



Libertad y Orden

**INSTITUTO COLOMBIANO DE
GEOLOGIA Y MINERIA
INGEOMINAS**



**DEPARTAMENTO ADMINISTRATIVO
DE GESTIÓN DEL MEDIO AMBIENTE
DAGMA**

**INGEOMINAS
SUBDIRECCIÓN DE AMENAZAS GEOLÓGICAS Y
ENTORNO AMBIENTAL**

**ESTUDIO DE MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA
DE SANTIAGO DE CALI**

Convenio No.02 de 2002

SUBPROYECTO DE GEOFISICA

**Informe 3
Investigaciones Geofísicas para el
Proyecto de Microzonificación Sísmica
de Santiago de Cali**

Bogotá, Diciembre de 2005

**República de Colombia
MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA
INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGIA Y MINERÍA - INGEOMINAS**



INSTITUTO COLOMBIANO
DE GEOLOGÍA Y MINERÍA
INGEOMINAS

DEPARTAMENTO ADMINISTRATIVO
DE GESTIÓN DEL MEDIO AMBIENTE
DAGMA



JULIAN VILLARRUEL TORO
DIRECTOR GENERAL INGEOMINAS

INES F. CAICEDO HERNANDEZ
DIRECTORA DAGMA

ALBERTO NUÑEZ TELLO, DIRECTOR TECNICO SERVICIO GEOLOGICO, INGEOMINAS
MARTA L. CALVACHE VELASCO, SUBDIRECTORA AMENAZAS GEOLOGICAS, INGEOMINAS
CARLOS E. ALVARADO FLOREZ, JEFE DE PROYECTO, INGEOMINAS

GRUPO TECNICO INGEOMINAS

CARLOS REY, LIDER TEMATICO

JAIRO ESQUIVEL
WILSON QUINTERO
LUIS E. VASQUEZ

Apoyo Técnico: Asesorías Geofísicas de Colombia Ltda.

ASESOR

RICARDO ESCOVAR

EDICION FINAL

ANA I. ALVARADO
JESUS SANDOVAL
ROSA DAZA



TABLA DE CONTENIDO

CAPITULO 1 1

INTRODUCCION..... 1

1.1 OBJETIVOS..... 1

1.1.1 Objetivo general 1

1.1.2 Objetivos específicos 1

1.2 ALCANCES 2

CAPITULO 2 3

ESTUDIOS GEOFÍSICOS REGIONALES..... 3

2.1 ESTUDIOS ANTERIORES 3

2.2 INVESTIGACIÓN GRAVIMÉTRICA EN EL VALLE DEL CAUCA..... 5

2.2.1 Marco teórico..... 6

2.2.2 Metodología de trabajo..... 6

2.2.3 Mapa Gravimétrico Regional del Centro - Occidente Colombiano 7

2.2.4 Estudios gravimétricos en el Valle del Cauca 9

2.2.4.1 Mapa de Anomalías de Bouguer Total 9

2.2.4.2 Mapa de anomalías regionales de Bouguer Total 9

2.2.4.3 Mapa de anomalías residuales de Bouguer Total 10

2.2.4.4 Modelos gravimétricos 10

2.3 INTERPRETACIÓN DE SÍSMICA DE REFLEXIÓN EN EL VALLE DEL CAUCA..... 12

2.4 DISCUSIÓN..... 13

CAPITULO 3 15

ESTUDIOS GEOFÍSICOS EN LA CIUDAD DE CALI 15

3.1 ESTUDIO GRAVIMÉTRICO EN LA CIUDAD DE CALI..... 15

3.1.1 Objetivos..... 15

3.1.2 Hipótesis de trabajo..... 15

3.1.3 Desarrollo del trabajo de campo 16

3.1.4 Procesamiento de los datos de campo 17

3.1.5 Generación de los mapas gravimétricos..... 20

3.1.5.1 Mapa de Anomalías de Bouguer Total..... 21

3.1.5.2 Mapa de Anomalías de Bouguer Regional 21

3.1.5.3 Mapa de Anomalías de Bouguer Residual..... 21

3.1.5.4 Modelos gravimétricos 22

3.2 ESTUDIO GEOELÉCTRICO EN LA CIUDAD DE CALI..... 23

3.2.1 Marco Teórico 24

3.2.2. Objetivos..... 25

3.2.3 Metodología de Trabajo 25

3.2.4 Adquisición de datos 25

3.2.5 Procesamiento de datos e interpretación de SEV 25

3.2.6 Línea de Tomografía Eléctrica 28

3.3 ESTUDIO DE SÍSMICA DE REFRACCIÓN EN EL ÁREA URBANA DE CALI 30

3.3.1 Objetivos..... 31

3.3.2 Marco teórico..... 31

3.3.3. Metodología..... 33

3.3.4 Adquisición de datos de refracción sísmica..... 35

3.3.5 Procesamiento de los datos de refracción sísmica..... 37

3.3.6 Interpretación de datos de refracción sísmica 38



CAPITULO 4	40
TRABAJOS GEOFÍSICOS COMPLEMENTARIOS	40
4.1 INTRODUCCIÓN.....	40
4.2 ESTUDIOS GEOFÍSICOS EN EL SECTOR DE NAVARRO, CALI.....	40
4.2.1 Gravimetría y magnetometría.....	40
4.2.1.1. Hipótesis de trabajo.....	41
4.2.1.2 Trabajo de campo	41
4.2.1.3 Procesamiento, análisis e interpretación de anomalías.....	41
4.2.1.4 Discusión de resultados	42
4.2.2 Resistividad eléctrica.....	42
4.2.2.1 Trabajo de campo	43
4.2.2.2. Procesamiento de datos.....	43
4.2.2.3 Análisis y discusión de resultados	43
4.2.3 Ensayos de sísmica de reflexión.....	45
4.2.3.1 Trabajo de campo	45
4.2.3.2 Procesamiento e interpretación.....	46
4.2.4 Ensayos de sísmica de refracción	48
4.2.4.1 Trabajo de campo	48
4.2.4.2 Procesamiento e interpretación de la información.....	48
4.3 ESTUDIOS GEOFÍSICOS EN LOS SECTORES DE PANCE Y MENGA.....	50
4.3.1 Trabajo de campo	50
4.3.2 Interpretación de resultados.....	51
4.4 ESTUDIOS GEOFÍSICOS EN EL SECTOR DE LA RUIZA Y LA BUITRERA, MUNICIPIO DE PRADERA, VALLE DEL CAUCA	52
4.4.1 Mediciones de resistividad	53
4.4.1.1. Resultados obtenidos.....	53
4.4.1.2 Mediciones de magnetometría.....	53
CAPITULO 5	56
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	56
BIBLIOGRAFIA	58



LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Sección cortical de sísmica profunda y de gravimetría que va desde Malpelo hasta la ciudad de Cali (tomado de Meissner, et. al., 1980)	4
Figura 2. Perfil gravimétrico esquemático orientado Noroeste – Sureste cerca de la población de Jamundí al sur de la ciudad de Cali. La densidad esta dada en gr/cm^3 . (Tomado de Bermúdez et.al., 1985)	5
Figura 3. Diagrama de flujo del proceso metodológico para obtención de un modelo geológico basado en métodos potenciales (modificado de Hinze, 1997)	8
Figura 7. Perfil gravimétrico regional al norte de la ciudad de Cali.	11
Figura 8. Perfil gravimétrico regional al sur de la ciudad de Cali.	11
Figura 10. Función de velocidad empleada para conversión tiempo – profundidad de las líneas de sísmica de reflexión del Valle del Cauca.	12
Figura 11. Interpretación de la línea de sísmica de reflexión VC-79-04.	13
Figura 13. Toma de dato de campo de gravimetría (parque Caicedo, Cali) usando el gravímetro Scintrex CG-3	17
Figura 14. Equipo móvil GPS Trimble 4000 SE diferencial utilizado para el levantamiento topográfico en la campaña gravimétrica en la ciudad de Cali.	18
Figura 18. Perfil 3 de gravimetría en la ciudad de Cali en dirección oeste – este.	23
Figura 22. Esquema de la técnica del Sondeo Eléctrico Vertical (SEV), arreglo tipo Schlumberger.	24
Figura 23. Ubicación de los puntos de localización de electrodos para el sondeo eléctrico vertical en la Base Aérea Marco Fidel Suárez (SEV 133).	26
Figura 24. Equipo digital de resistividad eléctrica marca Oyo modelo 2115A Mark-2.	26
Figura 25. Perfil Geoelectrico CC' Menga - Floralia	27
Figura 26. Interpretación del modelo inverso de resistividad de la línea de TE por la vía a Dapa.	30
Figura 27. Hodógrafo de onda directa y refractada.	32
Figura 28. Metodología general para generar modelos con base en sísmica de refracción.	34
Figura 30. Equipo de refracción sísmica OYO McSeis 160MX.	36
Figura 31. Arreglo general de tendido de geófonos.	36
Figura 32. Perfil gravimétrico en el Sector de Navarro.	42
Figura 34. Línea PEH con arreglo dipolo-dipolo en el Sector de Navarro.....	44
Figura 35. Sismograma del Disparo No.5 - Línea 1 de sísmica de reflexión en el Sector de Navarro.	47
Figura 36. Sismograma del Disparo No.5 - Línea 1 de sísmica de reflexión en el Sector de Navarro.	47
Figura 37. Modelo sísmico de reflexión del subsuelo en el Sector de Navarro.	48
Figura 38. Perfil sísmico de la Línea 1 en el sector de Navarro, que esquematiza las capas o unidades sísmicas más superficiales en ese sector.	49
Figura 39. Perfil de refracción sísmica de la Línea 2 en el sector de Navarro. A diferencia del anterior perfil, la base de la capa 2 presenta varias ondulaciones.	50
Figura 40. Perfil Gravimétrico en el sector de Vivero.	51
Figura 41. Perfil Gravimétrico en el sector de Menga.	52
Figura 42. Perfil Gravimétrico en el sector de Pance.	53
Figura 45. Perfil esquemático geológico – geofísico a partir de datos magnéticos en el sector de la Ruiza, municipio de Pradera, Valle del Cauca. S = susceptibilidad magnética del depósito (modificado de Quintero, 2004).	55

Nota: Figuras Nos. 4, 5, 6, 9, 12, 15, 16, 17, 19, 20, 21, 29, 33, 43 y 44 anexas.



LISTA DE TABLAS

- Tabla 1.** Cálculo de la gravedad observada de las bases gravimétricas en la ciudad de Cali. 19
- Tabla 2.** Zonas de resistividad eléctrica y su correlación litológica. 29
- Tabla 3.** Síntesis de las velocidades V_p y V_s obtenidas por refracción sísmica con su respectiva unidad geológica y correlación litológica. 39
- Tabla 4.** Rangos de resistividad y correlación litológica en el sector de Navarro. 45
- Tabla 5.** Correlación litológica con los parámetros de velocidad en el sector de Navarro. 49
- Tabla 6.** Correlación de la resistividad con la litología en el sector de La Buitrera y La Ruiza, municipio de Pradera, Valle del Cauca. 54

ANEXOS

- Anexo 1 Interpretación de Líneas Sísmicas
- Anexo 2 Cálculo de la Gravedad Observada
- Anexo 3 Perfiles Gravimétricos
- Anexo 4 Coordenadas de SEV y TE
- Anexo 5 Anexo Fotográfico mediciones SEV
- Anexo 6 Perfiles Geoeléctricos
- Anexo 7 Modelamiento Capas Geoeléctricas y TE
- Anexo 8 Geometría Líneas de Refracción Sísmicas
- Anexo 9 Anexo Fotográfico Refracción Sísmica
- Anexo 10 Perfiles de Refracción Sísmica
- Anexo 11 Velocidades Líneas de Refracción Sísmica



CAPITULO 1

INTRODUCCION

En el marco del Proyecto de Microzonificación Sísmica de la Ciudad de Santiago de Cali (MZSCali), a través de Convenio suscrito con el Departamento Administrativo de Gestión del Medio Ambiente (DAGMA), con el objetivo de conocer el comportamiento regional y local del subsuelo en el Valle del Cauca y especialmente en Santiago de Cali, se realizaron investigaciones geofísicas a diferentes escalas usando varios métodos geofísicos seleccionados de acuerdo a los fines de la investigación.

El presente informe resume estos trabajos geofísicos y sus respectivas interpretaciones. En la primera parte del informe se abordan las investigaciones geofísicas a nivel regional, lo que incluye mapas gravimétricos regionales, interpretación de sísmica de reflexión alrededor del valle y de perfiles gravimétricos regionales. Se hace un modelo de la profundidad de basamento, de la posible interfase Terciario – Cuaternario y las inconformidades terciarias más notorias y principalmente se plantean los elementos estructurales que afectan la cuenca del valle del Cauca. En la segunda parte del informe se plasman los trabajos geofísicos detallados realizados en el casco urbano de la ciudad de Cali, que incluyen Sondeos Eléctricos Verticales y Gravimetría y sus interpretaciones. Finalmente, en la tercera parte se condensan los trabajos más locales que se llevaron a cabo a fin de resolver problemas estructurales en varias zonas de la ciudad de Cali y en el sector de la Ruiza en el municipio de Pradera, límites con la Cordillera Central.

Los datos que fueron procesados e interpretados fueron en parte tomados en campo para este trabajo por INGEOMINAS, y parte compilados de otras fuentes. Las líneas de sísmica de reflexión del Banco de Información Petrolera, en este momento administrado por la Agencia Nacional de Hidrocarburos y Schlumberger, y parte de la información gravimétrica regional procede de la Red Gravimétrica Nacional del IGAC, ECOPETROL e INGEOMINAS (datos tomados en 1983 por Bermúdez y otros).

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo general

Utilizar los métodos geofísicos para desarrollar modelos geológicos – geofísicos a diferentes escalas de estudio como insumo para la evaluación sismotectónica del área de estudio regional y específicamente para el conocimiento del subsuelo de la Ciudad de Cali.

1.1.2 Objetivos específicos

- Generar modelos geofísicos regionales a partir de la evaluación y análisis de la información geofísica compilada para el centro – occidente de Colombia y más específicamente para el Valle del Cauca.
- Tomar datos de campo de gravimetría, magnetometría, sondeos eléctricos verticales, refracción y reflexión sísmica, perfiles eléctricos y electromagnetismo en la ciudad de Cali.



- Generar modelos geofísicos a partir del análisis de la información capturada para el casco urbano de la ciudad de Cali y zonas de régimen diferido.

1.2 ALCANCES

Las propiedades geofísicas del subsuelo permiten interpretar las relaciones estructurales así como la composición de las diferentes unidades litológicas bajo la superficie. Para el presente trabajo se analizó información en varias escalas: las regionales que permiten modelar las diferentes estructuras geológicas y fallas en el valle del Cauca como también la geometría y espesor de sus diferentes unidades. A escalas mayores (o escalas locales) además de lo mencionado se pretende encontrar evidencias de fallas activas y espesor de la unidad superficial que ayude a la interpretación geotécnica de la ciudad

Los métodos geofísicos potenciales, gravimetría y magnetometría, basados en la diferencia de densidad y magnetización de las rocas respectivamente en conjunto con la sísmica de reflexión permiten elaborar modelos a nivel regional que pueden distinguir diferentes litologías así como fallas y estructuras geológicas.

Los métodos resistivos y la sísmica de refracción ayudan a interpretar el modelo geológico a escalas más locales de metros a cientos de metros, información básica para los análisis geotécnicos y de respuesta sísmica local.



