

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
Facultad de Ingeniería Geológica, Minera y Metalúrgica
Escuela Profesional de Geología



PROSPECTO SAPUCAI:
MINERALIZACIÓN AURÍFERA EN COMPLEJO ALCALINO
CRETÁCICO EN EL BORDE NORTE DEL RIFT DE ASUNCIÓN -
EXPLORACIÓN, GEOLOGÍA Y MODELO PRELIMINAR

PARAGUAY ORIENTAL

TESIS
PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO GEÓLOGO

HERNÁN MARCO TANABE OKADA
PROMOCIÓN 1989-I

LIMA - PERÚ
Julio 2002

PROSPECTO SAPUCAI:
 MINERALIZACIÓN AURÍFERA EN COMPLEJO ALCALINO
 CRETÁCICO EN EL BORDE NORTE DEL RIFT DE ASUNCIÓN,
 PARAGUAY – EXPLORACIÓN, GEOLOGÍA Y MODELO
 PRELIMINAR

ÍNDICE

RESUMEN.....	VIII
CONCLUSIONES	X
RECOMENDACIONES	XII
I - GENERALIDADES.....	1
I.1 INTRODUCCIÓN	1
I.2 OBJETIVOS	3
I.3 METODOLOGÍA DE TRABAJO.....	4
I.3.1 Técnicas de Gabinete.....	4
I.3.2 Trabajos de Gabinete.....	4
I.3.3 Trabajos de Campo.....	5
I.3.4 Base Cartográfica.....	6
I.3.5 Materiales y Equipo utilizado	6
I.4 ÁREA DE ESTUDIO	8
I.4.1 Ubicación y Accesos	8
I.4.2 Límites de Denuncios y Áreas Prospectadas	11
I.4.3 Clima.....	11
I.4.4 Recursos Naturales	11
I.4.5 Hidrografía	12
I.4.6 Infraestructura	15
I.5 ASPECTOS COLATERALES	17
I.5.1 Situación Socio Política y Económica	17
I.5.2 Marco Legal.....	18
I.5.3 Ventajas y Desventajas Comparativas.....	18
I.5.4 Medio Ambiente y Seguridad	19
I.6 AGRADECIMIENTOS	21
II – GEOLOGÍA REGIONAL.....	22
II.1 GEOMORFOLOGÍA	22
II.2 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL	26
II.3 LITO-ESTRATIGRAFÍA	32
II.3.1 Proterozoico: Grupo Paso Pindó	32
II.3.2 Cámbrico: Suite Intrusiva-Extrusiva Caapucú.....	32
II.3.3 Ordovícico: Grupo Caacupé	33
II.3.4 Silúrico: Grupo Itacurubí.....	33
II.3.5 Pérmico: Grupo Independencia.....	33
II.3.6 Triásico-Cretácico: Formación Ybytymí	34
II.3.7 Cretácico Inferior: Volcánicos Sapucaí	34
II.3.8 Cretácico superior al Terciario: Grupo Asunción	34
II.3.9 Terciario inferior: Volcánicos Ñemby.....	35
II.3.10 Cuaternario: sedimentos recientes	35

II.4 INTRUSIONES Y VULCANISMO.....	41
II.5 GEOFÍSICA REGIONAL.....	50
II.5.1 <i>Objetivos Geofísicos</i>	50
II.5.2 <i>Antecedentes de Trabajos Geofísicos</i>	50
II.5.3 <i>Programa de Geofísica Aérea</i>	50
II.5.4 <i>Magnetometría Aérea</i>	51
II.5.4.1 <i>Fundamentos de Magnetometría</i>	51
II.5.4.2 <i>Mediciones de Campos Magnéticos</i>	54
II.5.4.3 <i>Estructuras Magnéticas</i>	54
II.5.4.4 <i>Textura Magnética</i>	58
II.5.5 <i>Radiometría Aérea</i>	58
II.5.5.1 <i>Fundamentos de Radiometría</i>	58
II.5.5.2 <i>Radiométrico de Potasio</i>	63
II.5.5.3 <i>Radiométrico de Torio</i>	63
II.5.5.4 <i>Radiométrico Potasio/Torio</i>	65
II.5.5.5 <i>Radiométrico de Uranio</i>	65
II.6 GEOQUÍMICA REGIONAL.....	70
II.6.1 <i>Objetivo</i>	70
II.6.2 <i>Antecedentes</i>	70
II.6.3 <i>Fundamentos</i>	70
II.6.4 <i>Programa de Muestreo de Sedimentos de Escorrentía</i>	71
II.6.4.1 <i>Muestreo de Orientación</i>	71
II.6.4.2 <i>Muestreo Sistemático</i>	72
II.6.4.3 <i>Muestreo de Seguimiento</i>	75
II.6.4.4 <i>Análisis Químico</i>	75
II.6.5 <i>Resultados Geoquímicos</i>	77
II.6.5.1 <i>Evaluación de Valores Estándares</i>	77
II.6.5.2 <i>Diagrama de Correlación Geoquímica</i>	79
II.6.5.3 <i>Parámetros Estadísticos de la Geoquímica</i>	79
II.6.5.4 <i>Interpretación de Resultados Geoquímicos</i>	80
II.6.5.5 <i>Resumen de Anomalías</i>	85
III – GEOLOGÍA LOCAL.....	95
III.1 EVOLUCIÓN GEOLÓGICA.....	95
III.1.1 <i>Área de Sapucaí</i>	95
III.1.2 <i>Área de Guazu Cuá</i>	98
III.2 PETROGRAFÍA ÍGNEA.....	99
III.2.1 <i>Gabros y Sienitas</i>	99
III.2.2 <i>Sienitas de feldespatoideos y Teralitas</i>	100
III.2.3 <i>Ultramáficos</i>	100
III.3 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL.....	106
III.4 ALTERACIÓN.....	111
III.4.1 <i>Alteración Potásica</i>	111
III.4.2 <i>Carbonatización</i>	112
III.4.3 <i>Propilitización</i>	112
III.4.4 <i>Zeolitización</i>	113
III.4.5 <i>Fluoritización</i>	113
III.5 MINERALIZACIÓN.....	121
III.5.1 <i>Mineralización de Óxidos</i>	121
III.5.2 <i>Mineralización de Sulfuros</i>	121
III.5.3 <i>Distribución de Mineralización</i>	122
III.6 GEOFÍSICA LOCAL.....	126
III.6.1 <i>Polarización Inducida (IP) y Resistividad</i>	126
III.6.1.1 <i>Fundamentos</i>	126
III.6.1.2 <i>Mediciones de IP y Resistividad</i>	127
III.6.1.3 <i>Resultados de Cargabilidad en Guazu Cuá</i>	127
III.6.1.4 <i>Resultados de Resistividad en Guazu Cuá</i>	128
III.6.1.5 <i>Resultados de Cargabilidad en Sapucaí</i>	128
III.6.1.6 <i>Resultados de Resistividad en Sapucaí</i>	134
III.6.2 <i>Magnetometría de detalle</i>	134
III.6.2.1 <i>Mediciones Magnetométricas</i>	134
III.6.2.2 <i>Resultados Magnetométricos</i>	134

III.6.3 Radiometría de detalle	137
III.7 GEOQUÍMICA LOCAL	142
III.7.1 Objetivo	142
III.7.2 Programa de Muestreo Geoquímico	142
III.7.2.1 Muestreo de Suelos tipo Auger	142
III.7.2.2 Muestreo de Fragmentos de Rocas	143
III.7.2.3 Análisis Químico	143
III.7.3 Muestreo en Guazu Cuá	144
III.7.3.1 Programa de Muestreo	144
III.7.3.2 Resultados Geoquímicos en Guazu Cuá	144
III.7.4 Muestreo en Sapucaí	156
III.7.4.1 Programa de Muestreo	156
III.7.4.2 Resultados Geoquímicos en Sapucaí	156
III.8 PERFORACIÓN DIAMANTINA	171
III.8.1 Programa de Perforación	171
III.8.2 Perforación en Guazu Cuá	171
III.8.2.1 Ubicación de sondajes SAP-001 y SAP-002	171
III.8.2.2 Descripción de Sondajes en Guazu Cuá	175
III.8.2.3 Geoquímica de Sondajes en Guazu Cuá	175
III.8.3 Perforación en Cerro Verde (Sapucaí)	177
III.8.3.1 Ubicación de Sondajes SAP-003 al SAP-011	177
III.8.3.2 Descripción de Sondajes en Cerro Verde (Sapucaí)	178
III.8.3.3 Geoquímica de Sondajes en Cerro Verde (Sapucaí)	179
IV - INTERPRETACIÓN GEOLÓGICA	182
IV.1 MODELO GEOLÓGICO DE SAPUCAÍ	182
IV.2 COMPARACIÓN ENTRE SAPUCAÍ Y CRIPPLE CREEK	185
IV.2.1 Características Geológicas	185
IV.2.2 Características Geoquímicas	186
BIBLIOGRAFIA	192
ANEXOS	197

Índice de Ilustraciones

Figura I.4.1 Ubicación del Prospecto Sapucaí	9
Figura I.4.2 Límites del Denuncio y Áreas Prospectadas	10
Figura I.4.5a Hidrografía y Principales Regiones del Paraguay	13
Figura I.4.5b Hidrografía del Área de Paraguari.....	14
Figura II.1.1 Fisiografía de Sudamérica.....	23
Figura II.1.2 Principales Morfo-Estructuras Regionales de Sudamérica	24
Figura II.1.3 Imagen Satelital Bandas RGB-321 Área Paraguari	25
Figura II.2.1 Principales Morfo-Estructuras Regionales de Paraguay	28
Figura II.2.2 Interpretación Estructural de Imagen Landsat – Área Paraguari.....	29
Figura II.2.3 Borde norte del Rift de Asunción o bloque levantado	30
Figura II.2.4 Fractura-miento de areniscas post-basálticas	30
Figura II.2.5 Vista Panorámica del Rift de Asunción	31
Figura II.3.1 Mapa Geológico del Paraguay	36
Figura II.3.2 Mapa Geológico Simplificado de Paraguay Oriental.....	37
Figura II.3.3 Geología del Área Paraguari	38
Figura II.3.4 Sección Transversal al Rift de Asunción en el Área de Paraguari	39
Figura II.3.5 Sección Longitudinal al Rift de Asunción en el Área de Paraguari	40
Figura II.4.1 Ubicación de Rocas Ígneas Alcalinas de Sudamérica.....	42
Figura II.4.2 Ubicación de Rocas Ígneas Alcalinas en Paraguay.....	43
Figura II.4.3 Ubicación de Rocas Ígneas Alcalinas en el Área de Paraguari	44
Figura II.4.4 Disyunción Columnar en Basaltos del Paraná	45
Figura II.4.5 Disyunción Columnar en Areniscas del Rift de Asunción.....	45
Figura II.4.6 Disyunción Columnar en Areniscas: Muestras Tipo.....	46
Figura II.4.7 Areniscas Columnares de Areguá en el Rift de Asunción	46
Figura II.5.1 Magnético Reducido al Polo de Paraguay Oriental	52
Figura II.5.2 Avión para Levantamiento Geofísico	53
Figura II.5.3 Vuelo de Levantamiento Geofísico en el Área de Paraguari	53
Figura II.5.4 Magnético Reducido al Polo del Área Paraguari	55
Figura II.5.5 Variación de Polaridad del Campo Magnético Terrestre	56
Figura II.5.6 Magnético a 250 m del Área Paraguari.....	57
Figura II.5.7 Contorno de Lavas Basálticas del Área Paraguari	59
Figura II.5.8 Textura o Rugosidad Magnética (<i>Fabric</i>) del Área Paraguari	60
Figura II.5.9 Magnético Gradiente Horizontal del Área Paraguari.....	61
Figura II.5.10 Principales Estructuras Magnéticas del Área de Paraguari	62
Figura II.5.11 Radiométrico de Potasio Normalizado del Área de Paraguari	64
Figura II.5.12 Radiométrico Relación Potasio/Torio del Área de Paraguari.....	66
Figura II.5.13 Radiométrico de Torio del Área de Paraguari.....	67
Figura II.5.14 Radiométrico de Uranio del Área de Paraguari	68
Figura II.5.15 Principales Anomalías Radiométricas del Área de Paraguari.....	69
Figura II.6.1 Programa de Muestreo de Sedimentos de Escorrentía en el Área de Paraguari.....	73
Figura II.6.2 Foto de la toma de muestras de Sedimentos de Escorrentía.....	74
Figura II.6.3 Cuadros Comparativos de Estándares.....	78
Figura II.6.4 Geoquímica de Oro BLEG en el Área de Paraguari	86
Figura II.6.5 Geoquímica de Oro fracción –200 en el Área de Paraguari.....	87
Figura II.6.6 Geoquímica de Estroncio en el Área de Paraguari.....	88
Figura II.6.7 Geoquímica de Escandio en el Área de Paraguari	89
Figura II.6.8 Geoquímica de Cobre en el Área de Paraguari	90
Figura II.6.9 Geoquímica de Zinc en el Área de Paraguari.....	91
Figura II.6.10 Geoquímica de Bario en el Área de Paraguari	92
Figura II.6.11 Geoquímica de Manganeso en el Área de Paraguari.....	93
Figura II.6.12 Geoquímica de Vanadio en el Área de Paraguari	94
Figura III.1 Plano Geológico Interpretado de Sapucaí.....	96
Figura III.2 Foto panorámica de Sapucaí (vista hacia el sur).....	97
Figura III.2.1 Diagrama de Strekeisen de Clasificación de Rocas Ígneas.....	101
Figura III.2.2a Diagrama TAS de Rocas Ígneas de Sapucaí.....	102

Figura III.2.2b Diagrama TAS de Rocas Ígneas de los volcánicos Asunción.....	102
Figura III.2.3 Gabro	103
Figura III.2.4 SienoGabro (Monzo gabro).....	103
Figura III.2.5 Tefrita Leucítica	104
Figura III.2.6 Essexita.....	104
Figura III.2.7 Basalto Porfírico.....	105
Figura III.2.8 Fonolita Porfírica.....	105
Figura III.3.1a Brecha Intrusiva	108
Figura III.3.1b Brecha Intrusiva.....	108
Figura III.3.2a Brecha de diatrema	109
Figura III.3.2b Brecha de diatrema	109
Figura III.3.3a Brecha de Fracturamiento o Crackle Breccia.....	110
Figura III.3.3b Brecha de Fracturamiento o Crackle Breccia	110
Figura III.4.1. Plano de Alteraciones de Sapucaí.....	114
Figura III.4.2 Alteración Potásica sobre Brecha Hidrotermal.....	115
Figura III.4.3 Alteración Potásica en Tefrita	115
Figura III.4.4 Sección Delgada con Alteración Potásica.....	116
Figura III.4.5 Sección Pulida con Mineralización de Sulfuros	116
Figura III.4.6 Alteración Potásica en Brecha Intrusiva	117
Figura III.4.7 Alteración Potásica en Brecha de diatrema	117
Figura III.4.8 Carbonatización en Brecha Intrusiva Gabroica	118
Figura III.4.9 Carbonatización en Basalto	118
Figura III.4.10 Propilitización en Gabro	119
Figura III.4.11 Propilitización en Basalto	119
Figura III.4.12a Zeolitización en Basalto.....	120
Figura III.4.12b Zeolitización en Basalto	120
Figura III.5.1 Afloramiento de Brecha Hidrotermal Picuá	124
Figura III.5.2 Muestra de Brecha Hidrotermal con Alteración Potásica.....	124
Figura III.5.3 Testigo de Sondaje DDH-1 sobre Brecha Picuá, vista longitudinal	125
Figura III.5.4 Testigo de Sondaje DDH-1 sobre Brecha Picuá, vista transversal	125
Figura III.6.1 Respuesta de Cargabilidad de Guazu Cuá	129
Figura III.6.2 Perfil de Cargabilidad de Sapucaí.....	130
Figura III.6.3 Respuesta de Cargabilidad de Sapucaí	131
Figura III.6.4 Respuesta de Resistividad de Sapucaí	132
Figura III.6.5 Perfil de Resistividad de Sapucaí	133
Figura III.6.6 Magnético Reducido al Polo de Sapucaí, levantamiento aéreo	135
Figura III.6.7 Magnético reducido al Polo de Sapucaí, levantamiento de superficie.....	136
Figura III.6.8 Radiométrico de Potasio de Sapucaí, levantamiento aéreo.....	138
Figura III.6.9 Radiométrico de Uranio de Sapucaí, levantamiento aéreo	139
Figura III.6.10 Magnético Reducido al Polo de Guazu Cuá, levantamiento aéreo.....	140
Figura III.6.11 Radiométrico de Potasio de Guazu Cuá, levantamiento aéreo	141
Figura III.7.1 Programa de Muestreo de Suelos y Rocas en Guazu Cuá	146
Figura III.7.2 Toma de Muestras de Suelo por el Método Auger	147
Figura III.7.3 Muestreo Auger	147
Figura III.7.4a Geoquímica de Oro de Guazu Cuá, muestras de suelos y rocas	148
Figura III.7.4b Geoquímica de Oro de Guazu Cuá, muestras de sedimentos de escorrentía	149
Figura III.7.5 Geoquímica de Arsénico de Guazu Cuá.....	150
Figura III.7.6 Geoquímica de Lantano de Guazu Cuá	151
Figura III.7.7 Geoquímica de Itrio de Guazu Cuá.....	152
Figura III.7.8 Geoquímica de Níquel de Guazu Cuá.....	153
Figura III.7.9 Geoquímica de Cobalto de Guazu Cuá.....	154
Figura III.7.10 Geoquímica de Manganeseo de Guazu Cuá.....	155
Figura III.7.11 Programa de Muestreo de Suelos y Rocas en Sapucaí.....	159
Figura III.7.12 Geoquímica de Oro de Sapucaí	160
Figura III.7.13 Geoquímica de Arsénico de Sapucaí	161
Figura III.7.14 Geoquímica de Flúor de Sapucaí	162
Figura III.7.15 Geoquímica de Manganeseo de Sapucaí	163
Figura III.7.16 Geoquímica de Vanadio de Sapucaí	164
Figura III.7.17 Geoquímica de Estroncio de Sapucaí	165

Figura III.7.18 Geoquímica de Zinc de Sapucaí	166
Figura III.7.19 Geoquímica de Plomo de Sapucaí	167
Figura III.8.1 Ubicación de Perforaciones Diamantinas en Guazu Cuá.....	173
Figura III.8.2 Ubicación de Perforaciones Diamantinas en Sapucaí.....	174
Figura III.8.3 Perforación en plataforma del sondaje SAP-002 en Guazu Cuá.....	176
Figura III.8.4 Perforación en plataforma del sondaje SAP-007 en Sapucaí.....	176
Figura III.8.5 Cajas Resúmenes de Sondajes SAP-001, 002 y 003.....	180
Figura III.8.6 Cajas Resúmenes de Sondajes SAP-004 y SAP-005	180
Figura III.8.7 Cajas Resúmenes de Sondajes SAP-006, 007 y 008.....	181
Figura IV.1.1 Modelo Geológico de Sapucaí, escala local	183
Figura IV.1.2 Modelo Geológico de Sapucaí a escala Distrital	184
Figura IV.2.1 (a y b) Comparación de Modelos para Depósitos de Oro Emplazados en Brechas de Rocas Alcalinas.....	187
Figura IV.2.2a Diagrama TAS de Sapucaí.....	188
Figura IV.2.2b Diagrama TAS de Cripple Creek	188
Figura IV.2.3a Distribución geoquímica de Cripple Creek.....	189
Figura IV.2.3b Distribuciones Geoquímicas de Sapucaí	190
Figura IV.2.4 Cripple Creek, vista del Tajo actual	191
Figura IV.2.5 Cripple Creek, Brecha de Diatrema Cresson.....	191

Índice de Tablas

Tabla II.4.1 Edades de Rocas Alcalinas en el Rift de Asunción	49
Tabla II.6.4.4 Límite de Detección del Análisis Multielemental	76
Tabla II.6.5.1 Valores Estándares	77
Tabla II.6.5.3 Distribución de Percentiles y Parámetros Estadísticos - Programa de Muestreo de Sedimentos de Escorrentía	80
Tabla II.6.5.2 Matriz de Correlación de Sedimentos de Escorrentía.....	81
Tabla III.4.1 Minerales Identificados por Difractometría de Rayos X.....	111
Tabla III.5.1a Análisis por Oro en el Sondaje DDH-3.....	122
Tabla III.5.1b Análisis Multielemental (*) en el Sondaje DDH-3	122
Tabla III.5.1c Análisis por Oro y Flúor de la Brecha Picuá (en superficie).....	122
Tabla III.5.1d Análisis Multielemental (*) de la Brecha Picuá (en superficie).....	123
Tabla III.7.1 Distribución de Percentiles y Parámetros Estadísticos - Programa de Muestreo Sistemático de Suelos en Guazu Cuá.....	144
Tabla III.7.2 Distribución de Percentiles y Parámetros Estadísticos - Programa de Muestreo Sistemático de Suelos en Guazu Cuá.....	145
Tabla III.7.3 Distribución de Percentiles y Parámetros Estadísticos - Programa de Muestreo Sistemático de Rocas en Guazu Cuá.....	145
Tabla III.7.4 Distribución de Percentiles y Parámetros Estadísticos - Programa de Muestreo Sistemático de Suelos en Sapucaí.....	156
Tabla III.7.5 Distribución de Percentiles y Parámetros Estadísticos - Programa de Muestreo Sistemático de Rocas en Sapucaí.....	157
Tabla III.7.6 Matriz de Correlación de Suelos Horizonte C	168
Tabla III.7.7 Matriz de Correlación de Suelos Horizonte B	169
Tabla III.7.8 Matriz de Correlación de Rocas.....	170
Tabla III.8.1 Programa de Perforación Diamantina	172
Tabla A: Análisis Químico Modal de Rocas Alcalinas Sapucaí	198

RESUMEN

El prospecto Sapucaí es un depósito aurífero sub-económico emplazado en rocas ígneas de composición alcalina de edad Cretácico Inferior con mineralización tipo Cripple Creek, ubicado en el margen norte del rift de Asunción en la zona central de Paraguay Oriental. El prospecto abarca todas las zonas prospectivas dentro de una extensión de 119,800 Ha, incluido las áreas de Sapucaí en sí y el área de Guazu Cuá, siendo la primera la más importante.

Los primeros indicios fueron encontrados en 1982 por The Anschutz Co. Posteriormente Yamana Resources determinó las primeras mineralizaciones auríferas tras un programa de perforación en 1997. El presente trabajo compila lo realizado en el marco del *Joint Venture* entre Newmont y Yamana entre 1999 y el 2001.

El rift de Asunción tiene rumbo noroeste-sureste y alcanzó su máximo desarrollo durante el Cretácico inferior tras la apertura del Atlántico Sur al separarse la Pangea en el Jurásico. La depresión del rift sirvió inicialmente de cuenca depositacional para las secuencias sedimentarias continentales del Paleozoico superior y luego del Mesozoico inferior. Estas secuencias consisten en areniscas, limolitas y conglomerados de ambientes fluviales, eólicos y glaciales.

Dos blancos principales de exploración al detalle fueron determinados como consecuencia del programa geoquímico de sedimentos de escorrentía, éstas áreas mostraban consistentes anomalías auríferas principalmente en las muestras tipo BLEG. Estas áreas son: **Sapucaí** (o Cerro Verde) y **Guazu Cuá**. Las anomalías geoquímicas en dichas áreas coinciden con la interpretación de datos magnéticos y radiométricos así como de interpretación de imágenes satelitales, los cuales combinados entre sí sugieren la presencia de zonas de alteración relacionadas a centros volcánicos.

El área de Sapucaí es el núcleo de un complejo alcalino de 3x4 km caracterizado por una serie de intrusiones de grano fino a grueso: gabro, sienita, fonolita, tefrita, essexita y shonkinita. Los flujos de lavas basálticas alcalinas rellenan paleo-depresiones alrededor del centro del complejo volcánico. Las rocas intrusivas y extrusivas han sido cortadas posteriormente por una serie de diques (mayormente alineados con dirección noroeste-sureste) y por brechas ígneas e hidrotermales. La brecha hidrotermal de Picuá (Brecha Picuá) se ubica en el centro del complejo volcánico de Sapucaí, tiene un afloramiento de 10x50 m y una geometría a manera de cuello que profundiza unos 150 m acuniéndose hacia el fondo. Sobre esta brecha, que corta a un stock fonolítico, se ha emplazado un ensamble de alteración potásica con mineralización aurífera principalmente. El contenido de otros metales como plata o cobre es muy reducido. La alteración potásica está constituida por sericita, adularia, biotita y otros feldespatos potásicos (ortoclasa). Adicionalmente se tiene alteración propilítica hacia los bordes con carbonatos (calcita, siderita, ankerita), cloritas y zeolitas (natrolita, laumontita). La fluorita se presenta en cristales tapizando fracturas y espacios abiertos de la roca, tanto en las zonas de alteración potásica como propilítica. La mineralización se manifiesta a manera de sulfuros disseminados (en matriz de brecha y de roca) y relleno de fracturas: pirita, pirrotita, galena, esfalerita. En niveles superficiales estos sulfuros están oxidados presentándose como limonitas y hematitas. La magnetita se presenta como mineral

primario constituyente de roca. La brecha Picuá es la única zona con una consistente mineralización en oro, la ley máxima supera los 6 ppm y la ley promedio es inferior a 1 ppm.

El área de Guazu Cuá se sitúa en el sector medio del rift alineado con los centros volcánicos de Sapucaí al noreste y Acahay al suroeste. Es una área completamente plana con ausencia casi total de afloramientos (el suelo llega a tener una potencia de 5 a 7 m) y fue determinada mediante la magnetometría aérea y corroborada por la geoquímica. Es coincidente con el centro de una estructura magnética circular que podría estar relacionada con un cuello volcánico o brecha erosionada cubierto posteriormente por derrames de basaltos. Los escasos afloramientos revelan flujos de lava basáltica con alteración zeolítica. No se determinó mineralización de sulfuros u óxidos en superficie, a pesar de que el muestreo de suelos encontró una consistente anomalía de tierras raras (lantano), itrio, manganeso, arsénico, níquel y cobalto.

Basándose en el levantamiento geofísico de superficie, con mediciones de cargabilidad, resistividad, magnetometría y combinados con los resultados de la geoquímica de suelos, se determinaron los principales blancos de perforación. El programa de perforación se diseñó con 11 sondajes diamantinos inclinados sobre las dos áreas principales: 9 sondajes en Sapucaí y 2 sondajes en Guazu Cuá, totalizando 2724 m, ubicados sobre brechas ígneas e hidrotermales (cartografiadas o inferidas) que presentaban altas anomalías de cargabilidad asociadas a posibles cuerpos de sulfuros.

CONCLUSIONES

Dos áreas principales fueron seleccionadas por reunir las condiciones geoquímicas, geofísicas y geológicas necesarias para poder albergar un depósito aurífero con contenido económico: Sapucaí (Cerro Verde) y Guazu Cuá, ambos relacionados a centros volcánicos alcalinos con características similares al yacimiento de Cripple Creek en Estados Unidos.

El prospecto Sapucaí está emplazado dentro de un complejo alcalino de edad Cretácico inferior ubicado en el borde norte del Rift de Asunción, y presenta evidencias importantes de haber tenido una larga vida y por ende un sistema hidrotermal más desarrollado. Brechas hidrotermales tardías con alteración potásica se han emplazado en el núcleo del complejo Sapucaí con comprobada mineralización de oro en la denominada brecha Picuá. Varios otros sistemas alcalinos menores han sido identificados en la región sin mayores signos de alteración y mineralización. (v.g. Acahay, Ybypyté).

Petrográficamente, las rocas ígneas subvolcánicas presentan texturas muy gruesas como fenocristales de sanidina de hasta 5 centímetros de largo en fonolitas, lo cual sugiere niveles profundos de emplazamiento, y en las condiciones actuales, un alto grado de erosión. Es muy probable que los escasos afloramientos de la brecha hidrotermal mineralizada en Picuá, represente un remanente de las raíces de un cuello de brecha completamente erosionado y el complejo Sapucaí completo, sea en realidad un antiguo estratovolcán cuyo cráter principal debió estar a varios cientos de metros (hasta algunos miles de metros) por encima de la superficie actual.

Debido a la escasez de afloramientos, las herramientas de prospección geofísica (en especial magnetometría, radiometría y polarización inducida) y geoquímica (muestreo de sedimentos de escorrentía, muestreo de suelos y de rocas) a distintas escalas, han jugado un papel fundamental para poder focalizar las zonas de mayor prospectividad y de esa manera determinar los principales blancos exploratorios; comparativamente el cartografiado geológico de detalle ha tenido un rol menos protagónico para la interpretación debido principalmente a la discontinuidad de la información recopilada.

Las dos perforaciones en el área de Guazu Cuá no encontraron valores anómalos de oro, pues la mayor parte de ellos fueron menores a 5 ppb. No se determinó ninguna evidencia de mineralización o de alteración que pudiese explicar la anomalía de tierras raras (lantano) e itrio encontrada en muestras de suelos alrededor del sondaje SAP-001. Tampoco se determinó zonas con sulfuros diseminados u otro tipo de alteración importante que pudiese explicar la anomalía de cargabilidad relativamente alta en el área alrededor del sondaje SAP-002 encontrada en el reconocimiento de polarización inducida y resistividad.

De los 9 sondajes diamantinos realizados dentro de las zonas reconocidas de diatrema y de brechas ígneas en el área principal Sapucaí, ninguno encontró anomalías significativas de oro, pues todos los valores fueron menores a 200 ppb, inclusive donde los sondajes interceptaban las brechas intrusivas y/o diatremas con alto contenido de pirita (hasta 10%). Valores anómalos pero sub-económicos en oro fueron encontrados dentro de zonas

muy restringidas de brechas hidrotermales en las zonas periféricas al sur-este de la brecha Picuá, que tiene comprobada mineralización aurífera.

Es muy baja la probabilidad de que exista suficiente tonelaje de mineralización económica de oro dentro o alrededor de las áreas evaluadas por la perforación. La única zona con mineralización aurífera con valores en promedio de 1 g/t se ubica en la brecha Picuá, pero no posee el tonelaje necesario para soportar una operación minera comercial.

Asimismo, cabe resaltar la importancia que representa el haber encontrado mineralización aurífera asociada a intrusiones alcalinas en nuestro continente, lo cual abre las oportunidades para investigar otros centros volcánicos de similar naturaleza que se encuentran distribuidos en diversas zonas del continente.

En nuestro país no se conoce al momento este tipo de intrusiones alcalinas relacionadas a ambientes tectónicos distensivos, que podrían haberse desarrollado transversalmente a la franja de plegamiento Andino. La presencia de eventos ígneos Cenozoicos emplazados en la margen oriental de la franja de sobre-escurrimiento de la Cordillera Oriental podría significar un signo importante para este tipo de emplazamiento. Uno de los factores principales es la existencia de corteza continental adelgazada (factor existente en la región), que afectada por tectónica distensiva a nivel cortical permite la ascensión de magma primigenio (no palingenético) proveniente del manto superior.

RECOMENDACIONES

Dado los resultados desalentadores del programa de perforación aquí presentado y a la ausencia de otros blancos de importancia dentro del área prospectada, se recomienda que Newmont termine su participación en el proyecto. Sin embargo, no se descarta la presencia de otros cuerpos con mineralización aurífera que pudiesen estar relacionados a eventos ígneos de composición alcalina similares al encontrado en Sapucaí, en regiones aún no exploradas del Paraguay.

Considerar la posibilidad de mineralización aurífera emplazada en complejos alcalinos en el Perú en el borde este de la Cordillera Oriental del Perú. Dos factores han jugado un rol preponderante: en primer lugar los centros volcánicos de composición alcalina son hasta ahora desconocidos en el Perú y por ende no han sido nunca considerados como objetivos de exploración, y como segundo factor tenemos que la Cordillera Oriental en particular es una zona de difícil acceso y relativamente poco estudiada en la búsqueda de yacimientos metálicos. Si bien el ambiente tectónico no es el más favorable, pues nos ubicamos en una zona de compresión, no se descartan localmente zonas de distensión con fallamiento profundo que podría albergar este tipo de rocas y con algo de suerte contener un yacimiento en él.

I - GENERALIDADES

I.1 INTRODUCCIÓN

El presente trabajo compila y resumen la totalidad de labores afectuadas bajo mi cargo, dirección y ejecución en el prospecto Sapucaí en Paraguay, en el período comprendido entre octubre de 1999 y marzo del 2001, dentro del marco del acuerdo firmado entre las compañías Newmont Mining (<http://www.newmont.com>) y Yamana Resources Inc. (<http://www.yamana.com>) para exploración aurífera en áreas pre-establecidas dentro de territorio Paraguayo.

La palabra Sapucaí proviene del nombre del pueblo más cercano, que en idioma Guaraní significa grito. El Guaraní es el idioma oficial del Paraguay junto al Castellano, y es el idioma predominante hablado por el poblador rural. El Castellano sólo es hablado cotidianamente por un sector de la población citadina.

Los primeros valores anómalos de oro en la zona de Sapucaí fueron descubiertos por la compañía norteamericana Anschutz en 1982 durante un programa de exploración regional focalizado en la búsqueda de depósitos de uranio. Fue un descubrimiento indirecto debido a que las anomalías encontradas fueron de flúor y arsénico concentradas en la zona central del complejo alcalino en Sapucaí. Basándose en estas anomalías geoquímicas que coinciden con las del yacimiento aurífero de Cripple Creek (ubicado en el estado de Colorado en Estados Unidos con una producción histórica de 21 millones de onzas de oro) que está emplazado en un ambiente tectónico similar, con rocas y alteraciones también muy similares, se optó por efectuar análisis por oro, dando como resultados las primeras anomalías. Sin embargo, el objetivo principal de Anschutz era el Uranio y no se le dió la debida importancia en su momento. Cabe resaltar que **Cripple Creek** es un yacimiento aurífero tipo, dentro de un cuerpo de brecha volcánica (brecha Cresson) de composición fonolítica en un ambiente de rift, cuya mineralización principal está emplazada en estructuras paralelas de potencia métrica y longitudes de centenas de metros, con leyes del orden de 7 a 10 onzas por tonelada de oro. Estas vetas y cuerpos fueron descubiertos por los españoles y minados subterráneamente desde antes del siglo 19 y la explotación continuó hasta 1961, posteriormente en 1994 Anglo Gold (<http://www.anglogold.com>) puso en operación el tajo abierto con un recurso de casi 4 millones de onza de oro con leyes entre 0.7 a 3.0 gr/TM.

Paralelamente y con fines netamente académicos, el área del complejo alcalino de Sapucaí fue sujeto de una serie de estudios petrológicos, petrográficos y geoquímicos por expertos locales y extranjeros, principalmente de la Universidad de Sao Paulo (<http://www.usp.br>), sirviendo como tema de tesis de maestría y tesis doctorales, desde la década de los 70 hasta los noventa.

A inicios de 1996 se inicia la elaboración de las primeras cartas geológicas del Paraguay a escala 1:100,000 que incluyen el área de Sapucaí y sus alrededores, realizadas en el marco de un convenio de Cooperación entre el gobierno Paraguayo (Dirección de Recursos Minerales o DRM) y el gobierno Alemán (*Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe* o BGR), cartas que fueron publicadas recién a inicios de 1998.

En 1996 y con la información proporcionada por antiguos geólogos de Anschutz, la compañía Yamana Resources Inc (minera junior norteamericana con base en la ciudad de Spokane, estado de Washington, Estados Unidos y cuyas acciones cotizan en la bolsa de valores de Toronto en Canadá), inicia los primeros trabajos de prospección aurífera en la zona, llegando a definir al cabo de un año, dos blancos principales: el primero y principal blanco ubicado en los alrededores de Sapucaí basándose principalmente en anomalías geoquímicas de muestras de sedimentos de escorrentía, muestras de suelos y muestras de rocas; y el segundo blanco en el sector denominado Potrero Ybaté basándose principalmente en anomalías magnéticas.

En 1997, **Minera Yamana** (nombre de la sucursal Paraguaya de Yamana Resources Inc.) ejecuta un programa de perforación diamantina, identificando una anomalía de oro a profundidad en el área denominada **brecha Picuá**, un pequeño afloramiento de 10 x 50 m ubicado en el centro del complejo intrusivo de Sapucaí. La brecha Picuá está constituida por una brecha hidrotermal con alteración potásica emplazada en un stock fonolítico con valores anómalos en oro que alcanzan los 0.5 ppm de oro en superficie y 6.0 ppm de oro en profundidad.

En el primer trimestre de 1999, Newmont Mining (principal compañía aurífera norteamericana) firmó un acuerdo con Yamana Resources Inc. retomando los trabajos exploratorios en el área.

Cabe resaltar que hasta la fecha no se ha descubierto en el Paraguay ningún yacimiento de minerales metálicos de importancia económica, con excepción de una pequeña operación por hierro a inicios del siglo 20 en la zona de Minas Cué (en guaraní: antigua mina); y del área denominada Paso Yobai, a 70 km al este de Sapucaí, en donde pobladores locales vienen explotando artesanalmente pequeñas concentraciones auríferas en paleo-placeres. Asimismo, a lo largo del rift de Asunción se tienen algunos indicios de anomalías diamantíferas emplazadas en cuellos volcánicos de composición lamproítica y kimberlítica que son comunes en los ambientes tectónicos tipo rift emplazados en los bordes de cratones.

I.2 OBJETIVOS

El objetivo global del trabajo de campo consistió en comprobar la presencia de los indicios de mineralización aurífera determinadas con anterioridad, definiendo su tipo, intensidad, magnitud, así como, evaluando el potencial de mineralización aurífera de carácter distrital y local. Todo esto, en el menor costo y tiempo posible, y además con la mayor calidad, precisión y por supuesto respeto al medio ambiente.

El objetivo particular de esta tesis consiste en demostrar concatenadamente los hechos factuales que condujeron a determinar dos áreas como las más prospectivas y favorables para alojar una mineralización aurífera económica dentro de una región de más de 100,000 ha en Paraguay Oriental. En este sentido, se hace incapié en los métodos de prospección indirecta como son la geofísica y la geoquímica, herramientas fundamentales en el estudio y evaluación de zonas como la región central del Paraguay, que tiene una topografía bastante plana y pocos afloramientos. Asimismo, se incide en las características tectono-estructurales que guían al emplazamiento de un tipo de vulcanismo específico de estos ambientes. Se describen a continuación las características petro-mineralógicas de las principales rocas ígneas que conforman los centros volcánicos. Mas adelante, se analizan los procesos de alteración y mineralización encontrados en el prospecto, y sus implicancias de orden económico. Finalmente, se propone un modelo geológico preliminar y se compara este con el modelo del yacimiento más semejante.

I.3 METODOLOGÍA DE TRABAJO

I.3.1 Técnicas de Gabinete

La compilación sistematizada y organizada de toda la información existente y generada por el trabajo diario es la clave para una interpretación adecuada (junto a la elaboración de perfiles interpretativos, elaboración de modelos esquemáticos y comparación con modelos existentes). En este sentido, el empleo intensivo del sistema que en Newmont se denomina **Sistema de Folios** coadyuvó significativamente a este proceso. Este sistema viene empleándose con éxito en Newmont desde hace unos años.

Este sistema consiste en definir desde el inicio:

¿Cuales serán las escalas de trabajo?

¿Cuál será el área de trabajo a dichas escalas?

Una vez dado este paso, se procede a la confección de los folios, utilizando como base una imagen satelital, un plano topográfico, una imagen de radar o una ortofoto (dependiendo de la escala y de la disponibilidad de la información). Cada información adicional (previamente recolectada o generada en el momento) se colocará en una hoja adicional (de igual formato al de la base) de preferencia transparente con la condición de que contenga un solo tipo de información: por ejemplo: centros volcánicos, estructuras lineales, estructuras circulares, diques, etc. Este proceso puede ser manual o digitalmente, siendo este último el más recomendable por su versatilidad a ser impreso a escala diferente a la original.

En la práctica fueron elaborados cuatro folios de trabajo de campo: folio Paraguay escala 1:1'000,000, folio Paraguarí 1:100,000 (regional), folio Sapucaí-Guazu Cuá 1:25,000 (distrital) y folio Sapucaí 1:10,000 (local). Adicionalmente se prepararon tres folios de presentación: Paraguarí escala 1:300,000 (regional) y Sapucaí y Guazu Cuá ambos a escala 1:25,000 (local). Cada uno contiene un mínimo de 10 hojas y algunos llegaron a tener más de 30 hojas considerando información factual e información interpretada.

I.3.2 Trabajos de Gabinete

La secuencia cronológica de los trabajos de gabinete efectuados es la siguiente:

Compilación de datos existentes a la fecha de inicio de los trabajos de campo: información planimétrica, bibliografías asociadas, etc.

Elaboración de folios a diferentes escalas (1:100,000, 1:25,000 y 1:10,000) con información individualizada en cada hoja: intrusivos, volcánicos, edades, etc.

Identificación de los principales centros volcánicos.

Interpretación de imágenes satelitales a escala 1:250,000 y 1:100,000; definición de principales controles estructurales: lineales y circulares.

Diseño del programa de prospección, basado en muestreo geoquímico de sedimentos de escorrentía.

Estimación de la densidad óptima de muestreo y de la fracción de malla a utilizar en los sedimentos de escorrentía.

Evaluación de la consistencia de los análisis químicos de las muestras de sedimentos de escorrentía proporcionados por los laboratorios, comparación con los valores de los estándares propios.

Interpretación geoquímica de los sedimentos de escorrentía y actualización de folios.

Diseño del programa de prospección geofísica aérea, basado en los controles estructurales determinados en superficie.

Interpretación geofísica y actualización de folios.

Selección de principales áreas para focalizar la exploración.

Interpretación geoquímica y actualización de folios a diferentes escalas (1:25,000 y 1:10,000).

Elaboración de planos y perfiles geofísicos (a escalas 1:10,000, 1:5,000 y 1:2,500), actualización de folios e interpretación de resultados.

Compilación geológica a escala 1:10,000.

Elaboración de perfiles geológicos interpretativos a escala 1:5,000.

Selección de los principales objetivos para el programa de perforación.

Interpretación de resultados de la perforación.

Elaboración de perfiles interpretativos.

I.3.3 Trabajos de Campo

Los trabajos de campo conducidos por Newmont se iniciaron en agosto de 1999 y continuaron hasta agosto del 2000, cuando se definieron dos blancos: uno en Sapucaí y el otro en Guazu Cuá. Un programa de perforación diamantina fue llevado a cabo entre febrero y marzo del 2001 con un total de 2724 m, distribuidos en 11 sondajes inclinados: 2 sondajes en Guazu Cuá y 9 sondajes en Sapucaí.

Participaron varios profesionales especialistas (consultores) en sus respectivas áreas, en períodos variables de tiempo (de días a semanas): Dr. Eugene Tobey (Petrología), Dr. Owen Lavin y Todd Wakefield (Geoquímica), Dr. Stephen Turner y Jerry Mohling (Geología), Dr. Bernard Lubbe (Geofísica) y también el técnico Agustin Mamani (preparación de muestras). El licenciado en geología Sr. Wilmar Bartel y mi persona llevamos a cabo todos los trabajos de campo a tiempo completo. Adicionalmente, los licenciados en geología Srs. Juan Carlos Benitez y Narciso Cubas apoyaron en los trabajos geológicos de campo como contratistas temporales.

La secuencia cronológica de los trabajos de campo efectuados es la siguiente:

Muestreo de orientación de sedimentos de escorrentía.

Programa de muestreo geoquímico de sedimentos de escorrentía.

Cartografiado geológico a escala 1:25,000 efectuado paralelamente al muestreo geoquímico.

Revisión de las principales anomalías y densificación del muestreo.

Programa de geofísica aérea: magnetometría y radiometría.

Revisión de campo de principales anomalías geofísicas.

Programa de muestreo geoquímico de detalle sobre áreas seleccionadas (muestreo de suelos y rocas).

Programa de geofísica de superficie: magnetometría y polarización inducida

Cartografiado geológico a escala 1:5,000 utilizando ortofotos digitales.

Programa de perforación diamantina.

Descripción de testigos de perforación.
Preparación de muestras de perforación.

La declinación magnética utilizada para los años 1999-2001 fue de 10.5 grados al oeste.

I.3.4 Base Cartográfica

En la República de Paraguay, el íntegro de la información cartográfica es suministrada por el Instituto Geográfico Militar (IGM) con sede en la ciudad de Asunción, es un organismo muy similar al peruano. Desde inicios del 2000 dispone de planos y ortofotos digitales a escalas 1:25,000 y 1:5,000 de toda la región de Paraguay Oriental. La relación de planos utilizados para el cartografiado a diversas escalas se detalla a continuación:

Planos fisiográficos, políticos, geológicos a escala 1:1'000,000, proyeccion geográfica Gauss Kruger .

Planos topográficos a escala 1:250,000, proyección UTM, datum Chua Astro, zona 6.

Planos topográficos a escala 1:100,000, proyección UTM, datum WGS-84 zona 21.

Planos topográficos a escala 1:50,000, proyección UTM, datum Chua Astro, zona 6.

Ortofotos en formato digital a escala 1:25,000 con topografía incluida, proyeccion UTM, datum WGS-84, zona 21.

Ortofotos en formato digital a escala 1:5,000 con topografía incluida, proyeccion UTM datum WGS-84, zona 21.

Una gran parte de la información cartográfica reciente del Paraguay ha sido re-impresa utilizando la proyección UTM con el datum WGS-84 (World Geodetic System establecido en 1984). La totalidad de los planos impresos antes de 1998 utilizan la proyección UTM con el datum Chua Astronómico zona 6 que es el que se utiliza normalmente en Argentina.

Adicionalmente se utilizaron imágenes satelitales Landsat impresas a escalas 1:100,000 y 1:250,000, con combinaciones de bandas RGB:321, RGB:453, RGB:571 y RGB:741. Existe una sola imagen que cubre todo el sector trabajado, y se ubica en el Path 225, Row 78 de fecha 26 de junio de 1985.

I.3.5 Materiales y Equipo utilizado

Para los trabajos de campo se utilizaron:

GPS de tercera generación marca Garmin II plus, para todo el cartografiado geológico y la ubicación de muestras. La topografía plana permite lecturas libres de obstrucciones. Inclusive la retícula para los trabajos geofísicos fue colocada usando el GPS. El GPS o sistema de posicionamiento global (*Global Positioning System* por sus siglas in inglés) es un sistema que integra a los satélites con aparatos electrónicos portátiles que mediante programas de computación incorporados calculan las coordenadas geográficas o UTM de cualquier punto sobre la superficie terrestre.

Medidor de susceptibilidad magnética marca Terraplus. Se utilizó para controlar en qué áreas las medidas obtenidas en la brújula eran dudosas y también para medir la susceptibilidad magnética de los testigos de perforación y muestras en general.

Equipo para recolección y tamizado de sedimentos de escorrentía: tamiz de nylon malla 10 y 30, baldes plásticos (2 para tamizado y 2 para recolección), picetas, cucharones metálicos, bolsas microporosas y plato para batear sedimentos.

Equipo para muestreo de suelo o perforador Auger (descrito en el capítulo de geoquímica).

Equipo para muestreo de rocas: herramientas (mazos, cinceles), palas, picos (para limpieza de afloramientos) y bolsas plásticas.

Tarjetas pre-impresas para codificación y descripción de las muestras.

Para los trabajos de gabinete se utilizaron:

Mesa de luz con dimensiones mínimas de 100 x 80 cm (fundamental).

Rollo de papel Herculene (ó *mylar*).

Microscopio binocular para muestras de mano.

Tablero digitalizador Calcomp.

Computadora Portátil Toshiba Satellite Pentium I.

Programas de computadora o *software*: Stones for Windows version 2.1, Autocad R13, Office 98. El Stones es un *software* propiedad y creación de Newmont para manejo e integración de datos geoquímicos, geofísicos y geológicos, que utiliza datos numéricos y gráficos generados mediante otros programas (archivos tipo: mdb, dxf, bmp, reg, etc.).

Cabe destacar que la totalidad de planos geoquímicos y geofísicos incluidos en esta tesis han sido elaborados utilizando el *software* Stones.

I.4 ÁREA DE ESTUDIO

I.4.1 Ubicación y Accesos

El prospecto Sapucaí está ubicado en la porción central de Paraguay Oriental, a 80 km en línea recta al sureste de Asunción ciudad capital, a una elevación entre 150 y 300 m, cerca del pueblo de Sapucaí. Políticamente pertenece al distrito de Sapucaí, departamento de Paraguairí, República de Paraguay. Las coordenadas geográficas son 25 grados 40 minutos de latitud sur y 56 grados 50 minutos de longitud oeste (figura I.2.1).

El prospecto Sapucaí abarca dos áreas específicas: Sapucaí mismo (conocido localmente como Cerro Verde en alusión al sector en donde se encuentra) y Guazu Cuá (a 10 km al sur-suroeste de Sapucaí). Ambos pertenecientes a la región de Paraguairí (figura I.4.2).

El acceso se efectúa partiendo desde la ciudad de Asunción con rumbo sureste tomando la ruta asfaltada número 1 (hacia Encarnación) o con rumbo este tomando la ruta número 2 en autopista asfaltada (hacia Ciudad del Este). En este último caso, se toma el desvío sur en Itaguá para enlazar a la ruta número 1 en la ciudad de Itá. En este punto se continúa en la ruta 1 pasando por las ciudades de Yaguarón y Paraguairí (figura I.4.2). En Paraguairí (capital del departamento) se toma un desvío hacia el este siguiendo una ruta afirmada paralela a la vía del tren, pasando por el pueblo de Escobar hasta llegar al pueblo de Sapucaí. La parte central del prospecto (sector Cerro Verde) se ubica a 4 km al sur del pueblo de Sapucaí, al que se accede tomando una ruta afirmada que cruza casi exactamente por el núcleo del prospecto. Localmente, existen una serie de caminos públicos y privado que unen las propiedades y que son recorridos generalmente por carretas de los pobladores locales. Para acceder a la zona de Guazu Cuá, se toma una ruta afirmada con rumbo sur partiendo desde Sapucaí hasta un desvío ubicado a 8 Km, luego se prosigue 5 km con rumbo oeste.

El acceso por vía ferroviaria no es posible en la actualidad, debido a la suspensión del servicio por el mal estado de los rieles y de las locomotoras. Sin embargo, el trazado existe y es susceptible de ser reparado en cualquier momento.

La ciudad de Asunción es accesible por vía fluvial, terrestre y aérea. El río Paraguay es navegable aguas abajo convirtiéndose en el río La Plata después de su la confluencia con el río Uruguay, existiendo un servicio regular de transporte de carga vía fluvial que une a los principales puertos del Mercosur. La conexión terrestre de Asunción se hace mediante carreteras asfaltadas hacia Argentina (Posadas y Clorinda) y Brasil (Foz do Iguaçu), constituyéndose como las principales puertas para el intercambio comercial con el Mercosur. Hacia Bolivia existe un camino sin afirmar que no es utilizado comercialmente. El aeropuerto internacional Silvio Petrossi es el principal terminal aéreo que, junto a la aerolínea nacional TAM (Transporte Aéreo del Mercosur, de capitales brasileños) y a otras aerolíneas internacionales, conecta a Asunción en vuelos regulares, con las principales ciudades de los países vecinos: Buenos Aires, Sao Paulo, Santa Cruz y Santiago. No existe en la actualidad vuelos directos entre Lima y Asunción

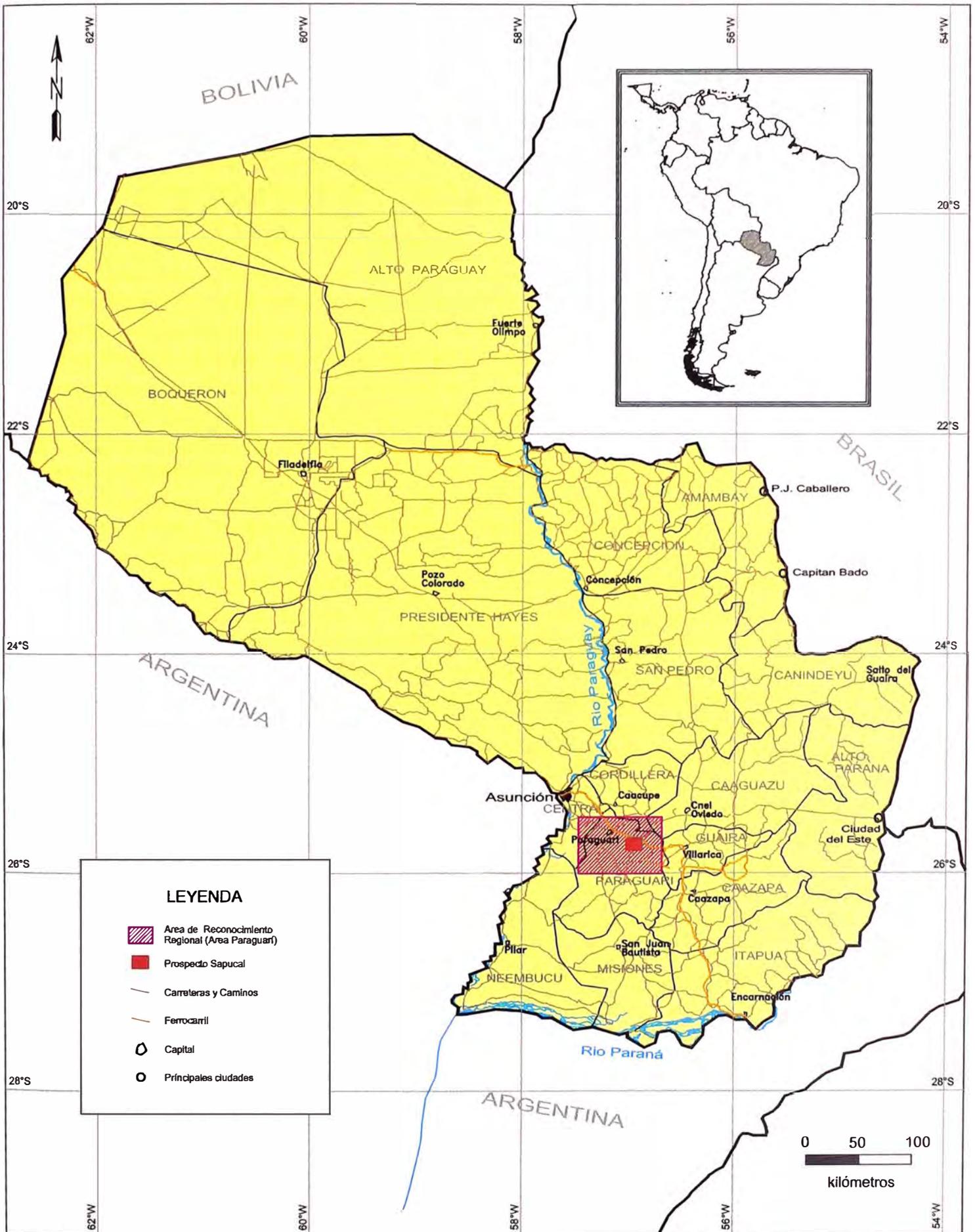
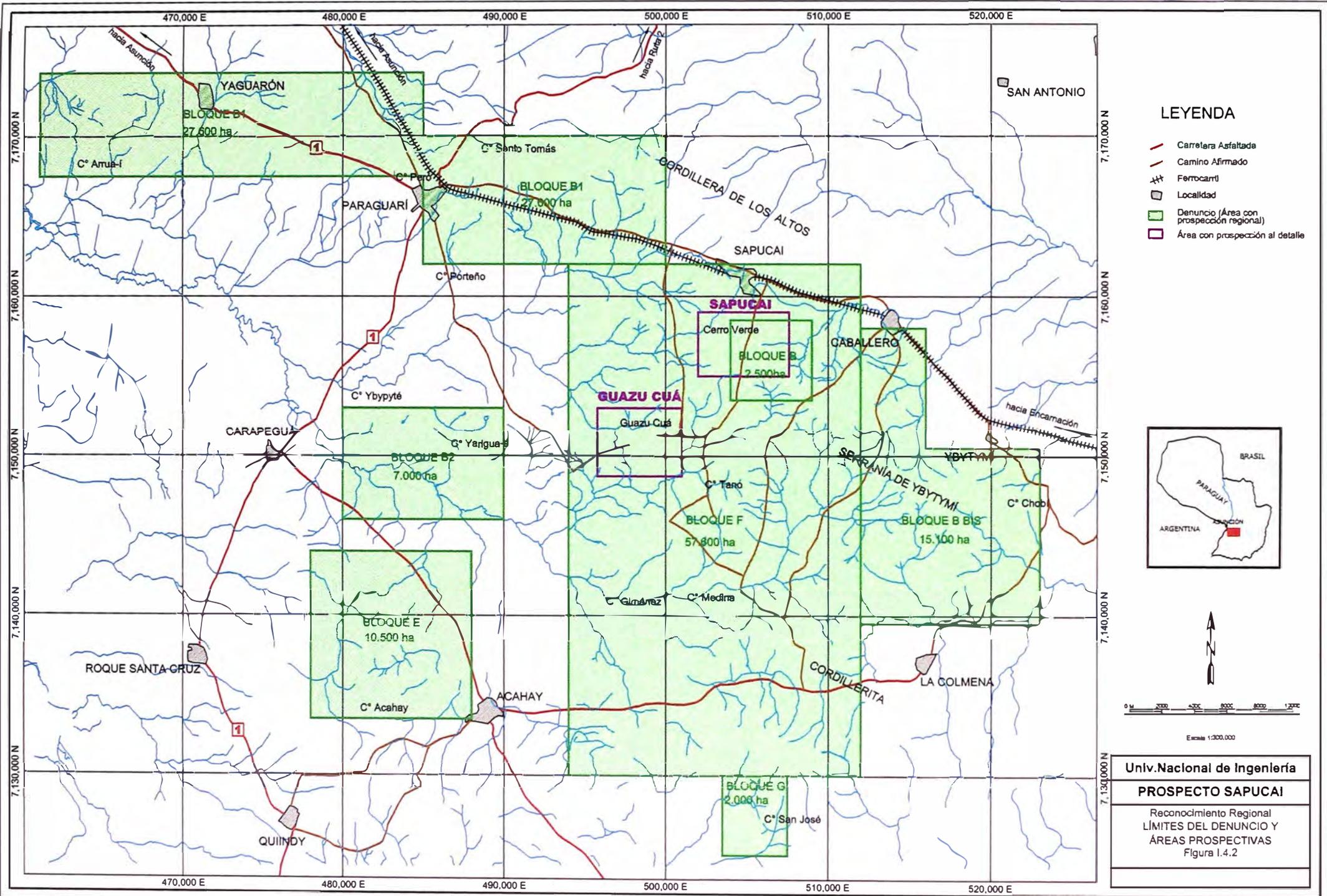


Figura I.4.1 Ubicación del Prospector Sapucaí



Univ. Nacional de Ingeniería
PROSPECTO SAPUCAI
 Reconocimiento Regional
 LÍMITES DEL DENUNCIO Y
 ÁREAS PROSPECTIVAS
 Figura 1.4.2

I.4.2 Límites de Denuncios y Áreas Prospectadas

El área de los denuncios abarca una extensión de 119,800 ha (figura I.4.2, áreas sombreadas en color verde) que comprende las áreas de concesión solicitadas al Estado Paraguayo mediante las leyes 1568/2000 con 117,300 ha (bloques B1, B2, B Bis, E, F y G) y 894/1996 con 2500 ha (bloque B) distribuidas en especial sobre los sectores con presencia de centros intrusivos y volcánicos dentro del rift de Asunción. Adicionalmente se evaluaron los sectores aledaños y circundantes a manera de protección. Por fines prácticos, se ha denominado a toda esta región con reconocimiento regional como área Paraguari, nombre de la capital del departamento al cual pertenece Sapucaí.

Las áreas prospectadas al detalle son Sapucaí y Guazu Cuá (figura I.4.2, recuadros de color magenta), sobre las que se efectuaron muestreos, cartografiados y perforación.

El 100% de los denuncios se ubica sobre propiedades particulares rurales, destinadas principalmente a la ganadería y en menor proporción a la agricultura. El área de Guazu Cuá pertenece a la estancia Naranja-y o Agromonte (<http://agromonte.com.py>). Los denuncios abarcan inclusive algunos poblados pequeños y medianos (con algunas decenas de miles de habitantes), lo cual simplificaba la prospección por la abundancia de caminos, y a la vez la dificultaba por la cantidad de permisos a obtener.

I.4.3 Clima

La ubicación geográfica de Paraguay como país mediterráneo le confiere unas características climáticas muy particulares. La ausencia de altos topográficos permite un flujo libre de los vientos que son los motores principales de los cambios climáticos. Un aumento de la presión atmosférica en la Patagonia Argentina y en el extremo sur del continente Sudamericano generan un flujo hacia el norte de los vientos Antárticos que traen consigo una disminución sustancial de la temperatura ambiental (hasta un mínimo de -5 grados centígrados), bajo contenido de humedad (45%) y ausencia de lluvias. Por el contrario, cuando el sistema predominante proviene de la cuenca Amazónica, se generan flujos de vientos hacia el sur que traen aumento de temperatura (hasta 45 grados centígrados), aumento de la humedad ambiental (80-100%) y copiosas lluvias (hasta 100 mm o más) durante varios días consecutivos. Es posible tener variaciones de temperaturas del orden de los 20 a 25 grados en un mismo día. Por esta razón y a pesar de las bajas temperaturas estacionales, se considera que Paraguay tiene un clima subtropical, con sectores semi-áridos como la región del Chaco.

I.4.4 Recursos Naturales

El clima con una alta pluviosidad y cielo soleado favorece al desarrollo de abundante vegetación principalmente en la región de Paraguay Oriental. Esto es aprovechado por la industria maderera quienes están sobre-explotando el recurso. Los campos abiertos luego de la tala son quemados para eliminar plantas menores, y de esa manera queda expedito el terreno para su uso para la crianza de ganado vacuno. Paraguay es el tercer productor vacuno del Mercosur después de Argentina y Brasil. Únicamente los terrenos con substrato volcánico o intrusivo son empleados para la siembra de soya y algodón, siendo

estos los principales productos de exportación tradicional. Los terrenos con substrato de areniscas son muy pobres en nutrientes e incapaces de sostener una producción agrícola constante, estos terrenos se usan únicamente para pastoreo.

Los recursos hídricos son abundantes en la zona. La presencia de potentes secuencias de areniscas de grano grueso con alta permeabilidad permite la existencia y recarga continua de las napas freáticas favorecido por un basamento impermeable constituido por macizos de granitos. Lamentablemente, en algunos sectores, intrusiones (diques) y vulcanismo tardío (derrames lávicos) de composición alcalina son fácilmente intemperizados y descompuestos por la alta pluviosidad generando aguas con alto contenido de sales de Potasio y Sodio, que dificultan el uso doméstico de este recurso.

I.4.5 Hidrografía

La región de Paraguay Oriental está limitada por dos grandes ríos navegables que se unen para formar el río de La Plata (por donde los españoles extrajeron la plata desde Bolivia), siendo abundantes los recursos hídricos (figura I.4.5a). Estos ríos son el río Paraguay y el río Paraná.

El río Paraguay fluye de norte a sur y corta por la mitad al Paraguay, nace en la zona conocida como el Pantanal en Brasil y es navegable hasta por embarcaciones de mediano calado en época de estiaje, y era hasta hace unas dos décadas, la principal vía de comunicación entre la zona central y la zona del Alto Paraguay, es utilizado todavía para el transporte de clinker (para la fabricación de cemento) desde una cantera de caliza ubicada a 320 km aguas arriba de Asunción. Aguas abajo sirve de vía de transporte de carga (combustibles, maderas, importaciones y exportaciones) hacia Buenos Aires y demás puertos de la cuenca Atlántica.

El río Paraná nace en el Brasil y marca el límite este y sureste del Paraguay con Brasil y Argentina. Este río fue navegable hasta hace unos años, pero fue embalsado en dos puntos mediante las presas de Itaipú (itá=piedra, ipu=que hace ruido, en guaraní) y Yaciretá. La hidroeléctrica de Itaipú (<http://www.itaipu.gov.pv/dt/>) es al momento la represa e hidroeléctrica más grande del mundo, con 18 turbinas que generan una energía de 12,600 megavatios, la mitad de esta energía pertenece al Paraguay, pero debido a que solo logra consumir la producción de 3 turbinas, el excedente que es la energía producida por 6 turbinas es vendido al Brasil. De igual manera, la hidroeléctrica de Yaciretá (Empresa Binacional Yaciretá <http://www.eby.org.ar>) fue construida recientemente conjuntamente con el gobierno Argentino, la mitad de su producción de energía pertenece al Paraguay, quien se la vende a la Argentina que consume el íntegro de la producción energética.

Localmente, la topografía suave ha generado sistema hidrográficos meandriformes, con abundancia de pantanos y llanuras de inundación estacionales, inclusive con presencia de deltas continentales. En el área prospectada (figura II.4.5b), los sistemas hidrográficos se desarrollan al interior y al exterior del denominado rift de Asunción. El sistema exterior está bien desarrollado y tiene dirección predominante perpendicular a la dirección del rift, con drenajes colectores paralelos a este. El sistema interior del rift en cambio está póbrememente desarrollado debido a la topografía llana, los drenajes principales son

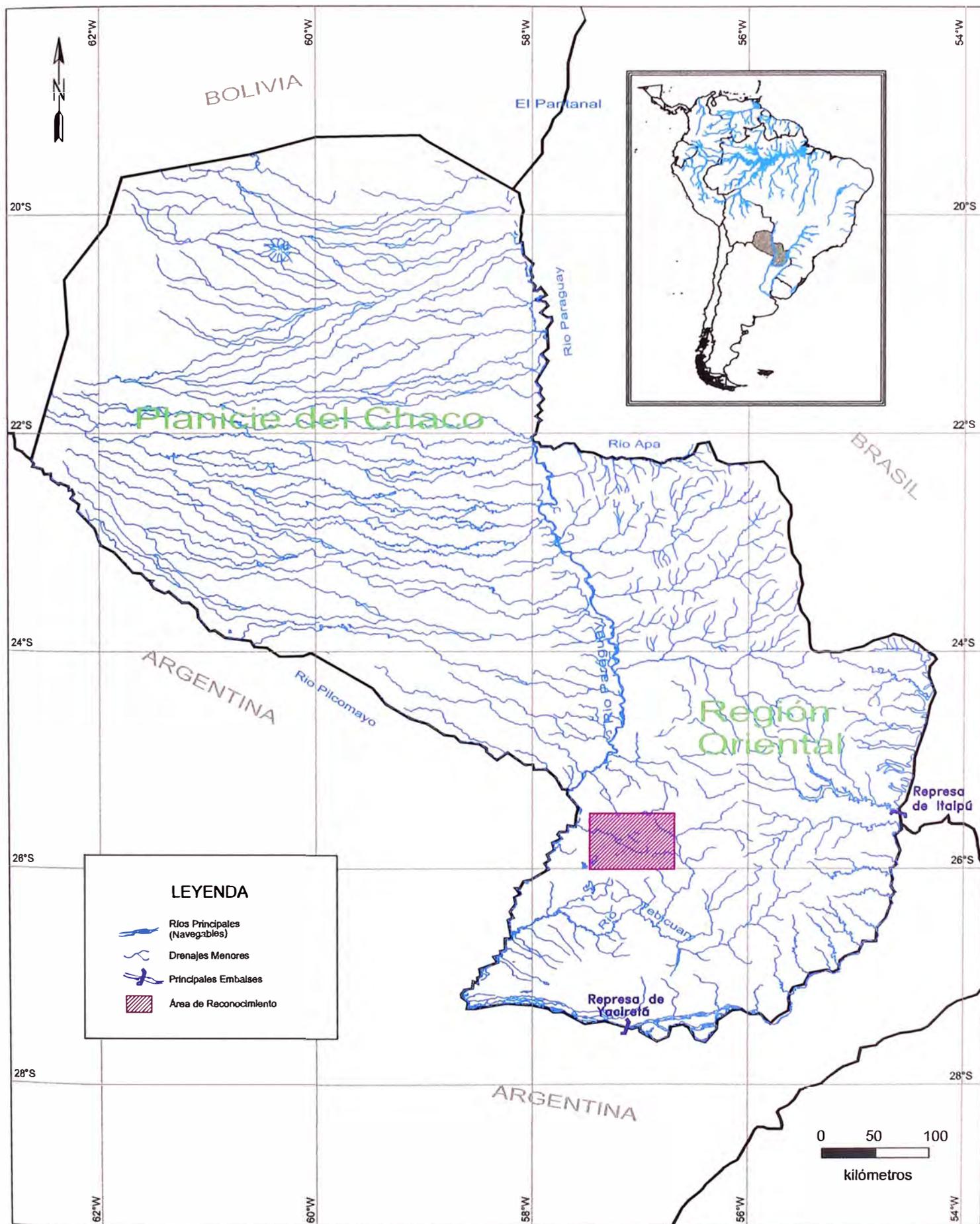


Figura II.4.5a Hidrografía y Principales Regiones del Paraguay

mayormente paralelo al rift. El área de Sapucaí se constituye en el *divortium aquarum* del interior del rift. Hacia el oeste se forman los arroyos como el Caañabé que drena al lago Ypoa (llanura de inundación estacional también llamado estero Ypoa). Hacia el este se tiene el arroyo Tebicuary. Ambos forman la cuenca del río Tebicuary que finalmente desemboca en el río Paraguay.

I.4.6 Infraestructura

El Departamento de Paraguari y la zona Central de Paraguay es la zona más densamente poblada y también la que dispone de la mejor infraestructura, siempre de acuerdo con la economía local.

Al ubicarse a escasos 80 km de Asunción, las vías de acceso son de primer nivel, con autopistas y carreteras asfaltadas de primer orden y en muy buen estado de conservación (figura I.4.2). Los caminos rurales que conectan a los principales pueblos no están afirmados en toda su extensión pero reciben un mantenimiento permanente a cargo cuadrillas mecanizadas del Ministerio de Obras Públicas (<http://www.mopc.gov.py>) o de la Gobernación local.

Existe actualmente una vía férrea que conecta a Sapucaí con Asunción y con la ciudad de Encarnación cerca a la frontera Argentina, esta vía fue utilizada intensivamente hace varias décadas para el transporte de mercancías agrícolas y ganaderas, junto a pasajeros. Sin embargo en la actualidad y desde hace varios años, el servicio ferroviario nacional de carga y pasajeros está suspendido indefinidamente debido al deterioro total de las vías y de los trenes, estos últimos tienen más de 8 décadas (son locomotoras impulsadas a vapor quemando leña) y presentan un estado deplorable.

La infraestructura portuaria es obsoleta y de alto costo, es por tal motivo que un monto considerable del comercio de importación y exportación se realiza por carretera hacia los países vecinos. Sin embargo, está en uso y permite barcos de mediano calado que desembocan por el río de La Plata en Argentina.

La infraestructura aeroportuaria es moderna y funcional (en Asunción) y maneja apropiadamente los volúmenes de carga y pasajeros que tiene al momento.

La energía eléctrica es abundante en el Paraguay, y más aún en la zona central donde presenta una amplia distribución a nivel rural. Inclusive en Sapucaí, un pueblo con una población inferior a los 5000 habitantes, tiene corriente trifásica de buena calidad. La empresa Administradora De la Energía eléctrica (ANDE) es una empresa nacional que presta un muy buen servicio a un bajo costo comparando a los costos en el Perú (30% mas bajo). Se conoce que la empresa tiene grandes ganancias producto de la venta de electricidad a Brasil, pues la hidroeléctrica de Itaipú produce más electricidad que la que pueden consumir los paraguayos. Adicionalmente, toda la energía producida por la central Hidroeléctrica en Yaciretá es vendida a la Argentina.

Los servicios de Telecomunicación son aún deficientes. ANTELCO, la empresa nacional que administra la telefonía fija, está a punto de ser privatizada. Todas sus instalaciones son obsoletas, lentas y de alto costo. Por suerte, el mercado de telefonía celular es

abierto, participando varias empresas particulares. En los alrededores de Sapucaí existe cobertura celular. Paralelamente se ofrecen servicios de transmisión y retransmisión radial en frecuencias UHF y VHF, que permiten comunicación fluida entre Sapucaí y Asunción. La topografía suave es un factor que facilita las transmisiones y abarata los costos de comunicación.

El abastecimiento de agua para consumo proviene principalmente de pozos. SENASA (a nivel local) y CORPOSANA (a nivel metropolitano) son las empresas estatales responsables del suministro de agua a la población. La calidad del agua es pobre y generalmente no recibe un tratamiento adecuado de purificación, siendo bombeado a la red directamente de pozos sin el debido tratamiento. Se debe considerar que los pueblos como Sapucaí no poseen una red de desagüe que pueda garantizar la no contaminación de la napa freática debido al uso intensivo de silos de decantación de aguas fecales. Sin embargo, la recarga de la napa freática es constante debidos a lluvias periódicas, lo cual asegura el abastecimiento aún en época de estiaje o de sobre explotación del acuífero, esto es muy favorable para las actividades industriales de gran consumo como la minería.

I.5 ASPECTOS COLATERALES

I.5.1 Situación Socio Política y Económica

La situación socio-política actual del Paraguay es un tanto compleja e inestable (similar a la peruana), y deviene de situaciones ocurridas principalmente en la última década. Tras una dictadura por más de 35 años al mando del General Stroessner, se instala un gobierno elegido democráticamente perteneciente al partido Colorado. Este es un partido con gran arraigo en el país y cuyos orígenes datan del siglo XIX. Dos gobiernos se suceden de 4 años cada uno, pero el último no logra culminar su mandato, pues en marzo de 1999 el vice-presidente Luis María Argaña es asesinado cerca de su casa en Asunción, y el General Lino Oviedo (también del partido Colorado y por aquel entonces jefe de la Junta Militar) es acusado de ser autor intelectual del hecho junto al presidente Cubas. Ambos abandonan el país y el mando es asumido por el presidente del Congreso Luis Gonzales Macchi (también del partido Colorado), quien actualmente sigue encabezando el ejecutivo y muy probablemente culminará el período de su antecesor.

La corrupción en Paraguay alcanza niveles alarmantes. Mantuvo por muchos años el triste reconocimiento de ser el país más corrupto del mundo, ahora desplazado por uno del África. Por ejemplo se descubrió que el presidente era propietario de un auto robado en Brasil y que había sido legalizado en Paraguay por su gobierno. Un 25-30% de los vehículos que circulan en el país fueron robados en Argentina o Brasil y han ingresado ilegalmente por las fronteras. El contrabando y la defraudación tributaria existen en todos los comercios e instituciones. No se controlan los ingresos personales ni el pago de impuestos sobre ellos. Asunción era conocido en el ambiente económico como un centro internacional de lavado de dinero hasta hace unos años (luego de la dictadura), en donde existían sucursales bancarias de todas las principales economías mundiales. Ciudad del Este es reconocido como uno de los principales puntos de fabricación de productos falsificados de todo tipo.

Sin embargo, el costo de vida es bajo, la inflación anual es menor a dos dígitos y la presión tributaria es baja. Los impuestos más importantes son: el impuesto al valor agregado (IVA) equivalente al IGV peruano es del 10%, no hay impuesto a la renta para personas naturales, sólo para personas jurídicas del 30%, el impuesto selectivo al consumo varía de 5-50%, el arancel fluctúa entre 0-20% y las remesas al exterior están grabadas con 1.5%. El PBI (año 1998) fue de US\$ 8,600 millones, de los cuales el rubro de comercio y finanzas comprende el 25%, agricultura el 18%, industria el 15% y ganadería el 8% entre otros. Más del 50% de las exportaciones se hacen al Mercosur (Price-Waterhouse and Coopers).

La electrificación rural y el mejoramiento de los caminos rurales, ambas labores a cargo del gobierno, han impedido en cierta manera la migración del poblador del campo hacia la ciudad, junto a la presencia de grandes estancias (o ganaderías) en el interior que ofrecen puestos de trabajo en el lugar. De los más de 5 millones de habitantes de Paraguay, cerca de 1.5 millones viven en Asunción, ciudad que presenta una baja densidad poblacional debido a la amplitud de la misma.

I.5.2 Marco Legal

Actualmente no existe una ley minera moderna en Paraguay. Se tiene algunos dispositivos de inicios del siglo 20 que regulaban de alguna manera las actividades de extracción de mineral. No existe un catastro minero organizado. Las actividades mineras son controladas única y exclusivamente por el Vice-Ministerio de Minas y Energía y por una instancia menor que es la Dirección de Recursos Minerales (DAM). El Vice-Ministerio es una dependencia del Ministerio de Obras Públicas (MOPC), ministerio que maneja una de las partidas mas importantes del presupuesto paraguayo. El Vice-Ministerio está abocado actualmente en completar un proyecto de ley que promueva la actividad minera, ley que se convertirá en la futura Ley Minera Paraguaya.

No existe una reglamentación clara para la solicitud de un denuncia minero, por tal motivo, se ha creado la modalidad del Contrato de Concesión Minera otorgado por el gobierno paraguayo (<http://www.paraguaygobierno.gov.py>) mediante ley aprobada por el congreso paraguayo (en cámara de Diputados y en cámara de Senadores) y refrendado por el Presidente de la República, para cualquier empresa minera establecida formalmente con la finalidad de que efectúe trabajos de exploración y explotación en territorio paraguayo. En esta ley con nombre propio, es decir para cada bloque de denuncios y para cada solicitante, se detallan todos los aspectos de compromisos de inversión, plazos de ejecución de trabajos, ordenamientos y reglamentación, penalidades, etc. Es lógico suponer la magnitud y demora que tiene este tipo de trámites, requiriendo la continua intervención de abogados.

Cabe resaltar la obligatoriedad de presentar informes trimestrales que detallen los trabajos que se efectuaron en el periodo, algo que favorecería en el Perú la retroalimentación respecto a denuncios que son abandonados y de los cuales se desconoce toda la información que el anterior denunciante pudo obtener del mismo. Asimismo, se incluyen en la actual ley de minería del Paraguay artículos quizás sui generis como aquél que obliga a contratar personal de las entidades públicas vinculadas, para que sean capacitadas por la compañía propietaria del denuncia, algo razonable sabiendo que no existe una cultura minera en Paraguay.

I.5.3 Ventajas y Desventajas Comparativas

Principales ventajas:

Paraguay no tiene tradición minera. La presencia de exploradores mineros actualmente es escasa y casi nula, no hay competencia y el íntegro del territorio Paraguayo está disponible para exploración. No hay minas al momento pero existen evidencias importantes y ambientes favorables para determinados tipos de mineralización.

Buena infraestructura vial y electrificación.

Bajos costos de operación (mano de obra local y servicios).

Cualquier operación minera nueva, necesitaría una nueva ley que podría redactarse a su conveniencia previo acuerdo con el gobierno de turno.

Exoneraciones tributarias para la actividad minera (excenta del pago de IVA o impuesto al valor agregado – o IGV - para compras de bienes importados). No se incluye la exoneración de aranceles.

Actividad promovida por el Estado.

Principales desventajas:

Al no tener tradición minera, no hay información adecuada para consultar (mapas, reportes, etc), no hay profesionales con experiencia minera ni universidades que los preparen. Únicamente la Universidad de Asunción tiene la carrera de geología, que dura 4 años y egresan unos 3 a 5 profesionales anualmente, todos dedicados a la geotécnia. No existe preparación en metalurgia o minería.

No existe ninguna facilidad para la actividad minera: laboratorios, soporte logístico. Todas las operaciones deben basarse en envíos al extranjero o importaciones directas, lo cual encarece en alguna medida los gastos en una operación pequeña o en etapa inicial.

Inestabilidad política. Volatilidad de gobiernos.

Alta corrupción de funcionarios públicos.

Idiosincracia: la poca disposición del poblador local para ejecutar trabajos intensivos y continuos.

I.5.4 Medio Ambiente y Seguridad

La legislación paraguaya respecto a la preservación del medio ambiente para actividades mineras o actividades extractivas en general tiene características similares a las que tenemos en el Perú, y algunos párrafos se incluyen explícitamente en las leyes de Concesión Minera.

Al respecto, y manteniéndose siempre de acuerdo a la ley local y a parámetros de seguridad y de protección del medio ambiente estandarizados en Newmont, las actividades exploratorias se realizaron con toda normalidad, habiéndose implementado las siguientes medidas:

Seguridad Personal:

Todo el personal que laboraba en las operaciones de campo (directa o indirectamente) fue entrenado en procedimientos de seguridad tales como control de incendios, primeros auxilios, comunicaciones y por supuesto, el uso de equipo de seguridad.

Se elaboraron planes de emergencia considerando todas las posibles situaciones de riesgo: excavación de trinchera, perforación, preparación de muestras, campamento, oficina, movilizaciones, etc.

Medio Ambiente:

Todos las trincheras y pozas para muestreo de suelos, fueron recubiertas con el material original extraído de él, respetando la secuencia de los horizontes.

Al abrir trochas en la vegetación, se cuidó de eliminar únicamente maleza y plantas pequeñas. En casos extraordinarios cuando se tuvo que cortar arboles grandes (para construcción de plataformas de perforación) se consultó con el propietario y si era necesario se desplazaba la plataforma o en su defecto se pagaba por la afectación.

Durante la perforación, se excavaron pozas de decantación de lodos en las plataformas, para prevenir la contaminación de los drenajes. Posteriormente y luego de concluída la perforación, la poza era rellenada con el suelo original respetando la secuencia de los horizontes.

El uso de baños portátiles tipo Disal fue obligatorio en cada plataforma.

Los agujeros de perforación fueron sellados con placas de cemento para impedir la formación de aguas ácidas producto de la descomposición de sulfuros provenientes del interior del pozo.

Se utilizaron aditivos de perforación completamente biodegradables.

Luego del término de la perforación, las plataformas fueron limpiadas y restauradas en su totalidad.

I.6 AGRADECIMIENTOS

Deseo agradecer a la compañía Newmont en la persona de su Gerente General y Gerente para Sudamérica, Sr. Joseph Bartolino por la autorización para utilizar información confidencial de la empresa y por el apoyo y confianza depositada en mí para hacerme cargo del Proyecto Sapucaí en Paraguay desde octubre de 1999 hasta abril del 2001.

También quiero agradecer a todos los geólogos que en estos últimos 10 años, mediante sus consejos y enseñanzas, guiaron y fortalecieron mi formación profesional para llegar a mi preparación actual: Dr. Miguel Cardozo, Dr. Jorge Paredes, Dr. Joseph Kowalik, Msc. Joseph Bartolino, Dr. Stephen Turner, Dr. Detlef Lochmann (fallecido), Ing Alfonso Quevedo (fallecido), Andrés Quiroz, Dr. Oscar Bernuy y Dr. Bernard Lubbe.

Asímismo agradezco a todas las personas que trabajaron directamente en el proyecto Sapucaí en Paraguay: Lic. Myriam Li, Lic. Wilmar Bartel, Srta. Mirna Medina y Sr. Benito Lopez; y a las personas que colaboraron en la compilación y culminación de este trabajo: Sr. Antonio Cruz y Sr. Rómulo Salirrosas.

II – GEOLOGÍA REGIONAL

II.1 GEOMORFOLOGÍA

Morfológicamente existen dos regiones muy diferenciadas en el Paraguay: la región occidental o llanura del Chaco y la región oriental, separadas al medio por el río Paraguay que discurre de norte a sur.

La región del Paraguay Oriental está enmarcada en el borde oeste de la cuenca del Paraná y al sur del cratón Amazonas (figuras II.1.1 y II.1.2), entre la franja de plegamiento andino al oeste y el escudo brasileño al este, constituyéndose como una franja de corteza adelgazada. Presenta los rasgos morfológicos más sobresalientes debidos a una historia geológica más activa y compleja que su entorno. Los principales altos topográficos (máxima altitud 800 msnm en todo Paraguay) se deben a remanentes más resistentes de los volcánicos basálticos del Paraná, concentrados hacia el sector este cercanos a la frontera con Brasil. La zona central de esta región presenta altos topográficos con dirección predominante norte-sur. Este alto se constituye como el *divortium aquarum* de la región Oriental, con la cuenca del río Paraná hacia el este y la cuenca del río Paraguay hacia el oeste (figura I.4.5a).

La región occidental del Paraguay es topográficamente plana constituida por sedimentos continentales fluviales, aluvionales y lacustrinos de edad Terciaria y reciente, provenientes de las estribaciones orientales de la Cordillera de los Andes Bolivianos. Solo dos intrusiones alcalinas rompen la monotonía del terreno, éstas se ubican en el extremo norte del Chaco Paraguayo, en el C° León y en la frontera con Bolivia. Todo el sistema hidrográfico de la región Occidental nace en Bolivia y desemboca o se infiltra (sin cauces activos) en el río Paraguay, generalmente mediante deltas continentales (figura I.4.5a).

El departamento de Paraguari en donde se encuentra Sapucaí, es parte de la región del Paraguay Oriental. En esta zona, la tectónica y la actividad ígnea han sido los principales agentes responsables de modelar la superficie. Los bordes del rift de Asunción (siguiente acápite) están levantados y forman una especie de pequeña cadena montañosa denominada Cordillera de los Altos en el sector norte (figura II.2.3), y Cordillerita en el sector sur, ambos sobresalen unos 250-300 m (elevación 400-480 msnm.) sobre el nivel actual del centro del rift (75-150 msnm) y han resistido la erosión. Dentro del rift, en el bloque hundido, todos los altos topográficos son de origen ígneo (figura II.1.3) y tienen forma circular (centros volcánicos) o elongada (diques), pudiendo ser de diversos tipos: complejos volcánicos muy desarrollados (vg. Acahay, Sapucaí, etc), centros volcánicos simples (Ybypytyé), stocks subvolcánicos (C° Medina), diatremas (Chauria), etc. En algunos casos, la roca encajonante (sedimentaria) se ha metamorfizado por efecto térmico y ha resistido más la erosión que el núcleo constituido por una diatrema o una chimenea de brecha, hoy completamente erosionadas.

