
    - 4.6.1.1 Reducción al Polo
    - 4.6.1.2 Primera y Segunda Derivada
    - 4.6.1.3 Señal Analítica
  - 4.6.2 Procesamiento de polarización inducida
    - 4.6.2.1 Modelo de Inversión RES3DINV

#### 4.0. Instrumentos

En el presente estudio las líneas de IP3D y líneas magnéticas fueron distribuidas según la Tabla 1 y 2.

<b>Líneas de Polarización Inducida 3D Sector San Apolonio y Ullapcham</b>					
<b>Datum WGS 84 UTM 17S</b>					
<b>Líneas</b>	<b>Coordenada inicial</b>		<b>Coordenada final</b>		<b>Longitud</b>
	<b>Este</b>	<b>Norte</b>	<b>Este</b>	<b>Norte</b>	
L-200	784172.4	784950.63	9119469.85	9120248.49	1.10
L0	784045.36	784816.96	9119620.03	9120397.62	1.10
L200	783906.28	784758.8	9119785.79	9120623.74	1.20
L400	784133.32	784702.97	9120182.75	9120834.68	0.89
L600	784071.81	784495.9	9120501.86	9120926.38	0.60
L800	783868.22	784363.37	9120582.8	9121081.03	0.70
L1800	785019.5	786818.14	9122980	9124245.12	2.20
L2000	785056.4	786610.21	9123243	9124342.7	1.93
L2200	784681.29	786566.3	9123237	9124555.45	2.31
L2400	784803.4	786426.8	9123568	9124713.04	1.99
L2600	784510.35	786149.34	9123604.36	9124750.61	2.02
L2800	785039.37	786398.93	9124219.69	9125140.81	1.64
L3000	785078.56	786294.43	9124489.47	9125369.43	1.50
L3200	785332.26	786083.15	9124833.16	9125460.39	1.00
L3400	785148.13	786015.6	9125032.4	9125667	1.08
L3600	785127.44	785918.77	9125253.86	9125817.75	0.97
<b>TOTAL</b>					<b>22.2 km</b>

Tabla 1 Cobertura obtenida con el Método IP3D

<b>Líneas de Magnetometría en el Sector San Apolonio</b>					
<b>Datum WGS 84 UTM 17S</b>					
<b>Líneas</b>	<b>Coordenada inicial</b>		<b>Coordenada final</b>		<b>Longitud</b>
	<b>Este</b>	<b>Norte</b>	<b>Este</b>	<b>Norte</b>	
L1800	784359.05	787231.43	9122524.14	9124531.1	3.72
L2000	784235.8	787100.79	9122677.87	9124683.53	3.77
L2200	784107.95	786976.6	9122833.56	9124844.6	4.04
L2400	783981.87	786849.32	9122985.8	9124999.96	4.21
L2600	783857.24	785152.86	9123147.36	9124089.04	1.94
L2800	784996.69	786457.76	9124272.8	9125270.76	2.03
L2800.1	783729.31	784835.14	9123295.77	9124083.86	1.56
L2800.2	784900.74	784964.02	9124128.37	9124172.22	0.10
L3000	784994.97	786386.7	9124430.91	9125406.53	1.79
L3200.1	784873.73	785836.64	9124571.88	9125270.67	1.26
L3200.2	785532.36	786317.69	9125048.95	9125608.02	1.00
L3400	784785.59	785984.65	9124602.17	9125611.92	1.77
L3600	785137.15	785999.06	9125198.6	9125868.35	1.49
L3800	785398.53	785889.07	9125601.88	9126030.65	0.83
LT1	784967.22	785373.68	9124089.46	9124208.45	0.49

<b>TOTAL</b>	<b>29.97</b>
--------------	--------------

<b>Líneas de Magnetometría en el Sector Ullapcham</b>					
<b>Datum WGS 84 UTM 17S</b>					
<b>Líneas</b>	<b>Coordenada inicial</b>		<b>Coordenada final</b>		<b>Longitud</b>
	<b>Este</b>	<b>Norte</b>	<b>Este</b>	<b>Norte</b>	
L-400	784718.3	785112.01	9119725.43	9120085.94	0.57
L-200	784579.76	784937.7	9119879.41	9120281.18	0.57
L0	784415.95	784786.16	9120006.27	9120349.42	0.53
L200	784295.23	784854.26	9120161.46	9120729.08	0.85
L400	784216.92	785393.3	9120373.82	9121553.02	1.74
L600	784087.91	785252.91	9120517.15	9121685.18	1.76
L800	783890.82	785113.09	9120586.3	9121824.55	1.95
LT1	784739.46	784852.45	9120348.98	9120725.92	0.47
LT2	784372.86	785113.12	9120085.94	9120755.87	1.07
LT3	784432.14	784579.27	9119877.98	9119981.75	0.19
LT4	784089.8	784215.69	9120374.68	9120518.55	0.20
LT5	785429.89	785832.39	9120679.56	9121071.78	1.02
<b>TOTAL</b>					<b>10.92</b>

Tabla 2 Cobertura obtenida con el Método Magnético

#### 4.1. Instrumentos de Polarización Inducida

En el ANAP Pampa Grande se trabajó con dos equipos GDD, un receptor modelo GRx8-32 y un transmisor modelo TxII-5000W, la fuente de alimentación fue un motogenerador eléctrico marca Honda modelo EG6500CXS de 6500 KW.

##### 4.1.1. Especificaciones técnicas del Transmisor GDD

Tabla 6.3 Especificaciones técnicas del Transmisor GDD

<b>Transmisor TxII 5000W</b>	
Peso	transmisor s/caja 40 kg
Dimensiones (incluye accesorios y caja)	35 x 52 x 70 cm
Rango de temperatura	-40C a 65C (-40F a 150F)
Base de tiempo	2s ON+, 2s OFF, 2s ON, DC, 1, 2, 4, 8 y 16 segundos
Corriente de salida	0.030 A 10 A (funcionamiento normal), Máximo de 5A en modo de la C.C.
Tensión de salida	150V a 2400V / 14 pasos
Fuente de alimentación	estándar de 220-240V/ 50-60Hz



Fig.6.1 Transmisor GDD Modelo TxII-5000w

#### 4.1.2 Especificaciones Técnicas del Receptor GDD GRx8-32

Tabla 6.4 Especificaciones Técnicas del Receptor GDD GRx8-32

Receptor GRx8-32	
Medida de polarización inducida, resistividad	dominio de tiempo
Canales	8, 10, 16, 24, 32
Lectura simultanea	32 dipolos
Configuración 3D	polo-dipolo, dipolo-dipolo, polo-polo, Wenner, Gradiente, Shlumberger-4 líneas x 8 canales, 2 líneas x 16 canales o 1 línea 1 x 32 canales
Resistente a	a impactos, portátil y resistente a las intemperies
Comunicación inalámbrica	(Bluetooth) o con un cable serie (RS-232)
Colección de datos	en tiempo real
Transferencia de datos	del PAD a la PC a través de un cable USB
Peso	23 Kg, con accesorios y caja de envío
Sincronización	Automático y el proceso de re-sincronización de las señales de tensión primaria
Veinte ventanas de cargabilidad programables	Modo Aritmético, logarítmico, semi-logarítmico, Cole y definido por el usuario
Parámetros leídos por el receptor IP GDD	resistividad aparente, cargabilidad, desviación estándar, % simétrico de Vp, stacks, etc.

Rango de temperatura	-40C a 60C (-40F a +140F)
----------------------	---------------------------



Fig.6.2 Receptor GDD Modelo GRx 8-32

#### 4.1.3. Especificaciones Técnicas del PAD Allegro

Tabla 6.5 Especificaciones Técnicas del PAD Allegro

Especificaciones Técnicas	
Sistema operativo	Microsoft Windows Mobile 6.1
Sistema de conexión	Bluetooth Clase 1 y un puerto RS-232
Procesador	Intel XScale PXA270, 624 Mhz
Memoria	128 MB RAM
Temperatura de funcionamiento	-30C a 54C (-22F a 130F)
Resistencia a tierra	Hasta 1.5 mW
Base de tiempos	0.5, 1, 2, 4, 8 y 16 segundos
Impedancia de entrada	5 GΩ
Protección	500V (en cada canal)
Entrada	Diferencial verdadero en configuración al dipolo
Medición de tensión	Resolución 1 mV, Precisión 0,5%
Medición de cargabilidad	Resolución 1 mV, Precisión 0,8%
Electrodos de corriente utilizados	3 estacas aceradas

Electrodos de Infinito	cuidadosamente preparado usando papel aluminio para tener una correcta continuidad entre electrodo y el terreno
Electrodos de potencial	se utilizaron 11 estacas aceradas

#### 4.1.4. Especificaciones técnicas de Motor Honda

Generador Honda modelo EG6500CXS s de 6500 KW provisto de arranque eléctrico y manual retráctil.



Fig.6.3 MotoGenerador Modelo EG6500CXS

Tabla 6.6 Especificaciones técnicas de Motor Honda

Especificaciones Técnicas	
Modelo	EG 6500 CXS
Generador	
Voltaje de salida de CA	220V
Frecuencia	60Hz
Salida máxima de CA	6.5 KVA
Salida nominal de CA	5.5 KVA
Salida nominal de CC	12.0 V - 8.3 A
Corriente promedio	25.0 A
Motor:	
Modelo	GX 390
Tipo de motor	4 tiempos, OHV, monocilindrico
Desplazamiento	389 cc
Potencia Máxima	13.0 HP / 3,600 rpm
Potencia neta	11.7 HP / 3,600 rpm
Sistema de arranque	A cuerda retráctil y Eléctrico
Avance de ignición	Magneto transistorizado
Capacidad de tanque de combustible	24 L

## 4.2. Instrumentos de Magnetometría

La siguiente Tabla muestra los equipos utilizados durante el presente estudio.

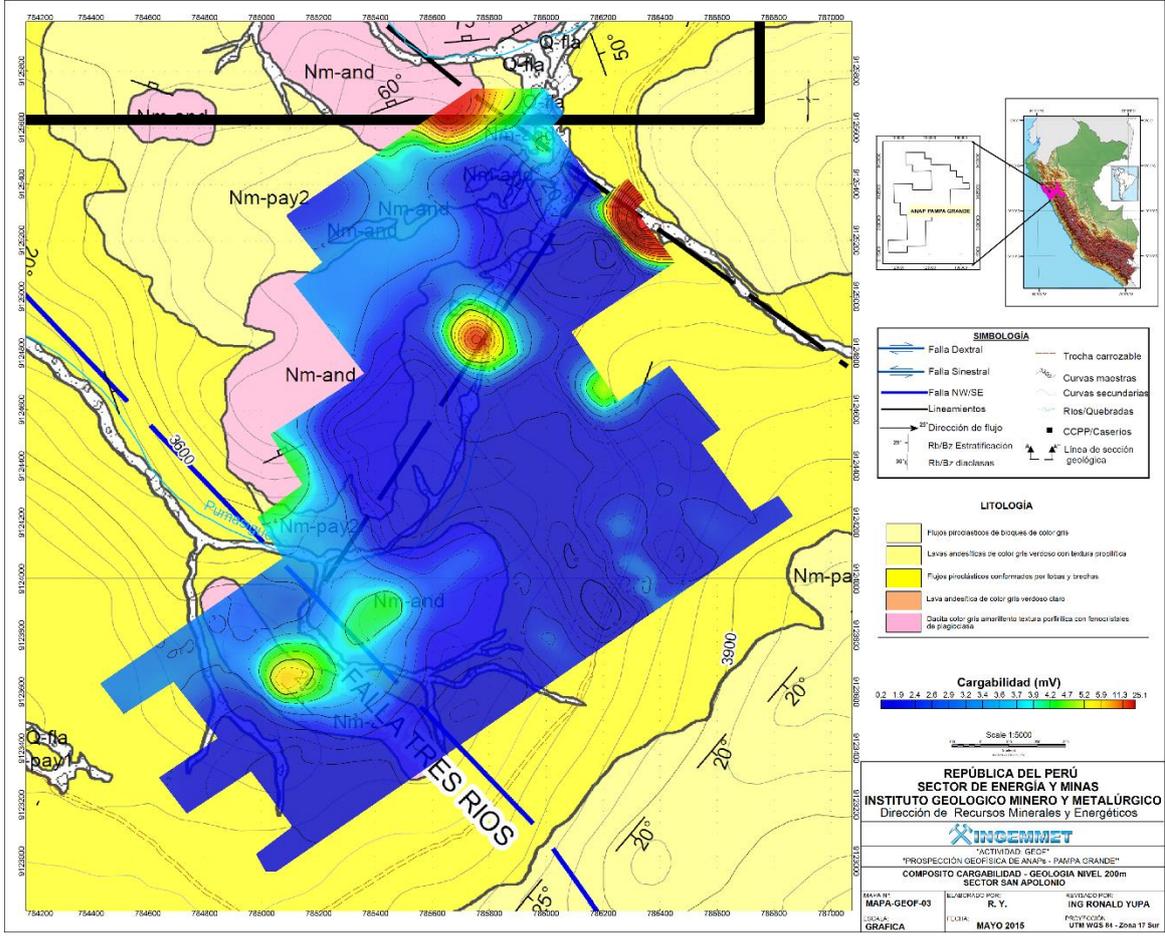
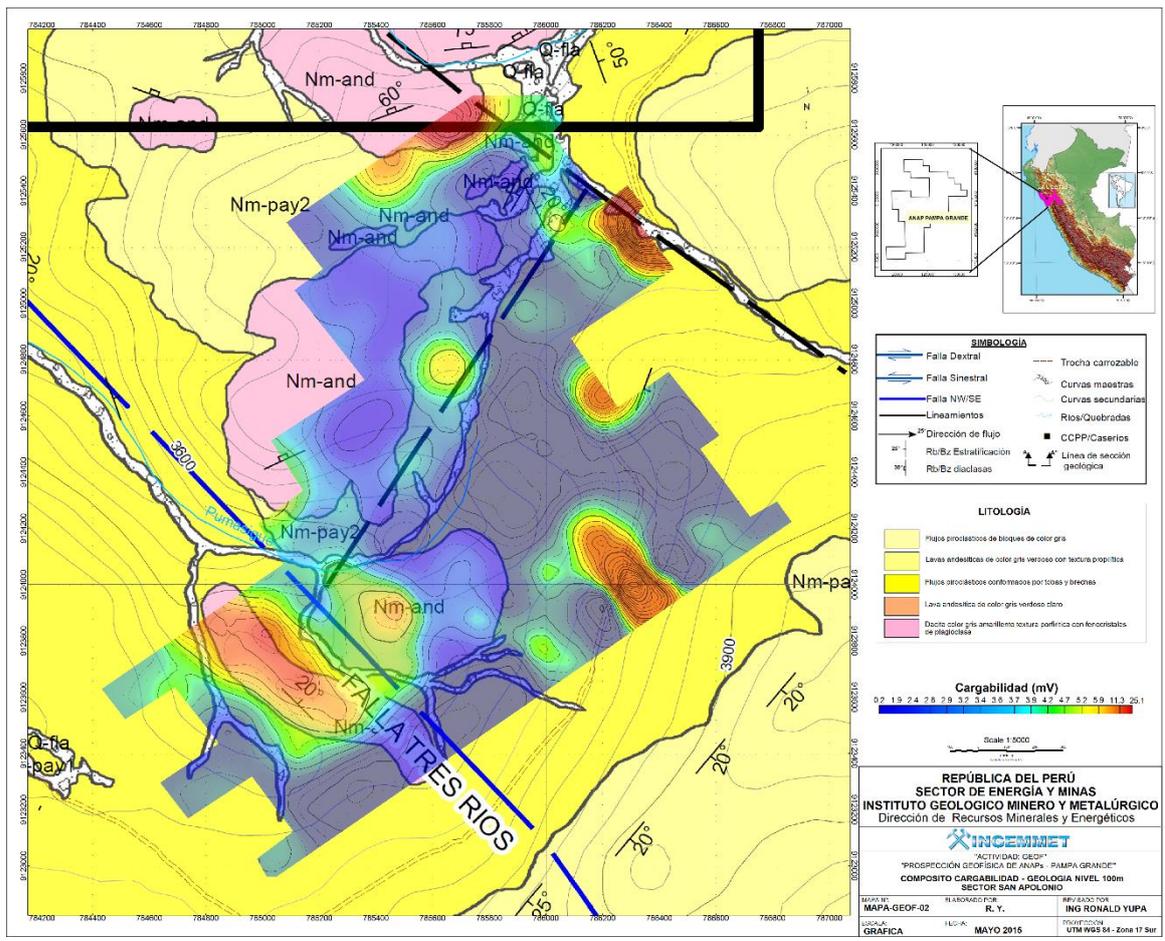
Tabla 6.7 Instrumentos utilizados en el estudio de Magnetometría