CAPITULO 2

ESTUDIOS GEOFÍSICOS REGIONALES

El área de estudio del Proyecto MZSCali se dividió en su parte regional en dos partes: Investigaciones geológicas y geofísicas en un contexto de 200 km alrededor de la ciudad; Investigaciones geológicas y geofísicas en un marco de 50 km alrededor de la ciudad lo que abarca, en este caso, el Valle del Cauca.

Toda la información geofísica analizada en este capítulo de gravimetría y sísmica de reflexión fue compilada de las fuentes mencionadas anteriormente. La primera parte de este capítulo resume los trabajos realizados en el área de estudio por ECOPETROL, INGEOMINAS y el Proyecto Nariño II y III. La segunda parte reinterpreta la información adquirida teniendo en cuenta que la sísmica de reflexión fue reprocesada posteriormente a los trabajos publicados, y los datos gravimétricos también se reprocesaron esencialmente en la corrección topográfica.

2.1 ESTUDIOS ANTERIORES

La zona estudiada, el centro - occidente colombiano y más concretamente el Valle del Cauca, ha sido estudiada por varios autores (p. e. Bermúdez A., et. al., 1985; Alfonso C., 1993; Barrero D., y Laverde F., 1998; Meissner R., et. al., 1980, Mooney W., 1979 entre otros).

Meissner et. al. (1980) interpretando los resultados de la campaña de sísmica profunda y gravimetría del Proyecto Nariño, hacen referencia muy general al comportamiento de la gravedad a lo largo del perfil entre Malpelo y Cali (**Figura 1**), asignando para la Cordillera Occidental un fuerte alto de gravedad de hasta 75 mGal asociado a material oceánico de alta densidad. Al oriente de esta cordillera desde la "fosa del Cauca" hacia la Cordillera Central, el valor de la gravedad desciende hasta alcanzar valores de -220 mGal que se interpreta como resultado de una raíz profunda en esta cordillera. En esta interpretación se asignan valores de densidad de 2900 kg/m³ para la Cordillera Occidental y de 2700 kg/m³ para la Cordillera Central. Así mismo, para los sedimentos de lo que denominan graben del Cauca, proponen un valor de 2300 kg/m³. Mooney et. al. (1981) presentan un estudio de refracción sísmica a través de la Cordillera Occidental dentro del Proyecto Nariño II. Estos perfiles sísmicos indican altas velocidades en la corteza superior, y deducen la existencia de una frontera intracortical entre 19 y 21 km de profundidad y asumen para el Moho una profundidad entre 26.5 y 29 km. Estas altas velocidades y con los valores positivos de las anomalías gravimétricas indican para los autores la constitución de la cordillera por materiales ígneos de origen oceánico. Adicionalmente y dentro del mismo Proyecto Nariño III, Muckelmann y Ramírez (1981) llevaron a cabo investigaciones magnéticas en la Cordillera Occidental y el Valle del Cauca. Las mediciones se hicieron a lo largo de perfiles N-S y E-W, que cruzan el Valle del Cauca y algunos sectores de las cordilleras Occidental y Central. Entre sus principales conclusiones deducen la profundidad de basamento en el Valle del Cauca de 2 km, al igual que proponen la falla de Cauca de desplazamiento vertical. Partiendo del análisis de la información magnética y teniendo en cuenta otros resultados, concluyen que el Valle del Cauca no es una estructura verdadero graben simple, sino un

segmento asimétrico de corteza con un asentamiento relativamente ligero que ha sufrido esfuerzos tensionales, los cuales permitieron que material magnético penetrara en el borde occidental.

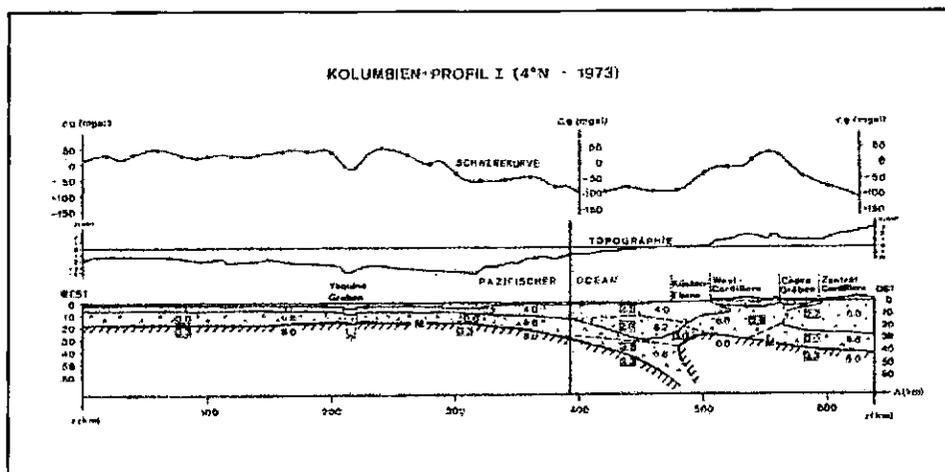


Figura 1. Sección cortical de sísmica profunda y de gravimetría que va desde Malpelo hasta la ciudad de Cali (tomado de Meissner, et. al., 1980)

Bermúdez et. al. (1985) hacen una interpretación del mapa de anomalías simples de Bouguer en el cual delimitan ciertas estructuras como el graben del Cauca, reconocen segmentos de la falla de Romeral y la falla del Cauca que de acuerdo con los autores presenta un gran desplazamiento vertical, es una falla no activa y pone en contacto material ígneo de origen oceánico con las rocas que rellenan el graben del Cauca.

Bermúdez et. al. (1985) interpretan a partir de tres perfiles la geometría de la cuenca del valle del Cauca. La **Figura 2** representa uno de esos perfiles. Como se observa el valor densidad del basamento bajo la cuenca del Valle del Cauca difiere notablemente de los valores de densidad bajo la Cordillera Occidental, lo cual se puede interpretar como el basamento de la cuenca no es originado a partir de la Cordillera Occidental. La secuencia de depósitos terciarios alcanza los 2 km y el cuerpo intrusivo (número 6) de acuerdo a esta interpretación, alcanza a afectar dichos terciarios.

En su tesis de doctorado Alfonso (1993), presenta una investigación de las estructuras del terciario superior de la cuenca del Valle del Cauca. Entre otros hace un análisis de la gravimetría (soportado en el trabajo y los datos presentados por Bermúdez et. al. 1985) y de la sísmica de reflexión de la cuenca, desde Cali hacia el norte.

Este autor analiza el mapa de Bouguer simple y reconoce pequeñas anomalías gravimétricas que son asociadas a diferentes estructuras geológicas locales, tales como sinclinales, elevación del basamento y trazos de falla. Particularmente es preciso resaltar la anomalía denominada Alto de Corozo al este de Vijes, que es interpretada por este autor como indicativa de un alto de basamento asociado con una falla oculta que afecta al terciario superior y sedimentos recientes, y es contrario a la interpretación de Bermúdez et al., (1985) que asocian esta anomalía con un intrusivo de composición básica. También es reconocido

muy puntualmente altos gravimétricos en el sector de Palmira y en Corinto al sureste de Cali bordeando con la Cordillera Central.