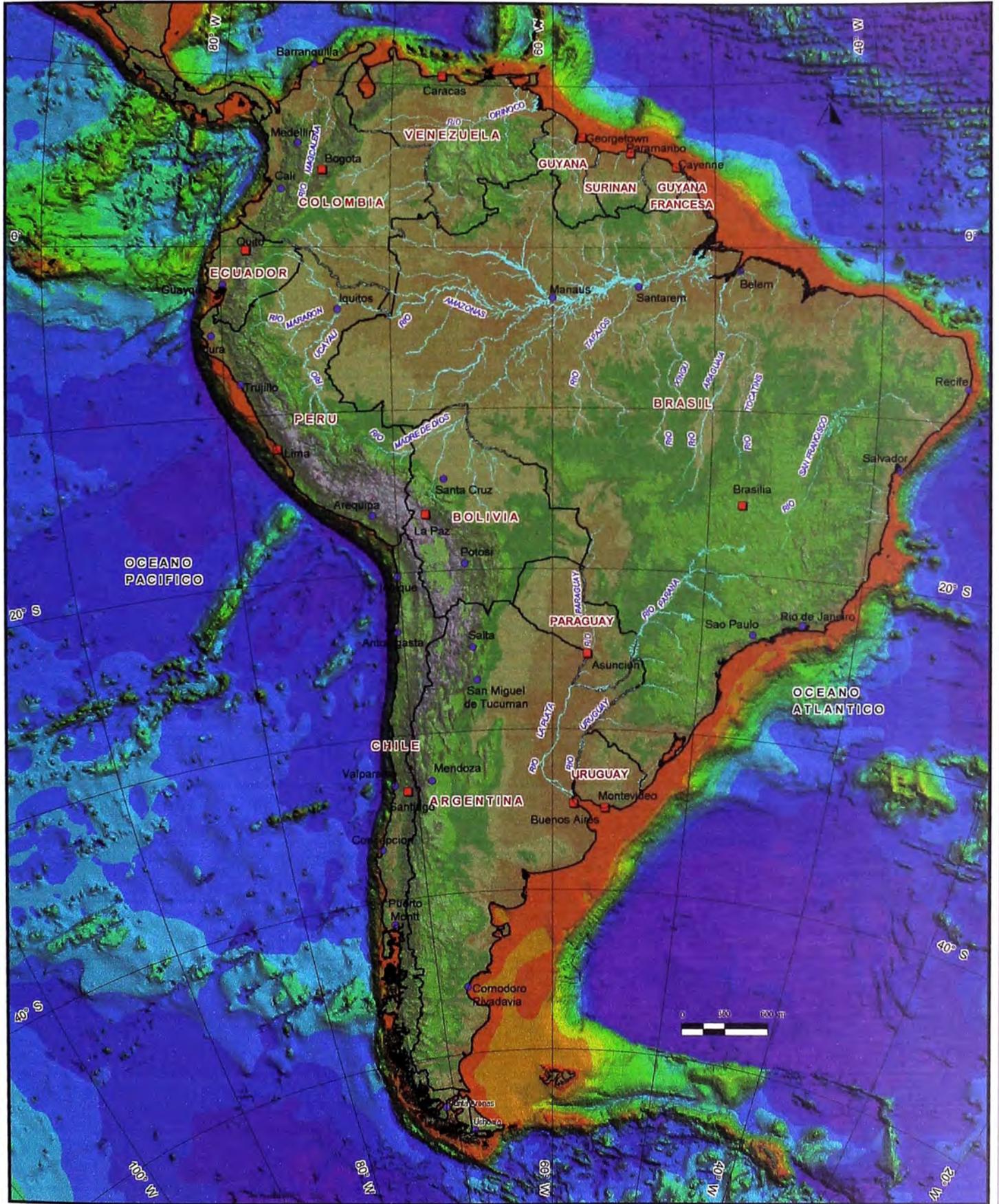


Figura II.1.1 Fisiografía de Sudamérica

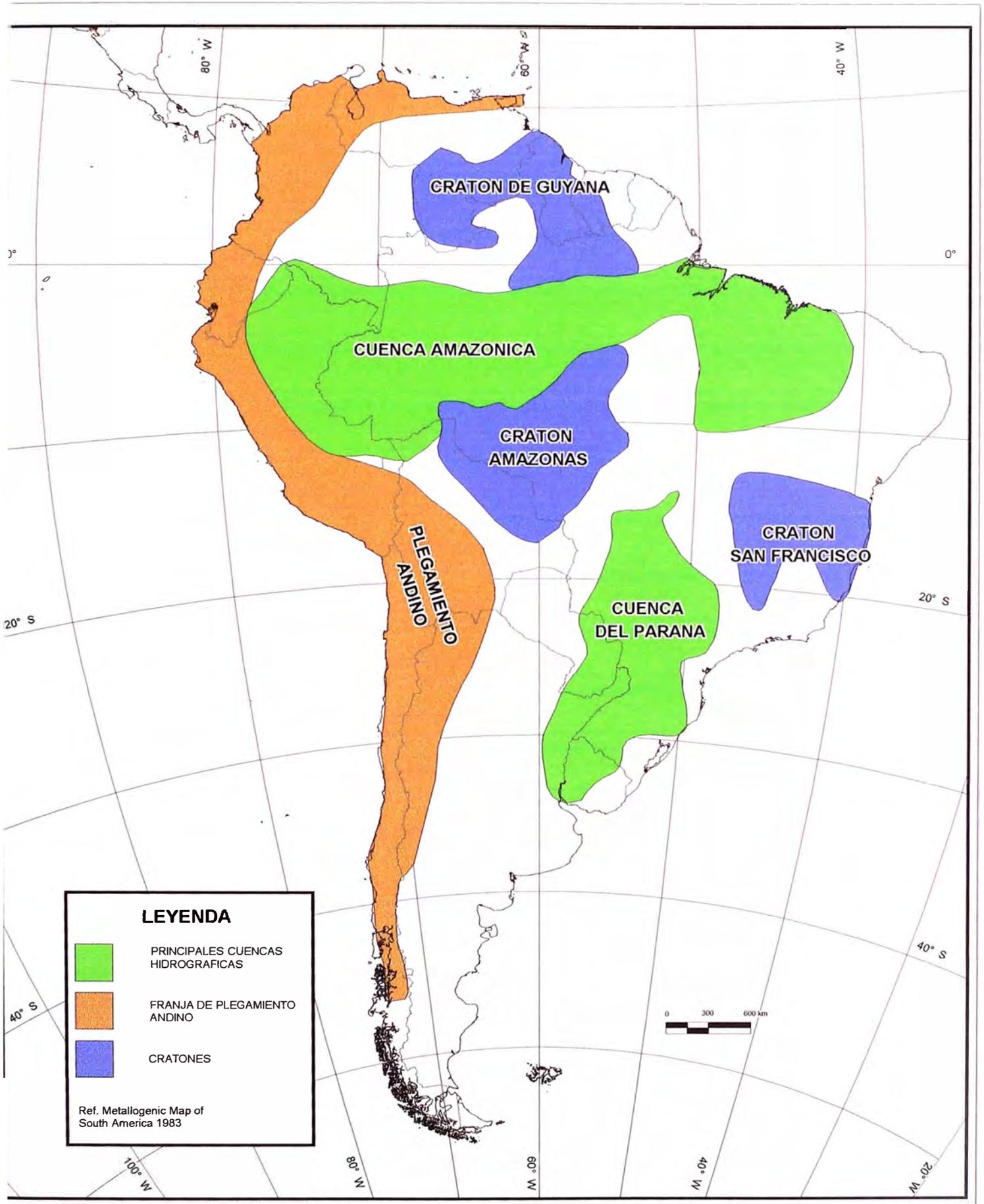
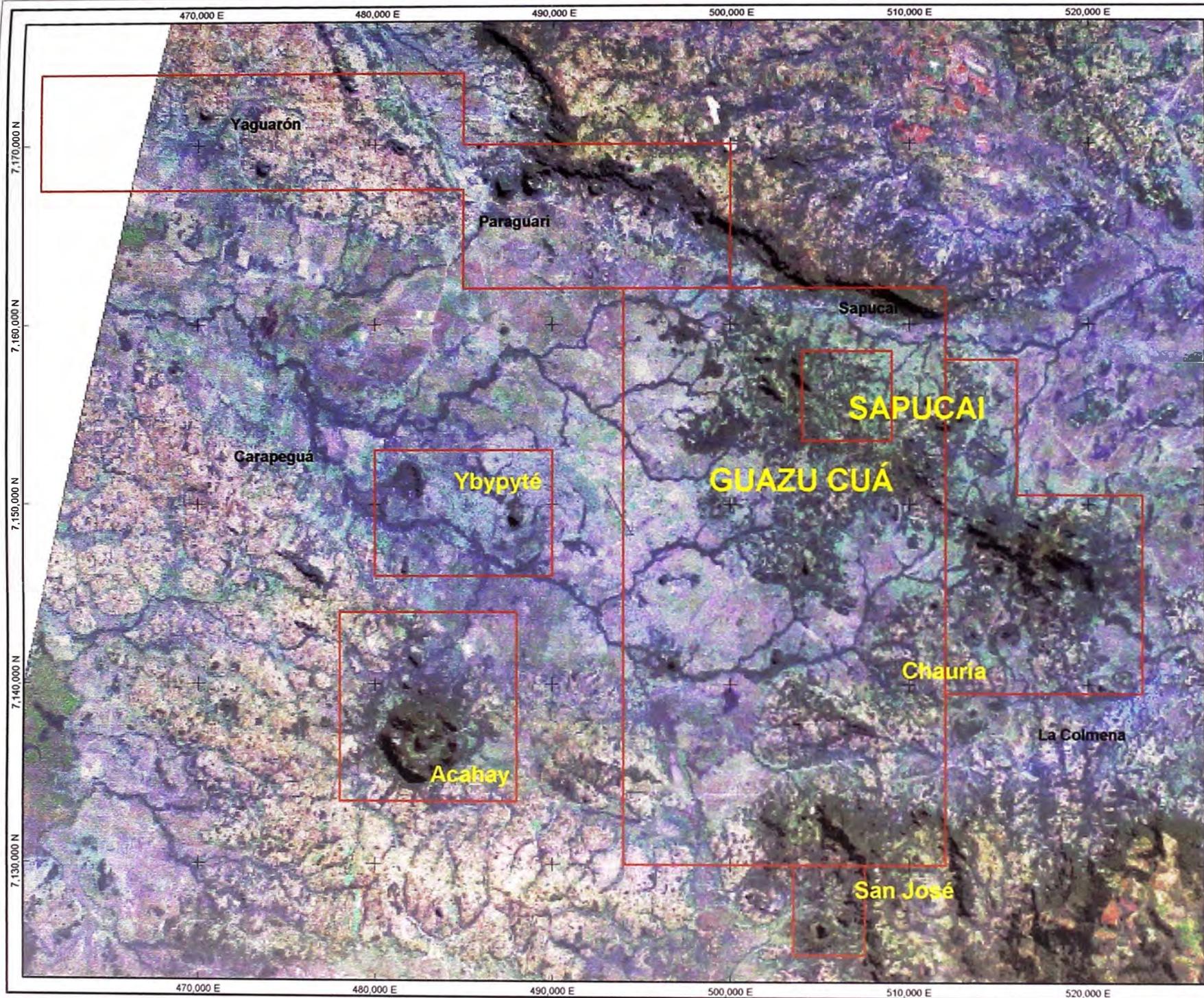


Figura II.1.2 Principales Morfo-Estructuras Regionales de Sudamérica



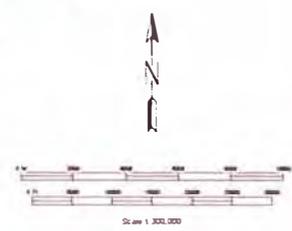
EXPLANATION

Bandas RGB-321
 Imagen de satélite
 Original image resolution (SR): 300, 300
 Original image size (Width x Height): 1145, 1482
 Original image size (Width x Height): 8, 00, 1, 00

Límite de Cercas
 Límite de Cercas
 Límite de Cercas

7,170,000 N
 7,160,000 N
 7,150,000 N
 7,140,000 N
 7,130,000 N

Scale 1:300,000



Univ.Nacional de Ingenieria

PROSPECTO SAPUCAI

Reconocimiento Regional
 BANDAS RGB - 321
 Imagen Satelital
 Figura II.1.3

II.2 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

Las principales estructuras cartografiadas se ubican en la región de Paraguay Oriental (figura II.2.1) y tienen dos direcciones predominantes noreste-suroeste y noroeste-sureste, formando una serie de anticlinorios y sinclinorios muy suaves, así como fallas profundas con dirección predominante noroeste-sureste. Eckel (1958) sostiene que los seudoplicajes se deben en parte a un combamiento regional producido por la sobrecarga de material volcánico basáltico muy potente (centenares de metros) proveniente de la cuenca del Paraná. Por otro lado, en uno de los juegos de fallas profundas que atraviesa la mitad sur-centro de la región de Paraguay Oriental se ubica el graben o rift de Asunción.

El estudio efectuado sobre la imagen satélite de la zona central de Paraguay Oriental (Boshier et al, 2000) revela una serie de fallas normales y de rumbo emplazadas preferentemente en la región interna del rift de Asunción, paralelas y oblicuas a la dirección principal del rift (figura II.2.2). Asimismo, se determinaron estructuras circulares de magnitudes diversas, desde algunos kilómetros de diámetro hasta cercanas a los 100 m, tanto de relieve positivo (stocks intrusivos, centros volcánicos, etc) como negativo (depresiones producidos por antiguos cuellos volcánicos, cuerpos de brecha, zonas de alteración, etc). Existe un alineamiento de estructuras circulares de rumbo noreste-suroeste que pasa por la zona de Guazu Cuá y continúa hacia Sapucaí.

Se ha determinado que el graben o rift de Asunción es la estructura tectónica principal que controla la sedimentación y el emplazamiento de rocas ígneas en toda la zona central de Paraguay Oriental. El rift se formó junto a otras estructuras principales de rumbo noroeste-sureste durante un tectonismo distensional a nivel continental iniciado durante la apertura de la Pangea en el Jurásico. Este tectonismo produjo estructuras tipo rift-graben con fuerte desplazamiento vertical del orden de cientos de metros, permitiendo que el basamento granítico Precambriano que forma parte del cratón Brasileño, llegue a aflorar en algunos sectores en el borde interno del rift que es la pared del bloque levantado (figura II.2.3).

Se tiene evidencia adicional en la zona de Yaguarón (en el cerro Ñandu-á) del cese de la actividad tectónica en el Cretácico medio a superior, pues el fracturamiento que afecta a los basaltos y a las areniscas directamente sobreyacentes, no atraviesa los niveles superiores de areniscas Cretácicas (figura II.2.4). Este fracturamiento se trunca en un delgado nivel piroclástico interestratificado en las areniscas que pudo representar la última fase del vulcanismo intrarift del Cretácico.

El rift de Asunción tiene rumbo noroeste-sureste, un ancho variable de 20-40 km y una longitud visible y cartografiable de 200-250 km (figura II.2.5). Debe su nombre a que pasa exactamente por la ciudad de Asunción que se ubica en su extremo noroeste. En el sector central parece haber sufrido una deflexión, cambiando ligeramente a una dirección más este-oeste (alrededor de la ciudad de Paraguari). Esta estructura va perdiendo intensidad y desarrollo hacia su extremo este.

El rift de Asunción es una mega-estructura fácilmente identificable en el levantamiento aero-magnetométrico efectuado por Anschutz (op.cit.) como un lineamiento de alto

magnetismo asociado a un sistema de fallamiento profundo, siendo paralelo a otras mega-estructuras que atraviesan casi de lado a lado toda la región de Paraguay Oriental (figura II.5.1). Este rift parece prolongarse hacia el extremo noroeste siguiendo la dirección del río Pilcomayo que marca el límite entre Paraguay y Argentina en la región del Chaco, pero con excepción del alineamiento coincidente con el río Pilcomayo, no existen otras evidencias de superficie sobre la llanura del Chaco ni tampoco evidencias geofísicas que corroboren este hecho (el levantamiento magnetométrico regional hecho por Anschutz no cubrió este sector).

El fallamiento normal en los bordes del rift de Asunción ha generado bloques escalonados como se puede apreciar en el perfil esquemático en el siguiente subcapítulo (figuras II.3.4 y II.3.5). En el bloque hundido del segmento del rift circundante al prospecto, se produjo también un fallamiento transversal de dirección predominante norte-sur, con fallas dextrales claramente identificables en el levantamiento magnético (figura II.5.4). Coetáneamente mediante un proceso sinvolcánico, se produjo un fenómeno isostático, en donde el bloque hundido del rift de Asunción basculó ligeramente hacia el oeste debido al sobrepeso del material volcánico recientemente depositado en ese sector, permitiendo preservar gran parte de ese material, mientras que el sector este o levantado fue erosionado casi en su totalidad, quedando únicamente las raíces de los centros volcánicos allí emplazados.

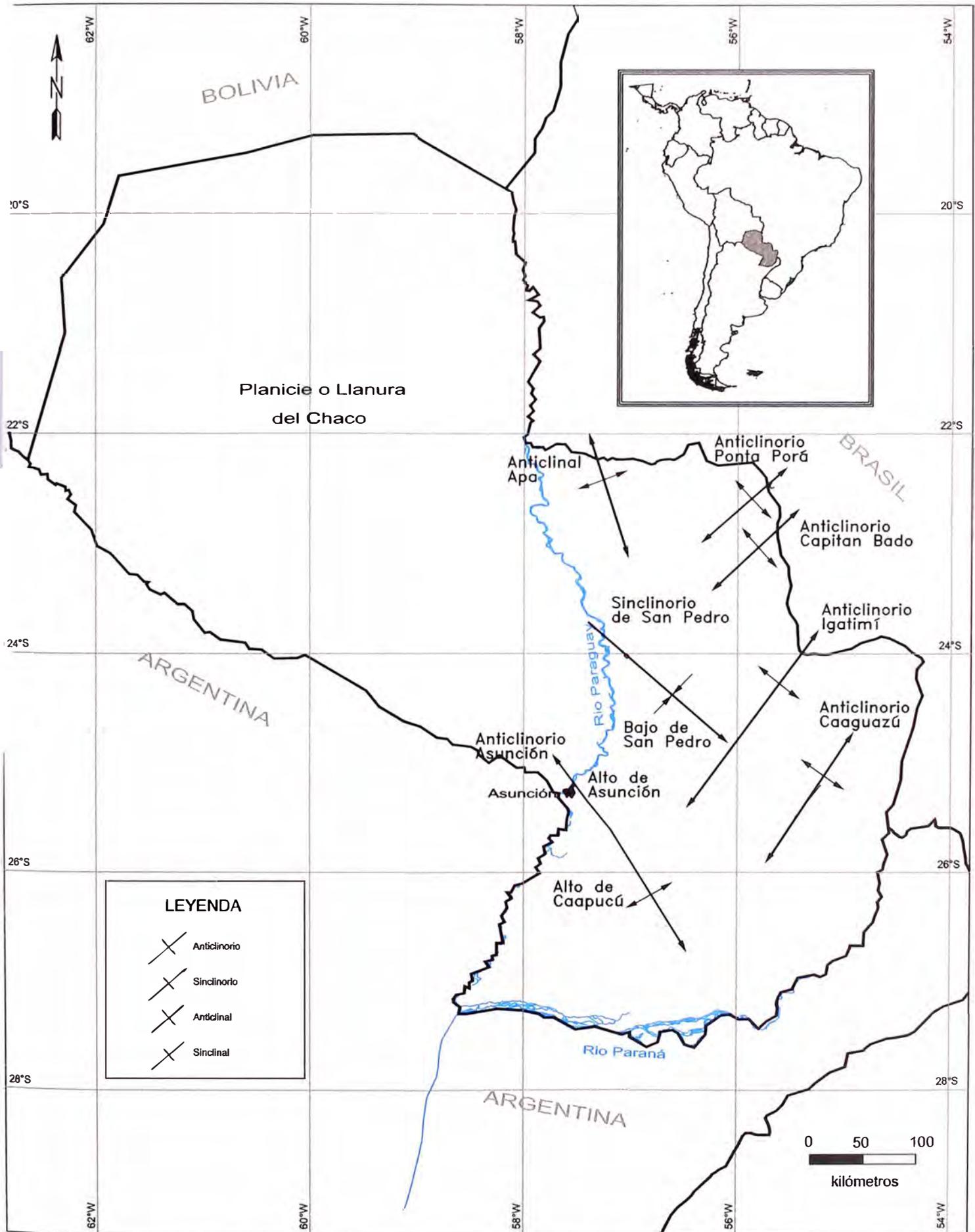


Figura II.2.2 Principales Morfoestructuras de Paraguay Oriental

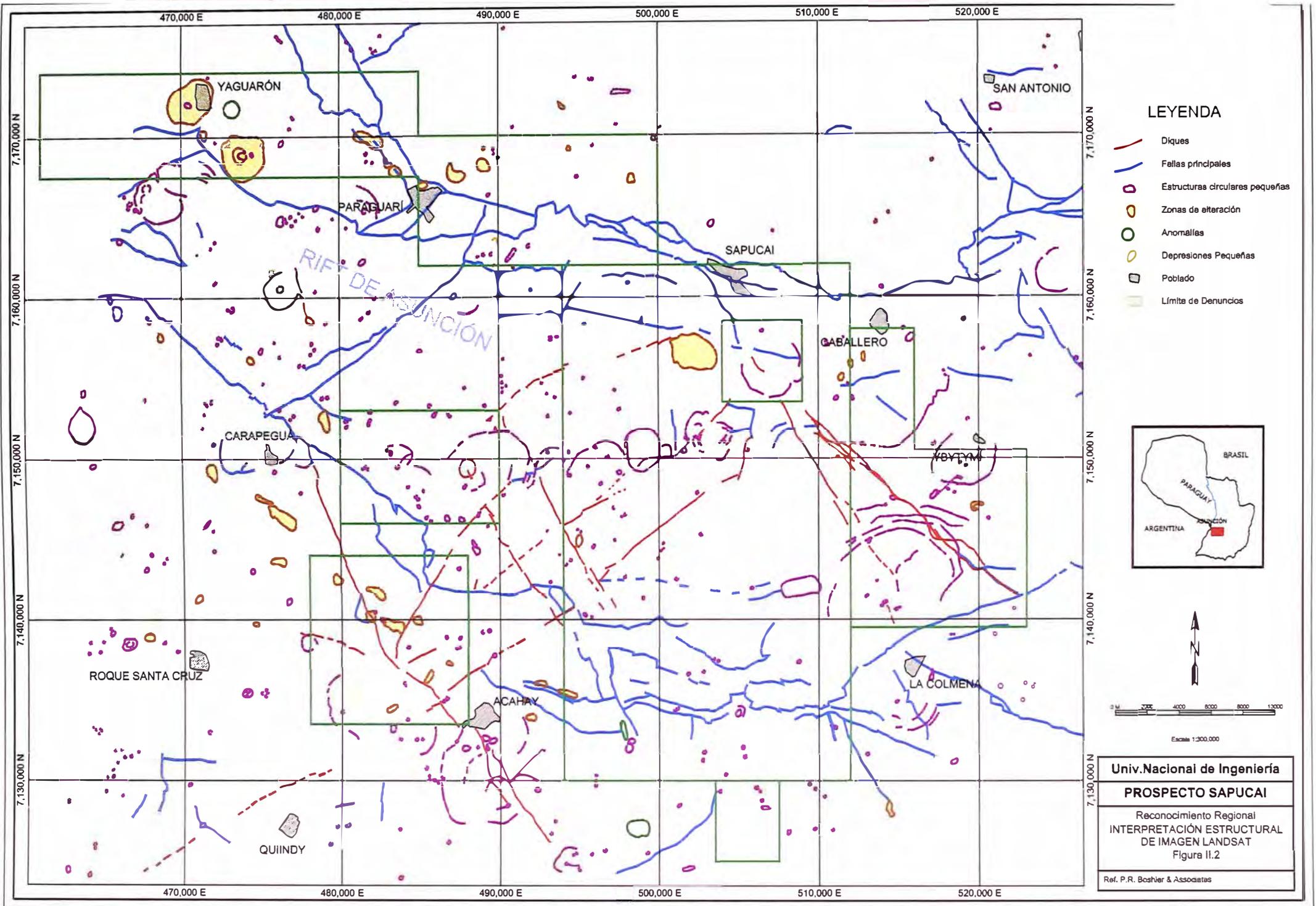




Figura II.2.3 Borde norte del rift de Asunción o bloque levantado

(foto superior)

C° Santo Tomás en el extremo oeste de la cordillera de Los Altos, con una elevación de 375 msnm, a 5 km al este de Paraguari. Está constituido por areniscas y cuarcitas Ordovícicas sobreyaciendo a granitos Cámbricos. El talud está constituido por material coluvial.

Figura II.2.4 Fracturamiento de areniscas post-basálticas
(foto de la izquierda)

Areniscas del grupo Asunción de edad Cretácico superior sobreyaciendo a los basaltos en la zona central del rift de Asunción, en el C° Ñandú-á, a 5 km al oeste de Yaguarón. Nótese que el fracturamiento termina en un nivel piroclástico muy delgado (0.5 m) por debajo del nivel superior de areniscas. Este pulso magmático es coincidente con el final de las etapas tectónicas del rift

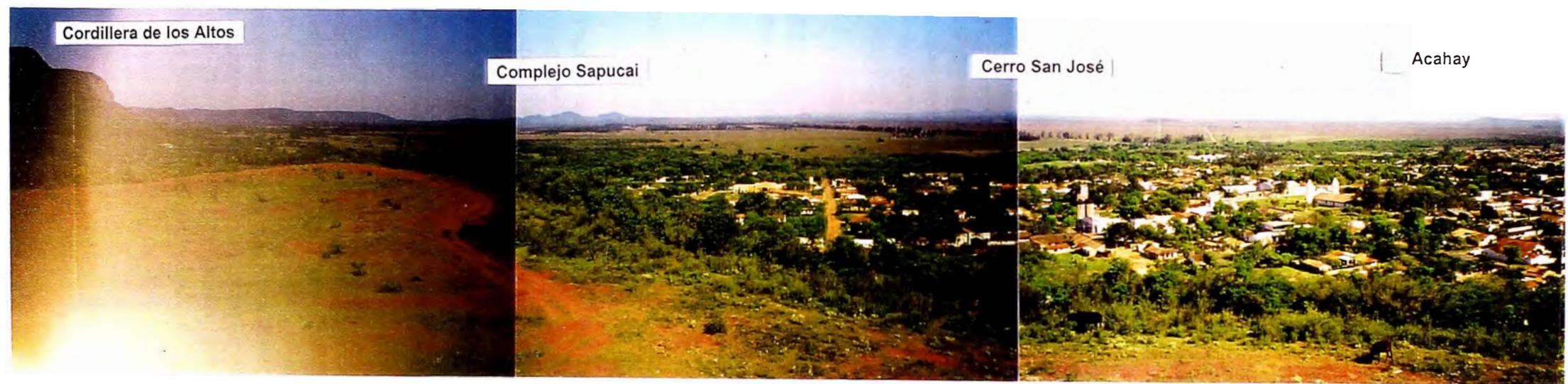


Figura II.2.6. Vista Panorámica del Rift de Asunción

Vista hacia el sur del Rift de Asunción tomada desde el cerro Perú, en el borde norte de la ciudad de Paraguari (en primer plano). Hacia la izquierda se tiene la Cordillera de Los Altos que es el borde norte del rift constituido por areniscas Ordovicicas, y continúa hasta cerca de Sapucaí. Todos los altos topográficos que resaltan sobre la llanura son centros volcánicos alcalinos emplazados en el interior del Rift: Sapucaí, Guazu Cuá, cerro Tano, cerro San José, cerro Giménez, cerro Porteño, cerro Yarigua-á, Acahay e Ybypyté. En la parte central de la foto hacia el horizonte, se tiene el borde sur del Rift de Asunción, denominado Cordillerita.

II.3 LITO-ESTRATIGRAFÍA

El prospecto Sapucaí se ubica en la porción central de Paraguay Oriental. Esta porción del país es una región intracratónica rellena por sedimentos eólicos, fluviales, glaciales y marino someros de edad Paleozoica a Mesozoica (figura II.3.1). Estos sedimentos consisten de limolitas, areniscas, conglomerados, areniscas carbonatadas y margas sobreyaciendo a un basamento Pre-Cámbrico constituido por granitos, calizas y metasedimentos. Esta región se constituye como un ligero alto estructural que separa a la Cuenca Paraná al este de la cuenca Gran Chaco al oeste (inserto de figura II.3.1.).

En el Mesozoico, se inició la apertura del rift de Asunción, por consiguiente, la depresión formada por el bloque hundido preservó las secuencias existentes y sirvió a la vez de cuenca depositacional de todos los sedimentos más jóvenes desde el Triásico hasta la actualidad.

La actividad tectónica distensiva alcanzó su máximo durante el Cretácico inferior, etapa en la que todos los paquetes sedimentarios del interior del rift fueron intruídos por eventos ígneos alcalinos de composición potásica. Durante el Terciario inferior volvieron a repetirse dichos episodios pero de menor magnitud, emplazando intrusivos alcalinos sódicos (figura II.3.2).

A continuación se detallarán exclusivamente las características lito-estratigráficas de la zona del rift de Asunción que abarca el área de Paraguarí o área de reconocimiento regional.

II.3.1 Proterozoico: Grupo Paso Pindó

El basamento de la región es el Grupo Paso Pindó de edad Proterozoica está constituido por rocas metamórficas pertenecientes a la porción norte del denominado sub-cratón de Tebicuary: pizarras, cuarcitas, y metavolcánicos. Una pequeña porción aflora en las cercanías de Paraguarí. No se ha determinado la potencia de esta secuencia en la región.

II.3.2 Cámbrico: Suite Intrusiva-Extrusiva Caapucú

Durante el Precámbrico al Cámbrico inferior, se emplazaron una serie de cuerpos intrusivos pertenecientes a la denominada Suite Intrusiva-Extrusiva Caapucú (González, 1998), constituida por granitos y riolitas. Dataciones hechas por el método Rb-Sr dan 531 Ma., es decir ligeramente posterior a la etapa principal de la orogenia Brasilides entre los 600-590 Ma. Estos intrusivos ácidos afloran predominantemente en la región sur del área prospectada y fuera de ella (figura II.3.3). Dentro del área los límites de rift, aflora sólo en la base de las fallas laterales que controlan sus bordes, tanto norte como sur (figura II.3.4).

II.3.3 Ordovícico: Grupo Caacupé

Sobreyaciendo discordantemente sobre los granitos Cámbricos y sobre los metasedimentos Proterozoicos, se tiene el Grupo Caacupé de edad Ordovícica. Este grupo comprende las formaciones Paraguari, Cerro Jhú y Tobatí. Está constituido por sedimentos clásticos de ambiente fluvio-aluvional de gran energía. En la base (Fm. Paraguari) se tienen conglomerados polimícticos en matriz areniscosa. Las secuencias superiores (Fm. Cerro Jhú y Tobatí) están constituidas principalmente por areniscas cuarzosas y arcosas parcialmente metamorfizadas, con niveles decimétricos de limolitas. El espesor total varía desde algunas decenas hasta algunos cientos de metros. Estos sedimentos Ordovícicos afloran en ambos márgenes del rift, y han resistido la erosión manteniéndose como taludes de pendiente pronunciada (figuras II.2.4 y II.3.4). Las areniscas Ordovícicas son la litología más difundida en la región prospectada.

II.3.4 Silúrico: Grupo Itacurubí

El Grupo Itacurubí de edad Silúrica sobreyace concordantemente a las areniscas Ordovícicas del Grupo Caacupé. Está conformado por tres formaciones: Eusebio Ayala, Vargas Peña y Cariy, pudiendo alcanzar en conjunto una potencia cercana a los 200 m. Está constituido por areniscas finas, limolitas, lodololitas y lutitas de ambiente marino somero, con alto contenido fosilífero que ha permitido su datación correctamente (Llando-veriano o Silúrico Inferior). Debido a sus características, son fácilmente erosionables, por lo cual afloran únicamente en sectores bajos preservados por el tectonismo, como el que se tiene en la región noreste del área de Paraguari, alrededor de la localidad de San Antonio, habiendo sido erosionado completamente de las otras regiones. No se descarta su presencia en el interior del bloque hundido del rift de Asunción.

II.3.5 Pérmico: Grupo Independencia

Los sedimentos clásticos del Grupo Independencia son los de mayor difusión al interior del bloque hundido del rift de Asunción, y afloran predominantemente en el sector este del rift en la denominada Serranía de Ybytymí, a 20 km al sureste de Sapucaí. Se han reconocido dos formaciones: San Miguel y Tucuary, de las cuatro que conforman este grupo. Están constituidos por areniscas, limolitas y lutitas con matriz carbonatada, así como niveles delgados de conglomerados, depositados en ambientes marino somero y de borde de playa, con estratificación cruzada. Los niveles pelíticos muestran un alto contenido de bioturbaciones y microplancton. La potencia total se estima en unos 170 a 200 m. La cercanía de estos sedimentos con fuentes de calor como stocks, cuellos volcánicos o diques ha producido un metamorfismo local y un fracturamiento tipo disyunción columnar que se tratará en el siguiente subcapítulo.

II.3.6 Triásico-Cretácico: Formación Ybytymí

La formación Ybytymí sobreyace concordantemente al Grupo Independencia del Pérmico e infrayace a las lavas basálticas de la denominada Suite Magmática Sapucaí de edad Cretácico inferior, por dicha razón y ante la ausencia de fósiles se le ubica en el rango Triásico-Cretácico. Está constituido por conglomerados polimícticos de ambiente fluvio-aluvional (predominantemente tiene clastos redondeados de cuarcitas), depositados sintectónicamente con el hundimiento del rift de Asunción. El espesor puede alcanzar los 80 m, sin embargo debido al ligero basculamiento del rift hacia el oeste, ésta secuencia está muy erosionada en el sector este.

II.3.7 Cretácico Inferior: Volcánicos Sapucaí

Más conocidos en la literatura local como “Suite Magmática Intrusiva-Extrusiva Sapucaí” (González et al, 1998). Corresponden a una serie de eventos volcánicos focalizados en los bordes y el interior del rift de Asunción, relacionados directamente con esfuerzos distensivos que permitieron la ascensión de magma a través de fallas profundas en los bordes del rift durante el Cretácico inferior. Estos magmas alcanzaron la paleosuperficie a manera de piroclastos o lavas y la subsuperficie a manera de stocks, diques, cuellos y cuerpos de brechas, etc. Son magmas básicos alcalinos (gabro-basalto) con algunas diferenciaciones locales, con incrementos o disminuciones de feldespatos potásicos, plagioclasas, máficos, etc, generando litologías tan variadas como: fonolitas, traquitas, shonkinitas, essexitas, tefritas, sanidinitas, teralitas, etc. Estas litologías serán tratadas en el acápite de intrusiones y vulcanismo (II.4) y en el de petrografía ígnea (III.2) debido a que sobre estas rocas se emplaza la mineralización. La potencia del material volcánico (lávico) puede llegar a los 300 m en la zona central del rift (al sur de Paraguari), sin embargo y tal como se verá más adelante, esta secuencia pudo haber tenido un espesor muy superior. Se estima que el antiguo estrato volcán ubicado en Sapucaí pudo tener varios cientos hasta más de 1000 metros por encima de los escasos 400 m que ostenta hoy en día. En el mapa y en los perfiles geológicos (figuras II.3.3, II.3.4 y II.3.5) se han separados las rocas intrusivas de las extrusivas, así como se ha tratado de individualizar los tipos de lavas (esta última clasificación no es del todo exacta).

Contemporáneos a los volcánicos Sapucaí, en la cuenca del Paraná (cerca a la frontera con Brasil) se depositaron potentes flujos de lavas basálticas toleíticas (*flood tholeiites*), con espesores que alcanzan varios cientos de metros. Se estima que ambos eventos provienen del mismo tipo de magma pero con grados locales de diferenciación (Comin-Chiaramonti et al, 1997).

II.3.8 Cretácico superior al Terciario: Grupo Asunción

También denominado Formación Patiño por algunos autores (Ricomini, Velásquez, Bartel), son sedimentos clásticos depositados en la etapas posteriores de relleno del rift de Asunción, culminando su relleno total. Debido a que se ubican estratigráficamente entre

los volcánicos Sapucaí y los volcánicos Ñemby (Terciario inferior), se les atribuye una posible edad Cretácico superior (González et al, 1998). Está constituido por fanglomerados polimícticos (clastos heterolíticos subangulosos a subredondeados en matriz clástica fina, como en el cerro Perú, al norte de Paraguari) en la base y areniscas hacia el tope, depositados rápidamente y con poco transporte, en un ambiente aluvial a aluvional de alta energía. Estos sedimentos afloran en el sector noroeste del rift (entre Paraguari y Yaguarón), debido a que dicho sector del bloque hundido tuvo una mayor subsidencia que el sector del sureste y se preservó de la erosión. La potencia total puede alcanzar los 500 m, aunque en la zona sólo se ha reconocido espesores que apenas superan los 150 m. En el cerro Ñandu-á (figura II.2.5) se tienen estas areniscas post-basálticas del Grupo Asunción que marcan los límites de la actividad tectónica local. Entre 45-50 Ma hubo actividad volcánica explosiva que depositó finos lentes de piroclastos entre las areniscas, cuando éstas no estaban del todo consolidadas (Ricomini, 1999).

Areniscas similares a las del grupo Asunción se depositaron también sobre los basaltos del Paraná, quedando algunos remanentes a lo largo de la frontera noreste con Brasil.

II.3.9 Terciario inferior: Volcánicos Ñemby

Conocido localmente como “Suite Intrusiva Ñemby” (González et al, 1998), son eventos magmáticos alcalino sódicos, constituidos por nefelinitas, fonolitas y fonotefrita. Las fonolitas-traquitas del cerro Giménez (en el borde interno sur del rift) han sido datadas en 66 Ma. por el método K/Ar (finicretácico). Presentan una predominancia de Na₂O sobre K₂O y en el diagrama TAS (total álcali vs. sílica) muestra un carácter peralcalino. No presentan ninguna evidencia de alteración ni procesos hidrotermales importantes. Todos los centros volcánicos de esta edad y composición resaltan claramente por encima de la topografía del rift, así tenemos a los cerros: Yarigua-á, Giménez, Medina y a los diques emplazados al noroeste de Paraguari (figura II.4.3). Debido a su composición, son también identificables con facilidad mediante la radiometría de uranio y torio (figuras II.5.13 y II.5.14).

II.3.10 Cuaternario: sedimentos recientes

Los sedimentos aluviales y coluviales recientes se han depositado en los márgenes internos del bloque hundido del rift, y también nivelando la peneplanicie central del rift. Están constituidos por cantos, bloques, arenas y arcillas no consolidadas en espesores que alcanzan hasta los 20 m. En la cercanía a las rocas ígneas, dichos sedimentos presentan niveles enriquecidos en sales (halita y silvita).

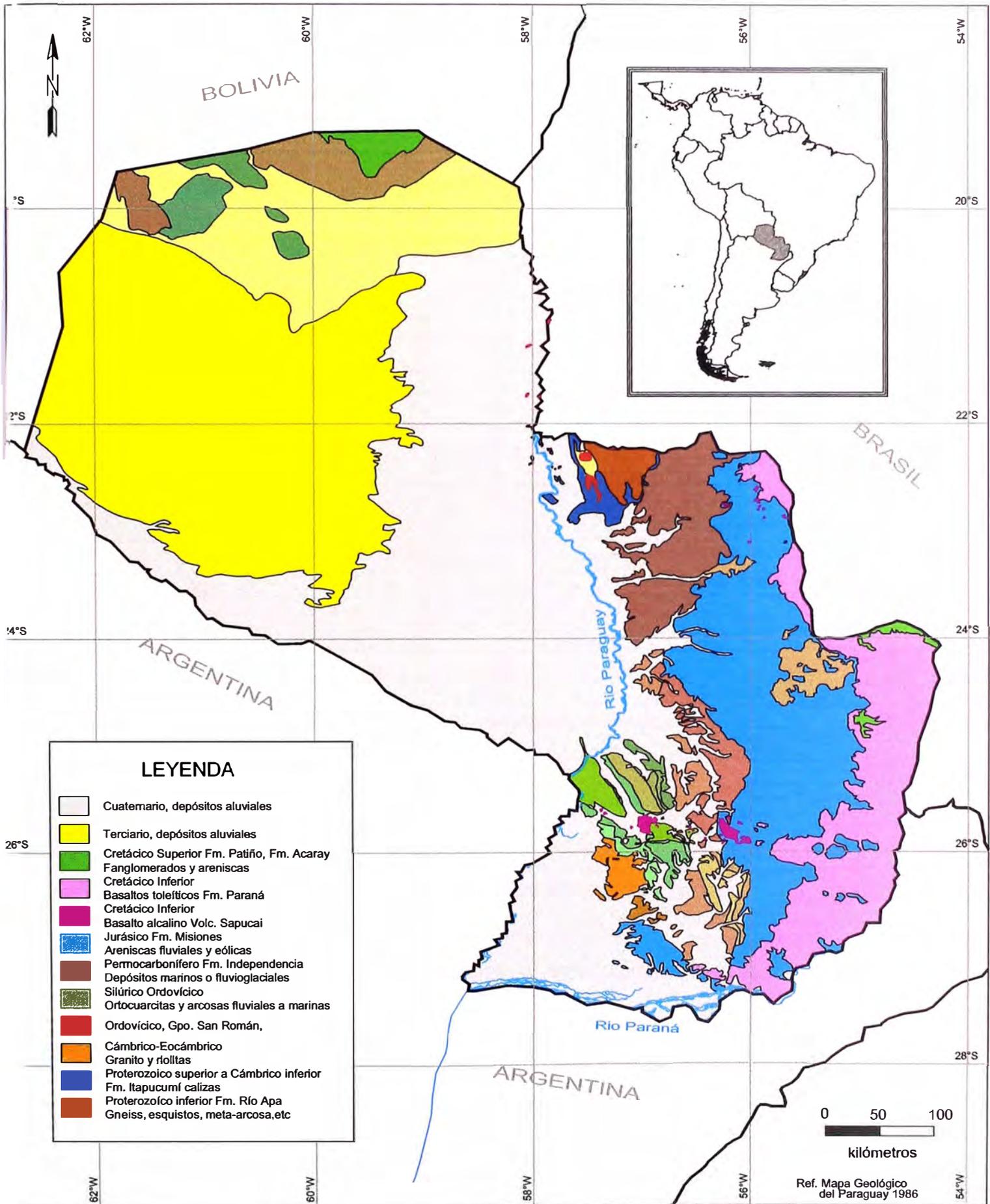
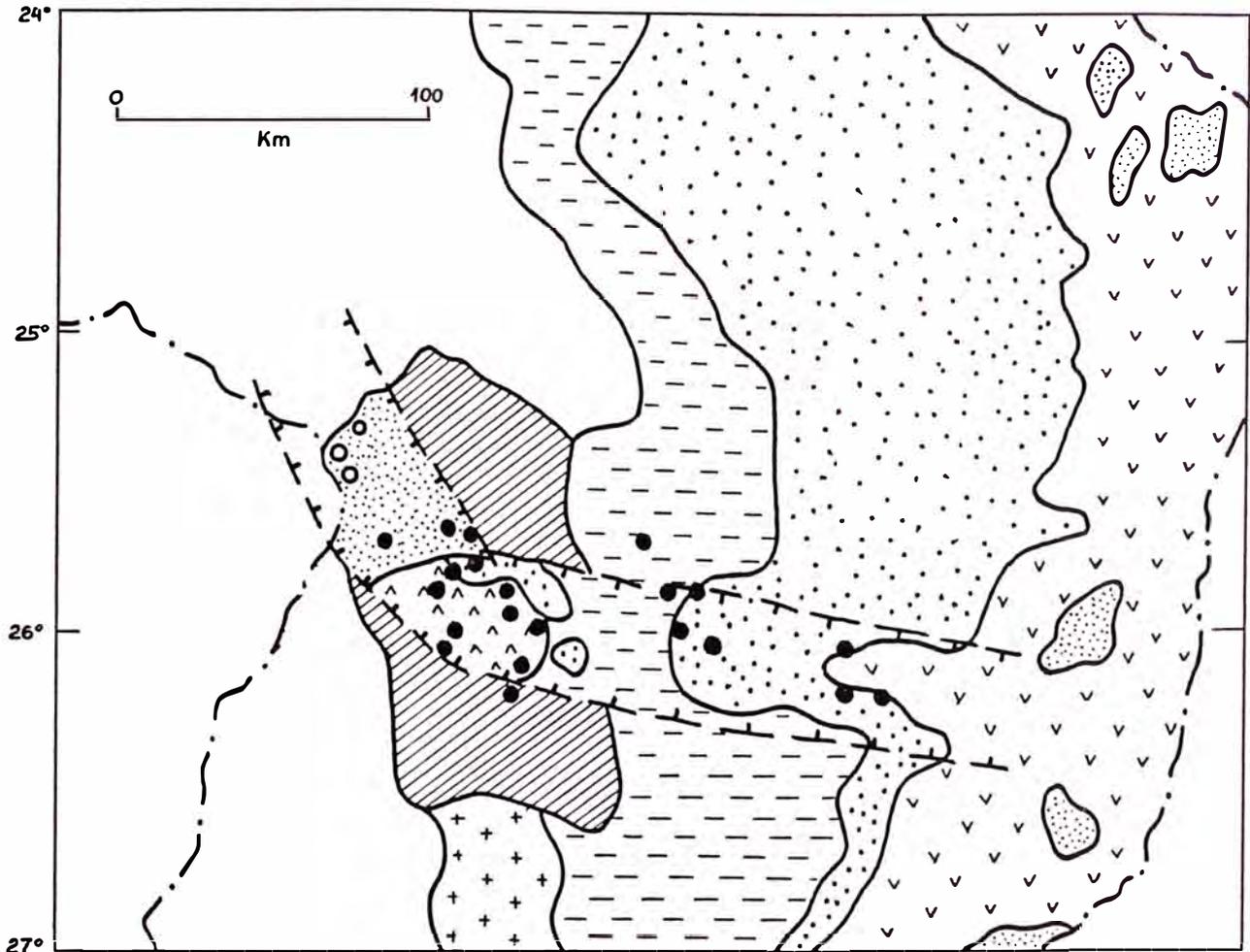
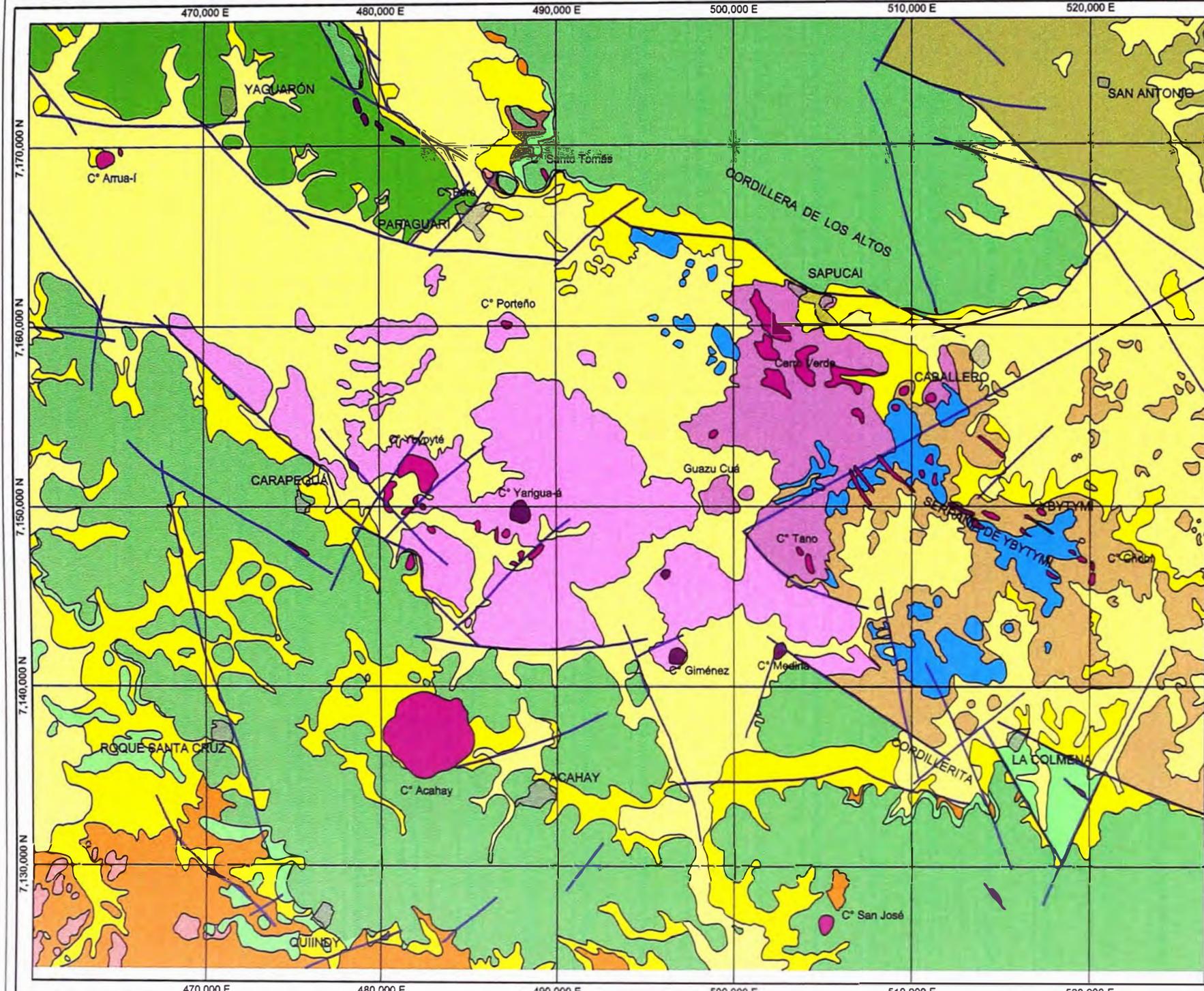
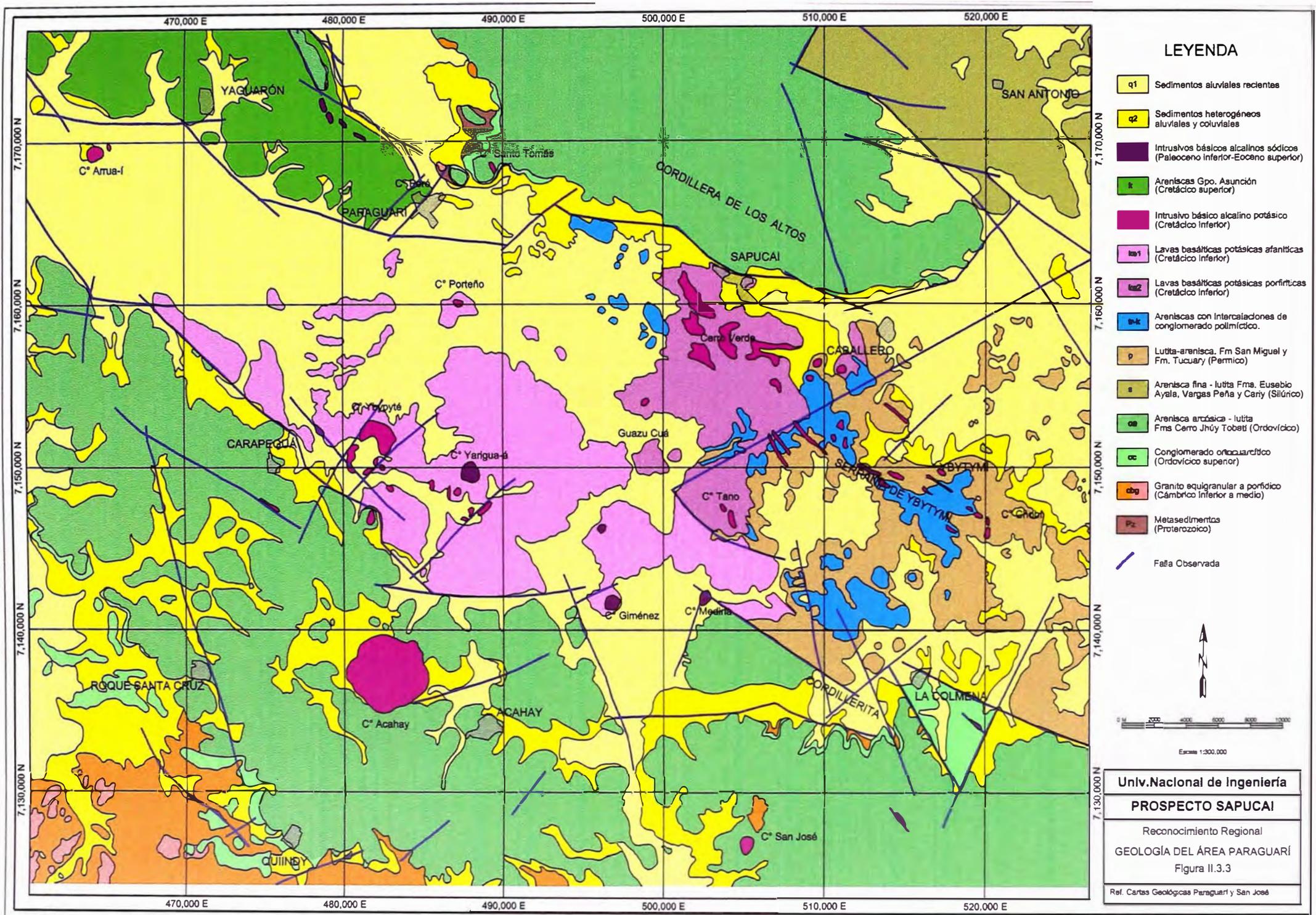


Figura II.3.1 Mapa Geológico del Paraguay

Figura II.3.2 Mapa Geológico Simplificado de Paraguay Oriental



-  Terciario y Cuaternario: depósitos aluviales
-  Cretácico Superior: Formación Patiño, fanglomerados y areniscas
-  Cretácico Inferior: Basalto alcalino
-  Cretácico Inferior: Basalto toleítico
-  Jurásico: Formación Misiones, areniscas fluviales a eólicas
-  Permo-Carbonífero: Fm. Independencia, depósitos marinos a fluvio-glaciales
-  Siluro-Ordovícico: arcosas y ortocuarcitas marinas a fluviales
-  Cámbrico–Eocámbrico: riolita porfírica y granito, algunos sedimentos marinos finos
-  Rocas intrusivas alcalino potásicas de 118-132 Ma.
-  Rocas intrusivas alcalino sódicas de 30-60 Ma.
-  Traza proyectada del Rift/Graben de Asunción-Acahay



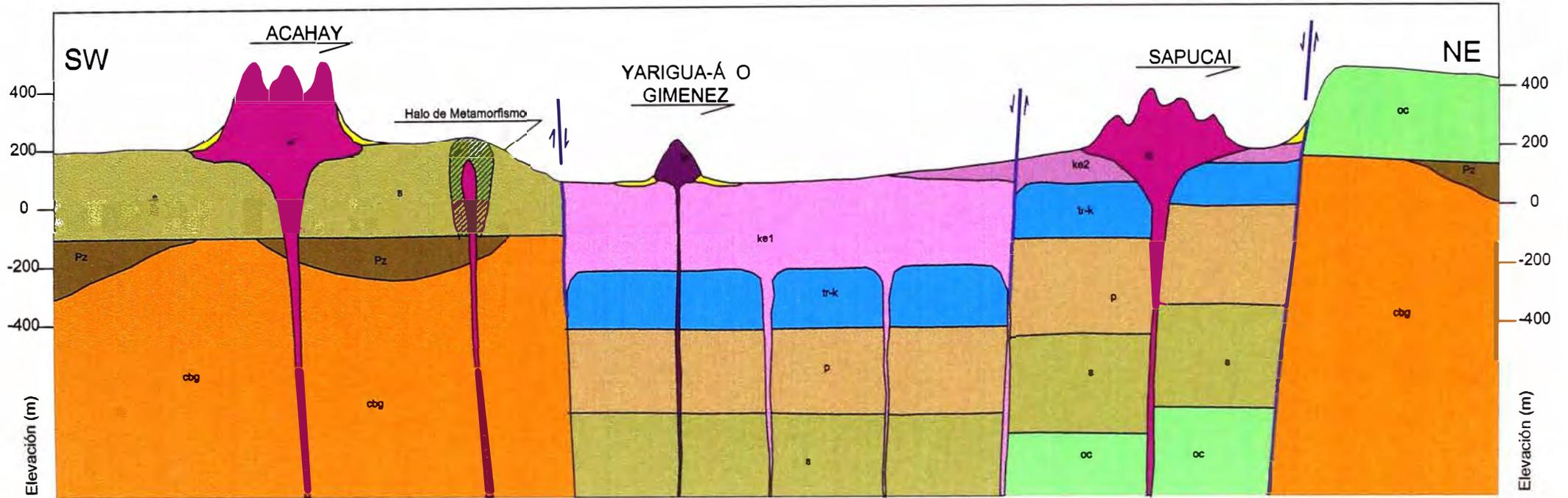
7,170,000 N
7,160,000 N
7,150,000 N
7,140,000 N
7,130,000 N

470,000 E 480,000 E 490,000 E 500,000 E 510,000 E 520,000 E

0 2000 4000 6000 8000 10000

Escala 1:300,000

RIFT DE ASUNCIÓN - SECCIÓN TRANSVERSAL



LEYENDA

<p>q2 Sedimentos heterogéneos</p> <p> Intrusivos básicos alcalinos sódicos (Paleoceno inferior-Eoceno superior)</p> <p> Intrusivo básico alcalino potásico (Cretácico inferior)</p> <p> Lavas basálticas potásicas afaníticas (Cretácico inferior)</p>	<p>ke2 Lavas basálticas potásicas porfíricas (Cretácico inferior)</p> <p>tr-k Areniscas con intercalaciones de conglomerado polimítico.</p> <p>p Lutita-arenisca, Fm. San Miguel y Fm. Tucuary (Pérmico)</p> <p>a Areniscas y Lutitas (Silúrico)</p>	<p>oc Conglomerado ortocuarcítico (Ordovícico superior)</p> <p>cbg Granito equigranular a porfídico (Cámbrico inferior a medio)</p> <p>Pz Metasedimentos (Proterozoico)</p> <p>// Falla Observada</p>
---	---	--

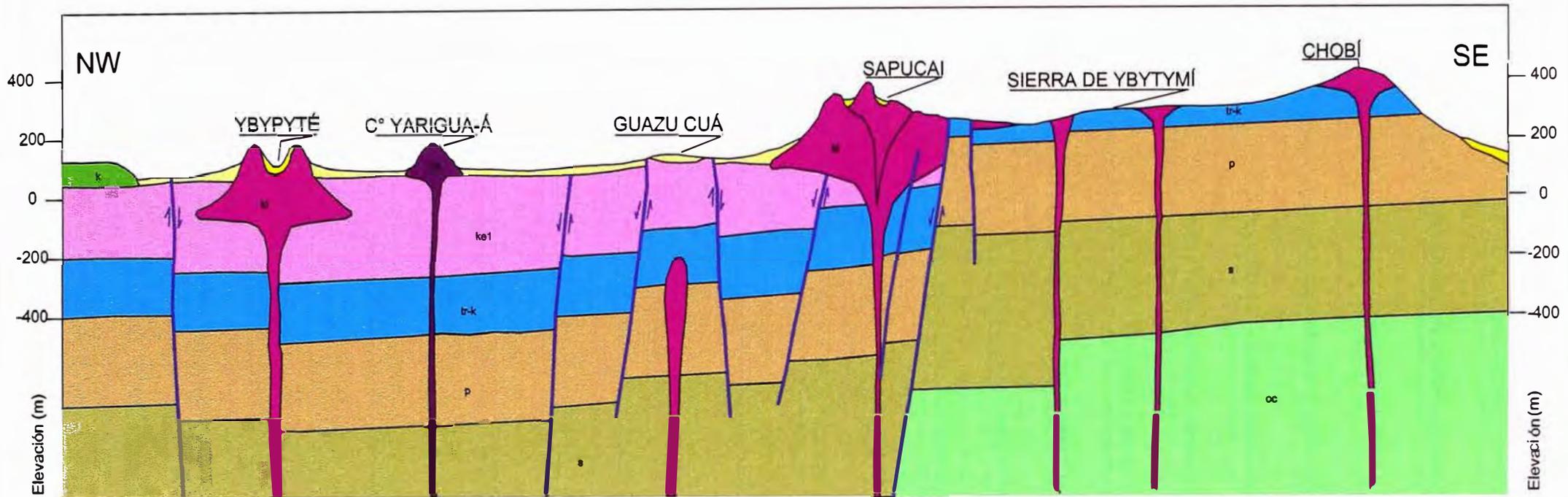


Escala Horizontal 1:200,000

Escala Vertical 1:20,000

Figura II.3.4 Sección Geológica Interpretativa, Transversal al Rift de Asunción. El rift de Asunción tiene 20-25km de ancho, con bloques escalonados hacia los bordes. El bloque hundido tiene un desplazamiento vertical estimado mayor a 500m. Las intrusiones alcalinas (diques y centros volcánicos) han alcanzado la superficie a través de fallas profundas de los bordes del rift.

RIFT DE ASUNCIÓN - SECCIÓN LONGITUDINAL



LEYENDA

q1 Sedimentos aluviales recientes	ka1 Intrusivo básico alcalino potásico (Cretácico inferior)	s Areniscas y Lutitas (Silúrico)
q2 Sedimentos heterogéneos	ka1 Lavas basálticas potásicas afaníticas (Cretácico inferior)	oc Conglomerado ortocuarcítico (Ordovícico superior)
k Areniscas Gpo. Asunción (Cretácico superior)	tr-k Areniscas con intercalaciones de conglomerado polimíctico.	Falla Observada
ka1 Intrusivos básicos alcalinos sódicos (Paleoceno inferior-Eoceno superior)	p Lutita-arenisca. Fm. San Miguel y Fm. Tucuary (Pérmico)	



Escala Horizontal 1:200,000

Escala Vertical 1:20,000

Figura II.3.5 Sección Geológica Interpretativa, Longitudinal al Rift de Asunción. El bloque hundido del rift de Asunción muestra un ligero buzamiento regional hacia el Oeste, con una tendencia a mayor profundización también hacia el oeste. El cambio más marcado se produce en la cercanía a Sapucaí con la presencia de una gran falla Norte-Sur

II.4 INTRUSIONES Y VULCANISMO

La historia magmática de Paraguay Oriental se inicia en el Cámbrico al Eocámbrico con el emplazamiento de mágmas ácidos de composición granítica y riolítica pertenecientes a la denominada Suite Intrusiva-Extrusiva Caapucú correspondiente al ciclo tectónico Brasiliano o Brasilídes (544 +/- 11 Ma, datación de biotitas en granitos por el método Ar40/Ar39 por Bitschene & Lippolt 1984, en González et al. 1998). Estos granitos afloran en gran extensión en la parte sur (departamento de Misiones) y en la parte norte de la región (departamento de Concepción). En la parte cercana al prospecto únicamente afloran granitos holocristalinos en la pared interna de las fallas normales del borde del Rift de Asunción, infrayaciendo a las areniscas Ordovícicas (figura II.3.4). Debido a su contenido moderado de minerales magnéticos (magnetita-ilmenita) y a su cercanía a la superficie del terreno en algunos sectores, este basamento granítico es fácilmente cartografiable a nivel regional utilizando la información proporcionada por la magnetometría aérea, como la efectuada por Anschutz en Paraguay Oriental con líneas de vuelo cada 5 km (figura II.5.1). La respuesta magnética de este granito tiene polaridad igual a la actual.

Posteriormente y durante tres etapas muy diferenciadas en el Permo-Triásico, Cretácico inferior y Terciario inferior, se emplazaron rocas intrusivas y volcánicas de composición alcalina (figura II.4.2), distribuidas en seis provincias conocidas como: la provincia del Alto Paraguay al norte, con 250-240 Ma; provincia del río Apa también al norte, con 140 Ma; provincia de Amambay al noreste, con 140 Ma; provincia Central con 130 Ma; provincia de Misiones al sur, con 120 Ma y la provincia de Asunción en la zona central con 61-39 Ma (Gomes, 1999).

En nuestra zona de estudio en particular dentro del área denominada Paraguarí, los pulsos principales con intrusiones y eventos volcánicos de gran magnitud se sitúan en el Cretácico inferior (potásicos) y el Terciario Inferior (sódicos) y corresponden a las provincias Central (Suite Mágmatía Sapucaí) y provincia de Asunción (Suite Intrusiva Ñemby) respectivamente (figura II.3.2 y tabla II.4.1) (González et al, 1998).

Estos procesos magmáticos emplazado en el interior del rift coinciden perfectamente con la intensidad de la actividad tectónica que se inició durante la ruptura de la Pangea y posterior apertura del Atlántico Sur durante el Jurásico (Thompson et al, 1998). La tectónica extensional permitió el ascenso de magmas alcalinos pobremente diferenciados provenientes del manto superior a través de zonas de debilidad (fallamiento profundo) y en donde la corteza continental está adelgazada (Cappa, 1998).

A nivel sudamericano (figura II.4.1) las edades de intrusiones alcalinas varían desde pre-Cámbricas, Jurásicas, Cretácicas, Terciarias y recientes y corresponden a ciclos orogénicos o eventos tectónicos de magnitud global. Todas las intrusiones alcalinas se emplazan en los bordes de los cratones (figura II.2.1) y excepcionalmente en su interior. Algunos autores afirman que existiría una migración del emplazamiento de intrusiones (en tiempo y espacio) controlado por una supuesta *plume* astenosférica que estaría desplazándose hacia el este desde la provincia de Poxoreu (Cretácico) hasta la isla Trindade (1 Ma) en el Océano Atlántico (Thompson et al. 1998).



Figura II.4.1 Rocas Ígneas Alcalinas de Sudamérica

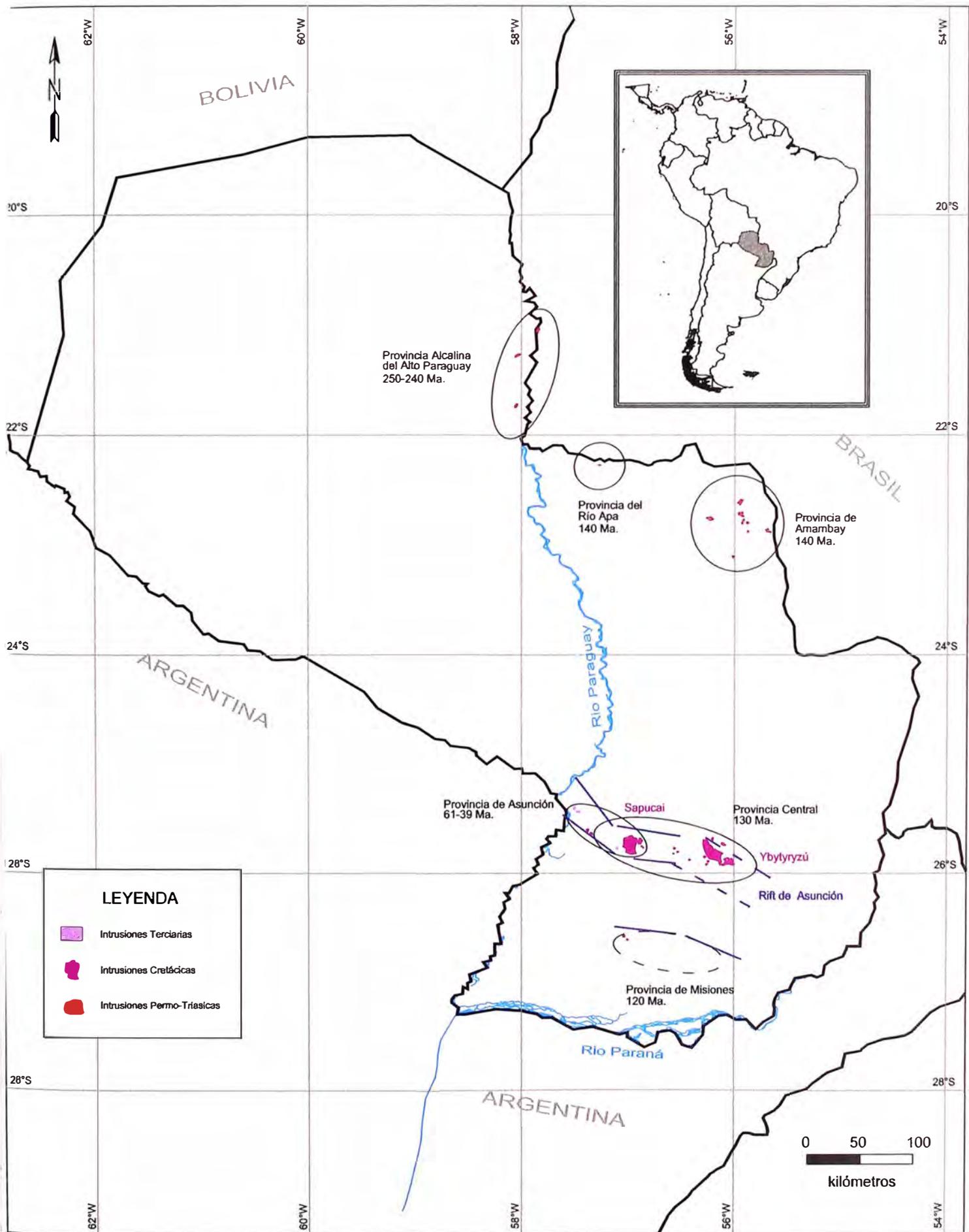
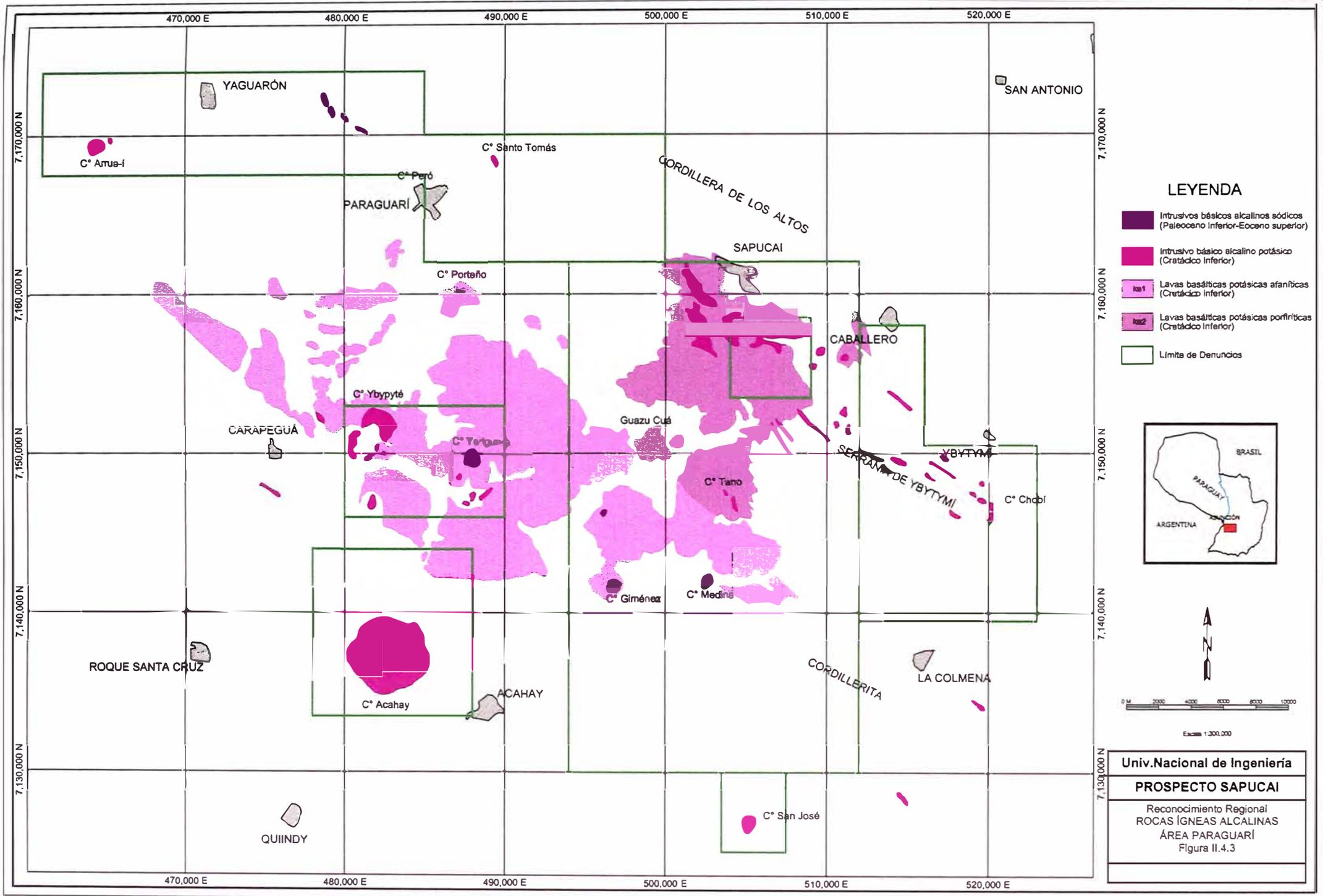
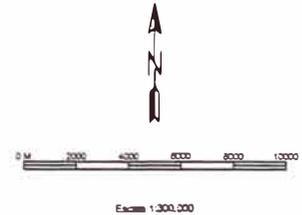


Figura II.4.2 Ubicación de Rocas Ígneas Alcalinas en Paraguay



LEYENDA

- Intrusivos básicos alcalinos sodicos (Paleoceno inferior-Eoceno superior)
- Intrusivo básico alcalino potásico (Cretácico inferior)
- Lavas basálticas potásicas afaníticas (Cretácico inferior)
- Lavas basálticas potásicas porfíricas (Cretácico inferior)
- Límite de Denuncios



Univ.Nacional de Ingenieria

PROSPECTO SAPUCAI

Reconocimiento Regional
 ROCAS IGNEAS ALCALINAS
 ÁREA PARAGUARÍ
 Figura II.4.3



Figura II.4.4 Disyunción Columnar en Basaltos del Paraná

Talud de camino mostrando transversalmente (con el eje de los prismas horizontal y perpendicular al plano del talud) los prismas de disyunción columnar en lavas basálticas de la formación Paraná, en el Cerro Tayay, en la región nor-oriental del Paraguay, cerca a la frontera con Brasil.



Figura II.4.5 Disyunción Columnar en Areniscas del Rift de Asunción

Afloramiento de Areniscas con estratificación oblicua, recrystalizadas por metamorfismo y con fracturamiento prismático de orden centimétrico, en el extremo este del Rift de Asunción, en la cercanías a la ciudad de Villarrica, a 60 km al este de Sapucaí.



Figura II.4.6 Disyunción Columnar en Areniscas: muestras tipo

Muestras de areniscas recristalizadas con fracturamiento prismático perpendicular a la estratificación, con características similares a la disyunción columnar producida en los derrames lávicos. Nótese la escala del fracturamiento desde 2 hasta 12 cm (o más).



Figura II.4.7 Areniscas Columnares de Areguá en el rift de Asunción

Areniscas recristalizadas con fracturamiento subhorizontal (ondulante) perpendicular a un dique lampróvido completamente argilitizado. Fracturamiento tipo disyunción columnar.

En el área de Paraguari, el fallamiento normal escalonado producido a lo largo de los márgenes del rift de Asunción, ha permitido el emplazamiento de una serie de intrusiones alcalinas de gran magnitud en la intersección con fallas transversales de rumbo noreste-suroeste, formando grandes edificios volcánicos de 15-20 km de diámetro (dimensiones inferidas) como los de Sapucaí, Acahay, Ybypyté, etc (figuras II.4.3 y II.3.4). Erupciones fisurales coetáneas mayormente paralelas al borde del rift, han formado potentes secuencias de lavas basálticas alcalinas intercaladas con niveles volcanoclásticos delgados (de orden decimétrico) cercanos a los conductos volcánicos de explosión (*vents*). Esta secuencia de rocas efusivas alcanza potencias de 250-300 m en la zona central del bloque hundido, sobreyaciendo sedimentos clásticos Jurásicos (figuras II.4.3 y II.3.5).

En el área de Chauria a 20 km al sur de Sapucaí y en la zona central del rift de Asunción, se tiene evidencias que los primeros eventos efusivos ocurrieron cuando los sedimentos infrayacentes aún permanecían inconsolidados y altamente saturados en agua, formando diques y sills de areniscas recristalizadas y parcialmente metamorfizadas dentro de flujos de lava vesiculares en las secuencias volcánicas basales, esto debido a la presión de sobrecarga que hizo que la arena y agua (con menor peso específico que los basaltos) ascendiera por fracturas abiertas y por entre los flujos de lavas.

Asímismo, una serie de diques subaflorantes emplazados a lo largo de las fallas en los márgenes del rift han metamorfizado los sedimentos pre-existentes produciendo crestones de igual dirección que el del borde del rift (figura II.2.3, zonas de alteración). En mucho de los casos, este metamorfismo se manifiesta a manera de disyunción columnar dentro de las areniscas (hoy cuarcitas), cuyo fracturamiento con espaciamiento centimétrico es perpendicular a la fuente de calor independientemente de la estratificación y/o laminación, y su intensidad varía de acuerdo a la granulometría de la roca sedimentaria existente: cuando el grano es mas fino presenta mayor fracturamiento (figura II.4.5). El producto final son prismas mayormente pentagonales (los hay también triangulares, cuadrangulares, hexagonales e inclusive heptagonales) con diámetro variable (2-20 cm) y caras planas u ondulantes de longitudes decimétricas (figura II.4.6) hasta decamétricas como en el caso de la zona de Areguá entre Sapucaí y Asunción (figura II.4.7). No está claro si esta disyunción en areniscas tiene la misma génesis que la disyunción columnar en una lava (figura II.4.4) o en un flujo piroclástico, en donde sería producida por un enfriamiento rápido (McPhie et al, 1993). Algunos autores sugieren que una onda de impacto de gran magnitud como el producido por una brecha freatomagmática o una diatrema que no alcanzó la superficie, podrían ser el causante primario de este tipo particular de fracturamiento y metamorfismo (Tobey, 2000). Este conducto podría haber sido rellenado posteriormente por un dique o un pequeño stock. La sola presencia de estas disyunciones en areniscas recristalizadas alrededor de un dique o un stock intrusivo no se justifican por sí mismas, pues esta roca ígnea no pudo acarrear suficiente calor ni enfriarse tan abruptamente. En la zona de Areguá (figura II.4.7), la disyunción columnar en areniscas alcanza una distancia de más de 100 m respecto a un dique que tiene menos de 2 m de potencia, mientras que el halo de metamorfismo y recristalización tiene apenas algunos decímetros a metros.

Los *vents* o conductos de explosión descritos en los párrafos anteriores como los de la zona de Chauria (al sur de Sapucaí) y la zona de Yaguarón (en el borde oeste de la zona de estudio), han sido determinados de manera indirecta debido a que no afloran. Se presentan como estructuras perfectamente circulares con el centro deprimido (totalmente

cubierto), halo circular de roca encajonante metamorfozada (principalmente areniscas con disyunción columnar radial) y halo de dispersión de piroclásticos en las cercanías (figura II.2.3, zonas de alteración y figura IV.1.1). Algunos autores afirman que estos *vents* son la manifestación externa de *pipes* lamprofíricos con contenido diamantífero (Báez, 1999). No se han efectuado análisis específicos para corroborar o descartar dicho postulado. Estos *vents* no presentan mineralización metálica, pues no hay evidencias de procesos hidrotermales y sus dimensiones reducidas (decenas de metros), indican que han sido eventos instantáneos y de corta vida.

Litológicamente los flujos de lavas basálticas tienen textura porfirítica con algunos niveles con textura vesicular. Sus coloraciones varían desde gris violáceo hasta gris rojizo, son altamente magnéticas, y eventualmente presentan procesos de autoalteración con formación de zeolitas, carbonatos, cloritas y otros minerales típicos de una propilitización. Las rocas intrusivas presentan texturas que revelan diferentes profundidades de emplazamiento, variando desde faneríticas hasta porfiríticas (subvolcánicas): gabros, sienitas, monzogabros, traquitas, fonolitas, fono-traquitas, tefritas, nefelinitas, sanidinitas, biotitas, essexitas, shonkinitas, etc. Todas presentan primariamente un contenido importante de minerales potásicos: feldespatos potásicos y biotitas, así como de feldespatoides. Son mayormente deficientes en cuarzo. En el capítulo de geología local (capítulo III), se hará una descripción detallada de la petrografía ígnea de cada una de ellas.

**Tabla II.4.1 Edades de Rocas Alcalinas del Rift de Asunción
GRUPO YBYTYRUZÚ**

Ocurrencia	Lat.S	Long. W	Ubicación	Características (intrusivo/extrusivo)	Área (Km ²)	Volumen (km ³)	Tipo de Roca Principal	Edad (M.A.)	Roca Encajonante
1 Cerro km 23	25.9383	56.2450	1 km NE de Roque G.Santa Cruz	Stock	0.8	< 0.2	Essexita K, gabros, teralitas	131-115	Areniscas Rojas
2 Cerro San Benito	25.8900	56.2567	2.5 km de Roque G. Santa Cruz	Stock.	0.3	< 0.1	Essexita K, gabro essexítico	126.5+/-7.6	Areniscas Rojas
3 Cerro E Santa Helena	25.8917	56.3083	6.5 km NE de Numi	Complejo	3.3	< 1.3	Tefrita K, basanitas, basalto alcalino	126.5+/-7.6	Areniscas Rojas
4 Cerro Northwestern	25.7500	56.3333		intrusiones tipo stock	14	0.1	Traquiandesita afanítica alcalina-potásica	124.6-128.8	Basaltos toleíticos, Areniscas Rojas
	25.8333	56.1833						124.6+/-128.8	Basaltos toleíticos
5 Cerro Capiitindy	25.7200	56.3450	12 km NE de Villarrica	Domo volcánico	0.8	< 0.3	Traquifonolita alcalina-potásica	126.5+/-7.6	Areniscas Rojas
6 Mbocayaty	25.7117	56.4133	5 km N de Villarrica	Stock elíptico	1.5	0.2		128.2-130.0	Sedimentos continentales
7 Aguapety Portón	25.5867	56.4433	20 km N de Villarrica	Stock circular	0.2	< 0.1		132.9-138.1	Sedimentos continentales
8 Cerro Itapé	25.8583	56.5550		E-W plug	0.8	< 0.3	Traquibasaltos y traquifonolitas	Post- Jurásico	Areniscas Rojas
9 Cerrito Itapé	25.8767	56.5900		Two twin plug	< 0.5	< 0.1	Tefrita sódica	Post- Jurásico	Areniscas Rojas
10 Colonia Vega	25.8267	56.7100		Domo de lava	0.4	< 0.1	Fonolitas peralcalina potásica		Areniscas Rojas
11 Cañada	25.7933	56.7800	2 km E de Cerro Chobi	Stock	0.8	< 0.1	Sienita nefelinica potásica-alcalina	126.5+/- 7.6	Areniscas Rojas
12 Cerro Chobi	25.7917	56.8117	3.5 km S de the Ybytimi	Stock NO-SE	1	0.5	Gabros essexíticos		Areniscas Rojas
13 Potrero Garay	25.8383	56.8200	4 km de N La Colmena	Stock probable			Essexitas potásica alcalinas	Post- Jurásico	Areniscas Rojas
14 Vallei	25.7400	56.8817		Dique			Traquifonolita K-peralcalina	Post- Jurásico	Areniscas Rojas
15 Cerro Yaguarú	25.7250	56.8817		Domo de lava			Traquiandesitas, traquifonolitas	Post- Jurásico	Areniscas Rojas
16 Catalán	25.7767	56.9017		Domo de lava			Traquiandesitas, tefritas, fonolitas	Post- Jurásico	Areniscas Rojas
17 Cerro Apiraguá	25.9083	56.9017					Riolitas, andesibasaltos toleíticos	500	Areniscas
18 Cerro Verá	25.9150	56.9283		Sills			Andesibasaltos toleíticos, traquibasaltos	Cretácico inferior	Areniscas
19 Cerro Obi	25.9200	56.9600		Sills			Andesibasaltos toleíticos	Cretácico inferior	Areniscas
20 Cerro San José	25.9800	56.9500		Stock circular			Gabros K-alcalinos, sienodioritas	126.5+/- 7.6	Areniscas
21 Paso Villán-Franco	25.7800	56.8867		Stock, lavas, domos			Gabros K-essexíticos, tefritas potásicas	Post- Jurásico	Areniscas Rojas
22 Kiritó	25.9800	56.9500		Diques			Basaltos K-alcalinos, traquitas	Post- Jurásico	Areniscas Rojas
23 Potrero Ybaté	25.7983	56.9583		Complejos	> 28	6	Sienodioritas nefelinicas	127.8 +/- 5.6	Areniscas Rojas
24 Cerro Medina	25.8417	56.9750		Domo de lava	1.3	0.7	Fonolitas peralcalinas		Flujos de lava
25 Sapucaí	25.7033	56.9600		Complejos	98	30		120	Areniscas Rojas
26 Cerro Giménez	25.8433	57.1050		Domo de lava	0.5	0.1	Fonolita sódica-peralcalina	66.0+/- 4.6	Areniscas Rojas
27 Cerro Santo Tomás	25.6033	57.1050		Stock	3.2	1	Sienodiorita K-nefelínica	126.5+/- 7.6	Areniscas
28 Cerro Porteño	25.6967	57.1250		Plug	< 0.2		Traquibasaltos potásicos	Post- Jurásico	Sedimentos aluvionales
29 Cerro Yariaguá-á	25.7700	57.1200		Domo de lava	0.4	< 0.2	Fonolitas Na-peralcalinas	Cretácico	Latibasaltos potásicos
30 Cerro Acahay	25.8817	57.1733		Complejo	17	8	Essexitas K-alcalinas, sienodioritas	118+/-4	Areniscas
31 Cerro Pinto	25.7983	57.1800		Flujo de lava	< 0.1		Traquiandesitas K-alcalinas	Post- Jurásico	Areniscas Rojas
32 Cerro Ybypyté	25.7483	57.1850		Domo de lava	3	< 0.5	Traquibasaltos K-alcalinos, traquiandesitas	Post- Jurásico	Areniscas Rojas
33 Cerro Arrúa-i	25.5933	57.3533		Stock	3.8	1	Sienodiorita K-nefelínica, essexita	132.3+/-8.4	Areniscas Rojas

II.5 GEOFÍSICA REGIONAL

II.5.1 Objetivos Geofísicos

Debido a la poca exposición de las roca, la geofísica se convierte en una de las principales herramientas para el reconocimiento geológico a escala regional, distrital y local, logrando una buena correlación en especial con la rocas ígneas y con estructuras mayores. La geofísica aérea en particular, logra cubrir una gran extensión de terreno en corto tiempo y a una relación costo-beneficio razonable. En tal sentido, y estando nuestro objetivo principal emplazado en un ambiente volcánico con pocos afloramientos, la geofísica se constituyó como el mejor recurso para la determinación de las áreas más favorables.

El objetivo de este levantamiento geofísico fue definir estructuras circulares (con diámetros mayores a 100 m) cuyos patrones magnéticos-radiométricos pudiesen estar asociados o relacionados a centros volcánicos, chimeneas o cuellos de brecha, stocks, cuerpos de brecha, etc.

II.5.2 Antecedentes de Trabajos Geofísicos

A nivel macro-regional se utilizó información existente tomada por la compañía Anschutz en la década de los 80, quienes efectuaron un levantamiento aeromagnetométrico con líneas de vuelo de dirección Este-Oeste separadas 5 km entre sí sobre la zona de Paraguay Oriental (Hales, 1980). Dicha información fue re-procesada (fig. II.5.1) definiéndose las siguiente características:

Existe un patrón de estructuras magnéticas de rumbo Noroeste-Sureste muy marcado coincidente con el Rift de Asunción y paralelo a este.

Se identifican claramente las principales provincias magmáticas (Sapucai y Amambay). Asimismo, se reconoce los límites de la cuenca Paraná rellena por basaltos alcalinos que tienen una respuesta magnética muy irregular.

El basamento de granitos pre-Cámbricos que aflora en la región sur de Paraguay Oriental, es reconocible por su respuesta magnética muy uniforme y consistente, con una dirección nor-noreste sur-suroeste.

Este reconocimiento geofísico fue demasiado regional y no tenía la resolución necesaria para definir áreas y blancos con diámetros inferiores a 5 km (espaciamiento entre líneas). Por tal motivo, se comisionó un levantamiento geofísico aéreo con mayor densidad que permitiese identificar blancos más pequeños.

II.5.3 Programa de Geofísica Aérea

Para el programa de Geofísica Aérea, se contrataron los servicios de la compañía canadiense Scintrex (<http://www.scintrexltd.com>), quienes efectuaron el levantamiento magnético y radiométrico (uranio, torio y potasio) entre finales de 1999 e inicios del 2000.

El equipo utilizado por Scintrex fue el siguiente (figura II.5.1):

- 1 avión bimotor Piper Chieftain PA-31 especialmente acondicionado.
- 2 magnetómetros de vapor de cesio CBS-2 montados en la cola del avión.
- 1 espectrómetro radiométrico PGAM-1000 montado al interior de la cabina.
- 1 GPS montado en la aeronave.
- 1 GPS Novatel 3951R de 10 canales para correcciones diferenciales instalado provisionalmente en el aeropuerto de Asunción.
- 1 Computadora portátil Pentium para procesamiento de los datos.