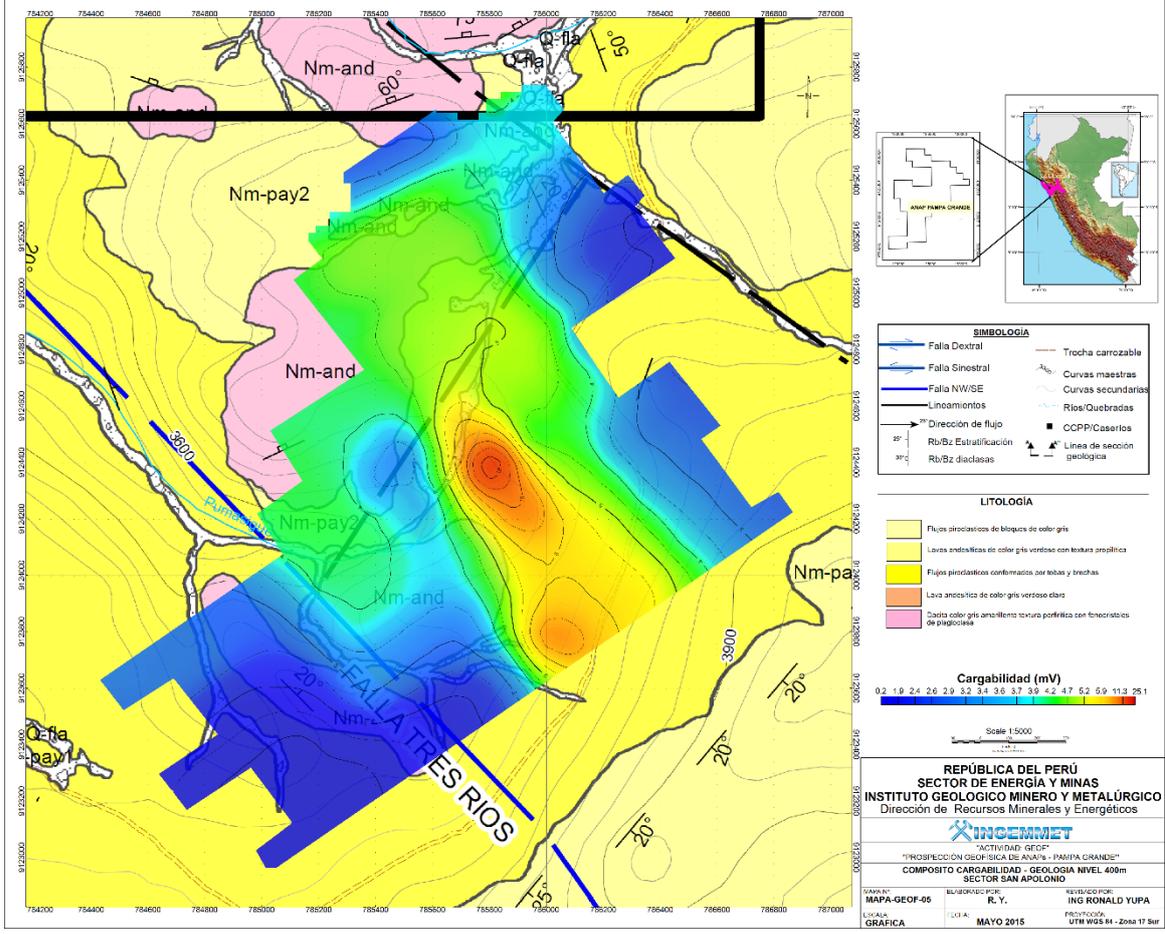
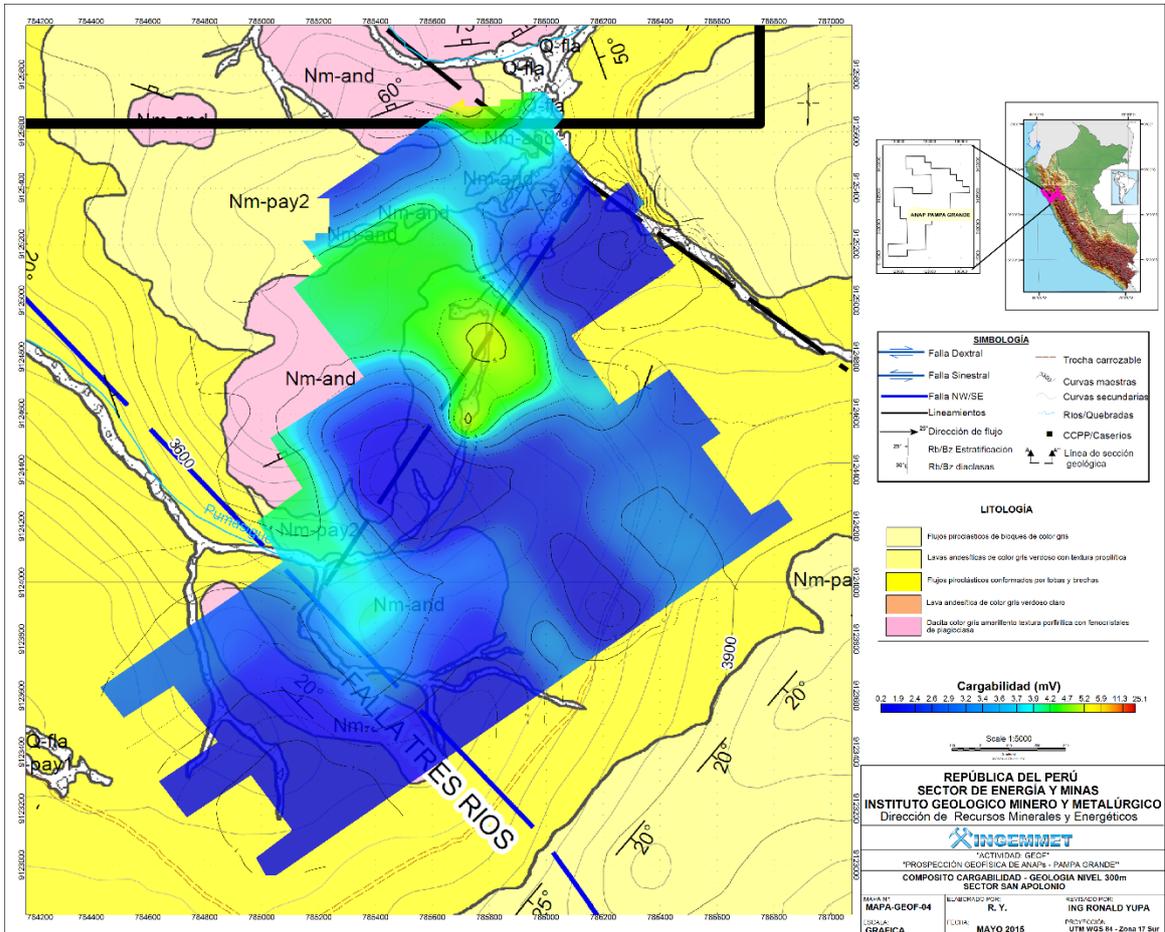
Instrumentos	Marca - Modelo
Magnetómetro Móvil	GEM System GSW-19W Overhauser
Magnetómetro Base	GEM System GSW-19W Overhauser

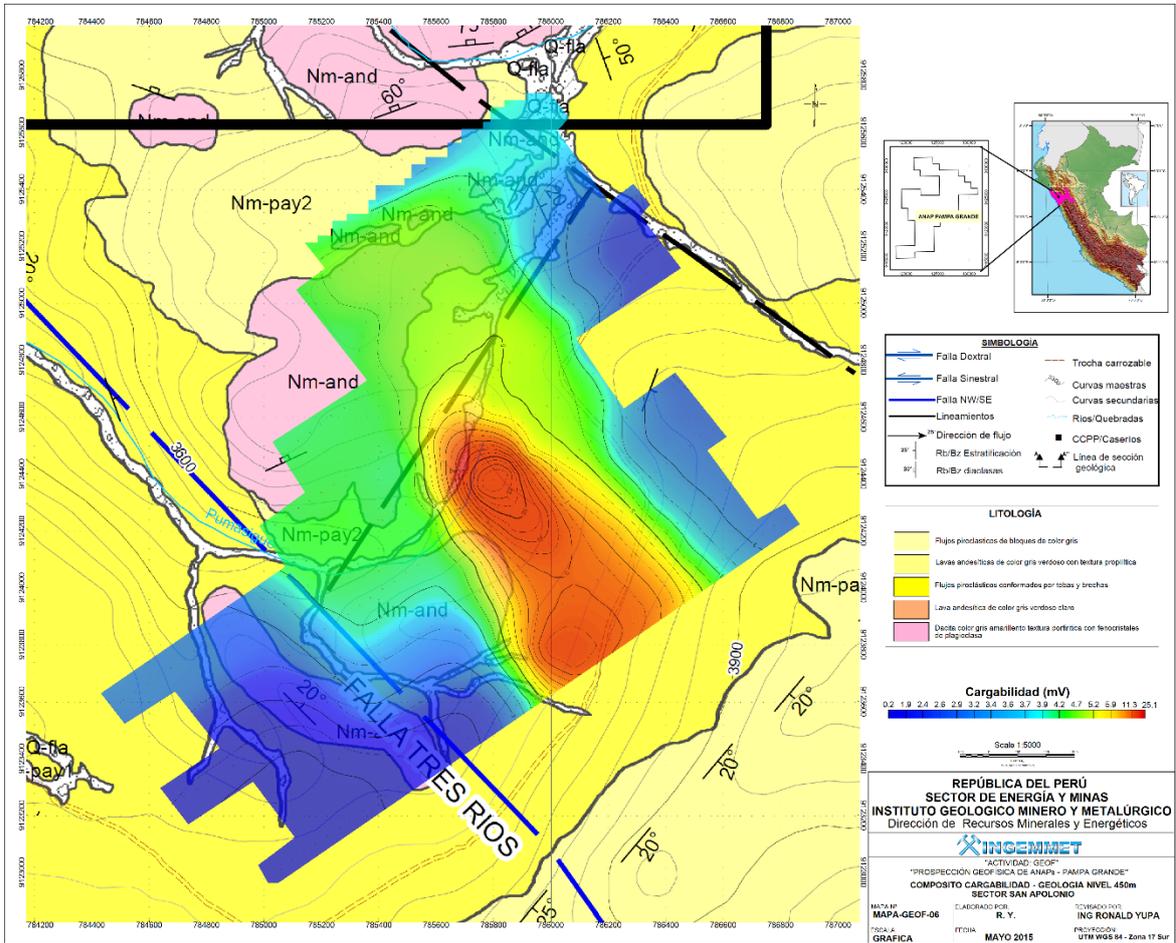


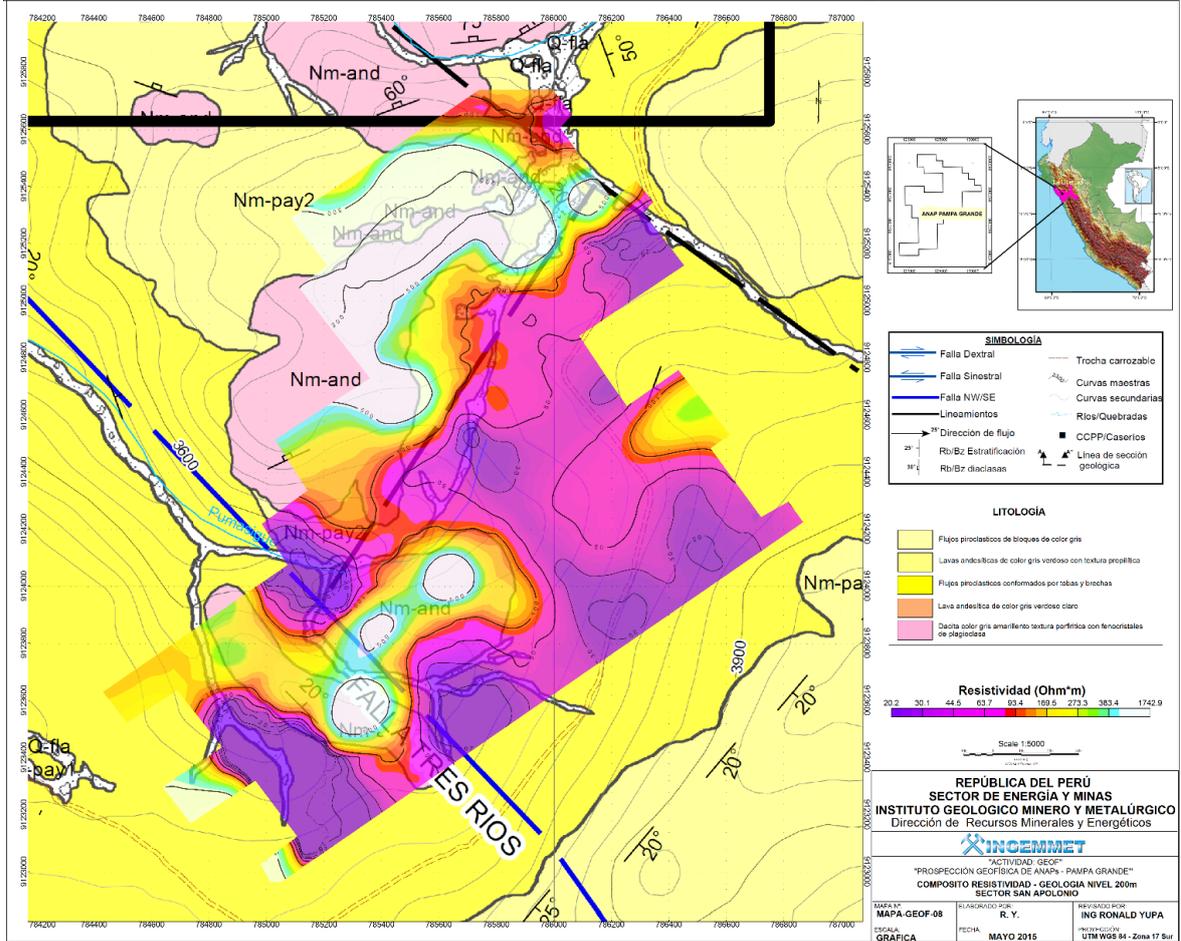
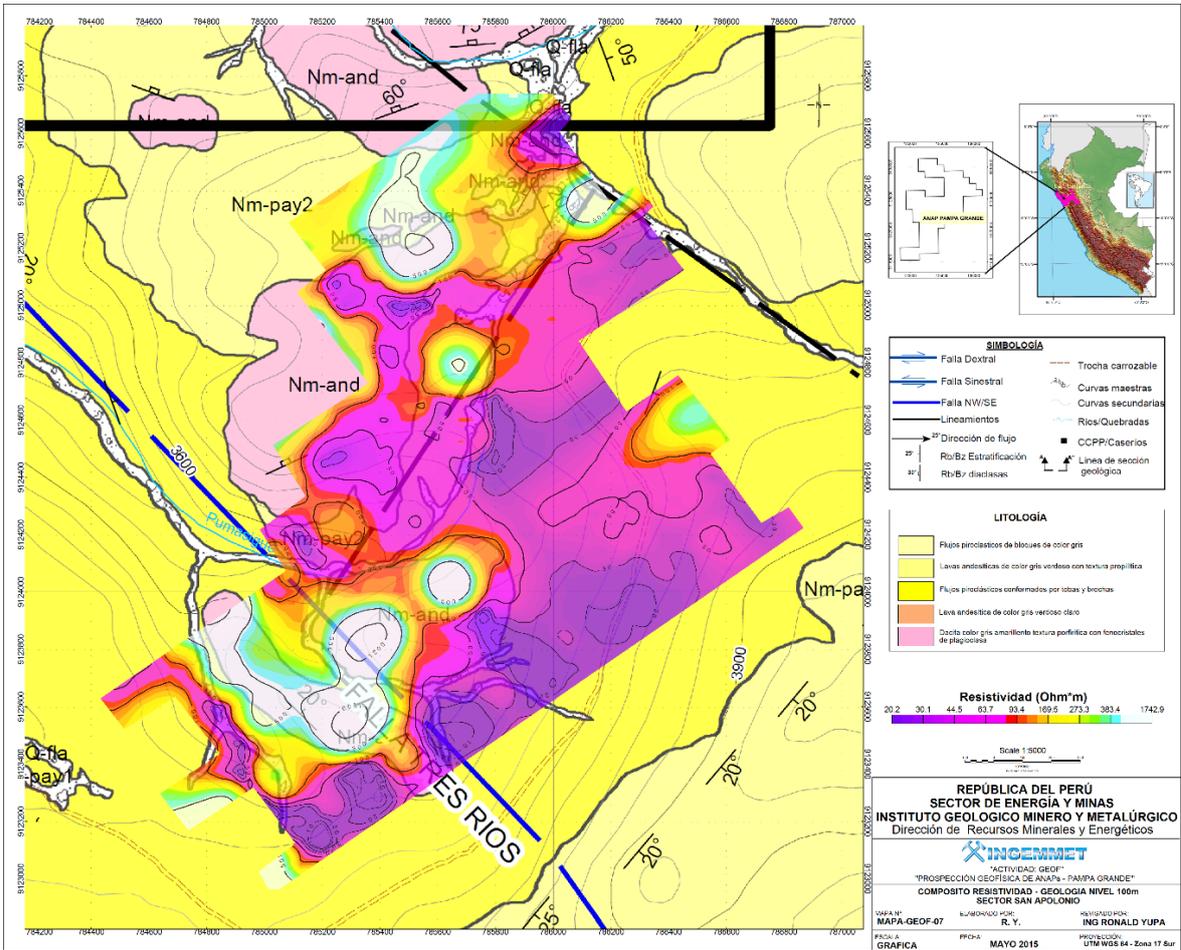
Fig.6.4 Magnetómetro Overhauser modelo GSM-19