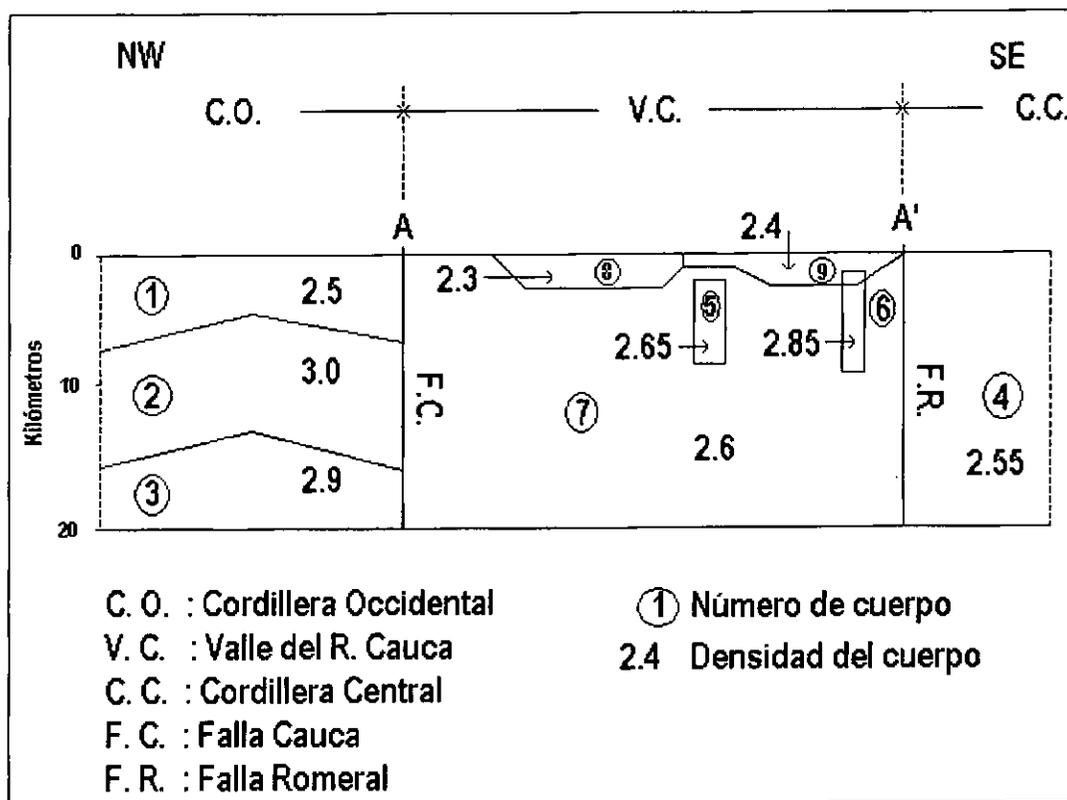


Figura 2. Perfil gravimétrico esquemático orientado Noroeste - Sureste cerca de la población de Jamundí al sur de la ciudad de Cali. La densidad está dada en gr/cm^3 . (Tomado de Bermúdez et al., 1985)

A continuación se discuten algunos de los resultados expuestos anteriormente por los autores mencionados, además de presentar la interpretación de las anomalías gravimétricas y la sísmica de reflexión.

2.2 INVESTIGACIÓN GRAVIMÉTRICA EN EL VALLE DEL CAUCA

El área investigada hace parte de la interpretación geofísica regional alrededor de la ciudad de Cali con miras a definir su marco geológico y estructural dentro del Proyecto MZSCali. Para tal efecto se compiló la información gravimétrica de la base de datos de INGEOMINAS. En total se trabajó con 6262 datos de los cuales 1200 provienen de la Red Gravimétrica Nacional y 5062 datos de compilaciones hechas por ECOPETROL y trabajos de INGEOMINAS.



2.2.1 Marco teórico

Teóricamente el método gravimétrico se basa en principios básicos como la ley de Newton, que relaciona directamente la fuerza gravitacional con el valor de las masas en un campo, e inversamente dicha fuerza con el cuadrado de la distancia entre las masas, y la teoría del potencial que describe no solamente la atracción gravitacional si no otras clases de fenómenos incluyendo campos magnetostáticos y electrostáticos. El desarrollo matemático de la teoría gravitacional se basa principalmente en la ecuación de Poisson, que relaciona la masa y el potencial a través del espacio, y en la ley de Gauss que establece que el total de la masa en una región es proporcional a la componente normal de la atracción gravitacional en una región determinada. Una aplicación de esta ley es la estimación del exceso total de masa bajo una superficie, en la cual la componente normal de la gravedad es conocida. En la práctica, esto permite el uso de gravímetros de componente vertical, para ser luego estimada la componente gravimétrica de cada cuerpo de masa.

La gravimetría aplicada al estudio del subsuelo busca medir las pequeñas variaciones ($1 \text{ gal} = 1 \text{ cm/s}^2$, $1 \text{ mGal} = 10^{-3} \text{ cm/s}^2 = 10^{-5} \text{ m/s}^2$) del valor de la gravedad, causadas por cambios de densidad de los materiales del subsuelo, tanto en forma lateral como con la profundidad. Estos cambios son reconocidos en términos de anomalías gravimétricas, las cuales son generadas por cuerpos o estructuras que poseen una densidad contrastante con el medio. En otras palabras, existe una relación directa entre anomalías gravimétricas y anomalías de masa. Si esa variación de la gravedad es más alta que la teórica, se considera como anomalía positiva y si es menor, anomalía negativa.

2.2.2. Metodología de trabajo

La aplicación de la gravimetría a la solución de problemas geológicos, incluyendo los que se refieren a la ingeniería, requieren un proceso metodológico compuesto por varios pasos que van desde la adquisición de los datos hasta la interpretación geológica, así:

- *Adquisición de datos con el detalle y precisión necesarios.* En la mayoría de los casos se deben tener en cuenta los datos existentes en bases de datos internacionales y nacionales. De acuerdo al objetivo buscado y su escala, es necesario tener en cuenta la precisión de la instrumentación, el detalle en el levantamiento (tiempo de adquisición del dato, niveles de ruido permisibles) y el espaciamiento entre estaciones, así como el área mínima de muestreo.
- *Reducción de datos para su interpretación.* Los datos gravimétricos y magnéticos tomados en campo están sujetos a variaciones de tipo espacial y temporal que enmascaran la anomalía geológica que se busca. Estas variaciones tienen que ser eliminadas o minimizadas teniendo en cuenta que al final se pueda interpretar la anomalía. Una buena manera para describir esta serie de correcciones es considerarlas cada una como contribución para el valor de gravedad observada. La siguiente suma muestra los componentes de la gravedad observada con el nombre de las correcciones:

Gravedad observada = atracción del elipsoide de referencia + efecto de elevación arriba del nivel del mar (Aire Libre) + efecto de las masas arriba del nivel del mar (Bouguer y topográficas) + variaciones que dependen del tiempo (mareas) + efecto de las masas que



soportan las cargas topográficas (isostasia) + efecto de las variaciones de densidad en la corteza y manto superior ("geología").

- *Identificación y separación de las anomalías.* Después de eliminar el ruido del dato, se procede a extraer la anomalía de interés de un volumen de señales de diferentes fuentes que componen el dato. En este paso, se generan los modelos básicos para la interpretación de las anomalías (mapa de bouguer completo, anomalía de campo magnético total, entre otros). Dependiendo del blanco, se realiza una separación de anomalías regionales con anomalías residuales, aquellas de menor longitud de onda, paso básico en la identificación de anomalías producidas por la fuente que se busca determinar.
- *Identificación de la fuente característica de la anomalía.* Cuando las características de las anomalías (tamaño, forma, amplitud, gradientes) se combinan con datos geológicos del área de estudio, se sugiere un modelo conceptual de su fuente y una estimación preliminar de la geometría de la misma (tamaño, profundidad) y propiedades físicas contrastante con el material encajante. Este modelo inicial de la fuente es comúnmente refinado con modelamiento directo y/o inverso. El método directo es usado ampliamente para refinar un modelo físico conceptual y compararlo con la anomalía observada. Este proceso es repetido con modificaciones continuas de las características de la fuente hasta que las anomalías observadas y las computadas son muy similares.
- *Trasladar el modelo físico a una fuente geológica.* El modelo de la fuente geológica, el cual es interpretado desde una anomalía geofísica, es expresado en términos de atributos físicos. En el paso final, el modelo físico es trasladado a su contexto geológico de la región en estudio.

Se explica por medio de un diagrama de flujo (**Figura 3**) el proceso metodológico para la obtención de un modelo geológico basado en métodos potenciales (modificado de Hinze, 1997).