Se completaron un total de 15,057 km de líneas de vuelo con dirección N41°E, transversales a la orientación principal del eje del rift de Asunción cubriendo todo el área del denuncio y sus alrededores. La altura de vuelo fue de 100 m (figura II.5.3) por encima del terreno y el espaciamiento entre las líneas fue de 100 m en la zona central y 200 m en la zona periférica. Los datos magnéticos fueron recolectados cada 0.1 segundos y los datos radiométricos cada 1 segundo, a una velocidad promedio de 250 km/h. Toda la información fue compilada en una base de datos automática, georeferenciada mediante GPS diferencial, y corregida instantáneamente por efectos de radiación electromagnética proveniente del sol (Lombardo et al, 2000).

La información completa fue re-procesada por B. Lubbe (geofísico de Newmont) utilizando programas de computación especialmente diseñados por la compañía, que corrigen y normalizan los datos así como acentúan las anomalías.

II.5.4 Magnetometría Aérea

II.5.4.1 Fundamentos de Magnetometría

La magnetometría mide la distribución del campo magnético producido por los minerales magnéticos constituyentes de las rocas infrayacentes al receptor en una determinada área. No se diferencian minerales magnéticos primarios de los secundarios. Únicamente se registra el magnetismo actual, independientemente si hubo o no procesos hidrotermales que pudieron destruir el magnetismo original de la roca como sucede en los ambientes epitermales (Irvine et al, 1990).

En las lecturas magnéticas se incluyen todas las rocas desde la superficie hasta una determinada profundidad que depende en este caso de la altura de vuelo: a mayor altura se tiene menor resolución pero mayor profundización, mientras que a menor altura se obtiene mayor resolución pero menor profundización. La resolución depende también de la densidad de líneas de vuelo, pues mientras éstas tengan menor espaciamiento, mayor será su resolución. La profundización también depende de la sensibilidad del equipo utilizado, pero en términos generales puede alcanzar algunos miles de metros. A diferencia de los medidores de susceptibilidad magnética portátiles, estos sólo miden la intensidad puntual del magnetismo, sin importar su polaridad.

En los diagramas mostrados a continuación, debe recalarse que han sido ajustados mediante programas de computadora (con algoritmos matemáticos específicos que no se detallarán aquí) con la finalidad de acentuar los rasgos que se consideran importantes así como filtrar la información irrelevante o ruido de fondo.

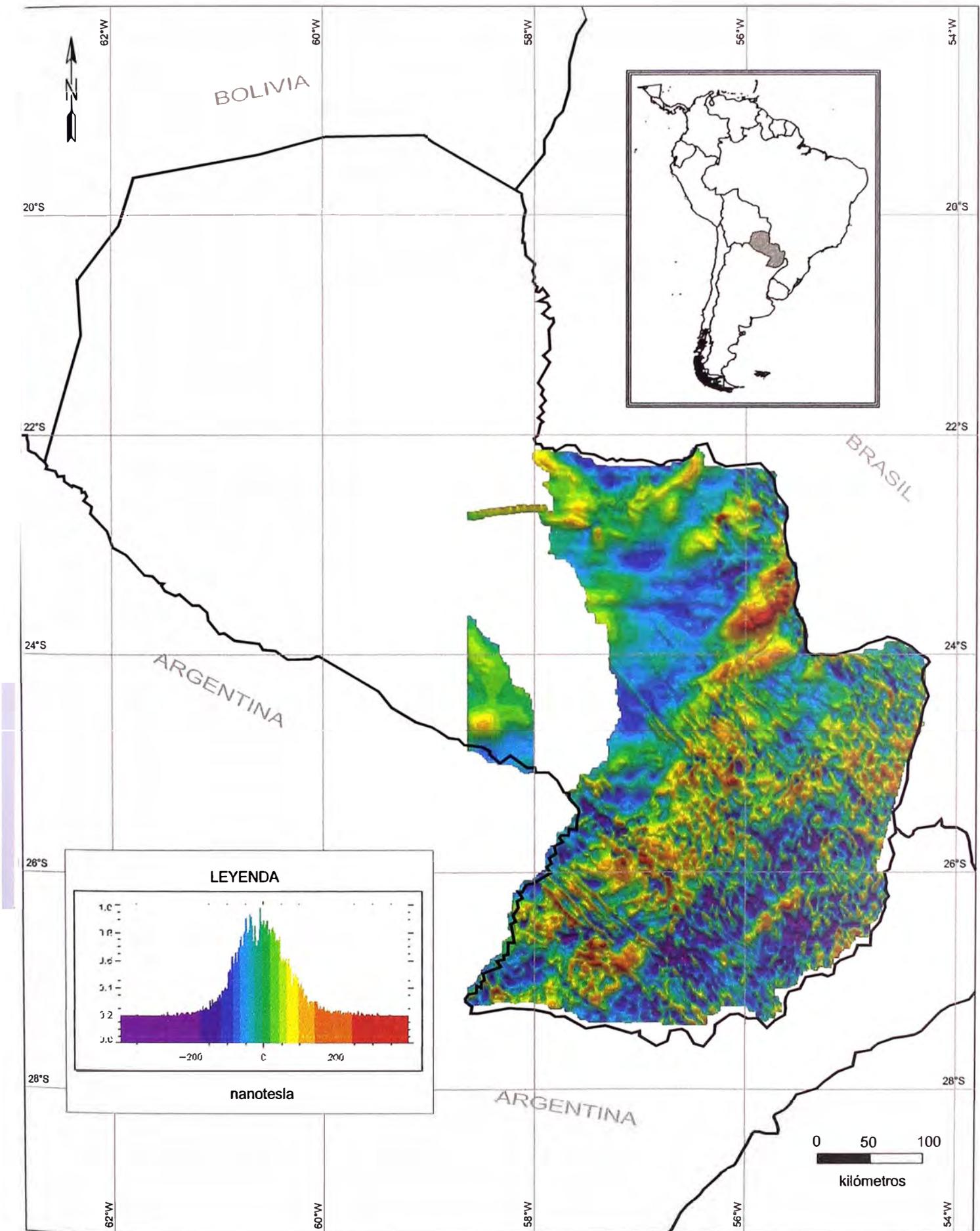


Figura II.5.1 Magnético Reducido al Polo de Paraguay Oriental



Figura II.5.2 Avión para Levantamiento Geofísico

Bimotor Piper Navajo de la compañía Scintrex especialmente acondicionado para reconocimiento aeromagnético. Nótese el extremo posterior de la aeronave con la ubicación de los sensores. Foto tomada en el aeropuerto Silvio Petirosi de la ciudad de Asunción.



Figura II.5.3 Vuelo de Levantamiento Geofísico en el Área de Paraguari

Línea de vuelo para lectura de datos aeromagnéticos y radiométricos a una altura aproximada entre 80-100 m sobre el nivel del terreno, sobre el borde sur del rift de Asunción, en el área denominada Cordillerita, cerca a la carretera que une Acahay con La Colmena.

II.5.4.2 Mediciones de Campos Magnéticos

Los diagramas de campo magnético total y magnético reducido al polo (polo norte)(figura II.5.4) muestran en los colores cálidos (tonos rojos) los valores de campo magnético más fuerte (positivo) mientras que en los colores fríos (tonos azules) se tienen los valores de campo magnético más bajo (negativo), estando los de campo magnético neutro aproximadamente en los tonos verdosos a amarillentos.

Normalmente, bajo los parámetros estandarizados de ajuste, se considera que los tonos rojos significan campos magnéticos altos y los tonos azules campos magnéticos bajos (no negativos), pero en nuestro caso en particular, se determinó que en esta zona se tienen rocas cuyos campos magnéticos (de alta intensidad) tienen algunas polaridad igual a la actual (aparecen en rojo) y otras polaridad invertida (en azul). Esto se explica por la variación constante de la polaridad del magnetismo terrestre durante el Cretácico Inferior (figura II.5.5) que es coincidente con la edad del vulcanismo en la zona central del rift de Asunción.

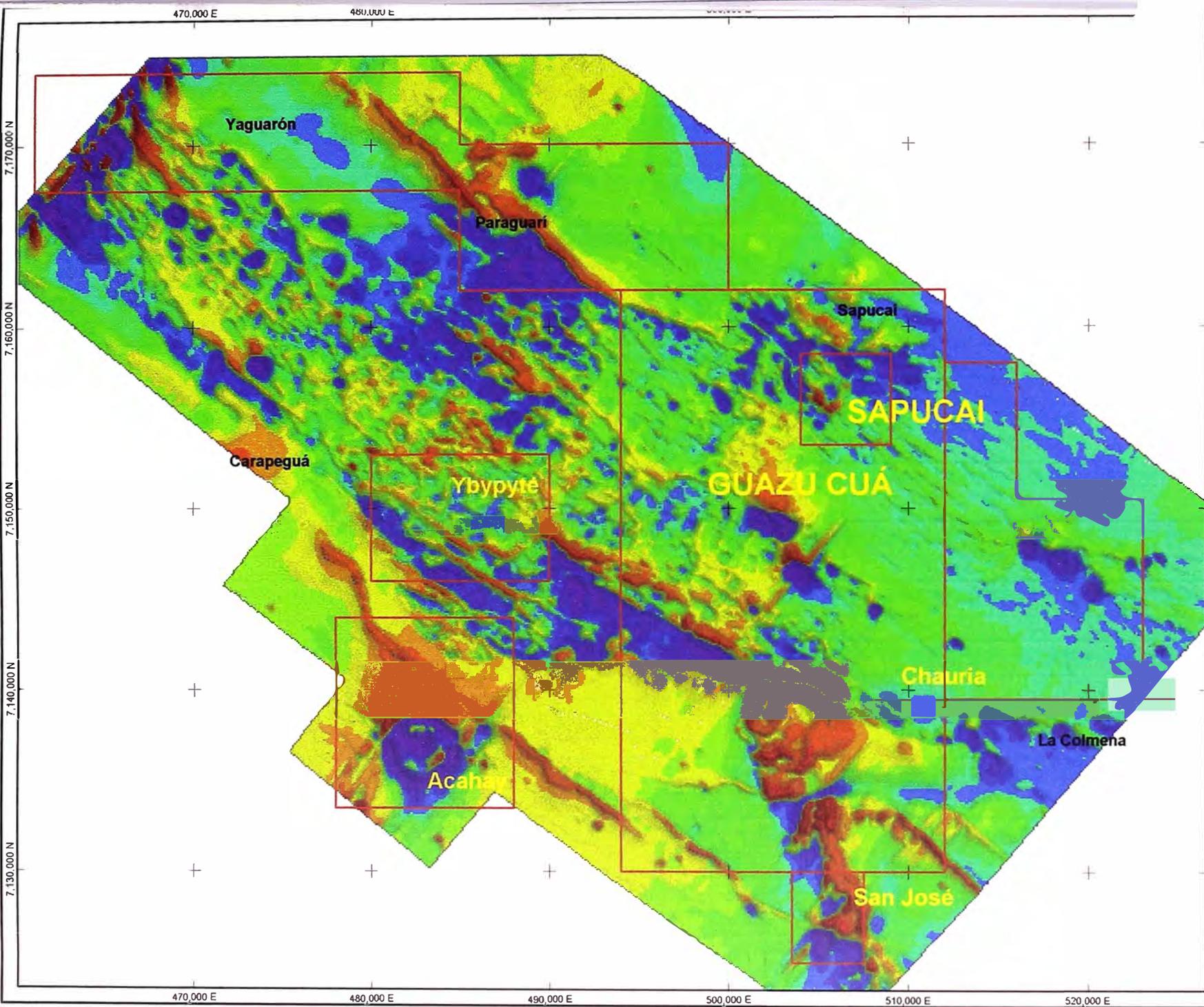
Los dos principales centros volcánicos ubicados en Sapucaí y Acahay tienen rocas cuya polaridad del campo magnético es normal e invertida y podrían corresponder o no a eventos ígneos contemporáneos (es muy difícil correlacionar las edades de los intrusivos con los cambios de polaridad magnética, debido a que el método de datación empleado en la mayoría de los casos es K-Ar con un rango de aproximación cercano a los dos dígitos). Esto nos indica que ambos centros han tenido una larga vida durante el Cretácico Inferior y no están constituidos por un único pulso que expulsó todo el material volcánico. Este es un rasgo favorable para la formación de sistemas hidrotermales.

En el sector sureste cerca a San José al igual que en el borde norte del rift en la cercanía a Paraguari, se tiene un patrón magnético positivo (normal), el primero tiene una dirección aproximada norte-sur y el segundo es paralelo al borde del rift, y ambos corresponden a afloramientos y sub-afloramientos de intrusivos graníticos de edad Cámbrico Inferior. En la zona norte de Acahay y en todo el borde sur del rift se tiene un patrón magnético similar que podría asociarse por analogía a sub-afloramientos de granitos.

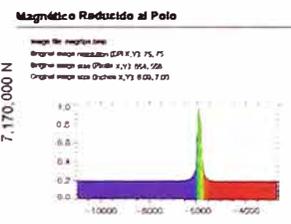
II.5.4.3 Estructuras Magnéticas

En el reconocimiento magnético se tienen principalmente dos tipos de estructuras: las estructuras lineales asociadas a diques o simplemente fallas profundas y las estructuras circulares asociadas a algún tipo de estructura volcánica (figura II.5.10). Esto se aprecia principalmente en el diagrama magnético de gradiente horizontal (figura II.5.9) y en el de campo magnético a 250 m (figura II.5.6). En este último diagrama sólo se resaltan aquellas estructuras magnéticas que tienen continuidad a una profundidad mayor de 250 m, y desaparecen todas las estructuras superficiales.

Los diagramas muestran claramente fuertes patrones lineales de dirección noroeste-sureste que marcan los límites y las fallas profundas en los bordes del rift de Asunción. Estas fallas presentan discontinuidades y saltos debido a posibles fallas dextrales con dirección N 7-10°W. Asimismo, en el sector sur se tienen lineamientos de dirección casi E-W que se asocian a un cambio o deflexión del rift de Asunción. Al parecer este control



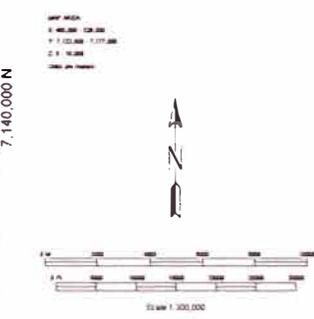
EXPLANATION



Límite de Denuncias

Color from DIF file: denuncias_001.dif

- Layer: DIF
- Color: Red
- Symbol: Circle



Univ. Nacional de Ingeniería

PROSPECTO SAPUCAI

Reconocimiento Regional
 MAGNÉTICO REDUCIDO AL POLO
 Geofísica Aérea
 Figura II 5.4

REDACTED
 10/01/2010 10:10:20
 C:\Programas\MapInfo\MapInfo

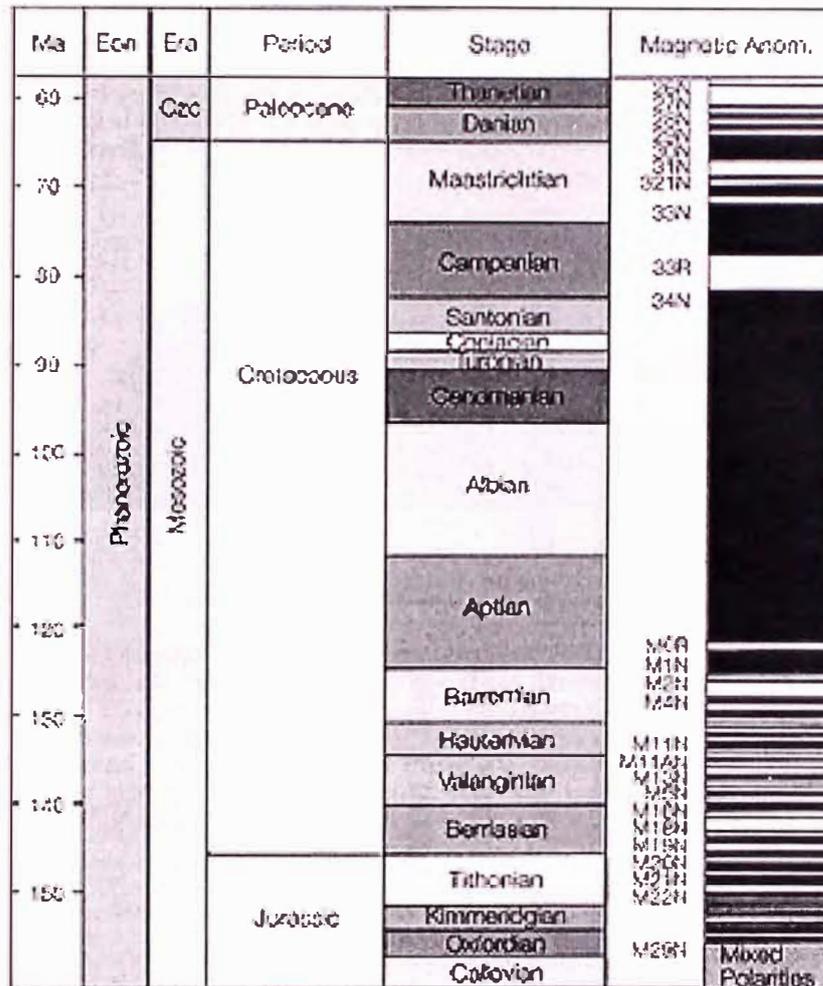
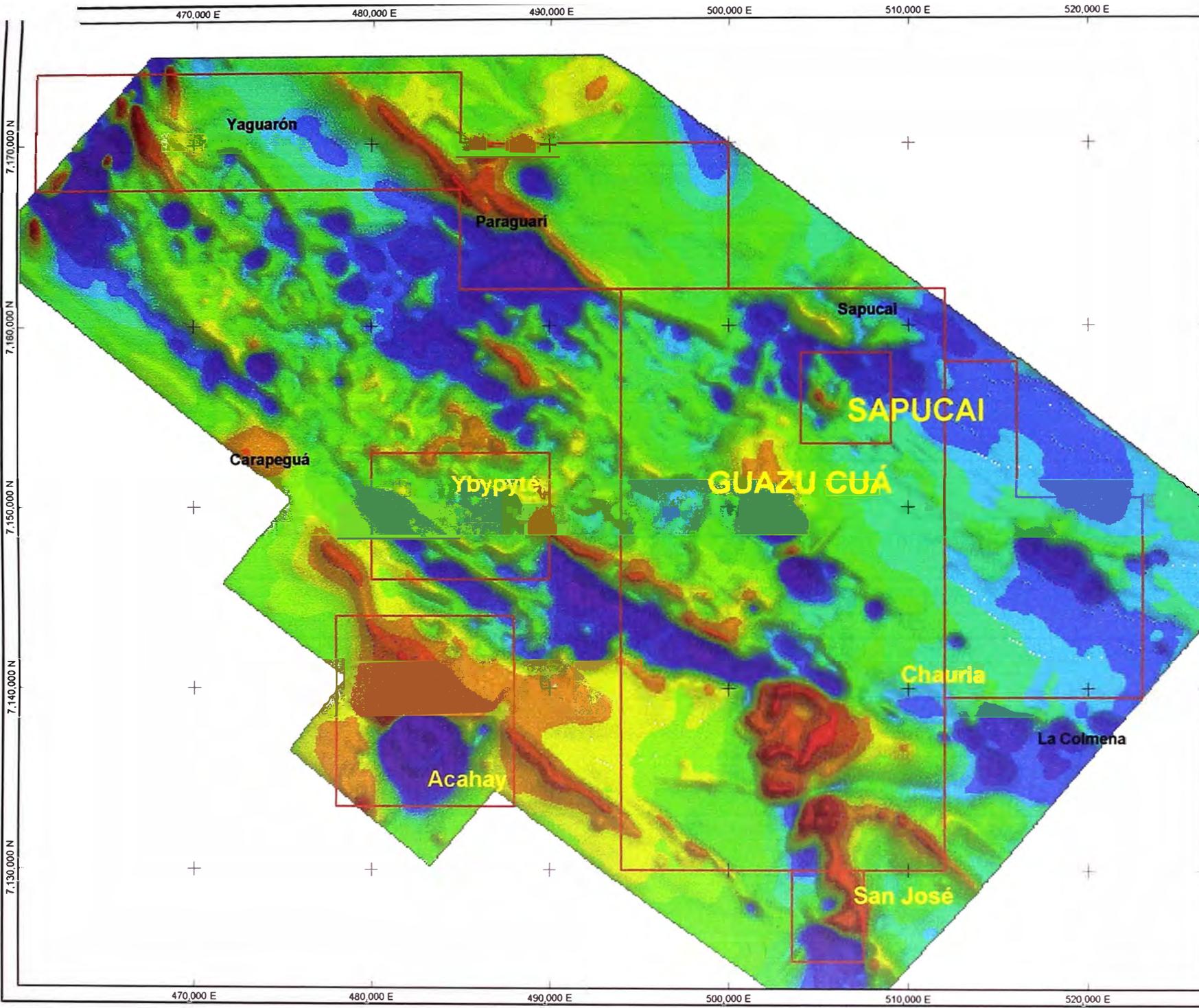


Figura II.5.5 Variación de Polaridad del Campo Magnético Terrestre

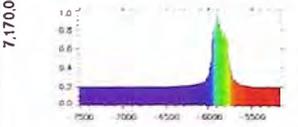
Diagrama mostrando las variaciones de la polaridad del Campo Magnético Terrestre en el tiempo geológico. Nótese los cambios que se produjeron en el Cretácico Inferior, periodo en que se emplazó el complejo Sapucaí y los principales centros volcánicos del rift de Asunción. Tabla tomada de: Schlumberger Oilfield Glossary, geomagnetic time scale, <http://glossary.connect.slb.com/>.



EXPLANATION

Magnético 250 metros

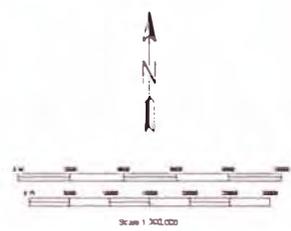
Imagen de satélite
 Original image resolution: 30 x 30 m
 Original image size: 1218 x 1218 m
 Original image size: 1218 x 1218 m



Límites de Demarcación

Color: CLASIFICACION
 Límite: CLASIFICACION
 Contorno: Contorno

Scale: 1:300,000



Univ.Nacional de Ingenieria

PROSPECTO SAPUCAI

Reconocimiento Regional
 MAGNETICO A 250 METROS
 Geofísica Aérea
 Figura II.5.6

estructural se habría desarrollado en un etapa posterior y posiblemente esté relacionado con las intrusiones alcalino sódicas emplazadas en el Terciario Inferior. Ninguna de estas estructuras es observable en superficie como puede compararse con el plano de interpretación de imagen satelital (figura II.2.3).

Los patrones lineales menores (algunos inclusive radiales alrededor de Sapucaí) están asociados principalmente con diques basálticos que son más abundantes en el borde norte del rift de Asunción y directamente relacionados con los fallamientos profundos.

Los patrones circulares mayores corresponden a los centros volcánicos de Sapucaí y Acahay, con diámetros de 3 a 5 km siendo claramente visibles en el diagrama de superficie y en el de profundidad. Otras estructuras circulares de menor magnitud y de apariencia muy sutil aparecen en el sector central de rift, en la zona de Guazu Cuá, entre Sapucaí y Acahay, con 2 a 3 km de diámetro y continuidad a profundidad. Estructuras circulares más pequeñas están dispersas en todo el interior del rift, alguna de las cuales están asociadas a cuellos volcánicos y diatremas de 100-300 m (Chauria) y otras a pequeños stocks subvolcánicos de 500 a 1000 m de diámetro (Cerro Arrúa-í, Potrero Ybaté, Cerro Medina, etc.)

II.5.4.4 Textura Magnética

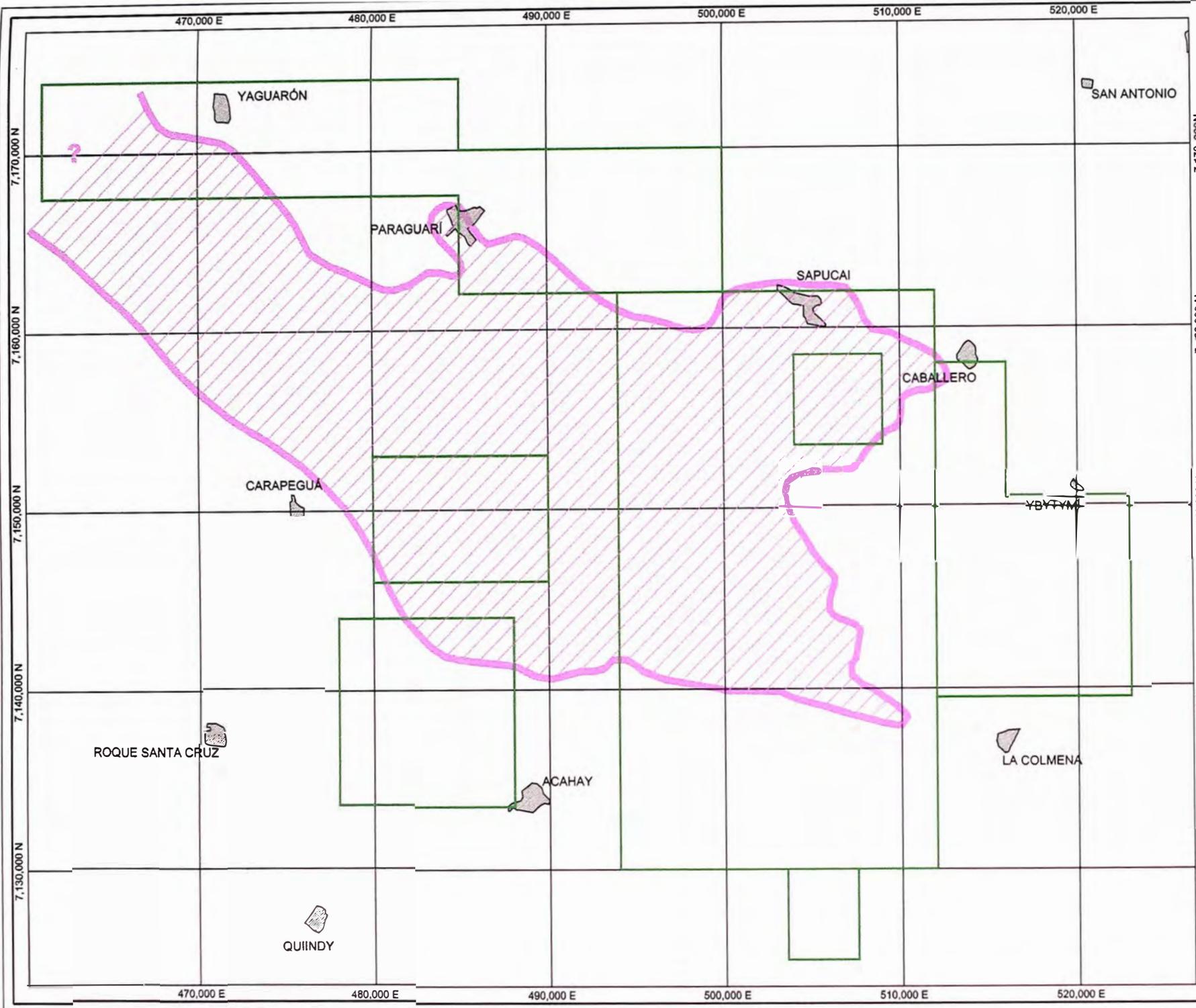
El diagrama de textura o rugosidad magnética (figura II.5.8) también denominado *fabric* se basa en el cálculo matemático de la segunda derivada (concavidades) de la función definida por los datos magnéticos recolectados, esto con la finalidad de resaltar la variabilidad de los mismos. Este diagrama se utiliza para demarcar los patrones magnéticos cercanos a la superficie, los cuales presentan muchos altos y bajos (alto ruido) y se correlacionan perfectamente con la presencia de material magnético de poco espesor (varias decenas de metros) y amplia distribución que debería corresponder a material volcánico extrusivo (lávico o piroclástico), y en este caso son las lavas basálticas que están rellenoando la zona central y oeste del rift de Asunción, pudiéndose contornear con facilidad aún bajo potente cobertura de suelos (figura II.5.7). Nótese que este patrón de rugosidad es muy consistente en ese sector y va disminuyendo paulatinamente hacia el este, hasta desaparecer completamente. Tampoco se tiene este patrón fuera de los límites del rift, pues no se tiene material volcánico en dichos sectores.

II.5.5 Radiometría Aérea

II.5.5.1 Fundamentos de Radiometría

Este tipo de reconocimiento geofísico mide la radiación natural gamma proveniente de los minerales constituyentes de las rocas con contenido radiogénico (sean minerales primarios o secundarios como productos de alteración), principalmente arcillas y micas (muscovita, sericita, biotita): ^{40}K , ^{214}Bi y ^{208}Tl . Estos dos últimos son el resultado de decaimiento del uranio y del torio respectivamente.

Esta metodología es capaz de detectar la respuesta únicamente de los primeros centímetros de la superficie del terreno, a diferencia de la magnetometría en donde se



LEYENDA

-  Límite de Lavas
-  Límite de Denuncios

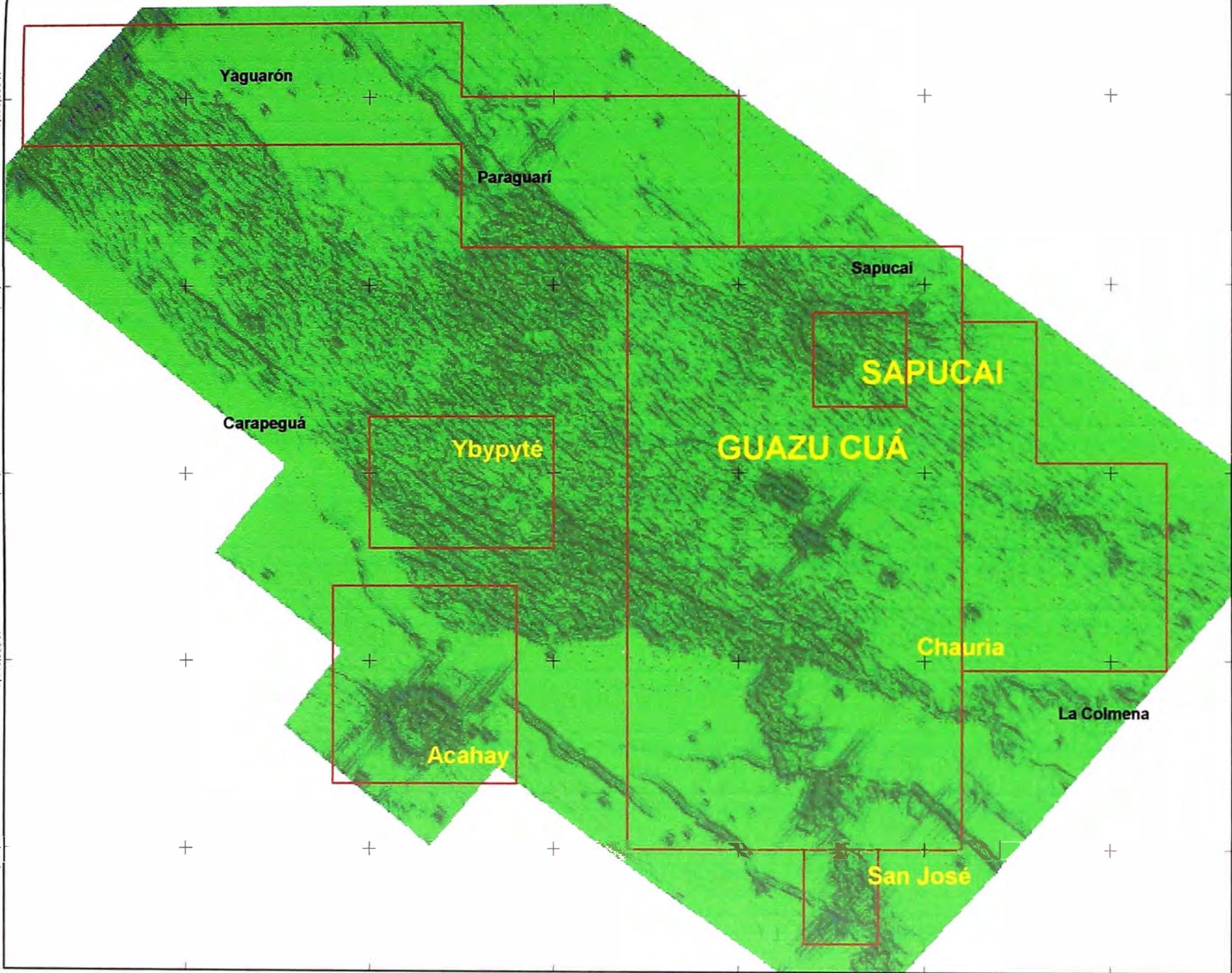


Escala 1:300,000

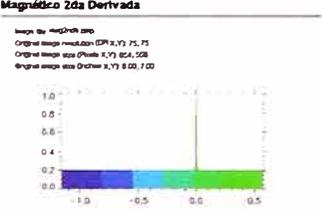
Univ. Nacional de Ingeniería
PROSPECTO SAPUCAI
 Reconocimiento Regional
 CONTORNOS DE LAVAS BASÁLTICAS
 ÁREA PARAGUARÍ
 Figura II.5.7

470,000 E 480,000 E 490,000 E 500,000 E 510,000 E 520,000 E

7,170,000 N
7,160,000 N
7,150,000 N
7,140,000 N
7,130,000 N

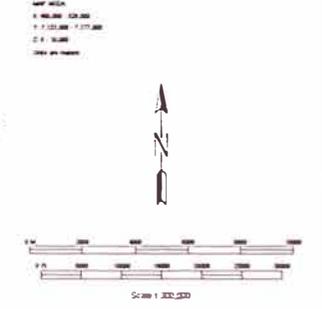


EXPLANATION



Límites de Densidades

Color from DEM: 00 densidad_000_000
 Límite CLASIC
 Límite Densidad



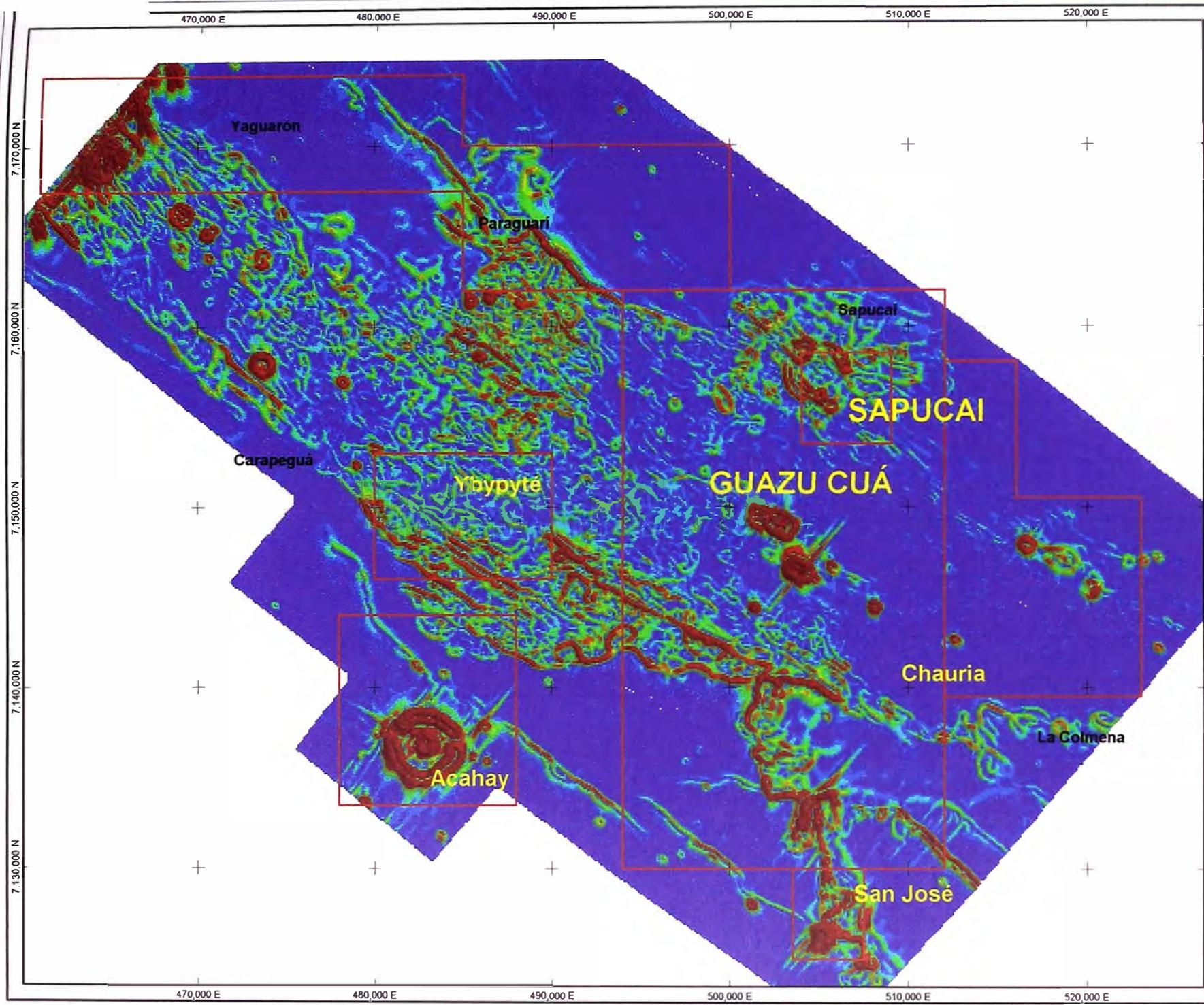
Univ.Nacional de Ingenieria

PROSPECTO SAPUCAI

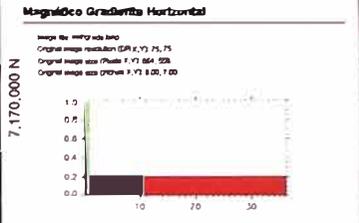
Reconocimiento Regional
 SEGUNDA DERIVADA MAGNÉTICA
 Geofísica Aérea
 Figura II.5.8

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
 INSTITUTO VIAL
 C/19 de Mayo 1000 Montevideo

470,000 E 480,000 E 490,000 E 500,000 E 510,000 E 520,000 E



EXPLANATION



Límites de Municipios

Color from DGP for municipios del área
 - - - - - Límite CLAMC
 - - - - - Límite Realista

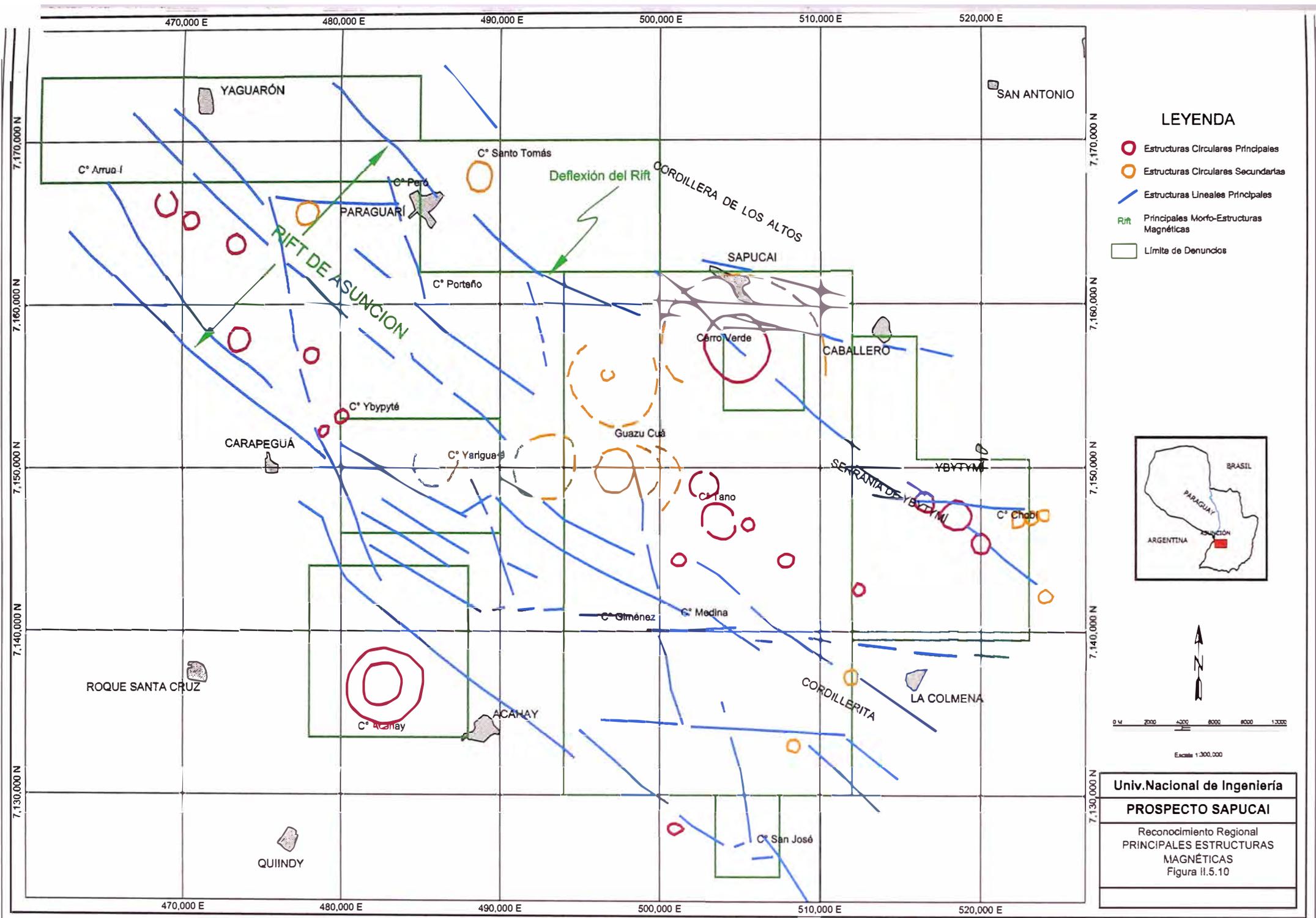


Univ.Nacional de Ingenieria

PROSPECTO SAPUCAI

Reconocimiento Regional
 MAGNÉTICO GRADIENTE HORIZONTAL
 Geofísica Aérea
 Figura II.5.9

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
 INSTITUTO VENEZOLANO DE INVESTIGACIONES GEOLÓGICAS Y MINERARIAS
 C/Geofísica/Prospección 2008



LEYENDA

- Estructuras Circulares Principales
- Estructuras Circulares Secundarias
- Estructuras Lineales Principales
- Rift Principales Morfo-Estructuras Magnéticas
- Límite de Denuncias



Escala 1:300,000

Univ.Nacional de Ingenieria

PROSPECTO SAPUCAI

Reconocimiento Regional
PRINCIPALES ESTRUCTURAS
MAGNÉTICAS
Figura II.5.10

puede obtener la respuesta de un material ubicado a varios cientos e inclusive algunos miles de metros de profundidad. Por esta razón, factores como vegetación densa y suelos sobresaturados de agua, pueden reducir significativamente las lecturas radiométricas.

Cabe resaltar que la radiación natural gamma de los minerales no se destruye en el tiempo, ni con el transporte. Por ejemplo una arcilla o una mica con contenido radiogénico primario proveniente de un intrusivo, mantendrá esas características estando en el fondo de un drenaje o redepositado y posteriormente diagenizado en una lutita o una marga. Los drenajes suelen concentrar naturalmente las micas en el fondo de la corriente, dando como resultado anomalías que siguen sus trazos.

Las lecturas radiométricas de potasio particularmente pueden revelar zonas en donde procesos hidrotermales han introducido potasio en la forma de alunita o adularia en ambientes epitermales o de feldespatos potásicos y biotitas en ambientes porfiríticos (Irvine et al, 1990).

II.5.5.2 Radiométrico de Potasio

El plano radiométrico normalizado de potasio (figura II.5.11) muestra la anomalía principal ubicada en Sapucaí y sus alrededores, debido a una alta concentración de minerales radiogénicos principalmente provenientes de la alteración potásica (tales como biotita-flogopita, sericita, adularia, ortoclasa, etc) y del contenido primario de minerales potásicos en las rocas alcalinas (sanidina, biotita, etc). Esta anomalía tiene una extensión de 10x8 km y supera el área de afloramiento del complejo alcalino de Sapucaí.

Anomalías menores ocurren alrededor en Guazu Cuá, sobre los diques basálticos en la Serranía de Ybytymí, en el Cerro Tano (al sur de Sapucaí), en Acahay, en Chauria, en Ybypyté, en el cerro Arrúa-í y sobre los tres intrusivos alcalinos sódicos Terciarios (cerro Yariguá-á, Giménez, Medina y Cerrito).

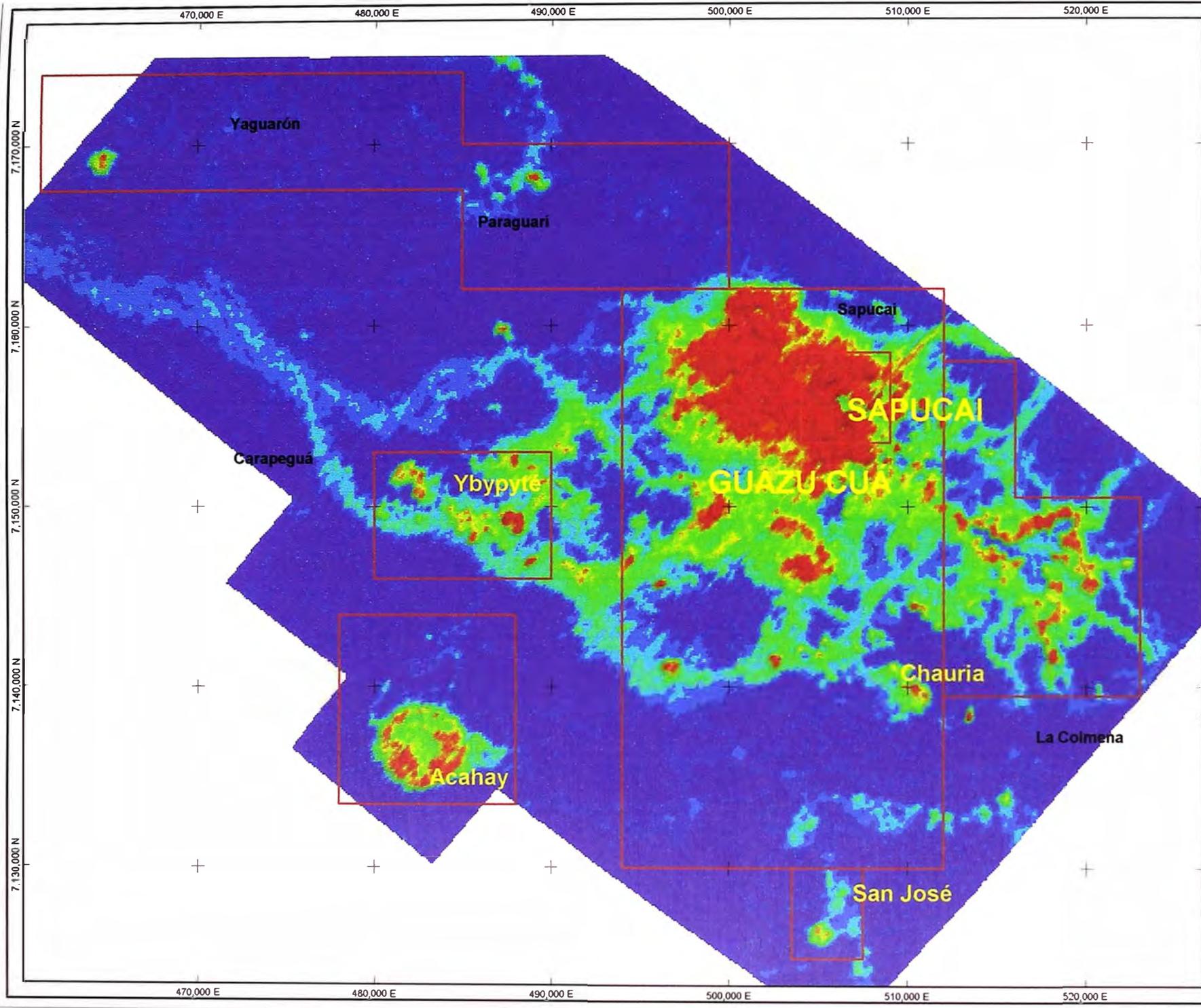
En Guazu Cuá, la anomalía se sitúa en el borde este de la estructura magnética circular y podría estar relacionada a la presencia de diques traquíticos que cortan a los derrames de basalto o a la presencia de venillas de feldespato potásico (figura III.6.11).

Nótese que los incrementos de valores radiométricos de potasio se correlacionan perfectamente con la presencia de rocas ígneas alcalinas de niveles más profundos (principalmente intrusivos y subvolcánicos, independientemente de si presentan o no alteración potásica).

La presencia de granitos Cámbricos, a pesar de que presentan un componente importante de minerales potásicos, se manifiesta débilmente como patrones lineales en los bordes norte (cerro Santo Tomás) y borde sur (Cordillerita).

II.5.5.3 Radiométrico de Torio

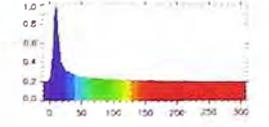
El plano radiométrico de torio (figura II.5.13) muestra una mayor dispersión que el de potasio. Aparentemente, esta respuesta estaría asociada a la desintegración de arcillas



EXPLANATION

Radiométrico Potasio Normalizado

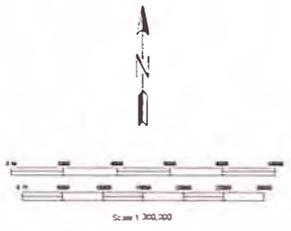
Image file: 14_200
 Original image resolution: 300 x 300, 75, 75
 Original image size: 1,717,054, 558
 Original image size in inches: 6,758, 2,200



Límite de Demarcación

Delimitación de demarcación: *delimitacion_demarc*
 Límite CLASD
 Límite de estudio

Map scale:
 1: 1,000,000
 1: 7,500,000
 1: 1,000,000
 1: 1,000,000



Univ. Nacional de Ingeniería
PROSPECTO SAPUCAI
Reconocimiento Regional Radiométrico de Potasio Geofísica Aérea Figura II.5.11
<small> INSTITUTO VENEZOLANO DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS Caracas, Venezuela 1998 </small>

producto de la intemperización de basaltos y de otras rocas alcalinas, por esta razón la anomalía se distribuye en el sector oeste de la zona central del rift coincidente con los afloramientos de basaltos, cercano al borde sur del rift de Asunción. Se presentan también algunos patrones sinuosos sin importancia asociados a concentración de micas en los drenajes por removilización de sedimentos. El núcleo de centro volcánico de Sapucaí presenta una zona anómala consistente asociada al parecer al incremento del contenido de biotitas (primarias y secundarias) que se han apreciado en los afloramientos. El centro volcánico de Acahay presenta un débil patrón circular debido también a concentración de micas por efecto sedimentario. Tres anomalías muy prominentes aparecen en el sector central correspondientes a intrusivos alcalinos sódicos Terciarios, éstas anomalías se deben al contenido primario de minerales radiogénicos de torio, pues no se ha determinado que sean producto de alteración. Hacia el sector este, sureste y norte no hay anomalías de torio debido a la ausencia de rocas ígneas con contenido micáceo o de sedimentos arcillosos que también podrían dar este tipo de respuesta positiva.

II.5.5.4 Radiométrico Potasio/Torio

Adicionalmente se ha elaborado un plano que grafica el cociente o la relación matemática entre el valor de radiación gamma de potasio y el de torio (figura II.5.12), en este plano las anomalías se concentran alrededor de los principales centros volcánicos: Sapucaí (con una distribución algo dispersa paralela al borde norte del rift) y Acahay (perfectamente circular). Las anomalías menores aparecen en las zonas de Chauria, San José (en el extremo sur), en el cerro Ybypyté y al suroeste de Yaguarón (cerro Arrúa-í). Nótese que la respuesta radiométrica se relaciona directamente con un tipo específico de vulcanismo (en edad y composición), en este caso el vulcanismo alcalino potásico del Cretácico Inferior. No se aprecia ningún patrón sobre los intrusivos terciarios de naturaleza sódica. Los patrones sinuosos corresponden nuevamente a los drenajes.

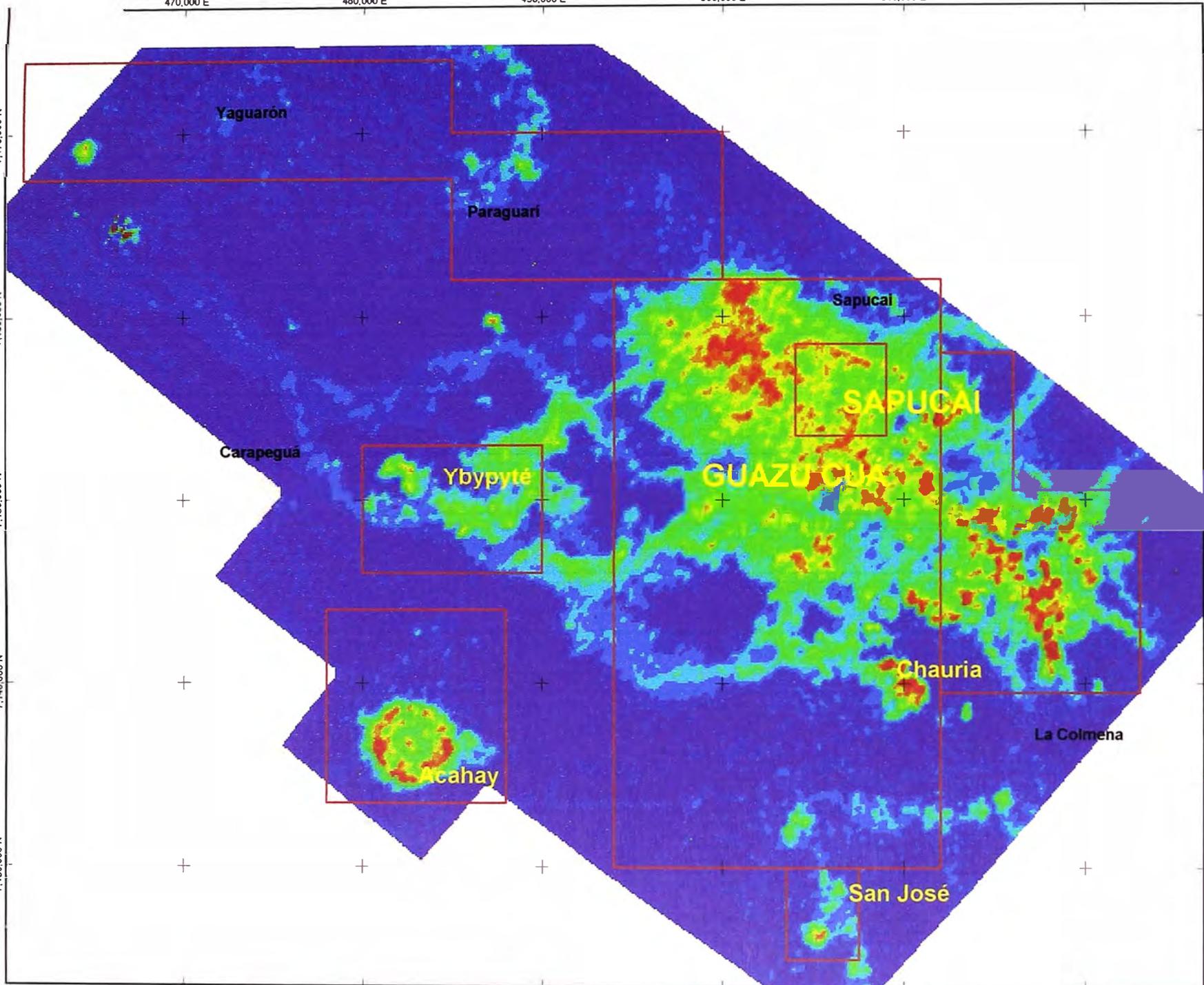
II.5.5.5 Radiométrico de Uranio

El plano radiométrico de uranio (figura II.5.14) muestra anomalías locales concentradas sobre las intrusiones alcalinas sódicas de edad Terciaria, identificados como tres puntos rojos al suroeste de Guazu Cuá (cerros Giménez y Medina). Asimismo, se tienen anomalías débiles y dispersas sobre el área de Yaguarón (cerro Arrúa-í), al norte del cerro Ybypyté, al oeste de Guazú Cuá y en el área de Sapucaí sobre la brecha de fracturamiento (*crackle breccia*) en las lavas basálticas. Nótese que los centros volcánicos principales de Sapucaí y Acahay no presentan ningún patrón en uranio.

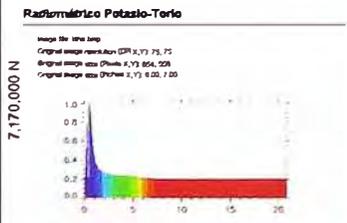
Finalmente, correlacionando la presencia de las diversas anomalías radiométricas sobre el área evaluada (figura II.5.15) se tiene que las tres anomalías coinciden en los siguientes puntos: Sapucaí sector este, Yaguarón sector oeste y sobre los tres intrusivos alcalinos sódicos en Yariguá-á, Giménez y Medina. Sólo se determinó alteración en Sapucaí. La zona de Yaguarón está completamente cubierta y no ha sido evaluada al momento. Las otras tres zonas no presenta signos de alteración ni mineralización.

470,000 E 480,000 E 490,000 E 500,000 E 510,000 E 520,000 E

7,170,000 N
7,160,000 N
7,150,000 N
7,140,000 N
7,130,000 N



EXPLANATION



Límites de Denuncias

Data from: CRP file: denuncias_001.dbf

- Layer: CLASIFIC
- Default: boundary



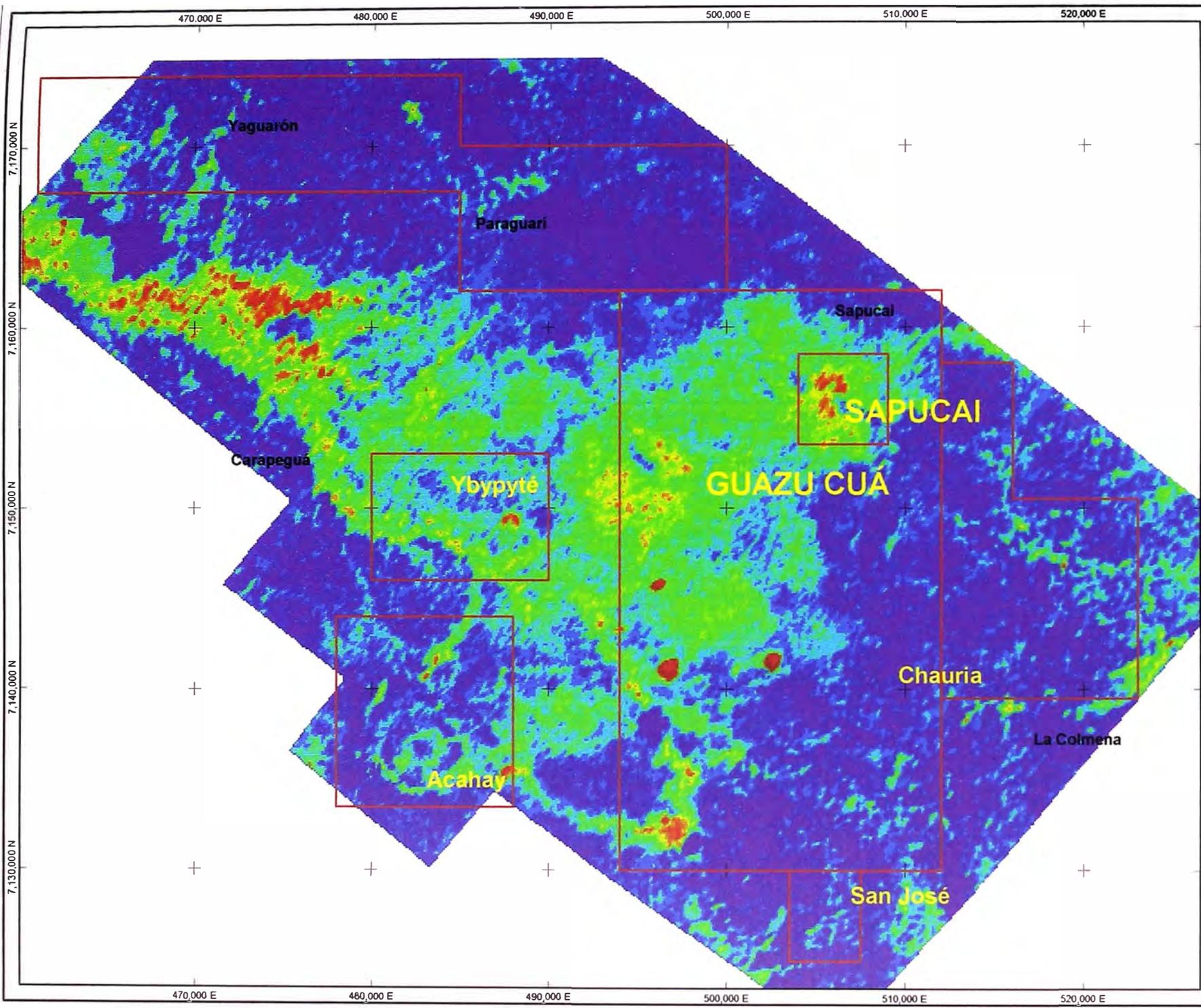
Univ. Nacional de Ingeniería

PROSPECTO SAPUCAI

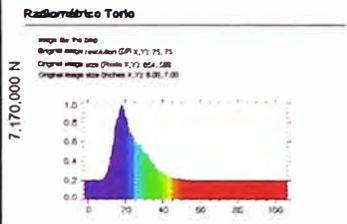
Reconocimiento Regional
 RADIOMÉTRICO POTASIO/TORIO
 Geofísica Aérea
 Figura II.5.12

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
 Vicerrectoría de Investigación y Desarrollo Científico
 Proyecto: Reconocimiento Regional

470,000 E 480,000 E 490,000 E 500,000 E 510,000 E 520,000 E



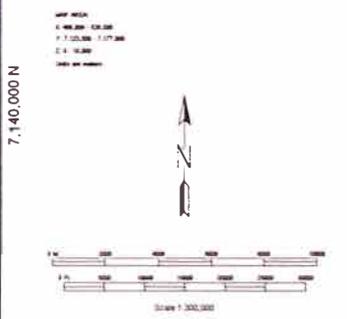
EXPLANATION



Límite de Demarcación

Color from DIF for demarcation: 201401

- Line: Layer: 02_ANG
- Color: 255, 0, 0

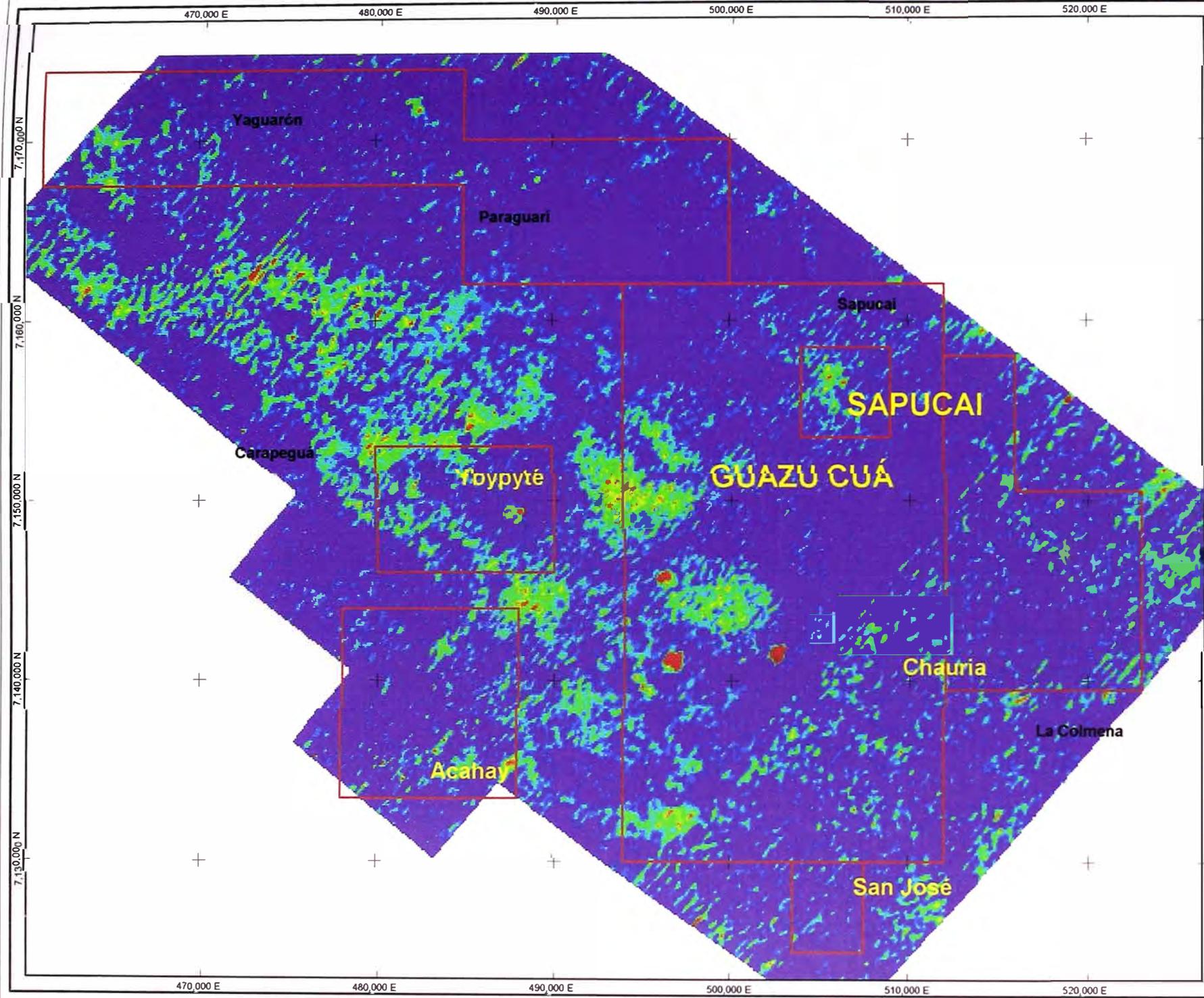


Univ. Nacional de Ingeniería

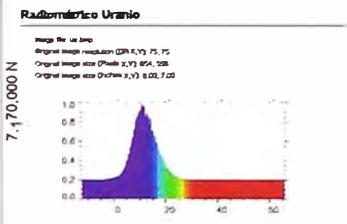
PROSPECTO SAPUCAI

Reconocimiento Regional
 RADIOMÉTRICO DE TORIO
 Geofísica Aérea
 Figura II.5.13

Elaborado: [illegible]
 Fecha: [illegible]
 Escala: 1:300,000

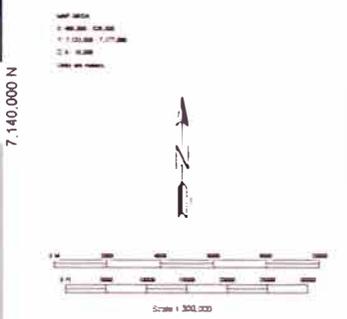


EXPLANATION

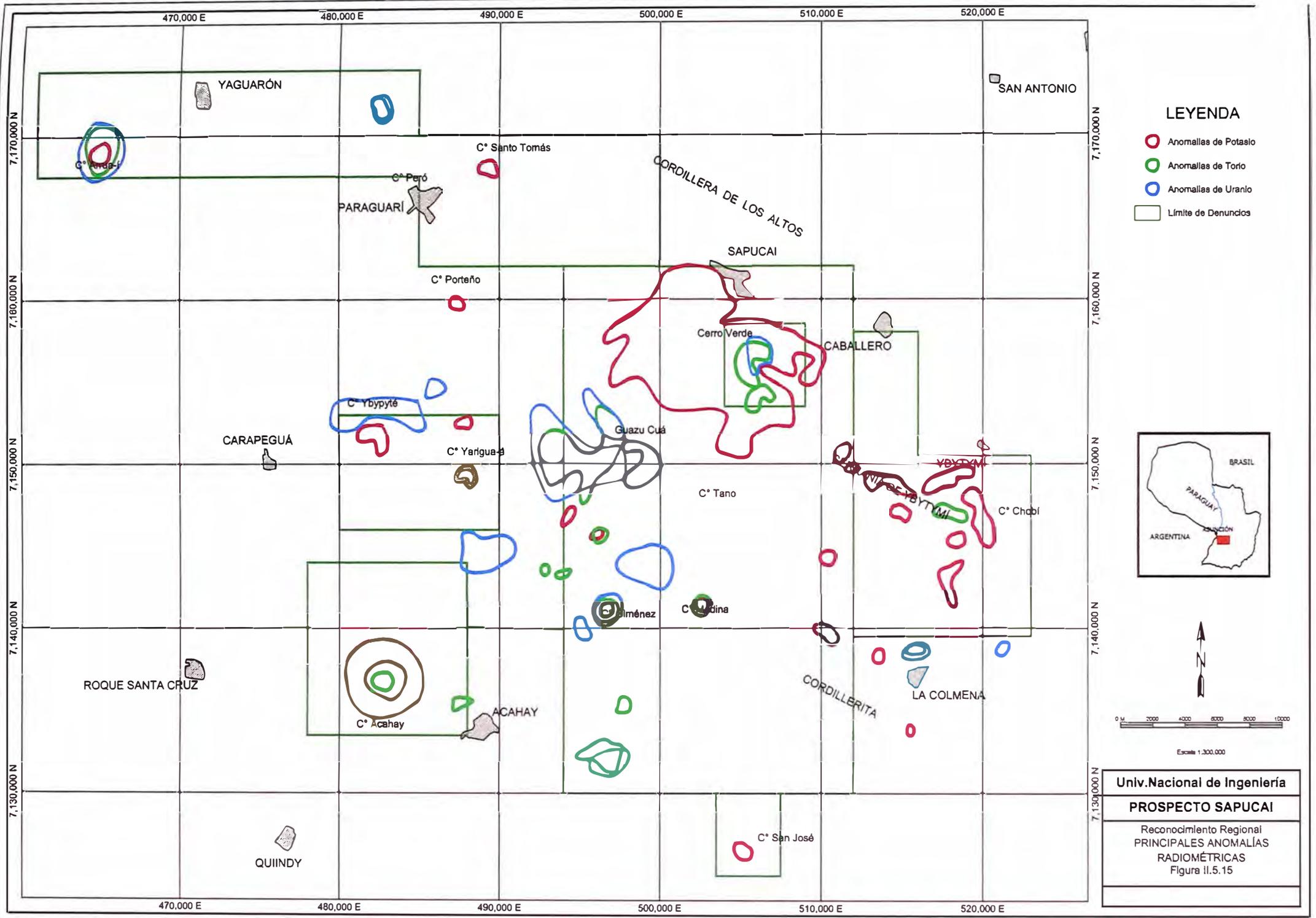


Límites de Demarcación

Cells with DRP for demarcation: DRP
 - Limit: CLASG
 - Contour: Insular

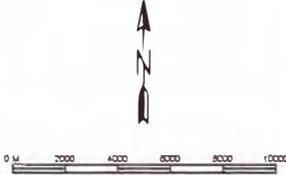


Univ.Nacional de Ingenieria
PROSPECTO SAPUCAI
Reconocimiento Regional RADIOMÉTRICO DE URANIO Geofísica Aérea Figura II.5.14
<small>Elaborado: INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES Y PROYECTOS Y RECONSTRUCCIÓN Fecha: Julio del 2002 © Universidad Nacional de Ingeniería</small>



LEYENDA

- Anomalías de Potasio
- Anomalías de Torio
- Anomalías de Uranio
- Límite de Denuncias



Escala 1:300.000

Univ.Nacional de Ingenieria

PROSPECTO SAPUCAI

Reconocimiento Regional
PRINCIPALES ANOMALÍAS
RADIOMÉTRICAS
Figura II.5.15

II.6 GEOQUÍMICA REGIONAL

II.6.1 Objetivo

Utilizar los sedimentos de escorrentía o *stream sediments* como guías principales para determinar los patrones de dispersión geoquímica regional de los elementos principales (auríferos y metálicos) y de los elementos trazas relacionados a ellos, a fin de focalizar las áreas de las cuales provienen y caracterizar su posible origen.

II.6.2 Antecedentes

Esta región había sido evaluada previamente mediante muestreos geoquímicos de sedimentos de escorrentía por la compañía Anschutz en la década de los años ochenta y por la compañía Yamana a fines de los años noventa. No se ha tenido acceso a la información recolectada por Anschutz. El muestreo de Yamana fue de baja densidad y no cubrió toda el área prospectiva, sin embargo logró determinar zonas anómalas en oro en Sapucaí y al sur de Chauria.

II.6.3 Fundamentos

Las dispersiones geoquímicas de los elementos a partir de un punto mineralizado, se producen por efectos físicos (ó mecánicos), químicos o combinaciones de ambos; así como por procesos primarios, secundarios o terciarios. Las características de la mineralización en sí, pueden jugar un papel a favor o en contra de la dispersión: ensamble mineralógico, grado de alteración, grado de disolución o degradación mecánica, etc. Las variables del terreno pueden también favorecer o dificultar dicha dispersión: si aflora o no, la pendiente del terreno o del substrato, grado de intemperismo, tipo de transporte (fluvial, glacial, eólico, etc), etc (Coope et al, 1993 y 1994).

Para una primera aproximación regional, se utiliza comúnmente el muestreo de sedimentos de escorrentía por tener una buena representatividad de las dispersiones de los elementos, además de cubrir una gran área con una cantidad relativamente pequeña de muestras, en plazos y costos razonables. En tal efecto, la manera de optimizar este proceso, es el de cubrir la mayor superficie con el menor número de muestras, por ende, la confluencia de drenajes son los puntos preferidos para la toma de muestras.

En los procedimientos establecidos para la exploración regional por oro basados en el muestreo de sedimentos de escorrentía, se utilizan dos métodos muy diferenciados entre sí: muestras BLEG con tamizado grueso y muestras con tamizado fino.

El muestreo tipo BLEG (*Bulk Leachable Extractable Gold* u oro total extraíble por lixiviación) se utiliza cuando las características del terreno hacen presumir la existencia de oro grueso (visible) que eventualmente podría ser determinado in situ mediante concentración gravimétrica manual (*panning*) utilizando los “platos de bateo”. Estos granos de oro podrían provenir de fuentes primarias como vetas de oro de alta ley o

fuentes secundarias como concentraciones de origen sedimentario. La muestra es tamizada en el campo a malla -30 (partículas con diámetro menor a 0.6 mm), en cantidades que fluctúan entre 3 a 6 kg. En el laboratorio de análisis, el total de muestra es sometido a lixiviación utilizando cianuro de sodio en un procedimiento denominado *bottle rolls*, pasando a solución cerca del 100% del oro libre contenido en la muestra (este factor depende de la cantidad de horas que la muestra ha sido sometida a lixiviación).

El segundo método se utiliza cuando el objetivo es determinar mineralización aurífera diseminada y de granulometría muy fina (microscópica a submicroscópica) proveniente de depósitos epitermales o porfiríticos. En este sentido, la escuela norteamericana emplea normalmente la fracción de malla -200 (partículas con diámetro menor a 0.075 mm), mientras que la escuela francesa utiliza tanto la fracción de malla -200 como la -150 (partículas con diámetro menor a 0.1 mm) para el análisis y posterior interpretación.

Entre las experiencias exitosas utilizando la fracción -200 de los sedimentos de escorrentía para determinar la presencia de mineralización aurífera se tienen los yacimientos de Batu Hijau en Indonesia y de Minas Conga (Chailhuagón y El Perol) en el Perú. Asimismo se han confirmado los yacimientos de Yanacocha (todos) y el prospecto La Zanja entre otros ejemplos auríferos peruanos (Tanabe & Turner, 2000), ambos ubicados en el departamento de Cajamarca, en el norte peruano.

II.6.4 Programa de Muestreo de Sedimentos de Escorrentía

Este programa de muestreo fue implementado en tres fases muy marcadas:

Primera fase: muestreo de orientación, desde Agosto hasta Setiembre de 1999.

Segunda fase: muestreo sistemático, desde Octubre de 1999 hasta Febrero del 2000.

Tercera fase: muestreo complementario sobre áreas anómalas, desde Marzo hasta Abril del 2000. A este proceso se le denomina *follow-up* o de seguimiento de anomalías.

II.6.4.1 Muestreo de Orientación

El objetivo del muestreo de orientación es el de hacer una investigación preliminar de campo para determinar cuál es el tipo de muestreo apropiado tomando como base los siguientes parámetros:

- tipo de mineralización buscado,
- topografía del terreno,
- naturaleza de los drenajes (estacionalidad, caudal, turbidez, etc),
- clima y vegetación,
- grado de dispersión,
- agentes contaminantes, etc.

Se tomó como punto de partida la zona alrededor de Sapucaí en donde ya se conocía la existencia de una anomalía aurífera en superficie, con la finalidad de estudiar el grado de dispersión y su comportamiento.

Como se describió anteriormente, para determinar mineralización aurífera a partir de sedimentos de escorrentía, se utiliza normalmente la fracción de malla -200 para su análisis respectivo, sin embargo, en el caso de Sapucaí, el análisis por oro de dicha fracción en el muestreo de orientación, no evidenció la presencia de anomalías consistentes de oro alrededor de la ya conocida área de Sapucaí y su núcleo con mineralización aurífera en la brecha Picuá. Un estudio más detallado confirmó la presencia de partículas de oro grueso en los sedimentos que tienen un patrón de dispersión más irregular, conocido como *nugget effect* o efecto pepita en geostatística.

El muestreo de orientación mostró que las anomalías de oro determinadas por el análisis tipo BLEG eran más consistentes y coherentes que las de la fracción -200, lo cual confirmó que el análisis tipo BLEG era el más apropiado para esta área (para zonas con presencia de oro grueso). Sin embargo, y a pesar de la elevación de los costos, se consideró conveniente efectuar tanto el análisis por oro de la fracción de malla -200 como el análisis por oro tipo BLEG para no descartar la presencia de oro fino proveniente de fuentes desconocidas, esto con la finalidad de aumentar la probabilidad de determinar una mineralización aurífera de granulometría combinada (gruesa y fina).

II.6.4.2 Muestreo Sistemático

El muestreo sistemático fue diseñado considerando las recomendaciones determinadas durante el muestreo de orientación. Los parámetros para el programa de muestreo fueron los siguientes:

Puntos de muestreo ubicados en la confluencia de drenajes de primer y segundo orden, con la finalidad de cubrir un área máxima entre 1-4 km².

Muestra tomada de la fracción areno-arcillosa en los cauces activos (preferentemente), de manera aleatoria y abarcando hasta algunas decenas de metros a lo largo del drenaje (figura II.6.2).

Muestra tamizada por vía húmeda a malla -30 en el lugar de muestreo, utilizando tamices de nylon. Si la muestra contiene mucha grava se tamiza primero con la malla 10.

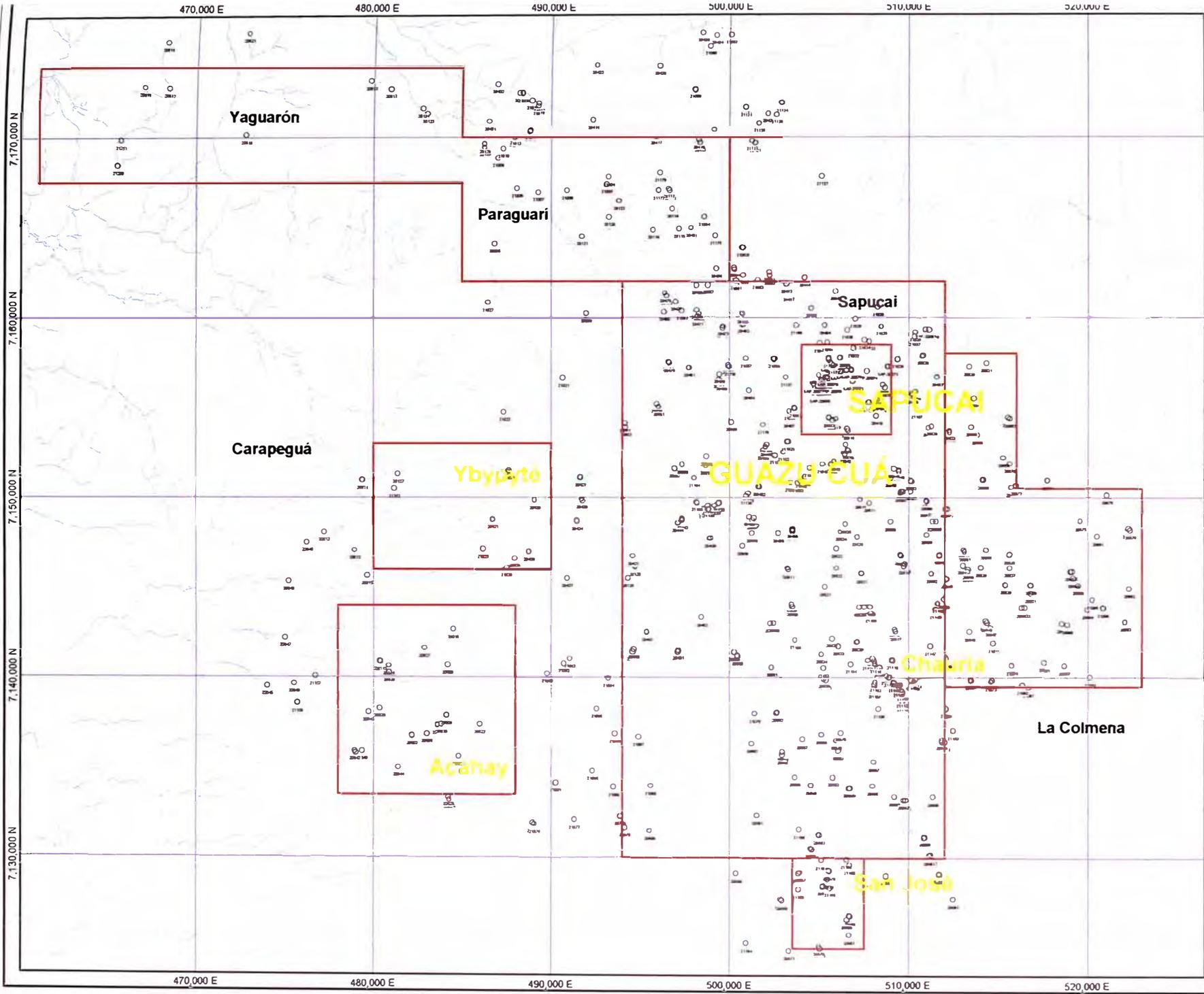
Tamaño de la muestra recolectada: 3-6 kg, este peso depende de la proporción de material fino en la muestra, si el material fino es escaso es necesario tomar mas muestra (excepcionalmente se tomaron muestras cercanas a los 8 kg). Se utiliza bolsas microporosas para evacuar el agua y permitir el secado de la muestra.

Registro del espectro litológico de los cantos del drenaje (si los hubiera), en especial de los cantos que presentan alteración y/o mineralización. Asimismo se registra simultáneamente la geología de los afloramientos alrededor del punto de muestreo.

Envío de las muestras al laboratorio para su análisis químico, insertando una muestra estándar (con valores conocidos) cada 25 muestras, en todos y cada uno de los envíos. Debido a la ausencia de laboratorios de análisis químico inorgánico en Paraguay, la totalidad de las muestras fueron enviadas vía aérea a Chile.

Recepción de resultados y comparación con valores estándares.

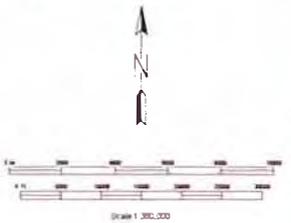
Siguiendo estos procedimientos fueron finalmente muestreados 569 puntos cubriendo la totalidad del área del denuncia y sus alrededores (figura II.6.1).



EXPLANATION

- Número de Muestra
- Muestra de Muestra
- Límite de Delineación
- Límite de Delineación
- Límite de Delineación
- Límite de Delineación

1:50,000
 1:100,000
 1:200,000
 1:400,000
 1:800,000



Univ. Nacional de Ingeniería PROSPECTO SAPUCAI Programa de Muestreo Regional UBICACIÓN DE MUESTRAS Sedimentos de Escorrentía Figura II.6.1
INSTITUTO VENEZOLANO DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS Caracas, Venezuela, 2007





Figura II.6.2 Foto de la toma de muestras de Sedimentos de Escorrentía
Procedimiento de recolección de sedimentos del fondo arenoso de los drenajes activos. Vista de un drenaje activo típico en el área de Paraguari.

Cada punto de muestreo tiene análisis por oro BLEG, oro en fracción de malla –200 y multielemental en fracción de malla –200. En algunos sectores no fue posible tomar la muestra debido a la topografía extremadamente plana que impide el desarrollo de drenajes, formando pantanos o llanuras de inundación.

II.6.4.3 Muestreo de Seguimiento

El programa de muestreo de seguimiento también conocido como de *follow-up* tiene la finalidad de confirmar las anomalías detectadas en la etapa de muestreo sistemático. En este caso los puntos de re-muestreo tienen una mayor densidad cubriendo un área máxima de 1.5 km².

El muestreo sistemático determinó tres áreas anómalas que ameritaron un muestreo más detallado: Sapucaí, Guazu Cuá y Chauria. En cada una de estas áreas se determinó la presencia de anomalías en oro BLEG, cobre, zinc, bario, manganeso, vanadio, escandio y estroncio. Adicionalmente y donde fue posible, se tomaron muestras de roca de afloramientos o de bloques rodados del drenaje (*floats*) para análisis, siempre que presentaran algún signo de alteración y/o mineralización. Únicamente Sapucaí y Guazu Cuá lograron corroborar estas anomalías con muestreos más densificados.

II.6.4.4 Análisis Químico

El análisis de las muestras se realizó en diversos laboratorios en la etapa de orientación con la finalidad de evaluar la calidad de los mismos: Chemex de Estados Unidos, SGS de Lima y Bondar Clegg (<http://www.bondarclegg.com>) de Chile.

Finalmente, el laboratorio Bondar Clegg ubicado en La Serena, Chile, fue seleccionado para preparar y analizar la totalidad de muestras. Las muestras eran despachadas por vía aérea (en este punto se evaluó la relación costo-beneficio con respecto a otros laboratorios mas cercanos).

El procedimiento empleado en el laboratorio fue el siguiente:

- Verificación de la codificación y la condición de la muestra
- Secado de la totalidad de la muestra en horno a menos de 90 grados centígrados (para evitar volatilización de mercurio) sobre bandejas metálicas.
- Separación del 50% para análisis BLEG y del otro 50% para análisis multielemental. En este punto, cada mitad sigue un flujo diferente:
 - Análisis BLEG, utilizando el 50% de la muestra se la somete a cianuración (cianuro de sodio) para la disolución del oro, luego se extrae el mismo por medio de soluciones orgánicas y posteriormente se analiza por activación con límites de detección de 0.07 ppb de oro).
 - El 50% restante se vuelve a tamizar a malla –200, dicha fracción se somete a ataque químico multiácido (agua regia: HCl + HNO₃) y posteriormente a análisis de oro por el método de ensayo al fuego (FA o *fire assay*) más ICP (*Induced Coupled Plasma* también conocido como espectroscopía de emisión atómica) logrando un límite de detección 5 ppb en oro (1 ppb en laboratorio Chemex). El

análisis multielemental también se efectúa por el método ICP. El laboratorio dispone de sus propios estándares para controlar la precisión y exactitud de sus resultados.

- En la tabla II.6.4.4 a continuación, se detallan los elementos comprendidos en el análisis multielemental (en total 35 elementos), ordenados alfabéticamente, incluyendo límite de detección y se consigna también si la digestión ácida disuelve el contenido total o parcial de dicho elemento.