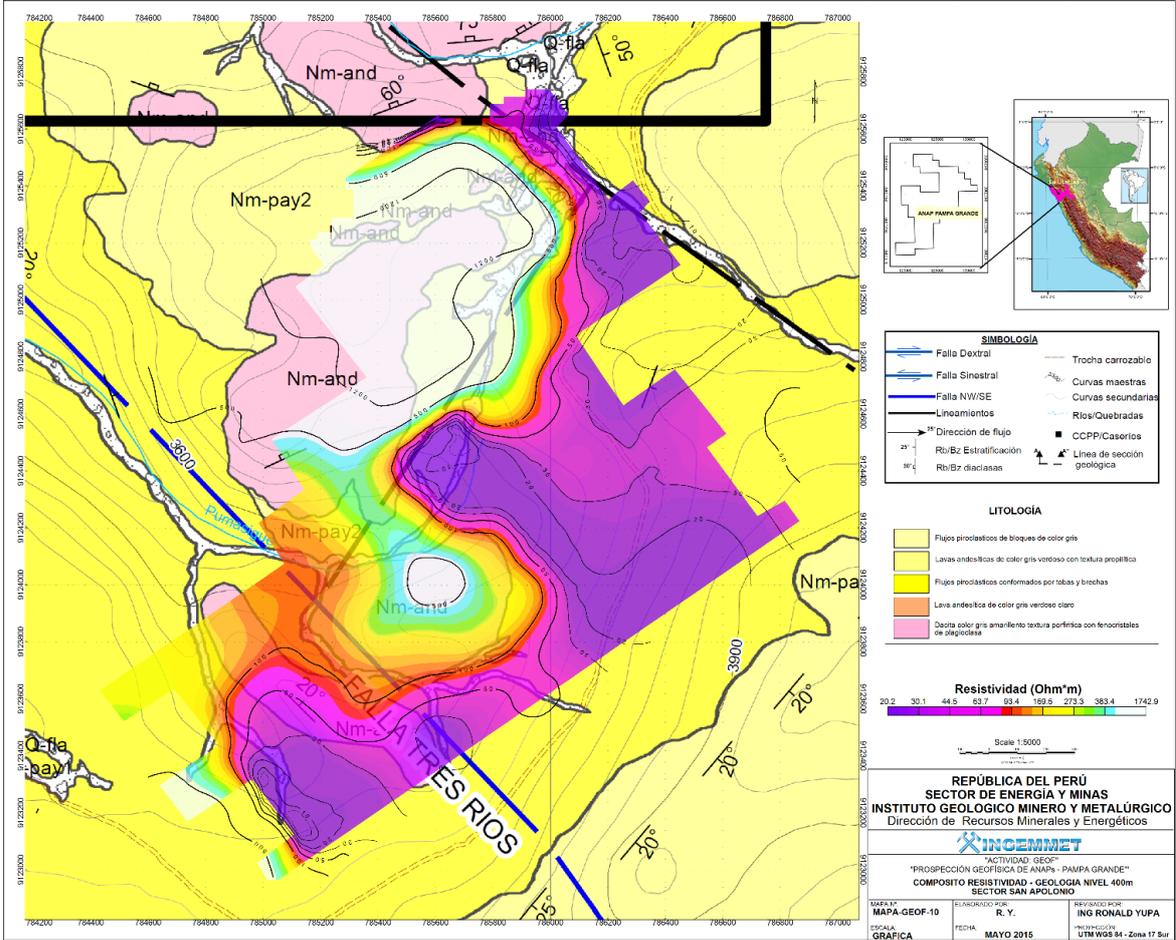
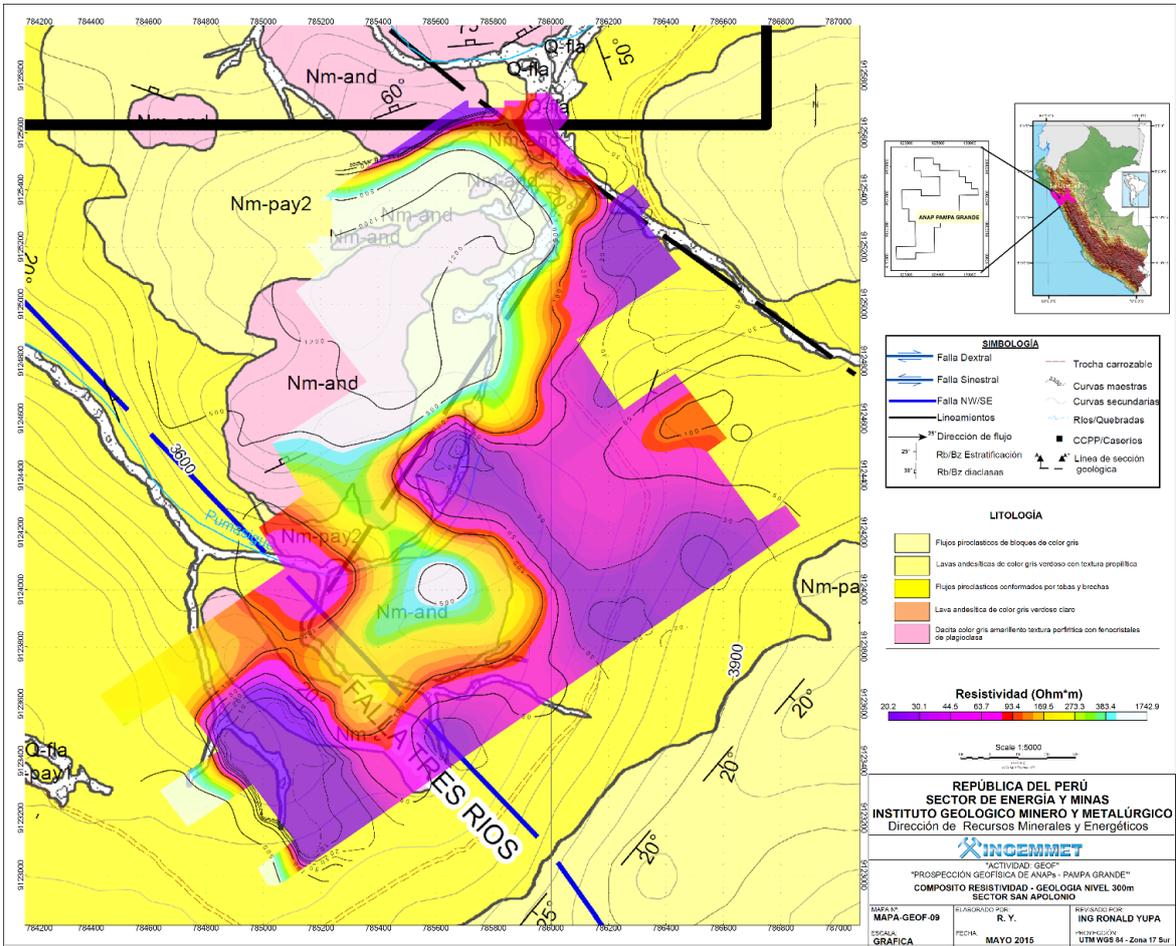
### 4.3. Mapas de Modelo de inversión de Cargabilidad y Resistividad Pampa Grande

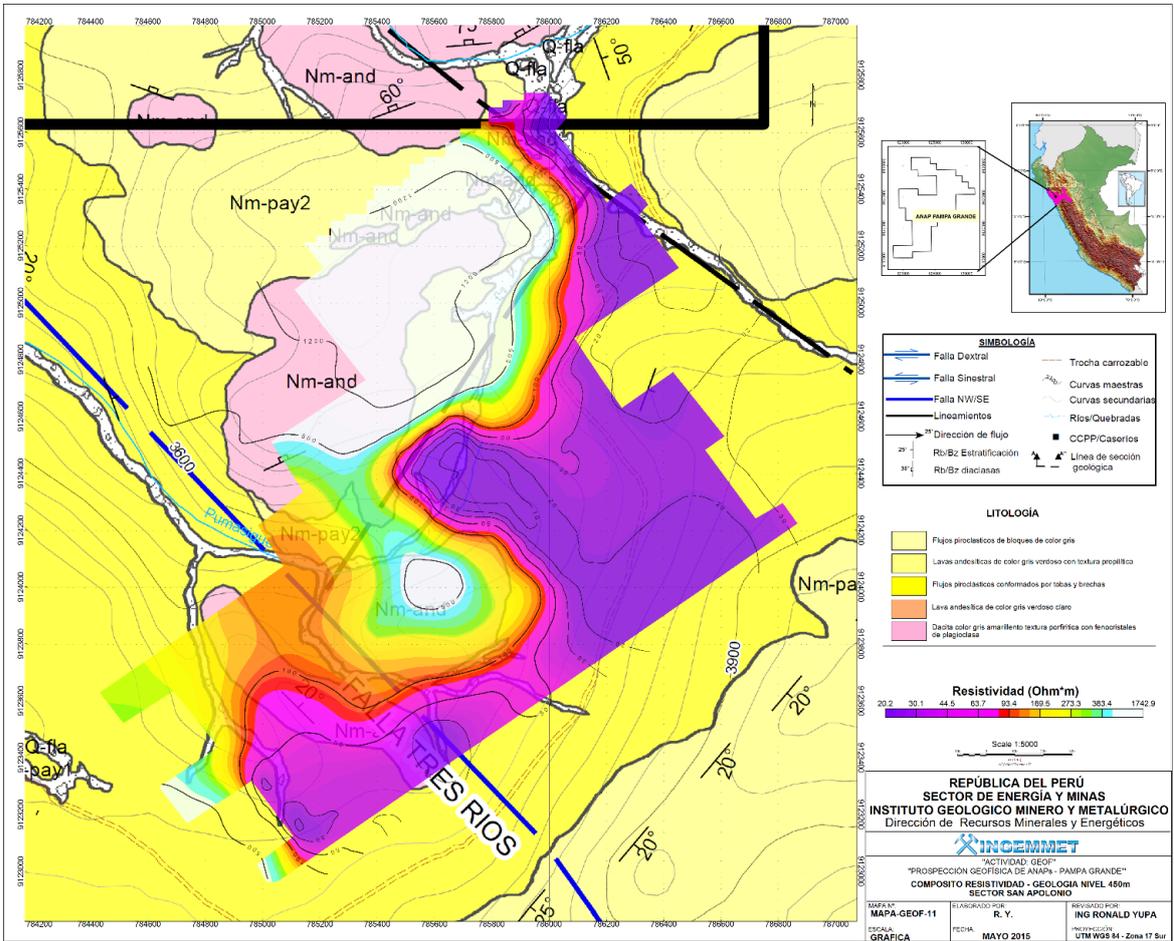




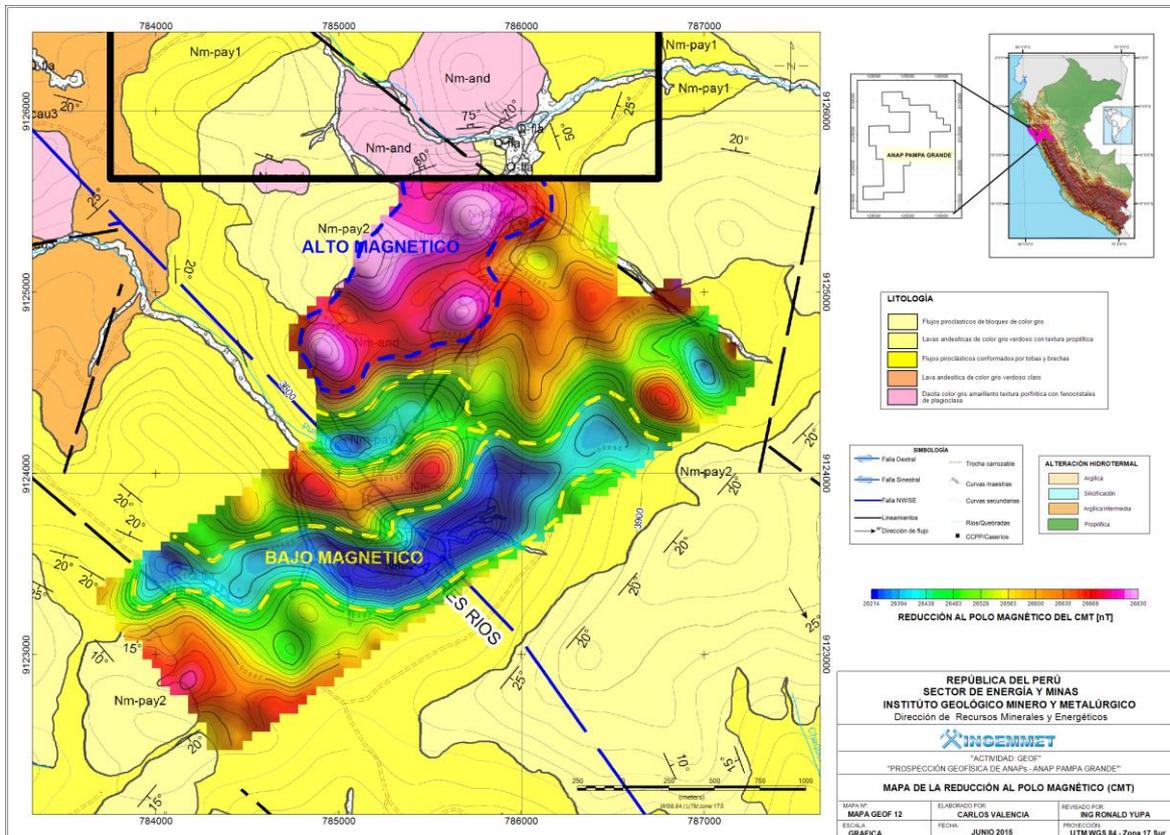
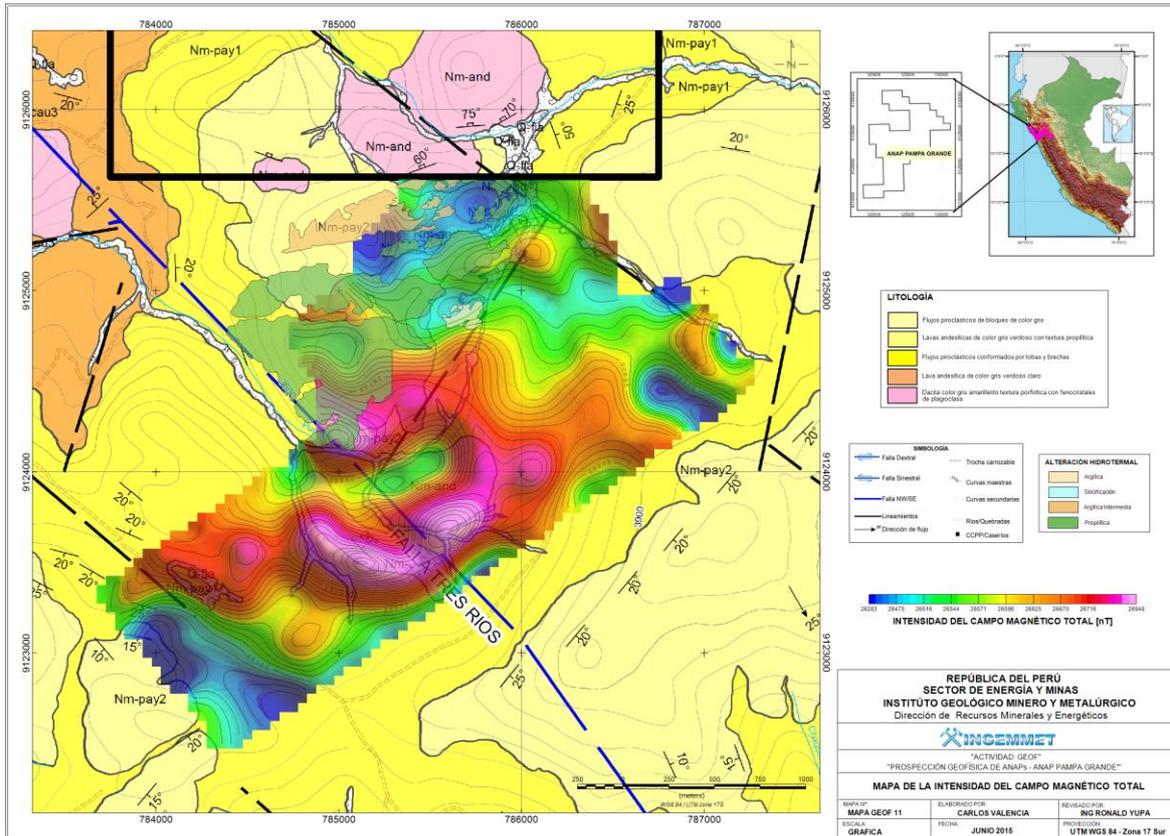


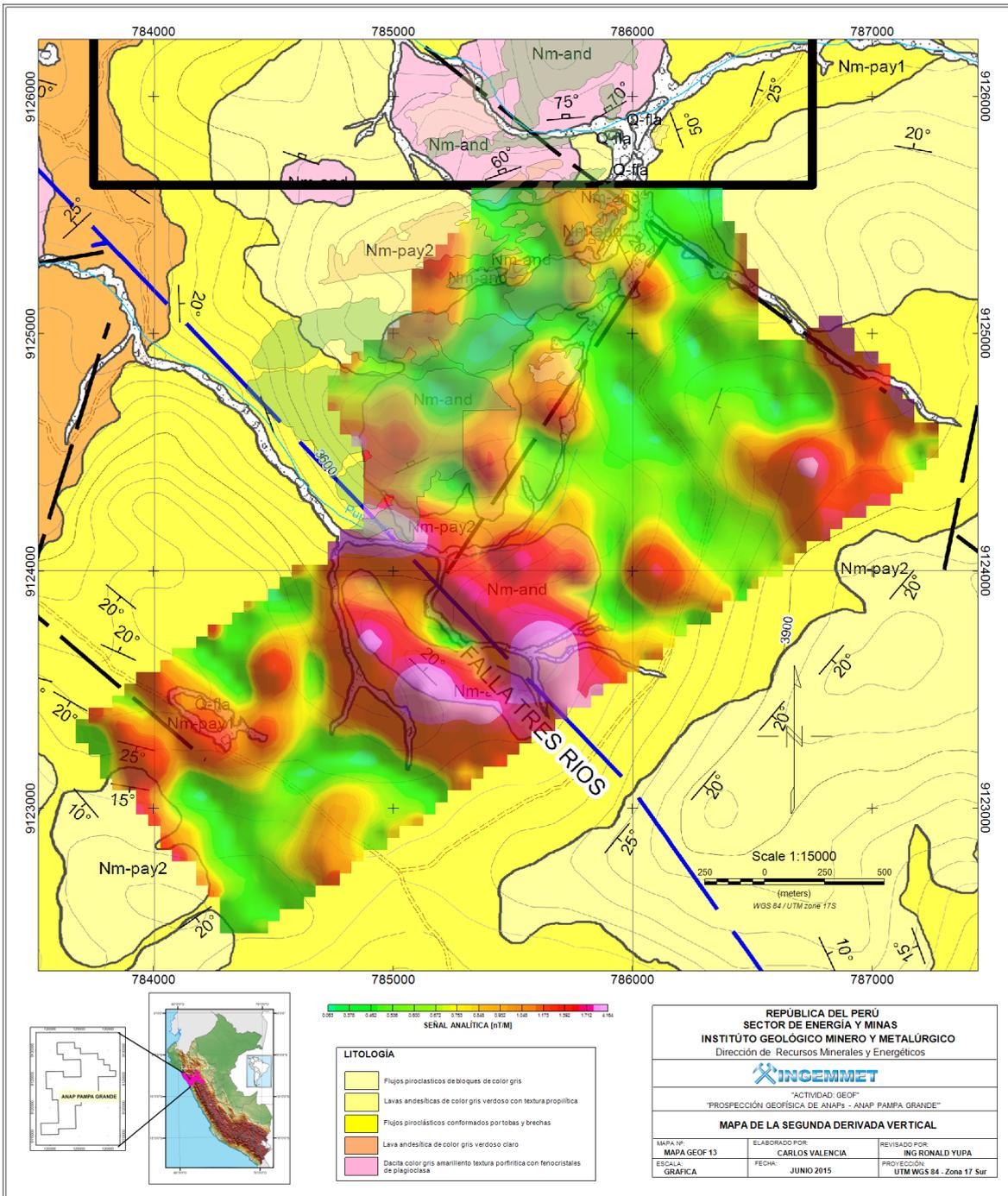


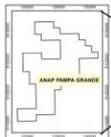
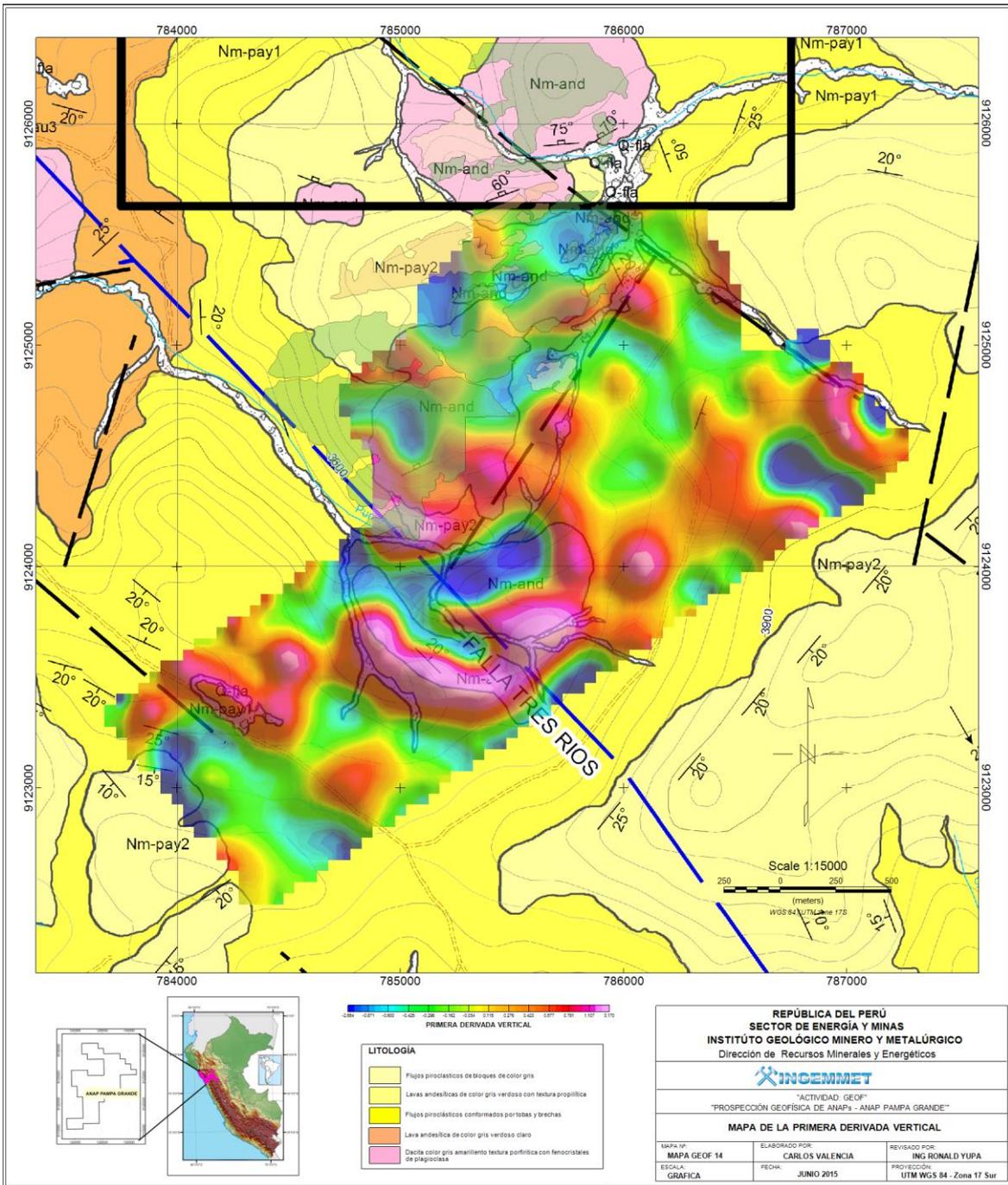