2.2.3 Mapa Gravimétrico Regional del Centro - Occidente Colombiano

Para el análisis regional gravimétrico no se hizo toma de nueva información, se realizó con la información recolectada de INGEOMINAS y otras fuentes.

Se elaboró el mapa de Anomalías de Bouguer total para un área de más de 200 km alrededor de la ciudad de Cali. Para ello se utilizaron 6200 puntos gravimétricos de los cuales 1200 puntos corresponden a la Red Gravimétrica Nacional y el resto a datos compilados de Ecopetrol. La mayor densidad de datos corresponde al Valle del Cauca; en el resto del área los puntos son los de la Red Gravimétrica Nacional por carreteras de primer y segundo orden.

Este mapa gravimétrico de características regionales (ver Mapa MZSC - GF1) muestra un comportamiento general de las anomalías siguiendo la tendencia de las estructuras geológicas regionales, Suroeste – Noreste, con altos gradientes que se pueden interpretar como límites de diferentes clases de rocas y/o fallas o estructuras regionales. Para los sedimentos de la cuenca del pacífico el valor de las anomalías varía entre -50 y -90 mGal, para la Cordillera Occidental llegan a un máximo positivo de 40 mGal y como se mencionó

anteriormente esta relacionado al material de origen oceánico que conforma esta cordillera. En el Valle del Cauca los valores descienden hasta -107 mGal en el sur de la cuenca. Ya en la Cordillera Central los valores descienden hasta -165 mGal y es asociado por diferentes autores (p. e. Meissner et. al, 1980) a la raíz profunda de ésta cordillera. Resalta el alto gradiente del límite de la Cordillera Occidental (> 5 mGal/km) con el Valle del Cauca, siendo esta la estructura regional mejor definida en este mapa. Entre el Valle del Cauca y la Cordillera Central la transición es gradual sin observarse ninguna estructura bien definida y puede deberse a los pocos datos en esta zona.

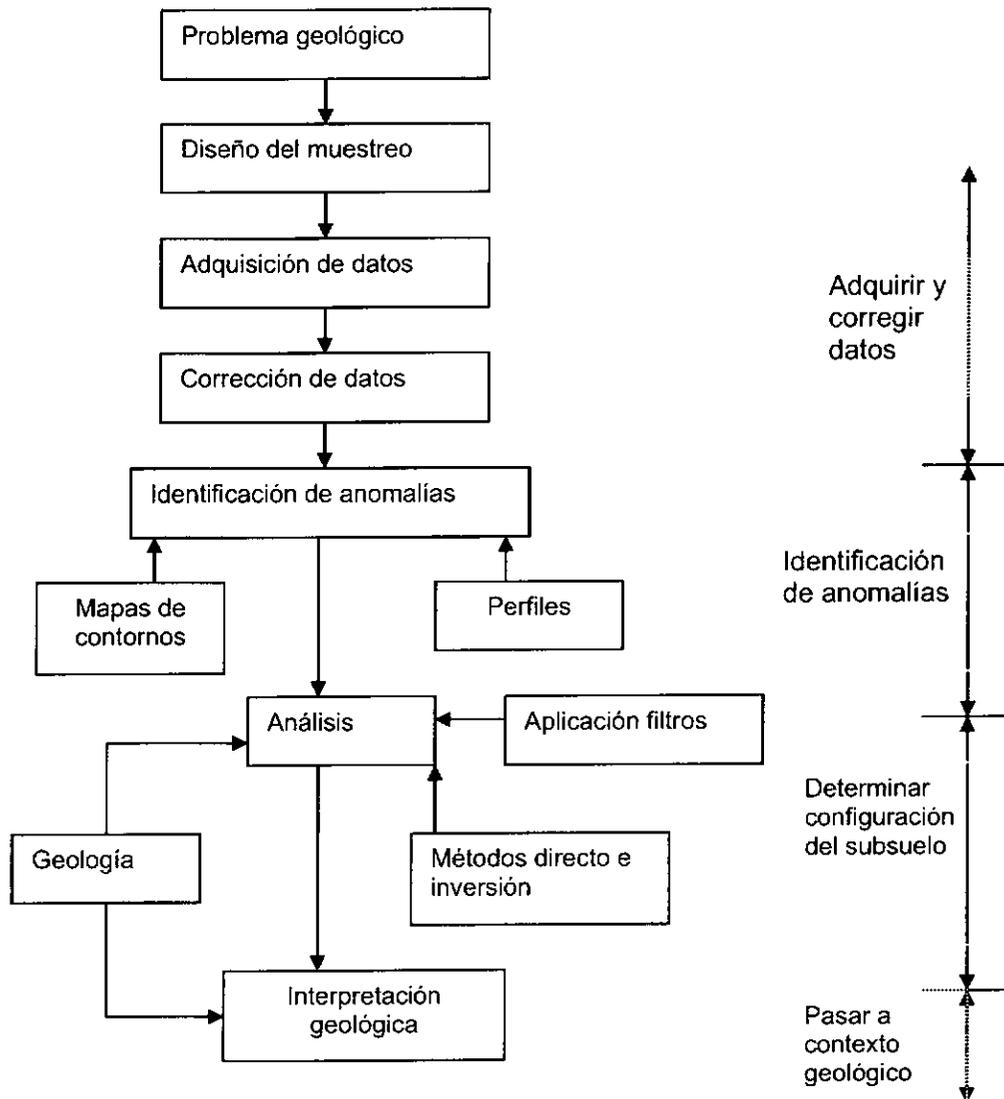


Figura 3. Diagrama de flujo del proceso metodológico para obtención de un modelo geológico basado en métodos potenciales (modificado de Hinze, 1997)



2.2.4 Estudios gravimétricos en el Valle del Cauca

Para el Valle del Cauca la densidad de las estaciones aumenta considerablemente lo que permite un análisis más detallado de las anomalías. En total se utilizaron 2450 datos gravimétricos provenientes, como se cita anteriormente, de diferentes proyectos. Para el análisis e interpretación de esta información se elaboraron los mapas de Bouguer Total y los mapas de Bouguer regional y residual, además de dos perfiles gravimétricos a través del valle.

2.2.4.1 Mapa de Anomalías de Bouguer Total

Se generó este mapa utilizando el software Oasis Montaj de Geosoft (Figura 4). Como características generales se observa que el valor máximo gravimétrico es de 35 mGal y corresponde al sector norte de la Cordillera Occidental. El valor mínimo gravimétrico se encuentra en la parte sur de la cuenca del Valle del Cauca y corresponde a -112 mGal, lo cual probablemente se debe al relleno de la cuenca con materiales continentales del Terciario y Cuaternario. Existen diferencias entre los valores máximo y mínimo de gravedad entre este informe y trabajos anteriores. Esta diferencia se debe a que para el presente informe se reprocesaron los datos, principalmente en la corrección topográfica. Es de aclarar que la diferencia entre el valor de las anomalías simples obtenidas por Bermúdez et. al., (1985) y los datos usados para este análisis alcanzan hasta 10 mGals. Debido a la mayor densidad de datos y mayor procesamiento, los contornos se detallan y algunos altos y bajos gravimétricos en que se basan los análisis de Alfonso (1993) y Bermúdez et. al., (1985) cambian en dimensión y valor gravimétrico, pero en general los gradientes y diferencias relativas se mantienen.