Tabla II.6.4.4 Límite de Detección del Análisis Multielemental

Método ICP (IC-01) de Bondar Clegg

Elem.	Fracc.	Unidad	LDD*	Diges.	Elem.	Fracc.	Unidad	LDD*	Diges.
Au**	BLEG	Ppb	0.07	Parcial	K	-200	%	0.01	Parcial
Au	-200	Ppb	5	Total	La	-200	Ppm	1	Parcial
Ag	-200	Ppm	0.2	Parcial	Li	-200	Ppm	1	Parcial
Cu	-200	Ppm	1	Total	Mg	-200	%	0.01	Parcial
Pb	-200	Ppm	2	Total	Mn	-200	Ppm	1	Parcial
Zn	-200	Ppm	1	Total	Na	-200	%	0.01	Parcial
Mo	-200	Ppm	1	Parcial	Nb	-200	Ppm	1	Parcial
As	-200	Ppm	5	Total	Ni	-200	Ppm	1	Parcial
Sb	-200	Ppm	5	Parcial	S	-200	%	0.01	Parcial
Hg***	-200	Ppb	10	Total	Sc	-200	Ppm	5	Parcial
Bi	-200	Ppm	5	Total	Sn	-200	Ppm	20	Parcial
Al	-200	%	0.01	Parcial	Sr	-200	Ppm	1	Parcial
Ba	-200	Ppm	1	Parcial	Ta	-200	Ppm	10	Parcial
Ca	-200	%	0.01	Parcial	Te****	-200	Ppm	0.1	Total
Cd	-200	Ppm	0.2	Total	Ti	-200	%	0.01	Parcial
Co	-200	Ppm	1	Parcial	V	-200	Ppm	1	Parcial
Cr	-200	Ppm	1	Parcial	W	-200	Ppm	20	Parcial
Fe	-200	%	0.01	Parcial	Y	-200	Ppm	1	Parcial
Ga	-200	Ppm	2	Parcial	Zr	-200	Ppm	1	Parcial

(*) LDD: Límite de Detección.

(**) Oro BLEG analizado por cianuración, FA e ICP combinados.

(***) Mercurio analizado por el método de Vapor Frío o CV (*Cold Vapour*).

(****) Telurio analizado separadamente por el método de Generación de Hidruros (*Hydride Generation*) más absorción atómica.

II.6.5 Resultados Geoquímicos

II.6.5.1 Evaluación de Valores Estándares

Tan importante como tomar apropiadamente una muestra, es evaluar que tan confiable es el resultado que nos proporciona el laboratorio. En tal sentido, las muestras estándares, como su nombre lo indica, son muestras que sirven de parámetro para controlar la calidad y exactitud del análisis del laboratorio. Estas muestras tienen valores conocidos de todos los elementos (en especial del oro) determinados previamente. Cada envío de muestras contiene una o mas muestras estándares.

En las figuras siguientes (figura II.6.3), se grafica el comportamiento del análisis de las muestras estándares. Se aprecia que en algunos casos, dicho valor escapa de los rangos permisibles, en especial los que tienen valores bajos cercanos al límite de detección de dicho procedimiento (v.g. estándar B1). Cuando esto sucede, el lote completo de muestras es rechazado y necesariamente sujeto a re-análisis por parte del mismo laboratorio. Este proceso se repite cuantas veces sea necesario dentro del mismo laboratorio o con la competencia de otro laboratorio en casos extremos.

La tabla II.6.5.1 muestra la relación de los estándares utilizados. Nótese que se dispone de una gama completa, desde valores elevados hasta valores muy bajos. Por motivos de confidencialidad de la compañía, se han modificado los códigos de los estándares más no sus valores.

Tabla II.6.5.1 Valores Estándares

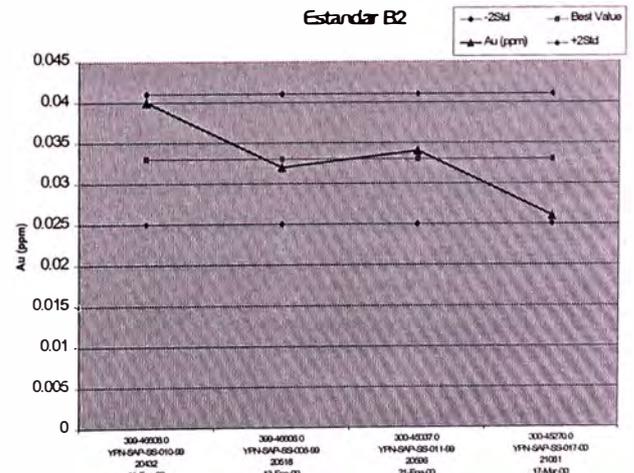
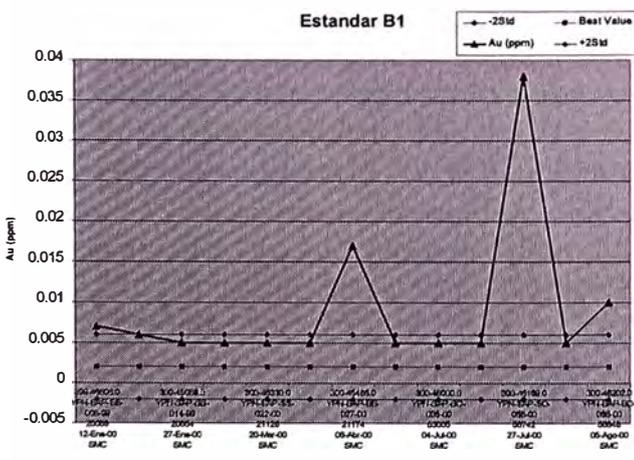
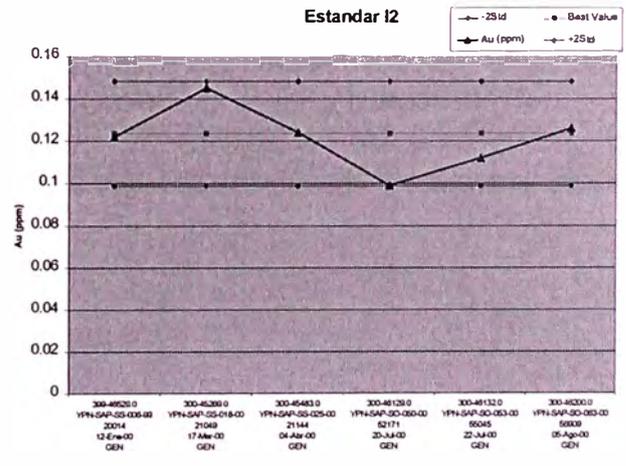
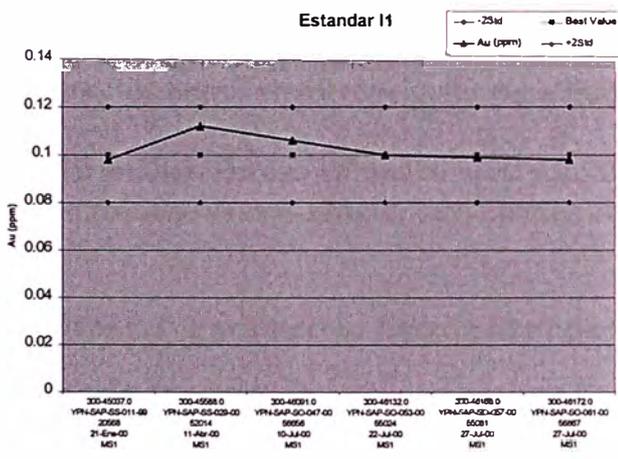
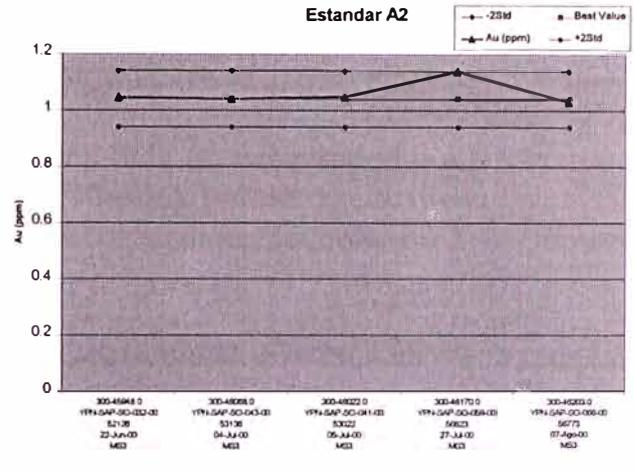
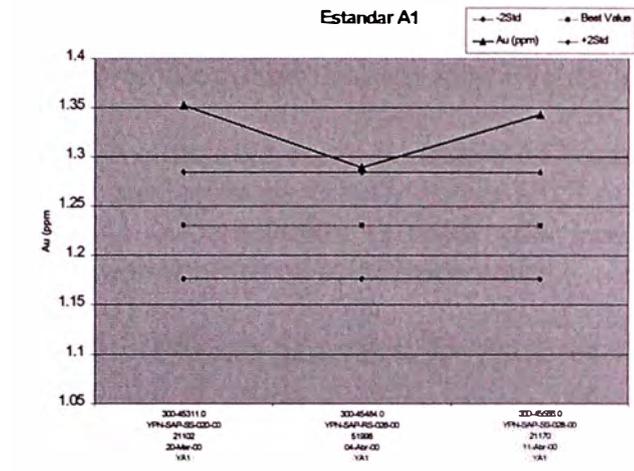
Código del Estándar	Valor Real Au (ppb)	Desviación Estándar	Límite Mínimo (1)	Límite Máximo (2)
A1	1230	27	1176	1284
A2	1040	50	940	1140
A3	373	58	257	489
I1	100	10	80	120
I2	123.5	12	99	148
B1	2	4	0	6
B2	33	4	25	41
B3	46	5	36	56
B4	50	18	14	86

(1) Límite mínimo = Valor Real – 2 Desv.Est.

(2) Límite máximo = Valor Real + 2 Desv.Est

Todos los valores están expresados en ppb.

Figura II.6.3. Cuadros Comparativos de Estándares



II.6.5.2 Diagrama de Correlación Geoquímica

En la tabla II.6.5.2 a continuación se muestra el diagrama o matriz de correlación geoquímica preparada mediante el método Spearman (Rollinson, 1993) utilizando la hoja de cálculo de Excel. En algunos casos se observa correlación negativa (ó inversa), y se produce cuando al aumentar uno de los elementos, disminuye el otro proporcionalmente.

Se considera como un índice de buena correlación (R^2), un valor superior a 0.65 (1.00 es correlación perfecta y mayor a 0.8 muy alta correlación), por debajo de dicho valor hasta 0.5 la correlación es moderada. Los valores de correlación menores a 0.5 no son muy representativos estadísticamente.

En términos generales, los mayores valores de correlación se observan en elementos tales como el cobre, cobalto, hierro, vanadio, lantano y niobio. Sin embargo, solo algunos de ellos muestran ligera correlación con el oro.

Entre los elementos que muestran mejor correlación con el valor BLEG de oro son: azufre, lantano, itrio, niobio, estroncio, potasio, escandio, calcio, magnesio y vanadio (solo el azufre supera el 0.5). Si descartamos al potasio, calcio y magnesio como constituyentes primarios o de alteración de roca, los 7 elementos restantes podrían ser usados como elementos guías para indicar indirectamente la mineralización aurífera.

El análisis de oro en malla -200 sólo correlaciona con el azufre (0.4). No hay correlación significativa con ningún otro elemento.

II.6.5.3 Parámetros Estadísticos de la Geoquímica

Para efectos prácticos, el programa Stones no utiliza los comúnmente llamados parámetros geoestadísticos como son el *background* y el *threshold*. Utiliza por defecto directamente los percentiles de 50, 80 y 95%, a menos que se seleccionen percentiles diferentes.

De los siete elementos determinados por el coeficiente de correlación en el subcapítulo anterior, se han seleccionado a tres de ellos: estroncio, escandio y vanadio, a los cuales se les ha añadido cobre, zinc, bario y manganeso. Los elementos finalmente seleccionados para la interpretación de la geoquímica de sedimentos de escorrentía fueron: oro (BLEG y -200), estroncio, escandio, cobre, zinc, bario, manganeso y vanadio. Estos siete elementos en conjunto con el oro muestran cierto patrón de anomalías sobre un área de mineralización conocida previamente cual es Sapucaí, que fue tomado como punto de referencia.

La tabla II.6.5.3 a continuación muestra los percentiles, mínimos, máximos, promedio y desviación estándar de la distribución de los valores geoquímicos antes mencionados, sobre un total de 569 muestras de sedimentos tomadas.

Tabla II.6.5.3 Distribución de Percentiles y Parámetros Estadísticos - Programa de Muestreo de Sedimentos de Escorrentía

	ELEMENTO	#	MINIMO	50%	80%	95%	MAXIMO	PROM.	DV.ST.
1	Au BLEG ppb	566	<0.07	0.38	0.88	3.50	119.57	0.99	5.36
2	Au -200 ppb	569	<5	<5	11	45	815	6	41
3	Sr -200 ppm	566	<2	34	107	195	584	57	59
4	Sc -200 ppm	566	<5	8	13	19	130	1	10
5	Cu -200 ppm	566	<1	35	52	77	203	23	25
6	Zn -200 ppm	566	2	60	78	106	202	40	28
7	Ba -200 ppm	566	16	201	304	502	1581	227	148
8	Mn -200 ppm	566	27	768	1479	2026	7045	1037	907
9	V -200 ppm	566	<20	59	154	231	659	88	74

Fuente: elaboración propia

Cabe destacar que los siete elementos seleccionados no son necesariamente los indicadores o pathfinders comúnmente utilizados en la exploración por oro. Por experiencia personal, los elementos mas representativos para este efecto son el arsénico, antimonio, zinc, cobre y bario.

Los histogramas de distribución de cada elemento están graficados con eje de abcisas logarítmico y se les ubica en la esquina superior derecha en cada una de las respectivas figuras que ilustran la geoquímica regional por elementos.

En términos generales, una distribución de valores tipo “Campana de Gauss” o distribución “log normal” indica estadísticamente que los números que componen dicha base de datos (desde el más bajo hasta el más alto) están repartidos uniformemente hacia los extremos (pocos altos o bajos) y concentrados en los valores intermedios. Cualquier distribución de este tipo se considera “log normal” y su uso es significativo en términos estadísticos.

En muchos de los elementos analizados, las curvas de distribución de valores muestra un marcado sesgo hacia la derecha o hacia los valores bajos, concentrados en su mayoría en el límite de detección. Esta distribución de valores no es útil desde el punto de vista estadístico, pues no es representativo y por ende no han sido empleados en la interpretación ni han sido incluidos en los gráficos.

II.6.5.4 Interpretación de Resultados Geoquímicos

A continuación se detalla la interpretación del análisis de siete elementos indicadores principales y de dos análisis de oro, en función a su distribución areal. Por motivos gráficos, los planos geoquímicos regionales han sido impresos a escala 1:300,000.

Tabla II.6.5.2 Matriz de Coeficientes de Correlación Geoquímica
Programa de Muestreo de Sedimentos de Escorrentía
 (Calculado por el método de Spearman)

	AUCN	Au	As	Sb	Ag	Cu	Pb	Zn	Mo	Bi	Ni	Co	Cd	Fe	Mn	Ba	Cr	V	Sn	W	La	Al	Mg	Ca	Na	K	Sr	Y	Ga	Li	Nb	Sc	Ti	S	Zr			
	ppb	ppb	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm		
AUCN_ppb	1.00																																					
Au_ppb	0.02	1.00																																				
As_ppm	-0.02	0.03	1.00																																			
Sb_ppm	-0.01	-0.01	0.00	1.00																																		
Ag_ppm	0.00	0.00	0.01	0.00	1.00																																	
Cu_ppm	0.09	0.08	0.03	-0.04	0.05	1.00																																
Pb_ppm	0.01	0.02	0.06	-0.01	0.01	0.09	1.00																															
Zn_ppm	0.11	0.07	0.79	-0.02	0.03	0.49	0.10	1.00																														
Mo_ppm	-0.05	-0.03	0.03	0.14	0.00	-0.11	-0.03	-0.06	1.00																													
Bi_ppm	-0.01	-0.01	0.01	0.46	0.89	0.03	0.00	0.02	0.07	1.00																												
Ni_ppm	0.09	0.06	0.21	-0.05	0.10	0.34	0.26	0.43	-0.01	0.06	1.00																											
Co_ppm	0.15	0.08	0.05	-0.06	0.12	0.65	0.16	0.49	-0.22	0.08	0.58	1.00																										
Cd_ppm	0.01	0.01	0.13	0.96	0.02	0.07	0.00	0.17	0.13	0.46	0.03	0.05	1.00																									
Fe_ppm	0.15	0.09	0.11	-0.06	0.09	0.76	0.12	0.55	-0.19	0.05	0.51	0.88	0.07	1.00																								
Mn_ppm	0.07	0.06	0.08	-0.04	0.05	0.62	0.23	0.48	-0.18	0.02	0.39	0.80	0.06	0.66	1.00																							
Ba_ppm	0.09	0.05	0.12	-0.06	0.15	0.35	0.21	0.38	-0.23	0.10	0.35	0.71	0.01	0.59	0.71	1.00																						
Cr_ppm	-0.02	-0.02	-0.04	-0.03	0.01	-0.05	-0.06	-0.08	0.86	0.00	0.14	-0.08	-0.03	-0.07	-0.13	-0.18	1.00																					
V_ppm	0.19	0.07	0.02	-0.06	0.04	0.73	0.06	0.48	-0.17	0.01	0.43	0.82	0.05	0.92	0.58	0.47	-0.06	1.00																				
Sn_ppm	-0.01	-0.01	0.01	0.37	0.00	-0.01	0.01	0.00	0.04	0.37	-0.03	-0.02	0.35	-0.01	-0.03	-0.01	-0.03	-0.02	1.00																			
W_ppm	-0.01	-0.01	0.00	1.00	0.02	-0.04	-0.01	-0.02	0.14	0.48	-0.05	-0.06	0.96	-0.06	-0.04	-0.05	-0.03	-0.06	0.37	1.00																		
La_ppm	0.32	0.07	0.01	0.32	0.06	0.30	0.06	0.27	-0.13	0.20	0.40	0.58	0.38	0.57	0.36	0.45	-0.05	0.57	0.13	0.32	1.00																	
Al_ppm	0.15	0.09	0.13	-0.06	0.10	0.53	0.10	0.46	-0.31	0.06	0.50	0.80	0.05	0.86	0.52	0.62	-0.18	0.75	0.04	-0.06	0.65	1.00																
Mg_ppm	0.19	0.11	0.07	-0.04	0.12	0.42	0.05	0.40	-0.25	0.09	0.63	0.75	0.07	0.74	0.44	0.50	-0.07	0.68	0.01	-0.04	0.74	0.84	1.00															
Ca_ppm	0.20	0.08	0.03	-0.04	0.04	0.32	0.05	0.30	-0.26	0.01	0.33	0.53	0.03	0.53	0.40	0.50	-0.18	0.52	0.00	-0.04	0.60	0.63	0.72	1.00														
Na_ppm	0.16	0.10	0.08	-0.02	0.04	0.35	0.10	0.32	-0.03	0.03	0.32	0.50	0.05	0.51	0.36	0.36	0.05	0.57	0.03	-0.02	0.53	0.51	0.60	0.61	1.00													
K_ppm	0.27	0.11	0.20	-0.05	0.03	0.34	0.03	0.45	-0.13	0.00	0.46	0.60	0.06	0.63	0.38	0.45	-0.03	0.61	-0.02	-0.05	0.77	0.70	0.81	0.69	0.63	1.00												
Sr_ppm	0.29	0.08	0.04	-0.04	0.07	0.35	0.07	0.33	-0.22	0.04	0.45	0.65	0.04	0.66	0.42	0.54	-0.10	0.64	0.02	-0.04	0.81	0.74	0.84	0.78	0.61	0.81	1.00											
Y_ppm	0.21	0.09	0.09	-0.06	0.00	0.69	0.15	0.47	-0.22	-0.06	0.32	0.67	0.04	0.73	0.60	0.57	-0.18	0.69	0.00	-0.06	0.63	0.67	0.52	0.51	0.46	0.61	0.58	1.00										
Ga_ppm	-0.02	0.09	0.12	-0.01	0.04	0.39	0.09	0.35	-0.28	0.03	0.17	0.46	0.08	0.56	0.37	0.37	-0.25	0.41	0.07	-0.01	0.23	0.70	0.40	0.33	0.15	0.30	0.30	0.41	1.00									
Li_ppm	0.13	0.05	0.33	-0.12	0.00	0.40	0.16	0.50	-0.31	-0.12	0.31	0.55	-0.03	0.65	0.42	0.54	-0.26	0.54	0.05	-0.12	0.47	0.80	0.55	0.47	0.46	0.55	0.53	0.65	0.65	1.00								
Nb_ppm	0.21	0.07	0.01	-0.11	0.00	0.71	0.09	0.45	-0.16	-0.11	0.41	0.78	-0.02	0.87	0.57	0.45	-0.07	0.96	-0.04	-0.11	0.53	0.67	0.60	0.50	0.54	0.58	0.60	0.70	0.31	0.50	1.00							
Sc_ppm	0.15	0.09	0.04	0.50	0.07	0.55	0.03	0.35	-0.11	0.32	0.41	0.81	0.64	0.66	0.40	0.34	-0.08	0.64	0.24	0.56	0.73	0.66	0.67	0.44	0.45	0.54	0.56	0.52	0.38	0.41	0.54	1.00						
Ti_ppm	0.16	0.06	0.01	-0.04	0.05	0.61	0.02	0.42	-0.04	0.03	0.42	0.70	0.06	0.77	0.42	0.35	0.11	0.83	-0.02	-0.04	0.58	0.63	0.67	0.50	0.61	0.60	0.63	0.49	0.21	0.34	0.80	0.53	1.00					
S_ppm	0.58	0.40	0.26	0.00	0.35	0.44	0.72	-0.32			0.53	0.46	0.00	0.49	0.74	0.89	-0.32	0.27			0.92	0.56	0.85	0.88	0.43	0.77	0.90	0.53	0.48	0.78	0.28	0.21	0.21	1.00				
Zr_ppm	0.13	0.06	-0.02	-0.04	0.00	0.19	-0.02	0.13	0.27	-0.04	0.36	0.42	-0.01	0.45	0.16	0.21	0.45	0.41	0.00	-0.04	0.51	0.44	0.55	0.34	0.42	0.43	0.47	0.28	0.09	0.22	0.38	0.37	0.53	-0.08	1.00			

Clave

	Muy alta correlación (>0.8)
	Alta correlación <0.65,0.8]
	Moderada correlación <0.5,0.65]
	Baja correlación (<0.5)

* AUCN Análisis de oro tipo BLEG (fixivación utilizando cianuro de sodio).

II.6.5.4.1 Geoquímica de Oro BLEG (figura II.6.4)

Estadísticamente, la curva de distribución de valores de oro muestra una forma “log normal” sesgada ligeramente a la derecha o a los valores bajos, unimodal y con una agudeza alta. Esta es una de las curvas que muestra mejor distribución entre todos los elementos.

Los valores superiores a 0.88 ppb (percentil a 80%) en color verde muestran las áreas medianamente anómalas, mientras que los valores superiores a 3.50 ppb (percentil a 95%) en color rojo muestran las áreas fuertemente anómalas, hasta el máximo de 119.67 ppb en la muestra SS-20062. Esta muestra fue obtenida en el área de Sapucaí en un drenaje de sólo unos cientos de metros de largo en el lado norte del anillo interno del complejo volcánico de Sapucaí.

Cabe resaltar que de las 28 muestras que constituyen el 5% más alto, 25 muestras se ubican en Sapucaí y sus alrededores, 2 en Guazu Cuá (muestras SS-21134 y 21135 con 5.11 y 3.22 ppb respectivamente) y 1 en el borde norte del rift (muestra SS-20481 con 4.66 ppb) completamente sin relación con eventos volcánicos.

En términos generales, se ha determinado un sólo sector principal o *trend* de anomalías que comprende individualmente a las áreas de Sapucaí y Guazu Cuá, este *trend* tiene dirección noreste (transversal al rift de Asunción) y una extensión de 12 km de largo por unos 3 km de ancho. En este corredor, todas las muestras tienen valores anómalos en mayor o menor proporción.

Las anomalías intermedias se determinaron en Chauria, en el flanco este del Cerro Tano (entre Chauria y Sapucaí), en el lado norte de San José, en Acahay, en el flanco oeste de Ybypyté y en el extremo oeste de Yaguarón. En el caso de Chauria y Cerro Tano, existe una correlación entre el contacto de areniscas (en la base) y piroclásticos basálticos (al tope) y la presencia de anomalías intermedias entre 0.88 y 3.5 ppb de oro, provenientes de dicho contacto (figura II.3.2). Se infiere que pudo haber recirculación de fluidos por dicho contacto a partir de centros de mineralización distales. En el caso de Acahay, San José, Ybypyté y Yaguarón, estas anomalías provienen directamente de centros volcánicos alcalinos menores (excepto Acahay que tiene igual magnitud que Sapucaí) que no alcanzaron un grado de mineralización óptimo.

II.6.5.4.2 Geoquímica de Oro –200 (figura II.6.5)

Estadísticamente la población de valores obtenidos en el análisis por oro en la fracción de malla –200 en los sedimentos de escorrentía es poco representativa. Nótese el histograma de distribución con una población marcadamente bimodal, la principal agrupada en los valores menores al límite de detección (339 muestras que representan el 60% menores a 5 ppb) y la segunda población con una distribución tipo log normal muy aplanada.

Los valores mayores a 11 ppb son anomalías intermedias (percentil a 80%) coloreadas en verde y los valores mayores a 45 ppb son las anomalías altas (percentil a 95%) coloreadas en rojo. Los puntos con anomalías auríferas de la fracción –200 están

dispersos y no constituyen áreas anómalas consistentes. Inclusive en el área de Sapucaí donde se tiene la mayor concentración de los mismos, sin embargo es posible notar el corredor que lo une con Guazu Cuá que presenta valores marcadamente anómalos con respecto a su entorno.

El valor más elevado con 815 ppb (muestra SS-20539) se ubica en la zona de Chauria, coincidente con las anomalías de oro BLEG descritas en el párrafo anterior, sin embargo esa misma muestra tiene un valor menor al límite de detección en el análisis BLEG. Un muestreo de mayor densidad en la misma cuenca no logró duplicar el valor inicial elevado. Esta inconsistencia dió lugar a desestimar esta zona como de primera prioridad para prospección.

El segundo valor más elevado con 360 ppb (muestra SS-20490) se ubica a medio camino entre Sapucaí y Guazu Cuá, corroborando el hecho de tener un corredor noreste con anomalías auríferas en ese sector. Otros puntos anómalos se ubican muy dispersos relacionados a los bordes externos del rift (norte y sur), al oeste de San José y a 5 km al noreste de Chauria. Muestreos más densificados posteriores en estos sectores no han confirmado los valores anómalos iniciales.

II.6.5.4.3 Geoquímica de Estroncio (figura II.6.6)

Estadísticamente el histograma de Estroncio (Sr) muestra una población bimodal, la primera concentrada alrededor de 20 ppm y la segunda alrededor de 100 ppm. La primera población está constituida por la concentración primaria de Sr proveniente de rocas volcánicas alcalinas, como se puede comprobar comparándolo con la distribución de Sr en las rocas inalteradas (figura II.6.4a), según datos extraídos de la bibliografía existente (Comin-Chiaramonti et al, 1996) compilados en el anexo.

La segunda población de valores y la más importante, está ligada al parecer a la presencia de sistemas de alteración potásica localizados principalmente en el núcleo del complejo alcalino de Sapucaí. Excepto una muestra anómala por encima del rango superior de 195 ppm (SS-21168 con 228 ppm) todas las demás se ubican en áreas alteradas. Los valores intermedios entre 107 y 195 ppm se distribuyen en los alrededores de Sapucaí y en el núcleo de Acahay.

Siendo el Sr un elemento alcalino-térreo, forma con facilidad enlaces iónicos con elementos no metálicos, reemplazando con frecuencia al calcio (por la similitud entre sus radios iónicos) de sus minerales primarios como plagioclasas o en lugar del potasio dentro de la estructura de feldespatos potásicos (López, 1990). Por lo tanto, la presencia del Sr es común dentro de rocas alcalinas, y explica claramente la primera población del histograma. Asimismo, la segunda población es el resultado de posibles reemplazamientos de Sr a nivel iónico en algunos de los minerales que acarrean la alteración potásica.

II.6.5.4.4 Geoquímica de Escandio (figura II.6.7)

Estadísticamente el histograma de distribución de escandio (Sc) muestra una población bimodal muy similar a la de los resultados del oro –200, en decir la primera concentrada en valores por debajo del límite de detección de 5 ppm (350 muestras que representan el 62%) y la segunda población con una distribución tipo log normal pequeña con valores alrededor de 10 ppm.

El Sc es uno de los elementos traza que han sido de gran utilidad para identificar anomalías relacionadas indirectamente con la mineralización aurífera. A pesar de que las variaciones de los valores de Sc son muy sutiles, pues el máximo valor es de sólo 23 ppm (exceptuando un valor errático de 130 ppm en una zona de areniscas), es posible identificar una zona anómala muy consistente en la parte central de Sapucaí, rodeada por una anómala intermedia entre 13 y 19 ppm que se extiende hacia Guazu Cuá. También se tienen otras anomalías intermedias pequeñas en Acahay y San José.

II.6.5.4.5 Geoquímica de Cobre (figura II.6.8)

Estadísticamente el histograma de distribución de valores de cobre (Cu) muestra una forma log normal bastante amplia, con una suave tendencia a una población bimodal. La primera población concentrada alrededor de 6 ppm y la segunda población concentrada alrededor de 30 ppm. Esta segunda población está representada básicamente por los volcánicos basálticos sin alteración ni mineralización que rellenan la parte intermedia del rift de Asunción.

Se han determinado tres zonas marcadamente anómalas con valores por encima de 77 ppm: San José, Chauria y Sapucaí. Los valores más elevados se concentran en el borde sur del rift de Asunción relacionados al contacto entre areniscas en la base y derrames lávicos basálticos al tope en el caso de Chauria, y en el caso de San José con los valores más altos (hasta 203 ppm) asociados a un stock de composición monzogabroica sin mayor alteración.

II.6.5.4.6 Geoquímica de Zinc (figura II.6.9)

Estadísticamente el histograma de distribución de valores de zinc (Zn) tiene una forma log normal con una ligera población bimodal cuyos picos se ubican en 20 y 70 ppm.

La distribución de las anomalías de Zn difieren muy ligeramente a las del cobre. La principal anomalía con valores mayores a 106 ppm se ubica en el área de San José. Las anomalías intermedias entre 78 y 106 ppm se ubican en Acahay y Sapucaí. Todas las anomalías están ubicadas alrededor de los tres principales centros volcánicos del rift de Asunción. No existe ninguna anomalía sobre los basaltos, excepto en Guazu Cuá donde se observa un ligero incremento de los valores hasta 70 ppm.

Normalmente el Zn es un buen elemento indicador de mineralización aurífera. En yacimientos de tipo porfírico, epitermal en volcánicos o de sulfuros masivos, el zonamiento de zinc a nivel local se presenta formando un halo en la periferie de la zona

con más alta ley de oro, este patrón se cumple claramente en Sapucaí. En Acahay y San José, las anomalías de zinc no están relacionadas a mayores valores de oro.

II.6.5.4.7 Geoquímica de Bario (figura II.6.10)

El histograma de distribución de valores de bario muestra una forma log normal sesgada ligeramente a la izquierda (hacia los valores altos) con población unimodal. La media se sitúa en 227 ppm.

Las principales anomalías se concentran en la planicie central del rift constituida principalmente por basaltos, desde el sector de Guazu Cuá hacia el oeste. La segunda anomalía se ubica sobre Acahay. Sapucaí presenta únicamente una pequeña anomalía en el borde este correspondiente también a basaltos con brecha de fracturamiento.

II.6.5.4.8 Geoquímica de Manganeso (figura II.6.11)

El histograma de distribución de valores de manganeso muestra una forma log normal sesgada a la izquierda. La media se sitúa en 1037 ppm.

Las anomalías de manganeso tienen un patrón muy similar al del bario y al zinc. La anomalía más alta se ubica sobre San José mientras que la más extensa sobre los basaltos en el centro del rift. Sapucaí tienen algunos valores anómalos dispersos en un halo externo. Acahay tiene también anomalías consistentes en especial hacia el núcleo del centro volcánico. Las anomalías de San José y Acahay no tienen correlación con valores de oro.

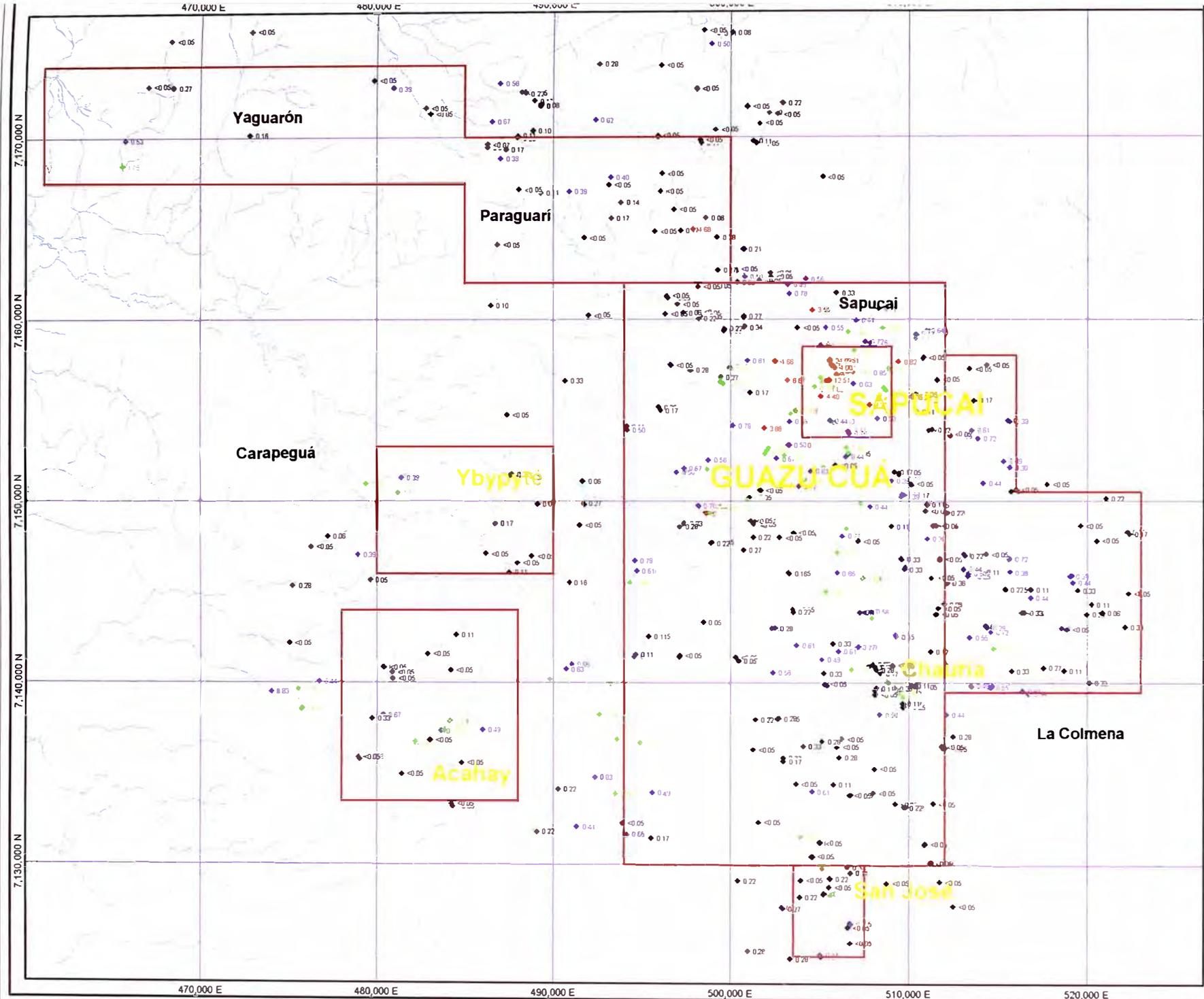
II.6.5.4.9 Geoquímica de Vanadio (figura II.6.12)

La población de valores de vanadio están bastante concentrados hacia su valor medio de 88 ppm, aunque el histograma de distribución muestre un ligero comportamiento bimodal.

El vanadio ha sido uno de los mejores elementos indicadores de mineralización aurífera en la zona, logrando definir perfectamente el área de Sapucaí sin mucha dispersión. Por otro lado, se obtiene nuevamente anomalías en San José y Acahay pero sin signos de mineralización aurífera.

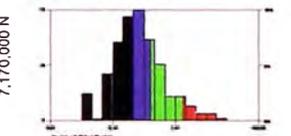
II.6.5.5 Resumen de Anomalías

Considerando los siete elementos aquí mostrados, sólo tres presentan una buena correlación respecto a la distribución del oro BLEG, estos son: escandio, estroncio y vanadio. Inclusive la geoquímica de oro –200 no brinda mucha confiabilidad.



EXPLANATION

Oro BLEG (ppb) en sedimentos



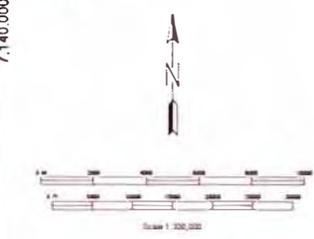
Clase Superior de Análisis ppb
 ● 0.00 - 0.20 0 - 50 percentil
 ● 0.20 - 0.30 50 - 60 percentil
 ● 0.30 - 0.50 60 - 80 percentil
 ● 0.50 - 1.00 80 - 90 percentil
 ● 1.00 - 119.67 95 - 100th percentil

Estadística for Análisis ppb en sed
 Muestra: 390
 Mínimo: 0.07
 Máximo: 119.57
 Average: 0.39
 StdDev: 0.36

Límites de Denuncias

Color tras DIF de denuncia por dif
 Límite 0.20 mg
 Contorno 0.05 mg

MAPA N° 10
 E. 482.200 520.000
 N. 7.130.000 7.170.000
 E. 470.000
 N. 7.130.000

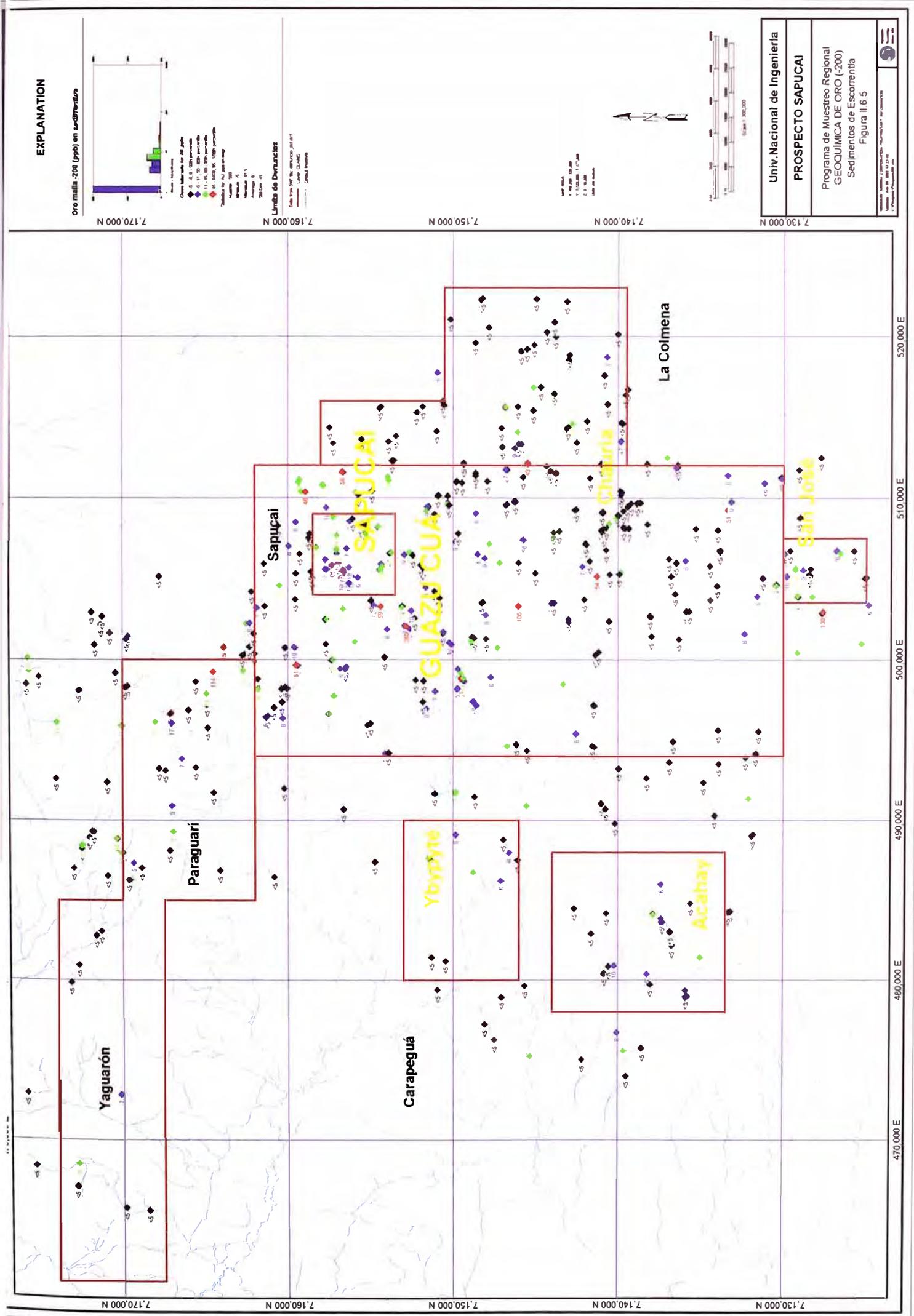


Univ. Nacional de Ingeniería

PROSPECTO SAPUCAI

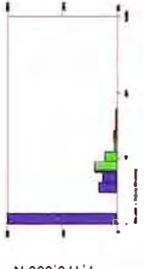
Programa de Muestreo Regional
 GEOQUÍMICA DE ORO BLEG
 Sedimentos de Escorrentía
 Figura II 6.4

Elaborado: Mónica C. BARRERA / M. C. BARRERA / M. C. BARRERA
 Fecha: Julio del 2010
 C:\Programas\MapInfo\MapInfo



EXPLANATION

Oro milis-200 (ppb) en sedimentos



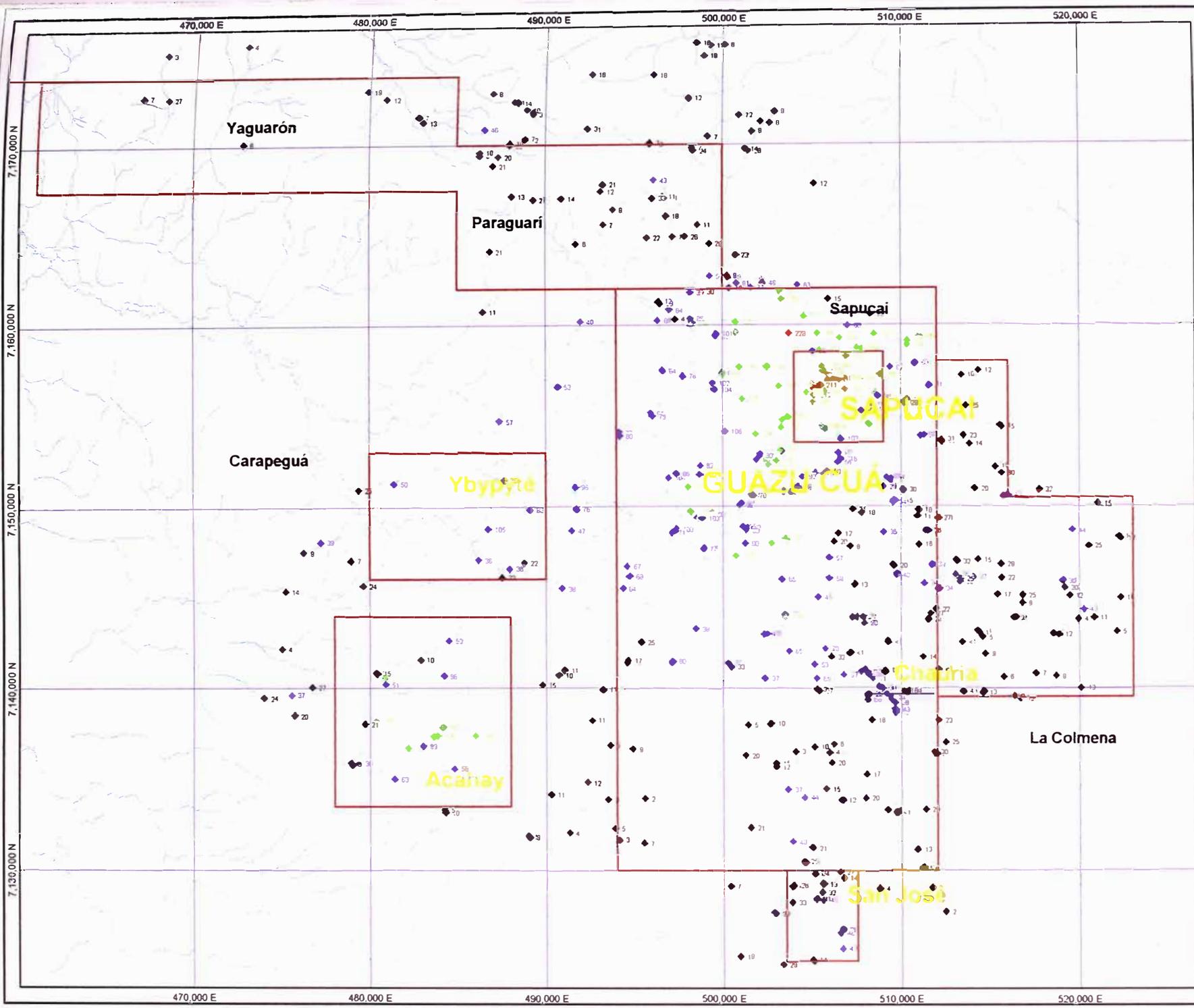
Escala horizontal
 0 100 200 300 400 500 600 700 800 900 1000
 Escala vertical
 0 100 200 300 400 500 600 700 800 900 1000
 Fuente: Mapa de Sedimentos
 Elaborado: Luis Quiroz
 Escala: 1:50,000
 Fecha: 2010

Límite de Denominación
 Límite de Muestreo
 Límite de Estudio

Univ. Nacional de Ingeniería
PROSPECTO SAPUCAI
 Programa de Muestreo Regional
 GEOQUÍMICA DE ORO (200)
 Sedimentos de Escorrentía
 Figura II 6 5

470,000 E 480,000 E 490,000 E 500,000 E 510,000 E 520,000 E

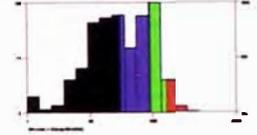
7,170,000 N 7,160,000 N 7,150,000 N 7,140,000 N 7,130,000 N



EXPLANATION

Estroncio malla -200 (ppm) en Sedimentos

Database: Microsoft Access: Prospecto Sapucaí.mdb
 Fields and tabs: TOTAL_SAMPLES, Cr ppm
 Label colors vary by Cr ppm
 Numbered points are constant
 Numbered labels are constant
 Numbered labels are constant



Clases de estroncio por Cr ppm

- 0 - 34.0 - 25th percentil
- 34 - 107.50 - 50th percentil
- 107 - 195.00 - 75th percentil
- 195 - 1275.00 - 100th percentil

Estadística por Cr ppm en masa

Number: 300
 Minimum: 0
 Maximum: 204
 Average: 27
 StdDev: 38

Límites de Municipios

Color from DBF de municipios.dbf.dxf

- Lower CLASS
- Label Inactive

Scale 1:300,000

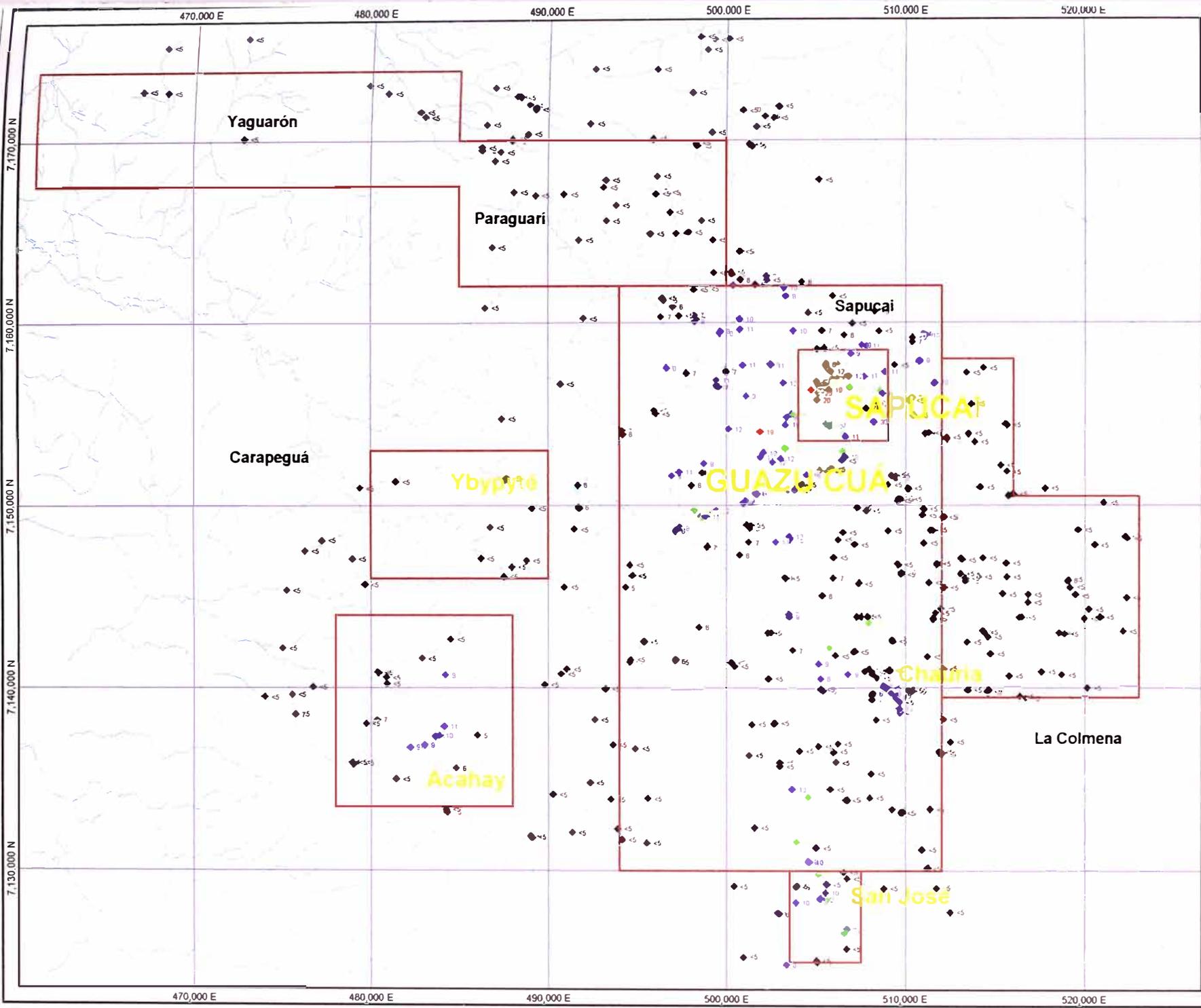


Univ.Nacional de Ingenieria

PROSPECTO SAPUCAI

Programa de Muestreo Regional
 GEOQUÍMICA DE ESTRONCIO (-200)
 Sedimentos de Escorrentía
 Figura II.6.6

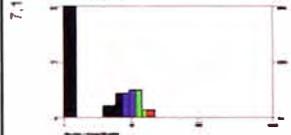
Elaborado por: [Logo]



EXPLANATION

Escandio máx. -200 (ppm) en Sedimentos

Database: Microsoft Access, Paraguay_Sapucaí.mdb
 Table and field: TOTAL_SAMPLES_Sc_ppm
 Symbol Color: #FF0000 for Sc_ppm
 Label color: none for Sc_ppm
 Symbol sizes are constant
 Symbol sizes are constant



Clase Intervalo for Sc_ppm

- 100 - 0, 0-200 100 ppm per sample
- 10 - 100 100 ppm per sample
- 10 - 100 100 ppm per sample
- 10 - 100 100 ppm per sample

Statistics for Sc_ppm en mm

Number: 390
 Minimum: 0
 Maximum: 130
 Average: 1
 Std Dev: 15

Límite de Denuncias

Data from DOP: No denuncia_011.dwg

- Layer: CLAIM
- Default: Unchecked

Scale: 1:200,000
 0 1000 2000 3000 4000 5000 6000 7000 8000 9000 10000
 0 1000 2000 3000 4000 5000 6000 7000 8000 9000 10000
 0 1000 2000 3000 4000 5000 6000 7000 8000 9000 10000



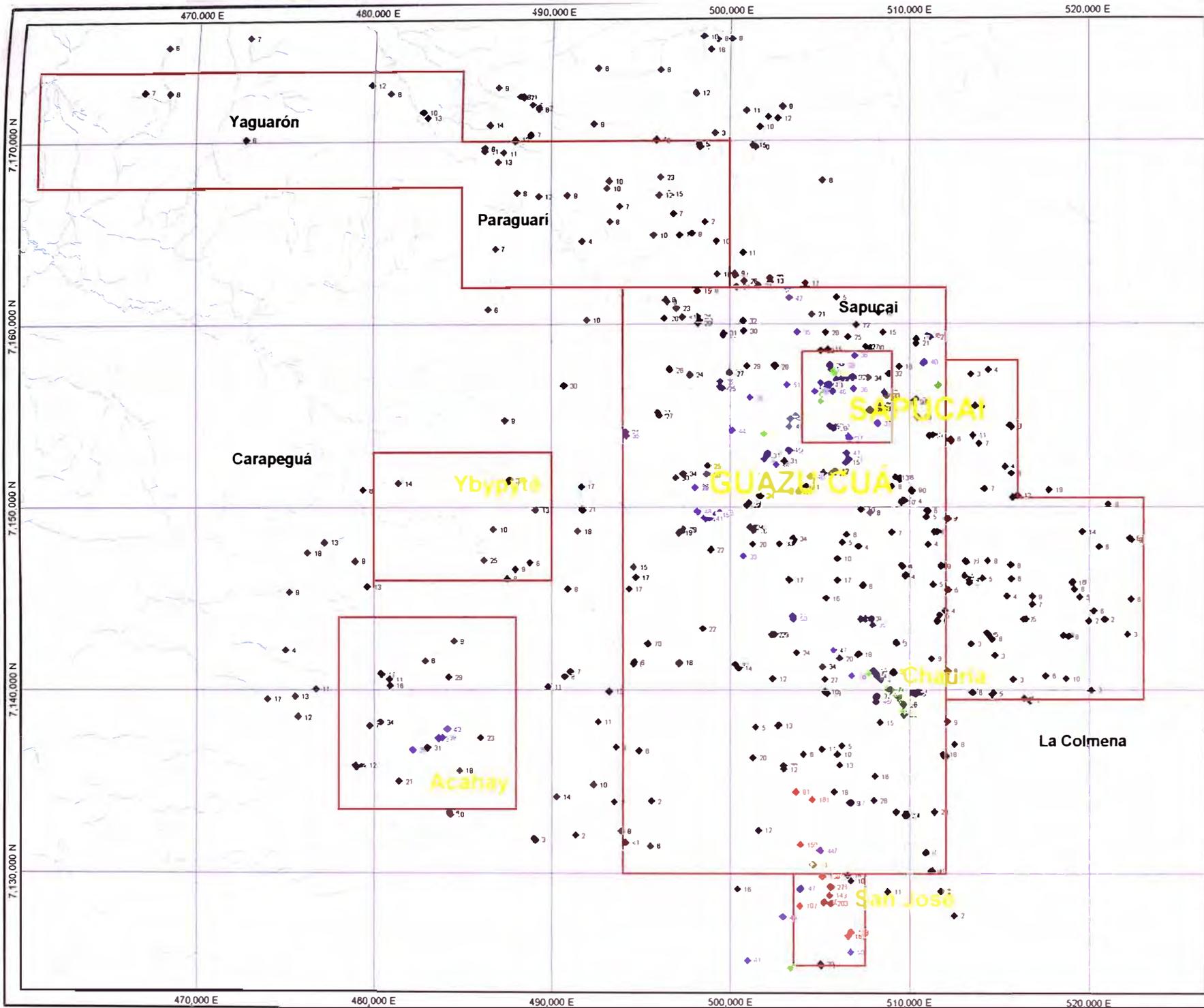
Scale 1:200,000

Univ. Nacional de Ingeniería

PROSPECTO SAPUCAÍ

Programa de Muestreo Regional
 GEOQUÍMICA DE ESCANDIO (-200)
 Sedimentos de Escorrentía
 Figura II.6.7

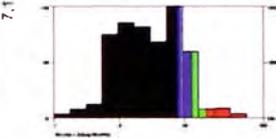
UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
 INSTITUTO VIAL VALENZUELA DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO
 Muestreo: Julio del 2010 al 12 del 2010
 C. Paraguay, Paraguay 2010



EXPLANATION

Cobre malla -200 (ppm) en Sedimentos

Dataview: Microsoft Access: Paraguari_Cu ppm.mdb
 Table and field: TOTAL_SAMPLES_Cu ppm
 Symbol colors vary by Cu ppm
 Label colors vary by Cu ppm
 Symbol types are constant
 Symbol sizes are constant



Clases intervalo for Cu ppm

- 1 - 24, 0-20: 20.00% porcentaje
- 25 - 30, 20-30: 40.00% porcentaje
- 31 - 36, 30-35: 10.00% porcentaje
- 37 - 42, 35-40: 10.00% porcentaje
- 43 - 48, 40-45: 10.00% porcentaje

Dataview for Cu ppm en map

Number: 388
 Minimum: 1
 Maximum: 303
 Average: 23
 Std Dev: 25

Límite de Denuncias

Dots from DGP for denuncia 2011 dot
 Layer: CLANC
 Central Feature

Scale: 1:300,000

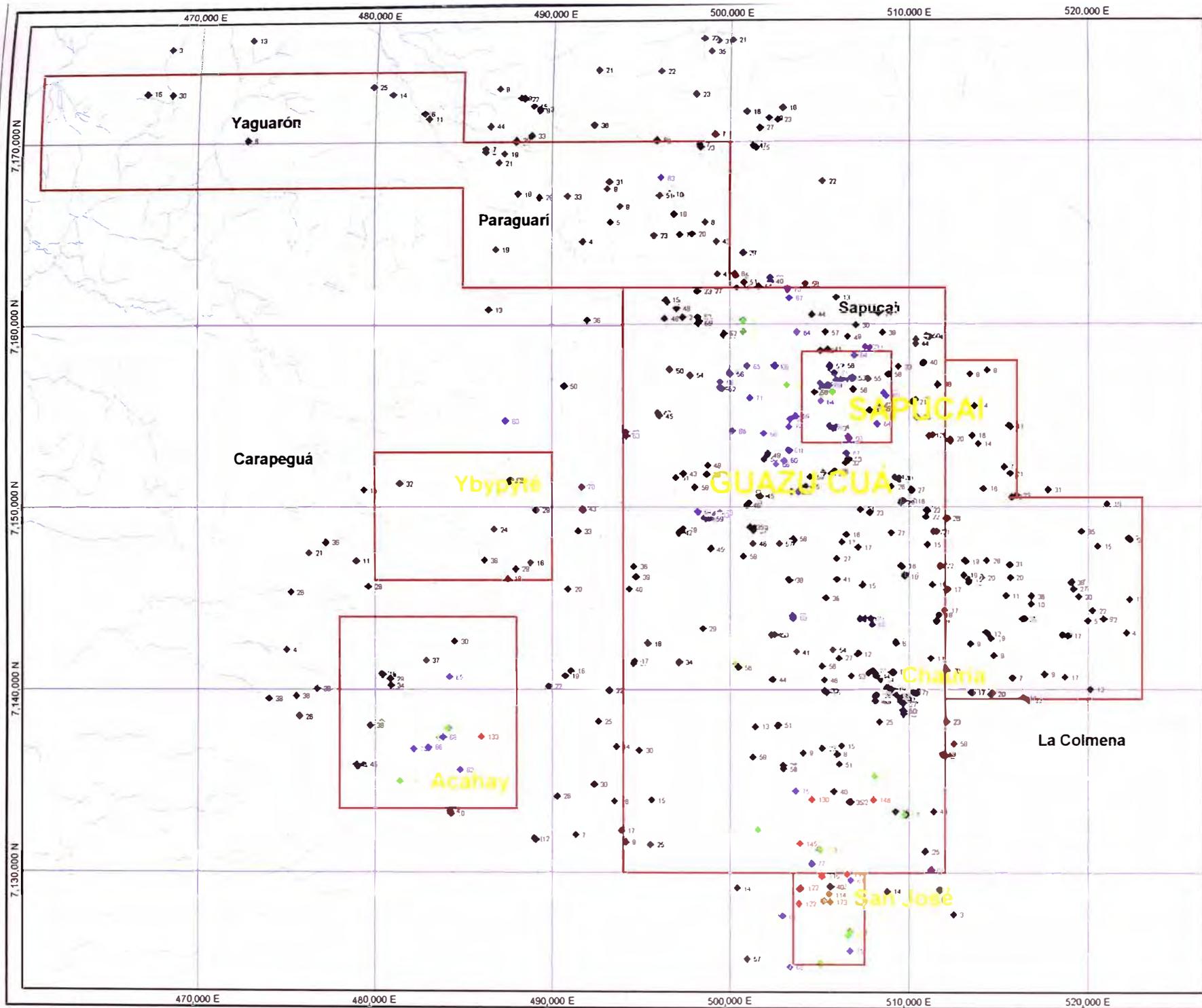


Univ.Nacional de Ingenieria

PROSPECTO SAPUCAI

Programa de Muestreo Regional
 GEOQUÍMICA DE COBRE (-200)
 Sedimentos de Escorrentia
 Figura II 6 S

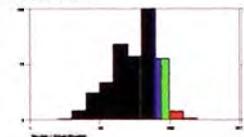
Elaborado: MARIO CARRILLO ROSA, PROSPECTO I de SEDIMENTOS
 Fecha: Jun 16, 2012 14:52:04
 C:\Programas\MapInfo\



EXPLANATION

Zinc multi -200 (ppm) en Sedimentos

Database: Microsoft Access, Paraguari_Sapucaí.mdb
 Table and field: TOTAL_SAPUCAI_Zn_ppm
 Symbol colors used for Zn_ppm
 Label colors used for Zn_ppm
 Symbol types are constant
 Symbol sizes are constant



Class Intervals for Zn_ppm

- 1 - 40, 0.00 - 10.00% percent
- 40 - 70, 10.00 - 40.00% percent
- 70 - 100, 40.00 - 80.00% percent
- 100 - 150, 80.00 - 100.00% percent
- 150 - 200, 100.00 - 100.00% percent

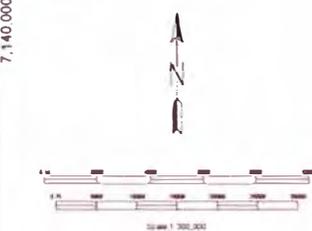
Statistics for Zn_ppm in map

Number: 308
 Minimum: 3
 Maximum: 220
 Average: 40
 Std Dev: 38

Límites de Demarcación

Base from CIP for demarcation_307.dwg
 Layer: CLASE
 Color: Red
 Line Style: Solid

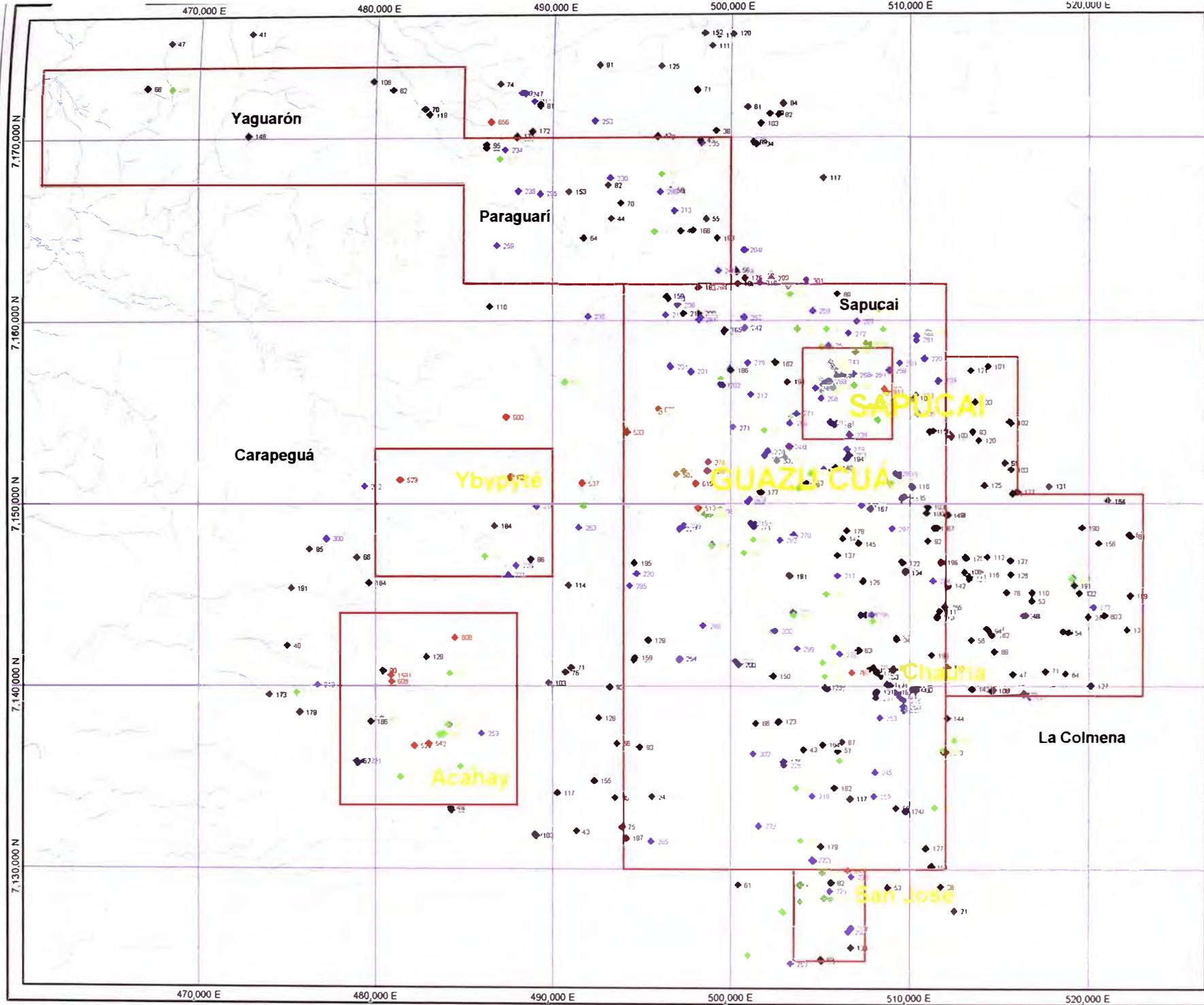
Scale: 1:50,000
 1:50,000
 1:100,000
 1:200,000
 1:500,000



Univ.Nacional de Ingenieria

PROSPECTO SAPUCAI

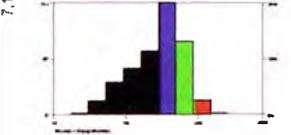
Programa de Muestreo Regional
 GEOQUÍMICA DE ZINC (-200)
 Sedimentos de Escorrentia
 Figura II.6.9



EXPLANATION

Bario mailla -200 (ppm) en Sedimentos

Colores: Muestreo Actual, Porcentaje Contaminación
 Total and Area TOTAL SAMPLES, De ppm
 Symbol color = vary by De ppm
 Label colors vary by De ppm
 Symbol types are constant
 Symbol sizes are constant



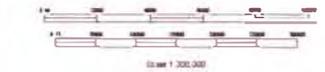
Clases definidas por De ppm
 20 - 201, 0 - 100% porcentaje
 201 - 250, 0 - 80% porcentaje
 250 - 300, 0 - 60% porcentaje
 300 - 350, 0 - 40% porcentaje
 350 - 400, 0 - 20% porcentaje

Estadística por De ppm en rango
 Number: 582
 Minimum: 18
 Maximum: 1781
 Average: 227
 Std Dev: 148

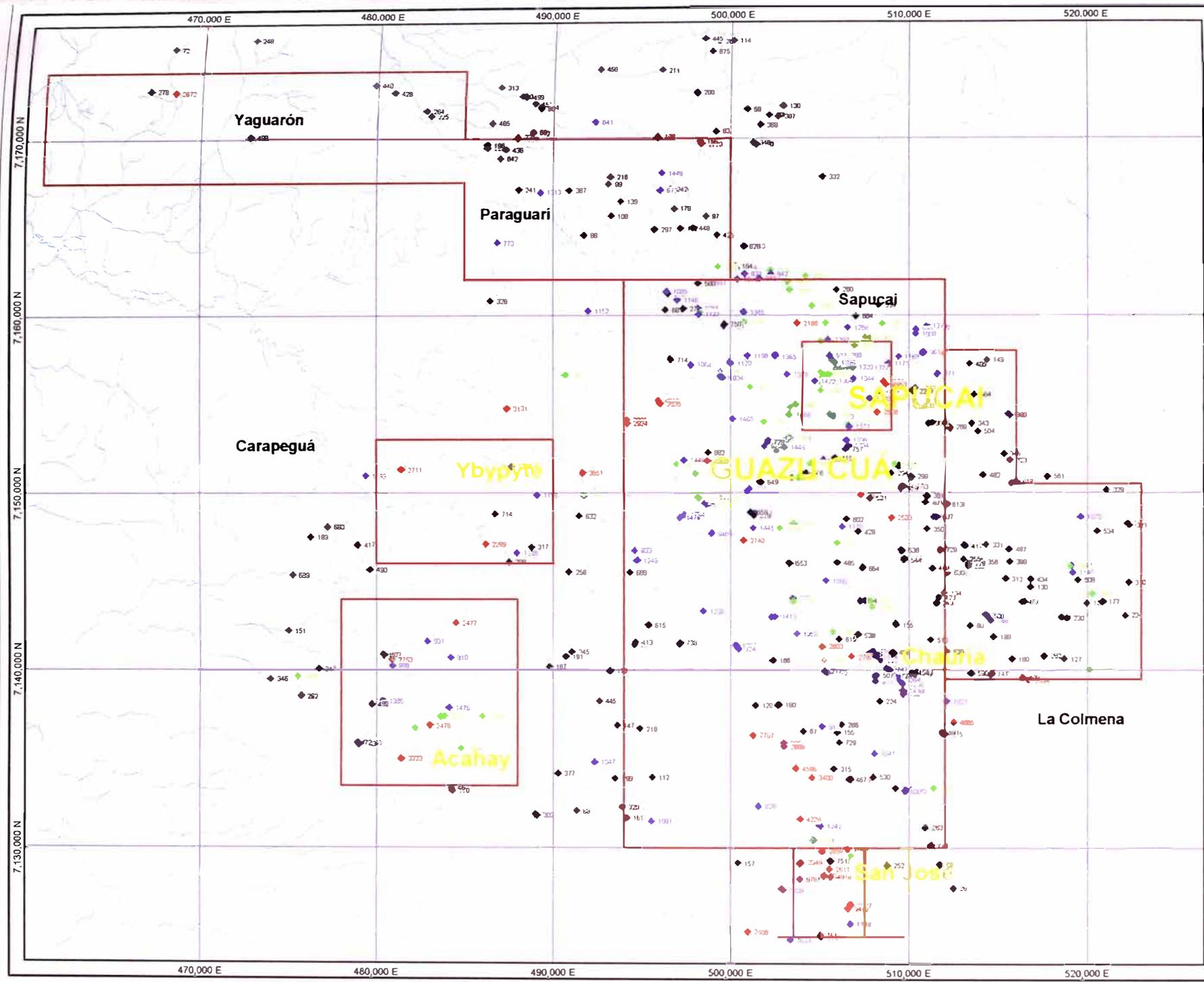
Límites de Demarcación

Base from DIF de demarcación_01.dwg
 Layer: CLASIF
 Contour: Boundary

Scale: 1:50,000
 0 100 200 300 400 500 600 700 800 900 1000
 1:100,000 1:150,000 1:200,000
 1:250,000 1:300,000
 1:400,000 1:500,000
 1:600,000 1:700,000
 1:800,000 1:1,000,000



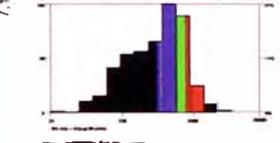
Univ.Nacional de Ingenieria
PROSPECTO SAPUCAI
 Programa de Muestreo Regional
 GEOQUIMICA DE BARIO (-200)
 Sedimentos de Escorrentia
 Figura II.6.10



EXPLANATION

Manganese máx. -200 (ppm) en Sedimentos

Database: Microsoft Access; Program: Genstat 6.04
 File and table: TOTAL_SAPUCAI_mn_ppm
 Contour interval: 100 by 100 ppm
 Label: 1000 by 100 by 100 ppm
 Contour style: solid
 Contour color: black



Class boundaries for this plot
 75 100 125 150 175 200 225 250 275 300 325 350 375 400 425 450 475 500 525 550 575 600 625 650 675 700 725 750 775 800 825 850 875 900 925 950 975 1000
 Number: 708
 Minimum: 75
 Maximum: 1000
 Average: 320.7
 Std Dev: 187.7

Límites de Denuncias

Line from 200 to 2000 ppm
 Line from 1000 to 1000 ppm
 Line from 1000 to 1000 ppm

Scale 1:50,000
 0 100 200 300 400 500 600 700 800 900 1000
 0 100 200 300 400 500 600 700 800 900 1000
 0 100 200 300 400 500 600 700 800 900 1000

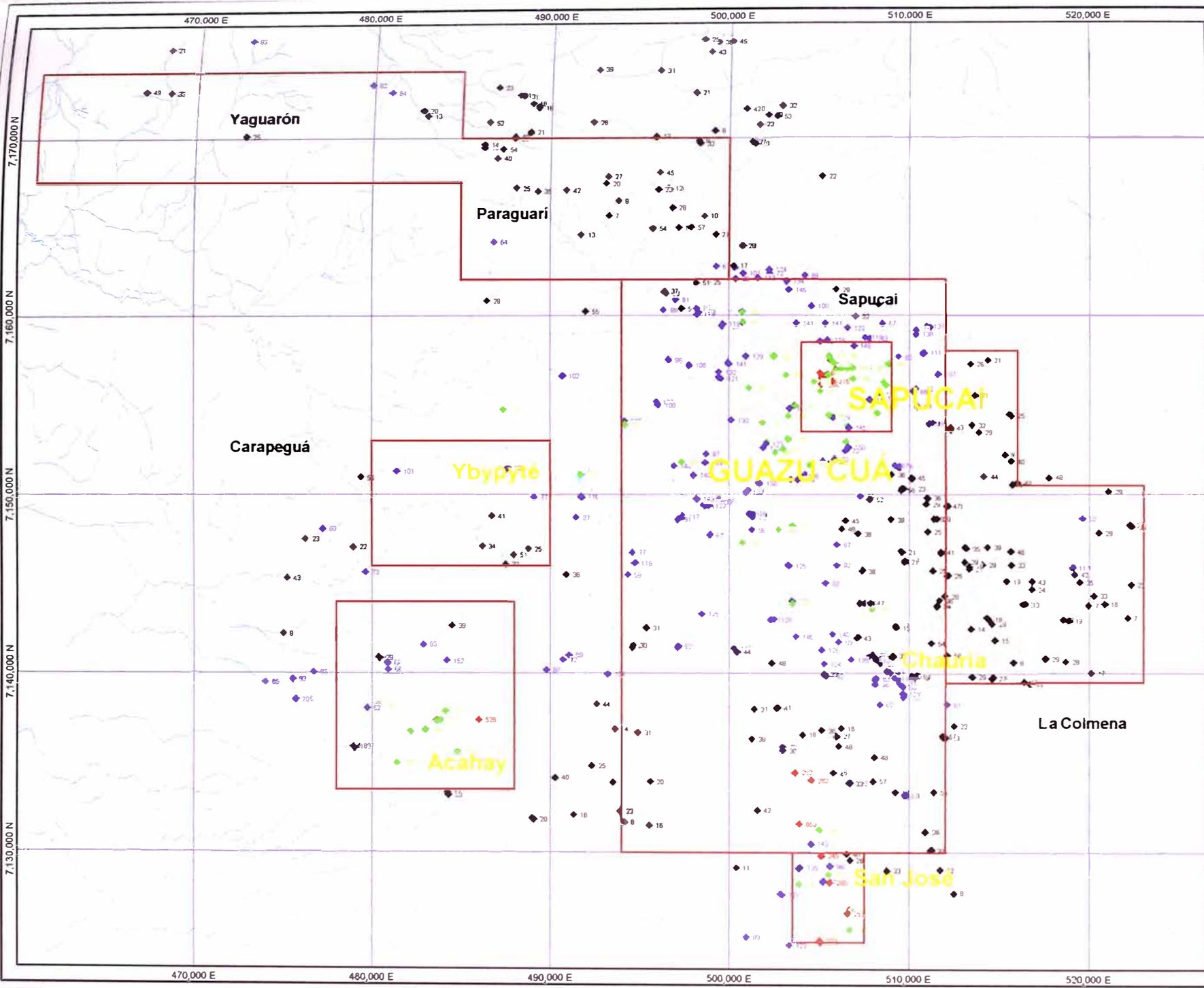


Univ. Nacional de Ingeniería

PROSPECTO SAPUCAÍ

Programa de Muestreo Regional
 GEOQUÍMICA DE MANGANESO (-200)
 Sedimentos de Escorrentía
 Figura II.6.11

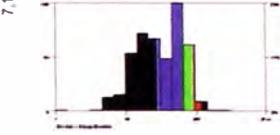
INSTITUTO VENEZOLANO DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS
 Caracas, JUN 20, 2002, 14:47:53
 C:\Programas\MapInfo\MapInfo



EXPLANATION

Vanadio media -200 (ppm) en Sedimentos

Contorno: Intervalo Arreglo, Interpolado - Contorno Auto
 Tendencia hacia TOTAL SAPIUCAI, V. ppm
 Contorno colores varia por V. ppm
 Límites colores varia por V. ppm
 Cuadrado Negro: una muestra
 Contorno líneas sin numeradas



Clase Intervalo por V. ppm
 7 - 10.5: 224 muestras
 10.5 - 154.20: 1028 muestras
 154.220 - 405: 598 muestras
 271 - 174.30: 1732 muestras

Estadística por V. ppm en ppm
 Máximo: 398
 Mínimo: 38
 Intervalo: 360
 Promedio: 65
 StdDev: 74

Límite de Demarcación

Color línea: DIF. del demarcado: 200.000
 Límite: CLASIFICACION
 Contorno: Interpolado

UTM 2000
 UTM: 480.000 E, 7.130.000 N
 UTM: 470.000 E, 7.170.000 N
 UTM: 490.000 E, 7.140.000 N
 UTM: 510.000 E, 7.140.000 N



Univ. Nacional de Ingeniería
PROSPECTO SAPUCAI
 Programa de Muestreo Regional
 GEOQUÍMICA DE VANADIO (-200)
 Sedimentos de Escorrentía
 Figura II.6.12

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
 Facultad de Ingeniería
 Laboratorio de Hidráulica y Sedimentación

III – GEOLOGÍA LOCAL

El área de Sapucaí se emplaza en los remanentes del núcleo de un edificio volcánico (estratovolcán) fuertemente erosionado (Tobey, 2000). El magma alcalino que formó este centro volcánico fluyó a través de fallas profundas en el margen norte del rift de Asunción, atravesando una potente secuencia sedimentaria constituida por lutitas y limolitas arcósicas marino someras del Pérmico sobreyacidas por conglomerados y limolitas fluviales Jurásicas.

Los afloramientos en la zona de estudio son escasos (<5%) y pequeños. El plano geológico interpretativo mostrado en la figura III.1 se levantó con la información geológica recopilada de afloramientos, de las trincheras y canales, de los fondos de los arroyos y de las perforaciones tipo auger. La figura III.2 muestra una vista panorámica de Sapucaí, en donde se aprecia la ausencia de afloramientos y la amplia cobertura de suelos y vegetación.

III.1 EVOLUCIÓN GEOLÓGICA

III.1.1 Área de Sapucaí

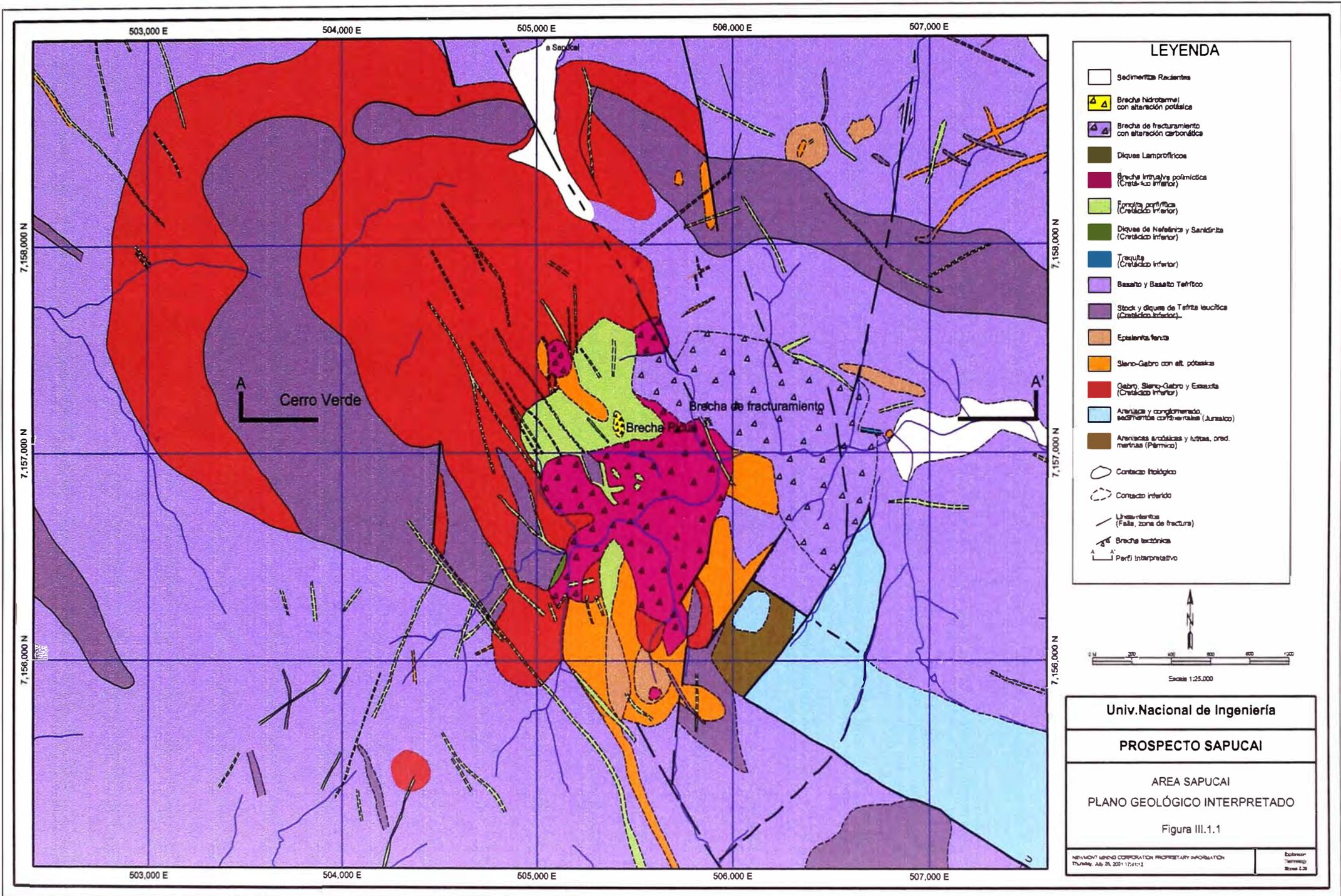
Las intrusiones tempranas consisten de gabro, monzogabro y esexita, seguida por sienita a monzogabro con sectores de episienita. Estas intrusiones se emplazan en el anillo externo del complejo Sapucaí y constituirían los inicios de un gran edificio volcánico.

Stocks y diques de tefrita leucítica se emplazaron a lo largo de zonas de debilidad en fallas anulares parcialmente elongadas en la dirección noroeste-sureste (anillo interno). Pudieron haberse emplazado también derrames de lavas tefríticas que han sido completamente erosionadas.

Flujos de lava basáltica alcanzaron la superficie a través de fisuras profundas asociadas al borde del rift y a fracturamiento radial alrededor del núcleo de Sapucaí. Estos flujos son más potentes en paleodepresiones topográficas relacionadas a movimientos en bloque del rift. Posiblemente y de manera contemporánea, se sucedieron los eventos extrusivos provenientes del cuello volcánico principal de Sapucaí, con flujos lávicos y piroclásticos de composición basáltica a traqui-basálticas.

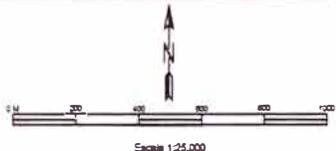
Diques de traquita, nefelinita y sanidina nefelinítica se emplazaron a lo largo de estructuras de dirección predominante noroeste-sureste y en menor proporción en la dirección noreste-suroeste. Diques y stocks fonolíticos con textura afanítica y porfirítica se emplazaron como eventos magmáticos tardíos.

El posible vaciamiento de la cámara magmática produjo una subsidencia local y un fracturamiento generalizado hacia el sector norte del núcleo ígneo, afectando a los flujos de basaltos produciendo una brecha de fracturamiento o *crackle breccia*.



LEYENDA

- Sedimentos Recientes
- Brecha hidrotermal con alteración pólsica
- Brecha de fracturamiento con alteración carbonática
- Diques Lamprofíricos
- Brecha intrusiva pliocénica (Cretácico Inferior)
- Formación porfírica (Cretácico Inferior)
- Diques de Nefelina y Sanidrina (Cretácico Inferior)
- Tefrito (Cretácico Inferior)
- Basalto y Basalto Tefritico
- Stock y diques de Tefrito leucitas (Cretácico Inferior)
- Epitelita, fenta
- Sieno-Quatro con alt. pólsica
- Gabro, Sieno-Quatro y Enxauta (Cretácico Inferior)
- Arenas y conglomerado, sedimentos continentales (Jurásico)
- Arenas arcólicas y lutitas, pred. marinas (Plioceno)
- Contacto litológico
- Contacto inferido
- Lineamientos (Falla, zona de fractura)
- Brecha tectónica
- Perfil Interpretativo



Univ. Nacional de Ingeniería
PROSPECTO SAPUCAI
AREA SAPUCAI PLANO GEOLÓGICO INTERPRETADO
Figura III.1.1
<small>MINISTRY MINING CORPORATION PROPRIETARY INFORMATION Thursday, July 26, 2012 17:41:12</small>



Figura III.2 Foto panorámica de Sapucaí (vista hacia el sur)

Brecha Picuá con mineralización aurífera ubicada en la parte central del anillo interno. Hacia izquierda se tiene la brecha de fracturamiento en basaltos. Hacia el fondo a la izquierda se el horst constituido por sedimentos Pérmicos y Jurásicos. A la derecha se tiene a Cerro Verde, el rasgo topográfico más notorio de la zona constituido por un stock tefrítico.