#### 4.4. Mapas Magnéticos y Modelo de Inversión Magnética

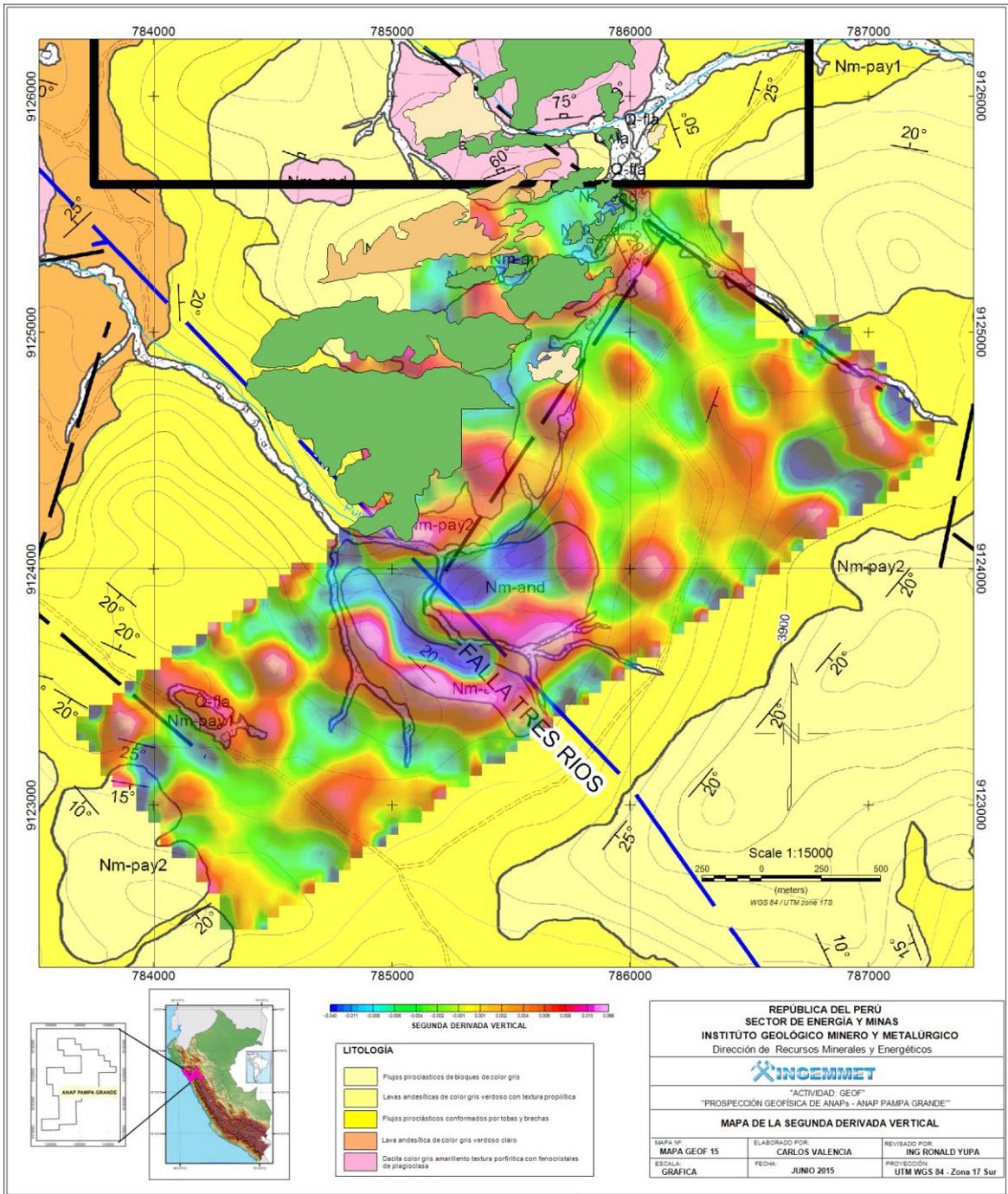


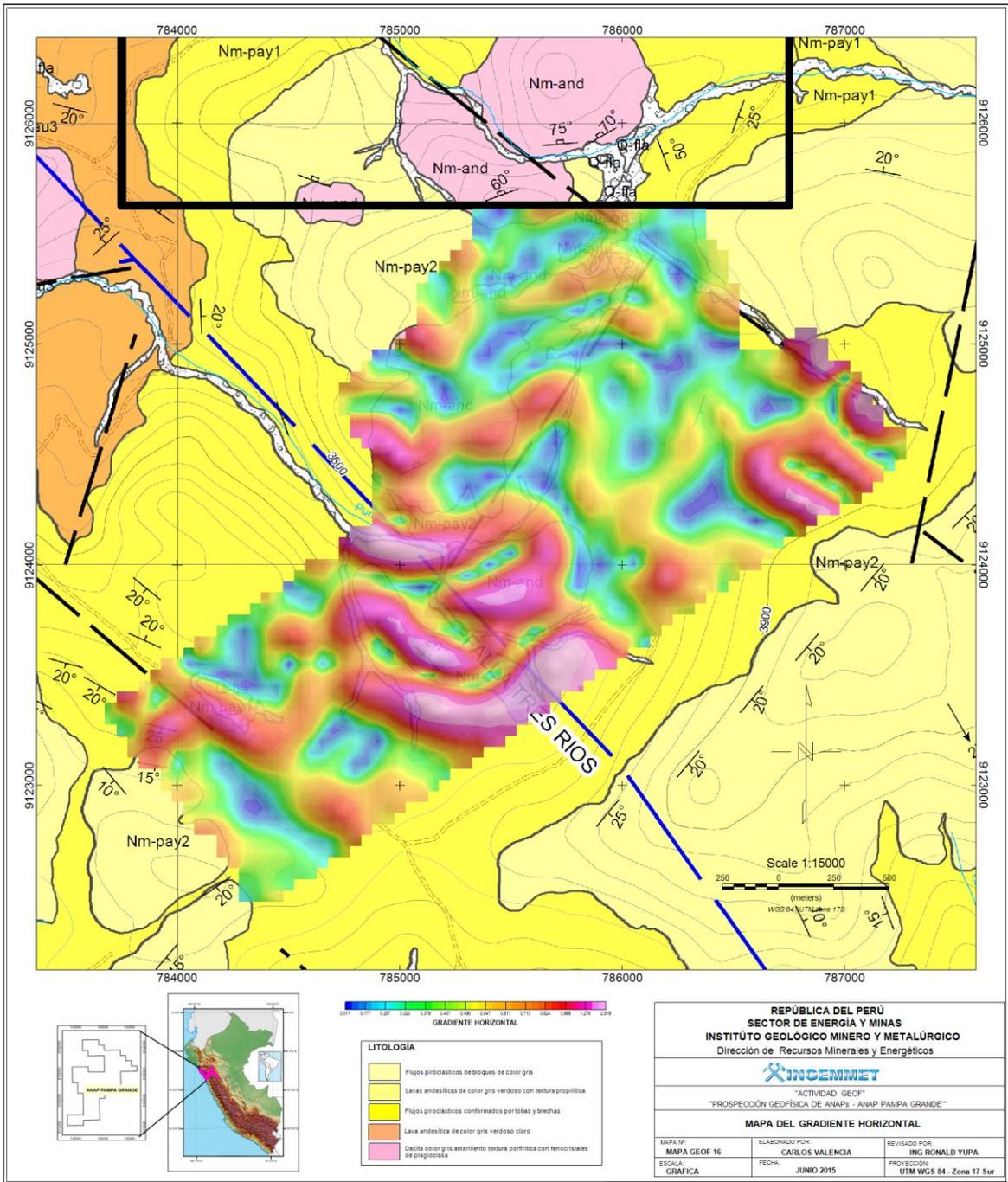


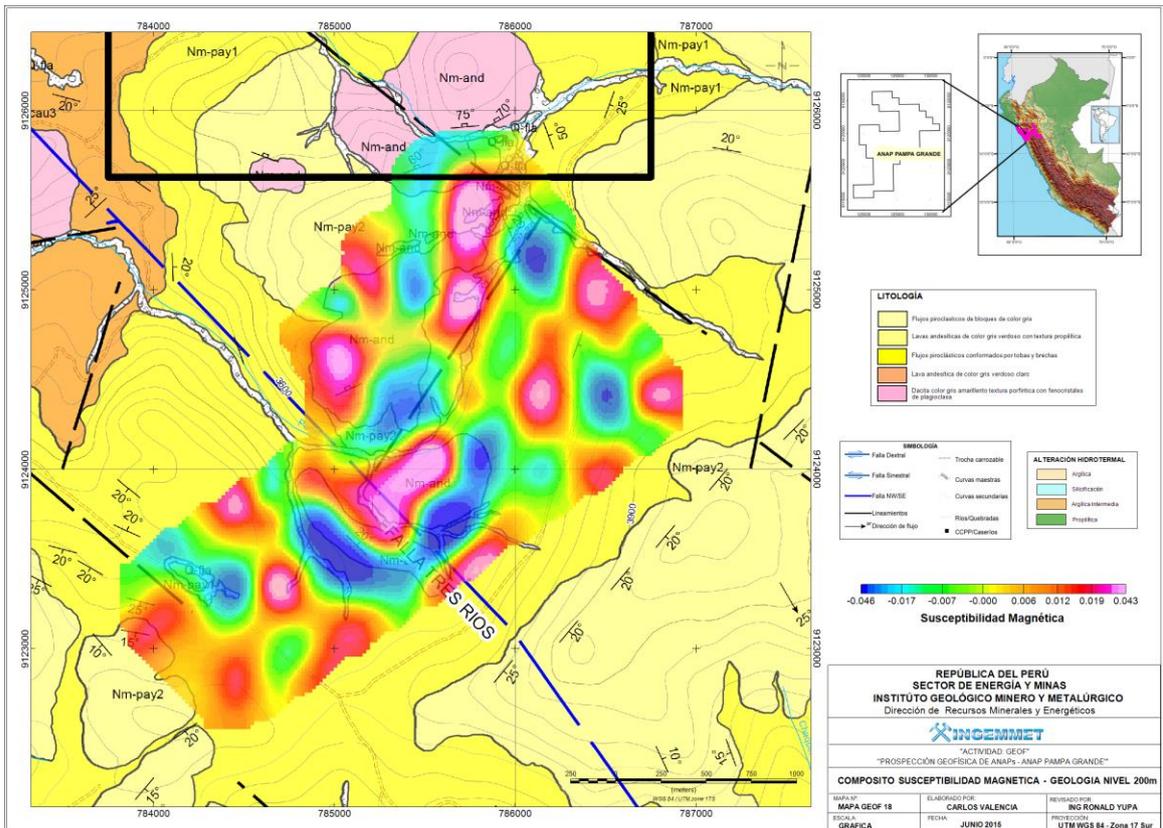
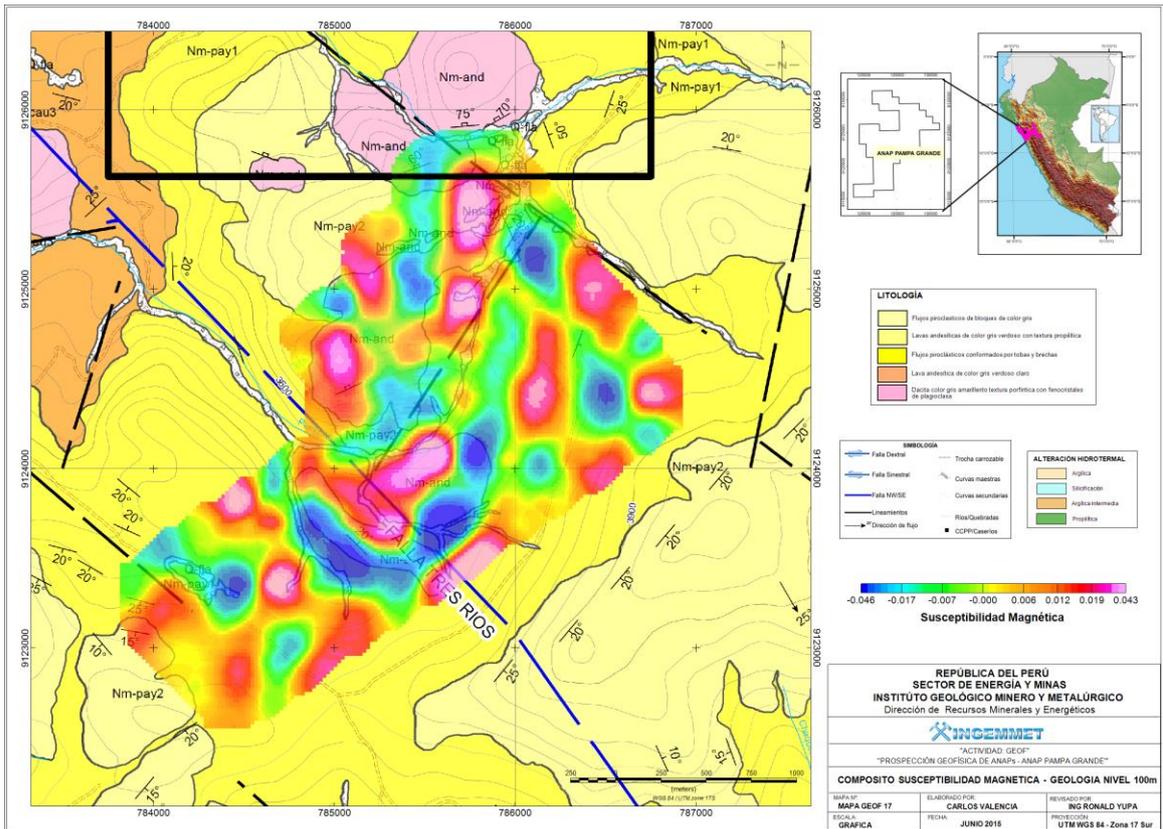