En general se aprecian tres zonas con diferentes comportamientos gravimétricos. El primer sector al noroccidente, con valores positivos altos y que corresponden a la Cordillera Occidental. El segundo sector, la zona más occidental del valle, con valores intermedios de gravedad (20 a -50 mGal) con un alto gradiente (6.7 mGal/km). En esta zona las líneas de contorno van en dirección SW-NE conforme con el tren de las estructuras regionales principales. Este grupo de contornos se "ensancha" del centro del valle hacia el norte, del centro del valle hacia el sur, y hacia el este los contornos gravimétricos se toman semicirculares; los valores de gravedad varían entre -9 y -112 mGal. Se resalta en esta última parte un alto relativo entre dos semicuevas que pueden corresponder a lo que Alfonso (1993) denomina alto de Palmira-Buga

2.2.4.2 Mapa de anomalías regionales de Bouguer Total

La derivación de las componentes regional y residual de la anomalía gravimétrica esta relacionada con un rango específico de longitudes de onda. Así, fuentes más profundas se relacionan con longitudes de onda mayores y fuentes más someras con longitudes más cortas. Por lo tanto, filtrar un rango de ondas determinado permite aislar fuentes superficiales o fuentes más profundas.

Para el presente trabajo, se hizo un análisis de las longitudes de onda basado en el espectro de potencia radial promedio (radial average spectrum). Con base en él se separaron las longitudes de onda regional y residual. Aplicando un filtro Gaussiano para esta separación y



para valores de número de onda menores de 0.05, se generó el mapa gravimétrico de anomalías regionales.

Este mapa regional representa el efecto de las densidades de las rocas a ese nivel. El valor de las anomalías varía de oeste a este en un rango de 35 mGal a -112 mGal. Las líneas de contornos se hacen más monótonas y tienen una dirección preferencial Suroeste – Noreste. De la parte central del valle hacia el sur los contornos se hacen circulares y es donde las anomalías tienen su valor mínimo. En la parte occidental del valle el gradiente máximo es de 6 mGal/km y hacia el centro del valle disminuye a 2 mGal/km. Es posible que las anomalías de menor valor en la parte centro – sur de la cuenca se deba a mayor espesor de sedimentos poco consolidados, o que exista bajo el valle un basamento con la raíz más profunda que cause este efecto.

2.2.4.3 Mapa de anomalías residuales de Bouguer Total

El mapa de anomalías gravimétricas residuales relaciona aquellas estructuras geológicas de menor longitud y que afectan localmente el valle. De acuerdo a la **Figura 5** se reconocen las siguientes estructuras: i) Hacia el límite occidental del valle se observa un gradiente fuerte con dirección suroeste – noreste y que puede corresponder a la falla de Cauca – Patía (+/- 3 mGal); ii) De la falla mencionada hacia el centro del valle se observa un positivo gravimétrico que corresponde a un levantamiento del basamento y tiene una longitud de 44 km. Esta estructura coincide con lo que Alfonso (1993) denomina Alto de Corozo; iii) Hacia el oriente se encuentra el alto de Palmira que corresponde a otro alto de basamento de dirección Suroeste – Noreste, que se extiende casi a todo lo largo del valle disectado por pequeñas fallas transversales. El límite norte de esto dos altos de basamento es una falla también transversal al alto de Palmira. Este alto se asocia al trazo de la falla de Palmira – Buga que se extiende de norte a sur por todo el valle; iv) Hacia el oriente limitando con la Cordillera Occidental se identifica otro alto gradiente de 3 mGal. Este “alto” se asocia a un levantamiento relacionado con la falla de Guabas – Pradera.

2.2.4.4 Modelos gravimétricos

Para la interpretación de la cuenca del Valle, además de los mapas expuestos anteriormente, se crearon modelos en dos dimensiones de dos transectas que atraviesan el valle en sentido oeste – este (**Figura 6**). Estos perfiles fueron modelados usando el software GM-SYS, módulo del programa Oasis Montaj. Este software utiliza tanto el método directo como el método inverso para lograr el modelo. El método directo se basa en la generación de un modelo inicial de las estructuras y cuerpos anómalos basados en información geológica o geofísica, o en un modelo teórico propuesto. Este modelo anómalo es calculado y comparado con la anomalía observada; los parámetros del modelo (geometría, profundidad y densidad) son ajustados para mejorar la coincidencia entre las dos anomalías. Este proceso de ajuste se realiza múltiples veces hasta lograr una coincidencia aceptable. El método inverso se basa en el ajuste automático de los parámetros del modelo sin necesidad de plantear un modelo geológico – geofísico inicial

El primer modelo gravimétrico se ubica al norte de la ciudad de Cali, a la altura del municipio de Palmira (**Figura 7**) y cruza el valle diagonalmente en una longitud de 48 km. Se interpretan tres unidades: i) Depósitos cuaternarios no consolidados a poco consolidados con densidad promedio de 1.7 gr/cm³; ii) Unidades Terciarias con densidad promedio de 2.4

17

gr/cm^3 ; iii) Basamento cristalino constituido por la Formación Volcánica del Grupo Diabásico con densidad de 2.8 gr/cm^3 . El máximo espesor del Cuaternario se localiza hacia el centro del perfil y es de aproximadamente 2 km. El espesor de las unidades terciarias es también del orden de 2 km en el centro del valle. Estas formaciones son afectadas por fallas de tipo inverso que buzcan hacia el oriente, en particular la falla del Corozo hacia el occidente del perfil, la falla de Palmira Buga y la falla de Guabas Pradera, hacia el oriente del perfil.

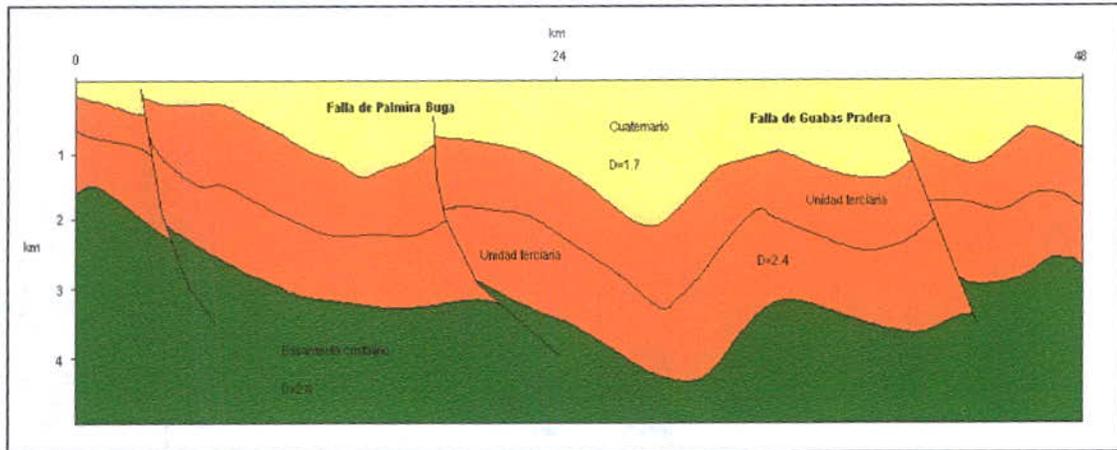


Figura 7. Perfil gravimétrico regional al norte de la ciudad de Cali.

El segundo modelo gravimétrico (**Figura 8**) cruza el valle hacia el sur de la ciudad de Cali, de noroeste a sureste con una longitud de 52 km. Se representa el valle como una cuenca con menor deformación que en el perfil anterior pero también sus unidades son afectadas por fallas inversas que buzcan al oriente (Fallas de Palmira – Buga y de Guabas – Pradera). A las unidades se les asignaron las mismas densidades del perfil anterior y el espesor mayor de sedimentos poco consolidados se encuentra en el centro del perfil y es del orden de 1.7 km. En la misma dirección el basamento se profundiza hasta 4.3 km.