Como parte de los últimos eventos en el sistema, se emplazaron una serie de diques lamprofíricos (ó diques biotíticos) y brechas de diatrema principalmente dentro y alrededor del centro de las intrusiones anidadas. Es probable que la sulfidización se haya producido junto con estos eventos.

El brechamiento hidrotermal tardío, tipificado por la zona de la Brecha Picuá, fue seguido por la alteración hidrotermal de feldespato potásico que afectó zonas con permeabilidad favorable.

III.1.2 Área de Guazu Cuá

Guazu Cuá es un área casi completamente plana ubicada en la zona central del rift de Asunción, en el punto medio entre Sapucaí y Acahay. El área fue seleccionada para estudio detallado basados en interpretación indirecta de datos geofísicos (magnetometría y radiometría aérea) y geoquímicos (muestreo de sedimentos de escorrentía). Normalmente, presenta una potente cobertura y desarrollo de suelo no transportado (saprolita) que puede tener espesores entre 3 y 9 m.

La geología de Guazu Cuá es relativamente simple y mayormente inferida, constituida casi en su integridad por flujos de lavas basáltica con textura porfírica predominante, de potencias métricas (según los sondajes), cortados por algunos diques de traquita-sienita. Algunas de éstas rocas son visibles como sub-afloramientos en el sector este de Guazu Cuá, cerca al sondaje SAP-002 (figura III.8.1). También se han determinado niveles de autobrecha en los basaltos en pequeños afloramientos hacia el sector sur.

Se infiere que los basaltos de Guazu Cuá (y de todo el centro del rift) provienen de derrames fisurales producidos a través de las grandes fallas que controlan los bordes del rift, durante el Cretácico inferior (figura II.3.5). No hay evidencias que sugieran su origen en los centros volcánicos de Sapucaí o Acahay. Las potencias de los flujos alcanzan varios metros (3 a 7 m) y presentan una gradación de autobrechas hacia la base y niveles con mayor contenido de gases hacia el tope, características observadas en los testigos.

No se han observado en los escasos afloramientos la presencia de zonas de alteración o simple brechamiento que pudieran sugerir algún signo de mineralización. Únicamente en los alrededores del sondaje SAP-002 se detectó algunas venillas de ortoclasa (1-5 mm. de espesor) cortando los basalto que podría ser el origen de la pequeña anomalía de potasio determinada en dicha área (figura III.6.10).

Las evidencias magnetométricas en Guazu Cuá sugerían la presencia de una estructura circular que podría deberse a un cuerpo de brecha o un mega cuello volcánico erosionado y completamente cubierto por lavas basálticas posteriormente.

III.2 PETROGRAFÍA ÍGNEA

El complejo Sapucaí es un área en donde se superponen una serie de rocas ígneas de naturaleza intrusiva y extrusiva de composición alcalina, que forman parte de un antiguo edificio volcánico, hoy bastante erosionado. La zona de Guazu Cuá en cambio es bastante simple y está constituido predominantemente por derrames lávicos de composición basáltica subaflorantes.

A continuación se describirán macroscópicamente las características mineralógicas y texturales de las principales litologías ígneas determinadas en las áreas de Sapucaí y Guazu Cuá. Cada descripción va acompañada de la figura respectiva para su mejor comprensión. Se debe destacar que los estudios se efectuaron a nivel de prospección y no se justificaba en el momento, trabajos más detallados como de secciones delgadas sistemáticas, difractometrías de rayos X, etc. Existen estudios petromineralógicos muy detallados en la literatura efectuados por especialistas internacionales que no serán tratados en el presente trabajo (Comin-Chiaramonti et al, 1997).

La clasificación de rocas (efectuado en función de la composición mineral basada en Strekeisen 1972 recomendada por la IUGS) nos indica la existencia de tres grupos: gabros – sienitas, sienitas de feldespatoides – teralitas y ultramáficos (ver figura III.2.1). El diagrama TAS (*total alkali vs silica*) generado a partir de la información geoquímica recopilada por Comin-Chiaramonti en 1997 confirma la clasificación modal antes mencionada (figura III.2.2a y III.2.2b).

III.2.1 Gabros y Sienitas

En el denominado clan de los gabros alcalinos tenemos rocas intrusivas equigranulares, de grano grueso y de grano medio: gabros, sienitas y monzogabros. Entre las rocas extrusivas, mayormente con texturas porfiríticas tenemos: basaltos, traquitas y traqui-basaltos. Adicionalmente se tiene rocas peralcalinas como la sanidinita.

El gabro presenta granulometría variable (figuras III.2.3 y III.4.10), con tamaños de granos entre fracciones de milímetros hasta de algunos milímetros, constituidos por piroxenos (augita), anfíboles (hornblenda), plagioclasas, biotita e inclusive ortoclasa.

El monzo gabro (figura III.2.4) presenta gradaciones a sienita con aumento gradual en el contenido de feldespatos potásicos, principalmente ortoclasa y biotita. Estos últimos se presentan como minerales esenciales junto con algunos piroxenos. Se caracteriza por la coloración rosácea general de la roca, habiéndose utilizado en algunos casos el término episienita.

El basalto (figuras III.2.7, III.4.11, III.4.12) presenta gradaciones locales a traqui-basaltos y traquitas, con incremento sustancial en el contenido de biotitas. Normalmente presenta textura porfirítica, con fenocristales de piroxenos (augita) de hasta más de 1 cm en matriz posiblemente plagioclásica con coloración gris a gris rojizo. Excepcionalmente, exhibe fenocristales de leucita hasta un 5%. El contenido de minerales magnéticos (magnetita, ilmenita) es significativo (3-7%) que se refleja en su alta susceptibilidad magnética.

III.2.2. Sienitas de feldespatoídes y Teralitas

En el grupo de rocas feldespatoídes tenemos principalmente a las de nivel de emplazamiento intermedio (subvolcánicas) con texturas porfiríticas: tefritas, tefri-fonolitas, fono-tefritas, essexitas, fonolitas, nefelinitas y leucititas, todas con matriz afanítica, aunque no es rara la ocurrencia de estas rocas completamente afaníticas como diques tardíos.

La tefrita puede gradar a una tefrita leucítica (figura III.2.5) o inclusive a una leucitita (con 60-70% de leucita de contenido total), los fenocristales de clinopiroxenos (augitas) tienen dimensiones de varios milímetros y llegan a superar el centímetro, con porcentajes de hasta 25%. Los fenocristales de leucita son proporcionalmente más pequeños que los piroxenos, alcanzando tamaños de hasta de 1 cm. Se estima que la matriz está constituida por plagioclasas y otros feldespatoídes. De no ser por la presencia de feldespatoídes visibles, podría confundirse macroscópicamente con un derrame de basaltos.

La fonolita (figura III.2.8) es la roca que contiene la mineralización aurífera en Sapucaí. Es típica la textura porfirítica cuando se presenta en stocks y cuerpos tabulares grandes (de orden métrico), y textura afanítica cuando se presenta en diques angostos (de algunos centímetros). Su coloración es también una característica particular, con un color verde olivo claro muy similar al de la andesita, se diferencia de esta última por el predominio de feldespatos potásicos por encima de las plagioclasas. Los fenocristales de sanidina alcanzan dimensiones milimétricas a centimétricas (hasta 3 cm), algunas veces están alineados paralelamente a los bordes del stock o del dique, indicando cierta dirección de flujo. La nefelina se presenta en diámetros más pequeños y comparte la matriz junto a las plagioclasas y otros feldespatoídes.

La essexita (figura III.2.6) muestra claramente las plagioclasas en contenidos importantes pero con cristalizaciones reducidas, junto a feldespatos potásicos (ortoclasa), piroxenos, anfíboles y feldespatoídes en la matriz (inferidos).

III.2.3 Ultramáficos

En el grupo de rocas ultramáficas tenemos principalmente diques de composición lamprofídica, piroxenítica y biotítica. Se presentan en geometrías tabulares muy angostas de sólo algunos centímetros a decímetros de potencia, y debido a su constitución, son fácilmente intemperizables y erosionables, por lo cual los afloramientos son muy escasos. Parecen haberse emplazado previos a las últimas etapas de diques fonolíticos. Tienen textura gruesa y el contenido de biotita puede alcanzar el 30-40% de la roca, con otros ferromagnesianos acompañantes. Lamentablemente no se tiene ninguna fotografía de estas rocas.

DIAGRAMA DE STRECKEISEN

M<90%

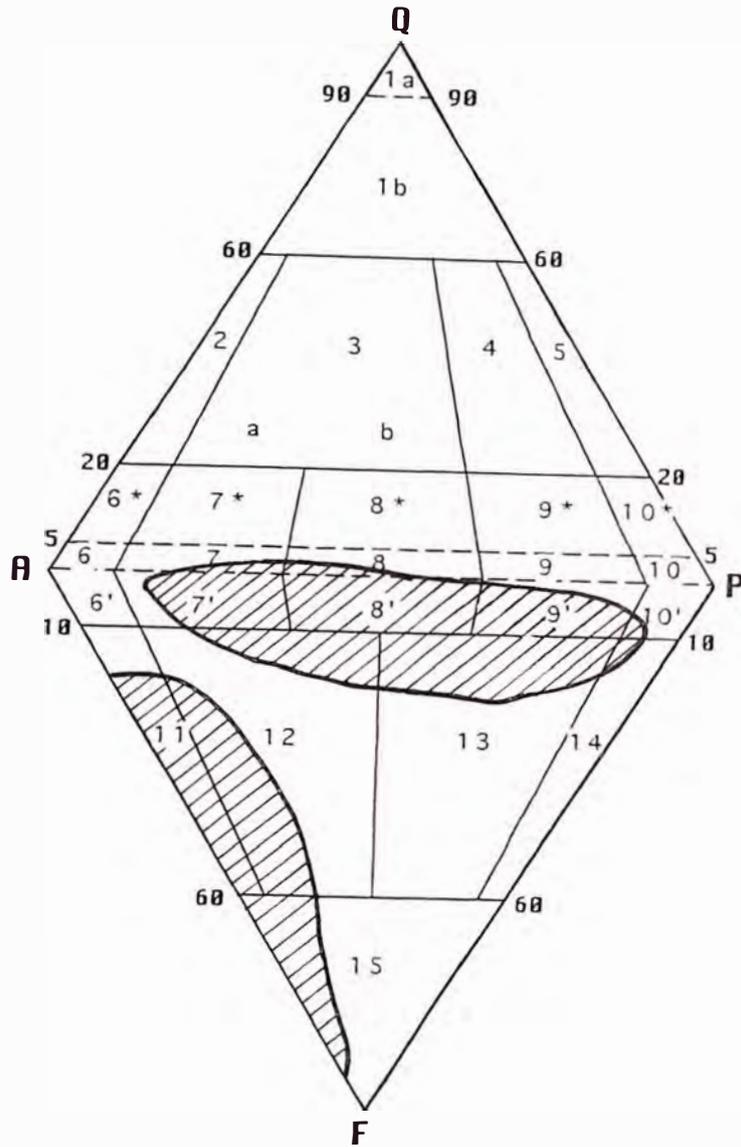


Figura III.2.1 Diagrama de Strekeisen de Clasificación de Rocas Ígneas

El diagrama muestra la distribución de las rocas ígneas de Sapucaí según sus principales minerales constituyentes. Q = cuarzo, A = feldespato alcalino (feldespato potásico+perilita+albita con $An < 5$), P = plagioclasa con $An > 5$, F = feldespatoídes y M = máficos.

Campo	Rocas Intrusivas	Rocas Extrusivas
1	Granitoide rico en cuarzo	---
2	Granito de feldespato alcalino	Riolita de feldespato alcalino
3	Granito	Riolita
4	Granodiorita	Dacita
5	Tonalita	Cuarzo-Andesita
6	Sienita de feldespato alcalino	Traquita de feldespato alcalino
7	Sienita	Traquita
8	Monzonita	Latita
9	Monzodiorita – Monzogabro	Latiandesita – Basalto
10	Diorita – Gabro	Andesita – Basalto
11	Sienita de feldespatoídes	Fonolita
12	Monzosienita feldespatoídica	Fonolita Tefrítica
13	Essexita	Tefrita Fonolítica
14	Teralita	Tefrita – Basanita
15	Foidolita	Foidita

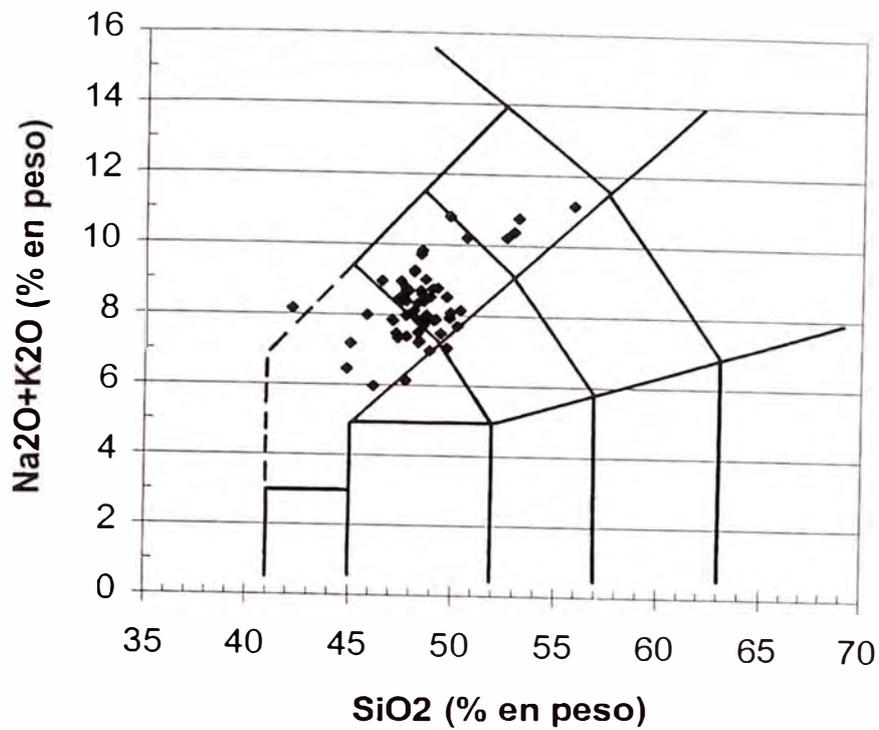
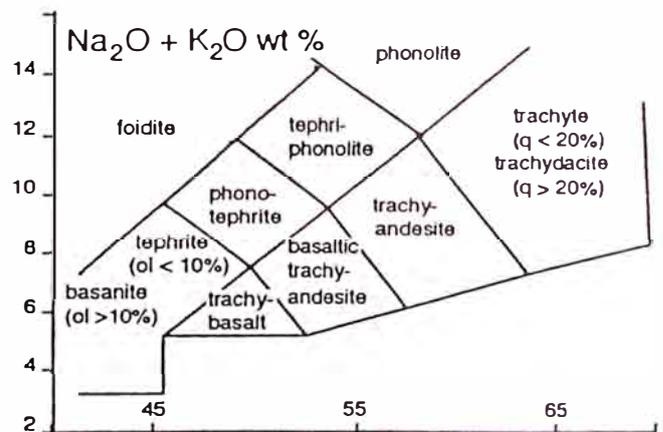
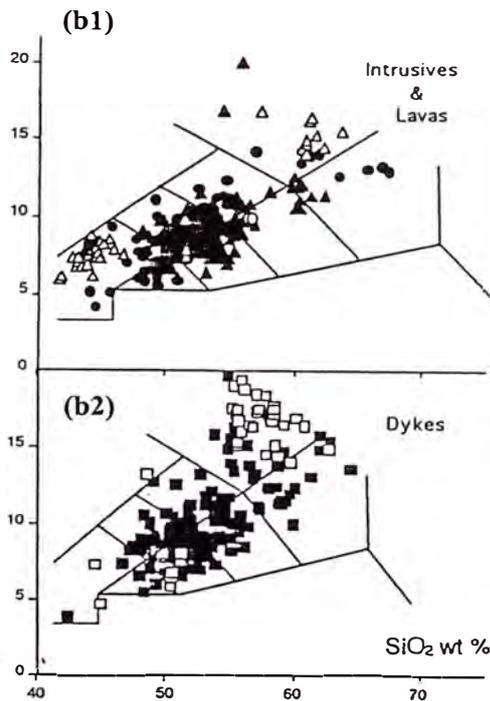


Figura III.2.2a Diagrama TAS de Rocas Ígneas de Sapucaí

La mayor cantidad pertenece al campo de tefritas a fonotefritas (comparar con diagrama de distribución de rocas alcalinas de la figura c. Para elaborar esta diagrama se utilizó los datos contenidos en la tabla A de los anexos.



(c) Diagrama TAS con la nomenclatura Le Bas

Figura III.2.2b Diagrama TAS de Rocas Ígneas de los volcánicos Asunción

Los diagramas TAS a continuación compilan la totalidad de rocas ígneas de los eventos intrusivos-extrusivos del cretácico inferior en el rift de Asunción. Se han diferenciado las lavas e intrusivos (b1) de los diques (b2).



Figura III.2.3 Gabro

Muestra de mano de localidad tipo en Sapucaí (505,120E, 7158,170N). Gabro con textura fanerítica equigranular compuesta por biotita, augita, plagioclasa y ortoclasa.

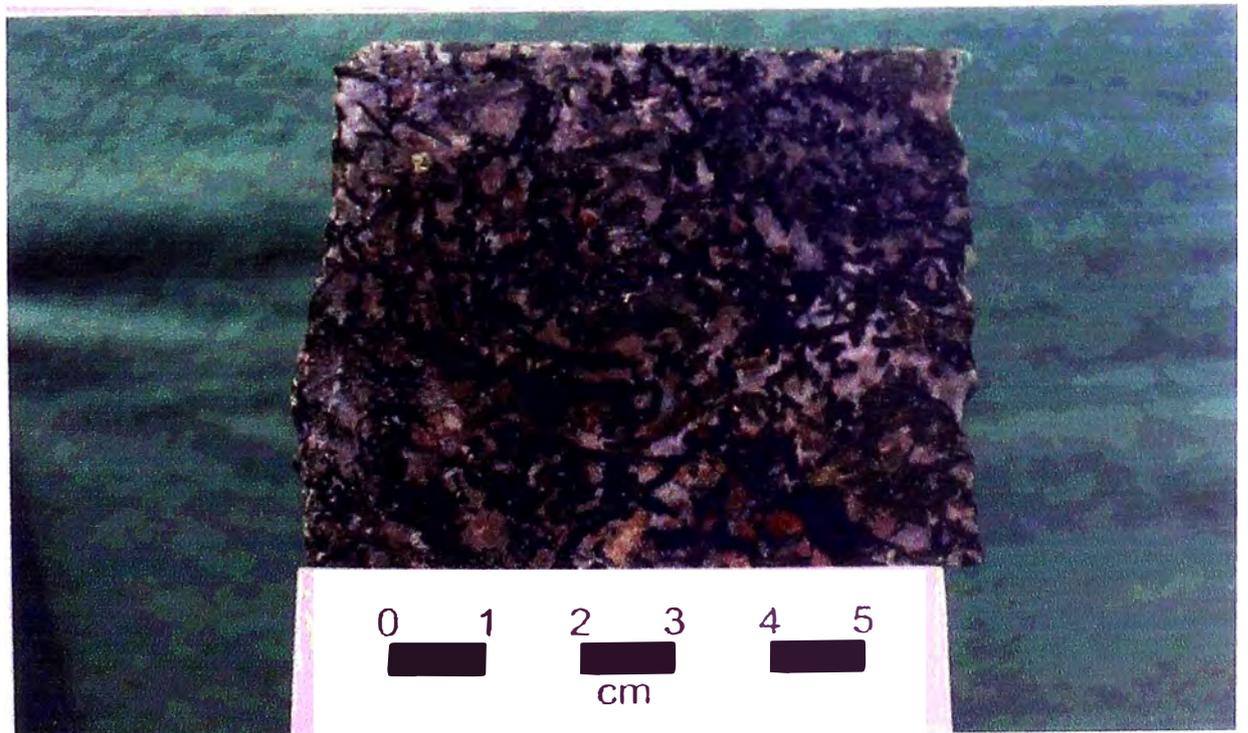


Figura III.2.4 Sieno Gabro (Monzo gabro)

Testigo de sondaje SAP-009 a 209.2 m. Sieno gabro con alteración feldespática sobreimpuesta, con nidos de biotita-flogopita secundaria en una matriz feldespaticizada con tono rosáceo.



Figura III.2.5 Tefrita Leucítica

Muestra de mano de localidad tipo en Sapucaí (504,573E,7156,530N), en el flanco este de Cerro Verde. Tefrita leucítica, fenocristales de clinopiroxenos (20%) y fenos de feldespatoides (leucita: 10-15%, diámetro 2-4 mm) reemplazados casi completamente por ortoclasa (color salmón), en matriz afanítica posiblemente plagioclásica.

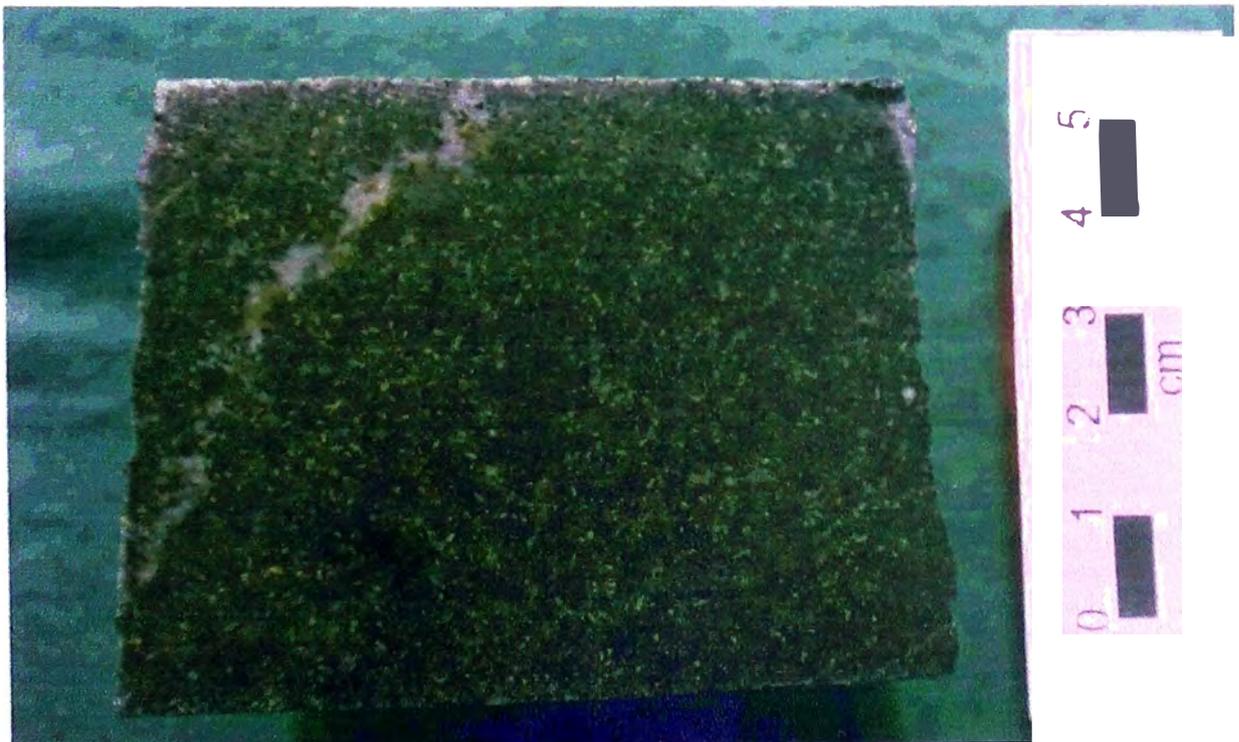


Figura III.2.6 Essexita

Testigo de sondaje SAP-004 a 33.5 m. Muestra tipo de Essexita clásica de grano fino a medio: plagioclasa, ortoclasa, clinopiroxeno y anfíboles como minerales esenciales. Esfena, magnetita y pirita como minerales accesorios.



Figura III.2.7 Basalto Porfírico

Testigo de sondaje SAP-007 a 132.5 m. Dique basáltico porfírico. Fenos de augita y biotita-flogopita en una matriz de grano fino que ha sido reemplazada parcialmente por ortoclasa rosada.



Figura III.2.8 Fonolita Porfírica

Muestra de afloramiento al sur del sondaje SAP-009 en Sapucaí. Típica fonolita de grano grueso. Los fenocristales de sanidina presentan cierto alineamiento (cuando pertenecen a un dique) y alcanzan diámetros de hasta 3 cm. La nefelina se presenta en fenocristales milimétricos (normalmente no son visibles). La matriz es invariablemente afanítica de color gris verdoso.

III.3 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

En el área de Sapucaí el control estructural predominante tiene dirección nor-oeste paralelo al borde norte del rift de Asunción. Adicionalmente se tienen estructuras radiales excéntricas al núcleo del centro volcánico, en donde se han emplazado diques tempranos y tardíos, y también estructuras circulares, en donde se han emplazado los cuerpos de tefritas y gabros. Estos patrones circulares definen dos anillos que resaltan topográficamente y magnéticamente (figura III.6.6): el anillo externo o *outer rim* tiene 4 km de diámetro y el anillo interno o *inner rim* tiene 2 km de diámetro.

Localmente se han podido cartografiar algunas fallas y zonas de fracturamiento y brechamiento, pero debido a la ausencia de afloramientos, ha sido muy complicado correlacionar su continuidad (excepto en algunos puntos). Sin embargo, en el mapa geológico (figura III.1.1) se muestran varias fallas que han sido interpretadas mediante ortofotos y no fueron cartografiadas en el campo.

Dentro del tectonismo distensivo con dirección noreste-suroeste predominante en el rift durante el emplazamiento del complejo Sapucaí, han habido procesos compresivos locales de dirección noroeste-sureste (Velásquez, 1999) que han controlado de alguna manera la rotación en la dirección de emplazamiento de los diques en el tiempo, es así que se han determinado tres etapas:

Etapa inicial: diques de basaltos alcalinos con dirección N 55°W.

Etapa intermedia: tefritas con dirección N 45°W.

Etapa final: fonolitas y fonolitas peralcalinas con dirección N 35°W.

Adicionalmente se tienen algunos sistemas de diques menores con dirección norte-sur y noreste-suroeste, con composición traquítica y lamprofírica.

Asociado al tectonismo distensivo en la dirección noreste-suroeste, y favorecido por las intrusiones subvolcánicas, en el sector sureste del complejo se formó un pilar tectónico o horst, controlado por fallas normales de rumbo noroeste-sureste. Este levantamiento ha puesto en contacto a los intrusivos sieníticos con sedimentos Pérmicos (limolitas y lutitas) que infrayacen a los conglomerados y areniscas Jurásicas.

La formación de brechas intrusivas (figuras III.3.1a y III.3.1b) en el núcleo del complejo volcánico de Sapucaí podría explicarse postulando que el rápido vaciamiento de la cámara magmática producto de erupciones violentas, produjo un colapso del techo de la cámara, subsidencias focalizadas y un fracturamiento generalizado, asimilando bloques heterolíticos del techo de la cámara y sus alrededores al interior del magma, dando lugar finalmente a la brecha intrusiva. Los bloques de esta brecha tienen tamaños variables que van desde algunos centímetros, hasta algunos metros. La matriz de la brecha está constituida por un stock de composición sienítica a gabroica con textura porfirítica. La brecha intrusiva cubre una extensión de casi 1000 x 1000 m.

La brecha de fracturamiento o *crackle breccia* (figuras III.3.3a y III.3.3b) en cambio, se ubica sólo en el sector noreste del núcleo ígneo de Sapucaí y podría deberse a una subsidencia en bloque y un fracturamiento ligado al proceso que formó la brecha intrusiva. Afecta principalmente a los basaltos y en menor proporción al gabro circundante. Cubre una extensión aproximada de 1200 x 500 m con intensidad de

fracturamiento variable. En esta brecha, los fragmentos no presentan rotación ni desplazamiento, sólo mayor espacio entre ellos (desde milímetros hasta algunos centímetros).

Las brechas de diatrema (figuras III.3.2a y III.3.2b) son eventos tardíos y se produjeron exclusivamente en el interior del cuerpo principal de brecha intrusiva y no han sido cartografiadas en superficie debido a su menor resistencia a la erosión. Sólo fueron reconocidas en los testigos de perforación, en especial en el sondaje SAP-003 ubicado al sur de la brecha Picuá. Sus dimensiones alcanzan varios metros de diámetro, con formas de cuellos volcánicos. La proporción de matriz versus fragmentos (4 a 1), el grado de redondeamiento de clastos y su heterogeneidad, revelan la magnitud del evento extrusivo, muy rápido y con gran desplazamiento o transporte del material.

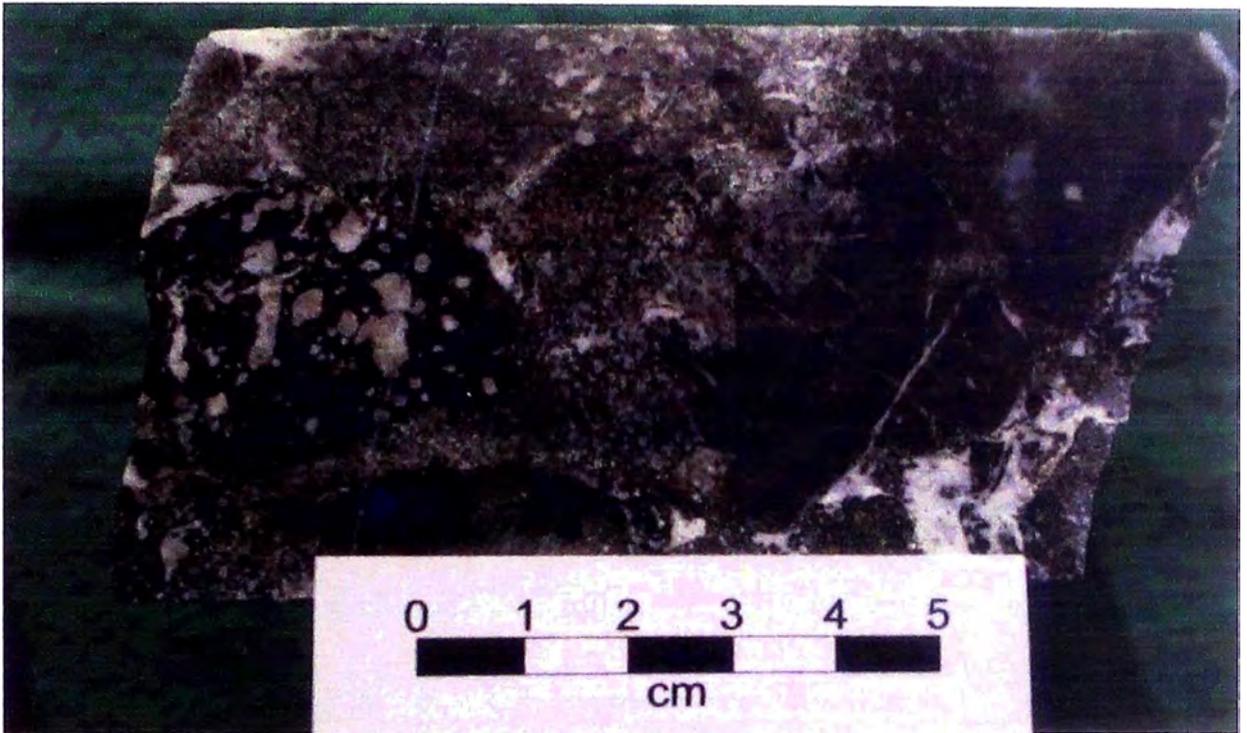


Figura III.3.1a Brecha Intrusiva

Testigo de sondaje SAP-011 a 117.3 m. Brecha intrusiva polimictica, matriz gabroica, fragmentos de brecha hidrotermal. Ankerita relleno de espacios abiertos de la brecha y fcnocristales. Pirita de grano fino disseminada 5%.



Figura III.3.1b Brecha Intrusiva

Testigo del sondaje SAP-003, brecha intrusiva dominada por clastos de gabro-piroxenita y fonolita en una matriz essexítica. En línea azul se ha delimitado los clastos o fragmentos.

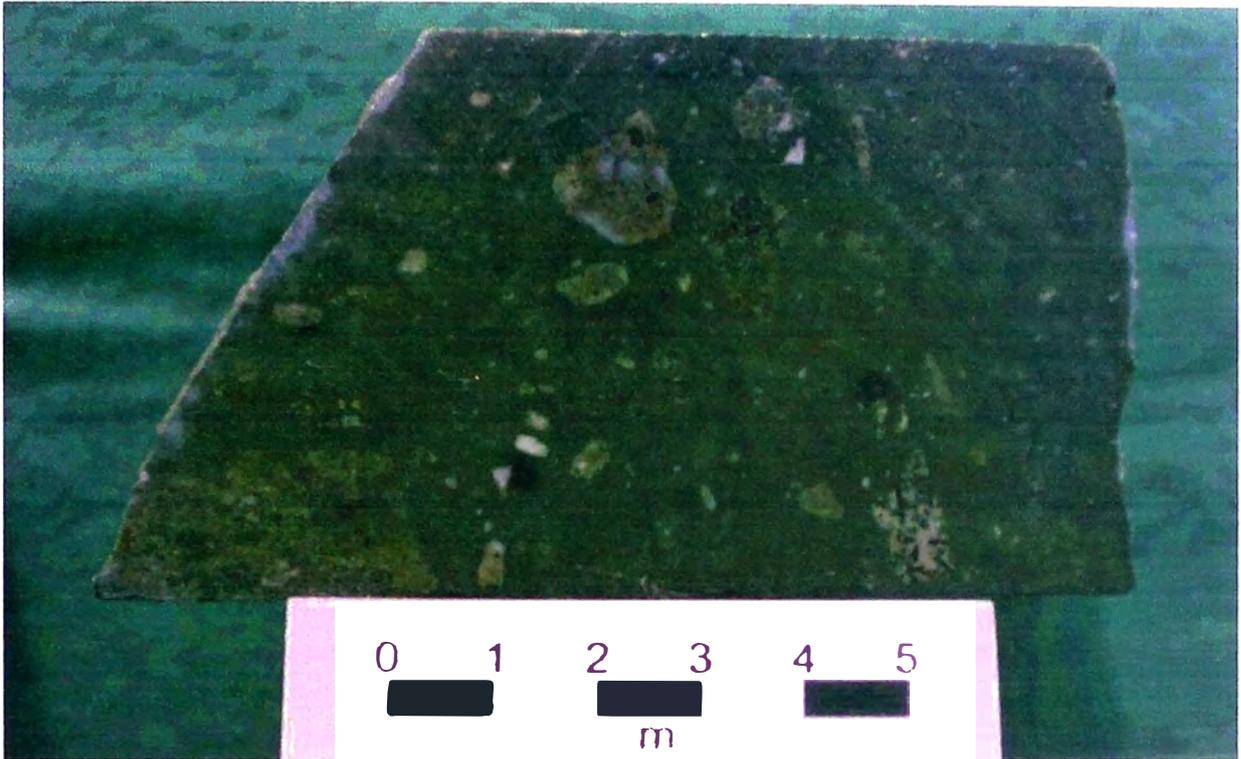


Figura III.3.2a Brecha de diatrema

Testigo de sondaje SAP-003 a 227.1 m. Brecha de diatrema con clastos polimícticos de tamaños milimétricos a centimétricos en una matriz essexítica. En esta muestra, la matriz representa cerca del 75% del total de la roca.

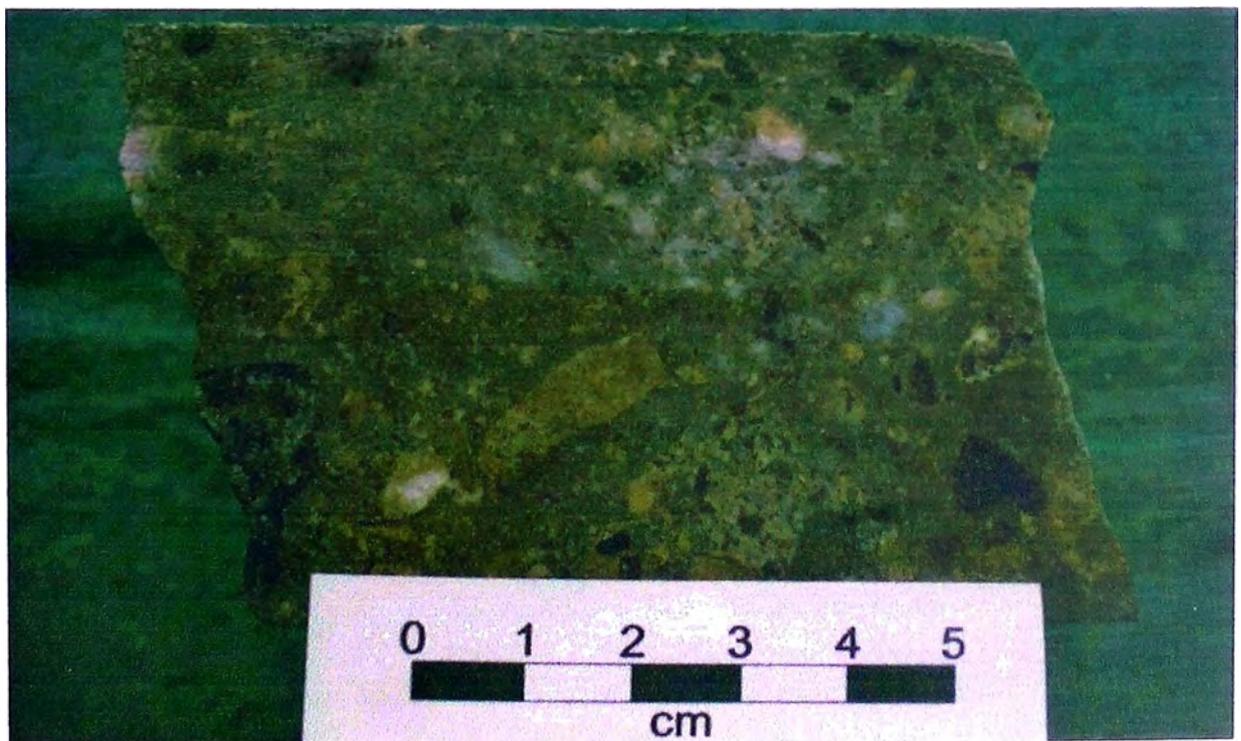


Figura III.3.2b Brecha de diatrema

Testigo de sondaje SAP-003 a 184.9 m. Brecha de diatrema con mayor proporción de clastos respecto a la matriz. Los clastos son polimícticos.



Figura III.3.3a Brecha de Fracturamiento o Crackle Breccia

Testigo de sondaje SAP-007 a 71.8 m. Brecha de fracturamiento en basaltos porfíricos. Los espacios abiertos han sido rellenados por siderita y calcita. Nótese el grado de alteración variable de los elastos.



Figura III.3.3b Brecha de Fracturamiento o Crackle Breccia

Testigo de sondaje SAP-007 a 148.1 m. Texturas típicas de autobrecha y brecha de colapso, en lavas basálticas porfíricas. En esta muestra igual que la anterior, el espacio abierto ha sido rellenado por siderita y calcita.

III.4 ALTERACIÓN

Los principales ensambles de alteración observados en Sapucaí y en Guazu Cuá, tanto en superficie como en los sondajes, se agrupan de la siguiente manera ordenados de mayor a menor temperatura: alteración potásica, carbonatización, alteración propilítica, zeolitización y fluoritización (figura III.4.1). Existe un predominio de alteraciones con contenido sódico y cálcico producto de la descomposición de las plagioclasas y feldespatos. Mas adelante se describirán las características de cada una de las alteraciones así como su distribución espacial.

La tabla a continuación (tabla III.4.1) resume los principales minerales primarios y de alteración, determinados por difracción de rayos X, que reafirma en algunos casos la mineralogía observada macroscópicamente.

Tabla III.4.1 Minerales Identificados por Difracción de Rayos X

Muestras de Testigos de la Brecha Picuá
(Según Odekirk, 2000)

Muestra 3392 Basalto propilitizado	Muestra 3393 Brecha intrusiva	Muestra 3394 Brecha hidrotermal
Analcima	Ankerita	Feldespato potásico
Diópsido	Plagioclasa	Sericita (trazas)
Plagioclasa	Feldespato potásico	
Feldespato potásico	Cuarzo	
Calcita	Sericita	
Magnetita		
Biotita		(figura III.4.3 y figura III.4.4)
Clorita		

Minerales ordenados decrecientemente según la intensidad pico del difractograma.

III.4.1 Alteración Potásica

La alteración potásica se emplaza en el núcleo del complejo alcalino de Sapucaí y es también el centro del sistema hidrotermal (figuras III.1.1 y IV.1.1). Afecta principalmente a la denominada Brecha Picuá y en menor proporción a la brecha intrusiva (figura III.1.1). El ensamble mineralógico es el siguiente: adularia-sericita (muscovita)-biotita-ortoclasa. Presenta normalmente una coloración rosácea a salmón, y color blanco en algunas oportunidades.

En la brecha Picuá (brecha hidrotermal en fonolitas, figura III.5.1), la alteración potásica la ha afectado casi en su totalidad convirtiendo a los fenocristales de sanidina en ortoclasa (figura III.5.2) y a la matriz plagioclásica de la fonolita en un ensamble de adularia-sericita, no identificables en muestra de mano (han sido reconocidos sólo en sección delgada, figuras III.4.4 y III.4.5). Debido a la alteración potásica, ésta brecha forma una topografía ligeramente prominente por la mayor resistencia a la erosión.

En la brecha intrusiva y en la brecha de diatrema (figuras III.4.6 y III.4.7), el grado de alteración potásica es moderado a débil, y de menor intensidad que en la brecha hidrotermal, debido al parecer al menor porosidad primaria de la roca. En términos generales, los fragmentos presentan mayor alteración que la matriz (sin halo de metamorfismo), deduciéndose que puedan provenir de zonas muy alteradas más profundas, ahora destruídas y asimiladas en la brecha. En algunos sectores de la brecha se ha observado cierto aumento en el contenido primario de biotita, en cristales muy pequeños que también podrían estar relacionado a la alteración potásica.

Adicionalmente, este proceso convierte los feldespatoides como la leucita a ortoclasa en las rocas alcalinas circundantes (tefritas principalmente, figura III.2.5). También ocurren manifestaciones aisladas de venillas milimétricas de feldespato potásico (ortoclasa) lateralmente a las zonas más alteradas (no constituyen un halo).

El análisis mediante PIMA (*Portable Infrared Multi-spectral Analyzer* o analizador multiespectral infrarrojo portátil) determinó la presencia de esmectita-illita diseminada en la matriz, reemplazando feldespatos y rellenando cavidades.

III.4.2 Carbonatización

La carbonatización se presenta mayormente en los basaltos (aunque también ha sido determinada en el gabro y en la brecha intrusiva en menor proporción) con el ensamble: calcita-ankerita-siderita, como matriz de las brechas de fracturamiento en contenidos que pueden alcanzar el 20% del total de roca (figuras III.4.8 y III.4.9). Es un tanto difícil discernir si los carbonatos diseminados en la matriz de la roca producto de la alteración de plagioclasas y/o feldespatos, provienen de una alteración propilitica propiamente dicha o de un proceso de carbonatización. Para fines prácticos, hemos definido como carbonatización, un contenido de carbonatos que supera el 10%.

Varietades de carbonatos determinados en el área:

Calcita	CaCO_3
Siderita	FeCO_3
Ankerita	$\text{CaFe}(\text{CO}_3)_2$

Existe un cierto zonamiento en la depositación de los carbonatos: siderita hacia los bordes y calcita hacia el núcleo. Asimismo, la carbonatización trae consigo la pérdida de la susceptibilidad magnética de la roca afectada, situación verificada en el basalto y en el gabro.

III.4.3 Propilitización

La alteración propilitica se manifiesta con presencia de epidota-cloritas-calcita-pirita en un halo externo al sistema principal, hasta un rango de varios cientos de metros. La epidota y clorita se han desarrollado a expensas de los ferromagnesianos pre-existentes (anfíboles y piroxenos): augita, hornblenda, etc (figuras III.4.10 y III.4.11).

III.4.4 Zeolitización

La zeolitización se presenta exclusivamente en los derrames basálticos fuera del área de Sapucaí. Las localidades donde se tiene esta alteración son: Guazu Cuá, Chauria y Cerro Porteño. El ensamble predominante es natrolita-laumontita-estilbita y se presenta rellenando vesículas y cavidades en solución sólida (pseudo serie) con otros carbonatos (calcita principalmente) en los niveles superiores de los flujos lávicos con alto contenido de gases que ha permitido la formación de vesículas y cavidades (figuras III.4.12a y III.4.12b). Las zeolitas pueden llegar a alcanzar el 25% del total de roca dependiendo del grado de porosidad primaria del basalto. La especie más común es la natrolita que se presenta en cristales aciculares formando agregados radiales con dimensiones de algunos centímetros. Le sigue la laumontita en cristales tabulares subhedrales con tamaños que alcanzan 10 mm. En menor proporción se presenta la estilbita, heulandita y analcima.

Las variedades de zeolitas encontradas son:

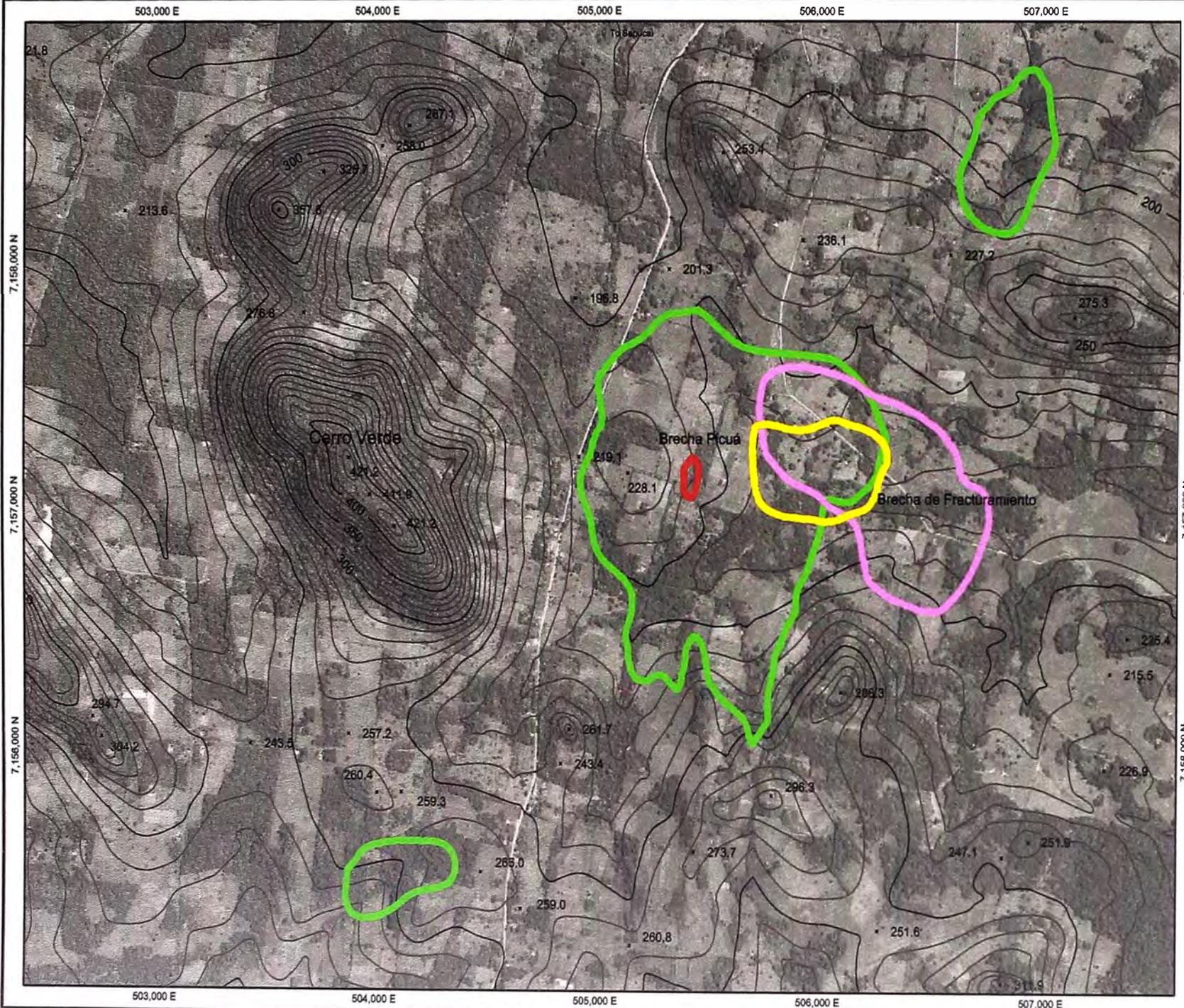
- Fibrosas:	natrolita	$\text{Na}_2[\text{Si}_3\text{Al}_2\text{O}_{10}]\cdot 2\text{H}_2\text{O}$
- Laminares:	heulandita	$(\text{Ca},\text{Na}_2)[\text{Si}_7\text{Al}_2\text{O}_{18}]\cdot 6\text{H}_2\text{O}$
	estilbita	$\text{Ca}[\text{Si}_7\text{Al}_2\text{O}_{18}]\cdot 7\text{H}_2\text{O}$
- Ortorrombicas	laumontita	$\text{Ca}[\text{Si}_4\text{Al}_2\text{O}_{12}]\cdot 4\text{H}_2\text{O}$
- Cúbicas:	analcima	$\text{Na}[\text{Si}_2\text{AlO}_6]\cdot \text{H}_2\text{O}$

III.4.5 Fluoritización

No es un proceso de alteración en sí, pues no existe un reemplazamiento de roca ni de minerales, pero es una etapa de removilización y depositación (similar al proceso de alunitización secundaria en los sistemas epitermales). La fluorita se presenta en el interior de las brechas hidrotermales con alteración potásica y en las brechas de fracturamiento con alteración carbonática, no se ha observado su presencia en las brechas intrusivas o en las brechas de diatrema. En la brecha Picuá, el contenido de fluorita está ligado directamente al incremento en el contenido de oro, situación que no ocurre en la brecha de fracturamiento en basaltos. No se ha encontrado fluorita fuera del núcleo del complejo de Sapucaí.

La fluorita (CaF_2) fue acarreada posiblemente como complejos fluorurados en etapas tardías dentro del sistema hidrotermal en soluciones sobresaturadas en calcio (Williams-Jones, 2000), y emplazada en niveles altos (probablemente con mayor contenido de volátiles), rellenando y tapizando todos los espacios abiertos pre-existentes, dentro de las brechas hidrotermales, en fenocristales lixiviados y en fracturas (figuras III.5.3 y III.5.4). Se estima que la ausencia de fluorita en la brecha intrusiva se debe a la falta de porosidad primaria de la roca y a que el nivel de emplazamiento era muy profundo y por ende de mayor temperatura.

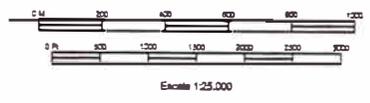
Ocurre en cristales euhedrales cúbicos y bipiramidales cúbicos de tamaños que alcanzan los 2-3 mm (normalmente son inferiores a 1 mm), en colores violáceos hasta negruzcos. Los cristales de fluorita expuestos a la intemperie pierden su coloración violácea, volviéndose translúcidos e incoloros.



LEYENDA

CONTORNO DE ALTERACIONES

-  POTÁSICA
-  CARBONATIZACIÓN
-  PROPILITIZACIÓN
-  FLUORITIZACIÓN



Univ.Nacional de Ingeniería	
PROSPECTO SAPUCAI	
ÁREA SAPUCAI PLANO DE ALTERACIONES	
Figura III.4.1	
NEA MONT LENO INCORPORATION PROPRIETARY INFORMATION D:\Work\July 23, 2001\17-4-12 178249\Mapas\244.dwg	Escalador: Tamaño: Bordes: 1,30



Figura III.4.2 Alteración Potásica sobre Brecha Hidrotermal

Brecha hidrotermal en fonolita con fuerte alteración feldespática (en tono rosáceo) reemplazando clastos. Textura tipo *jigsaw* de los fragmentos grano soportados. Algunas fracturas y espacios abiertos rodeando clastos angulosos han sido rellenos por cristales de cuarzo y fluorita (en color violeta claro).



Figura III.4.3 Alteración Potásica en Tefrita

Tefrita completamente reemplazada por alteración potásica (ortoclasa). Las cavidades son antiguos clinopiroxenos oxidados y lixiviados.

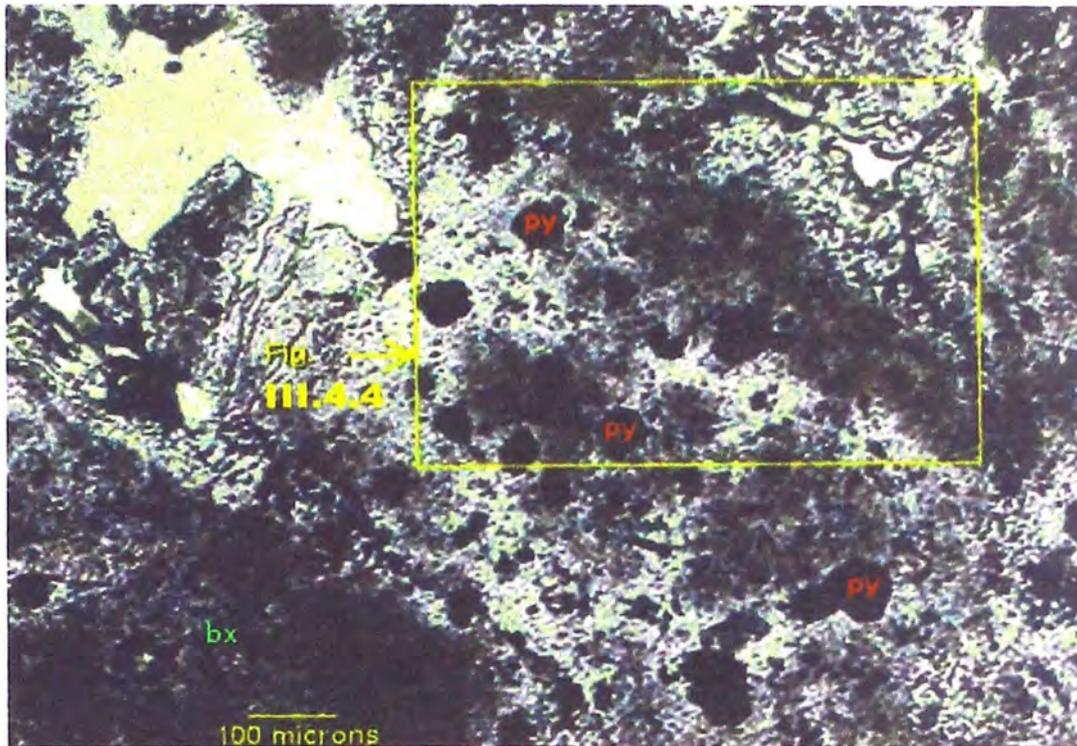


Figura III.4.4 Sección Delgada con Alteración Potásica

Escala gráfica 100 micrones. Vista en luz transmitida con nicoles cruzados. Muestra 3394 de Testigo de la Brecha Picuá con alteración potásica, en la esquina inferior izquierda se tiene un fragmento de brecha, limitado por una franja de feldespato potásico que corre de la esquina superior izquierda a la inferior derecha, con cristales de pirita (opacos).

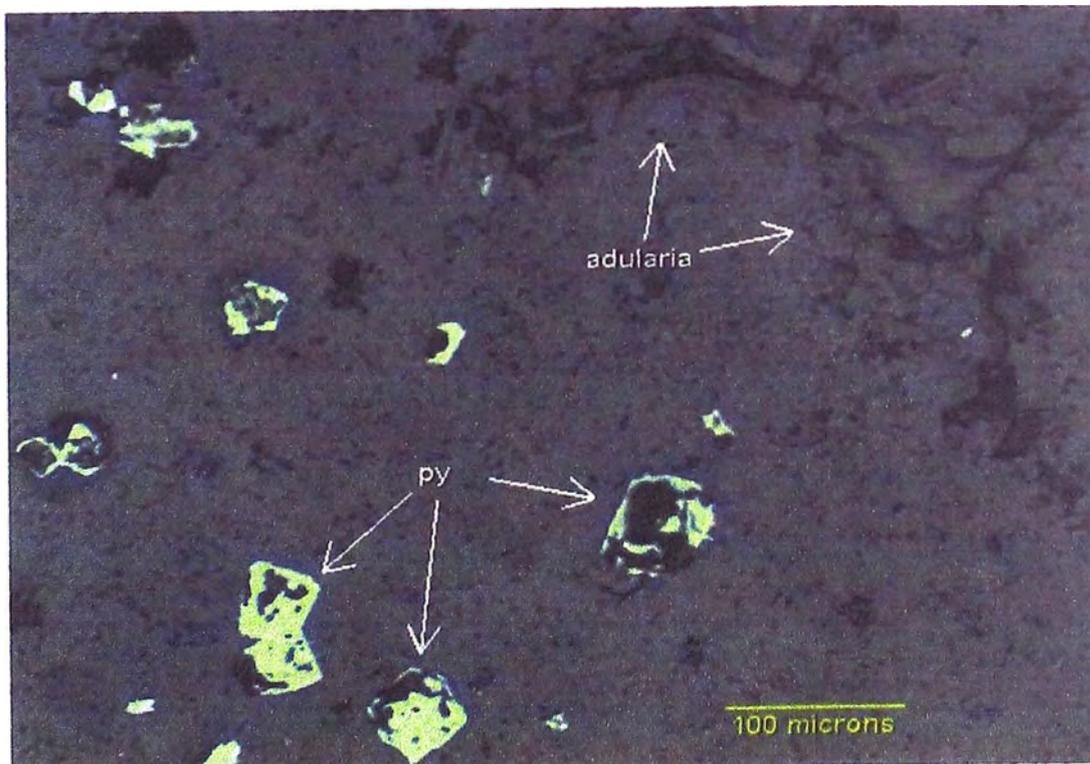


Figura III.4.5 Sección Pulida con Mineralización de Sulfuros

Vista en luz reflejada del área remarcada en la figura anterior, mostrando espacios abiertos rellenos por cristales de adularia. Asimismo se tienen antiguos cristales de pirita ahora completamente oxidados.



Figura III.4.6 Alteración Potásica en Brecha Intrusiva

Testigo de sondaje SAP-011 a 24.6 m. Brecha intrusiva con alteración feldespática sobre impuesta (albita?). Pirita finamente diseminada 5-8%.



Figura III.4.7 Alteración Potásica en Brecha de diatrema

Testigo de sondaje SAP-003 a 178.9 m. Típica textura de diatrema mostrando un predominio de matriz sobre los clastos. Fragmentos polimicticos subredondeados a angulosos, algunos de los cuales presentan ligera alteración potásica. La matriz en sí no está alterada y su color gris oscuro se debe a pirita finamente diseminada (hasta 10%).



Figura III.4.8 Carbonatización en Brecha Intrusiva Gabroica

Testigo de sondaje SAP-009 a 300.5 m. Brecha intrusiva de composición gabroica. La siderita-ankerita se encuentra diseminada, en venillas submilimétricas, como reemplazamiento y cristalizada en espacios abiertos.



Figura III.4.9 Carbonatización en Basalto

Testigo de sondaje SAP-007 a 104.2 m. Brecha de fracturamiento en basalto con alteración carbonática (ó siderítica). Los clastos tienen un reborde con alteración potásica, sobre la cual se ha emplazado los cristales de siderita. Nótese el zonamiento de siderita hacia los borde y el núcleo del espacio abierto rellenado posteriormente por calcita-ankerita.



Figura III.4.10 Propilitización en Gabro

Testigo de sondaje SAP-008 a 303.9 m. Gabro con intensa alteración propilitica constituida por: cloritas-magnetita-calcita-pirita.



Figura III.4.11 Propilitización en Basalto

Testigo del sondaje SAP-007. Lava basáltica porfírica con zonamiento local con fuerte alteración propilitica: clorita-epidota-calcita, relacionada a la una zona de fractura.



Figura III.4.12a Zeolitización en Basalto

Muestra de mano de lava basáltica porfírica con alteración de baja temperatura zeolítica. Abundantes agregados radiales de natrolita. Fenocristales de augita-hornblenda han sido reemplazados parcialmente por epidota. La matriz del basalto presenta una coloración parduzca como resultado de oxidación supérgena.

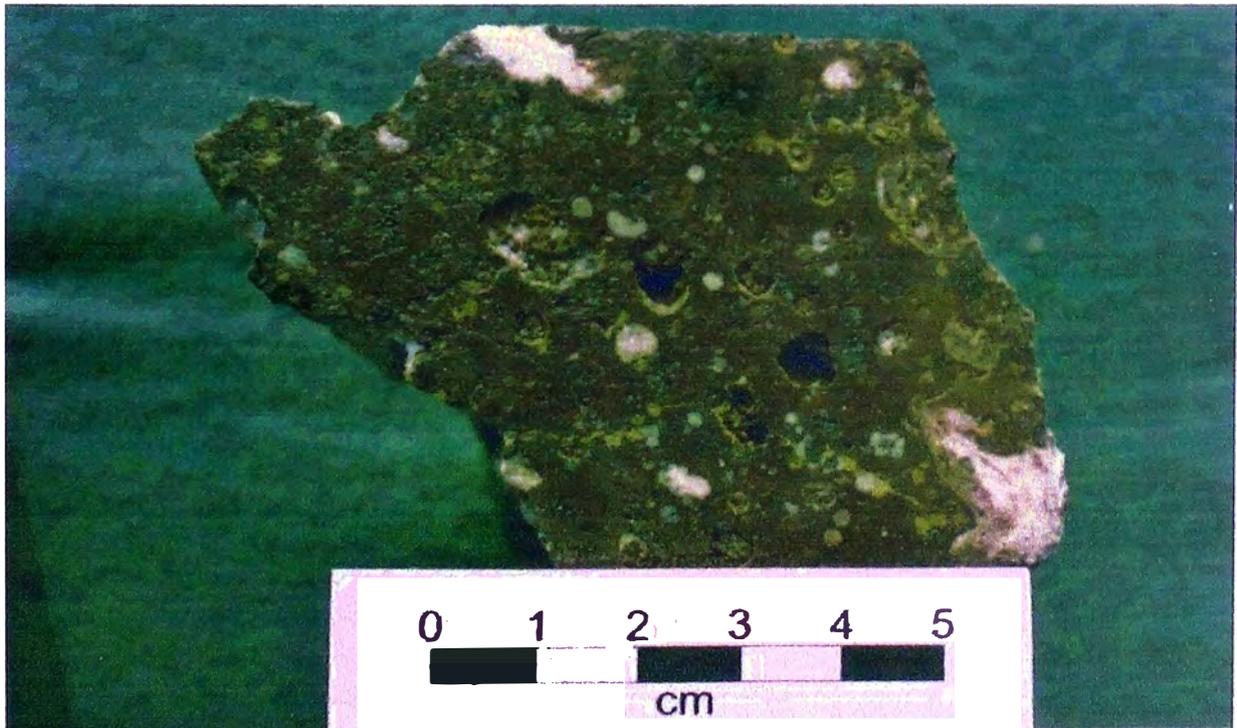


Figura III.4.12b Zeolitización en Basalto

Testigo de sondaje SAP-001 a 144.8 m (Guazu Cuá). Flujo de basalto porfírico y vesicular. La matriz está moderadamente propilitizada, mientras que las vesículas han sido rellenas por zeolitas-carbonatos. Los ferromagnesianos están cloritizados y la matriz oxidada.

III.5 MINERALIZACIÓN

La mineralización aurífera del prospecto Sapucaí está restringida a brechas hidrotermales emplazadas en un stock fonolítico con alteración potásica, que corta tardíamente una brecha intrusiva con fragmentos polimícticos y matriz de composición sienítica a gabroica.

Únicamente se determinó mineralización aurífera en la brecha hidrotermal de Picuá en la parte central del complejo Sapucaí, cuyas dimensiones son muy pequeñas: largo 50 m, ancho 10 m, profundización 80-100 m, ley promedio 1.5 g/T de oro (oxidado). Este contenido total de oro es sub-económico.

III.5.1 Mineralización de Óxidos

El contenido aurífero de la brecha Picuá en la zona oxidada es directamente proporcional tanto al grado de porosidad (por fracturamiento o brechamiento) que exhibe la roca como al contenido de óxidos secundarios (hematita y limonitas). Esto conlleva a afirmar que la brecha ha sufrido un proceso de enriquecimiento supérgeno producto de recirculación de aguas meteóricas cuando el edificio volcánico no había sido erosionado del todo, y que fue paulatinamente profundizando conforme la erosión iba denudando los niveles superiores. En la brecha Picuá, el contenido de oro supera los 500 ppb en superficie y los 6 ppm en profundidad (tablas III.5.1a y III.5.1c).

En la zona oxidada de la brecha de fracturamiento en basaltos, con alteración carbonática, no se han registrado valores anómalos de oro. Excepcionalmente, se presentan en superficie microvenillas de cuarzo con óxidos de hierro con valores que pueden alcanzar los 100 ppb, sin embargo estos valores no son consistentes y no ha podido ser reproducidos a profundidad.

III.5.2 Mineralización de Sulfuros

Las concentraciones más elevadas de sulfuros (predominantemente pirita) se concentran en la matriz de la brecha intrusiva y hacia sus bordes. La brecha se ubica al centro del complejo Sapucaí correlacionando perfectamente con las anomalías de cargabilidad detectadas en superficie. El contenido de sulfuros alcanza en algunos sectores hasta 10%, manteniéndose por lo regular en el intervalo de 1 a 3%, siempre finamente diseminado. Eventualmente la pirita se presenta en venillas milimétricas (excepcionalmente hasta 5 cm) acompañada de arsenopirita, galena, pirrotita y esfalerita (con minerales de ganga como baritina o yeso), todos mayormente masivos y poco cristalizados. La brecha intrusiva presenta alteración hipógena sin signos de oxidación supérgena. El contenido primario de oro en esta roca no supera los 50 ppb aún en zonas con mayor contenido de pirita y/o alteración potásica. Una sola muestra de suelo sobre esta brecha encontró 500 ppb de oro (en suelo enriquecido en biotita), valor que no pudo ser repetido a profundidad.

La brecha hidrotermal de Picuá también tiene un contenido significativo de piritita diseminada (3-5%) en sectores de poca permeabilidad secundaria que no fue afectada por los procesos de oxidación y enriquecimiento supergénico. En este caso los valores de oro raras veces superan los 500 ppb (v.g. muestra 56954 del sondaje 3 de Yamana, entre 98-100 m con 519 ppb de oro).

III.5.3 Distribución de Mineralización

Se ha elaborado un cuadro comparativo donde se detalla la distribución de valores geoquímicos en las zonas con mayor mineralización aurífera, tanto de profundidad (tablas III.5.1a y III.5.1b) como de superficie (tablas III.5.1c y III.5.1d).

El sondaje DDH-3 perforado por Yamana en 1997 corta el núcleo de la brecha Picuá con un ángulo de inclinación de 60 grados hacia el este. Presenta los intervalos con las mayores leyes de oro entre los que se tienen 10-12 m con @ 6 g/T y de 14-26 m con @ 2.1 g/T. Sobre este sondaje se seleccionaron algunos intervalos que fueron sometidos a reanálisis por oro y análisis multielemental, los cuales se muestran a continuación:

Tabla III.5.1a Análisis por Oro en el Sondaje DDH-3

Muestra	Intervalo	Descripción	Alteración	Au (ppb)	F (ppm)
56951	10-12	BxHid.con OXs	Potásica	6059	1068
56952	22-24	BxHid.con OXs	Potásica	4332	4300
56953	70-72	BxHid.con OXs	Potásica	6409	1389
56954	98-100	BxHid.con SULs	Carbonática+Potásica	519	2419

Tabla III.5.1b Análisis Multielemental (*) en el Sondaje DDH-3

Muestra	Mo	Ni	Co	As	Mn	Ba	V	Mg	Sr	Li	Te
56951	1	3	1	28	122	20	59	400	15	1	0.1
56952	3	1	1	23	33	84	19	700	90	1	0.1
56953	1	1	1	26	192	20	50	700	59	1	0.1
56954	298	35	34	115	979	128	152	24000	2000	17	1.1

(*) Todos los valores en ppm

Comparando las tablas III.5.1a y III.5.1b se observa un claro zonamiento de elementos indicadores dentro del cuerpo con mineralización aurífera en la brecha Picuá, entre la zona oxidada con alteración potásica con mayor ley de oro y la zona de sulfuros con alteración carbonática predominante (menor temperatura) y menor ley de oro. En ambos casos, el contenido de flúor permanece invariable pero no así los otros elementos que aumentan 3 o más veces hacia la zona de sulfuros comparados con la zona de óxidos.

Tabla III.5.1c Análisis por Oro y Flúor de la Brecha Picuá (en superficie)

Muestra	Litología	Mineralización	Alteración	Au (ppb)	F (ppm)
56945	BxHid	OXs+Fluorita	Potásica	432	8177
56946	BxHid	OXs+Fluorita	Potásica	507	18627
56947	BxHid	OXs+Fluorita	Potásica	150	913

Tabla III.5.1d Análisis Multielemental (*) de la Brecha Picuá (en superficie)

Muestra	Mo	Ni	Co	As	Mn	Ba	V	Mg	Sr	Li	Te
56945	3	3	5	32	218	344	130	1200	420	1	0.1
56946	5	5	8	43	170	567	73	1200	766	2	0.1
56947	11	5	17	47	678	150	68	1000	147	10	0.2

(*) Todos los valores en ppm

Las tablas III.5.1c y III.5.1d muestran el análisis de oro y multielemental de la brecha Picuá en superficie, donde se observan en términos generales valores algo más elevados que los de la zona oxidada en profundidad.



Figura III.5.1 Afloramiento de Brecha Hidrotermal Picuá

La brecha hidrotermal Picuá tiene un afloramiento de 10x50 m (eje mayor norte-sur) con alteración potásica emplazada en un stock fonolítico brechado en el núcleo del complejo alcalino de Sapucaí. Los valores de oro en superficie alcanzan los 500 ppb asociado a zonas de mayor brechamiento y fracturamiento.



Figura III.5.2 Muestra de Brecha Hidrotermal con Alteración Potásica

Brecha Hidrotermal con fragmentos de fonolita porfírica. La alteración potásica ha afectado la totalidad de la roca: fragmentos (fenos de sanidina) y matriz. La oxidación es un evento posterior y se restringe a los espacios abiertos. Los valores mayores de oro se asocian al incremento de oxidación.



Figura III.5.3 Testigo de Sondaje DDH-1 sobre Brecha Picuá, vista longitudinal

Brecha hidrotermal en fonolita con alteración potásica, porción de testigo a 37.8 m. Matriz constituida por adularia-sericita, fenocristales de sanidina alterados a pirofilita (color blanco). Máficos completamente oxidados y lixiviados, rellenos por cristales de fluorita (en color lila).



Figura III.5.4 Testigo de Sondaje DDH-1 sobre Brecha Picuá, vista transversal

Canal centimétrico con oro visible (en el interior del círculo negro) con telururos de oro(?) en color naranja, fluorita (masiva y cristalizada) y pirofilita, cortando la brecha hidrotermal con alteración adularia-sericita.

III.6 GEOFÍSICA LOCAL

El objetivo fundamental de la geofísica de detalle es el de focalizar los blancos de perforación, principalmente asociados a anomalías de cargabilidad eléctrica que podrían estar relacionados con cuerpos de sulfuros. Esto es particularmente útil cuando no se tiene una proporción significativa de afloramientos.

El programa de geofísica de superficie fue efectuado casi en su totalidad por la compañía canadiense Geoterrex, subsidiaria de Fugro Ground (<http://www.fugroground.com>), bajo la supervisión directa de B. Lubbe (geofísico Newmont). Demandó el trabajo de dos técnicos por un lapso de dos meses (entre Julio y Agosto del 2000). Adicionalmente, se comisionó un levantamiento magnetométrico de detalle sobre el área de Sapucaí, trabajo ejecutado por B. Lubbe.

Para este programa, se utilizaron algunas de las líneas de muestreo geoquímico con dirección este-oeste, para hacer las lecturas de cargabilidad y resistividad, tanto en el área de Sapucaí como en el área de Guazu Cuá. Adicionalmente, se plantearon líneas paralelas a las líneas de muestreo en la zona de Guazu Cuá, tanto norte-sur como este-oeste.

III.6.1 Polarización Inducida (IP) y Resistividad

III.6.1.1 Fundamentos

La polarización inducida, más conocida como IP (*Induced Polarization*) y la resistividad, son los dos métodos de prospección geofísica más comunes que se emplean en la actualidad. Ambos miden parámetros asociados con voltaje inducido en el terreno por aplicación directa de corriente eléctrica. La resistividad brinda información relacionada a la resistencia global de terreno al paso de la corriente (opuesto a la conductividad) mientras que la polarización inducida brinda información relacionada a la capacitancia del terreno (o grado en que el terreno puede ser cargado eléctricamente o actuar como una gran batería). Cabe resaltar que se utiliza los mismos instrumentos para ambos métodos, y los datos son recolectados simultáneamente.

Varios parámetros controlan la calidad, resolución y penetración de estos métodos:

El arreglo o distribución de los electrodos: mayor o menor profundización.

El equipo utilizado: la potencia del transmisor, la sensibilidad del receptor y la calidad de los conductores (cables, electrodos, conectores, etc).

Condiciones específicas del terreno.

Existen varios tipos que favorecen la mayor penetración en el terreno (método de polo-dipolo o dipolo-dipolo) o la mayor cobertura areal (método gradiente) en desmedro de la penetración.

El grado de profundización se calcula usando la siguiente fórmula:

$$\text{Profundización (en metros)} = (10 \text{ a } 30\%) * \text{distancia entre electrodos (en metros)}$$

Según esta fórmula, a mayor distancia entre electrodos tendremos mayor profundización, sin embargo, para alcanzar esos límites, se necesitaría un transmisor más potente y un receptor más sensible, lo cual tiene límites prácticos.

A diferencia de los métodos de geofísica aérea que son pasivos, los métodos de geofísica de superficie son método proactivos, por lo cual nuevamente, el equipo de generación y captación de corriente juega un rol decisivo en la calidad del resultado.

III.6.1.2 Mediciones de IP y Resistividad

Inicialmente se dispuso hacer mediciones del tipo gradiente, esto con la finalidad de reducir costos, aumentando el área de reconocimiento y disminuyendo el tiempo de trabajo. Sin embargo, problemas iniciales en Guazu Cuá hicieron modificar el programa inicial. Finalmente se utilizaron las tres configuraciones de los electrodos: tipo gradiente, dipolo-dipolo y polo-dipolo, tanto para Guazu Cuá como para Sapucaí, siempre con una distancia entre electrodos de 100 m (Lantzke, 2000).

El equipo utilizado fue el siguiente:

Generador Yamaha de 6.5 Kw, 110 o 220 voltios a 60 Hz.

Transmisor Iris VIP4000 de 4 Kw a 5 amperios, 220 voltios con pulsos a 0.125 Hz.

Receptor de IP Iris ELREC 6 para 6 dipolos.

III.6.1.3 Resultados de Cargabilidad en Guazu Cuá

En el área de Guazu Cuá las primeras mediciones fueron muy desalentadoras. Tres factores negativos contribuyeron a estos hechos:

Exceso de lluvia que impedía inducir corriente eléctrica al terreno bajo riesgo de electrocutar al personal o al ganado de los alrededores.

La misma lluvia sobresaturó al suelo con agua salina. Esta agua salina se produce por la disolución de sales (principalmente NaCl y KCl) a partir de la alteración de los basaltos (feldespatos), aumentando erróneamente la conductividad eléctrica del terreno.

La presencia de líneas eléctricas de alta tensión y conexiones a tierra de los transformadores de corriente continua, introduciendo fuentes adicionales de corriente eléctrica al terreno.

Todos estos factores produjeron anomalías inexistentes que fueron verificadas en el campo y posteriormente corregidas con nuevas mediciones (Lantzke, 2000).

A pesar de los inconvenientes, en el sector este sobre la línea 200 sur, se detectó a partir de mediciones con dirección norte-sur, una zona con una fuerte anomalía de cargabilidad (figura III.6.1). Se asumió que ésta anomalía estaba relacionada al aumento en el contenido de sulfuros, sin embargo y como se verá más adelante en la sección de perforación, el sondaje SAP-002 no encontró ningún cuerpo de sulfuros o un aumento en el contenido de los mismos. No se descarta que el origen de la anomalía se encuentre a mayor profundidad que los 300 m evaluados.

III.6.1.4 Resultados de Resistividad en Guazu Cuá

Coincidente con la anomalía de cargabilidad, se determinó sobre la misma zona, un cambio en la resistividad del terreno, que tiene una dirección noreste-suroeste. Esta dirección conecta a Guazu Cuá con Sapucaí y es también coincidente con un corredor con anomalías geoquímicas de oro como se vió en secciones anteriores (figuras II.6.3 y II.6.4).

Esta anomalía podría explicarse también por cambios litológicos, en rocas con características petrofísicas muy diferentes entre sí, como las que finalmente se encontraron en el sondaje SAP-002: basaltos y conglomerados en la base. Estos conglomerados infrayacentes podrían haber dado una falsa anomalía debido a su alta permeabilidad y posible alta conductividad, sin embargo, en el sondaje SAP-001 con las mismas características, no se encontró ninguna anomalía geofísica.

III.6.1.5 Resultados de Cargabilidad en Sapucaí

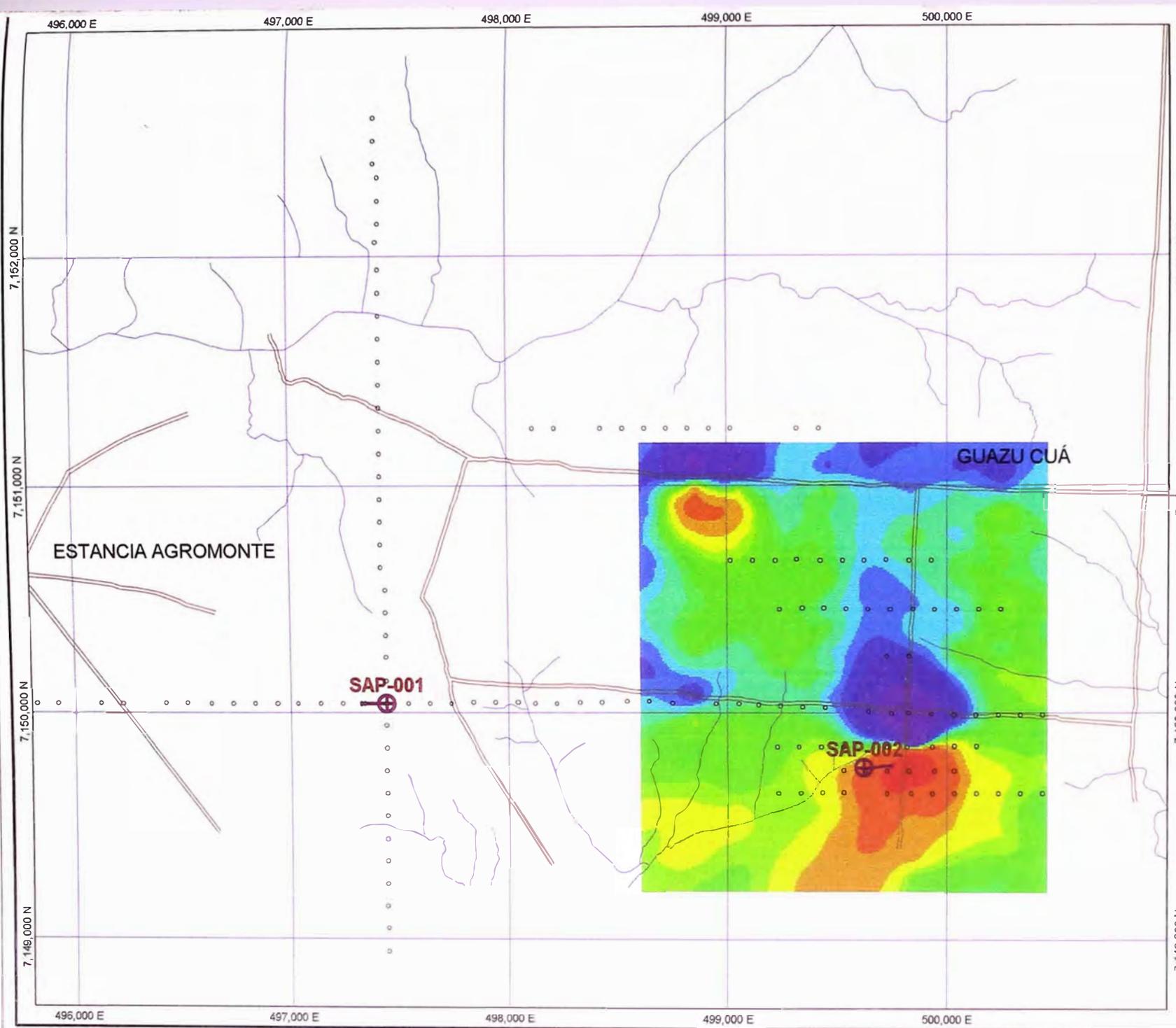
Se determinaron dos patrones de cargabilidad específicos (figura III.6.3):

Un corredor de dirección noreste-suroeste en donde se alinean las anomalías de cargabilidad.

Dos anomalías de cargabilidad más importantes, con una tendencia nor-noroeste, ubicadas a 350 m al este de la brecha Picuá (anomalía menor) y a 600 m al sur-suroeste de la misma brecha (anomalía mayor), ambas en el núcleo del complejo Sapucaí.

Las dos anomalías coinciden con la presencia de brecha intrusiva bordeando a un stock fonolítico (figura III.6.2). El núcleo del stock fonolítica ubicado a 150 m al oeste de la Brecha Picuá tiene valores de baja cargabilidad. La anomalía más pequeña colinda con la brecha de fracturamiento en basaltos. La anomalía más grande al sur colinda con gabros y monzogabros sin alteración en superficie. Ambas anomalías fueron seleccionadas como objetivos de perforación debido a coincidencias con valores geoquímicos en superficie.

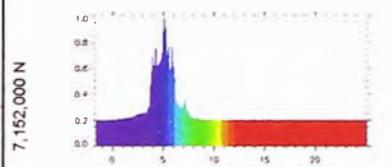
El sondaje SAP-003 ubicado sobre la anomalía de cargabilidad al sur, confirmó a profundidad el mayor contenido de sulfuros (principalmente pirita) que alcanza el 10% en algunos sectores. El sondaje SAP-008 ubicado sobre la anomalía al este, en cambio, no pudo confirmar los valores de cargabilidad relativamente altos que se detectaron en superficie.