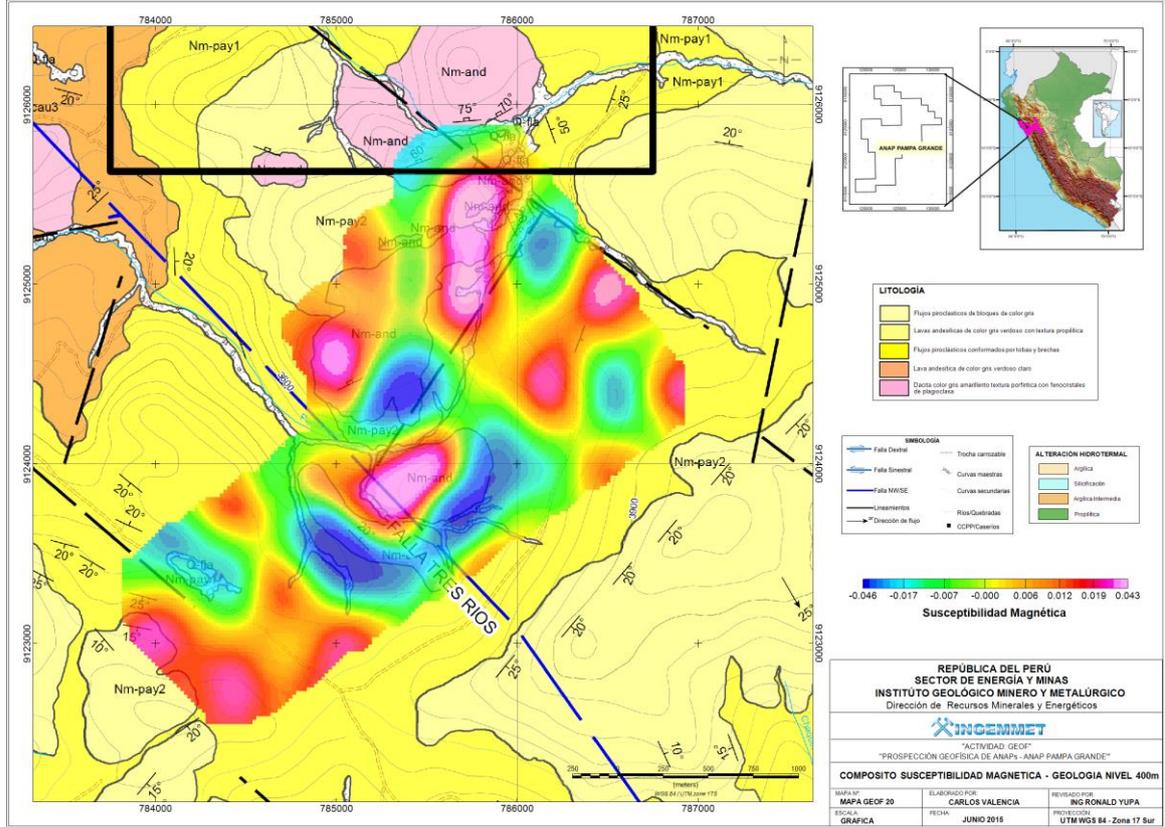
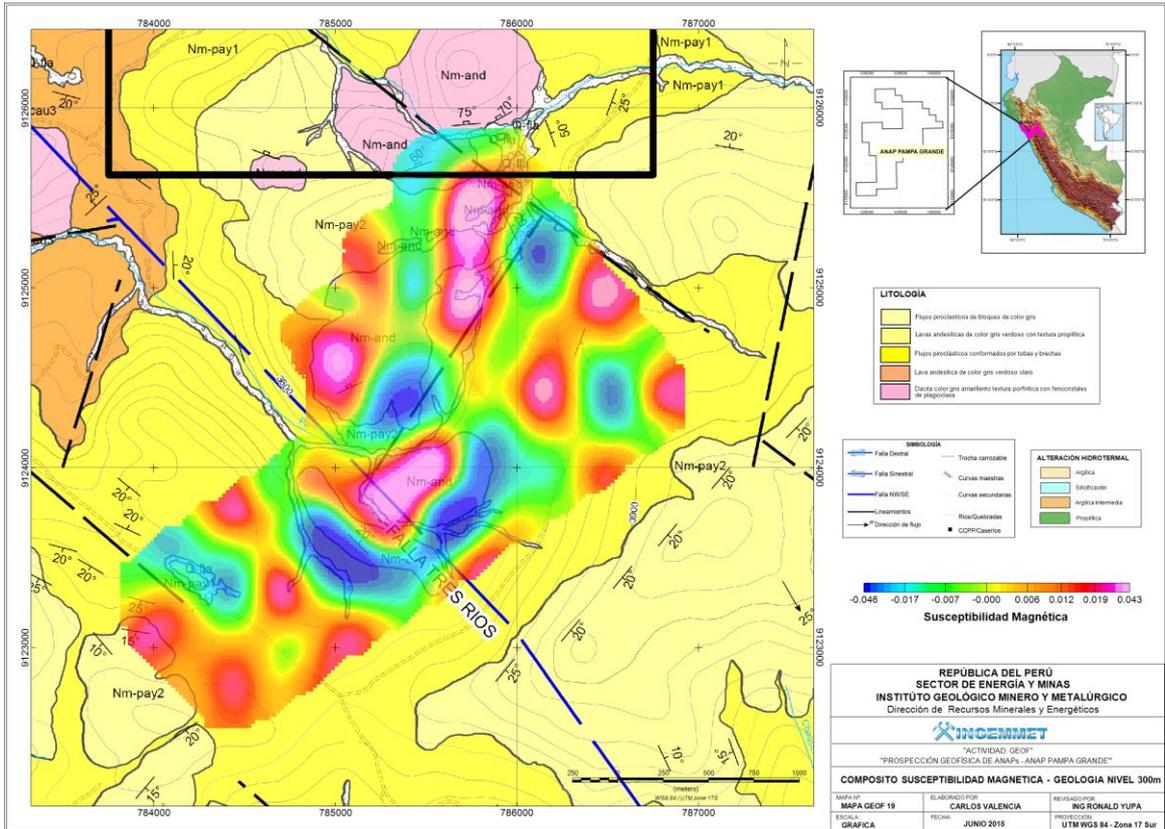
**LITOLOGIA**

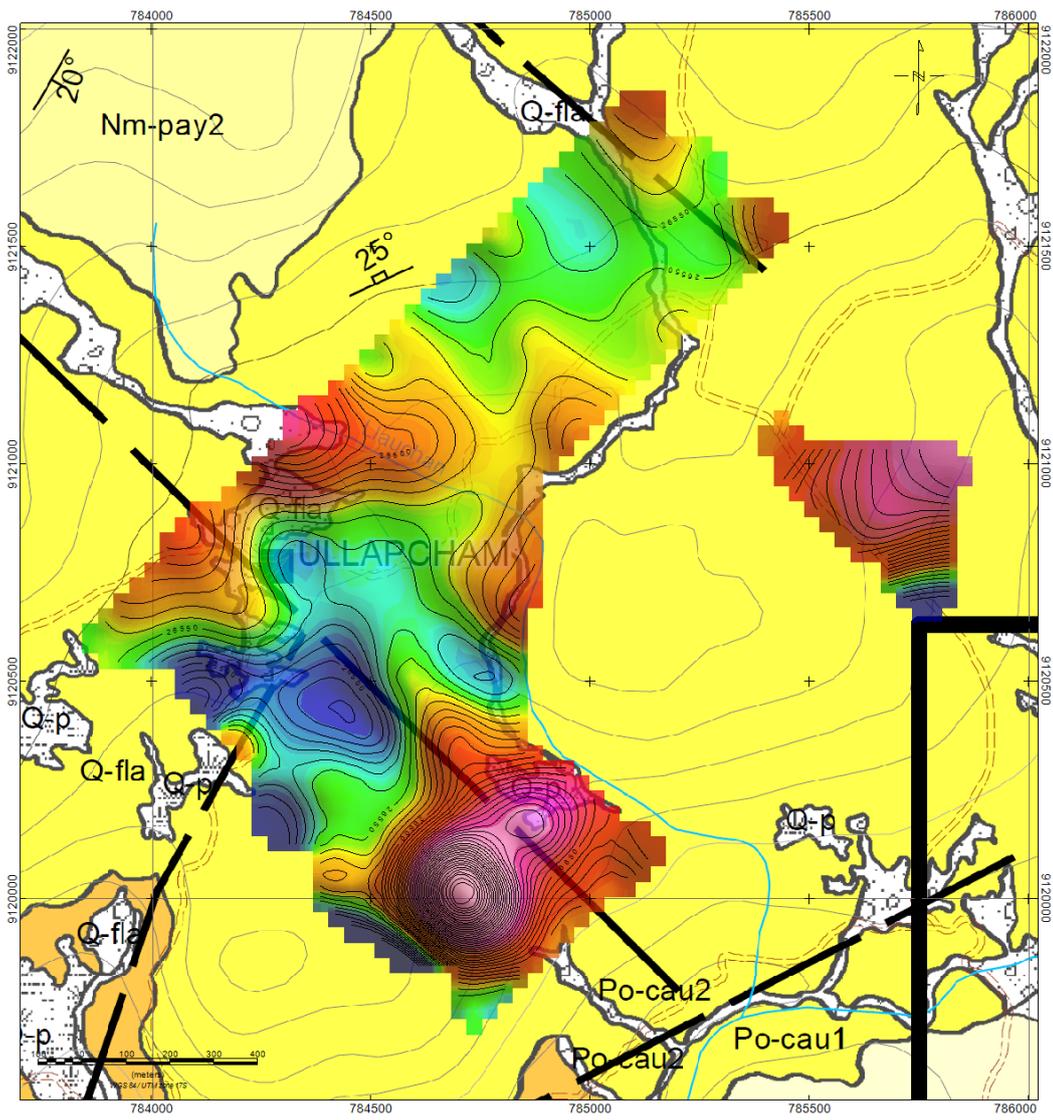
[Color]	Flujos piroclásticos de bloques de color gris
[Color]	Lavas andesíticas de color gris verdoso con textura propilítica
[Color]	Flujos piroclásticos conformados por tobas y brechas
[Color]	Lava andesítica de color gris verdoso claro
[Color]	Dacita color gris amarillento textura porfírica con fenocristales de plagioclasa







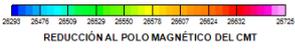
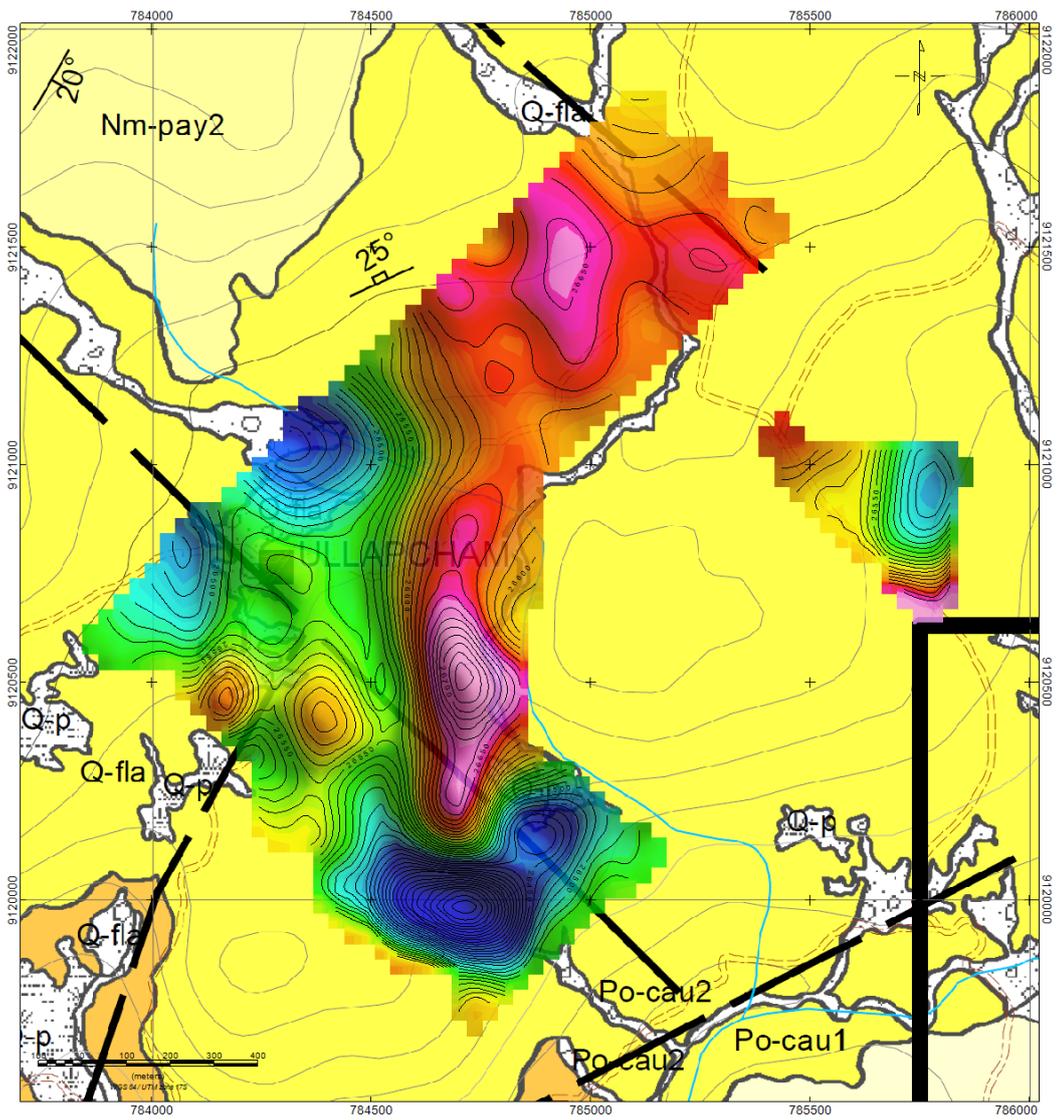




ALTERACIÓN HIDROTHERMAL	
[Light Orange Box]	Argílica
[Light Blue Box]	Silicificación
[Orange Box]	Argílica Intermedia
[Green Box]	Propilítica

LITOLOGÍA	
[Light Yellow Box]	Flujos piroclásticos de bloques de color gris
[Yellow Box]	Lavas andesíticas de color gris verdoso con textura propilítica
[Light Green Box]	Flujos piroclásticos conformados por tobas y brechas
[Orange Box]	Lava andesítica de color gris verdoso claro
[Pink Box]	Dacita color gris amarillento textura porfírica con fenocristales de plagioclasa

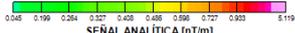
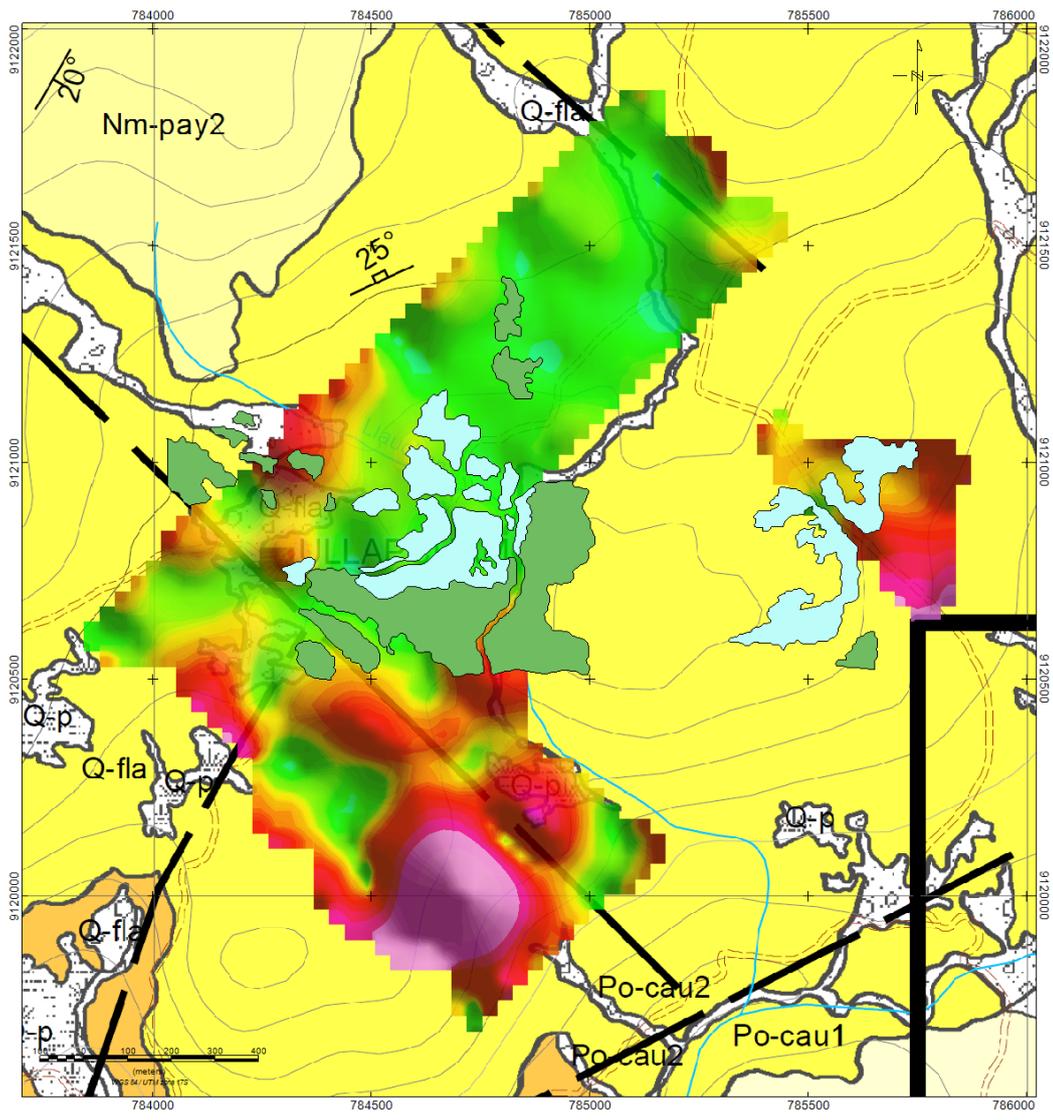
REPÚBLICA DEL PERÚ SECTOR DE ENERGÍA Y MINAS INSTITUTO GEOLÓGICO MINERO Y METALÚRGICO Dirección de Recursos Minerales y Energéticos		
"ACTIVIDAD: GEOP" "PROSPECCIÓN GEOFÍSICA DE ANAPL - ANAP PAMPA GRANDE"		
<b>MAPA DE LA INTENSIDAD DEL CAMPO MAGNÉTICO TOTAL</b>		
MAPA Nº: MAPA GEOF 21	ELABORADO POR: CARLOS VALENCIA	REVISADO POR: ING RONALD YUPA
ESCALA: GRÁFICA	FECHA: JUNIO 2015	PROYECCIÓN: UTM WGS 84 - Zona 17 Sur



ALTERACIÓN HIDROTHERMAL	
[Light Blue Box]	Argílica
[Light Green Box]	Silicificación
[Light Orange Box]	Argílica Intermedia
[Light Yellow Box]	Propilítica

LITOLOGÍA	
[Light Blue Box]	Fujos piroclásticos de bloques de color gris
[Light Green Box]	Lavas andesíticas de color gris verdoso con textura propilítica
[Light Orange Box]	Fujos piroclásticos conformados por tobas y brechas
[Light Yellow Box]	Lava andesítica de color gris verdoso claro
[Light Purple Box]	Dacita color gris amarillento textura porfírica con fenocristales de plagioclasa