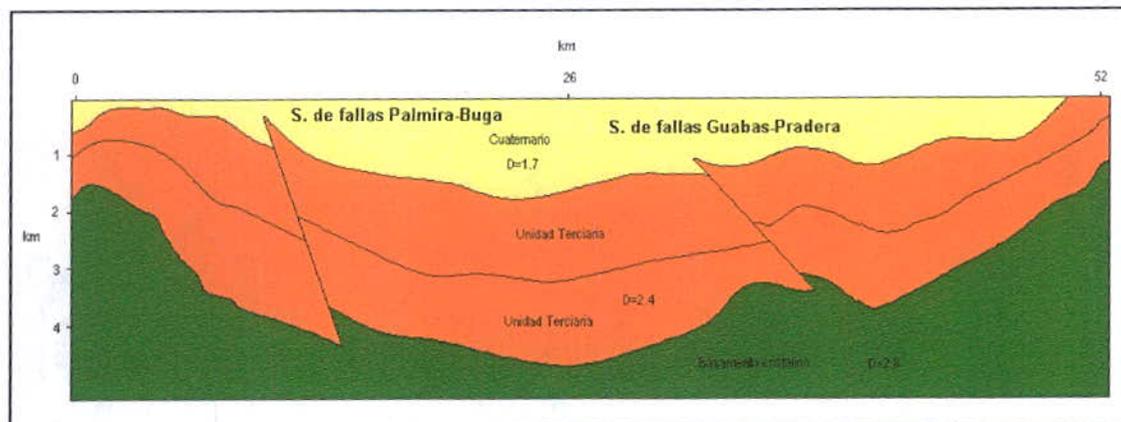


Figura 8. Perfil gravimétrico regional al sur de la ciudad de Cali.

2.3 INTERPRETACIÓN DE SÍSMICA DE REFLEXIÓN EN EL VALLE DEL CAUCA

Un programa de sísmica de reflexión fue llevado a cabo en el Valle del Cauca en 1979 por parte de ECOPEPETROL y otras empresas petroleras asociadas. De este estudio se escogieron algunas de las líneas sísmicas más representativas para ser interpretadas y que sirvan como base para un modelo geofísico - geológico del Valle del Cauca, principalmente en la parte estructural. Debido a que fueron levantadas principalmente para exploración petrolera no es posible definir estructuras superficiales. El análisis consistió de 10 líneas sísmicas: VC-02-79, VC-03-79, VC-04-79, VC-05-79, VC-06-79, VC-08-79, VC-10-79, VC-01S-79, VC-01L-79, VC-01N-79 (**Figura 9**), interpretadas con el software Geographix Discovery.

Para hacer la conversión tiempo – profundidad y debido a que no se cuenta con un registro de pozo que relacione estos parámetros a través de la velocidad, fue necesario calcular una función de velocidad a partir de las cajillas de velocidad de los sismogramas. La **Figura 10** muestra la curva obtenida y la función que sirvió para dicha conversión.

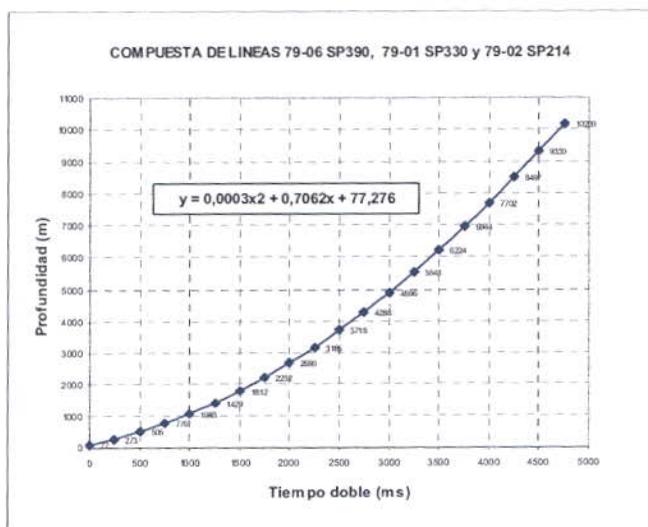


Figura 10. Función de velocidad empleada para conversión tiempo – profundidad de las líneas de sísmica de reflexión del Valle del Cauca.

Se distinguieron dos inconformidades que separan formaciones del Terciario y el límite de Basamento, correspondiendo a lo que Barrero et. al. (1989) denominan inconformidad sub-Oligoceno e inconformidad sub-Eoceno, que limitan la Formación Guachinte (aflora principalmente en los cerros occidentales del norte de Cali) y que se siguen en todas las líneas interpretadas. La interpretación se basó en el análisis de los elementos estructurales que caracterizan el valle.

Las líneas sísmicas VC-01S-79 y VC-01L-79 (Anexo 1) bordean el límite occidental del Valle del Cauca y los límites del área urbana de la ciudad de Cali. Se consideran de rumbo aunque en algunos sectores el arreglo es oeste – este. La línea VC-01S-79 se ubica al sur de la ciudad de Cali y en general presenta alguna deformación en las unidades terciarias

en el sentido norte – sur. Se resalta la falla que en superficie coincide con el trazo del río Cauca. La línea VC-01L-79, que limita el área urbana de Cali, geoméricamente se observa como una cuenca sin deformación y sin evidencias de fallas.

Las líneas sísmicas VC-04-79 (**Figura 11**), VC -02-79, VC-06-79, VC-08-79, VC-10-79 (Anexo 1) se consideran líneas de buzamiento y cruzan el valle del oeste hacia el este. En estas líneas se representa el estilo estructural del valle con fallas inversas buzando hacia el oriente y tienen expresión clara principalmente las fallas de Cauca – Patía, Palmira – Buga, Guabas - Pradera y del Corozo, ésta última hacia el occidente de la cuenca.

Aunque existen varias líneas de rumbo que cruzan el valle de Sur a Norte, se escogió la línea sísmica VC-03-79 (Anexo 1) que cruza el valle por el centro. Se aprecian claramente plegamientos en dirección Norte - Sur indicando deformación en ese sentido, con fallas de tipo inverso buzando hacia el norte. El espesor de las unidades terciarias es mayor hacia el centro de la cuenca, adelgazándose hacia los extremos de la misma.

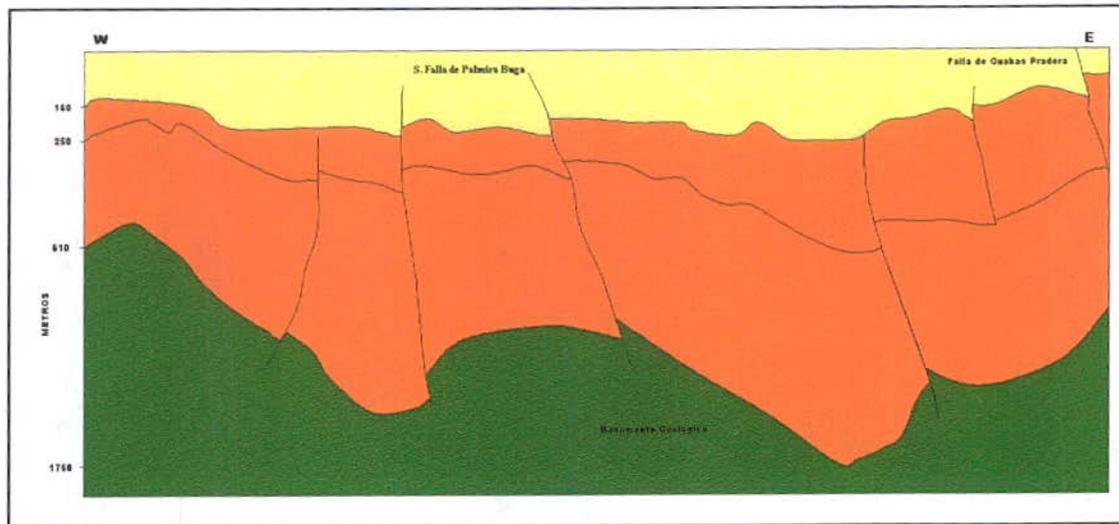


Figura 11. Interpretación de la línea de sísmica de reflexión VC-79-04.