EXPLANATION

Cargabilidad

Image file: guachg.bmp
 Original image resolution (DPI X,Y): 75, 75
 Original image size (Pixels X,Y): 814, 519
 Original image size (Inches X,Y): 8.00, 6.00



Muestra de Suelo tipo Auger

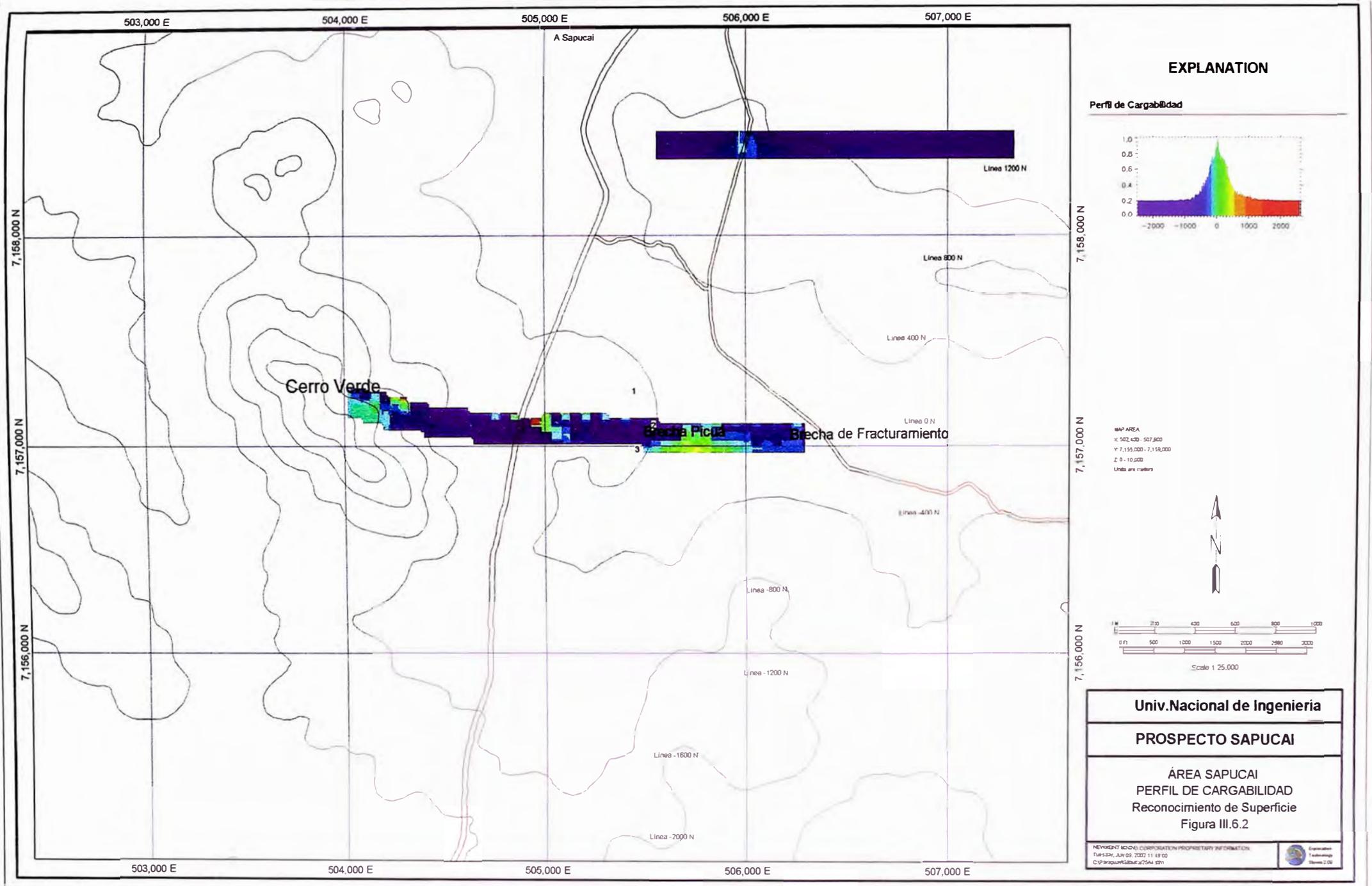
○ Muestra de Suelo tipo Auger

MAP AREA
 X: 495,800 - 501,000
 Y: 7,148,700 - 7,153,000
 Z: 0 - 10,000
 Units are meters



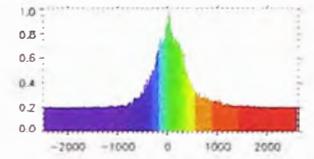
Univ. Nacional de Ingeniería
PROSPECTO SAPUCAI
Área Guazu Cuá RESPUESTA DE CARGABILIDAD Reconocimiento de Superficie Figura III.6.1
INVERMINT SERRANO CORPORATION PROPRIETARY INFORMATION Caracas, July 08, 2002 15:10:58 C:\Programas\MapInfo\MapInfo\MapInfo.com



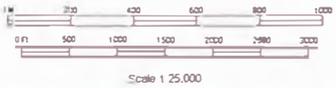


EXPLANATION

Perfil de Cargabilidad



MAP AREA
 X 502,400 - 507,600
 Y 7,156,000 - 7,158,000
 Z 0 - 10,000
 Units are meters



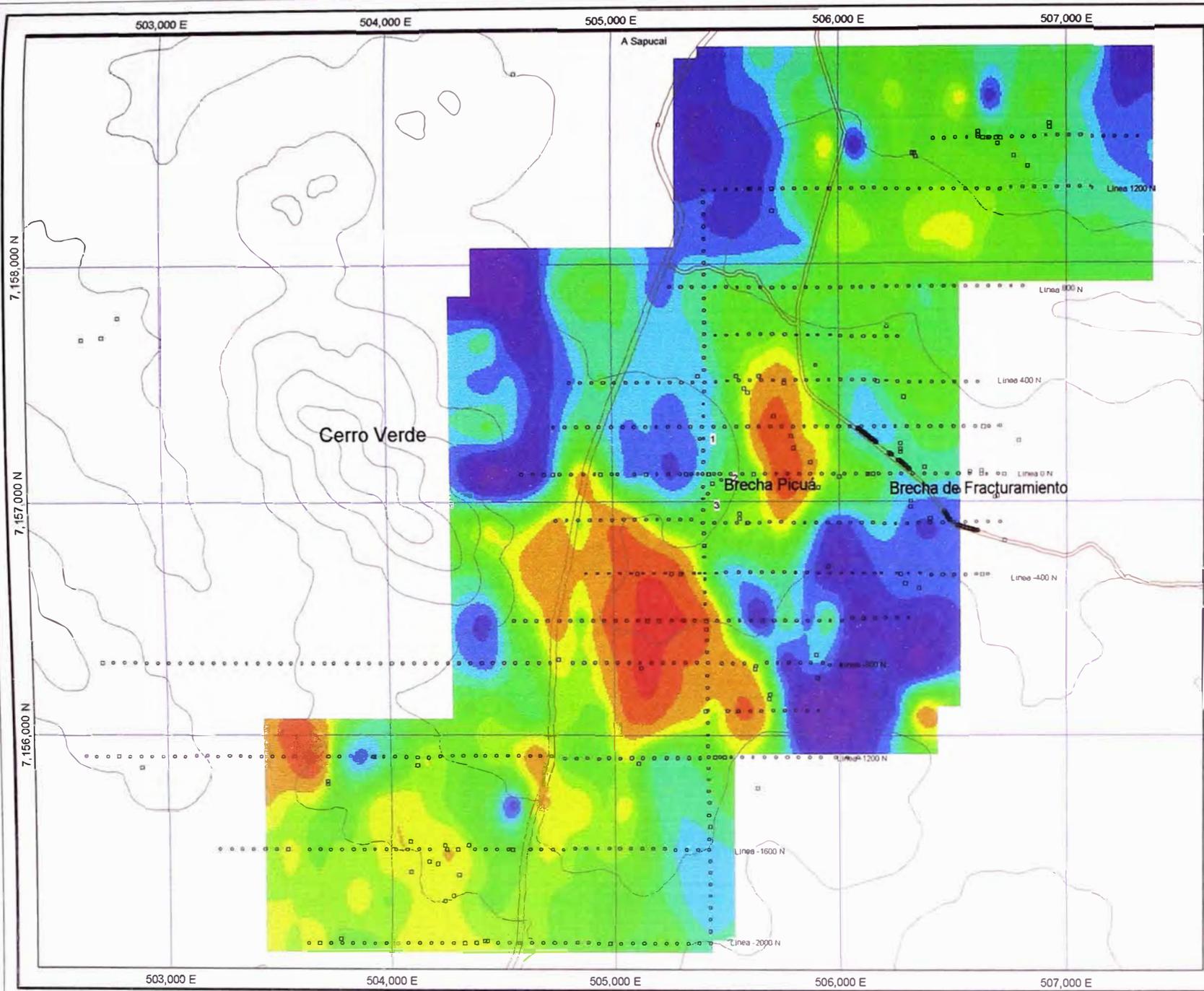
Univ.Nacional de Ingeniería

PROSPECTO SAPUCAÍ

ÁREA SAPUCAÍ
 PERFIL DE CARGABILIDAD
 Reconocimiento de Superficie
 Figura III.6.2

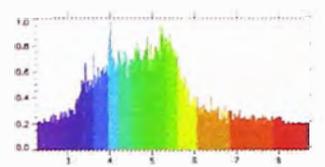
KEYWORD: TECHNICAL CORPORATION PROPRIETARY INFORMATION
 Tuesday, July 09, 2007 11:43:00
 C:\P\Sapucaí\Sapucaí2544.dwg





EXPLANATION

Patrón de Cargabilidad



Muestra de Suelo tipo Auger

- Muestra de Suelo tipo Auger

Muestra de Roca

- Muestra de Roca

MAP AREA
 X: 507,000 - 507,000
 Y: 7,156,000 - 7,158,000
 Z: 0 - 10,000
 UNITS ARE METERS



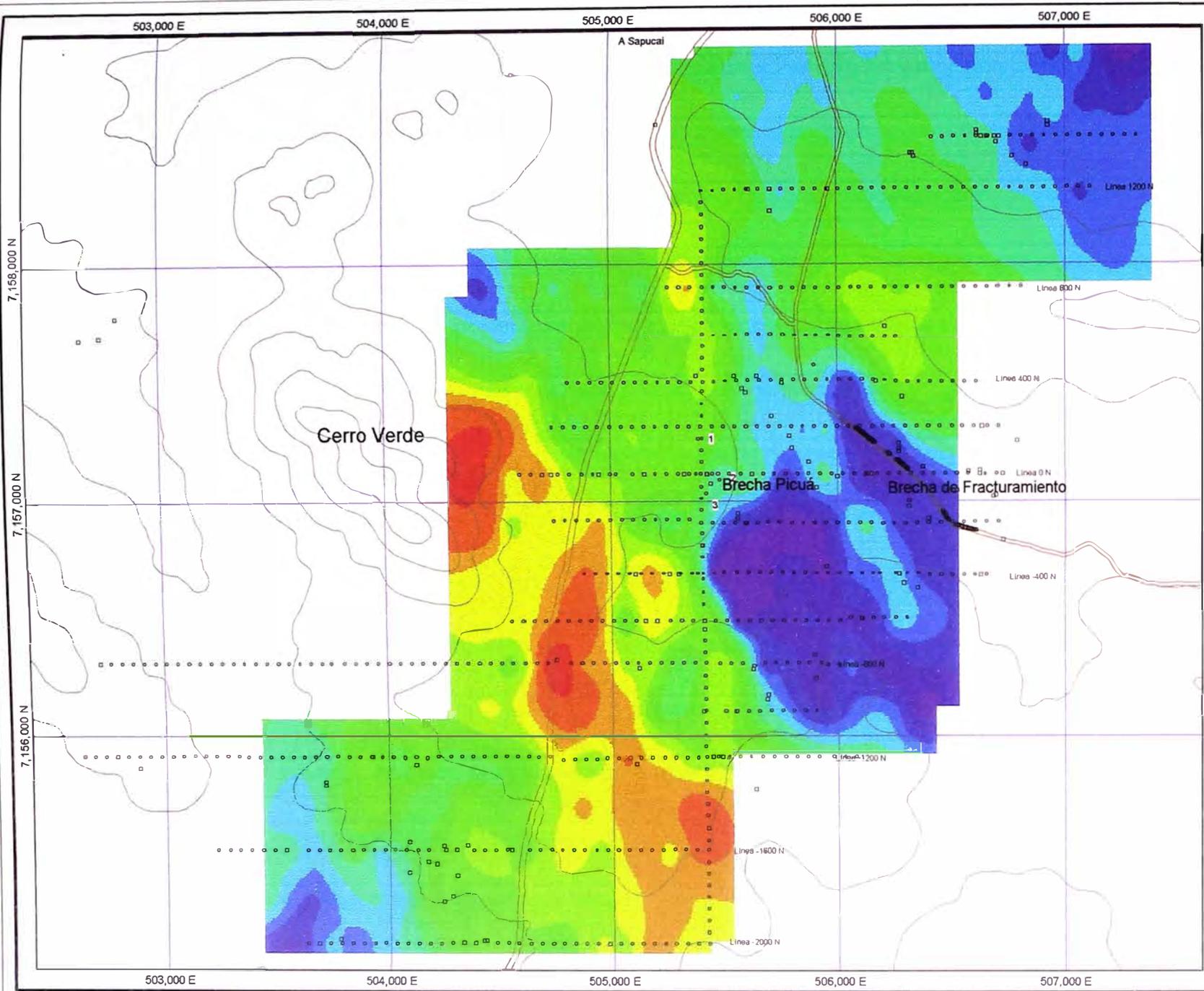
Scale 1:25,000

Univ. Nacional de Ingeniería

PROSPECTO SAPUCAÍ

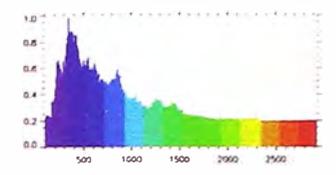
ÁREA SAPUCAÍ
 RESPUESTA DE CARGABILIDAD
 Reconocimiento de Superficie
 Figura III.6.3

NEWMONT GOLD CORP. PROPRIETARY INFORMATION
 Sargent, July 08, 2002 15:21:11
 C:\PROSPECTO\SAPUCAI.dwg



EXPLANATION

Patrón de Resistividad



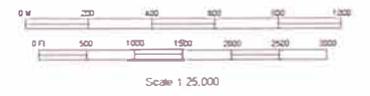
Muestra de Suelo tipo Auger

- Muestra de Suelo tipo Auger

Muestra de Roca

- Muestra de Roca

MAP AREA
 X 502,400 507,800
 Y 7,156,000 7,158,000
 Z 0 10,000
 Units are meters



7,158,000 N
7,157,000 N
7,156,000 N

503,000 E 504,000 E 505,000 E 506,000 E 507,000 E

503,000 E 504,000 E 505,000 E 506,000 E 507,000 E

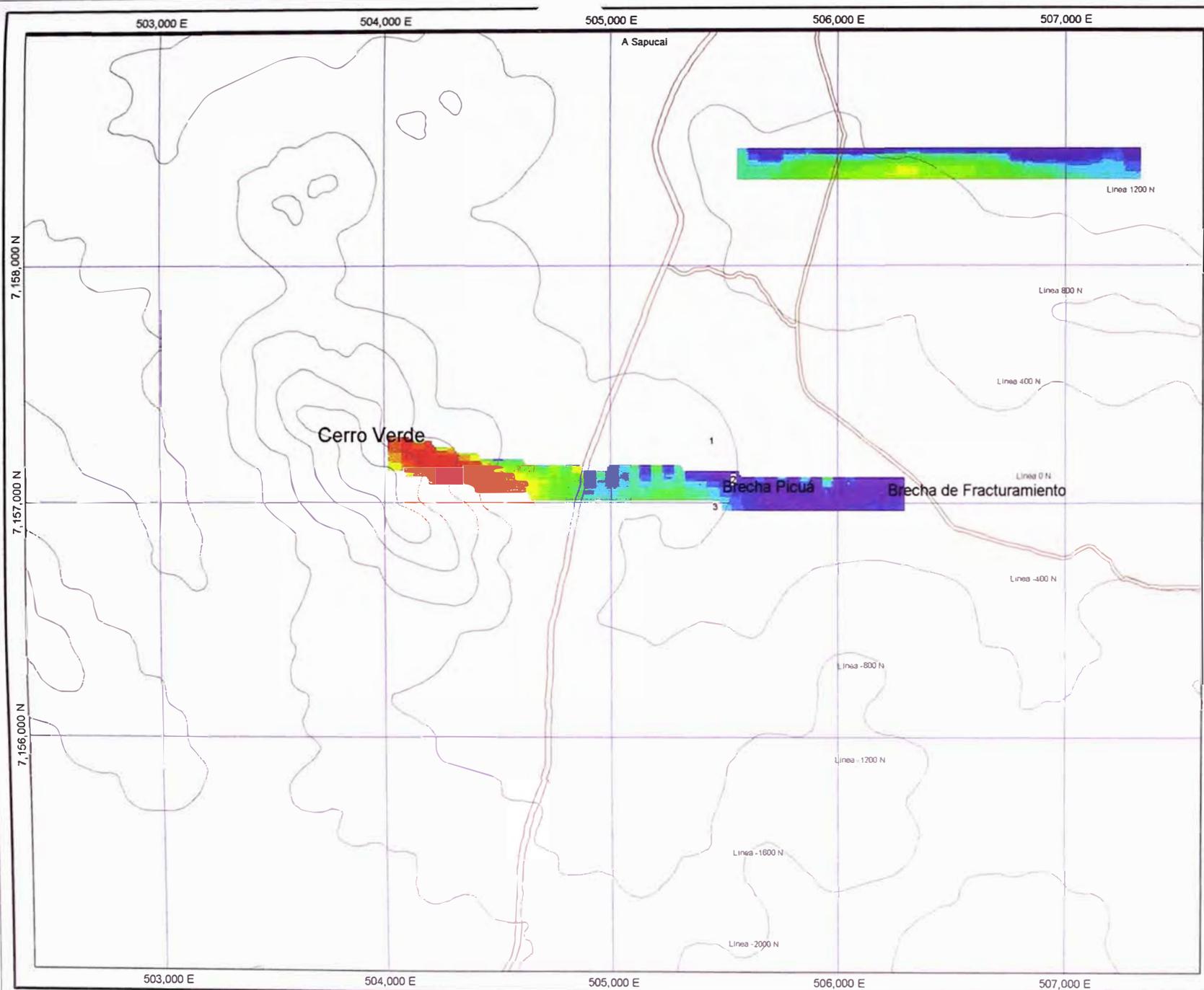
Univ.Nacional de Ingeniería

PROSPECTO SAPUCAI

ÁREA SAPUCAI
 RESPUESTA DE RESISTIVIDAD
 Reconocimiento de Superficie
 Figura III.6.4

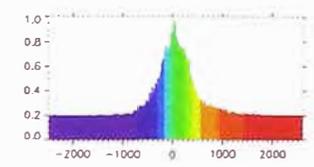
REVIDENT RECORD CORPORATION PROPRIETARY INFORMATION
 Caracas, July 08, 2002 15:26:37
 C:\PDR\AP\SAPUCAI\A2544.dwg



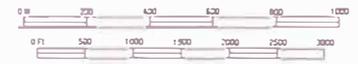


EXPLANATION

Perfil de Resistividad



MAP AREA
 X: 502,420 - 507,820
 Y: 7,156,000 - 7,158,000
 Z: 0 - 10,200
 Units are meters



Scale 1:25,000

Univ. Nacional de Ingeniería

PROSPECTO SAPUCAI

ÁREA SAPUCAI
 PERFIL DE RESISTIVIDAD
 Reconocimiento de Superficie
 Figura III.6.5

NEWBERRY BRAND CORPORATION PROPRIETARY INFORMATION
 Tuesday, 11 May 2010 11:52:15
 C:\P\A\ppm\GIS\Barral\2544.km

El perfil de cargabilidad sobre la línea O Norte (figura III.6.2) ilustra claramente la interdigitación de los cuerpos de brecha ígnea con sulfuros diseminados, y cómo estos rodean al stock fonolítico al medio (figura IV.1.1).

III.6.1.6 Resultados de Resistividad en Sapucaí

El diagrama resultante (figura III.6.4 y III.6.5) muestra en colores rojos (cálidos) las zonas más resistivas y en colores azul (fríos) las zonas más conductoras. Existe entonces un núcleo claramente conductor al sur de la brecha Picuá que coincide con la brecha intrusiva (centro del complejo Sapucaí), mientras que el corredor de alta resistividad con dirección noroeste coincide con el gabro y monzogabro sin alteración.

III.6.2 Magnetometría de detalle

III.6.2.1 Mediciones Magnetométricas

El levantamiento magnetométrico de superficie se efectuó con la finalidad de obtener mayor detalle con respecto al levantamiento aéreo hecho con anterioridad. El área del reconocimiento se estableció en base al área de la geoquímica de detalle. Es decir, se utilizaron la mismas líneas de muestreo como puntos de referencia. Sólo se cubrió el área de Sapucaí. Se utilizó para este trabajo dos magnetómetros propiedad de Newmont (uno fijo y el otro móvil) con GPS diferenciales, en estos equipos que correlacionan las lecturas magnéticas automáticamente con su posición espacial y posteriormente se corrigen tanto por variaciones de lecturas GPS como por variaciones magnéticas.

III.6.2.2 Resultados Magnetométricos

Los resultados muestran una alta variabilidad y no tienen una correlación directa con litologías favorables (figura III.6.7).

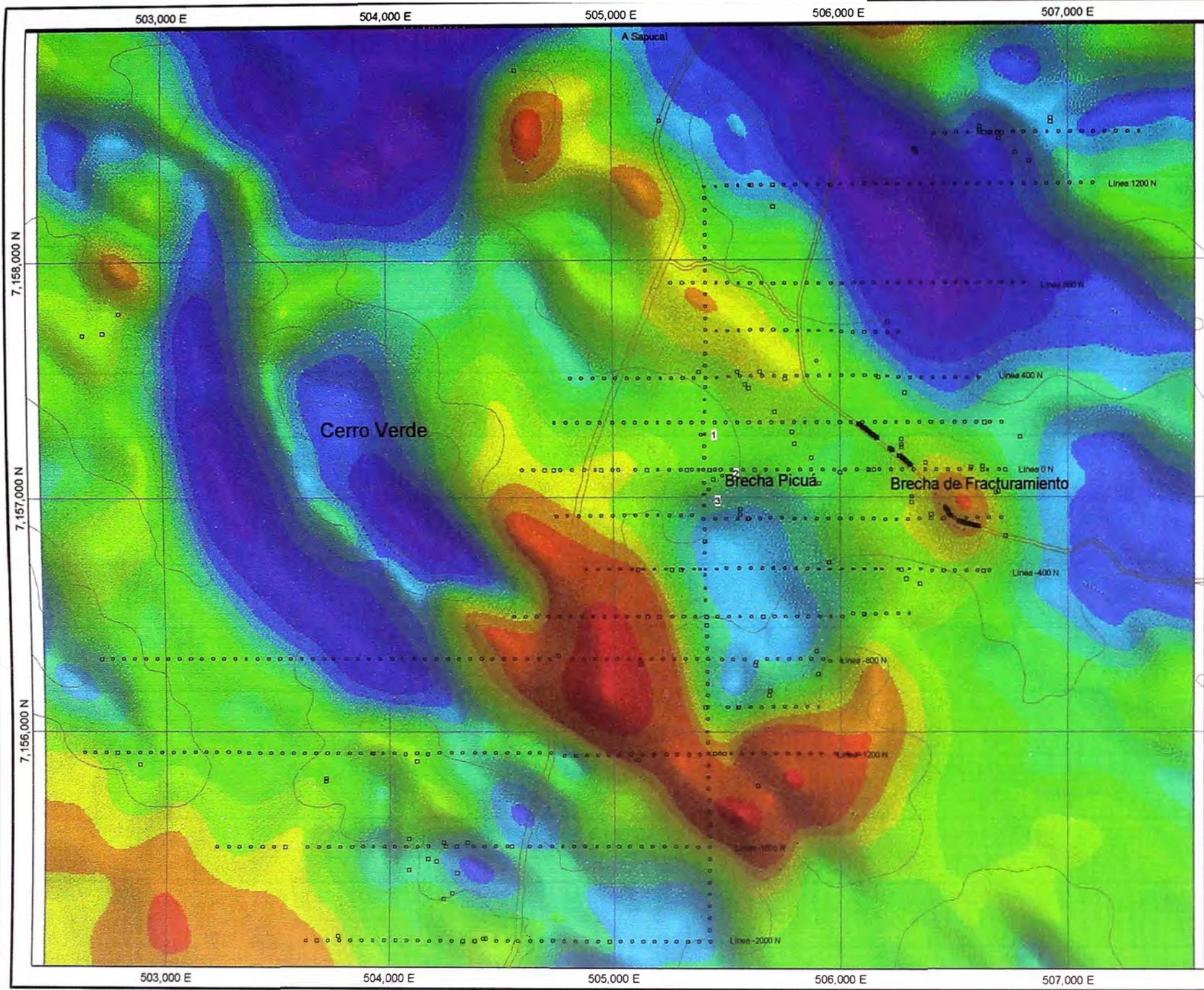
En Sapucaí, la ampliación del levantamiento magnetométrico aéreo a la escala local (figura III.6.6), permite efectuar las siguientes correlaciones:

Valores magnéticos intermedios con la brecha intrusiva en el centro del complejo.

Valores magnéticos altos (positivos) con intrusiones de gabro y monzogabro tardías rodeando a la brecha intrusiva.

Presencia de dos anillos de bajos magnéticos (negativos) que corresponden a un subvolcánico de tefritas (anillo interno) que pasa justo por Cerro Verde, y una intrusión de gabro de una etapa anterior (anillo externo) que pasa por el flanco oeste de Cerro Verde.

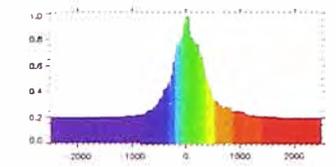
En Guazu Cuá, la ampliación del reconocimiento magnético aéreo (figura III.6.10) a escala 1:25,000 permite visualizar claramente el contorno y ubicación de la estructura magnética circular, que tiene casi 3 km de diámetro y en cuyo centro (coordenadas 497,400 E y 7150,000 N) fue ubicado el cruce de líneas para el posterior muestreo de suelos.



EXPLANATION

Magnético reducido al Polo

Image file: picmag.bmp
 Original image resolution (BPM X,Y) 75, 75
 Original image size (Pixels X,Y) 814, 519
 Original image size (Inches X,Y) 8.00, 6.00



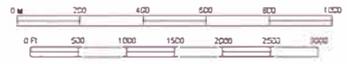
Muestra de Suelo tipo Auger

- Muestra de Suelo tipo Auger

Muestra de Roca

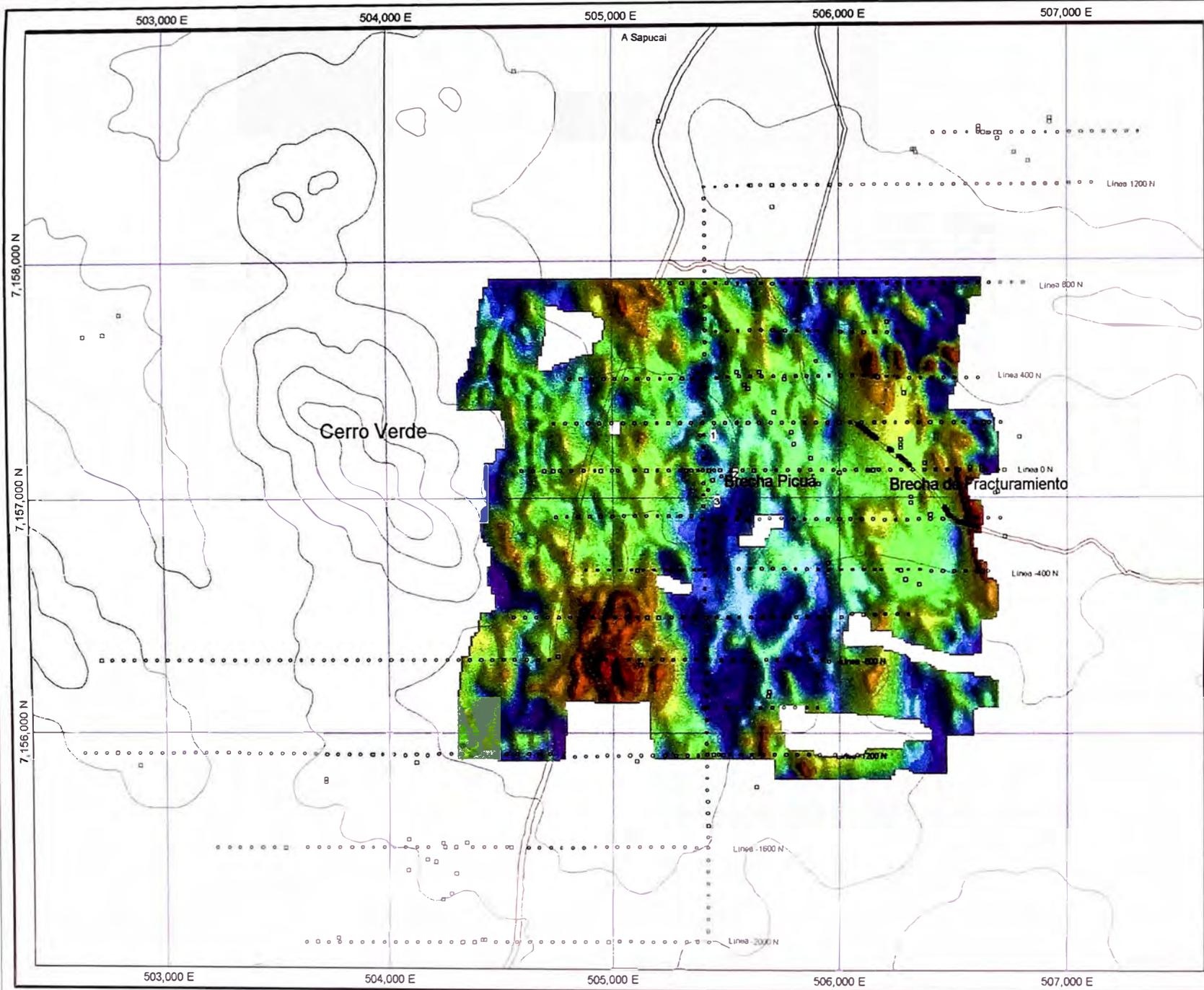
- Muestra de Roca

MAP AREA
 X: 503,000 - 507,000
 Y: 7,156,000 - 7,158,000
 Z: 0 - 10,000
 Units are meters



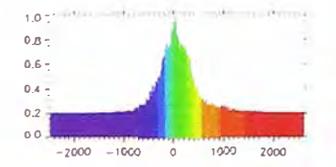
Scale 1:25,000

Univ. Nacional de Ingeniería
PROSPECTO SAPUCAI
ÁREA SAPUCAI MAGNÉTICO REDUCIDO AL POLO Reconocimiento Aéreo Figura III.6.6
<small> RESIDENT DESIGN CORPORATION PROPRIETARY INFORMATION SAVANNAH, GA 30406, 2002 13 25 214 C:\P\A\A\A\SAPUCAI.DWG </small>



EXPLANATION

Magnético de Superficie



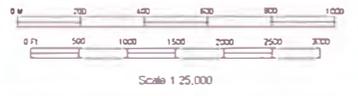
Muestra de Suelo tipo Auger

- o Muestra de Suelo tipo Auger

Muestra de Roca

- o Muestra de Roca

MAP APEA
 X 537,400 - 537,600
 Y 7,156,000 - 7,158,000
 Z 0 - 10,000
 Unidades en metros



7,158,000 N
7,157,000 N
7,156,000 N

Univ.Nacional de Ingenieria

PROSPECTO SAPUCAI

ÁREA SAPUCAI
MAGNÉTICO REDUCIDO AL POLO
Reconocimiento de Superficie
Figura III.6.7

REVENIENT RONDO CORPORATION PROPRIETARY INFORMATION
 Released July 08, 2002 12:43:13
 ©1998-2002 RNDM/ALM

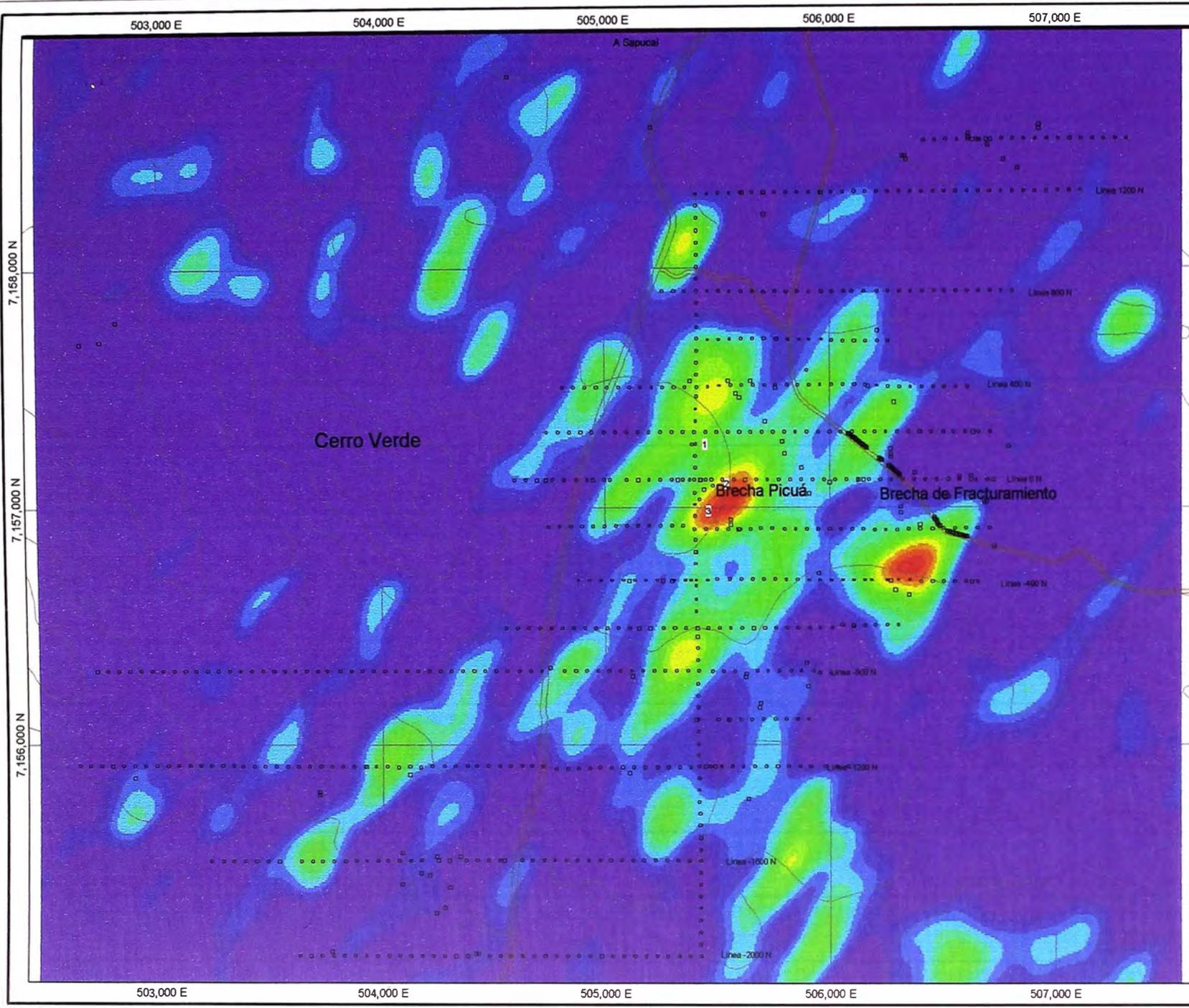
503,000 E 504,000 E 505,000 E 506,000 E 507,000 E

III.6.3 Radiometría de detalle

Con la finalidad de utilizar la información radiométrica aérea a la escala del levantamiento de superficie tanto en Guazu Cuá como en Sapucaí, se ha graficado el comportamiento de las anomalías radiométricas de potasio y de uranio

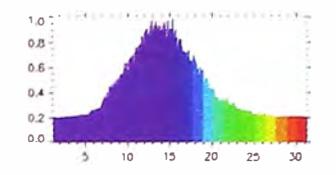
En el caso de Guazu Cuá (figura III.6.11), el diagrama radiométrico de potasio muestra una anomalía ubicada en el borde este de la estructura circular como se vió en el levantamiento regional, al norte de las anomalías auríferas (BLEG) determinadas en el muestreo de sedimentos de escorrentía y coincide con un ligero alto topográfico de la zona. Tiene una elongación en la dirección noreste-suroeste. Está relacionado posiblemente a la presencia de venillas milimétricas de feldespato potásico que cortan los basaltos en la zona. No se ha determinado signos mayores de alteración potásica en dicha zona.

En Sapucaí, la principal anomalía de potasio (figura III.6.8) coincide perfectamente con el núcleo del complejo alcalino y con la presencia de alteración potásica en la brecha hidrotermal y en la brecha intrusiva. Las anomalías circundantes están relacionadas a cuerpos de sienitas y episienitas, cuya procedencia parecería ser primaria.



EXPLANATION

Radiométrico de Uranio



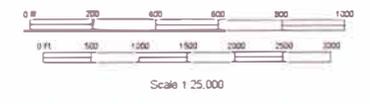
Muestra de Suelo tipo Auger

- Muestra de Suelo tipo Auger

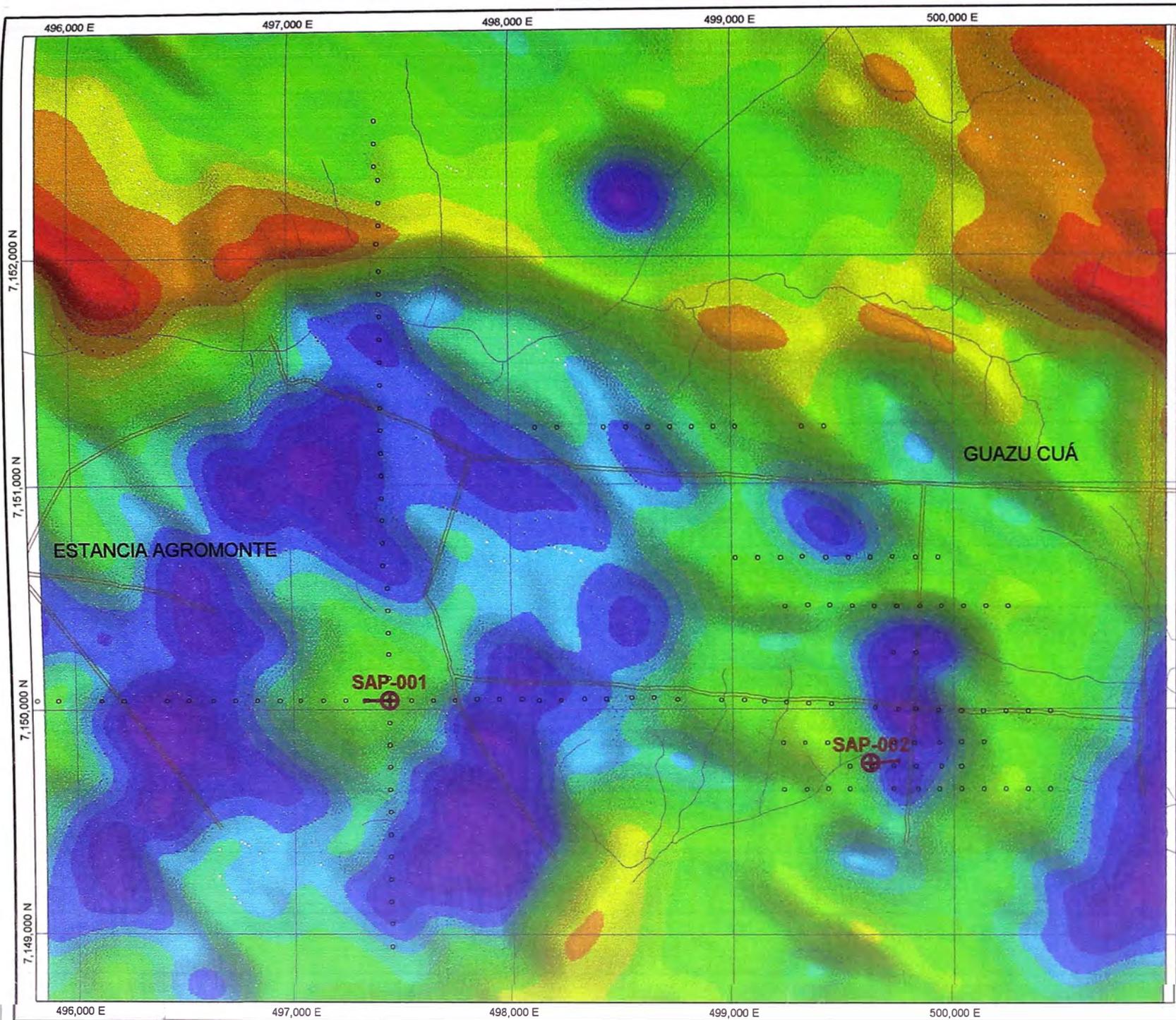
Muestra de Roca

- Muestra de Roca

MAP AREA
 X 503,000 - 507,000
 Y 7,156,000 - 7,158,000
 Z 0 - 10,000
 Units are meters



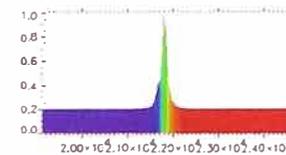
Univ.Nacional de Ingenieria
PROSPECTO SAPUCAI
ÁREA SAPUCAI RADIOMÉTRICO DE URANIO Reconocimiento Aéreo Figura III.6.9
<small>NEPTUNE ENERGY CORPORATION PROPRIETARY SURVEILLANCE Montreal, July 08, 2002 12:40:58 C:\P\img\p\503000\AC5A4.slm</small>



EXPLANATION

Magnético

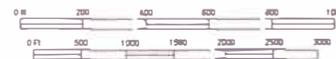
Image file: guazungo.bmp
 Original image resolution (DPI X,Y): 75, 75
 Original image size (Pixels X,Y): 814, 519
 Original image size (Inches X,Y): 8.00, 6.80



Muestra de Suelo tipo Auger

o Muestra de Suelo tipo Auger

MAP AREA:
 X: 496,000 - 500,000
 Y: 7,149,000 - 7,152,000
 Z: 0 - 10,000
 Units: arbitrary meters



Scale: 1:25,000

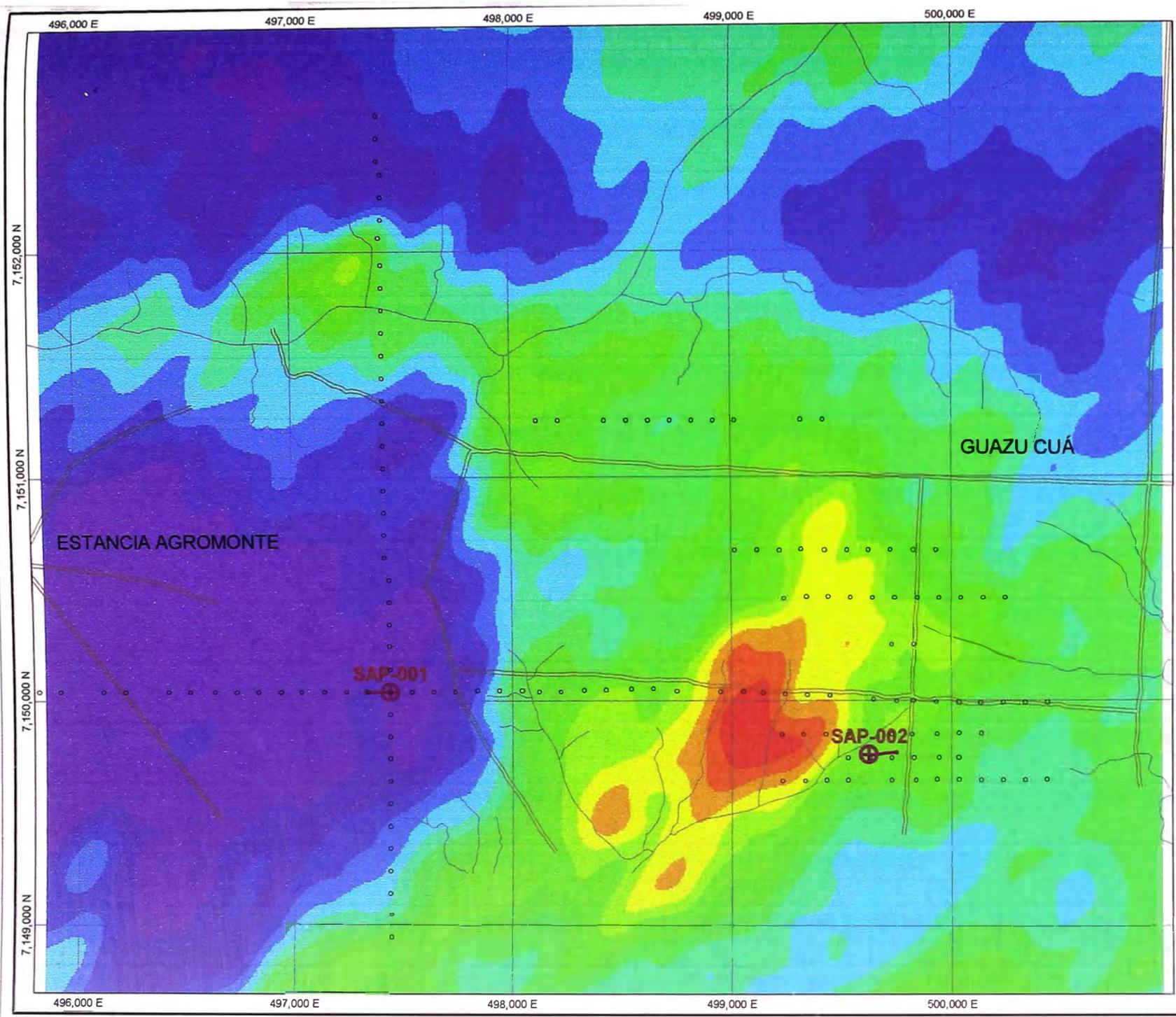
Univ. Nacional de Ingeniería

PROSPECTO SAPUCAI

Área Guazu Cuá
 MAGNÉTICO REDUCIDO AL POLO
 Reconocimiento Aéreo
 Figura III.6.10

NEWBONT INCORPORATION PROPRIETARY INFORMATION
 Scanned July 06, 2013 13:53:25
 C:\ProgramData\Geo\3D\3D-4-371

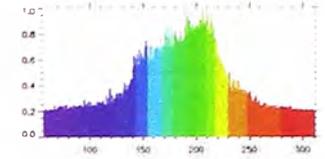




EXPLANATION

Radiométrico de Potasio

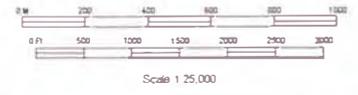
Image file: guask.bmp
 Original image resolution (DPI x Y): 75, 75
 Original image size (Pixels X Y): 614, 519
 Original image size (Inches X Y): 8.00, 6.00



Muestra de Suelo tipo Auger

o Muestra de Suelo tipo Auger

MAP AREA
 X: 495,000 - 501,000
 Y: 7,148,700 - 7,153,000
 Z: 0 - 10,000
 Units: Meters



Univ. Nacional de Ingeniería
PROSPECTO SAPUCAI
Área Guazu Cuá RADIOMÉTRICO DE POTASIO Reconocimiento Aéreo Figura III.6.11
<small> MEMSIGHT MONO CORPORATION PROPRIETARY INFORMATION Salvador, July 05, 2002 15:57:37 C:\Program\GuazuCuá\2504.dwg </small>



III.7 GEOQUÍMICA LOCAL

III.7.1 Objetivo

Determinar el origen primario de las dispersiones geoquímicas anómalas encontradas durante el programa de muestreo de sedimentos de escorrentía. Sabiendo de que muchas de éstas fuentes primarias podrían no estar aflorantes, se decidió efectuar un muestreo sistemático de suelos y rocas (donde las hubiese) en las áreas de Sapucaí y Guazu Cuá que fueron reconocidas como áreas anómalas regionalmente. Con fines prácticos, hemos considerado a las muestras de suelo de horizonte C con el mismo rango de importancia que las muestras de rocas (fragmentos de rocas) tomadas en la superficie.

El estudio de las dispersiones geoquímicas en suelos mediante el muestreo sistemático, nos permite evaluar una gran área manteniendo los factores de tiempos y costo en rangos razonables.

III.7.2 Programa de Muestreo Geoquímico

Sobre las áreas anómalas de Sapucaí y Guazu Cuá, se diseñó un programa de muestreo de detalle basado principalmente en un muestreo de suelos por el método de perforaciones tipo Auger. Donde fue posible se tomaron muestras de afloramientos de roca. Un total de 1044 puntos fueron muestreados, entre suelos (horizontes B y C) y fragmentos de roca.

III.7.2.1 Muestreo de Suelos tipo Auger

El muestreo de suelos de tipo Auger consiste en una perforación manual o mecanizada (en nuestro caso se usó el método manual) utilizando un tipo específico de brocas, que tienen la capacidad de extraer mediante rotación, una porción de suelo con o sin disturbación (tipo saca corchos gigante). Debido a que no era nuestro objetivo hacer estudios detallados del perfil del suelo, se utilizaron brocas que optimizaban la velocidad de perforación en desmedro de la disturbación de la muestra. Dependiendo del material encontrado: arcilla, arena o grava y del contenido de agua: seco o húmedo, se dispuso de una serie de brocas tanto de diseño estandarizado internacionalmente así como de diseño local (figuras III.7.2 y III.7.3).

Se configuraron 8 brigadas de muestreo, distribuidas dos por geólogo. Cada una de las brigadas disponía del siguiente equipo:

- Un juego doble de brocas de 10 cm de diámetro (para los primeros metros).
- Un juego doble de brocas de 7 cm de diámetro (para profundizar la perforación).
- Secciones de tubería de fierro galvanizado de 1.2 y 1.5 m, con los extremos roscados (roscas gruesas con hilos de 4 mm hechos en tornería), totalizando entre 6 a 7 m.
- Una manivela en "T" para darle rotación al conjunto.
- Material para recolectar la muestra: plástico grueso, cuchara, bolsa plástica, etc.

Material para limpieza y mantenimiento del equipo: escobilla, aceite, desengrasante, etc.

En el área de Sapucaí, la topografía prominente comparativamente, genera superficies con material eluvial soterrado, que dificulta considerablemente el desempeño de las perforadoras Auger. Esta línea o nivel de cantos y bloques se encontraba a profundidades entre 1 a 1.5 m, para lo cual se debía excavar previamente una pequeña calicata hasta alcanzar dicho nivel, retirar los cantos y recién iniciar la perforación en dicho punto. En las zonas más bajas, este nivel de cantos llegaba a profundizar 2 a 3 m y estaba ligado a la presencia de paleo canales de drenaje.

En el área de Guazu Cuá debido a la topografía completamente llana, no se tuvo ningún inconveniente por presencia de cantos (figura III.7.2). Sin embargo y por el mismo relieve llano, se decidió tomar muestras compósito del horizonte B. En este caso, una vez atravesado el horizonte orgánico, se tomaba una fracción de muestra aleatoria de cada una de las corridas, es decir de cada vez que se extraía la broca para su limpieza.

En ambos casos, la muestra de suelo se va recolectando sobre un plástico en rumas individuales de cada corrida para su observación. Cuando se obtiene una nueva corrida, se descarta la anterior y así sucesivamente. La observación detallada de la muestra permite prever la cercanía del horizonte C. La llegada a dicho horizonte normalmente se manifiesta por la aparición de pequeños fragmentos de roca poco intemperizada rotos por la acción de rotación del Auger. Es en dicho momento que se toma la muestra sólo de la última corrida.

III.7.2.2 Muestreo de Fragmentos de Rocas

Se realizó dos tipos de muestreo de rocas: areal y selectivo. En ambos casos se toman fragmentos de roca de tamaños centimétricos (4-7 cm) hasta completar unos 2-4 kg. En el caso de muestras areales, los puntos de muestreo son aleatorios y distribuidos en un círculo de 3 a 5 m de radio (si el afloramiento lo permitiese). En el muestreo selectivo, se toma únicamente la porción de interés: podría ser un brecha de sólo 10 cm o la matriz del mismo, para lo cual se acopia sólo la cantidad disponible.

III.7.2.3 Análisis Químico

Todas las muestras de rocas y suelos fueron analizadas por oro y multielementos utilizando el método de ICP, en los laboratorios de Bondar Clegg en La Serena, Chile (análisis de oro) y en Vancouver, Canadá (análisis multi-elemental). Adicionalmente se comisionó análisis específicos por flúor y telurio. El método de análisis y sus límites de detección son los mismos que para las muestras de sedimentos de escorrentía (tabla II.6.4.4).

En el caso de las muestras de suelo del horizonte B, las mismas eran previamente secadas y tamizadas a malla -150, considerándose para el análisis sólo dicha fracción. En el caso de las muestras de suelo del horizonte C, éstas seguían una preparación similar a la de las muestras de rocas, es decir secado y posterior molienda y pulverizado hasta malla -200.

III.7.3 Muestreo en Guazu Cuá

III.7.3.1 Programa de Muestreo

El área de Guazu Cuá cubre una extensión de 40 km². En esta área se diseñó una malla de muestreo en forma de cruz cuyo centro se ubica exactamente en el núcleo de la estructura magnética circular detectada en la geofísica. A partir de este punto se trazó una línea norte-sur de 5.9 km y una línea este-oeste de 8 km (figura III.7.1). Sobre estas líneas se ubicaron puntos de muestreo cada 100 m. Considerando la casi inexistencia de afloramientos, se decidió tomar muestras de suelo mediante perforaciones tipo Auger. Adicionalmente y basados en los resultados geofísicos con alta cargabilidad, se consideró conveniente efectuar un programa complementario en el sector este de Guazu Cuá, con 6 líneas de rumbo este-oeste separadas entre sí 100 y 200 m y puntos de muestreo cada 100 m. Un total de 246 muestras fueron tomadas en el área distribuidas de la siguiente manera: 76 muestras del horizonte B (compósito), 143 muestras del horizonte C y 27 muestras de rocas. La profundidad del suelo varía en un rango promedio de 3-4 m (saprolita) alcanzado en la zona central máximos de hasta 9.5 m.

III.7.3.2 Resultados Geoquímicos en Guazu Cuá

A continuación se muestra la distribución de los valores geoquímicos determinados en el muestreo sistemático de suelos y rocas en la zona de Guazu Cuá, individualizados por tipo de muestra: suelo horizonte C (tabla III.7.1), suelo horizonte B (tabla III.7.2) y rocas (tabla III.7.3). Se han compilado los elementos más representativos y que sirven como guías de mineralización: oro, arsénico, lantano, itrio, níquel, cobalto y manganeso (figuras III.7.4 a la III.7.10). Los percentiles para cada elemento son iguales en todos los casos, debido a que por motivos gráficos, éstos se representan juntos en las figuras y deben tener necesariamente los mismos intervalos.

Tabla III.7.1 Distribución de Percentiles y Parámetros Estadísticos - Programa de Muestreo Sistemático de Suelos en Guazu Cuá
(Muestreo tipo Auger del horizonte C)

	ELEMENTO	#	MINIMO	50%*	80%*	95%*	MAXIMO	PROM.	DV.ST.
1	Au -200 ppb	143	<5	<5	15	38	93	0.1	8
2	As -200 ppm	143	<5	6	15	22	39	2	10
3	La -200 ppm	143	26	70	120	200	1603	161	275
4	Y -200 ppm	143	5	10	15	28	481	49	94
5	Ni -200 ppm	143	16	29	63	107	476	80	70
6	Co -200 ppm	143	16	40	80	160	852	67	107
7	Mn -200 ppm	143	285	915	1479	2587	13943	1743	2047

(*) Calculados con la población total de muestras

Tabla III.7.2 Distribución de Percentiles y Parámetros Estadísticos - Programa de Muestreo Sistemático de Suelos en Guazu Cuá
(Muestreo tipo Auger del horizonte B)

	ELEMENTO	#	MINIMO	50%*	80%*	95%*	MAXIMO	PROM.	DV.ST.
1	Au –200 ppb	76	<5	<5	15	38	16	<1	6
2	As –200 ppm	76	<5	6	15	22	40	9	10
3	La –200 ppm	76	11	70	120	200	341	69	56
4	Y –200 ppm	76	3	10	15	28	116	19	16
5	Ni –200 ppm	76	24	29	63	107	121	52	19
6	Co –200 ppm	76	23	40	80	160	172	53	24
7	Mn –200 ppm	76	375	915	1479	2587	7230	1766	1252

(*) Calculados con la población total de muestras

Tabla III.7.3 Distribución de Percentiles y Parámetros Estadísticos - Programa de Muestreo Sistemático de Rocas en Guazu Cuá

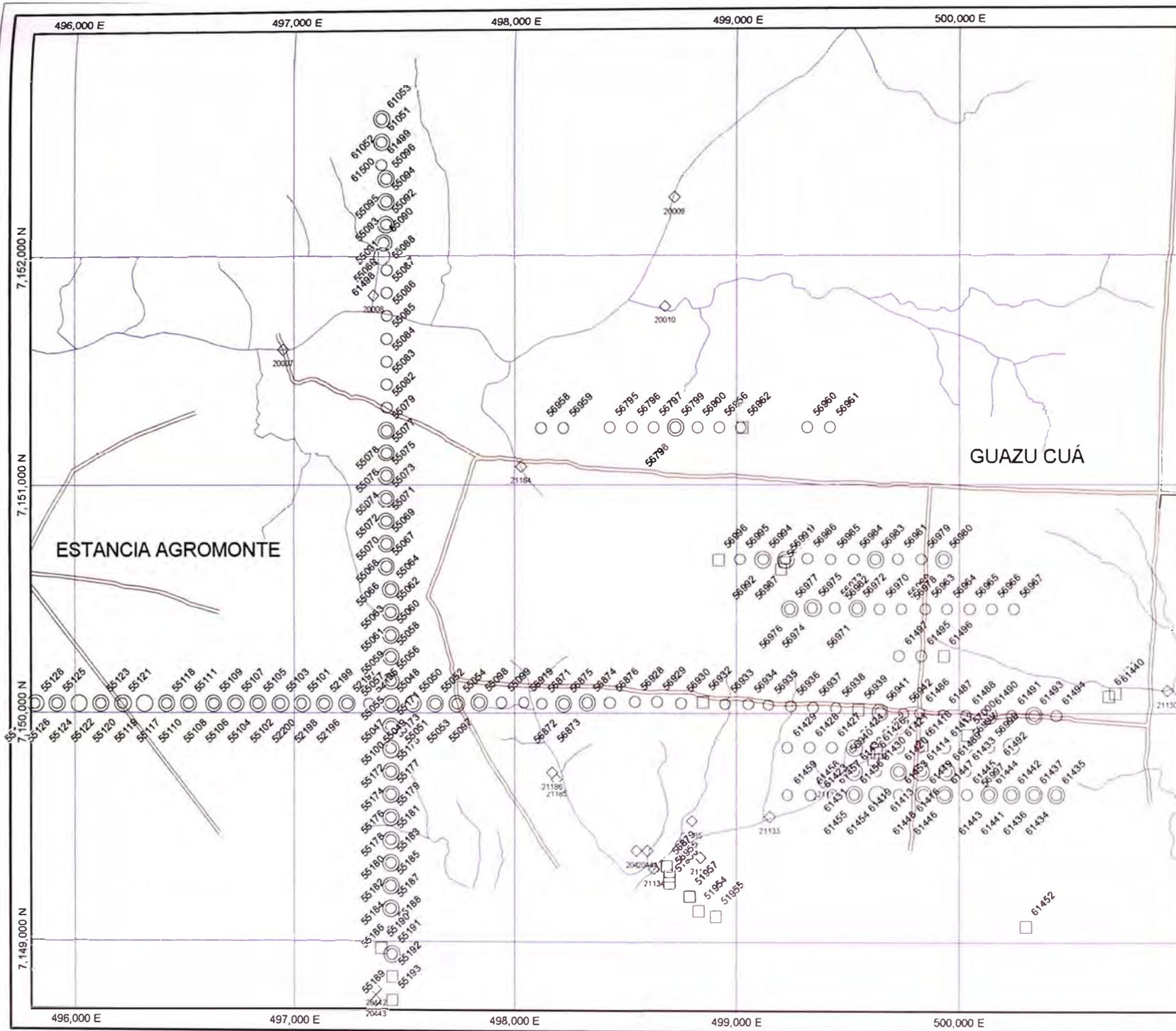
	ELEMENTO	#	MINIMO	50%*	80%*	95%*	MAXIMO	PROM.	DV.ST.
1	Au –200 ppb	27	<5	8	15	22	12	0.1	7
2	As –200 ppm	27	<5	6	15	22	19	<2	6
3	La –200 ppm	27	3	70	120	200	73	51	16
4	Y –200 ppm	27	<1	10	15	28	20	10	4
5	Ni –200 ppm	27	8	29	63	107	146	31	28
6	Co –200 ppm	27	3	40	80	160	100	29	16
7	Mn –200 ppm	27	273	915	1479	2587	4543	954	777

(*) Calculados con la población total de muestras.

La tabla III.7.1 que resume la información de las muestras del horizonte C, contiene una población mayor y por ende una mejor distribución estadística. En todos los casos, contiene valores máximos más elevados.

Los análisis del laboratorio revelaron una anomalía consistente en tierras raras (lantano hasta 1603 ppm e itrio hasta 481 ppm) en muestras de suelo del horizonte C y B (tablas III.7.1 y III.7.2), coincidente con anomalías en arsénico, manganeso, níquel y cobalto, todas ubicadas en el núcleo de la estructura circular magnética (figura III.6.10).

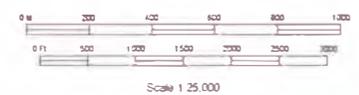
En el sector este sobre la anomalía de cargabilidad no se detectó ninguna anomalía geoquímica en suelos ni en roca. Tampoco se pudo corroborar las anomalías auríferas detectadas en el muestreo de sedimentos de escorrentía.



EXPLANATION

- Muestras de Sedimentos de Escorrentía**
 - ◊ Muestras de Sedimentos de Escorrentía
- Muestra de Suelo tipo Auger, Horizonte C**
 - Muestra de Suelo tipo Auger, Horizonte C
- Muestra de Suelo tipo Auger, Horizonte B**
 - Muestra de Suelo tipo Auger, Horizonte B
- Muestra de Roca**
 - Muestra de Roca

MAP AREA
 X: 492,800 - 501,200
 Y: 7,148,700 - 7,153,000
 Z: 0 - 10,000
 Units are meters



Univ.Nacional de Ingeniería
PROSPECTO SAPUCAI
Área Guazu Cuá UBICACIÓN DE MUESTRAS Muestras de Rocas, Suelos y Sedimentos Figura III.7.1
MEMORANDUM TECHNICAL CORPORATION PROPERTY INFORMATION Substrate: 8/4 08, 2022 18.01.21 © 1994-2022 SAPUCAI S.A.





Figura III.7.2. Toma de Muestras de Suelo por el Método Auger

(Foto superior)

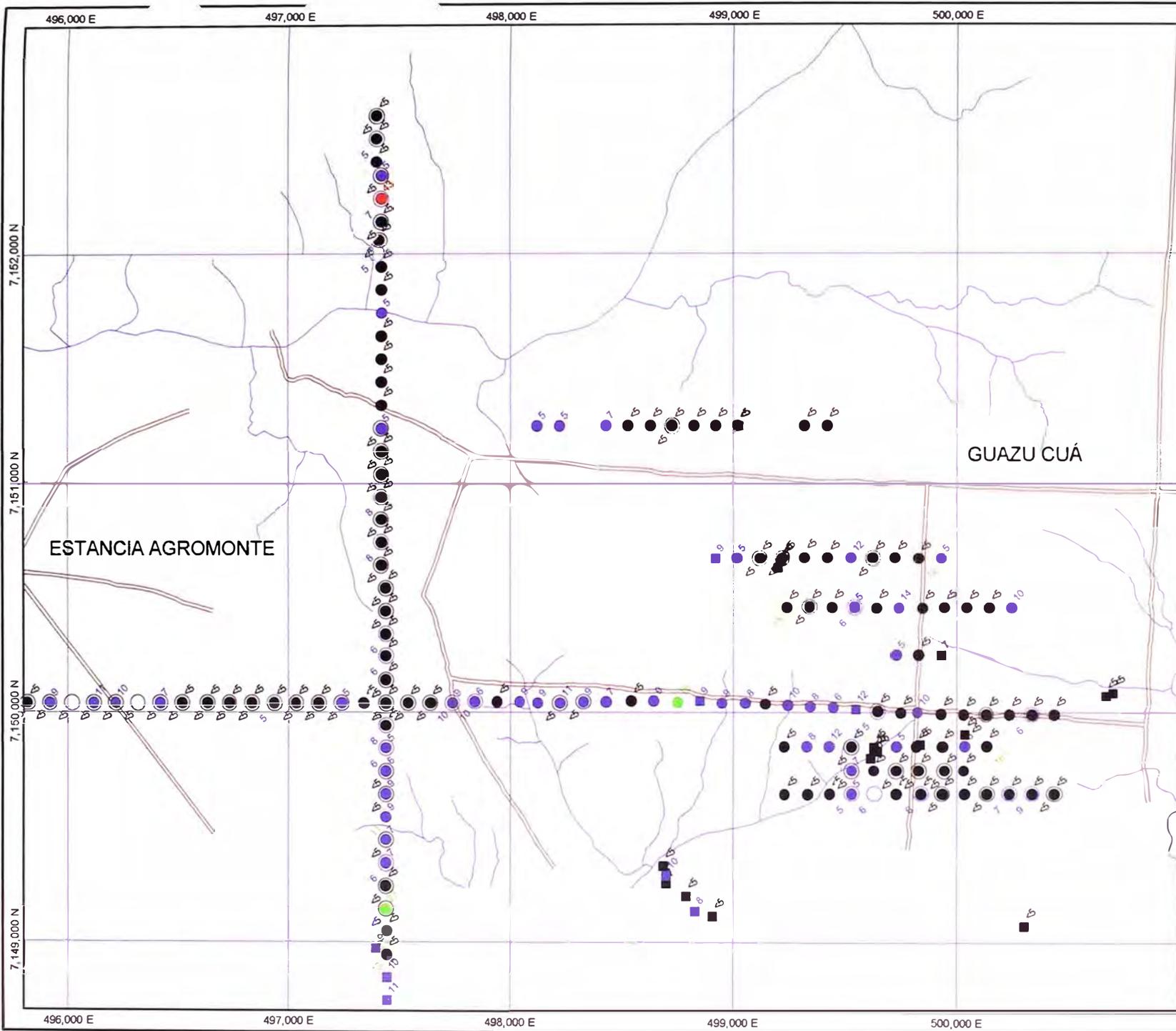
Procedimiento de perforación manual por el método Auger para obtención de muestra de suelo del horizonte C. Vista tomada en el área de Guazu Cuá, sector sur. Cada brigada se compone normalmente de 3 personas, dos que perforan y una que extrae la muestra de la broca.



Figura III.7.3. Muestreo Auger

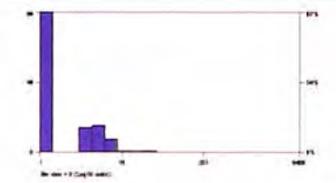
(Foto a la izquierda)

Obtención de la muestra de suelo utilizando brocas específicas. El plástico se utiliza para recolectar la muestra (2 corridas). Si el objetivo es muestrear el horizonte B, se toman fracciones compósito de cada una de las rumas y se van desechando en el mismo orden. Si sólo se desea muestrear el horizonte C, una vez que se logra obtener una nueva muestra, se desecha la anterior. El plástico es lavado luego de terminada cada muestra.



EXPLANATION

Oro en Horizonte C (ppb)



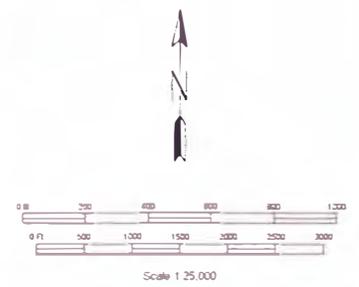
- Clase Intervalo for AU_ppb:**
- -5 - 5.00 - 50.00th percentil
 - -5 - 15.50 00 - 80.00th percentil
 - 15 - 38.80 00 - 95.00th percentil
 - 38 - 1140.95 00 - 100.00th percentil

Oro en Horizonte B (ppb)

- Clase Intervalo for AU_ppb:**
- -5 - 5.00 - 50.00th percentil
 - -5 - 11.50 00 - 80.00th percentil
 - 11 - 38.80 00 - 95.00th percentil
 - 38 - 6409.95 00 - 100.00th percentil

Oro en Roca (ppb)

- Clase Intervalo for AU_ppb:**
- -5 - 8
 - 8 - 15
 - 15 - 22
 - 22 - 6409
- MAPA AUXILIAR**
 X: 486,800 - 501,200
 Y: 7,148,700 - 7,153,200
 Z: 0 - 10,000
 UNIDADES ANTERIORES

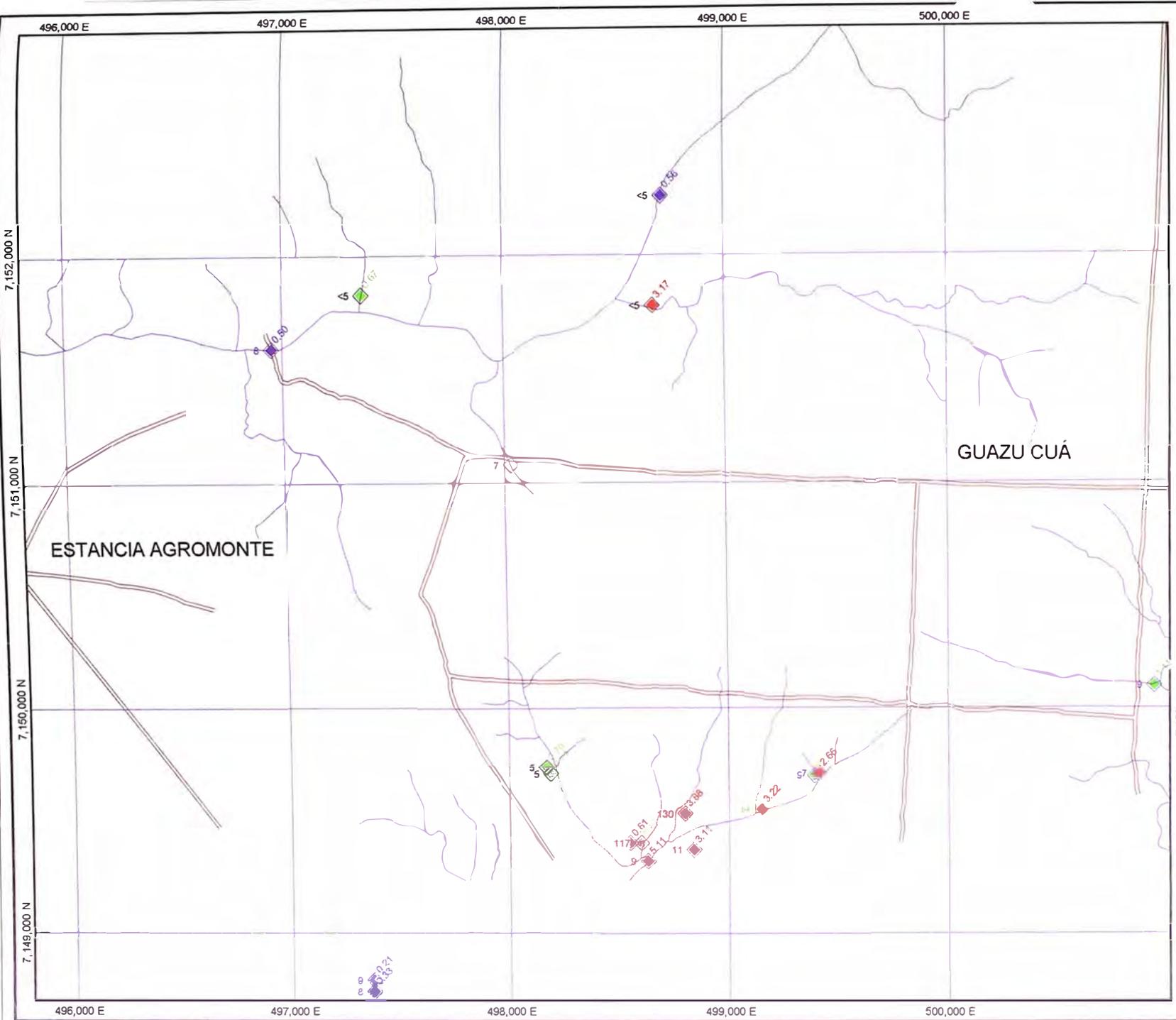


Univ.Nacional de Ingenieria

PROSPECTO SAPUCAI

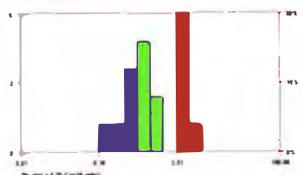
Área Guazu Cuá
GEOQUIMICA DE ORO
 Muestras de Suelos y Rocas
 Figura III.7.4a

INFORMACIÓN PROPRIETARIA CONFIDENCIAL
 C:\P\PROSPECTO SAPUCAI.dwg



EXPLANATION

Oro tipo BLEG (ppb)



- Class Intervals for AuC₁ ppb:**
- 0.00 - 0.17 0 - 50th percentile
 - 0.17 - 0.62 50 - 80th percentile
 - 0.62 - 2.05 80 - 95th percentile
 - 2.05 - 119.67 95 - 100th percentile

Oro Fracción -200 (ppb)

- Class Intervals for Au₁ ppb:**
- 5 - 5 0 - 50th percentile
 - 5 - 12 50 - 80th percentile
 - 12 - 42 80 - 95th percentile
 - 42 - 6409 95 - 100th percentile

MAP AREA
 X: 496,000 - 500,000
 Y: 7,149,000 - 7,152,000
 Z: 0 - 10,000
 Units are meters

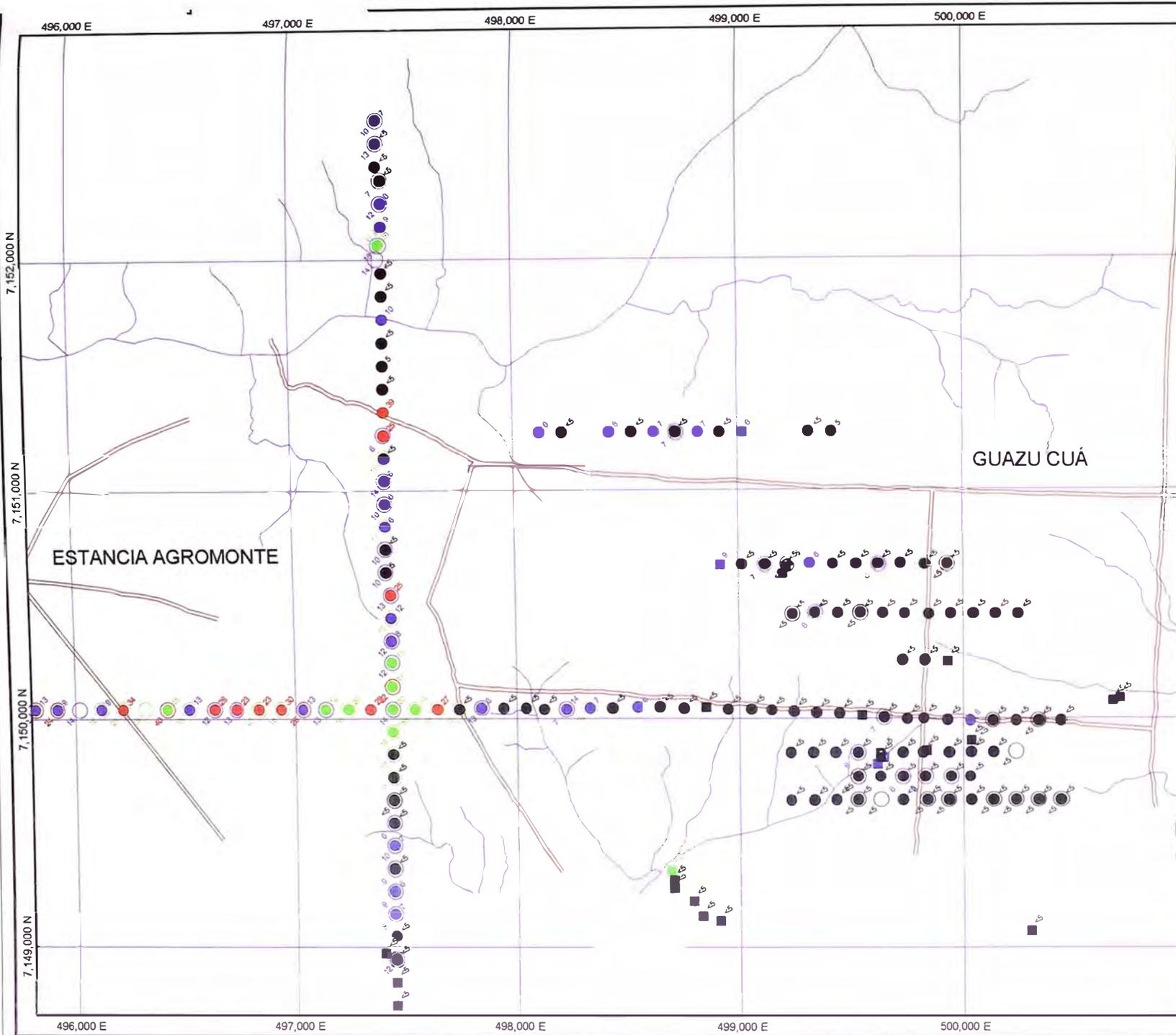


Univ.Nacional de Ingenieria

PROSPECTO SAPUCAI

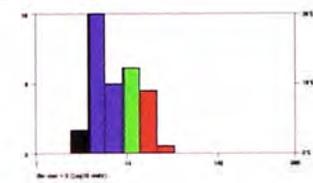
Área Guazu Cuá
 GEOQUIMICA DE ORO
 Muestras de Sedimentos de Escorrentia
 Figura III.7.4b

NEWMONT MINING CORPORATION PROPRIETARY INFORMATION
 January, 14th 06, 2002 15:05:22
 C:\Program Files\ArcGIS\MapServer\wwwroot\...



EXPLANATION

Arsénico en horizonte C (ppm)



- Class Intervals for As_{ppmC}**
- 1 - 6.0 - 50th percentile
 - 6 - 15.50 - 80th percentile
 - 15 - 22.80 - 95th percentile
 - 22 - 996.95 - 100th percentile

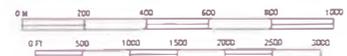
Arsénico en horizonte B (ppm)

- Class Intervals for As_{ppmB}**
- 1 - 6.0 - 50th percentile
 - 6 - 15.50 - 80th percentile
 - 15 - 22.80 - 95th percentile
 - 22 - 996.95 - 100th percentile

Arsénico en Roca (ppm)

- Class Intervals for As_{ppmR}**
- 1 - 6.0 - 50th percentile
 - 6 - 15.50 - 80th percentile
 - 15 - 22.80 - 95th percentile
 - 22 - 996.95 - 100th percentile

MAP AREA
 X 496,000 - 501,000
 Y 7,148,700 - 7,152,000
 Z 0 - 10,000
 Units are meters



Scale 1:25,000

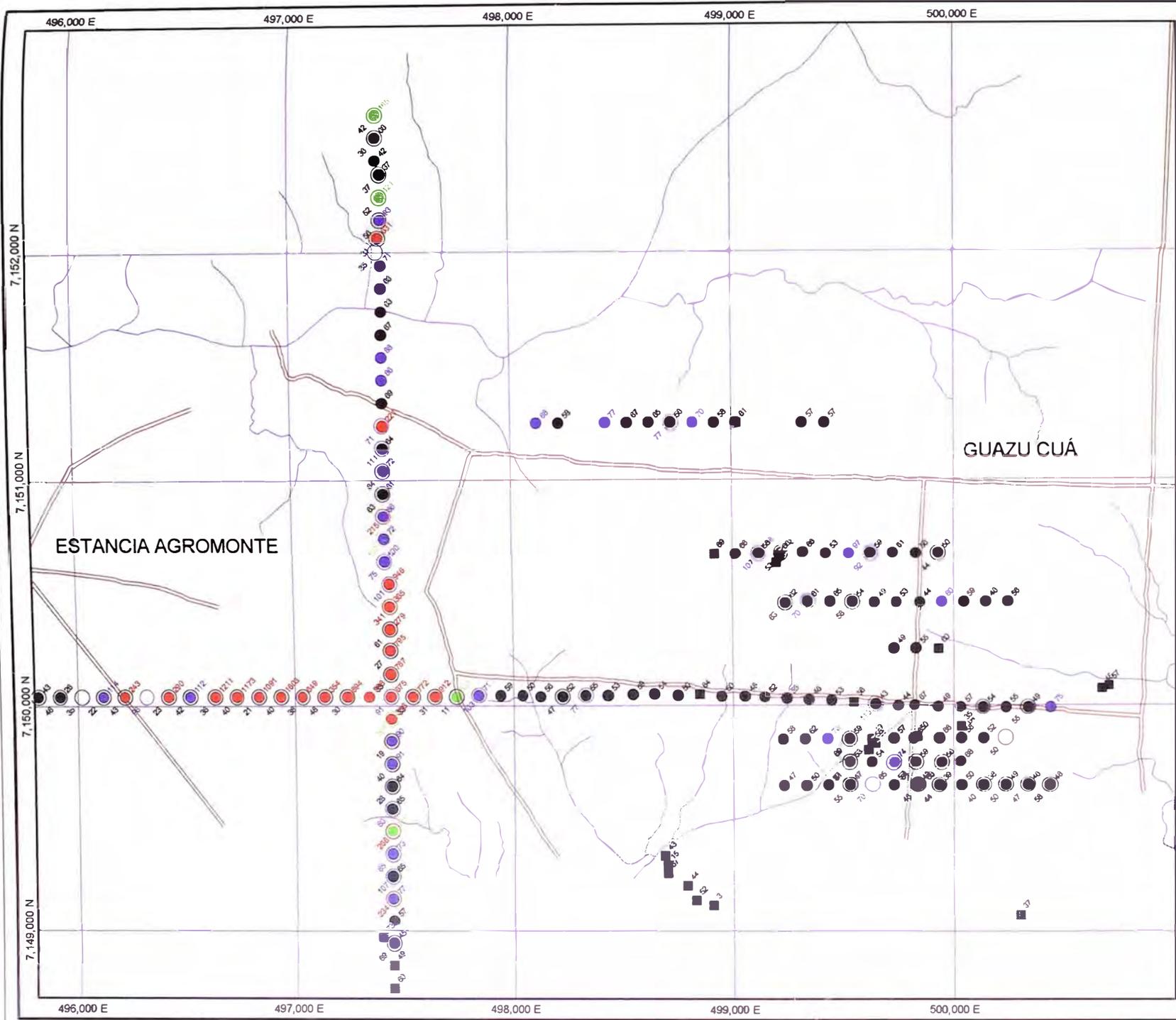
Univ. Nacional de Ingeniería

PROSPECTO SAPUCAI

Área Guazu Cuá
 GEOQUÍMICA DE ARSÉNICO
 Muestras de Suelos y Rocas
 Figura III.7.5

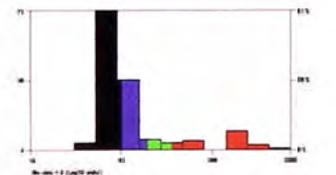
NOVEMBERE MENZIO CORPORATION PROPRIETARY INFORMATION
 Saturday, July 08, 2012 11:22:58
 C:\P\GIS\PROSPECTO SAPUCAI\MAPS





EXPLANATION

Lantano en horizonte C (ppm)



- Class intervals for LA_{ppmC}:**
- 10 - 70, 0 - 50th percentile
 - 70 - 120, 50 - 80th percentile
 - 120 - 200, 80 - 95th percentile
 - 200 - 1603, 95 - 100th percentile

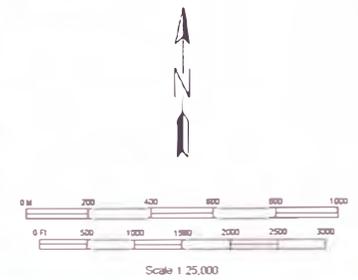
Lantano en horizonte B (ppm)

- Class intervals for LA_{ppmB}:**
- 10 - 70, 0 - 50th percentile
 - 70 - 120, 50 - 80th percentile
 - 120 - 200, 80 - 95th percentile
 - 200 - 1603, 95 - 100th percentile

Lantano en Roca (ppm)

- Class intervals for LA_{ppmR}:**
- 10 - 70, 0 - 50th percentile
 - 70 - 120, 50 - 80th percentile
 - 120 - 200, 80 - 95th percentile
 - 200 - 1603, 95 - 100th percentile

WGS 84
 X: 496,000 500,000
 Y: 7,149,000 7,153,000
 Z: 0 10,000
 Units are meters.