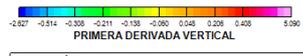
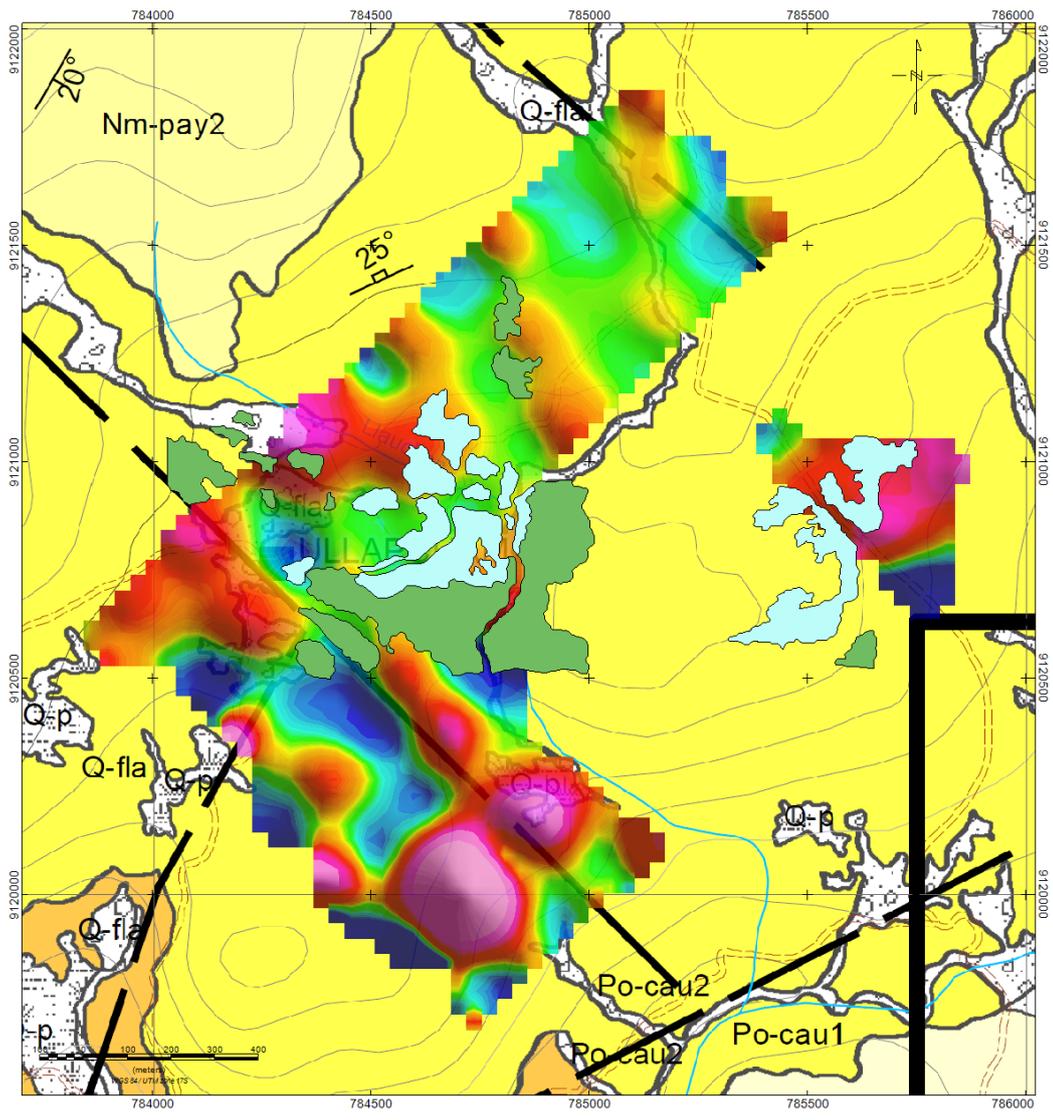
REPÚBLICA DEL PERÚ SECTOR DE ENERGÍA Y MINAS INSTITUTO GEOLOGICO MINERO Y METALURGICO Dirección de Recursos Minerales y Energéticos		
"ACTIVIDAD: GEOP" "PROSPECCIÓN GEOFÍSICA DE ANAP - ANAP PAMPA GRANDE"		
<b>MAPA DE LA REDUCCIÓN AL POLO MAGNÉTICO DEL CMT</b>		
MAPA N.º MAPA GEOP 22	ELABORADO POR CARLOS VALENCIA	REVISADO POR ING RONALD YUPA
ESCALA GRAFICA	FECHA JUNIO 2015	PROYECTOR UTM WGS 84 - Zona 17 Sur



ALTERACIÓN HIDROTHERMAL	
[Light Orange Box]	Argílica
[Light Blue Box]	Silicificación
[Orange Box]	Argílica Intermedia
[Green Box]	Propilítica

LITOLÓGIA	
[Light Yellow Box]	Flujos piroclásticos de bloques de color gris
[Yellow Box]	Lavas andesíticas de color gris verdoso con textura propilítica
[Orange Box]	Flujos piroclásticos conformados por tobas y brechas
[Light Orange Box]	Lava andesítica de color gris verdoso claro
[Pink Box]	Dacita color gris amarillento-textura porfírica con fenocristales de plagioclasa

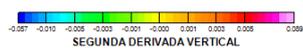
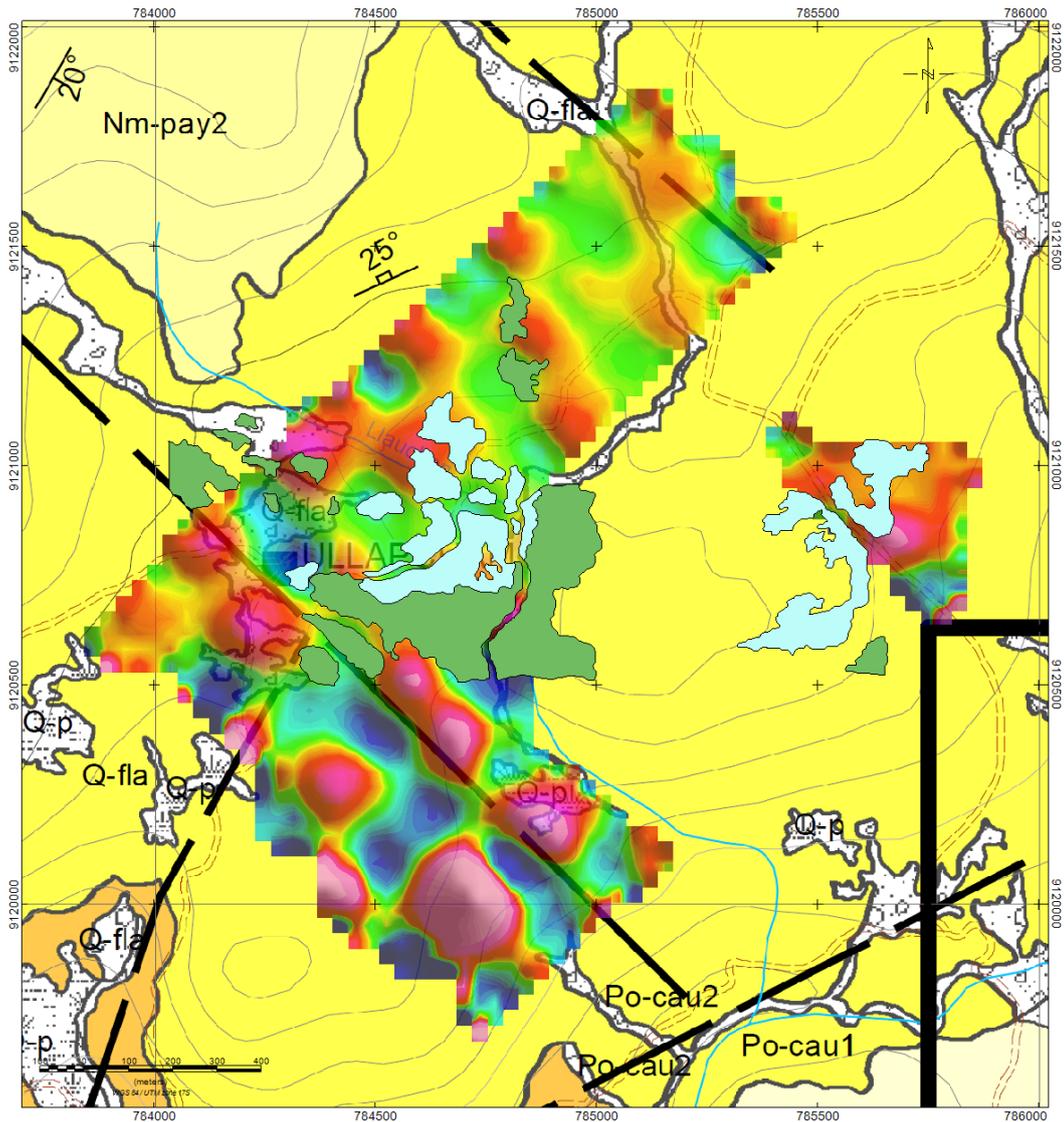
REPÚBLICA DEL PERÚ SECTOR DE ENERGÍA Y MINAS INSTITUTO GEOLÓGICO MINERO Y METALÚRGICO Dirección de Recursos Minerales y Energéticos		
"ACTIVIDAD GEOF" "PROSPECCIÓN GEOFÍSICA DE ANAPs-ANAP PAMPA GRANDE"		
<b>MAPA DE LA SEÑAL ANALÍTICA</b>		
MAPA Nº: MAPA GEOF 23	ELABORADO POR: CARLOS VALENCIA	REVISADO POR: ING RONALD YUPA
ESCALA: GRÁFICA	FECHA: JUNIO 2015	PROYECCIÓN: UTM WGS 84 - Zona 17 Sur



ALTERACIÓN HIDROTHERMAL	
[Light Green Box]	Argílica
[Light Blue Box]	Silicificación
[Light Orange Box]	Argílica Intermedia
[Light Purple Box]	Propilítica

LITOLOGÍA	
[Light Green Box]	Flujos piroclásticos de bloques de color gris
[Light Yellow Box]	Lavas andesíticas de color gris verdoso con textura propilítica
[Light Orange Box]	Flujos piroclásticos conformados por tobas y brechas
[Light Purple Box]	Lava andesítica de color gris verdoso claro
[Light Blue Box]	Dacita color gris amarillento textura porfírica con fenocristales de plagioclasa

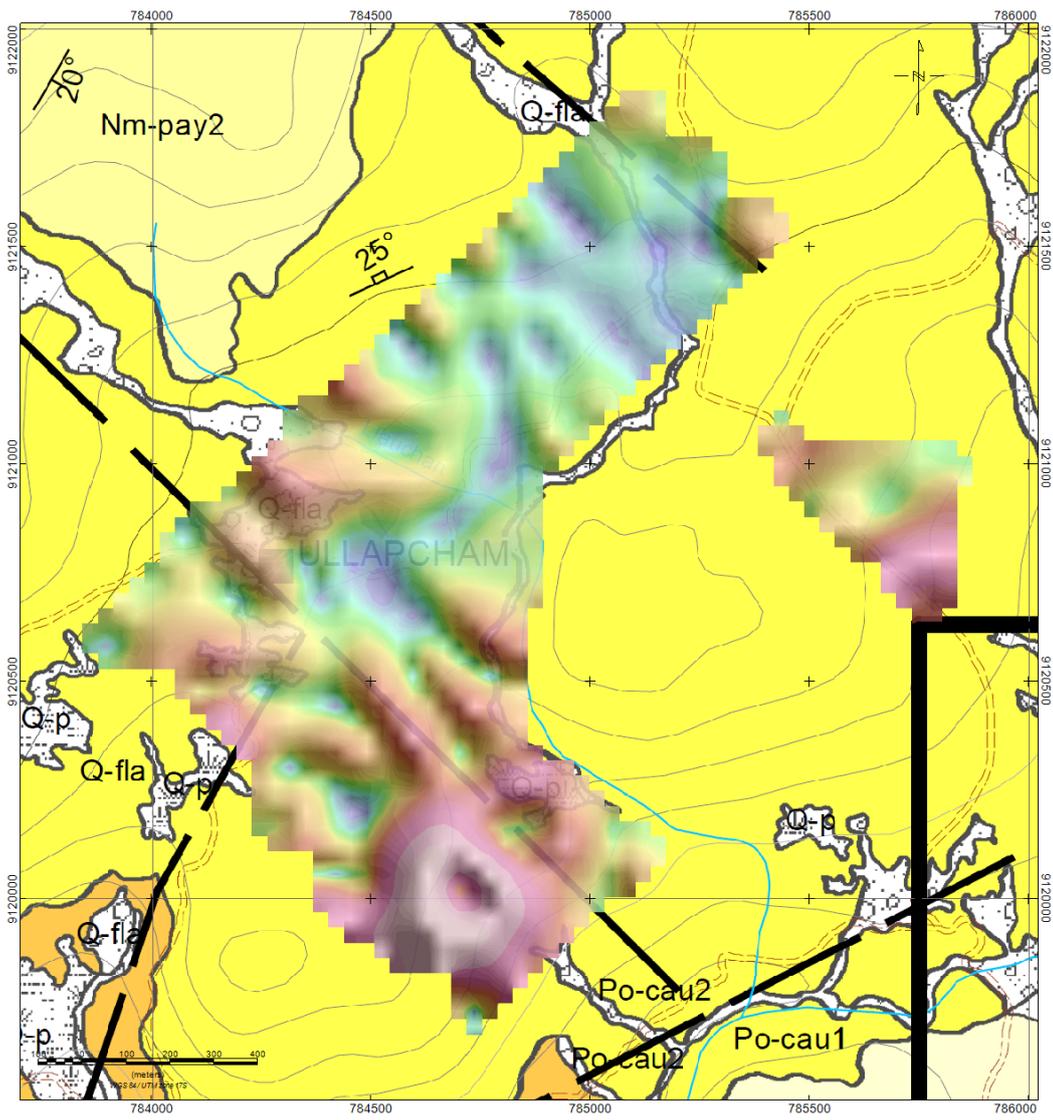
REPÚBLICA DEL PERÚ SECTOR DE ENERGÍA Y MINAS INSTITUTO GEOLOGICO MINERO Y METALURGICO Dirección de Recursos Minerales y Energéticos		
"ACTIVIDAD: GEOP" "PROSPECCION GEOFISICA DE ANAPs - ANAP PAMPA GRANDE"		
<b>MAPA DE LA PRIMERA DERIVADA VERTICAL</b>		
MAPA: MAPA GEOP 24	ELABORADO POR: CARLOS VALENCIA	REVISADO POR: ING RONALD YUPA
ESCALA: GRAFICA	FECHA: JUNIO 2015	PROYECCION: UTM WGS 84 - Zona 17 Sur



ALTERACIÓN HIDROTHERMAL	
[Light Blue Box]	Argílica
[Light Green Box]	Silificación
[Light Orange Box]	Argílica Intermedia
[Light Purple Box]	Propilítica

LITOLÓGIA	
[Light Yellow Box]	Flujos piroclásticos de bloques de color gris
[Light Green Box]	Lavas andesíticas de color gris verdoso con textura propilítica
[Light Orange Box]	Flujos piroclásticos conformados por tobas y brechas
[Light Purple Box]	Lava andesítica de color gris verdoso claro
[Light Blue Box]	Dacita color gris amarillento textura porfírica con fenocristales de plagioclasa

REPÚBLICA DEL PERÚ SECTOR DE ENERGÍA Y MINAS INSTITUTO GEOLOGICO MINERO Y METALURGICO Dirección de Recursos Minerales y Energéticos		
"ACTIVIDAD GEOF" "PROSPECCIÓN GEOFÍSICA DE ANAPs - ANAP PAMPA GRANDE"		
<b>MAPA DE LA PRIMERA DERIVADA VERTICAL</b>		
MAPA N°: <b>MAPA GEOF 25</b>	ELABORADO POR: <b>CARLOS VALENCIA</b>	REVISADO POR: <b>ING RONALD YUPA</b>
ESCALA: <b>GRÁFICA</b>	FECHA: <b>JUNIO 2015</b>	PROYECCIÓN: <b>UTM WGS 84 - Zona 17 Sur</b>



ALTERACIÓN HIDROTHERMAL	
[Light Green Box]	Argílica
[Light Blue Box]	Silicificación
[Light Orange Box]	Argílica Intermedia
[Dark Green Box]	Propilítica

LITOLOGÍA	
[Light Yellow Box]	Flujos piroclásticos de bloques de color gris
[Light Green Box]	Lavas andesíticas de color gris verdoso con textura propilítica
[Yellow Box]	Flujos piroclásticos conformados por tobas y brechas
[Light Orange Box]	Lava andesítica de color gris verdoso claro
[Pink Box]	Dacita color gris amarillento textura porfírica con fenocristales de plagioclasa