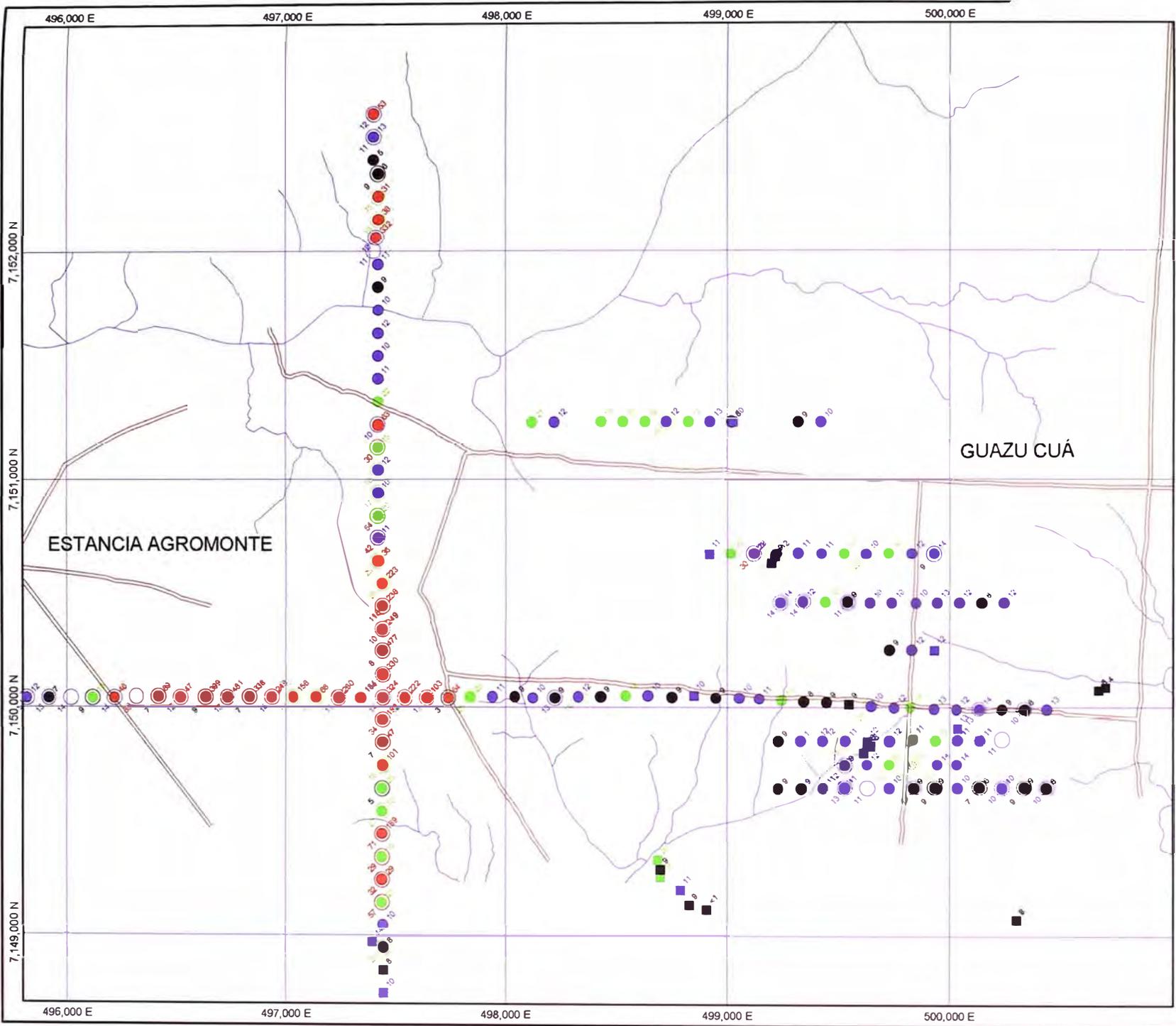


Univ. Nacional de Ingenieria

PROSPECTO SAPUCAI

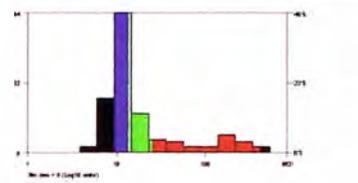
Área Guazu Cuá
GEOQUÍMICA DE LANTANO
 Muestras de Suelos y Rocas
 Figura III.7.6

NEWBONT MINING CORPORATION PROPRIETARY INFORMATION
 Copyright, Aug 04, 2002 18.04.03
 C:\P\2002\GuazuCu\SAI.sdm



EXPLANATION

Itrio en horizonte C (ppm)



- Class Intervals for Y_ppm:
- -1 - 10, 0 - 50th percentil
 - 10 - 15, 50 - 80th percentil
 - 15 - 28, 80 - 95th percentil
 - 28 - 481, 95 - 100th percentil

Itrio en horizonte B (ppm)

- Class Intervals for Y_ppm:
- -1 - 10, 0 - 50th percentil
 - 10 - 15, 50 - 80th percentil
 - 15 - 28, 80 - 95th percentil
 - 28 - 481, 95 - 100th percentil

Itrio en Roca (ppm)

- Class Intervals for Y_ppm:
- -1 - 10, 0 - 50th percentil
 - 10 - 15, 50 - 80th percentil
 - 15 - 28, 80 - 95th percentil
 - 28 - 481, 95 - 100th percentil

MAP AREA
 X: 496,000 500,000
 Y: 7,148,700 7,152,000
 Z: 10,000
 Units: gms/meters

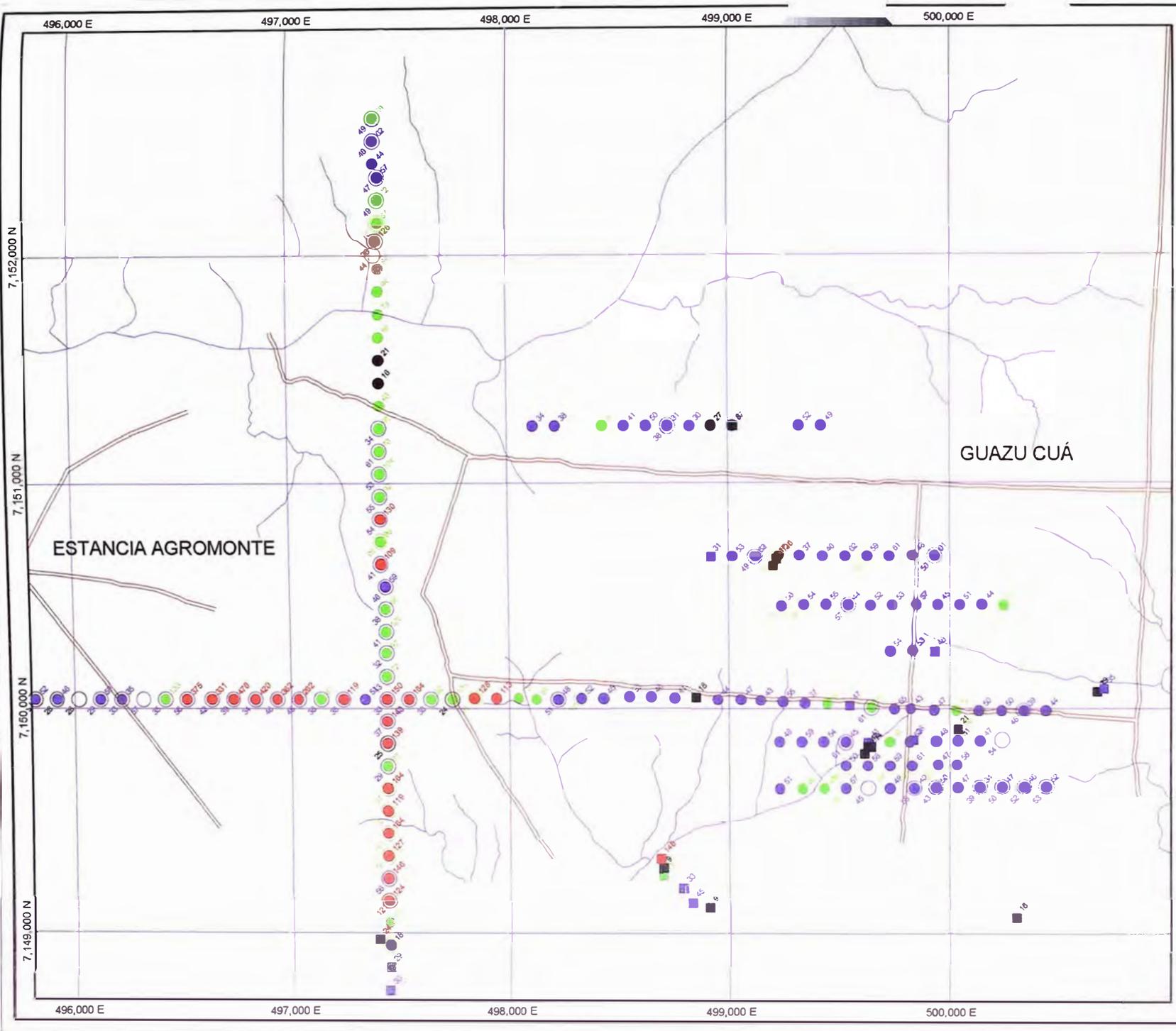


Univ. Nacional de Ingenieria

PROSPECTO SAPUCAI

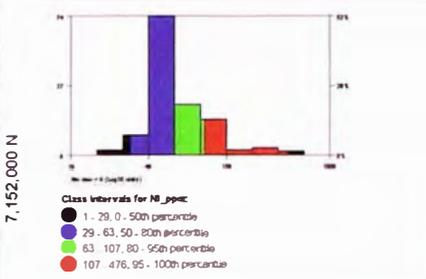
Área Guazu Cuá
 GEOQUIMICA DE ITRIO
 Muestras de Suelos y Rocas
 Figura III.7.7

MEMORANDUM ENGINEERING CORPORATION PROPRIETARY INFORMATION
 Scales: July 08, 2002 11:26:58
 C:\w\es\p\sa\guazu\cu\2548.dwg

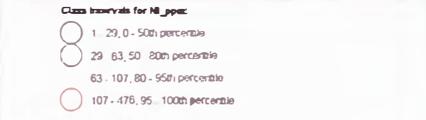


EXPLANATION

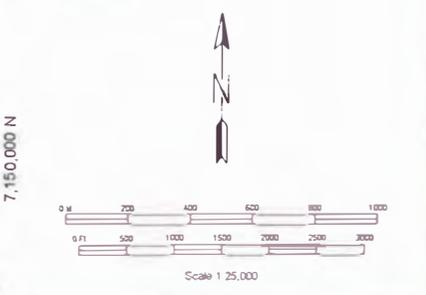
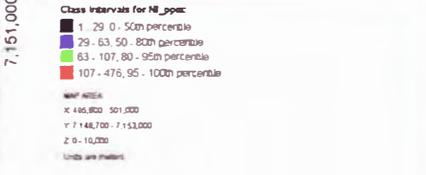
Níquel en horizonte C (ppm)



Níquel en horizonte B (ppm)



Níquel en Roca (ppm)

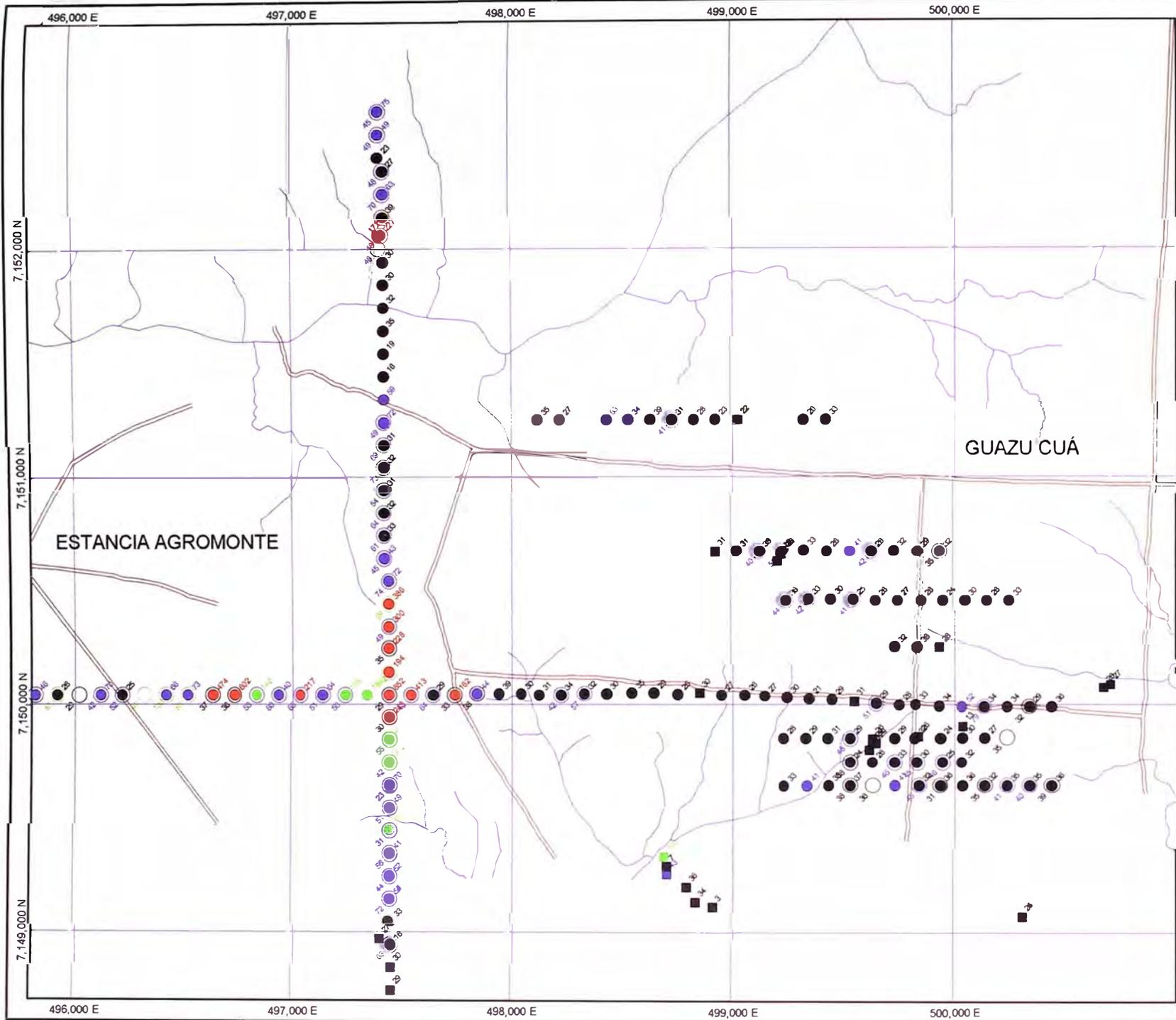


Univ. Nacional de Ingeniería

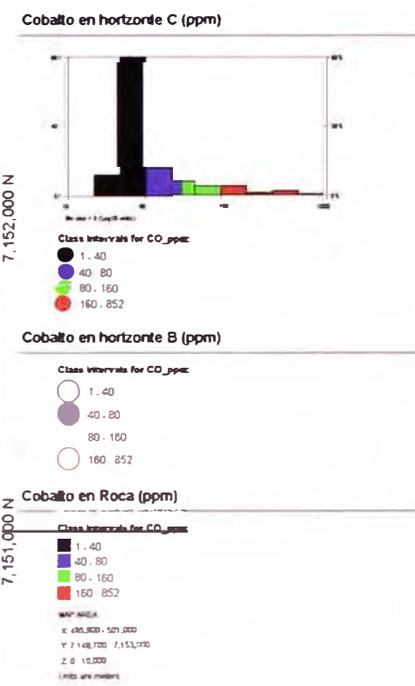
PROSPECTO SAPUCAI

Área Guazu Cuá
GEOQUÍMICA DE NÍQUEL
 Muestras de Suelos y Rocas
 Figura III.7.8

HEWLETT PACKARD CORPORATION PROPRIETARY INFORMATION
 Copyright © 2002 Hewlett-Packard
 C:\Program Files\HP\Geochem\Geochem 7.08



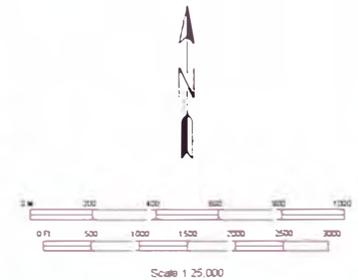
EXPLANATION



7,152,000 N
7,151,000 N
7,150,000 N
7,149,000 N

ESTANCIA AGROMONTE

GUAZU CUÁ



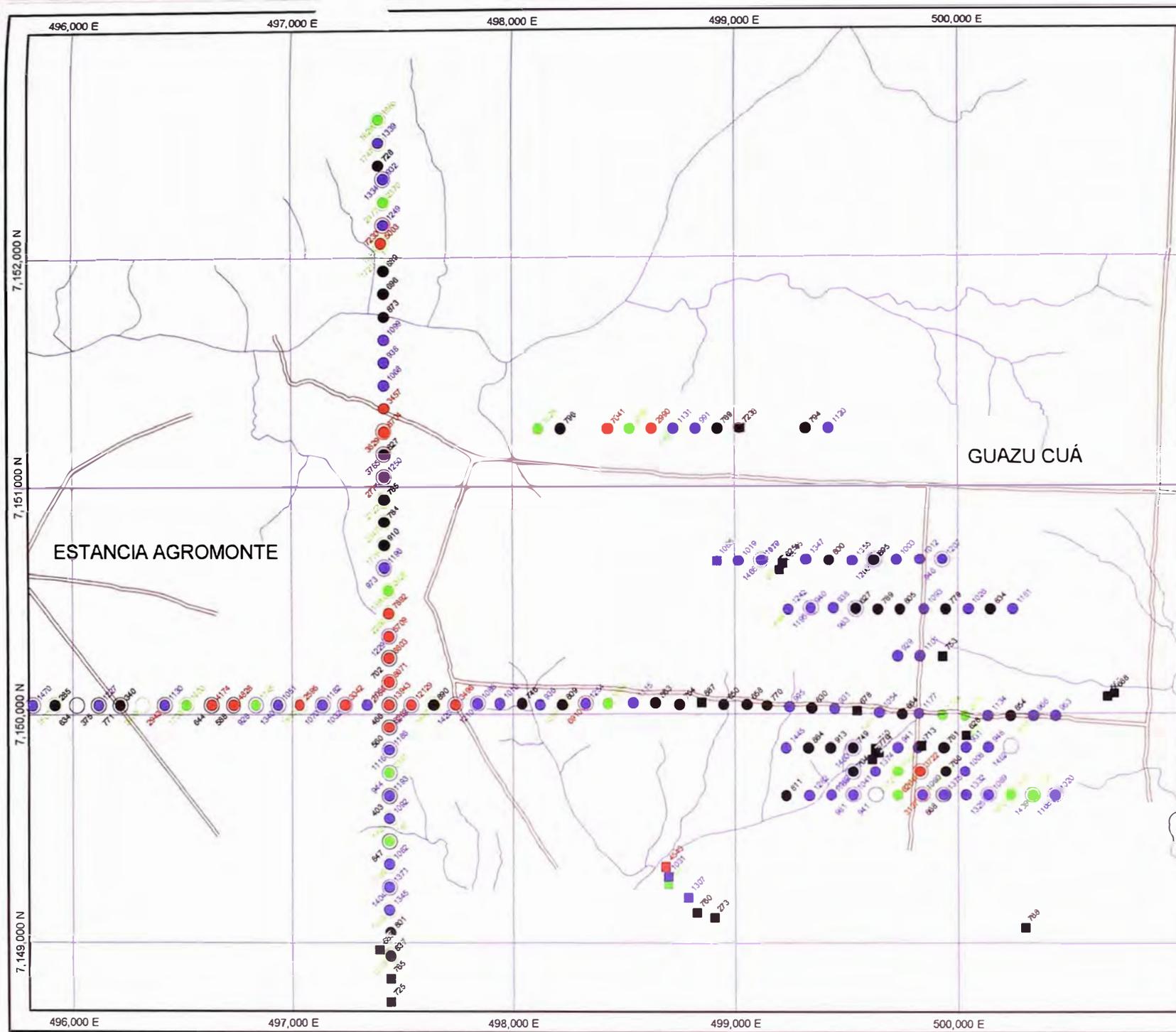
Univ.Nacional de Ingenieria

PROSPECTO SAPUCAI

Área Guazu Cuá
 GEOQUÍMICA DE COBALTO
 Muestras de Suelos y Rocas
 Figura III.7.9

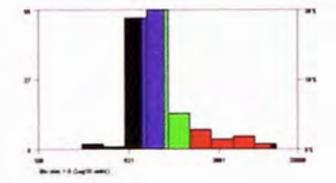
NEWMONT MINING CORPORATION PROPRIETARY INFORMATION
 UTMUTM Jan 08, 2002 18:43:01
 C:\ProgramData\GIS\MapInfo

496,000 E 497,000 E 498,000 E 499,000 E 500,000 E



EXPLANATION

Manganeso en horizonte C (ppm)



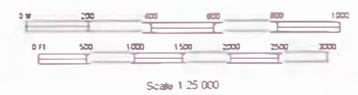
- Clase Intervalo for MN_ppm:**
- 23 - 915, 0 - 50th percentile
 - 915 - 1479, 50 - 80th percentile
 - 1479 - 2587, 80 - 95th percentile
 - 2587 - 13943, 95 - 100th percentile

Manganeso en horizonte B (ppm)

- Clase Intervalo for MN_ppm:**
- 23 - 915, 0 - 50th percentile
 - 915 - 1479, 50 - 80th percentile
 - 1479 - 2587, 80 - 95th percentile
 - 2587 - 13943, 95 - 100th percentile

Manganeso en Roca (ppm)

- Clase Intervalo for MN_ppm:**
- 23 - 915, 0 - 50th percentile
 - 915 - 1479, 50 - 80th percentile
 - 1479 - 2587, 80 - 95th percentile
 - 2587 - 13943, 95 - 100th percentile
- MAP UTM
 x: 496,000 - 500,000
 y: 7,149,000 - 7,152,000
 Z: 0 - 10,000
 UTM zone number:



Univ. Nacional de Ingeniería

PROSPECTO SAPUCAI

Área Guazu Cuá
GEOQUÍMICA DE MANGANESO
 Muestras de Suelos y Rocas
 Figura III.7.10

NEWAMONT MENDO CORPORATION PROSPECTING AND DRILLING
 Calcutta, July 08, 2002 10:44:38
 C:\Programas\Gis\MapInfo\MapInfo 2.00

III.7.4 Muestreo en Sapucaí

III.7.4.1 Programa de Muestreo

El área de Sapucaí cubre una extensión de 12 km². En esta área se diseñó un programa preliminar con líneas de dirección este-oeste cada 400 m, partiendo desde una línea base de dirección norte-sur de 3.2 km de longitud. La dirección de muestreo este-oeste fue elegida en función de que intersectaba a los dos controles principales: el de actividad ígnea con diques de rumbo preferente noroeste y un corredor magnético-radiométrico de rumbo noreste. Adicionalmente, la brecha ígnea y la brecha hidrotermal presentaba una dirección preferente norte-sur.

Sobre las líneas este-oeste se tomaron muestras cada 25 o 50 m dependiendo de la presencia o no de afloramientos o rasgos de mineralización. A igual espaciamiento se tomaron muestras sobre la línea base. En una segunda etapa se colocaron líneas intermedias de dirección este-oeste cada 200 m con igual espaciamiento entre muestras (figura III.7.11). En Sapucaí, las muestras de suelo fueron exclusivamente del horizonte C. No se consideró necesario evaluar la dispersión geoquímica en el horizonte B pues la cobertura de suelo es mucho menor comparativamente a Guazu Cuá. Los afloramientos de roca representan menos del 5% de la superficie, sin embargo, en los sectores donde existían afloramientos, estos fueron sujeto de un muestreo mucho más denso. También se tomaron muestras de canales a lo largo de los caminos. En total se tomaron 798 muestras distribuidas como sigue: 594 muestras de suelo horizonte C y 204 muestras de fragmentos de roca.

III.7.4.2. Resultados Geoquímicos en Sapucaí

Las tablas a continuación resumen la distribución de los valores geoquímicos determinados en el programa de muestreo sistemático de suelos y rocas en Sapucaí. Se han separado por tipo de muestra: suelo horizonte C (tabla III.7.4) y roca (tabla III.7.5). Se han compilado los elementos más representativos en esta zona, los cuales sirven como elementos indicadores de posible mineralización: oro, arsénico, flúor, manganeso, vanadio, estroncio, zinc y plomo.

Tabla III.7.4 Distribución de Percentiles y Parámetros Estadísticos - Programa de Muestreo Sistemático de Suelos en Sapucaí
(Muestreo tipo Auger del horizonte C)

	ELEMENTO	#	MINIMO	50%	80%	95%	MAXIMO	PROM.	DV.ST.
1	Au -200 (ppb)	594	<5	8	15	22	547	6	25
2	As -200 (ppm)	594	1	6	15	22	134	2	12
3	F -200 (ppm)	594	269	1500	3000	4000	12808	1699	1040
4	Mn -200 (ppm)	594	83	915	1479	2587	4494	1035	490
5	V -200 (ppm)	594	26	145	186	248	444	171	49

6	Sr –200 (ppm)	594	43	110	203	537	1595	225	193
7	Zn –200 (ppm)	594	10	60	78	106	211	73	21
8	Pb –200 (ppm)	594	<2	11	17	35	84	10	9

Tabla III.7.5 Distribución de Percentiles y Parámetros Estadísticos - Programa de Muestreo Sistemático de Rocas en Sapucaí

	ELEMENTO	#	MINIMO	50%	80%	95%	MAXIMO	PROM.	DV.ST.
1	Au –200 (ppb)	200	<5	8	15	22	6409	93	688
2	As –200 (ppm)	203	1	6	15	22	165	7	20
3	F –200 (ppm)	200	116	1500	3000	4000	18627	2021	1753
4	Mn –200 (ppm)	200	32	915	1479	2587	3812	935	509
5	V –200 (ppm)	203	11	145	186	248	294	142	53
6	Sr –200 (ppm)	203	15	110	203	537	2000	298	342
7	Zn –200 (ppm)	203	16	60	78	106	152	64	19
8	Pb –200 (ppm)	203	<2	11	17	35	52	11	7

Comparando ambas tablas, los mayores valores se obtienen en las muestras de roca (203 muestras), éste sesgo se debe a que la mayor cantidad de muestras de roca son del tipo selectivo sobre afloramientos específicos con alteración y/o mineralización (v.g. Brecha Picuá). En este sentido, las muestras de suelos (594 muestras) han sido tomadas sistemática y a la vez aleatoriamente, teniendo un comportamiento tal vez más representativo que las de rocas.

La principal anomalía aurífera (figura III.7.12) en afloramiento de roca se ubica sobre la denominada Brecha Picuá que es una brecha hidrotermal con alteración potásica en el núcleo del complejo Sapucaí. Los valores de superficie alcanzan 519 ppb de oro ligados a la brecha con matriz abierta y muy oxidada, con presencia de cristales cúbicos de fluorita hasta 1%. El valor de oro más elevado en muestra de suelo fue encontrado en el punto 600 sur y 150 oeste (la Brecha Picuá se ubica en el punto 0 norte 0 este), con 547 ppb ligado a suelo residual enriquecido en biotita-flogopita que sugiere una asociación con alteración potásica.

El segundo elemento anómalo consistentemente lo constituye el flúor (figura III.7.14), encontrado principalmente sobre la brecha de fracturamiento en el basalto, hacia el sector este de la Brecha Picuá. Esta anomalía coincide perfectamente con la distribución de la brecha y con la presencia de cristales de fluorita tapizando parcialmente las fracturas abiertas del basalto. Esta anomalía también se tiene en las zonas con alteración potásica en la brecha Picuá (tabla III.5.1c). Se infiere que la presencia de la anomalía de flúor a nivel de los basaltos podría ser un indicativo de alteración y mineralización similar a Picuá bajo ellos, debido a que el flúor se emplaza en niveles más altos.

Los valores anómalos de manganeso (figura III.7.15) está asociados predominantemente a los de flúor, pues la anomalía principal se concentra en el área de la brecha de

fracturamiento en los basaltos. Otros valores anómalos están dispersos por encima de la brecha intrusiva y sus alrededores, siempre en el núcleo del complejo Sapucaí. No hay valores significativos de manganeso en la brecha Picuá.

El vanadio (figura III.7.16) se distribuye ampliamente y de manera consistente en todo el núcleo del complejo Sapucaí, formando una especie de halo alrededor de la brecha Picuá que no contiene valores anómalos. Cabe resaltar que sistemas alcalinos mineralizados en oro como Cripple Creek contiene anomalías de vanadio asociadas a la presencia de roscoelita, mineral que no ha sido identificado en Sapucaí, aunque no se descarta que esté presente.

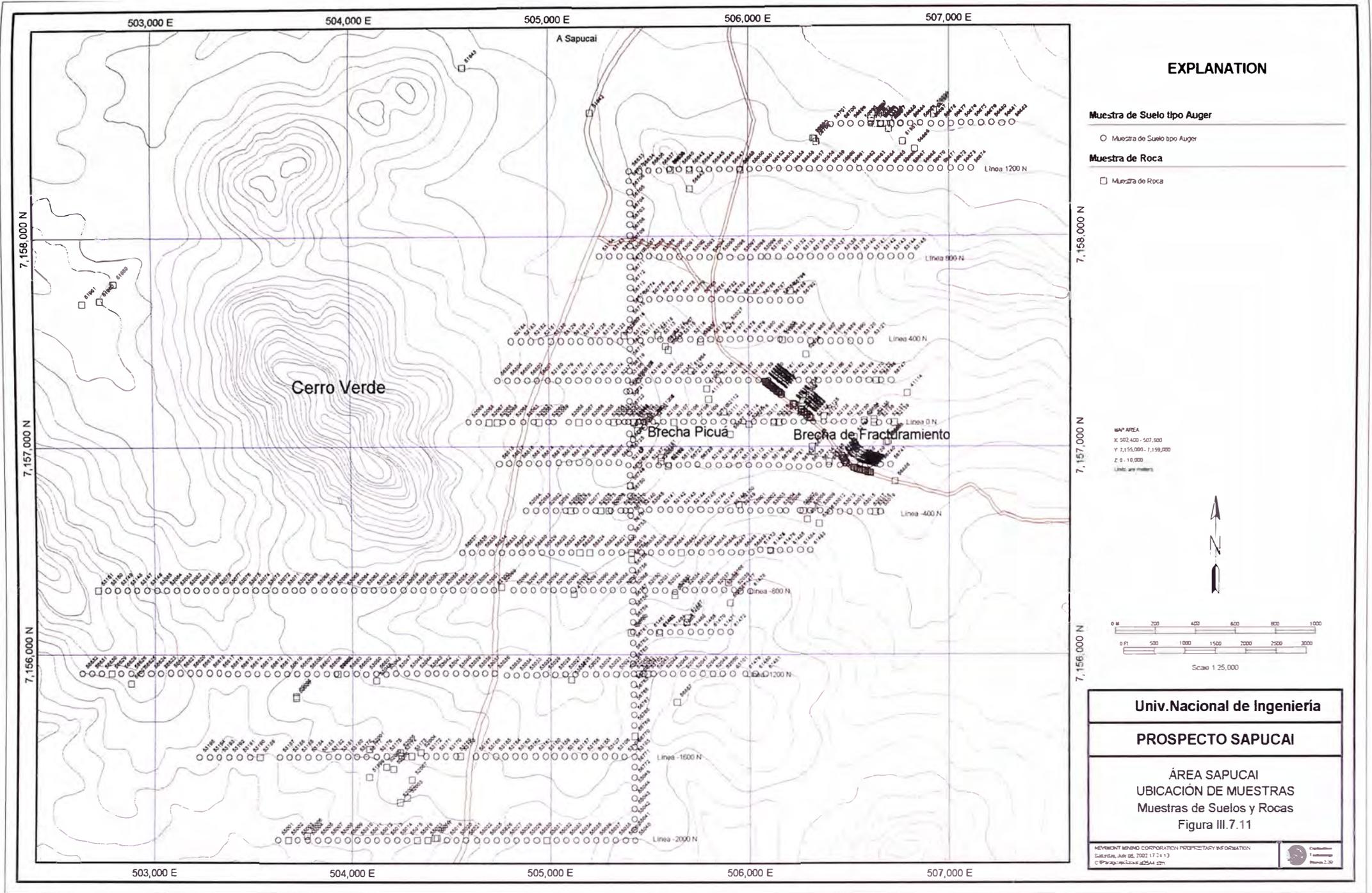
El estroncio (figura III.7.17) muestra un zonamiento muy marcado, cuyo centro se ubica a 200 m al noreste de la brecha Picuá. Esta zona no presenta afloramiento, sin embargo se han registrado fragmentos y cantos con mineralización de venillas de cuarzo blanco (sin oro). Su ubicación exacta en el centro del complejo alcalino, sugiere que este contorno marca los límites de las rocas más profundas del sistema, pues si comparamos el comportamiento del estroncio a nivel regional, veremos que éste se concentra mayormente en el núcleo de los centros volcánicos y relacionado a la alteración potásica. No hay anomalía de estroncio asociada a la carbonatización.

La distribución del zinc (figura III.7.18) muestra un patrón muy similar al del estroncio pero de mayor dispersión. Todos los valores anómalos se sitúan en la zona central de Sapucaí. Normalmente, el zinc suele constituir un halo alrededor de mineralizaciones auríferas como sucede en los epitermales, pórfidos y depósitos de sulfuros masivos. Debido al nivel de erosión de Sapucaí, se justifica en cierta manera este tipo de distribución del zinc.

Los valores de plomo (figura III.7.19) son bastante bajos pero logran definir dos anomalías consistentes: una cerca a la brecha Picuá y la más importante en la línea 400 norte, punto 0 este. En esta última zona, subaflora un intrusivo grabroico con ligera alteración potásica, y los sondajes que se ubicaron en dicha posición (SAP-009 y SAP-010) no han determinado el origen de dicha anomalía, pues el contenido de sulfuros (mayormente pirita) no superaba el 3%.

Por último, se adjuntan tres matrices de correlación (tablas III.7.6, III.7.7 y III.7.8) que compilan todos los resultados del programa de muestreo de detalle separado por tipo de muestra: suelo horizonte C, suelo horizonte B y roca respectivamente. Cada tabla contiene indistintamente información de Sapucaí y Guazu Cuá.

Debido a la ausencia de mineralización en la mayor parte de las muestras de suelo del horizonte C, los coeficientes de correlación obtenidos en este tipo de muestras es el más bajo. Las muestras de suelo del horizonte B (transportado) tienen mejores coeficientes lográndose correlacionar elementos tales como arsénico, plomo, zinc y galio, así como algunos elementos de minerales constituyentes primarios: magnesio y potasio.



EXPLANATION

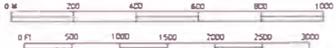
Muestra de Suelo tipo Auger

○ Muestra de Suelo tipo Auger

Muestra de Roca

□ Muestra de Roca

MAP AREA
 X 502,400 - 507,500
 Y 7,155,000 - 7,158,000
 Z 0 - 18,000
 Lines are meters

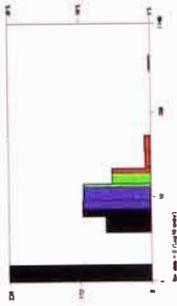


Scale 1:25,000

Univ. Nacional de Ingeniería
PROSPECTO SAPUCAI
ÁREA SAPUCAI UBICACIÓN DE MUESTRAS Muestras de Suelos y Rocas Figura III.7.11
<small> HEWLETT PACKARD CORPORATION PROPRIETARY INFORMATION Copyright July 05, 2002 17:24:13 © 1999-2004 HP Development Company, L.P. </small>

EXPLANATION

Oro en Muestra de Suelo tipo Auger (ppb)



Class Intervals for Au, ppb:

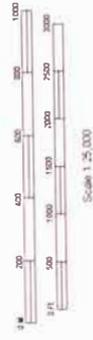
- 5 - 9.0 - 50th percentil
- 9.1 - 15.0 - 60th percentil
- 15.1 - 22.80 - 75th percentil
- 22.9 - 44.0 - 95th percentil
- 44.1 - 114.0 - 100th percentil

Oro en Muestra de Roca (ppb)

Class Intervals for Au, ppb:

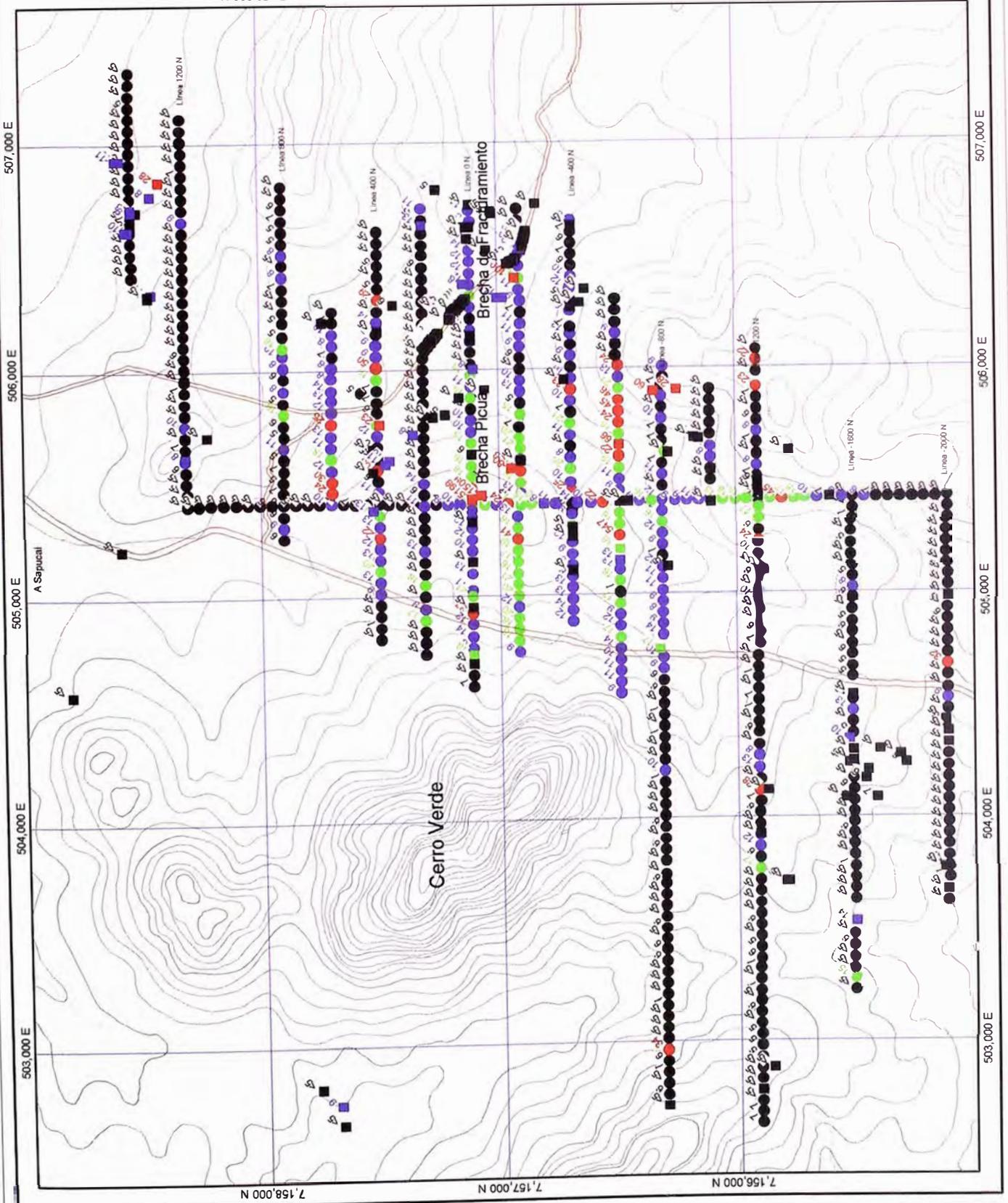
- 5 - 9.0 - 50th percentil
- 9.1 - 15.0 - 60th percentil
- 15.1 - 22.80 - 75th percentil
- 22.9 - 44.0 - 95th percentil
- 44.1 - 114.0 - 100th percentil

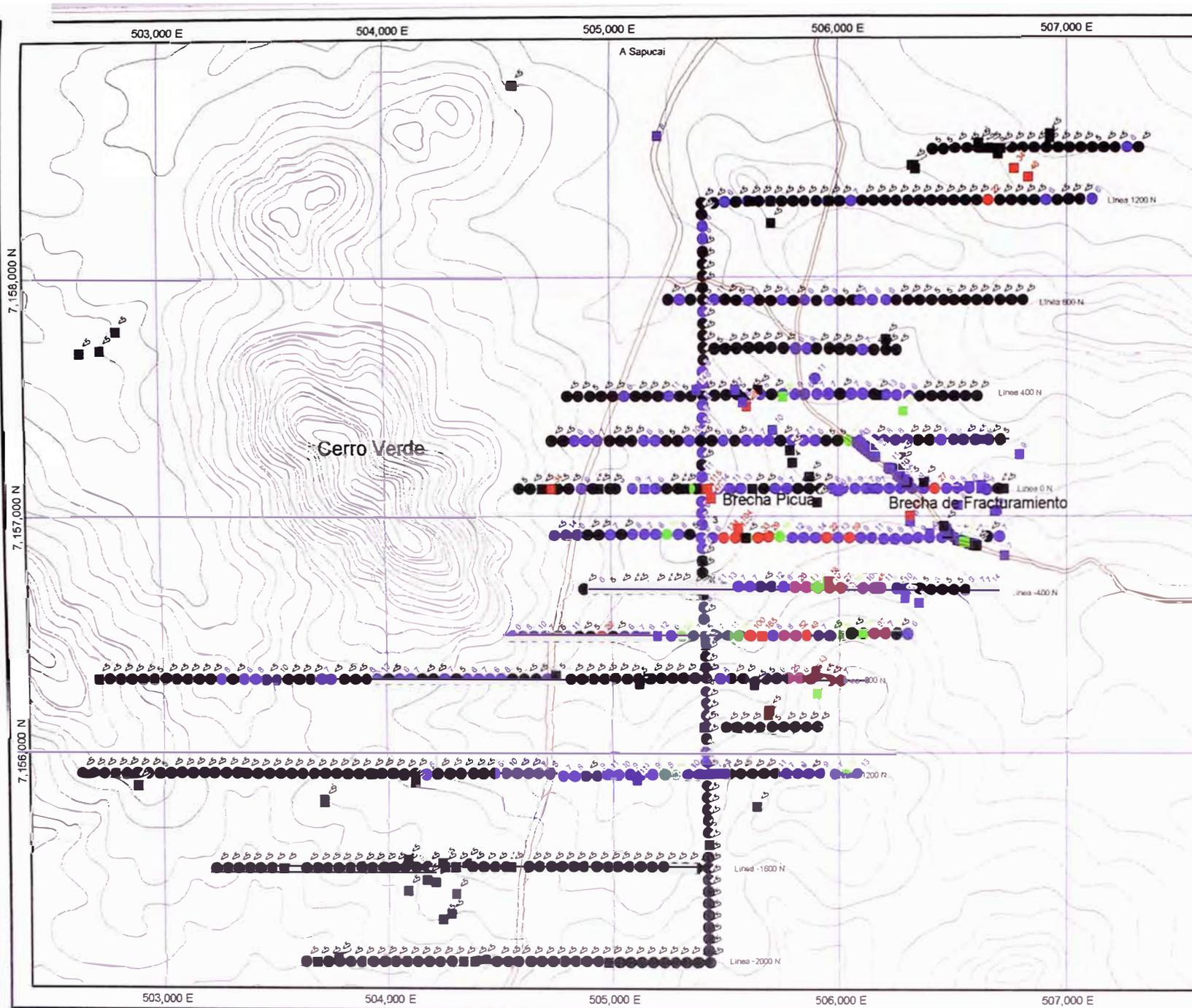
MAP AREA
 4 302,480 - 107,500
 7 143,305 - 138,000
 2.8 - 13,800
 Units: en metros



Univ.Nacional de Ingenieria
 PROSPECTO SAPUCAI
 ÁREA SAPUCAI
 GEOQUIMICA DE ORO
 Muestras de Suelos y Rocas
 Figura III. 7.12

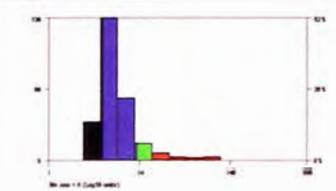
MINERVA CONSULTING CORPORATION, PROJECT: SAPUCAI, PERU
 Caracas, July 26, 2003, 11:13
 C:\Programas\PROSPECTO SAPUCAI
 Hoja: 2 de 28





EXPLANATION

Arsénico en Muestra de Suelo tipo Auger (ppm)

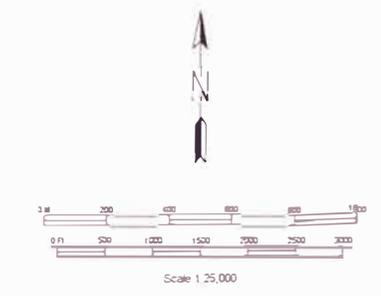


- Class Interval for As_{ppm}:
- 1 - 6, 0 - 50th percentile
 - 6 - 15, 50 - 80th percentile
 - 15 - 22, 80 - 95th percentile
 - 22 - 998, 95 - 100th percentile

Arsénico en Muestra de Roca (ppm)

- Class Interval for As_{ppm}:
- 1 - 6, 0 - 50th percentile
 - 6 - 15, 50 - 80th percentile
 - 15 - 22, 80 - 95th percentile
 - 22 - 998, 95 - 100th percentile

MAP AREA
 X: 502,400 - 507,800
 Y: 7,156,000 - 7,158,000
 Z: 0 - 10,000
 Units: are meters

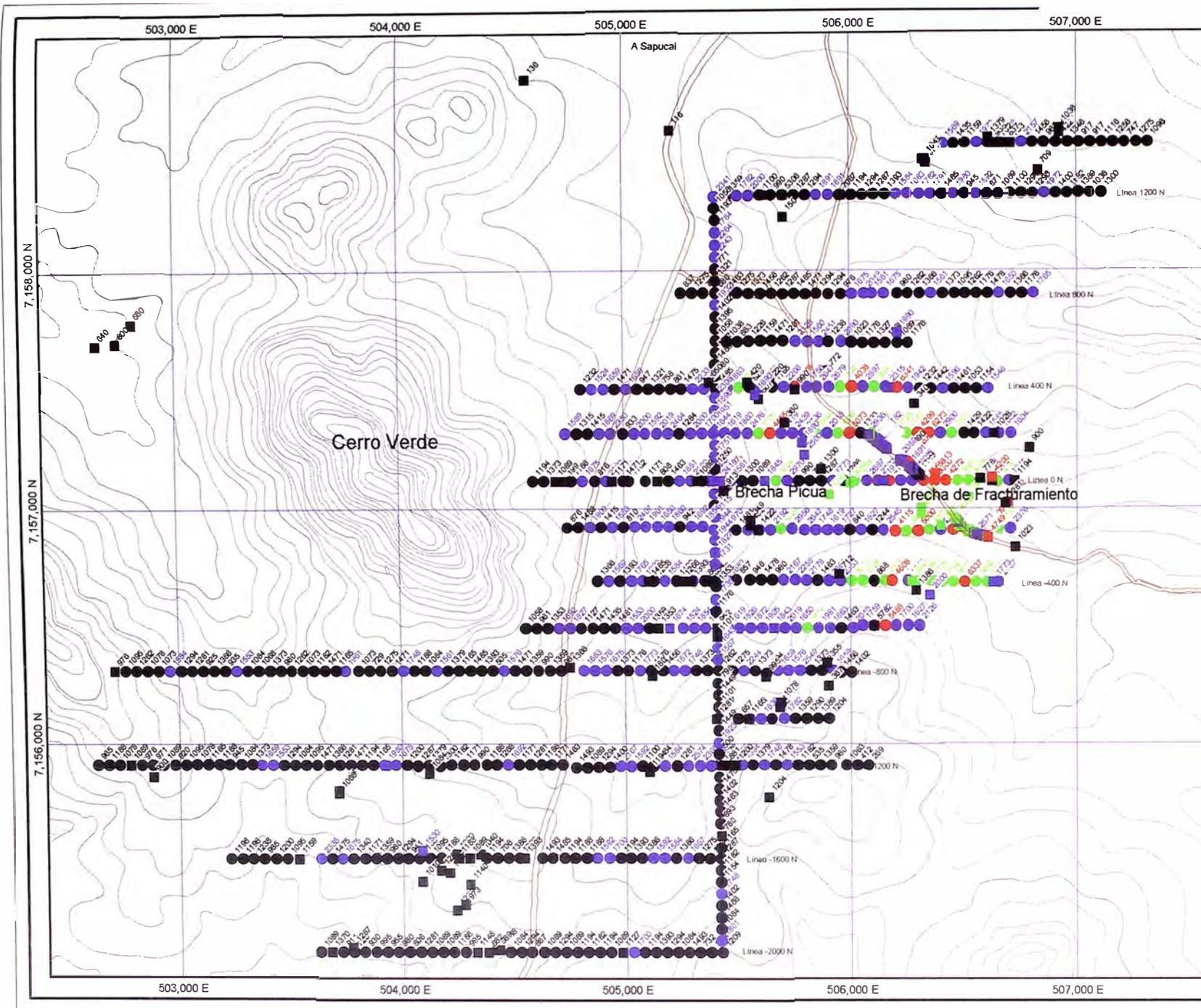


Univ.Nacional de Ingeniería

PROSPECTO SAPUCAI

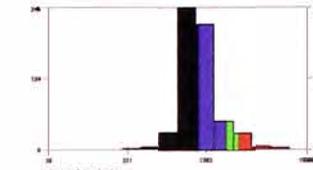
ÁREA SAPUCAI
 GEOQUÍMICA DE ARSÉNICO
 Muestras de Suelos y Rocas
 Figura III.7.13

NEWMONT MENDO CORPORATION PROPRIETARY INFORMATION
 Caledonia, July 06, 2007 17:28:41
 © PROSPECTO SAPUCAI 2007



EXPLANATION

Flúor en Muestra de Suelo tipo Auger (ppm)



Clas Intervalos for F_{ppm}:

- 15 - 1500, 0 - 50th percentil
- 1500 - 3000, 50 - 80th percentil
- 3000 - 4000, 80 - 95th percentil
- 4000 - 18827, 95 - 100th percentil

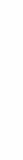
Flúor en Muestra de Roca (ppm)

Clas Intervalos for F_{ppm}:

- 15 - 1500, 0 - 50th percentil
- 1500 - 3000, 50 - 80th percentil
- 3000 - 4000, 80 - 95th percentil
- 4000 - 18827, 95 - 100th percentil

MAP AREA

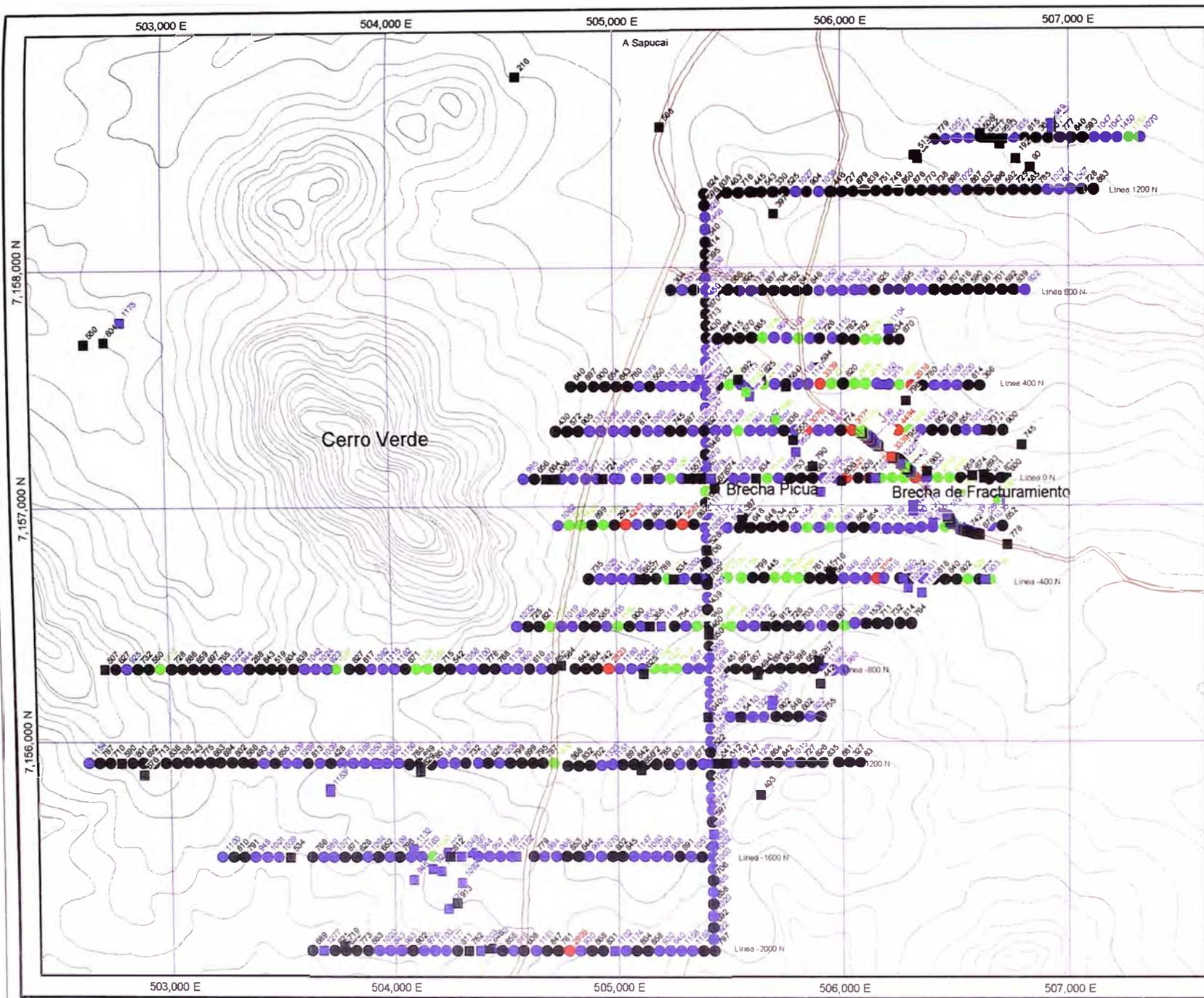
X: 502,450 - 507,500
 Y: 7,154,500 - 7,158,000
 Z: 0 - 10,500
 Units: ure meters



7,156,000 N
7,157,000 N
7,158,000 N

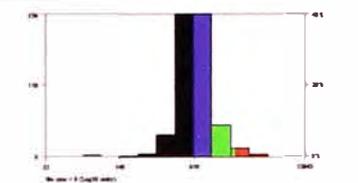
7,159,000 N

503,000 E
504,000 E
505,000 E
506,000 E
507,000 E



EXPLANATION

Manganeso en Muestra de Suelo tipo Auger (ppm)

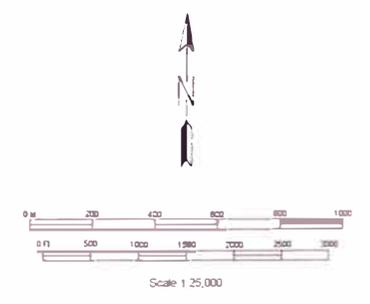


- Class Intervals for Mn_{ppm}:
- 23 - 915, 0 - 50th percentil
 - 915 - 1479, 50 - 80th percentil
 - 1479 - 2587, 80 - 95th percentil
 - 2587 - 13943, 95 - 100th percentil

Manganeso en Muestra de Roca (ppm)

- Class Intervals for Mn_{ppm}:
- 23 - 915, 0 - 50th percentil
 - 915 - 1479, 50 - 80th percentil
 - 1479 - 2587, 80 - 95th percentil
 - 2587 - 13943, 95 - 100th percentil

MAP AREA
 X: 502,000 - 507,000
 Y: 7,156,000 - 7,158,000
 Z: 0 - 10,000
 Lines are meters

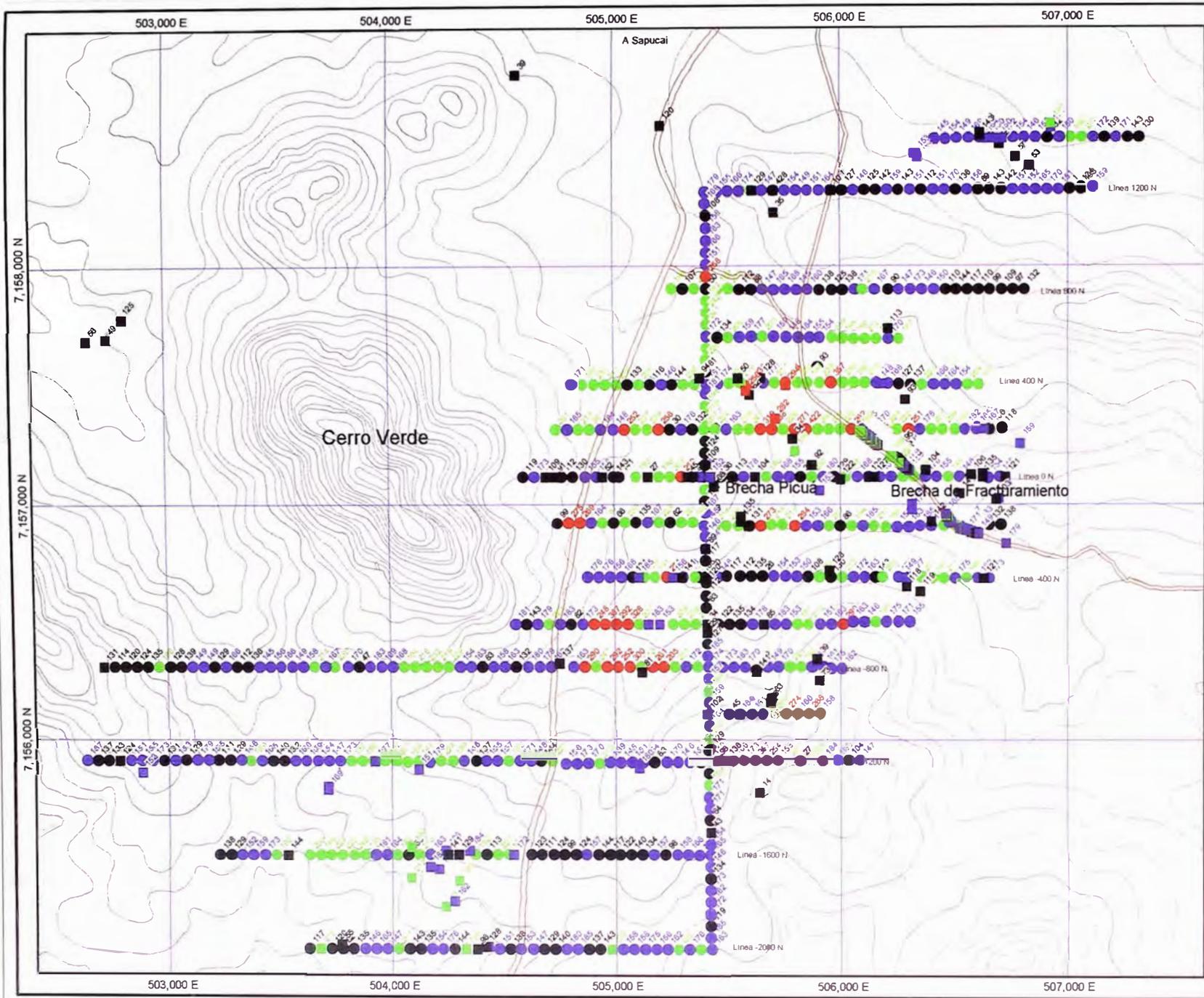


Univ.Nacional de Ingenieria

PROSPECTO SAPUCAI

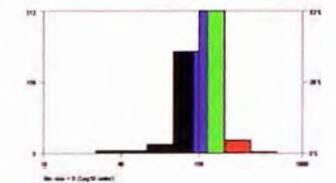
ÁREA SAPUCAI
 GEOQUÍMICA DE MANGANESO
 Muestras de Suelos y Rocas
 Figura III.7.15

NEWBRIGHT RESINO CORPORATION PROPRIETARY INFORMATION
 Saturday, 24 Jul 2010 22:17:31:33
 C:\P\300\Line\Sapucaí\2544.dwg



EXPLANATION

Vanadio en Muestra de Suelo tipo Auger (ppm)

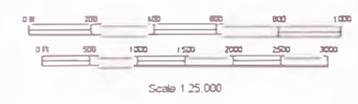


- Class intervals for V_{ppm}:
- 20 - 145, 0.00 - 50.00th percentile
 - 145 - 188, 50.00 - 80.00th percentile
 - 188 - 248, 80.00 - 95.00th percentile
 - 248 - 3744, 95.00 - 100.00th percentile

Vanadio en Muestra de Roca (ppm)

- Class intervals for V_{ppm}:
- 20 - 145, 0.00 - 50.00th percentile
 - 145 - 188, 50.00 - 80.00th percentile
 - 188 - 248, 80.00 - 95.00th percentile
 - 248 - 3744, 95.00 - 100.00th percentile

MAP AREA
 X: 502,400 - 507,600
 Y: 7,155,000 - 7,158,000
 Z: 0 - 10,000
 Limits are meters



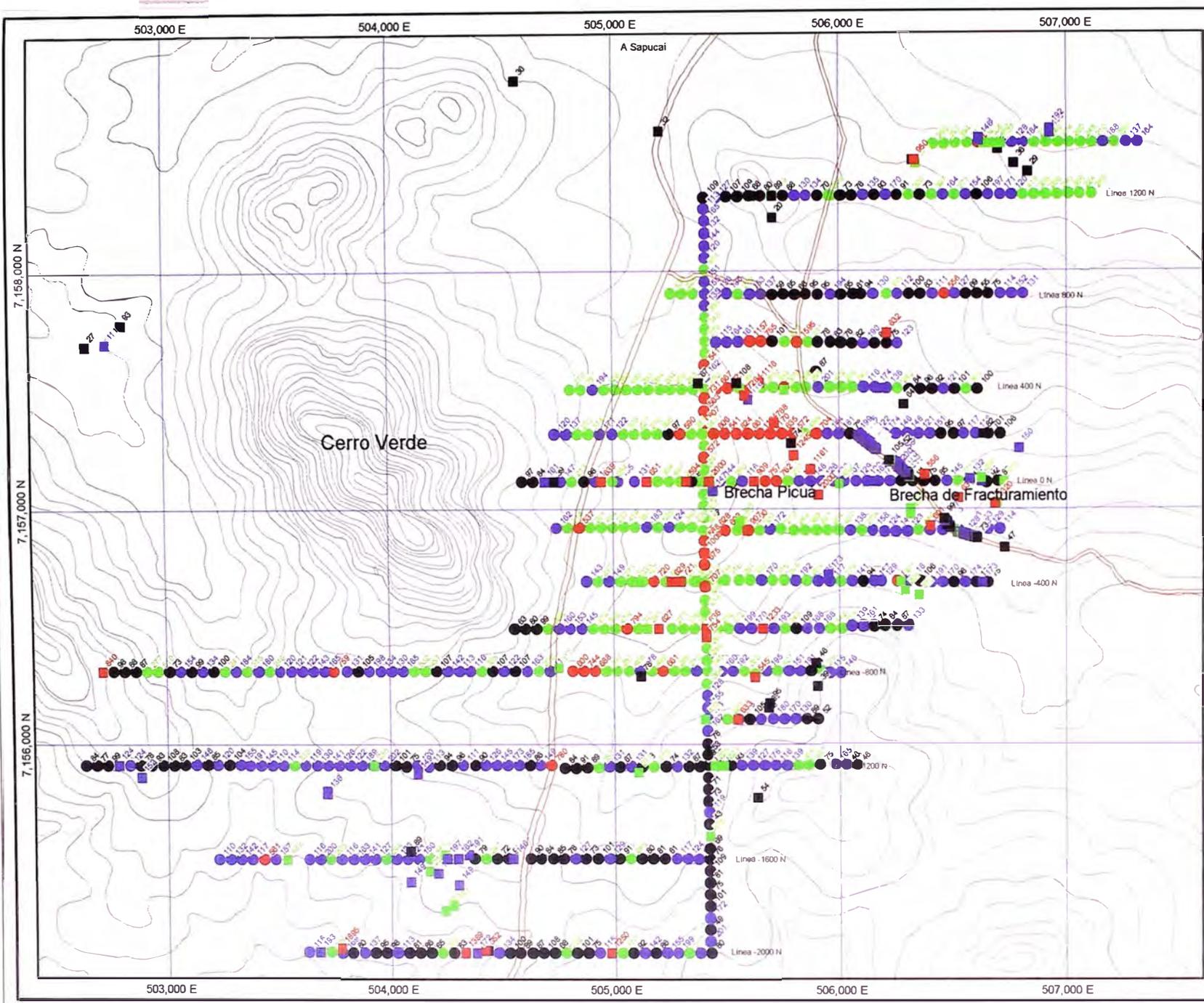
Univ. Nacional de Ingenieria

PROSPECTO SAPUCAI

ÁREA SAPUCAI
 GEOQUÍMICA DE VANADIO
 Muestras de Suelos y Rocas
 Figura III.7.16

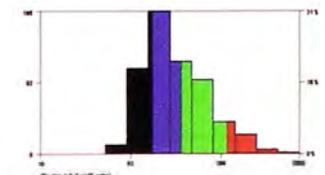
NEVELANDT ENGINEERING CORPORATION PROPRIETARY INFORMATION
 Generated July 08, 2002 17:37:43
 C:\Programas\MapInfo\MapInfo2544.com





EXPLANATION

Estroncio en Muestra de Suelo tipo Auger (ppm)

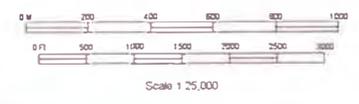


- Class Intervals for SR_{ppm}**
- 2 - 110, 0.00 - 50.00th percentile
 - 110 - 203, 50.00 - 80.00th percentile
 - 203 - 537, 80.00 - 95.00th percentile
 - 537 - 2000, 95.00 - 100.00th percentile

Estroncio en Muestra de Roca (ppm)

- Class Intervals for SR_{ppm}**
- 2 - 110, 0.00 - 50.00th percentile
 - 110 - 203, 50.00 - 80.00th percentile
 - 203 - 537, 80.00 - 95.00th percentile
 - 537 - 2000, 95.00 - 100.00th percentile

MAP AREA
 X: 503,000 - 507,000
 Y: 7,156,000 - 7,158,000
 Z: 0 - 10,000
 Units are meters

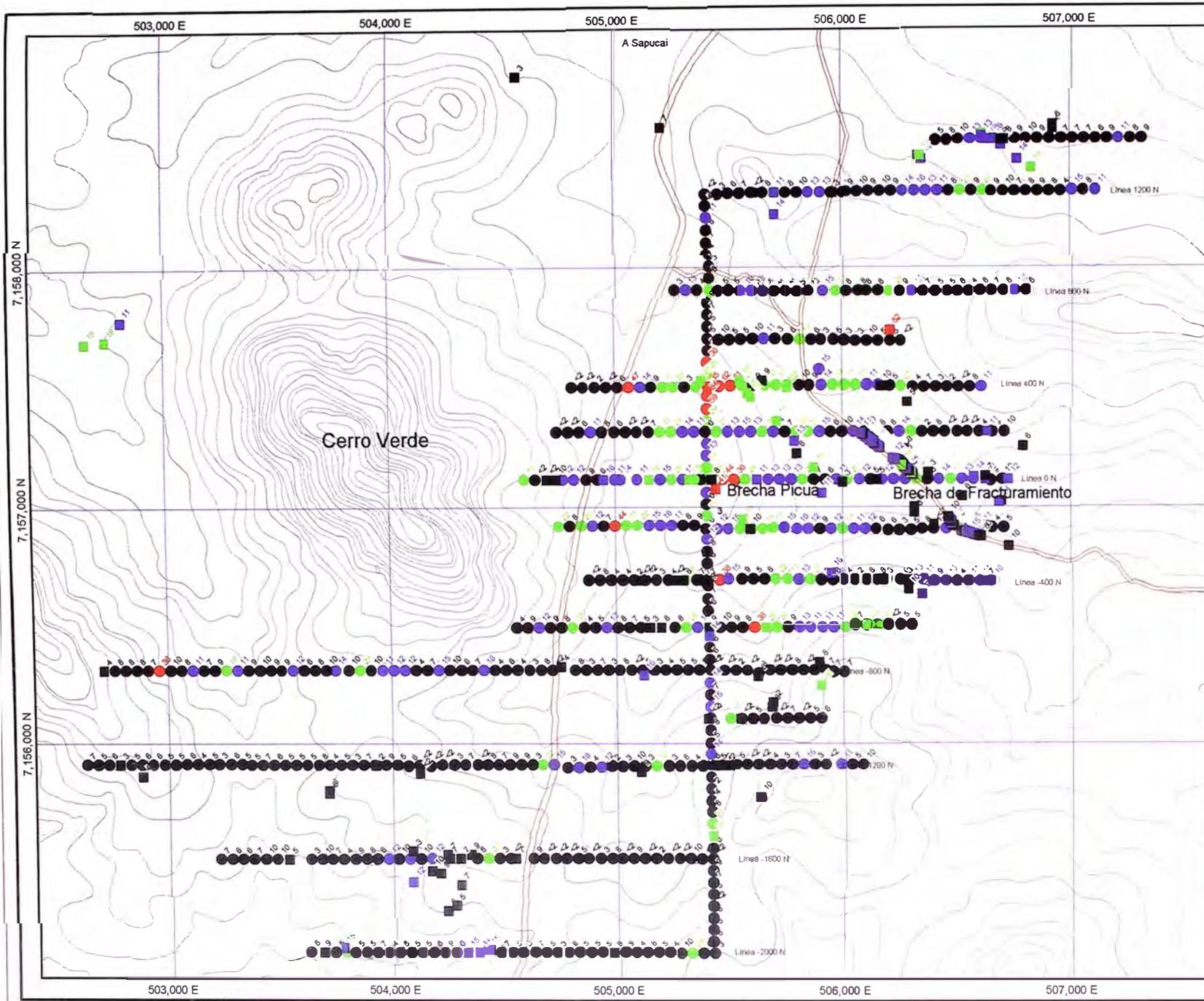


Univ. Nacional de Ingeniería

PROSPECTO SAPUCAI

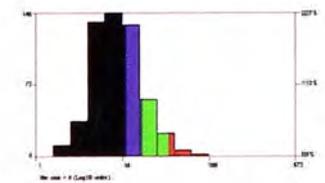
ÁREA SAPUCAI
GEOQUÍMICA DE ESTRONCIO
Muestras de Suelos y Rocas
Figura III.7.17

NEWBONT MINING CORPORATION PROPRIETARY INFORMATION
 Santiago, July 08, 2002 17:37:24
 C:\P\SAPUCAI\GSA\GSA.dwg



EXPLANATION

Plomo en Muestra de Suelo tipo Auger (ppm)

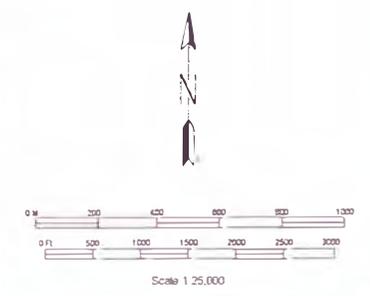


- Class intervals for Pb_{ppm}:
- 2 - 11, 0 00 - 50 00th percentile
 - 11 - 17, 50 00 - 80 00th percentile
 - 17 - 35, 80 00 - 95 00th percentile
 - 35 - 2317, 95 00 - 100 00th percentile

Plomo en Muestra de Roca (ppm)

- Class intervals for Pb_{ppm}:
- 2 - 11, 0 00 - 50 00th percentile
 - 11 - 17, 50 00 - 80 00th percentile
 - 17 - 35, 80 00 - 95 00th percentile
 - 35 - 2317, 95 00 - 100 00th percentile

MAP AREA
 X: 502,400 - 507,600
 Y: 7,155,000 - 7,158,000
 Z: 0 - 10,000
 Units are meters



Univ. Nacional de Ingenieria

PROSPECTO SAPUCAI

ÁREA SAPUCAI
 GEOQUÍMICA DE PLOMO
 Muestras de Suelos y Rocas
 Figura III.7.19

REYNOLDT MONROE CORPORATION PROPRIETARY INFORMATION
 Ecuador: JUN 05, 2002 18:15:18
 C:\Program\Sapucaí\ASIA.dwg

Tabla III.7.6 Matriz de Coeficientes de Correlación Geoquímica
Programa de Muestreo de Suelos Horizonte C
 (Calculado por el método de Spearman)

	Au	As	Ag	Cu	Pb	Zn	Mo	Ni	Co	Cd	Fe	Mn	Ba	Cr	V	La	Al	Mg	Ca	Na	K	Sr	Y	Ga	Li	Nb	Sc	Ta	Ti	S	Zr	F	Te			
	ppb	ppm	ppm	ppm	ppm																															
Au_ppb	1.00																																			
As_ppm	0.13	1.00																																		
Ag_ppm	0.03	-0.04	1.00																																	
Cu_ppm	0.02	-0.04	0.10	1.00																																
Pb_ppm	0.03	0.42	-0.04	0.01	1.00																															
Zn_ppm	0.16	0.15	0.05	0.36	0.12	1.00																														
Mo_ppm	0.08	0.44	-0.01	0.02	0.00	0.14	1.00																													
Ni_ppm	-0.11	0.06	-0.01	0.17	0.05	-0.09	-0.11	1.00																												
Co_ppm	-0.04	0.23	0.00	0.11	0.15	0.00	-0.03	0.50	1.00																											
Cd_ppm	0.06	0.09	0.03	0.15	0.03	0.24	0.25	-0.17	-0.10	1.00																										
Fe_ppm	0.04	0.13	0.04	0.52	0.06	0.34	-0.02	0.20	0.24	0.09	1.00																									
Mn_ppm	-0.02	0.26	-0.02	0.08	0.13	0.10	0.04	0.26	0.76	0.03	0.22	1.00																								
Ba_ppm	-0.01	0.20	0.08	0.10	0.20	0.01	0.03	0.16	0.49	-0.01	0.26	0.61	1.00																							
Cr_ppm	-0.07	0.08	0.03	0.17	-0.03	-0.11	-0.09	0.72	0.26	-0.17	0.17	0.15	0.01	1.00																						
V_ppm	0.04	0.20	0.00	0.46	0.08	0.34	0.12	-0.02	0.16	0.20	0.73	0.22	0.25	0.00	1.00																					
La_ppm	-0.03	0.40	-0.02	0.05	0.45	0.00	0.01	0.46	0.65	-0.08	0.19	0.53	0.43	0.21	0.12	1.00																				
Al_ppm	-0.05	0.10	-0.02	-0.07	0.33	0.06	-0.12	0.01	0.13	-0.02	0.17	0.10	0.32	-0.12	-0.02	0.18	1.00																			
Mg_ppm	-0.04	-0.28	0.03	0.36	-0.34	0.16	-0.13	0.42	-0.01	-0.08	0.18	-0.11	-0.28	0.54	0.00	-0.19	-0.29	1.00																		
Ca_ppm	0.04	-0.21	0.35	0.28	-0.14	0.30	-0.04	-0.16	-0.12	0.11	0.22	-0.09	-0.08	-0.17	0.18	-0.17	-0.05	0.23	1.00																	
Na_ppm	-0.02	-0.07	0.03	-0.10	-0.04	-0.09	0.06	-0.10	0.03	-0.02	-0.15	0.05	0.15	-0.17	-0.09	0.00	0.23	-0.17	0.05	1.00																
K_ppm	0.07	-0.04	0.05	0.37	-0.17	0.31	0.01	0.06	-0.11	0.11	0.22	-0.12	-0.21	0.25	0.22	-0.15	-0.20	0.6	0.19	-0.12	1.00															
Sr_ppm	0.05	0.02	0.05	0.23	0.15	0.42	0.11	-0.24	-0.05	0.16	0.16	0.03	0.12	-0.33	0.25	0.04	0.17	-0.10	0.48	0.24	0.11	1.00														
Y_ppm	-0.04	0.34	-0.02	0.02	0.31	-0.04	-0.03	0.51	0.81	-0.10	0.20	0.64	0.50	0.25	0.10	0.89	0.18	-0.14	-0.18	0.02	-0.19	-0.02	1.00													
Ga_ppm	-0.04	0.32	-0.06	-0.04	0.31	0.07	0.20	0.14	0.23	0.14	0.16	0.21	0.16	0.06	0.16	0.36	0.31	-0.26	-0.14	0.02	-0.17	0.05	0.31	1.00												
Li_ppm	0.00	0.35	-0.03	-0.01	0.29	0.11	0.07	0.23	0.37	0.07	0.13	0.35	0.30	0.15	0.14	0.30	0.23	-0.19	-0.18	-0.03	-0.01	-0.01	0.34	0.34	1.00											
Nb_ppm	0.07	0.23	-0.03	0.30	0.13	0.18	0.12	-0.05	0.11	0.24	0.55	0.18	0.24	-0.04	0.80	0.07	0.03	-0.04	0.11	-0.04	0.14	0.23	0.06	0.07	0.12	1.00										
Sc_ppm	-0.09	0.02	-0.02	0.35	-0.09	0.13	0.00	0.47	0.28	0.01	0.54	0.22	0.09	0.46	0.35	0.27	-0.03	0.33	0.03	-0.33	0.20	-0.10	0.28	0.23	0.20	0.15	1.00									
Ta_ppm	-0.02	0.07	-0.01	-0.03	-0.01	-0.02	0.05	0.08	0.43	-0.01	0.00	0.48	0.23	0.02	-0.01	0.24	0.04	-0.04	-0.05	0.10	-0.07	-0.01	0.25	0.16	0.12	0.01	0.10	1.00								
Ti_ppm	-0.06	-0.27	-0.02	0.16	-0.24	0.08	-0.08	0.10	0.02	0.03	0.21	-0.06	-0.01	0.13	0.07	-0.17	0.12	0.45	0.20	-0.02	0.27	0.04	-0.12	-0.31	-0.26	0.20	0.08	-0.05	1.00							
S_ppm	0.10	0.05	0.13	0.05	0.02	0.10	0.05	-0.27	-0.03	0.10	0.07	-0.01	0.10	-0.27	0.15	-0.01	0.13	-0.18	0.31	0.33	0.07	0.34	-0.02	0.01	0.00	0.13	-0.16	0.01	0.06	0.05	-0.15	1.00				
Zr_ppm	-0.06	0.11	-0.05	-0.22	0.11	-0.18	-0.01	0.04	0.06	-0.08	-0.22	0.08	0.08	0.08	-0.23	0.08	0.26	-0.16	-0.28	-0.05	-0.13	-0.20	0.07	0.10	0.18	-0.09	0.01	0.06	0.05	-0.15	1.00					
F_ppm	0.10	0.22	0.00	0.19	0.07	0.36	0.17	-0.03	-0.04	0.16	0.17	0.04	-0.04	0.04	0.24	-0.01	-0.07	0.13	0.10	-0.11	0.44	0.12	-0.05	0.06	0.52	0.21	0.13	-0.04	-0.12	0.04	0.02	1.00				
Te_ppm	0.02	0.19	-0.06	0.13	0.07	0.21	0.24	-0.10	0.03	0.08	0.18	0.09	0.06	-0.11	0.25	0.11	0.00	-0.06	0.03	-0.01	0.11	0.18	0.05	0.04	0.03	0.13	0.10	0.03	-0.07	0.09	-0.12	0.07	1.00			

Clave

	Muy alta correlación (>0.8)
	Alta correlación <0.65,0.8]
	Moderada correlación <0.5,0.65]
	Baja correlación (<0.5)

Tabla III.7. / Matriz de Coeficientes de Correlación Geoquímica
Programa de Muestreo de Suelos Horizonte B
 (Calculado por el método de Spearman)

	Au	As	Ag	Cu	Pb	Zn	Mo	Ni	Co	Cd	Fe	Mn	Ba	Cr	V	La	Al	Mg	Ca	Na	K	Sr	Y	Ga	Li	Nb	Sc	Ti	S	Zr	F	Te					
	ppb	ppm	ppm	ppm																																	
Au_ppb	1.00																																				
As_ppm	-0.15	1.00																																			
Ag_ppm	0.06	-0.15	1.00																																		
Cu_ppm	-0.06	-0.17	0.01	1.00																																	
Pb_ppm	-0.19	0.80	-0.17	-0.04	1.00																																
Zn_ppm	0.20	-0.65	0.10	0.51	-0.66	1.00																															
Mo_ppm	-0.14	0.46	-0.07	-0.22	0.32	-0.45	1.00																														
Ni_ppm	0.03	-0.31	0.04	-0.61	-0.26	0.64	-0.38	1.00																													
Co_ppm	-0.22	0.35	-0.02	0.25	0.60	-0.10	0.13	0.28	1.00																												
Cd_ppm	-0.06	0.04	-0.07	0.00	-0.06	-0.05	0.25	0.02	-0.04	1.00																											
Fe_ppm	-0.21	0.37	0.02	0.42	0.35	-0.03	0.25	0.27	0.41	0.08	1.00																										
Mn_ppm	-0.11	0.01	0.14	0.39	0.19	0.29	-0.17	0.43	0.58	-0.05	0.28	1.00																									
Ba_ppm	-0.05	0.03	0.09	0.38	0.13	0.22	-0.22	0.44	0.44	-0.02	0.06	0.66	1.00																								
Cr_ppm	0.01	-0.29	0.11	0.49	-0.17	0.44	-0.41	0.67	0.09	-0.05	0.40	0.22	0.22	1.00																							
V_ppm	-0.13	0.46	-0.07	0.31	0.55	-0.16	0.23	0.11	0.49	0.10	0.83	0.38	0.19	0.26	1.00																						
La_ppm	-0.10	0.01	-0.04	0.20	-0.04	0.28	-0.22	0.43	0.20	-0.07	-0.01	0.12	0.24	0.25	-0.02	1.00																					
Al_ppm	-0.29	0.32	-0.06	0.23	0.25	-0.18	0.11	0.13	0.18	0.10	0.37	-0.11	-0.01	0.19	0.25	0.04	1.00																				
Mg_ppm	0.16	-0.75	0.07	0.35	-0.72	0.84	-0.32	0.46	-0.20	0.01	-0.17	0.20	0.13	0.20	-0.31	0.05	-0.32	1.00																			
Ca_ppm	0.06	-0.48	0.01	0.04	-0.43	0.38	-0.24	0.06	-0.21	0.06	-0.30	0.09	0.02	0.00	-0.34	-0.09	-0.31	0.61	1.00																		
Na_ppm	-0.03	-0.19	-0.03	-0.04	-0.18	0.04	-0.09	0.01	-0.14	-0.07	-0.26	-0.03	0.01	-0.19	-0.24	0.02	-0.27	0.19	0.04	1.00																	
K_ppm	0.11	-0.65	0.11	0.30	-0.53	0.73	-0.40	0.47	-0.07	0.04	0.01	0.23	0.18	0.51	-0.01	0.19	-0.09	0.56	0.30	0.05	1.00																
Sr_ppm	0.05	-0.51	0.18	0.13	-0.51	0.53	-0.27	0.25	-0.17	-0.04	-0.26	0.28	0.22	0.11	-0.34	0.02	-0.30	0.69	0.74	0.11	0.39	1.00															
Y_ppm	-0.14	0.12	-0.02	0.14	0.06	0.19	-0.14	0.40	0.30	-0.04	0.04	0.14	0.23	0.20	0.02	0.94	0.08	-0.05	-0.12	-0.05	0.11	-0.03	1.00														
Ga_ppm	-0.14	0.32	0.10	-0.05	0.40	-0.39	0.14	-0.18	0.26	0.21	0.20	0.09	0.12	0.10	0.34	0.01	0.14	-0.50	-0.33	-0.15	-0.12	-0.35	0.08	1.00													
Li_ppm	-0.21	0.82	-0.09	0.03	0.60	-0.57	0.35	-0.21	0.31	0.27	0.33	-0.08	-0.12	-0.07	0.39	-0.14	0.59	-0.66	-0.43	-0.20	-0.29	-0.53	-0.02	0.50	1.00												
Nb_ppm	-0.09	0.50	-0.20	0.36	0.62	-0.21	0.03	0.07	0.38	-0.11	0.64	0.31	0.14	0.17	0.80	0.00	0.25	-0.35	-0.26	-0.18	-0.11	-0.31	0.05	0.13	0.37	1.00											
Sc_ppm	-0.18	0.02	0.16	0.34	-0.02	0.10	0.05	0.40	0.19	0.24	0.49	0.11	0.13	0.56	0.33	0.19	0.32	-0.11	-0.21	-0.53	0.23	-0.05	0.24	0.18	0.22	0.14	1.00										
Ti_ppm	0.07	-0.62	0.05	0.56	-0.60	0.81	-0.33	0.52	-0.11	-0.07	0.11	0.25	0.17	0.38	-0.01	0.17	-0.08	0.78	0.31	0.07	0.70	0.52	0.06	-0.52	-0.47	-0.09	0.17	1.00									
S_ppm	0.50	0.00	-0.04	-0.10	-0.03	0.06	-0.07	-0.06	-0.05	0.00	-0.27	-0.06	0.20	-0.10	-0.07	-0.02	-0.13	-0.02	0.13	0.03	0.02	0.04	-0.03	-0.08	-0.10	-0.03	-0.16	-0.07	1.00								
Zr_ppm	-0.02	-0.25	0.17	0.49	-0.16	0.38	-0.35	0.57	0.13	-0.05	0.34	0.31	0.30	0.66	0.31	0.36	0.04	0.15	0.03	-0.10	0.52	0.12	0.31	0.16	-0.08	0.27	0.46	0.40	-0.02	1.00							
F_ppm	0.03	-0.41	0.04	0.36	-0.41	0.51	-0.17	0.36	-0.04	-0.04	0.00	0.08	0.18	0.03	-0.12	0.24	-0.01	0.61	0.21	0.12	0.34	0.32	0.13	-0.54	-0.48	-0.19	0.03	0.62	-0.05	-0.01	1.00						
Te_ppm	-0.13	0.36	0.00	0.29	0.32	-0.12	0.28	0.01	0.32	0.28	0.29	0.33	0.23	-0.15	0.33	-0.02	0.08	-0.13	-0.21	-0.09	0.04	-0.09	0.01	0.53	0.37	0.24	0.15	-0.14	-0.09	-0.01	-0.18	1.00					

Clave

	Muy alta correlación (>0.8)
	Alta correlación (<0.65,0.8]
	Moderada correlación (<0.5,0.65]
	Baja correlación (<0.5)

Tabla III.7.8 Matriz de Coeficientes de Correlación Geoquímica
Programa de Muestreo de Rocas
 (Calculado por el método de Spearman)

	Au	As	Sb	Hg	Ag	Cu	Pb	Zn	Mo	Bi	Ni	Co	Cd	Fe	Mn	Ba	Cr	V	W	La	Al	Mg	Ca	Na	K	Sr	Y	Ga	Li	Nb	Sc	Ta	Ti	S	P	Zr				
	ppb	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm																													
Au_ppb	1.00																																							
As_ppm	0.05	1.00																																						
Sb_ppm	0.00	0.81	1.00																																					
Hg_ppm	0.67	0.99	0.95	1.00																																				
Ag_ppm	0.03	0.23	0.22	0.44	1.00																																			
Cu_ppm	-0.06	0.12	0.02	0.20	-0.02	1.00																																		
Pb_ppm	0.00	0.17	-0.01	0.10	-0.02	0.46	1.00																																	
Zn_ppm	0.08	0.16	-0.01	0.16	0.00	0.57	0.86	1.00																																
Mo_ppm	0.04	0.24	0.02	0.26	0.55	0.07	0.12	0.13	1.00																															
Bi_ppm	-0.01	0.27	0.49	0.37	0.22	-0.05	0.29	0.22	-0.01	1.00																														
Ni_ppm	-0.11	-0.04	-0.01	0.04	-0.03	0.23	-0.10	0.00	-0.04	-0.09	1.00																													
Co_ppm	-0.08	0.11	-0.06	-0.11	-0.03	0.61	0.61	0.60	0.11	-0.08	0.34	1.00																												
Cd_ppm	-0.06	0.22	0.15	0.55	0.12	0.13	0.18	0.24	0.12	0.16	0.05	0.00	1.00																											
Fe_ppm	-0.16	0.08	-0.10	-0.05	-0.05	0.49	0.20	0.40	0.06	-0.02	0.42	0.49	0.12	1.00																										
Mn_ppm	-0.07	0.15	-0.05	-0.11	-0.05	0.47	0.74	0.69	0.09	0.06	0.15	0.84	0.13	0.41	1.00																									
Ba_ppm	-0.08	0.35	0.25	0.84	-0.02	0.35	0.42	0.48	0.00	0.12	0.05	0.33	0.20	0.33	0.50	1.00																								
Cr_ppm	0.07	-0.02	-0.03	-0.08	-0.04	0.01	-0.05	-0.15	0.01	-0.09	0.49	0.10	-0.07	0.08	0.07	0.03	1.00																							
V_ppm	-0.05	0.16	-0.03	0.01	-0.03	0.57	0.72	0.70	0.13	-0.03	0.10	0.87	0.03	0.43	0.86	0.43	0.05	1.00																						
W_ppm	-0.01	0.16	0.01	0.39	0.00	0.40	0.72	0.56	0.15	0.01	-0.02	0.80	-0.04	0.12	0.76	0.21	-0.04	0.87	1.00																					
La_ppm	-0.01	0.11	-0.04	-0.19	-0.02	0.41	0.62	0.68	0.06	0.08	-0.10	0.24	0.11	0.20	0.35	0.51	-0.06	0.36	0.17	1.00																				
Al_ppm	-0.11	-0.12	-0.06	-0.03	-0.02	0.07	-0.12	0.09	-0.01	-0.10	0.14	0.14	0.10	0.17	0.00	0.02	-0.21	0.02	-0.04	-0.11	1.00																			
Mg_ppm	-0.10	-0.15	-0.08	-0.09	0.01	0.19	-0.08	0.10	0.02	-0.02	0.64	0.22	0.07	0.39	0.04	0.01	0.02	0.00	-0.07	-0.12	0.29	1.00																		
Ca_ppm	-0.04	-0.01	-0.01	0.05	0.02	0.15	0.22	0.28	0.03	0.20	0.04	0.01	0.29	0.21	0.14	0.31	-0.16	0.03	-0.04	0.13	0.07	0.40	1.00																	
Na_ppm	-0.04	-0.10	-0.02	-0.03	0.01	-0.14	-0.05	0.03	0.02	-0.01	-0.20	-0.10	0.11	-0.22	-0.11	-0.09	-0.24	-0.09	-0.02	-0.06	0.75	-0.04	0.09	1.00																
K_ppm	-0.02	-0.07	-0.07	-0.08	0.02	-0.01	-0.07	0.08	0.03	0.02	0.16	0.03	0.08	0.14	-0.06	0.03	-0.17	-0.06	-0.07	-0.06	0.44	0.42	0.29	0.29	1.00															
Sr_ppm	-0.04	0.03	-0.02	-0.05	0.15	0.09	0.26	0.30	0.24	0.19	-0.14	0.03	0.26	0.09	0.16	0.31	-0.24	0.10	0.08	0.17	0.32	0.13	0.65	0.41	0.34	1.00														
Y_ppm	-0.09	0.00	0.03	-0.01	-0.06	0.29	0.02	0.18	-0.02	-0.05	0.02	0.05	0.05	0.18	0.15	0.33	-0.02	0.19	-0.03	0.29	0.05	-0.04	0.03	-0.04	-0.03	0.07	1.00													
Ga_ppm	-0.07	0.10	0.00	0.07	-0.05	0.28	0.62	0.59	0.05	0.26	-0.07	0.41	0.12	0.20	0.49	0.17	-0.15	0.47	0.49	0.38	0.30	-0.12	0.11	0.31	0.16	0.26	0.03	1.00												
Li_ppm	-0.09	-0.02	-0.04	0.15	-0.03	0.12	0.09	0.15	-0.03	0.22	0.44	0.13	0.12	0.30	0.11	0.07	0.17	0.04	-0.02	0.06	0.13	0.32	0.12	-0.11	0.31	0.05	0.00	0.19	1.00											
Nb_ppm	-0.03	0.40	-0.02	-0.21	-0.02	0.56	0.89	0.83	0.14	0.24	0.01	0.79	0.09	0.38	0.86	0.51	0.01	0.94	0.83	0.51	-0.06	-0.06	0.11	-0.09	-0.06	0.19	0.18	0.56	0.07	1.00										
Sc_ppm	-0.10	-0.04	-0.01	0.00	-0.09	0.36	-0.12	0.06	-0.09	-0.04	0.54	0.27	0.04	0.57	0.13	-0.01	0.10	0.10	-0.05	-0.10	0.11	0.42	0.04	-0.32	0.13	-0.18	0.16	0.02	0.46	0.00	1.00									
Ta_ppm	-0.01	0.20	0.00	-0.08	-0.01	-0.03	0.00	-0.02	0.06	0.00	-0.03	-0.03	0.14	0.12	-0.04	-0.04	0.06	0.08	0.00	-0.03	0.03	-0.06	-0.04	-0.03	-0.07	-0.04	-0.05	0.01	-0.02	0.03	0.03	1.00								
Ti_ppm	-0.12	-0.16	-0.09	-0.14	-0.04	0.14	-0.08	0.16	-0.03	-0.08	0.18	0.17	0.03	0.32	0.05	0.18	-0.18	0.14	-0.07	-0.01	0.49	0.52	0.18	0.28	0.29	0.20	0.20	-0.14	-0.09	0.09	0.08	-0.04	1.00							
S_ppm	-0.02	0.07	-0.04	-0.06	0.35	0.02	0.04	0.03	0.41	0.00	-0.10	-0.02	0.16	0.05	-0.04	-0.06	-0.04	-0.04	-0.01	-0.01	0.12	0.12	0.22	0.22	0.19	0.44	-0.05	-0.04	-0.07	0.00	-0.21	0.21	1.00							
P_ppm	-0.16	-0.06	-0.06	-0.06	0.32	0.21	-0.10	0.55	0.43	-0.22	0.01	0.75	-0.06	0.71	0.07	0.02	-0.33	0.54	-0.06	0.39	0.64	0.82	0.96	0.56	0.89	0.96	0.51	0.30	0.88	0.93	1.00									
Zr_ppm	0.00	-0.04	-0.02	-0.18	-0.02	-0.10	0.01	0.08	-0.07	-0.03	-0.08	0.00	0.04	-0.18	0.03	-0.03	-0.14	0.01	0.04	0.01	0.35	-0.13	-0.10	0.36	0.16	0.07	0.08	0.26	0.11	0.02	-0.05	0.00	0.06	-0.04	1.00					

Clave

	Muy alta correlación (>0.8)
	Alta correlación <0.65,0.8]
	Moderada correlación <0.5,0.65]
	Baja correlación (<0.5)

III.8 PERFORACIÓN DIAMANTINA

III.8.1 Programa de Perforación

El programa de perforación diamantina fue ejecutado por la compañía Major Drilling del Canadá, utilizando la perforadora autopropulsada UDR-650 en diámetro HQ y sistema *wire line*. Esta máquina fue importada temporalmente junto con todos sus accesorios y aditivos desde la filial de la compañía Major en la ciudad de San Juan al norte de Argentina. La UDR-650 (UDR: universal drill rig) o máquina de perforación universal, es una máquina muy versátil, está montada sobre orugas lo que le permite su desplazamiento por todo tipo de terreno sin necesidad de haber sido acondicionado previamente, y adicionalmente tiene la capacidad de hacer perforaciones diamantinas o de aire reverso de manera alternada (figuras III.8.3 y III.8.4). Entre sus desventajas están sus dimensiones (largo 10.5 m, ancho 3.5 m) y peso (25 toneladas) que dificultan su desplazamiento en trochas angostas y su desenvolvimiento en plataformas pequeñas o en laderas empinadas.

Dos áreas fueron seleccionadas como principales objetivos de perforación: las áreas de Sapucaí (conocida localmente como Cerro Verde) y de Guazu Cuá, en donde se perforaron un total de 11 sondajes inclinados (entre -45° y -65° con respecto a la horizontal) distribuidos de la siguiente manera: 2 sondajes en Guazu Cuá y 9 sondajes en Sapucaí (tabla III.8.1) totalizando 2724.20 m.

El programa de perforación tuvo una duración de 43 días con un promedio diario de 63.35 m en 2 turnos continuos de 12 horas cada uno, alcanzando un máximo diario de 140 m. La profundidad promedio fue de 248 m. El sondaje más corto fue el SAP-010 con 59.50 m, mientras que el más largo el SAP-003 con 399.50 m. Cabe resaltar la alta recuperación mayor al 90%. En cada uno de los sondajes se hicieron mediciones de rumbo y buzamiento cada 100 m de perforación utilizando la herramienta denominada Tropari, abreviación de Trotter-Pajari. El tropari es como un giroscopio que se introduce a través del tubo interior hasta que sobresalga algunos metros de la broca, y se activa mediante un mecanismo de relojería, obteniéndose el rumbo y buzamiento.

III.8.2 Perforación en Guazu Cuá

III.8.2.1 Ubicación de sondajes SAP-001 y SAP-002

El sondaje SAP-001 está ubicado en el centro de la principal estructura magnética circular de 4 km de diámetro de Guazu Cuá (figura III.8.1) que fue definida por la magnetometría aérea (figura III.6.10). Esta zona presenta una anomalía fuerte y consistente en lantano, itrio, arsénico, manganeso, níquel y cobalto que fue determinada mediante muestreo de suelos, tanto del horizonte B como del horizonte C. No se encontró ninguna anomalía de oro relacionada específicamente al sector central. Se tienen algunos valores de oro relacionados al borde norte de la estructura circular.

Tabla III.8.1

**PROSPECTO SAPUCAI - PARAGUAY
PROGRAMA DE PERFORACION DIAMANTINA 2001**

Contratista: Major Drilling Argentina

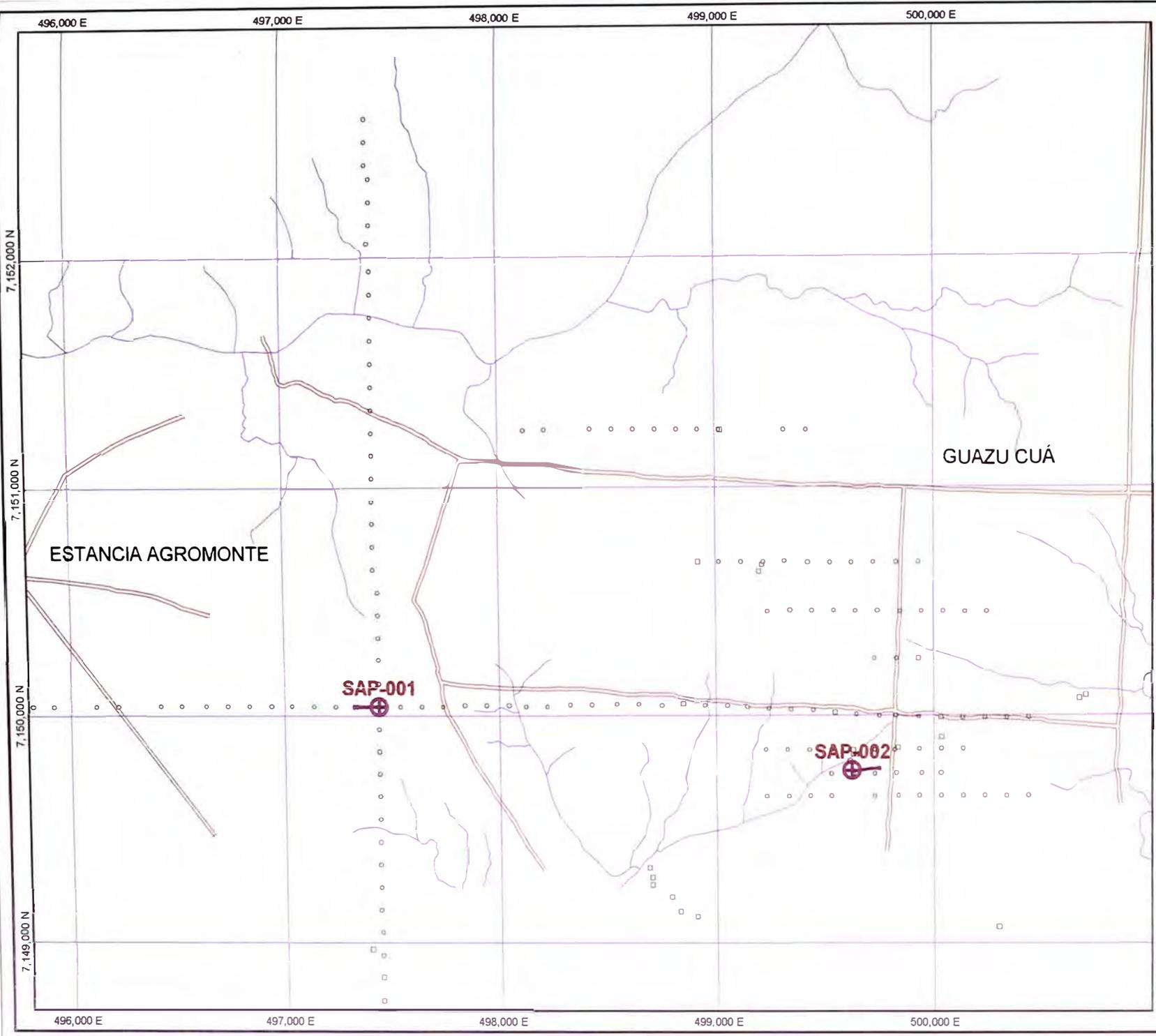
Perforadora: UDR-650

Diámetro: HQ

Nombre del Sondaje	Ubicación de Plataforma	Área	Coordenada Este	Coordenada Norte	Profundidad Total (m)	Azimut (grados)	Buzamiento (grados)
--------------------	-------------------------	------	-----------------	------------------	-----------------------	-----------------	---------------------

SAP-001	Guazu Cuá A (Agromonte)	Guazu Cuá	497 440	7 150 040	276.30	270	-65
SAP-002	Guazu Cuá B	Guazu Cuá	499 623	7 149 760	288.30	90	-65
SAP-003	Mbopicuá A	Sapucaí	505 310	7 156 510	399.50	270	-65
SAP-004	Mbopicuá B	Sapucaí	505 270	7 156 710	282.50	270	-60
SAP-005	Cerro Verde A	Sapucaí	505 050	7 157 113	234.50	270	-60
SAP-006	Cerro Verde B	Sapucaí	504 775	7 157 100	99.30	270	-45
SAP-007	Crackle Breccia B	Sapucaí	506 190	7 157 175	301.00	90	-60
SAP-008	Colman B	Sapucaí	505 852	7 157 116	310.50	270	-60
SAP-009	Picuá Norte	Sapucaí	505 400	7 157 495	323.10	90	-55
SAP-010	Picuá Norte	Sapucaí	505 392	7 157 500	59.50	270	-45
SAP-011	Picuá Sur	Sapucaí	505 437	7 156 942	149.70	90	-50

Total (m):	2724.20
duración:	43 días
promedio diario (m):	63.35



EXPLANATION

- Perforaciones Diamantinas

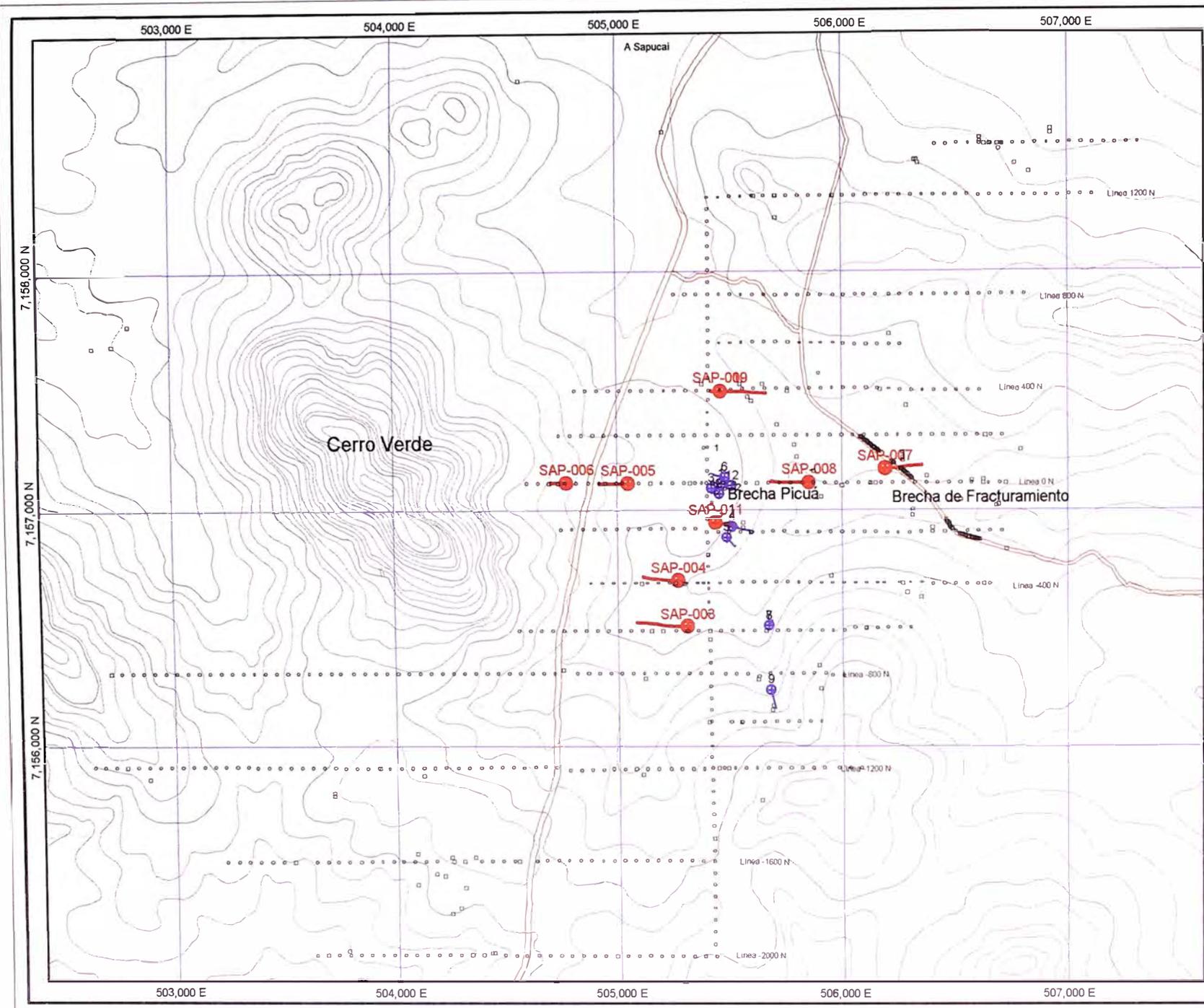
- Muestra de Suelo tipo Auger
 - Muestra de Suelo tipo Auger

- Copy of Muestra de Roca
 - Copy of Muestra de Roca

MAP ARSA
 X: 495,800 501,000
 Y: 7,148,700 7,153,000
 Z: 0 10,000
 Units are meters.



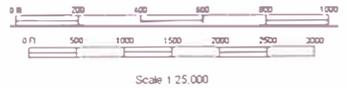
Univ. Nacional de Ingenieria
PROSPECTO SAPUCAI
Área Guazu Cuá UBICACIÓN DE SONDAJES DIAMANTINOS Programa de Perforación 2001 Figura III.8.1
NEWMONT INCORPORATED PROPRIETARY INFORMATION ISSUED: JUN 08, 2002 10:28:43 C:\P\2002\PROSPECTO SAPUCAI.dwg



EXPLANATION

- Perforaciones Newmont 2001**
- - - - - Slosh beds indicate hole enters shales the section
 - - - - - On hole traces are smoothed
 - - - - - Hole name plotted at top of hole
-
- Perforación Yamana 1997**
- - - - - Muestra de Suelo tipo Auger
-
- Muestra de Roca**
- Muestra de Roca

MAP AREA
 X: 502,400 - 507,600
 Y: 7,156,000 - 7,158,000
 Z: 0 - 10,000
 Units are meters



Univ.Nacional de Ingenieria
PROSPECTO SAPUCAI
ÁREA SAPUCAI UBICACIÓN DE SONDAJES DIAMANTINOS Programa de Perforación 2001 Figura III.8.2
NEWMONT MINING CORPORATION PROPRIETARY INFORMATION: SUBURBAN, JULY 08, 2002 10:21:33 C:\P\Map\Gis\Mapa25A.dwg

Objetivo: evaluar el núcleo de la estructura magnética circular así como el origen de la anomalía de tierras raras.

El sondaje SAP-002 (figura III.8.3) está ubicado en el borde este y externo de la principal estructura magnética circular de Guazu Cuá (figura III.8.1) en cuyo centro está el sondaje SAP-001. Este sondaje fue seleccionado basándose en una anomalía de alta cargabilidad (figura III.6.1) y coincidente con una anomalía de alta resistividad de rumbo noreste-suroeste (figura III.6.2). No se determinó anomalía geoquímica de suelos (en ambos horizontes), sólo se tiene una fuerte anomalía de oro en sedimentos de escorrentía tanto en la fracción de malla -200 como en la muestra BLEG, sobre un drenaje que fluye con rumbo suroeste y nace sobre la anomalía geofísica. Objetivo: evaluar el origen de la anomalía de alta cargabilidad.

III.8.2.2 Descripción de Sondajes en Guazu Cuá

Los sondajes DDH SAP-001 y SAP-002 cortan en su totalidad flujos de lavas basálticas inalteradas sobreyaciendo a conglomerados Pérmicos que fueron interceptados a 246-250 m de profundidad (figura III.8.6). Las lavas basálticas alcalinas tienen textura vesicular a porfirítica, con alteraciones predominantemente propilíticas y de ensambles de baja temperatura (zeolitas). En menor proporción presentan alteración potásica débil. Cada flujo lávico muestra intervalos de autobrecha y también niveles muy vesiculares con alto contenido primario de gases. Leucitas zonadas son abundantes como fenocristales hasta un 20% y han sido reemplazadas por piroxenos (augita) y feldespatos potásicos (ortoclasa). Las zeolitas (natrolita y laumontita) aparecen asociadas íntimamente con carbonatos (principalmente calcita) constituyendo una pseudoserie, como producto de la circulación de fluidos de baja temperatura probablemente ligados a procesos de alteración propilítica o de autoalteración, y se presentan rellenando parcial a completamente vesículas y fracturas. La presencia de sulfuros es muy baja (menos de 1%). Los óxidos de hierro secundarios impregnando la matriz de roca son también escasos. La magnetita sin embargo se presenta de manera diseminada a lo largo de todo el sondaje (los valores de susceptibilidad magnética superan los 4 dígitos). Los conglomerados encontrados en la base de los sondajes presentan niveles arenosos altamente oxidados con cantos (gravas) hasta de 3-5 cm de diámetro.

III.8.2.3 Geoquímica de Sondajes en Guazu Cuá

Debido a que los testigos se mostraban poco alterados y mineralizados, las muestras fueron tomadas en términos generales cada 8 m de manera continua (no compuesto) excepto donde se determinaba incrementos en el fracturamiento, brechamiento u oxidación, en cuyo caso se tomaban muestras cada 2 m o en intervalos menores. Todas las muestras fueron analizadas por oro por el método de *fire assay* o ensaye al fuego más ICP (*Induced Coupled Plasma*). Adicionalmente, cada 4 muestras se efectuó el análisis multi-elemental que incluía platino y paladio. El motivo del análisis por platinoídes se debió a que los modelos previos sugerían la presencia de una carbonatita o de un cuerpo de brecha tipo Cripple Creek relacionados al núcleo de una gran estructura circular de origen volcánico.



Figura III.8.3 Perforación en plataforma del sondaje SAP-002 en Guazu Cuá

La plataforma del sondaje SAP-002 se ubica en el extremo este de la estructura magnética circular de Guazu Cuá, por encima de una anomalía de cargabilidad, con ausencia total de afloramientos.



Figura III.8.4 Perforación en plataforma del sondaje SAP-007 en Sapucaí

La plataforma del sondaje SAP-007 se ubica en el sector central de la brecha de fracturamiento o *crackle breccia* en el borde noreste de Sapucaí.

Cada 25 o 30 muestras de testigos, se colocó una muestra estándar, cuya numeración era correlativa a las otras muestras, esto con la finalidad de controlar el resultado de los análisis.

Cabe destacar que el íntegro de las muestras de testigos fueron preparadas en el campo hasta la fracción de malla -80: cortado de testigo, muestreo, secado, chancado y molienda primaria. No se efectuó el pulverizado a malla -200 (a pesar de contar con el equipo) debido a que se ponía en riesgo la contaminación de la muestra.

Ninguno de los dos sondajes interceptó anomalías geoquímicas. Los valores de oro están mayormente por debajo del límite de detección de 5 ppb. No se encontró anomalías en platinoides ni en tierras raras o REE (*Rare Earths Elements*) en profundidad que podrían haber explicado el origen de la fuerte anomalía en lantano e itrio en superficie alrededor de la plataforma del sondaje SAP-001. Tampoco se determinó en los testigos algún signo de haber cortado una diatrema o algún conducto por el que podría haber circulado algún tipo de mineralización.

III.8.3 Perforación en Cerro Verde (Sapucaí)

III.8.3.1 Ubicación de Sondajes SAP-003 al SAP-011

Los sondajes SAP-003, SAP-004, SAP-005, SAP-006, SAP-009, SAP-010 y SAP-011 (figura III.8.2) fueron ubicados rodeando el centro del edificio volcánico de Sapucaí, que está dominado por brechas intrusivas de composición sienítica a gabroica, que cortan varios cuerpos hipabisales y subvolcánicos de sienita, monzogabro, gabro, fonolita, tefrita y esexita. Estos cuerpos ígneos han sido atravesados posteriormente por diques de fonolitas, fonotraquitas y lamprófidos.

El sondaje SAP-003 está ubicado sobre la anomalía de cargabilidad más fuerte detectada dentro del área de Sapucaí, en la línea geoquímica -600 norte (es decir a 600 m al sur de la brecha Picuá). Sobre esta línea y a escasos 50 m al oeste se tiene la más alta anomalía de oro encontrada en suelos: 500 ppb detectados en el horizonte C asociado a la presencia de biotita secundaria hasta un 25%. Los afloramientos en la base del arroyo Mbopicuá a 50 m al norte revelan una brecha intrusiva heterolítica o polimíctica gruesa. Los sulfuros (pirita principalmente) están presentes en la matriz de la brecha hasta un 3%. Objetivo: determinar el origen de la anomalía de cargabilidad y corroborar a profundidad el valor de oro anómalo.

El sondaje SAP-004 se ubica a 200 m al norte del sondaje SAP-003. No se ha detectado anomalía aurífera en superficie en ese punto. Objetivo: evaluar la extensión hacia el extremo norte de la anomalía de cargabilidad del sondaje SAP-003.

Los sondajes SAP-005 y SAP-006 se ubican a lo largo de la línea 0 Norte, en el sector oeste de la brecha Picuá. Objetivo: controlar y delimitar a profundidad los límites del domo fonolítico en cuyo borde se detectó mineralización aurífera en superficie.

Los sondajes SAP-007 (figura III.8.4) y SAP-008 fueron ubicados en el lado este del núcleo del complejo volcánico, en la zona de brecha de fracturamiento (ó *crackle*

breccia) en lavas basálticas cortadas por diques fonolíticos y lamprofíricos. El contorno de esta brecha de fracturamiento coincide perfectamente con una extensa anomalía de fluorita detectada en el muestreo de suelos y rocas. No se encontró anomalía aurífera en superficie. Objetivo: determinar la posible existencia de cuellos volcánicos o diatremas alteradas y mineralizadas por debajo de las lavas que pudiesen ser las responsables del intenso fracturamiento.

Los sondajes SAP-009 y SAP-010 se ubican ambos en la misma plataforma pero perforan en sentidos diferentes, el primero hacia el este y el segundo hacia el oeste, a 400 m al norte de la brecha Picuá. No hay ningún afloramiento en el área ni anomalías geoquímicas (sólo una débil anomalía de plomo). Objetivo: evaluar desde el flanco oeste, el extremo norte de la anomalía de cargabilidad denominada Colman, así como la posibilidad de continuidad de la mineralización hacia el norte de la Brecha Picuá.

El sondaje SAP-011 se ubica a 150 m al sureste de la brecha Picuá. Objetivo: evaluar la continuidad de la mineralización entre la zona central de la brecha Picuá y el sector alterado alrededor de los sondajes DDH-4 y DDH-5 de Yamana.

III.8.3.2 Descripción de Sondajes en Cerro Verde (Sapucaí)

A profundidad, los sondajes SAP-003 y SAP-011 (figuras III.8.5, III.8.6 y III.8.7) cortan enteramente brechas intrusivas de composición sienítica a monzogabroica. Adicionalmente, el sondaje SAP-003 intersectó una diatrema o brecha de explosión de composición tefrítica-essexítica. La textura es altamente fluidizada con fragmentos polimícticos y redondeados, comparativamente de menor tamaño a los fragmentos de la brecha intrusiva. La relación matriz/clasto es mucho más alta en la diatrema que en la brecha intrusiva. La alteración predominante es potásica débil a moderada (feldespato potásico y biotita) afectando mayormente a la matriz. También se presentan otros tipos de alteración como carbonatización (calcita y ankerita) y zeolitización. No hay evidencias de fuerte oxidación excepto en superficie. El contenido de sulfuros: piritita y pirrotita con trazas de galena y esfalerita alcanza contenidos relativamente altos (hasta 10%) y se presentan diseminados a lo largo de todo el sondaje (399.5 m). Esta cantidad de sulfuros podría ser la responsable de la anomalía de alta cargabilidad encontrada en superficie en este punto.

El sondaje SAP-004 se inició en brecha intrusiva de composición gabroica hasta cerca de los 70 m, luego cambió a gabro muy denso sin alteración ni mineralización.

Los sondajes SAP-005 y SAP-006 intersectaron brecha intrusiva gabroica en toda su longitud, cortadas por varios diques fonolíticos y zonas de fuerte fracturamiento. No hay evidencias de alteración ni mineralización.

Los sondajes SAP-007 y SAP-008 intersectaron lavas basálticas muy fracturadas y con alteración carbonática intensa constituida por el ensamble calcita-siderita-ankerita representando hasta un 25% del total de la roca (figuras III.3.3a, III.3.3b y III.4.8). Los carbonatos se presentan rellenando fracturas y como matriz de brecha. Las lavas han perdido la susceptibilidad magnética producto de la intensidad de la alteración, están muy oxidadas en los primeros 200 m coincidiendo con el grado de fracturamiento. alcanzan

potencias de 220 a 240 m, bajo los cuales se encontró una zona intermedia con una brecha basáltica basal englobando fragmentos sedimentarios, y luego pasando a sedimentos metamorfizados termalmente (areniscas y limolitas).

El sondaje SAP-008 corta en su inicio a los mismos flujos de lava basáltica del sondaje SAP-007, también con fuerte alteración carbonática. A partir de 60 m corta una brecha intrusiva de sienogabro cuyo tramo inicial tiene alteración carbonática (figura III.4.7). A profundidad, la oxidación de la brecha disminuye considerablemente, mientras que el contenido de sulfuros (pirita) diseminados se incrementa hasta un 3%, en este tramo la alteración predominante es propilítica con algunos canales de carbonatización.

Los sondajes SAP-009 y SAP-010 cortan en su totalidad gabros y brecha intrusiva de composición gabraica. No presenta oxidación y el contenido de pirita es inferior al 3%. La alteración potásica es mínima, restringiéndose a determinados intervalos angostos, predominando la alteración propilítica. Venillas de carbonatos (calcita) se presentan en zonas de fracturas rellenando las mismas.

III.8.3.3 Geoquímica de Sondajes en Cerro Verde (Sapucai)

A pesar de que los testigos se mostraban poco alterados y mineralizados, las muestras fueron tomadas en intervalos de 2 m cada uno y de manera continua. Excepcionalmente se tomaron muestras selectivas a intervalos menores en donde se determinaba incrementos en la intensidad de alteración, fracturamiento, brechamiento, oxidación o sulfuros. Todas las muestras fueron analizadas por oro y multielementos de forma similar a la descrita anteriormente.

Ninguno de los 9 sondajes perforados en Sapucai interceptó contenidos importantes de oro. Los valores más altos se encontraron en el sondaje SAP-011 a escasos 150 m al sureste de la brecha Picuá, con 8 m (en los intervalos 16-22 y 74-76 m) con leyes alrededor de 100 ppb de oro. En los pozos restantes, los valores no superan los 50 ppb de oro.

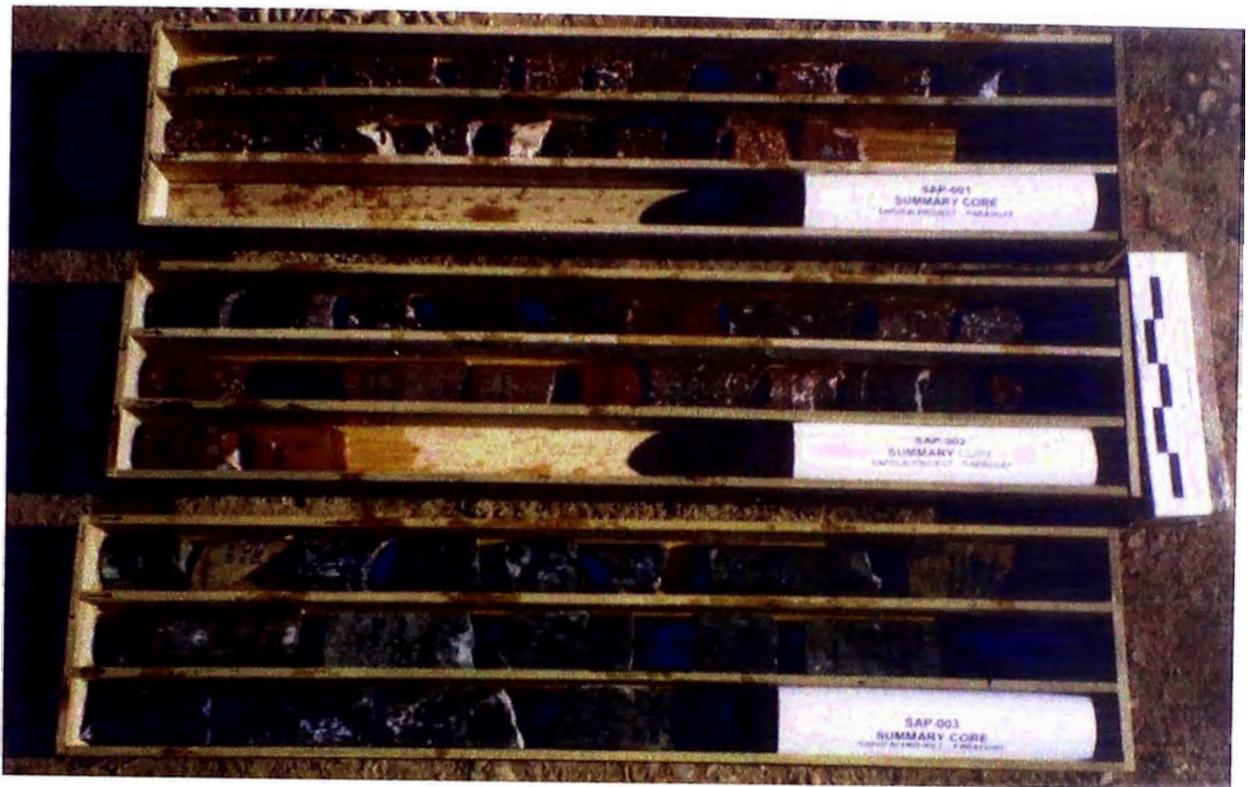


Figura III.8.5 Cajas Resúmenes de Sondajes SAP-001, 002 y 003



Figura III.8.6 Cajas Resúmenes de Sondajes SAP-004 y SAP-005



Figura III.8.7 Cajas Resúmenes de Sondajes SAP-006, 007 y 008

IV - INTERPRETACIÓN GEOLÓGICA

IV.1 MODELO GEOLÓGICO DE SAPUCAI

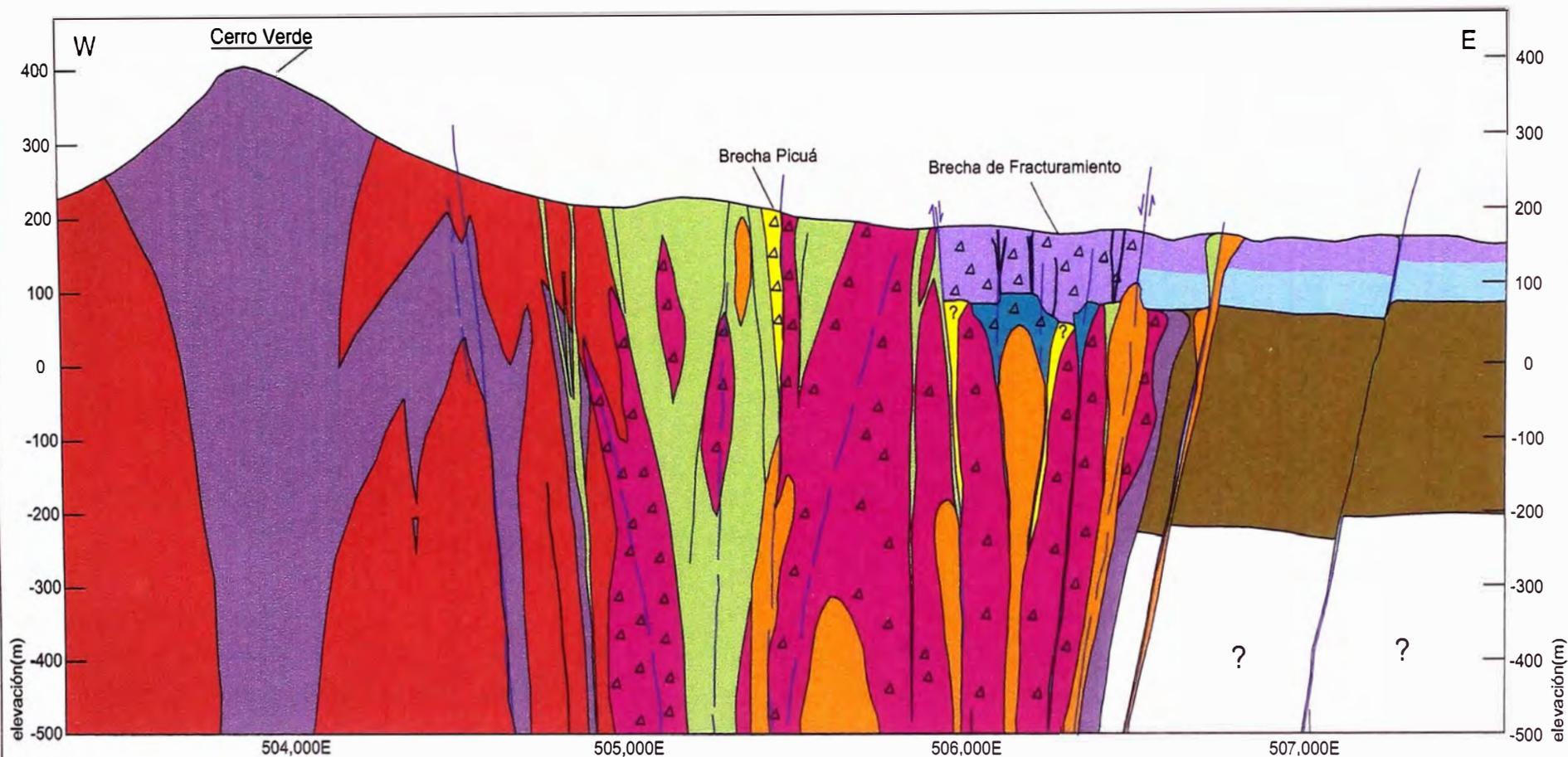
Todas las evidencias de campo conllevan a establecer a Sapucaí como un antiguo estratovolcán muy erosionado (figura IV.1.2), con pulsos extrusivos de diferente grado de explosividad (lávicos y piroclásticos), intrusiones superpuestas (tempranas y tardías) de mayor o menor grado de diferenciación magmática, vaciamiento de cámaras magmáticas con formación de brechas intrusivas y brechas de fracturamiento y finalmente pulsos hidrotermales mineralizantes. Todas estas características forman en su conjunto el complejo volcánico de Sapucaí.

En los pulsos extrusivos, predominan las lavas por sobre los piroclásticos, lo cual es muy característico en los sistemas alcalino básicos de composición basáltica con poca mezcla con aguas meteóricas y bajo contenido de gases. Los pulsos piroclásticos parecen haber sido muy breves pues las potencias no superan algunos decímetros (excepcionalmente algunos metros) y se restringen exclusivamente al entorno cercano del foco eruptivo (figura IV.1.2).

La sección interpretativa de Sapucaí (figura IV.1.1) muestra la distribución de rocas a profundidad basándose en información obtenida de los sondajes de Newmont y de Yamana, del cartografiado de superficie y de datos obtenidos por la geofísica aérea y de superficie. En esta sección se aprecia claramente que la brecha intrusiva corta todo el núcleo del sistema volcánico, produce una brecha de fracturamiento hacia el borde este y canales de brechas hidrotermales (posteriores) como la brecha Picuá en su flanco oeste.

Asímismo, en la misma sección se aprecia que en la actualidad sólo tenemos las raíces de la brecha hidrotermal de Picuá, la cual pudo haber alcanzado en la paleosuperficie dimensiones considerables (de algunas centenas de metros de diámetro). Si asumimos que tuvo mineralización aurífera en toda su extensión, pudo constituir un depósito económico, sin embargo, todo el antiguo edificio volcánico fue casi completamente erosionado llevándose consigo la mayor parte de la mineralización. Este factor de erosión puede ser el responsable de producir el patrón de dispersión consistente en oro en todo el interior del complejo Sapucaí, y en especial en la muestra tipo BLEG, el cual indica que se trata necesariamente de oro libre de granulometría gruesa.

SECCIÓN GEOLÓGICA INTERPRETATIVA DE SAPUCAI - LÍNEA 0 Norte
(Perfil A-A' de Fig III.1.1 a 7°15',150N)



LEYENDA

- | | | |
|---|--|---|
| Brecha hidrotermal con alteración potásica | Basalto y Basalto Tefrítico | Areniscas arcoicas y lutitas, pred. marinas (Pérmico) |
| Brecha de fracturamiento con alteración carbonática | Stock y diques de Tefrita leucítica (Cretácico inferior) | Brecha Indiferenciada |
| Brecha intrusiva polimicta (Cretácico inferior) | Monzo-Gabro con alt. potásica | Fallas Normales |
| Fonolita porfírica (Cretácico inferior) | Gabro, Monzo-Gabro y Essexita (Cretácico inferior) | |
| Traquita (Cretácico inferior) | Arenisca y conglomerado, sedimentos continentales (Jurásico) | |

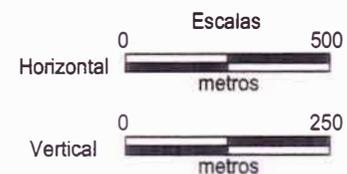
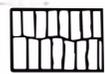
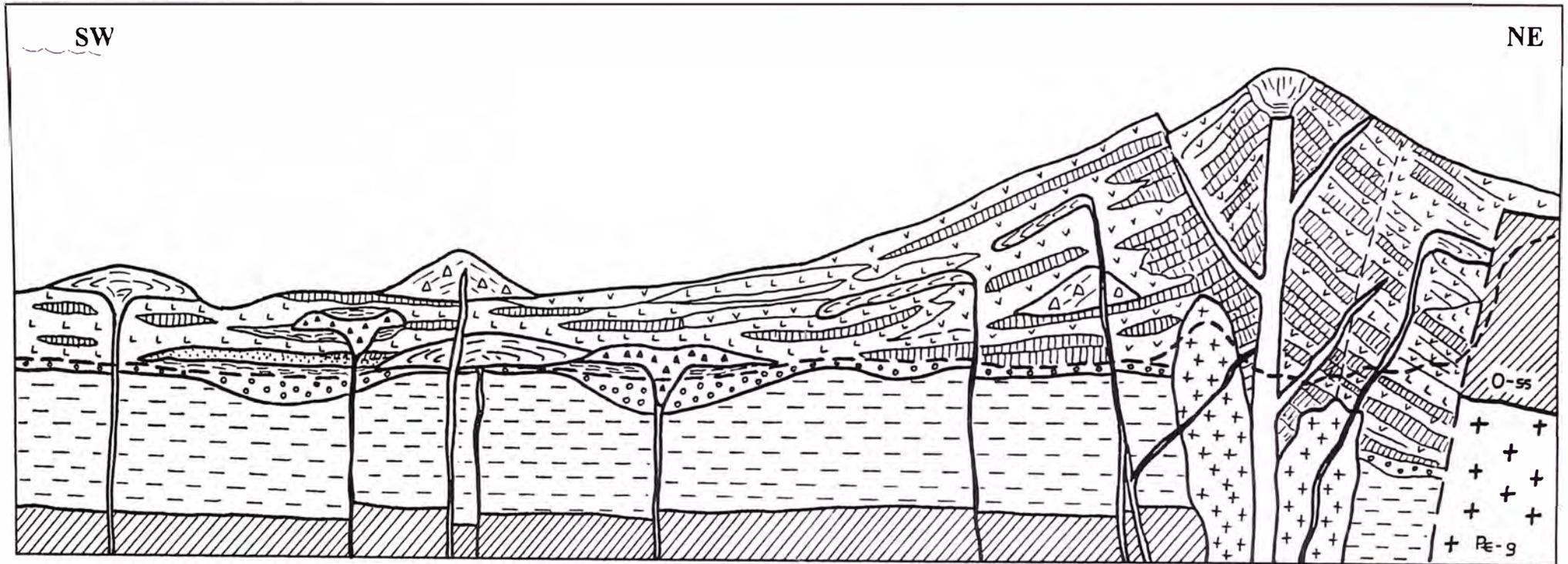


Figura IV.1.1 Modelo Geológico de Sapucaí a escala local

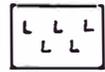
Figura IV.1.2. Modelo Geológico de Sapucaí a escala Distrital
 Facies volcánicas alcalinas de Sapucaí asociadas al rift de Asunción



Flujo de Lavas



Flujos piroclásticos
y de caída.



Depósitos epiclásticos
Lahares y fanglomerados



Depósitos de hialoclastitas



Depósitos lacustrinos
y de pantanos



Rocas intrusivas
y diques alimentadores



Superficie de erosión



Domos de lavas



maar (diatremas) y
anillos de tufos



cono de escorias
y de cenizas

IV.2 COMPARACIÓN ENTRE SAPUCAI Y CRIPPLE CREEK

Debido a sus características petrológicas, estructurales y de alteración, se ha establecido que Sapucaí es un depósito aurífero muy similar al de Cripple Creek. Existen otros depósitos a nivel mundial que presentan algunas similitudes como podrían ser el de Olympic Dam en Australia que también está emplazado en rocas alcalinas, sin embargo, los ejemplos mundiales son escasos y la literatura disponible también. No existe ningún ejemplo nacional de este tipo y se desconoce si existen otros a nivel sudamericano. Por estas razones, se hará sólo la comparación entre Sapucaí y Cripple Creek. Estas comparaciones se complementan con información personal recolectada durante la visita que hice a Cripple Creek en junio del 2000.

IV.2.1 Características Geológicas

Litológicamente presentan muchas similitudes. Las rocas presentan la misma composición pero diferente textura. En el caso de la fonolita por ejemplo, los stocks en Cripple Creek presenta una textura afanítica y la presencia de fenocristales de sanidina es escasa o son muy pequeños (menores a 2 mm). En Sapucaí en cambio la fonolita es predominantemente porfirítica (excepto en diques donde sí es afanítica) con megafenocristales de sanidina que alcanzan 20-30 mm). Esto nos sugiere que el nivel de emplazamiento de rocas es mucho más profundo en Sapucaí, así como su nivel de erosión (figura IV.1.2). En Cripple Creek las evidencias de erosión son mínimas y el sistema de alteración-mineralización está casi completo.

Si comparamos el diagrama TAS de Sapucaí (figura IV.2.2a) con el diagrama TAS de Cripple Creek (figura IV.2.2b), ambos muestran una distribución muy similar siguiendo la misma tendencia de diferenciación, incluyendo la ocurrencia tardía de magmas menos evolucionados e inclusive mezcla de magmas (Tobey, 2000).

Estructuralmente, un proceso tectónico distensivo con formación de un rift, controló el emplazamiento de las rocas intrusivas y subvolcánicas en ambos depósitos. Sin embargo, en el caso de Cripple Creek, no existe evidencia de que se haya desarrollado un edificio volcánico completo como sí lo existe en Sapucaí (figura IV.2.1b). Cripple Creek es una mega brecha volcánica con emplazamiento sucesivo de diatremas pre y post mineralización (figura IV.2.1a). Los cuerpos de brecha predominan sobre la roca encajonante, los cuales al tener una alta porosidad en la matriz (figura IV.2.5) y por fracturamiento, han permitido el paso de los flujos de alteración y mineralizantes (Cappa, 1997). Sapucaí en cambio, los cuerpos de brecha (intrusiva, de diatrema, de fracturamiento – o colapso – e hidrotermal) se han emplazado sólo en el núcleo del estrato volcán en dimensiones muy limitadas y estas brechas tienen menor porosidad primaria.

Los minerales de alteración tanto en Cripple Creek como en Sapucaí son: adularia-sericita- (alteración potásica) acompañados por carbonatos (calcita-siderita-dolomita). La

fluorita está presente en ambos depósitos ligado a la mineralización. Cripple Creek presenta además rutilo y calcedonia (Lindgren, 1906).

La mineralización en Cripple Creek es del tipo bonanza, con franjas decimétricas paralelas (no son vetas) de alta ley del orden de hasta 15 oz/TC (figura IV.2.4), separadas unas de otras entre 2 a 10 m, dentro de un cuerpo de brecha fonolítica que tienen una dimensión de cerca de 2 km de diámetro y más de 1200 m de profundización.

En Sapucaí, la mineralización aurífera está restringida a una brecha hidrotermal con alteración potásica de sólo 10x50 m por 80-100 m de profundidad, con leyes de oro que alcanzan los 6 g/TM.

IV.2.2 Características Geoquímicas

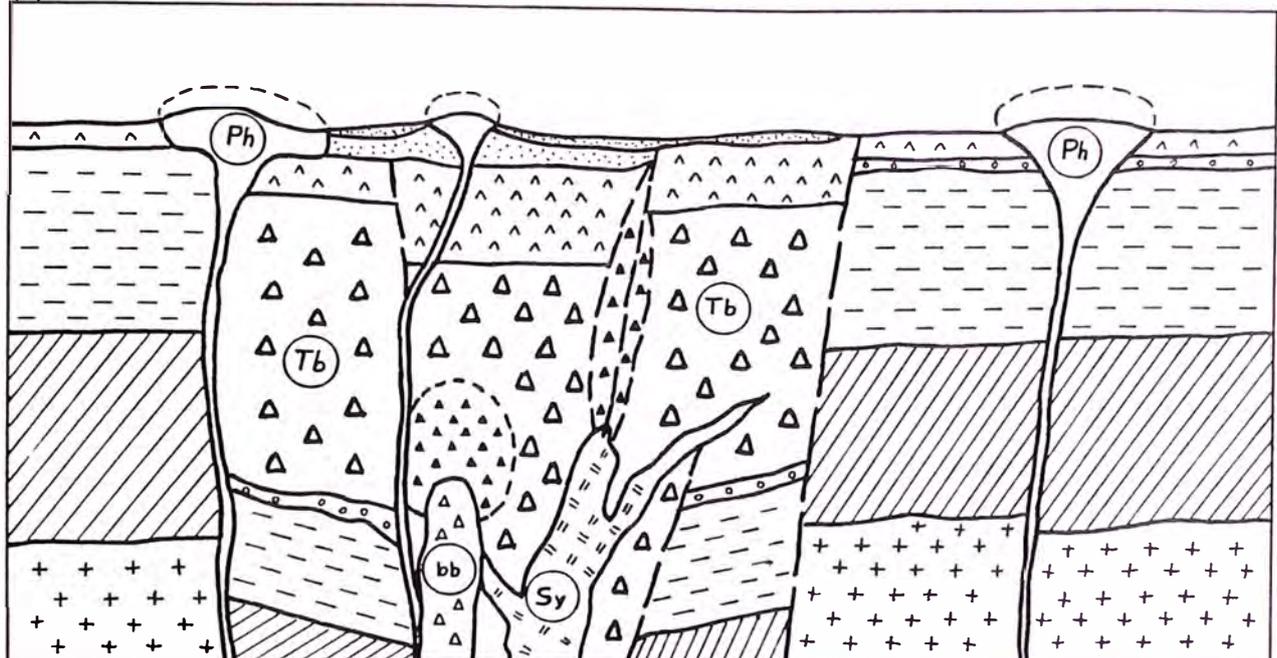
La mineralización aurífera de Cripple Creek está concentrada en telururos de oro (calaverita principalmente) y en menor proporción en oro libre y electrum. Los metales y elementos trazas que acompañan a la mineralización de oro son: telurio, mercurio, plata, arsénico, antimonio, plomo, molibdeno, tungsteno, bismuto, fósforo, boro y flúor, entre otros (figura IV.2.3a).

Cabe resaltar que Cripple Creek es una mina de oro y telurio. Los sistemas alcalinos en general pueden estar también mineralizados en niobio, tantalio, tierras raras (incluido itrio), zirconio, hafnio, diamantes (en kimberlitas y lamproítos), hierro, titanio, uranio, torio, e inclusive cobre y níquel (Cappa, 1998).

En Sapucaí, la mineralización aurífera está presente como oro libre. No se tienen evidencias de presencia de telururos de oro ni de electrum (los valores de plata son muy bajos). Sólo se tienen anomalías altas en flúor; anomalías bajas en arsénico, plomo y total ausencia de anomalías en telurio, antimonio, plata, bismuto, tungsteno y molibdeno (figura IV.2.3b). No se efectuaron análisis por boro ni por fósforo. Adicionalmente, en el área de Guazu Cuá se encontró anomalías de lantano, itrio y manganeso entre otros.

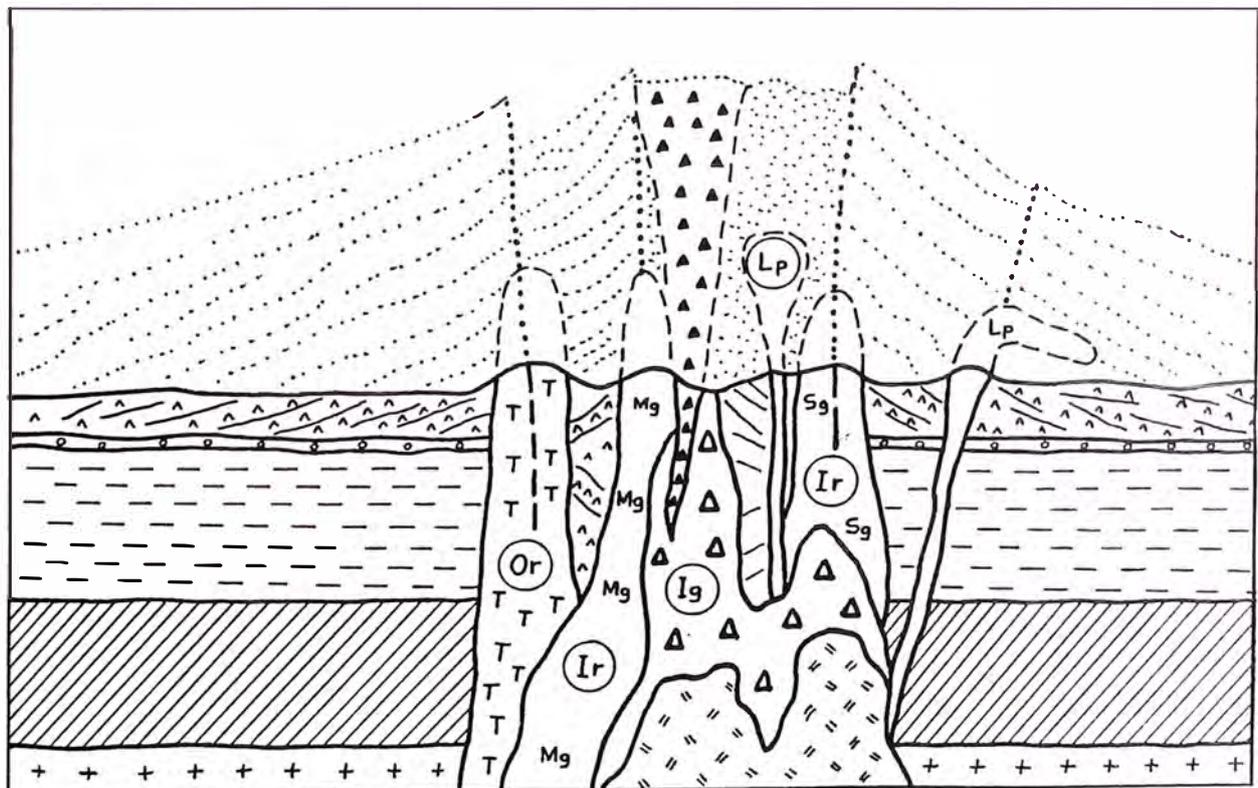
Figura IV.2.1 (a y b) Comparación de Modelos para Depósitos de Oro Emplazados en Brechas de Rocas Alcalinas

(a) MODELO DE DIATREMA: CRIPPLE CREEK



Ph – domo de lava fonolítica
 Tb – tufo brecha +- estratificado Brecha Mineralizada
 bb – Brecha basáltica tardía
 Sy – Intrusivo Sienítico

(b) MODELO DE ESTRATOVOLCAN: SAPUCAI



Ea – Intrusiones del anillo externo
 Lp – Fonolita Leucítica
 Ig – Brecha Ignea Shonkinitica biotitizada Brecha Picua Mineralizada.
 Ia – Intrusiones del anillo interno
 T – Teralite
 Sg – Sienogabro
 Mg – Monzogabro

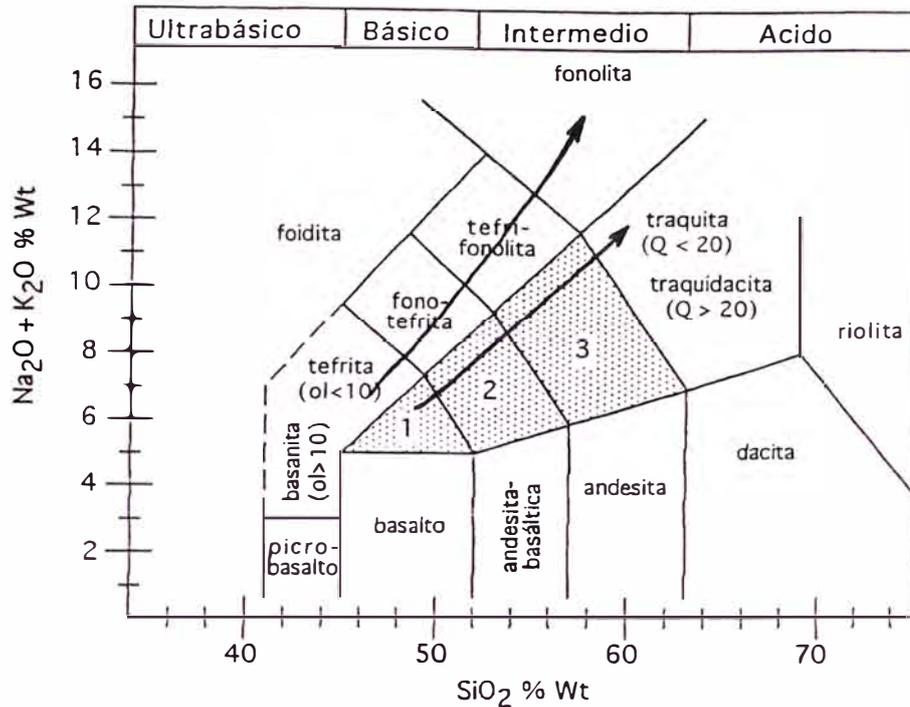


Figura IV.2.2a Diagrama TAS de Sapucaí

Diagrama de las tendencias de evolución magmática de las rocas del complejo Sapucaí. Una de las tendencias inicia en un magma basanítico poco evolucionado y llega a un magma fonolítico más evolucionado. El otro “trend” inicia en un basalto alcalino y termina en una traquita (Tobey, 2000).

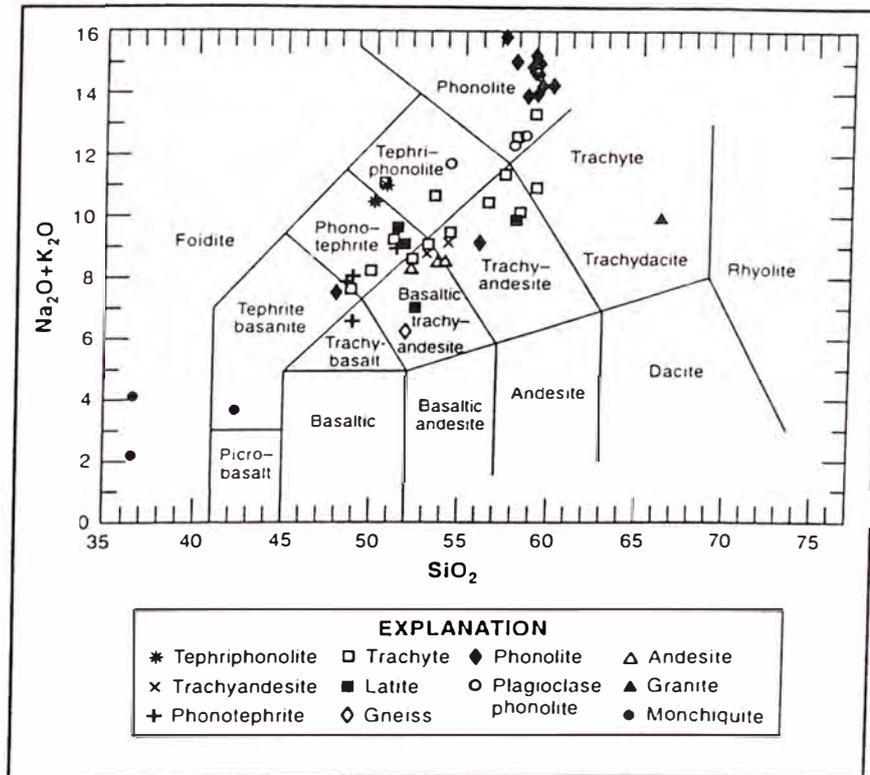
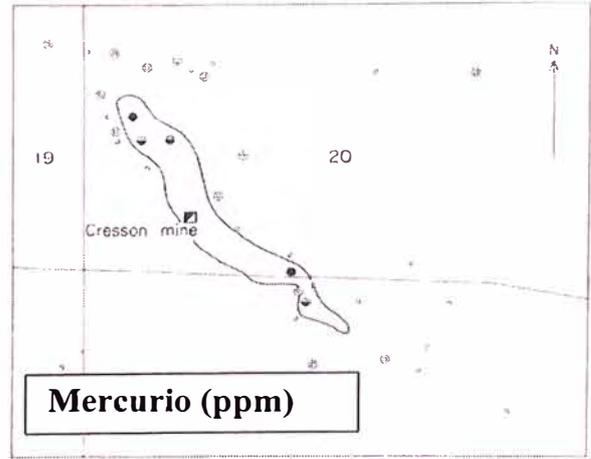
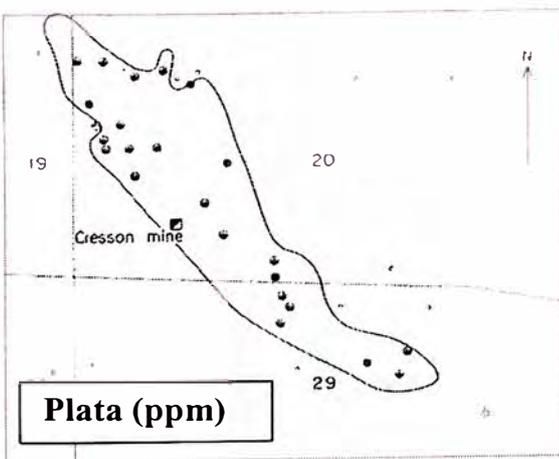
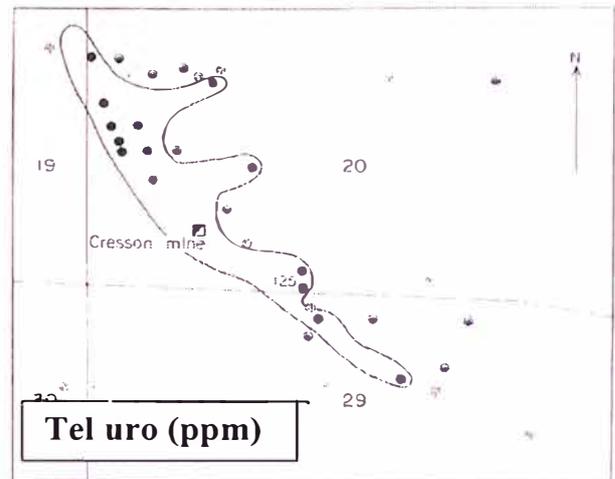
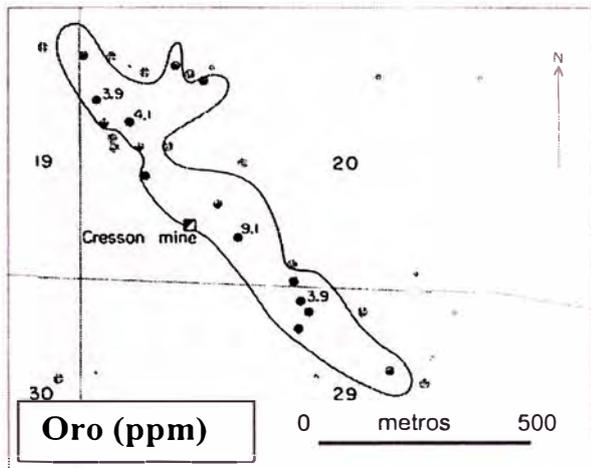


Figura IV.2.2b Diagrama TAS de Cripple Creek

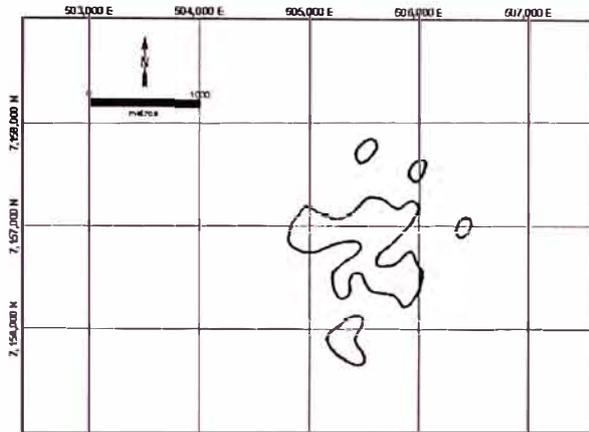
Distribución en un diagrama Le Bas de rocas representativas del distrito Cripple Creek, mostrando la evolución de los magmas, desde una composición basanítica hasta rocas netamente fonolíticas (diagrama tomado de Cappa, 1998).

Figura IV.2.3a Distribución geoquímica de Cripple Creek



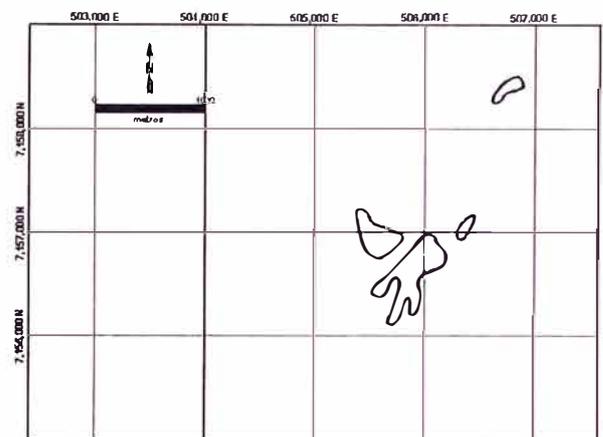
Tomado de Lindgren y Ransome, 1906

**Figura IV.2.3b Distribuciones Geoquímicas de Sapucaí
(Muestreo combinado de rocas y suelos)**



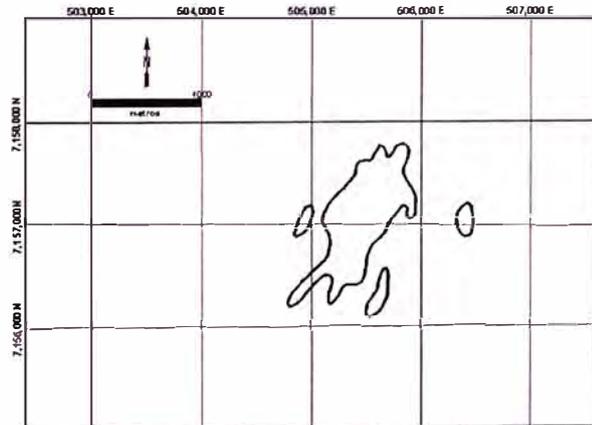
Oro (ppb)

Contorno > 20 ppb



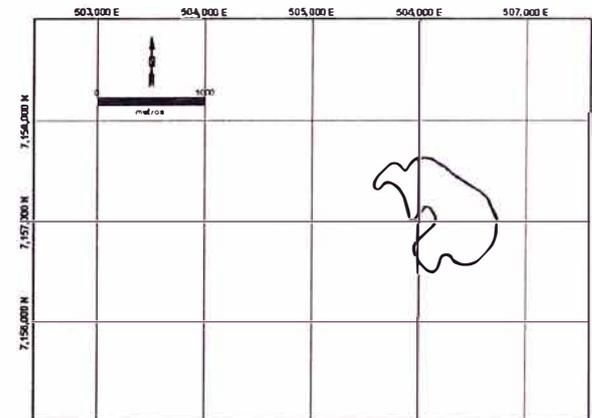
Arsénico (ppm)

Contorno > 20 ppm



Estroncio (ppm)

Contorno > 500 ppm



Flúor (ppm)

Contorno > 3000 ppm

(para la elaboración de los contornos se ha utilizado como base los planos mostrados en la sección de geoquímica local, considerando la misma área de dibujo)

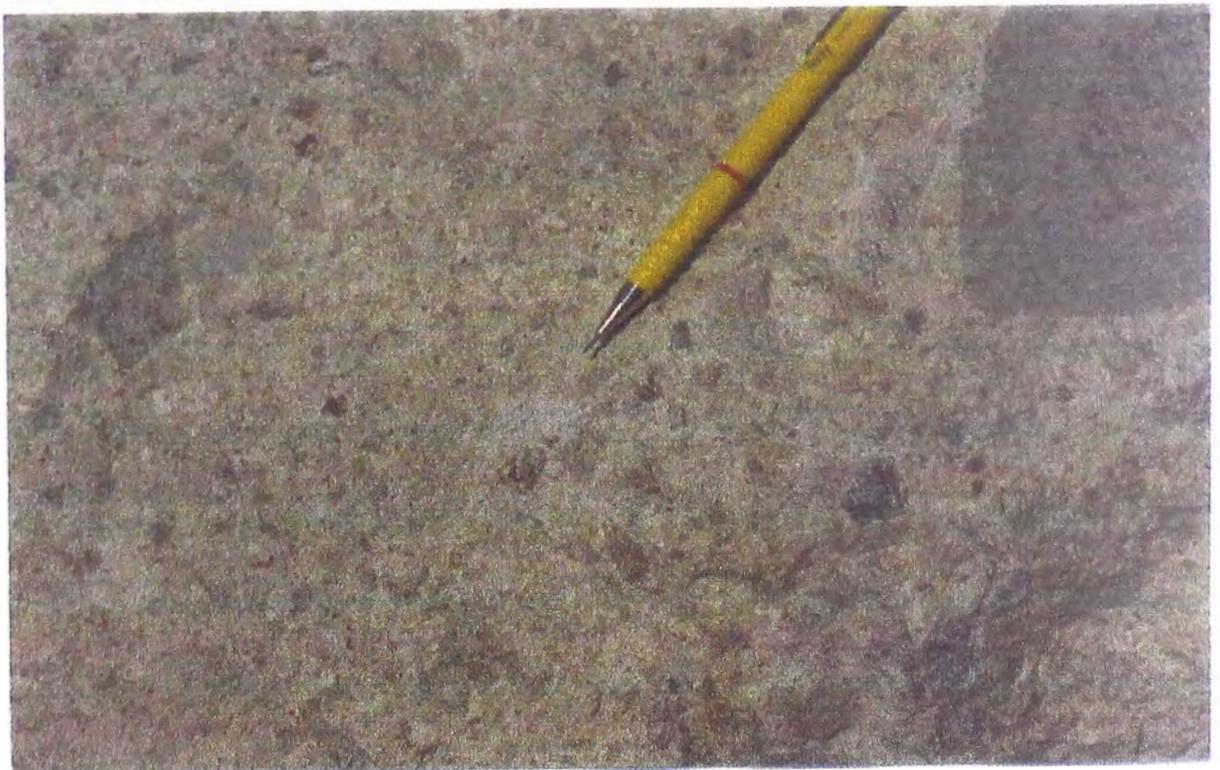


Figura IV.2.4 Cripple Creek, vista del Tajo actual

(Foto a la izquierda) Vista del tajo principal sobre la brecha Cresson, en Cripple Creek. Nótese en las paredes del tajo, líneas paralelas muy oxidadas que corresponden a las franjas con mineralización aurífera de alta ley que fueron minadas inicialmente mediante laboreo subterráneo. Al fondo del tajo, un camión cisterna sirve como escala para la foto. En la parte alta se aprecia las pilas de lixiviación actuales.

Figura IV.2.5 Cripple Creek, Brecha de Diatrema Cresson

(Foto inferior) Brecha de diatrema Cresson, de composición fonolítica, en la parte central del depósito. Nótese la proporción de fragmentos versus matriz. Muestras con estas características tienen contenido de oro menores a 0.5 gr/Tm.



BIBLIOGRAFIA

- Aubouin, J.; Brousse, R. y Lehman, J.P. (1981):** Tratato de Geología: Petrología, tomo 1, págs. 150-153, 484-496; Edit. Omega, Barcelona, España.
- Bartel, W. (1994):** Structural and Sedimentary Development of the Asuncion Block, Paraguay. MSc. Thesis, Technical University Clausthal, Alemania.
- Bartel, W. (1997):** El desarrollo del Semi-graben de Asunción. Memorias del I Congreso Paraguayo de Ingeniería Geotécnica / IV Jornadas Geotécnicas Estructurales / 1ra. Reunión de Ingeniería Geotécnica del Mercosur, pág. 275 - 283, Tomo 1, Asunción, Paraguay.
- Bartel, W. (1997):** Paso Yobai Concession. Minera Yamana Inc. Reporte Interno.
- Benitez, L. (1995):** Complejos Alcalinos del Paraguay, Cooperación Técnica Proyecto 88.2202.5.
- Benitez, L. (1996):** Compilacion de Datos Geocronológicos de Complejos Alcalinos del Paraguay. Cooperacion Paraguayo-Alemana.
- Bondar Clegg Laboratories (2001):** Schedule of Fees and Services, Bondar Clegg, Canadá.
- Boshier, P.R. & Associates (2000):** Structural interpretation of Landsat thematic mapper (TM) false colour imagery, Sapucaí – Paraguari Tenement Areas, Paraguay. Proyecto No. 08/99[PGY] para Newmont Peru Limited. Somerset, Inglaterra.
- Cappa, J (1998):** Alkaline Igneous Rocks of Colorado and Their Associated Ore Deposits. Colorado Geological Survey, Department of Natural Resources, Denver Colorado, Resources Series #35.
- Comin-Chiaramonti, P. y Gomes, C.B. –Editors- (1995):** Alkaline Magmatism in Central-eastern Paraguay, Relationships with Coeval Magmatism in Brazil. Editora da Universidade de Sao Paulo, 458 p., Sao Paulo, Brasil.
- Comin-Chiaramonti, P.; Cundari, A.; Piccirillo, E.M.; Gomes, C.B.; Castorina, F.; Censi, P.; De Min, A.; Marzoli, A.; Speziale, S. y Velazquez, V.F. (1997):** Potassic and Sodic Igneous Rocks from Eastern Paraguay: their Origin from the Lithospheric Mantle and Genetic Relationships with the Associated Parana Flood Tholeiites; in Journal of Petrology, volume 38, number 4, pp 495-528.
- Congreso de la Nación Paraguaya (2000):** Ley 1568/2000 que aprueba el contrato suscrito entre el Gobierno Nacional y la Empresa Minera Yamana Inc. para la exploración, extracción y transformación de minerales de metales preciosos y comunes, en áreas de la región oriental del la República del Paraguay, Paraguay.

- Congreso de la Nación Paraguaya (1996):** Ley 894/1996 que aprueba el contrato suscrito entre el Gobierno Nacional y la Empresa Minera Yamana Inc. para la exploración, extracción y transformación de minerales de metales preciosos y comunes, en áreas de la región oriental de la República del Paraguay, Paraguay.
- Coope, J.A. (1994):** Mobility of Gold in the Weathering Environment. Preparado para Newmont Exploration Limited, Denver, Colorado, Estados Unidos.
- Coope, J.A., Lavin, O.P., Welland, E.F. y James, L.D. (1993):** Exploration Geochemistry, Short Course Manual. Newmont Exploration Limited, Geochemistry Department. Estados Unidos.
- Cubas, N. y González, M. (1998):** Hoja: Villa Florida 5468, Texto Explicativo, Mapa Geológico de la República de Paraguay, Escala 1:100 000. Dirección de Recursos Minerales (MOPC) – Instituto Federal de Geociencias y Recursos Naturales (BGR), 74 p., Asunción, Paraguay.
- Dietrich, R.V.; Dutro, J.T. y Foose, R.M. (1982):** AGI Data Sheets, for Geology in the Field, Laboratory and Office. American Geological Institute, Estados Unidos.
- Eckel, E.B. (1958):** Geology and Mineral Resources of Paraguay – A Reconnaissance. En Geological Survey Professional Paper 327, Estados Unidos.
- Figueredo, L. (1996):** Compilación de Datos geocronológicos de Complejos Alcalinos del Paraguay. Cooperación Técnica Proyecto 88.2202.5, Cooperación Geológica Paraguay-Alemana (MOPC-BGR), Asunción, Paraguay.
- Gomes, C.B. (1999):** Características Geoquímicas do Magmatismo Alcalino do Paraguay. Jornadas Científicas sobre la Geología del Paraguay, Universidad Nacional de Asunción, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Departamento de Geología. Asunción, Paraguay.
- Gonzalez, M.E.; Bartel, W.; Lahner, L. y Wiens, F. (1998):** Hoja Paraguari 5469, Texto Explicativo, Mapa Geológico de la República de Paraguay, Escala 1:100 000. Dirección de Recursos Minerales (MOPC) – Instituto Federal de Geociencias y Recursos Naturales (BGR), 42 págs., Asunción, Paraguay.
- Gonzalez, M.E.; Lahner, L.; Muff, R. y Wiens, F. (1998):** Hoja San José 5569, Texto Explicativo, Mapa Geológico de la República de Paraguay, Escala 1:100 000. Dirección de Recursos Minerales (MOPC) – Instituto Federal de Geociencias y Recursos Naturales (BGR), Asunción, Paraguay.
- Gott, G.; McCarthy, H.; Van Sickle, G. y McHugh, J. (1969):** Distribution of Gold and Other Metals in the Cripple Creek District, Colorado. Geological Survey Professional Paper 625-A y Geological Survey Circular 543, Estados Unidos.
- Hales, F.W. (1980):** An interpretation of the data from the airborne magnetic surveys in northern areas of eastern Paraguay. Anschutz & Co.

- Hurlbut, C.S. (1980):** Manual de Mineralogía de Dana, Edit. Reverté, España.
- Irvine, R.J. y Smith, M.J. (1990):** Geophysical Exploration for Epithermal Gold Deposits. Journal of Geochemical Exploration, 36, págs. 375-412, Elsevier Science Publishers, Amsterdam, Holanda.
- Iske, M.L. (1983):** Sapucaí Detailed Survey, Geochemical Results. Minera Yamana Inc., Asunción, Paraguay.
- Koschmann, A.H. (1947):** Structural Control of the Gold Deposits of the Cripple Creek District, Teller County, Colorado. United States Department of the Interior, Geological Survey 955-B, Estados Unidos.
- Lantzke, B. (2000):** Agromonte / Cerro Verde Project, Induced Polarization Survey, Field Logistical Report. Preparado para Compañía Minera Yamana – Sucursal Paraguay por Fugro Ground Geophysics, Rio de Janeiro, Brasil.
- Lindgren, W. y Ransome, F.L. (1906):** Geology and Gold Deposits of the Cripple Creek District, Colorado. En USGS professional paper 54, Estados Unidos.
- Lombardo, S. y Killin, K. (2000):** Fixed wing magnetic and radiometric geophysical survey, Paraguari Area, Paraguay, Final Report on Data Acquisition and Processing. Preparado para Newmont Overseas Exploration Ltd. por Scintrex Limited, Ontario, Canadá.
- López, J. y Cebriá, J. (1990):** Geoquímica de los Procesos Magmáticos. Editorial Rueda, Madrid, España.
- Loughlin, G.F. (1926):** Ore at Deep Levels in the Cripple Creek District, Colorado. U.S. Geological Survey and Colorado Metal Mining Fund, Estados Unidos.
- Martin, C.F.; Soares, M.A.; Vogel, S. y Petzall, C. (1983):** Mapa Metalogénico de América del Sur, escala 1:5'000,000. Comisión de la Carta Geológica del Mundo.
- McPhie, J.; Doyle, M. y Allen, R. (1993):** Volcanic Textures, A guide to the Interpretation of textures in Volcanic Rocks, págs. 31-33, 50-51 y 79. Centre for Ore Deposits and Exploration Studies, University of Tasmania, Australia.
- Minera Yamana Inc. (1997):** Diamond Drill Program, Picua & Potrero Ybate Prospect, Summary Report, Asunción, Paraguay.
- Odekirk, J. (2000):** Petrographic Examination of Exploration Core Samples from Picua Breccia, Sapucaí, Paraguay; Newmont Metallurgical Services, Internal Report.
- Pontius, J.A. y Butts, R.A. (1991):** Geology and Gold Mineralization of The Cresson Deposit, Cripple Creek, Colorado. 97th Annual Northwest Mining Association Convention, Spokane, Washington, USA.

- Price Waterhouse Coopers (2000):** Paraguay: Panorama Económico (preparado por el Club Económico). Revista Stylus TAM Mercosur, año 1, número 2, pág. 42-46, Paraguay.
- Ricomini, C. (1999):** Evolución Geológica del Segmento Occidental del Rift de Asunción. Jornadas Científicas sobre la Geología del Paraguay, Universidad Nacional de Asunción, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Departamento de Geología, Asunción, Paraguay.
- Rollinson, H. (1996):** Using Geochemical Data: evaluation, presentation and interpretation. Edit. Longman, Inglaterra.
- Scarpelli, W. (1990):** Proposition in Paraguay (Sapukai), San Luka Oriente. Unigeo Geologia e Mineraçao Ltda. Informe interno UNI-101/90-TEC, Brasil.
- Schroeter, T. y Cameron, R. (1996):** Alkalic Intrusion-Associated Au-Ag. Selected British Columbia Mineral Deposits Profiles, Canadá.
<http://www.cyberlink.bc.ca/>.
- Siems, P. (1998):** Sapucaí Alkaline Complex, gold prospect, south east Paraguay. Yamana Resources Inc., Asunción, Paraguay.
- Tanabe, H. (2001):** Sapucaí Project – Paraguay, Final Report. Newmont Peru Limited, Reporte interno, 18 págs, Lima, Perú.
- Tanabe, H. y Turner, S. (2000):** La Zanja, Prospecto Epitermal de Oro-Plata en la Franja Volcánica Terciaria del Norte Peruano. X Congreso Peruano de Geología, Lima, Perú.
- Tobey, G. (2000):** Volcanic Setting and Exploration Potential of the Sapucaí Project, Paraguay. Reporte interno, Newmont Peru Limited, Lima, Perú.
- Thompson, R.N.; Gibson, S.A.; Mitchell, J.G.; Dickin, A.P.; Leonardos, O.H.; Brod, J.A. y Greenwood, J.C. (1998):** Migrating Cretaceous-Eocene Magmatism in the Serra do Mar Alkaline Province, SE Brazil: Melts from Deflected Trindade Mantle Plume?. En Journal of Petrology, volume 39, number 8, pages 1493-1526, edit. Elsevier, Holanda.
- Velázquez, V.; Riccomini, C. y Gomes, C. (1999):** Significado Tectónico do Enxame de Diques Alcalinos Cretáceos no Segmento Central do Rift de Assunçao, Paraguai Oriental. Jornadas Científicas sobre la Geología del Paraguay, Universidad Nacional de Asunción, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Departamento de Geología, Asunción, Paraguay.
- Wakefield, T. (2000):** Sapucaí Geochemistry, Memorandum Interno, Newmont Peru Limited, Lima, Perú.

- Wiens, F. (1991):** Exploración Mineral en Paraguay Oriental (evaluación, resultados, recomendaciones). Informe preparado por GEOCONSULTORES, 298 p., Asunción – Paraguay.
- Wilde, A.R.; Bloom, M.S. y Wall, V.J. (2000):** Transport and Deposition of Gold, Uranium and Platinum-Group Elements (PGE) in Unconformity-Related Uranium Deposits. Economic Geology, Volume 95, number 2, pag. 637-649, Estados Unidos.
- Williams-Jones, A.; Samson, I. y Olivo, G. (2000):** The Genesis of Hydrothermal Fluorite-REE Deposits in the Gallinas Mountains, New Mexico. Economic Geology, vol.95, pag. 327-342, Estados Unidos.
- Williams, H.; Turner, F.J. y Gilbert, C.M. (1983):** Petrografía: Introducción al Estudio de las Rocas en Secciones Delgadas, Cap.IV-VI, págs.73-134; Edit. CECOSA, Mexico.
- Yamana Resources Inc. (1999):** Yamana Mineral Properties – Paraguay. Reporte Interno, Asunción, Paraguay.

ANEXOS

Tabla A: ANÁLISIS QUÍMICO DE ROCAS ALCALINAS - SAPUCAI

Cod.	Roca	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	LOI
121	gabro essexítico	48.09	1.47	15.02	3.61	5.07	0.14	5.62	8.07	3.12	5.00	0.38	3.35
122	tefrita	47.29	1.96	15.00	4.69	4.79	0.16	5.30	8.90	2.84	5.59	0.62	2.34
123	gabro essexítico	45.80	1.96	16.31	4.02	5.93	0.17	5.92	9.22	3.27	4.72	0.66	1.38
124	fono-tefrita	49.78	1.51	18.48	3.77	3.47	0.15	2.78	5.88	4.27	6.53	0.55	2.05
125	gabro essexítico	44.84	1.88	19.18	3.04	7.15	0.16	5.50	8.54	2.37	4.09	0.41	1.35
126	fono-tefrita	48.46	1.59	17.70	3.68	5.62	0.15	3.73	6.73	3.66	4.93	0.49	2.65
127	gabro essexítico	47.08	1.72	17.57	3.55	5.45	0.18	4.87	8.76	3.39	4.44	0.89	0.98
128	fono-tefrita	53.10	1.50	16.82	3.28	3.55	0.13	3.14	5.70	4.31	6.46	0.44	0.78
129	fono-tefrita	47.67	1.60	17.12	3.77	5.10	0.16	4.72	8.11	3.70	5.08	0.45	1.43
130	fono-tefrita	48.64	1.62	17.98	3.70	4.44	0.16	4.17	7.48	4.21	4.79	0.60	1.23
131	fonolita peralcalina	51.54	0.60	19.95	4.34	0.65	0.17	0.55	3.34	8.07	7.96	0.06	2.68
132	fono-tefrita	47.83	1.48	17.46	3.64	5.25	0.16	4.38	7.75	3.54	5.14	0.46	1.81
133	traqui-basalto	49.40	1.47	15.00	3.42	5.26	0.15	7.53	7.48	2.73	4.76	0.44	1.07
134	gabro essexítico	47.75	1.79	17.57	2.36	6.63	0.16	4.65	8.62	3.06	4.33	0.70	0.99
135	tefrita	49.15	1.75	13.98	4.61	4.73	0.16	6.53	8.65	2.71	5.17	0.39	1.13
136	fono-tefrita	46.51	1.83	17.02	5.10	5.47	0.15	3.81	6.03	4.56	4.40	0.62	3.90
137	essexita	48.87	1.60	17.48	3.64	5.54	0.16	4.24	7.43	3.36	5.15	0.39	1.41
138	traqui-basalto	50.34	1.56	14.77	3.88	4.66	0.14	6.66	7.43	2.82	5.32	0.42	0.99
139	traqui-fonolita	55.81	1.06	17.93	2.88	2.70	0.14	2.13	4.90	4.53	6.61	0.34	0.66
140	sieno-gabro	48.87	1.70	16.14	3.50	5.57	0.17	5.75	8.76	3.17	3.82	0.61	0.92
141	fono-tefrita	52.54	1.34	18.61	3.18	3.60	0.14	2.63	5.44	4.76	5.46	0.52	0.98
142	sieno-gabro	48.33	1.74	17.75	3.02	5.67	0.16	4.77	8.75	3.08	4.14	0.66	0.83
143	fono-tefrita	52.88	1.40	17.95	3.22	3.55	0.14	2.78	5.54	4.54	5.84	0.50	0.88
144	gabro essexítico	48.28	1.63	17.47	3.52	5.38	0.16	4.90	8.05	3.68	4.18	0.47	1.13
145	traqui-andesita	48.31	1.31	16.46	5.50	4.10	0.16	5.23	7.12	3.76	3.75	0.48	3.37
146	sieno-gabro	48.70	1.48	17.21	3.10	5.38	0.15	4.77	7.48	3.22	4.78	0.41	2.20
147	fono-tefrita	48.10	1.41	17.97	2.98	5.36	0.14	3.68	6.77	3.93	5.33	0.52	2.78
148	gabro alcalino	47.72	1.65	17.70	3.98	5.28	0.16	4.98	9.65	2.68	3.46	0.70	0.91
149	gabro essexítico	48.37	1.70	13.68	3.88	5.48	0.17	7.36	9.19	2.59	4.67	0.40	1.36
150	sieno-gabro	49.81	1.44	14.21	3.42	5.10	0.14	7.00	7.62	2.76	5.16	0.46	1.75
151	fono-tefrita	48.43	1.67	15.85	4.29	4.58	0.15	5.93	7.97	3.43	5.26	0.46	1.13
152	teralita	46.15	1.92	12.82	3.61	6.62	0.18	8.54	11.29	2.29	3.68	0.34	1.19
153	fono-tefrita	48.41	1.44	19.02	4.47	3.53	0.14	2.68	5.37	3.30	6.42	0.57	3.82
154	gabro essexítico	49.66	1.54	14.40	3.30	5.30	0.14	6.55	7.76	3.31	5.20	0.51	1.20
155	fono-tefrita	47.72	1.54	16.95	4.98	4.87	0.15	4.18	6.53	3.88	4.51	0.52	3.73
156	fono-tefrita	47.46	1.83	15.79	7.00	2.29	0.15	4.25	6.43	6.62	2.33	0.72	4.90
157	fono-tefrita	48.57	1.28	16.64	5.10	4.35	0.16	4.78	7.20	3.93	3.80	0.44	3.27
158	traqui-andesita	48.58	1.62	17.54	4.48	4.74	0.16	3.83	6.08	2.57	5.82	0.51	3.04
159	fono-tefrita	47.44	1.45	16.83	5.13	4.88	0.15	4.29	6.62	4.14	4.21	0.50	4.22
160	fono-tefrita	47.51	1.52	16.73	5.11	4.90	0.16	4.17	6.71	4.21	4.34	0.52	3.16
161	sieno-gabro	50.19	1.33	14.04	3.35	4.86	0.13	6.92	7.48	2.27	5.42	0.48	2.50
162	fono-tefrita	48.98	1.49	17.16	4.61	4.00	0.17	3.71	7.11	3.49	5.26	0.53	2.36
163	tefrita	47.73	1.81	13.86	5.16	4.93	0.15	5.94	8.43	2.35	5.63	0.36	2.59
164	tefrita	47.24	1.60	14.87	4.30	5.31	0.15	6.27	8.54	2.99	4.49	0.34	2.79
165	fono-tefrita	50.61	1.34	18.50	3.80	3.74	0.16	2.60	5.68	4.33	5.87	0.62	2.03
166	traqui-basalto	47.32	1.64	16.22	5.54	4.09	0.18	4.78	8.41	2.90	4.45	0.43	3.09
167	Silico-berforsita	42.17	1.67	13.17	8.42	0.67	0.15	4.54	7.57	3.01	5.15	0.29	12.00
168	fono-tefrita	49.22	1.38	17.62	3.31	4.75	0.14	4.05	6.76	3.48	5.28	0.45	2.56
169	tefrita	45.01	1.86	14.08	7.71	3.04	0.16	7.39	8.10	2.42	4.76	0.46	4.11
170	tefrita	47.02	1.68	16.21	4.27	5.90	0.16	4.68	8.08	2.96	4.90	0.45	2.45
171	fonolita peralcalina	53.32	0.30	20.59	2.55	0.83	0.14	0.04	0.87	9.11	10.23	0.01	1.82
172	sieno-gabro	49.70	1.33	13.10	3.32	5.25	0.14	7.85	8.51	2.34	4.73	0.44	2.16
173	fono-tefrita	48.47	1.44	19.07	3.37	4.52	0.15	2.90	5.93	4.21	5.62	0.54	2.82
174	fono-tefrita	48.09	1.51	18.26	3.69	5.52	0.15	3.14	5.67	3.76	5.46	0.46	3.15
175	tefrita	48.27	1.58	14.34	5.12	4.27	0.15	5.95	7.97	2.95	5.38	0.37	2.70
176	sieno-gabro	49.85	1.44	14.06	3.28	5.26	0.13	6.72	7.16	2.60	5.47	0.46	2.48
177	gabro essexítico	49.06	1.31	13.55	4.09	4.52	0.13	7.44	7.72	3.49	4.36	0.40	2.95