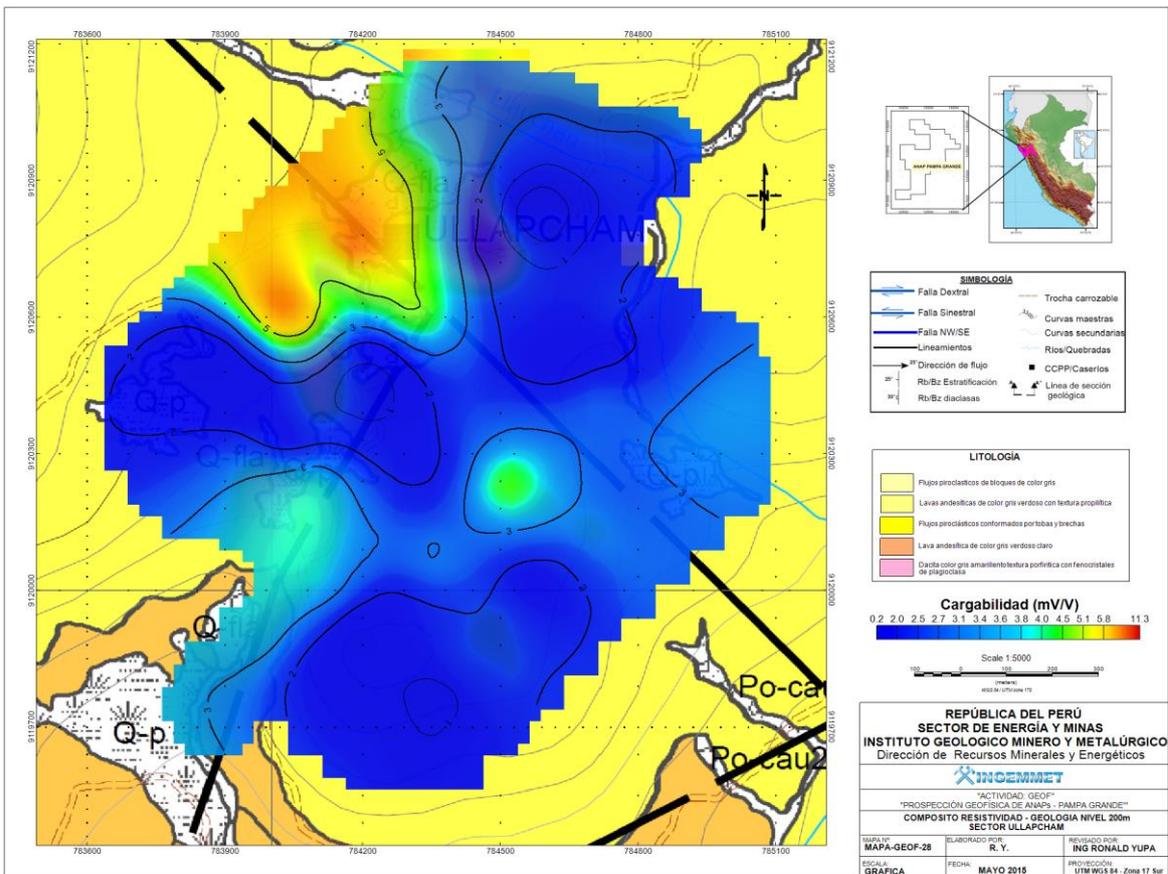
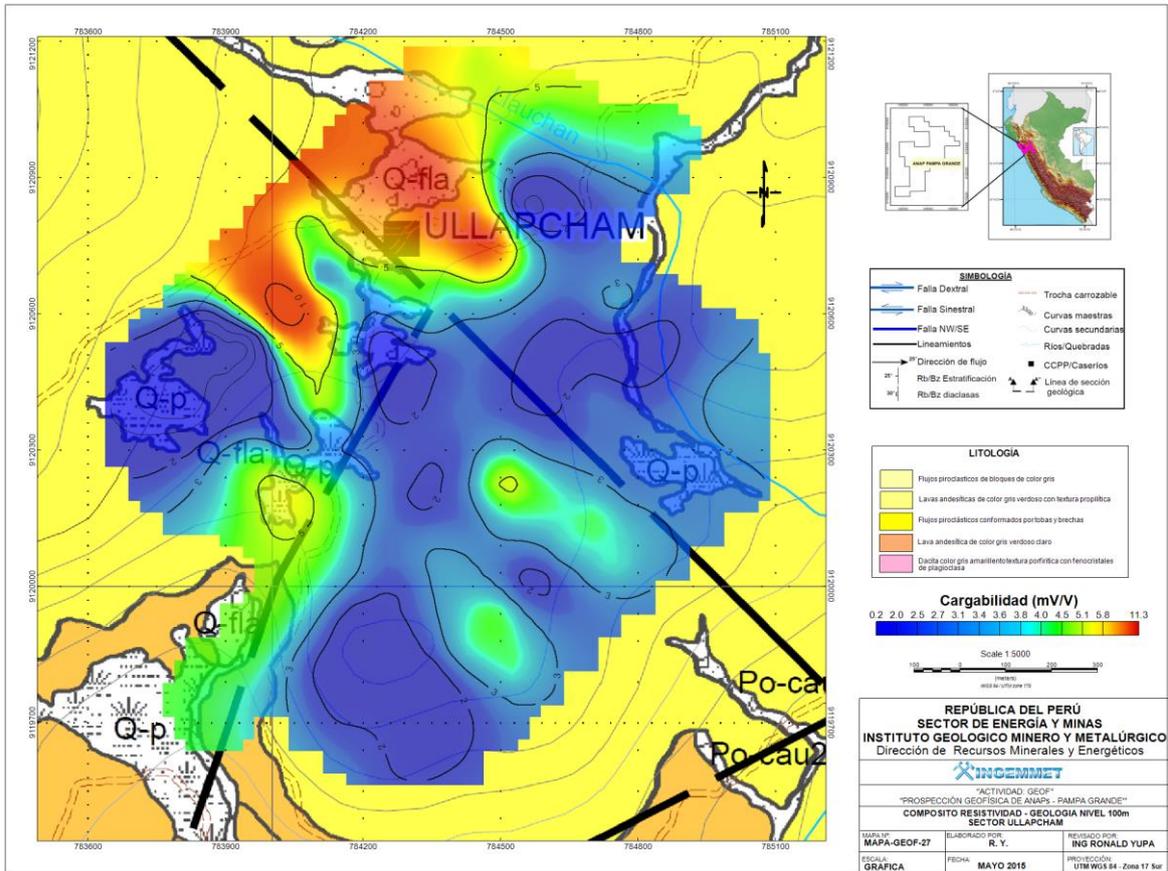
REPÚBLICA DEL PERÚ  
SECTOR DE ENERGÍA Y MINAS  
INSTITUTO GEOLOGICO MINERO Y METALURGICO  
Dirección de Recursos Minerales y Energéticos

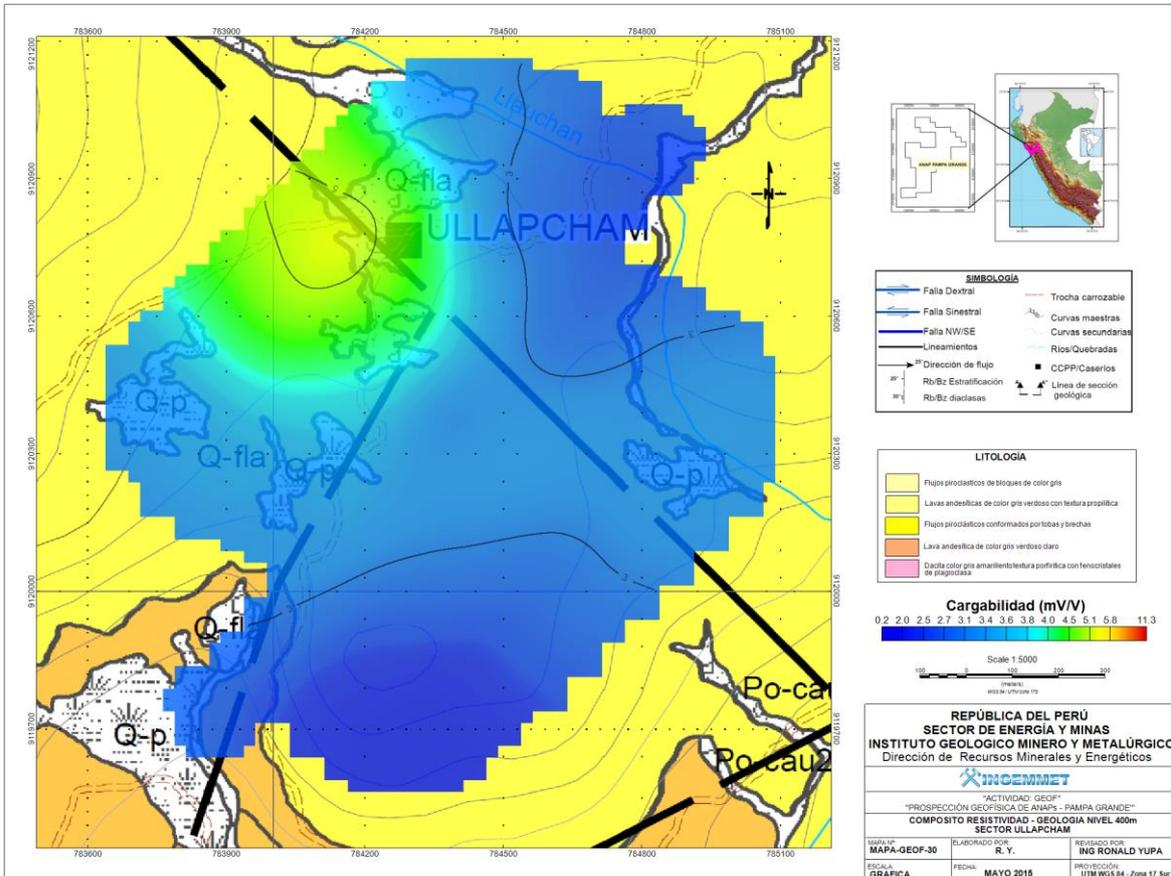
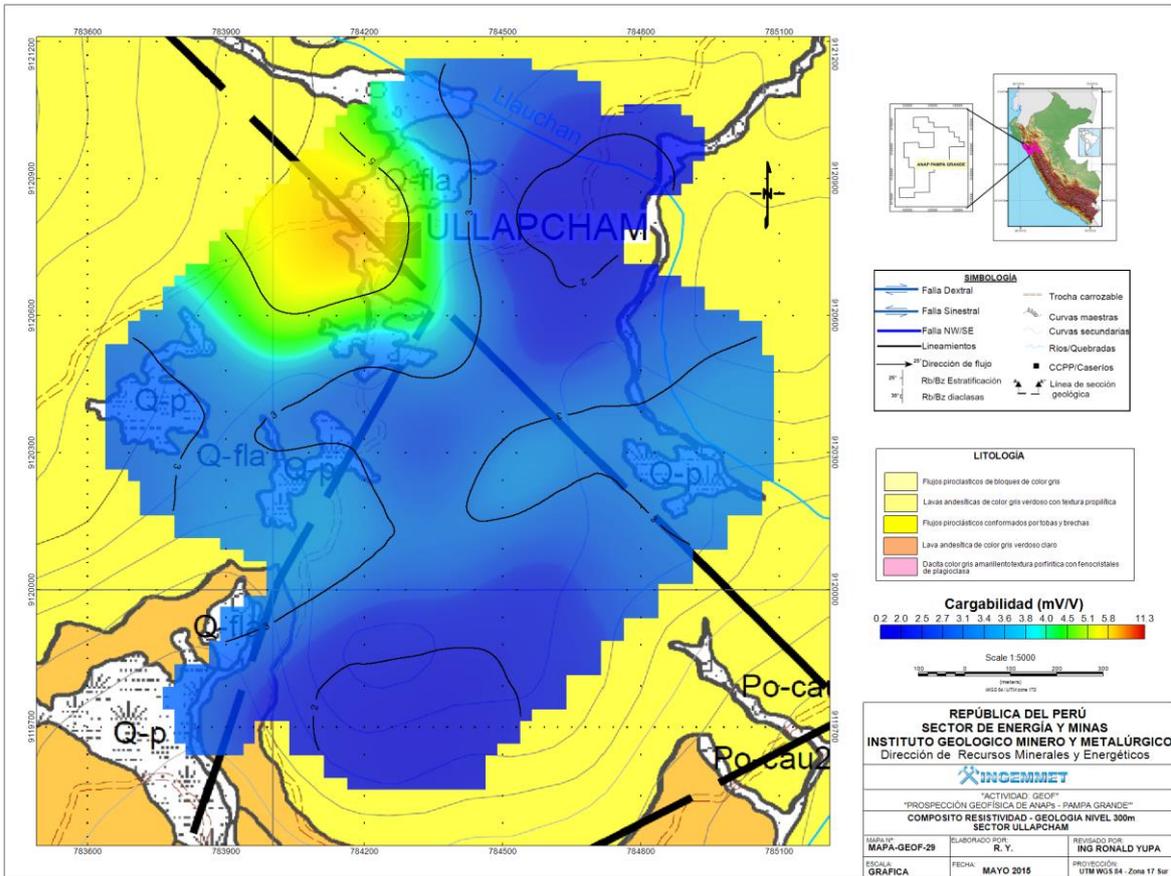
**INGEMMET**

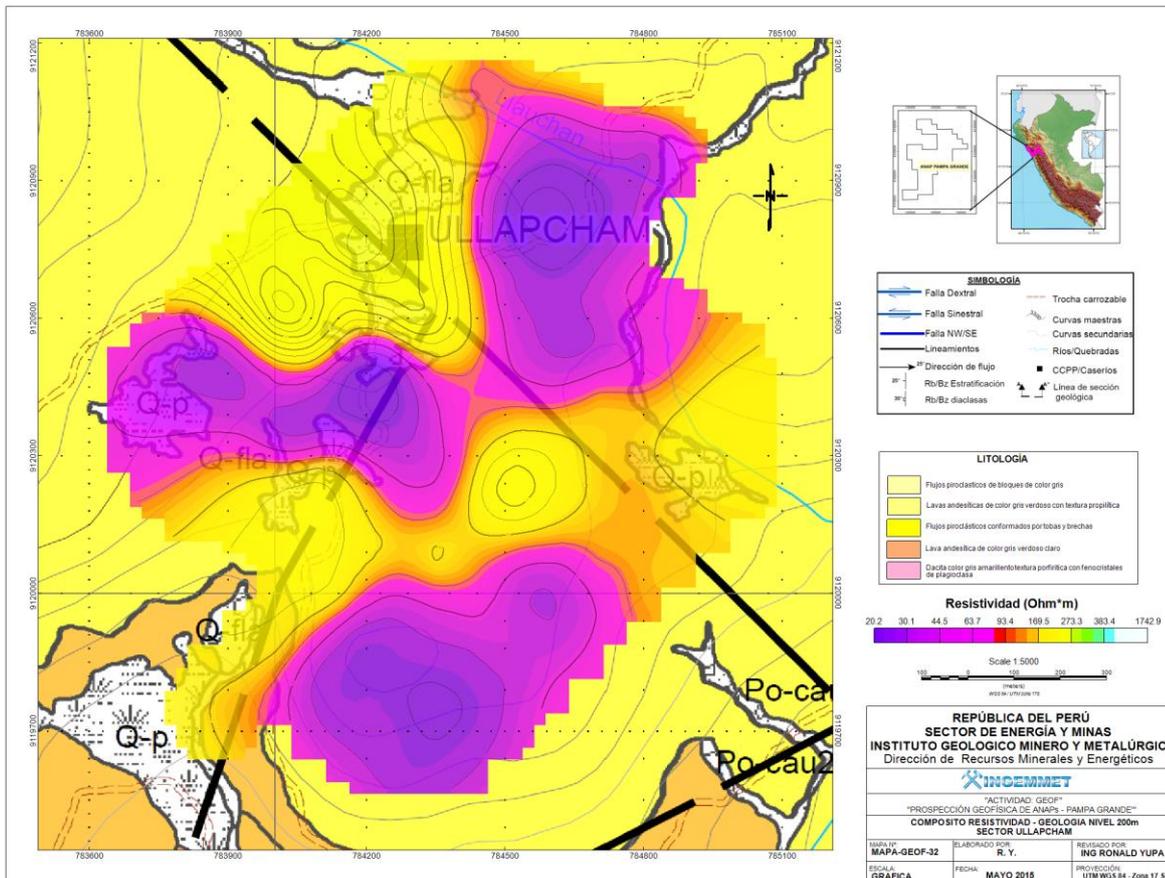
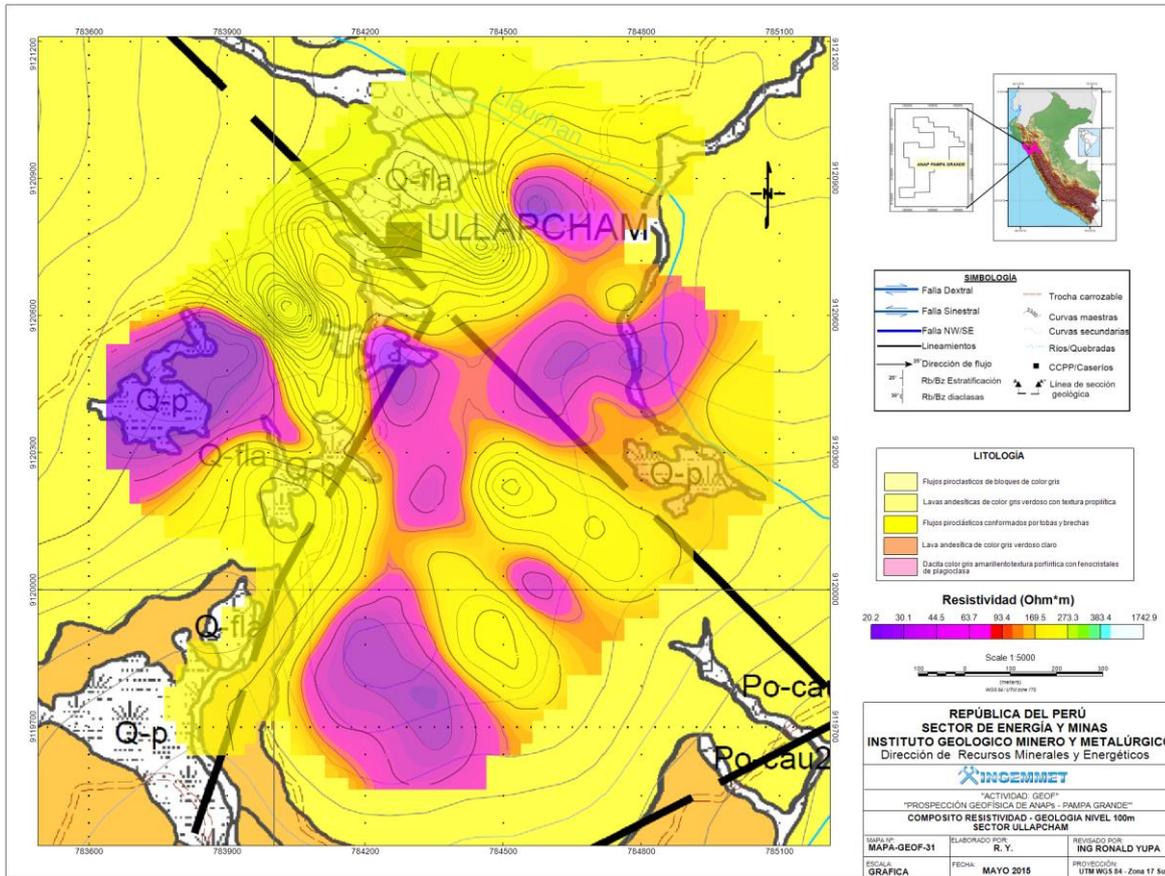
ACTIVIDAD: GEOP  
"PROSPECCIÓN GEOFÍSICA DE ANAP - ANAP PAMPA GRANDE"

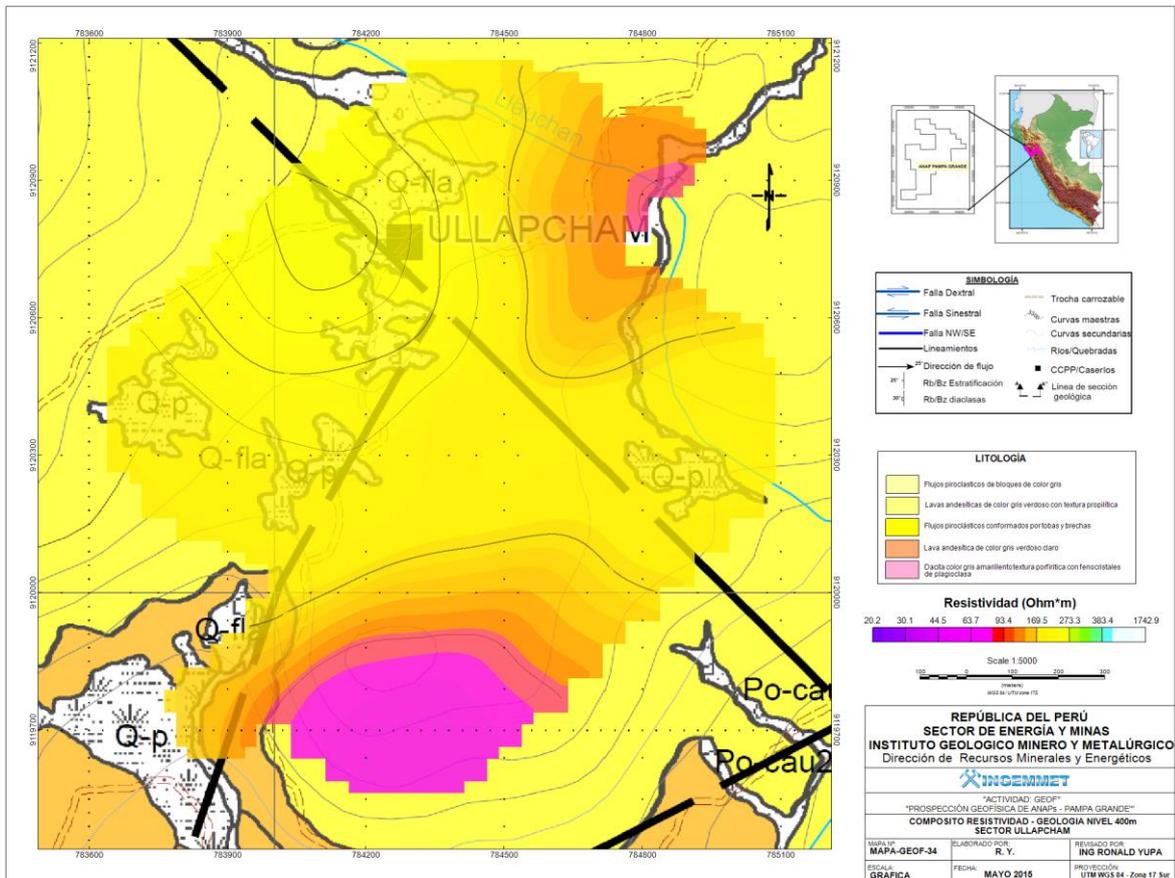
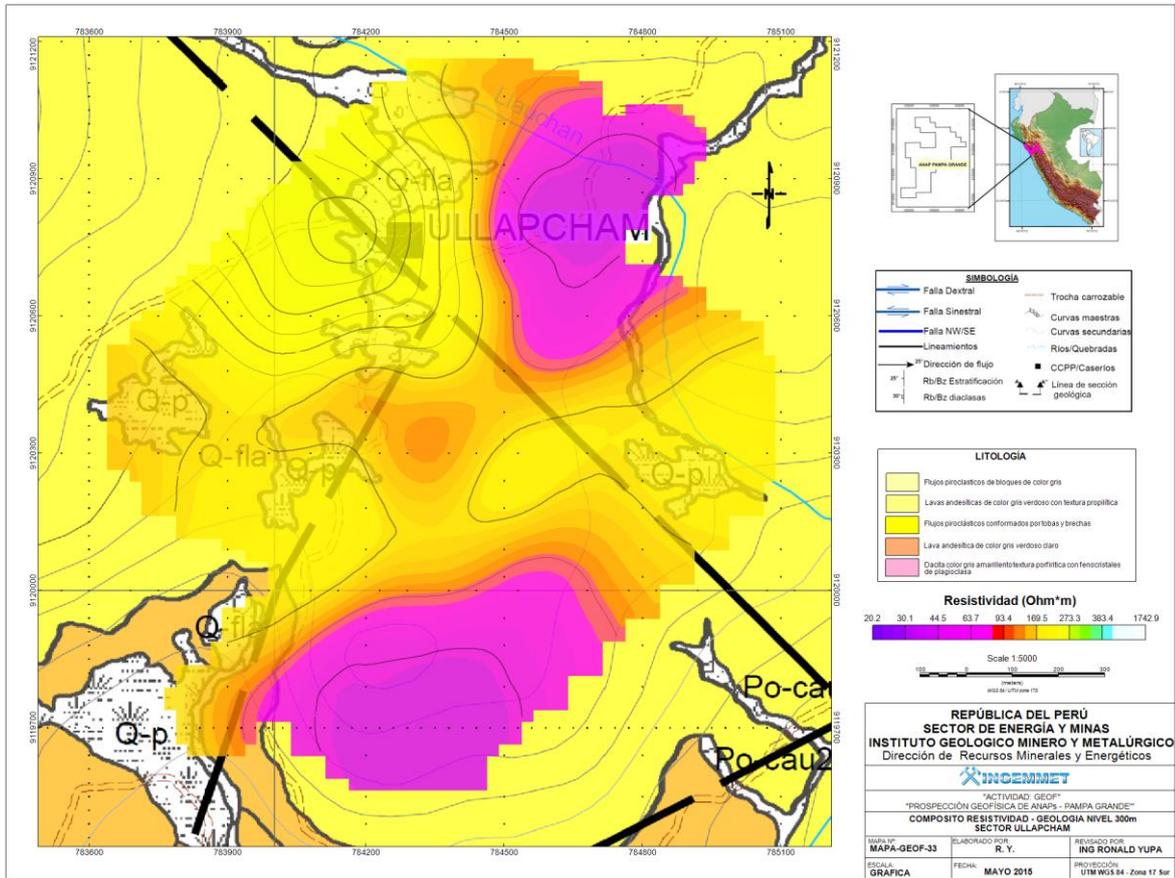
**MAPA DE LA GRADIENTE HORIZONTAL**

MAPA Nº: MAPA GEOP 26	ELABORADO POR: CARLOS VALENCIA	REVISADO POR: ING RONALD YUPA
ESCALA: GRAFICA	FECHA: JUNIO 2015	PROYECTO: UTM WGS 84 - Zona 17 Sur









## 4.5. Teoría general de los métodos empleados

Los métodos geofísicos empleados en los sectores de San Apolonio, Independencia y Ullapcham fueron el de polarización inducida IP3D y de magnetometría.

### 4.5.1. Teoría General Estudios de Polarización Inducida – IP3D

La técnica de polarización inducida en dominio de tiempo consiste en emitir energía a la superficie del terreno con un pulso de onda cuadrada alternando a través de un par de electrodos. En la mayoría de estos levantamientos como este, las medidas de IP/RES son hechas en una malla de regular tamaño con un buen número de estaciones a lo largo de las líneas. El transmisor emite pulsos de corriente al terreno a través de los electrodos (Tx) y a su vez se interrumpe de manera simultánea esta corriente, el voltaje observado en la superficie del terreno no cae inmediatamente a cero, entonces este efecto de IP es medido como una disminución del voltaje (caída de la curva). Desafortunadamente, existen otros tipos de rocas y materiales que incrementan el efecto del IP, entre estas, rocas con grafito, arcillas y algunas rocas metamórficas (serpentinita). Entonces desde un punto de vista geológico, las respuestas del IP no se pueden interpretar de manera única, es así considerando esto, a los estudios geofísicos serán siempre necesario adjuntar otro tipo de información/datos para poder realizar una interpretación apropiada. La resistividad aparente del terreno es calculado de la corriente de entrada y el voltaje primario medido.

La configuración normal de IP/RES, consiste en un arreglo en el receptor que se establece de inicio a fin a lo largo de la línea mientras que dos electrodos de corriente son ubicados en el área, el primer electrodo de corriente estaría ubicado al inicio de la línea, exactamente una estación con anterioridad a nuestros electrodos de recepción y el segundo ubicado lo suficientemente alejado de nuestro área de estudio (Tx infinito), con el propósito de no generar ruido en nuestra adquisición. La adquisición generalmente se inicia en uno de los extremos de la línea y prosigue hasta el final de la misma. En las campañas de IP/RES se empleó una configuración offset polo-dipolo usando 10 canales espaciados cada 100m. En algunas áreas estos espacios fueron modificados para compensar la falta de accesos y/o mejorar el contacto entre el electrodo de recepción y el terreno.

El método de la polarización inducida ha sido utilizado frecuentemente en la búsqueda de depósitos de sulfuros diseminados como es el caso de los depósitos tipos pórfidos, Skarn, Epitermales, etc.

#### 4.5.1.1. Resistividad Aparente

La resistividad Aparente está definida como la resistencia al paso de la corriente. La resistividad Aparente es calculada automáticamente por el uso del receptor usando la ecuación 1 que se muestra abajo

$$\rho_a = \frac{K * V}{I} \quad (1)$$

Dónde:

$\rho_a$	= Resistividad aparente ( $\Omega m$ )
$V$	= Diferencia de potencia entre electrodos de potencial(v)
$I$	= Corriente transmitida (amps)
$K$	= Constante dimensional dependiente de la geometría de la posición de los electrodos

Para un arreglo lineal con electrodos de corriente  $C_1$  y  $C_2$ , y electrodos de potencial  $P_1$  y  $P_2$  donde  $C_1P_1$  es la distancia entre  $C_1$  y  $P_1$ , la constante adimensional,  $K$ , está definida por la ecuación 2 que sigue.

$$K = \frac{2\pi}{\left(\frac{1}{C_1P_1}\right) - \left(\frac{1}{C_1P_2}\right) - \left(\frac{1}{C_2P_1}\right) + \left(\frac{1}{C_2P_2}\right)} \quad (2)$$

Para el caso de polo-dipolo la ecuación N<sup>ro</sup>. 2 puede ser escrita como:

$$K_n = 2\pi * n(n + 1) * a \quad (3)$$

Dónde:

$K_n$  = Es la constante para una lectura tomada con un espaciamento de  $n$ .

#### 4.5.1.2. Cargabilidad

Cuando la corriente es inyectada al terreno causa que algunos materiales lleguen a polarizarse, este fenómeno es llamado polarización inducida y su propiedad física medida es llamada *Cargabilidad*. El terreno polarizado puede tomar algunos segundos en retornar al equilibrio después de ser polarizado con una fuente de corriente.

La fórmula utilizada para calcular la *Cargabilidad* es mostrada como sigue:

$$M = \frac{1}{V_c} \int_{t_1}^{t_2} V(t) dt \quad (4)$$

Dónde:

$$\begin{aligned} M &= \text{Cargabilidad en mV/V} \\ V_c &= \text{Voltaje Primario} \\ t_s &= \text{Voltaje secundario en t} \end{aligned}$$

#### 4.5.1.3. Error Standard

El error estándar (SEM) está definido como la desviación Standard dividido por la raíz cuadrada de un número de ciclos o pulsos usados para obtener la data.

Algebraicamente, el SEM está definido por:

$$SEM = \frac{\sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n X_j^2}{n} - \left(\frac{\sum_{j=1}^n X_j}{n}\right)^2}}{\sqrt{n}} \quad (5)$$

Dónde:

$$\begin{aligned} n &= \text{número de ciclos (pulsos) adquiridos} \\ j &= \text{Ciclos (pulsos)} \end{aligned}$$

$X_j$ , está definido de acuerdo al modo de operación del receptor. Por ejemplo:

$$X_j = \frac{\text{Window integral}_j}{Vp_j} \quad (5.1)$$

El SEM está representado en diferentes unidades para diferentes métodos. Por ejemplo:

$$SEM[TDIP] = SEM * 1000 * \frac{0.116875}{\text{frequency}} \quad (5.2)$$

En resumen, el SEM es una medida de la variación en la datos, normalizada de acuerdo al número de datos colectada. Esta presentación de los datos da una indicación de confiabilidad de la misma. Los datos al tener altos SEMs puede ser interpretada más rigurosamente que los que tienen bajos SEMs.

#### 4.5.2. Teoría General Estudios de Magnetometría

Los estudios de magnetometría terrestre tienen la meta de medir la variación espacial en la intensidad del campo magnético total de la tierra para la identificación de zonas con susceptibilidades magnéticas anómalas dentro de la escala del área estudiada.

Los métodos magnéticos y gravimétricos tienen mucho en común, pero en general el magnético es más complejo. Parcialmente debido a la diferencia entre el campo magnético dipolar y el campo gravimétrico monopolar, causado por la variación en la dirección del campo magnético donde el campo gravitatorio está siempre en la dirección vertical debido a la dependencia en el tiempo del campo magnético comparado con el campo gravitatorio que es invariable en relación al tiempo (ignorando pequeñas variaciones de marea). Usualmente en un mapa gravimétrico es dominado por efectos regionales, en un mapa magnético generalmente muestra un sin número de anomalías locales. Estas medidas de la intensidad del campo magnético son realizadas de manera fácil y de bajo costo comparado a otros métodos geofísicos. Las variaciones del campo magnético son a menudo diagnosticadas a estructuras mineralizadas así como a estructuras regionales siendo el método más versátil dentro de las técnicas de prospección geofísica.

Las variaciones temporales en el campo magnético son medidas en un punto fijo. Dado que las variaciones temporales son, en una buena aproximación, constantes en toda el área del estudio, la variación desde un valor constante o "datum", permite la corrección de mediciones en otros puntos (los medidos) para remover este efecto dejando solamente las variaciones espaciales.

#### 4.5.2.1. Interferencia Cultural

El área del estudio cuenta con algunas fuentes de contaminación cultural, principalmente cables de alta tensión en algunas zonas así como un pequeño poblado y el tránsito de los automóviles presentes durante el día. Sin embargo, se destaca que señales en la intensidad magnética en las cercanías de los poblados podrían relacionarse más bien a contaminación cultural que variaciones en las distribuciones de susceptibilidades magnéticas en el subsuelo, o sea efectos geológicos

### 4.6. Procesamiento de datos geofísicos

El procesamiento de datos se llevó a cabo utilizando el Oasis Montaj v8.2, para esto se importó los datos crudos para ambos métodos el de polarización inducida y el de magnetometría y se usaron 3 módulos; tales como el ip.omn, 1d\_fft.omn y el de magmap.omn.

#### 4.6.1. Procesamiento de datos magnéticos y aplicación de filtros

Se aplicaron los filtros de reducción al Polo, primera y segunda derivada del campo magnético total, la señal analítica y el gradiente de la derivada horizontal. A continuación se hace la introducción de estos filtros. Finalmente se realizó un modelo de inversión de los datos magnéticos utilizando la herramienta del VOXI con el que generamos información a diferentes niveles de profundidad.

##### 4.6.1.1. Reducción al Polo

La inclinación del campo magnético terrestre durante la adquisición de los datos produce un desplazamiento de los datos observados con respecto a la localización de los cuerpos magnéticos causativos. Esta corrección ajusta la localización de las fuentes. La relación establece:

$$A(r) = \frac{M}{G_p} g_\alpha = \frac{M}{G_p} \frac{\partial}{\partial \alpha} U(r)$$

Dónde:

$A(r)$  = Potencial Magnético;

$U(r)$  = Potencial Gravitatorio;

$\alpha$  = Dirección de la fuente magnética

Si tomamos la derivada en la dirección de la intensidad del campo magnético total ( $t$ ), obtenemos:

$$T(r) = \frac{M}{G_p} \frac{\partial^2}{\partial t \partial \alpha} U(r) \quad \text{Ecuación (1),}$$

Con  $T$  = Cuerpo anómalo del Campo magnético

Análogamente, la anomalía teórica que producirá el mismo cuerpo en el polo magnético será:

$$T_{polo}(r) = \frac{M}{G\rho} \frac{\partial^2}{\partial z^2} U(r) \quad \text{Ecuación (2),}$$
$$\hat{t} = a\hat{i} + b\hat{j} + c\hat{k}$$
$$\alpha = \alpha\hat{i} + \beta\hat{j} + \gamma\hat{k}$$

Tomando FT a las ecuaciones (1) y (2) e igualando FT [U(r)], obtenemos:

$$FT[T_{polo}(r)] = FP(k_x, k_y)FT[T(r)]$$

El procedimiento consiste en tres pasos:

- Aplicación de la transformada
- Filtro
- Anti transformada

#### 4.6.1.2. Primera y Segunda Derivada

Corresponde el cálculo tanto de la primera como la segunda derivada de la función del campo magnético del área de estudio con respecto a la componente de campo Total F, esta es muy utilizada para la determinación de estructuras y contactos subverticales.

#### 4.6.1.3. Señal Analítica

Corresponde a la energía envolvente de las anomalías magnéticas y no depende de la dirección de magnetización de las fuentes. La amplitud de la "Señal Analítica" tendrá relación directa con la intensidad de magnetización, y presentará valores máximos sobre los bordes de las fuentes magnéticas. La Señal Analítica se define como:

$$AS(x, y, z) = \sqrt{(Tx^2 + Ty^2 + Tz^2)}$$

Donde  $T_x, T_y, T_z$  corresponden a los gradientes (derivadas) en las direcciones x, y, z respectivamente, que pueden ser fácilmente calculados en el dominio de Fourier.

El ruido presente en los datos observados, es amplificado al calcular la "Señal Analítica" (recordar que las derivadas equivalen a filtros pasa alto), por lo que es recomendable filtrar las altas frecuencias antes de calcular AS.

#### 4.6.2. Procesamiento de polarización inducida

El procesamiento de polarización inducida se realizó en una primera etapa con una revisión de las curvas de caída del potencial (Vp) para observar el ruido existente en los datos. En una segunda etapa se importó los datos al Oasis Montaj y poder realizar un ploteo de pseudo secciones de datos crudos. Seguidamente, se utilizó el algoritmo de inversión RES3DINV método que utiliza un suavizado por ajuste de mínimos cuadrados, desarrollado por Loke, M.H de Geotomo Software Sdn Bhd (2003). Finalmente se importó los datos de inversión al Oasis Montaj en extensión xyz y generar nuestra información en e dimensiones generando mapas en planta a diferentes niveles de profundidad.

##### 4.6.2.1. Modelo de Inversión RES3DINV

*RES3DINV* es un software que automáticamente determina un modelo de resistividad en 3 dimensiones (3-D) para la subsuperficie del terreno usando los datos obtenidos en campo. La distribución espacial de los electrodos en la malla son ubicados en un área rectangular. Se deberá dar énfasis que el levantamiento en 3D no es la aplicación de levantamientos en series de 2D, aunque tienen diferentes objetivos a ser empleados. Los arreglos más comunes en la adquisición en 3D son el polo-polo, polo-dipolo y dipolo-dipolo, otros arreglos no proporcionan con suficientes datos para una inversión en 3D.

Es un software basado en plataforma Windows que soporta multiprocesadores CPUs. Este software está diseñado para realizar modelos de inversión de un gran conjunto de datos (200 a 100000 puntos de datos) adquiridos con un arreglo de gran número de electrodos (25 a 16000 electrodos). Una nueva implementación del método de mínimos cuadrados basado en la técnica de optimización de Newton (Loke & Barker 1996) puede ser usado. Esta técnica puede ser 10 veces más rápida que el método convencional de mínimos cuadrados para un gran conjunto de datos donde requiere menos memoria.

El método de suavizados compactos Mínimos Cuadrados está basado en la siguiente ecuación

$$(J^T J + uF)d = J^T g$$

Donde  $F = f_x f_x^T + f_z f_z^T$

$f_x$  = Filtro horizontal

$f_z$  = Filtro vertical

$J$  = Matriz de derivadas parciales

$J^T$  = Transpuesta de  $J$

$u$  = Factor de suavizado

$d$  = Modelo del vector de perturbación

$g$  = Vector de discrepancia