2.4 DISCUSIÓN

A partir del análisis del mapa gravimétrico de anomalías regionales y de las líneas sísmicas, se observa una cuenca que se profundiza hacia el centro y el sureste, con el mínimo gravimétrico en el sector de Caloto. Las líneas sísmicas permiten observar algunas irregularidades del basamento no descritas por la gravimetría, que se deben a fallas que lo afectan o a ondulaciones de la paleotopografía

En el Mapa MZSC - GF2 se superponen los resultados del análisis de anomalías gravimétricas residuales y la interpretación de fallas a partir de la sísmica de reflexión. A diferencia de la señal gravimétrica regional en la cual el basamento tiene una geometría de batea con algunas irregularidades, la señal gravimétrica residual presenta una geometría con alternancia de bajos y altos gravimétricos, exceptuando la zona central de la cuenca al sur de Cali. La buena densidad de información gravimétrica permite tener en detalle, además de esa alternancia de bajos y altos gravimétricos que son interpretados como ondulaciones del



relieve, una serie de pequeños segmentos de falla en dirección este – oeste que afectan las anomalías gravimétricas. Se observa una buena relación entre la gravimetría y la sísmica, por ejemplo la falla de Corozo al noroeste del valle, el trazo de la falla de Palmira – Buga que atraviesa el valle en dirección sur – norte, y la falla de Guabas – Pradera. Los segmentos de falla en dirección este – oeste concuerdan con la interpretación de la línea sísmica VC-03-79 (Anexo 1) confirmando esfuerzos en dirección norte – sur.



CAPITULO 3

ESTUDIOS GEOFÍSICOS EN LA CIUDAD DE CALI

El presente capítulo corresponde a los estudios de geofísica realizados en el área urbana de la Ciudad de Santiago de Cali, zonas de régimen diferido y zonas de posible expansión urbanística. Estas investigaciones, a escalas mayores que las anteriores, pretenden encontrar algunas de las propiedades físicas del subsuelo que ayuden a definir patrones geotécnicos fundamentales en la microzonificación, además de modelar la geometría del subsuelo debajo de la ciudad. Debido a que se trabaja en una zona muy intervenida por obras de infraestructura y viviendas, y por alta densidad en tráfico vehicular y peatonal, solamente algunas técnicas geofísicas son aplicables. En este caso particular los métodos de gravimetría y sondeos eléctricos verticales resultan apropiados aunque condicionados a algunos aspectos de logística.

En la primera parte de este capítulo se detalla el estudio gravimétrico desde el desarrollo de campo hasta los modelos finales. La segunda parte presenta los resultados de los sondeos eléctricos verticales y sus interpretaciones.

3.1 ESTUDIO GRAVIMÉTRICO EN LA CIUDAD DE CALI

3.1.1 Objetivos

- Investigar la geometría y profundidad del basamento cristalino y de la interfase Terciario – Cuaternario bajo la ciudad.
- Modelar las características litológicas generales del subsuelo.

3.1.2 Hipótesis de trabajo

Geológicamente el sector de Cali se divide en dos partes. El primero correspondiente al sector de ladera donde predominan rocas volcánicas Cretáceas del Grupo Diabásico, suprayacidas por rocas sedimentarias Terciarias de la Formación Guachinte, depósitos plio - pleistocenos de la Formación Jamundí y depósitos Cuaternarios coluviales y aluviales. La segunda parte de Cali conformada por depósitos Cuaternarios recientes constituida por conos de eyección, depósitos de ladera y de llanura de inundación del río Cauca (ver informe No.2.1, Subproyecto de Geología, Proyecto MZSCali, 2005). Se espera que el basamento rocoso bajo la ciudad de Cali corresponda a la continuación de las rocas volcánicas cretáceas, y que las rocas que suprayacen dicho basamento correspondan a rocas Terciarias Paleocenas a Pliocenas. De acuerdo a la interpretación geológica – geofísica hecha en el sector de Navarro (INGEOMINAS, 2003), el espesor de los depósitos Cuaternarios puede ser mayor de 700 m en hacia el oriente de la ciudad.

Por lo tanto, se plantea un esquema donde el basamento se profundiza hacia el centro del valle controlado en algunos sectores por fallas regionales, suprayacido por rocas sedimentarias de menor densidad y depósitos cuaternarios de mucha menor densidad. Para el basamento se plantea una densidad promedio de 2.8 gr/cm^3 , para las rocas Terciarias una



densidad de 2.4gr/cm^3 y para las capas más superficiales (Cuaternario) un valor de 1.7gr/cm^3 , éste último deducido de los ensayos de densidad practicados a las muestras en los sitios de perforación (ver informe No.4, Subproyecto de Geotecnia, Proyecto MZSCali, 2005).

3.1.3 Desarrollo del trabajo de campo

Equipo de medida. El levantamiento gravimétrico se realizó con un gravímetro digital marca Scintrex modelo CG-3 de propiedad de INGEOMINAS, cuya resolución es de 0.01mGal y el rango dinámico de medida es de 7000mGal . Este gravímetro realiza automáticamente la corrección por deriva, corrección por mareas, corrección por inclinación y corrección por temperatura.

Levantamiento de la red de bases gravimétricas. Con el objetivo de minimizar las variaciones de gravedad por deriva instrumental, se levantó una red de bases, cuya ubicación permitió obtener circuitos de retorno (tiempo entre una base y otra, o el retorno a la misma base), en el menor tiempo posible. Las bases se distribuyeron en el área de estudio, conformando una red de 4 bases (Base UVAL-Universidad del Valle, Base PANA-Parque de las Banderas, Base MUNI-Talleres de Obras Públicas del Municipio y Base YUMB-Glorieta del sector de Menga vía a Yumbo). Esta red de bases se amarró a la Red Nacional de Gravimetría a través de la estación NP25W1 en la Base Aérea Marco Fidel Suárez de Cali, ubicada en la entrada a 25 m del puesto de control vehicular.

Levantamiento de estaciones gravimétricas. Se diseñó una red de estaciones gravimétricas siguiendo principalmente líneas en sentido oeste – este coincidiendo con los perfiles geotécnicos y geoelectrónicos levantados; también se levantaron sobre trayectos de sur a norte, siguiendo aproximadamente la dirección de avenidas principales (Calle 5, Calle 25, Av. Simón Bolívar). Además, se ubicaron estaciones entre estos perfiles tratando de que éstas quedaran lo más uniformemente separadas. Esta separación fue de 500m en promedio (Figura 12). Las estaciones se ubicaron en lo posible en sitios de menor tráfico vehicular como parques, separadores anchos y calles no transitadas. En algunos casos y debido a que no se contó con esta clase de sitios, se cerraron las vías mientras se realizaban las medidas.

Durante una lectura (Figura 13), la señal de gravedad es muestreada cada segundo. Al final de la lectura las señales individuales son promediadas y tratadas estadísticamente para filtrar el ruido proveniente de múltiples fuentes (p. e. tráfico, industria, ruido sísmico, entre otros). La lectura final es corregida por deriva instrumental, mareas, inclinación, variaciones de temperatura y ruido sísmico. Para controlar la influencia del ruido urbano sobre las mediciones gravimétricas, se hicieron varias medidas de 30 muestras hasta lograr que al menos tres lecturas no superaran 0.05mGal de diferencia entre sí. En total se levantaron 231 estaciones gravimétricas.

Levantamiento topográfico. Se realizó sobre un área aproximada de 175km^2 , estableciéndose una red constituida por 354 estaciones topográficas, las cuales fueron materializadas con estacas de madera o por medio de marcas de pintura sobre el piso de vías y andenes, separadas entre sí aproximadamente 500m y alineadas conformando perfiles. Para determinar las coordenadas de las estaciones de la red, se establecieron las 4 estaciones base nombradas anteriormente (YUMB, PANA, UVAL y MUNI), las cuales se amarraron horizontalmente al punto geodésico de primer orden CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical de Palmira) de la red CASA (con coordenadas conocidas con gran

precisión y exactitud). El amarre vertical de las estaciones base se hizo al NP25W1 (nivel de precisión) de la red nacional de nivelación del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), ubicado en la Base Aérea Marco Fidel Suárez de la ciudad de Cali. A partir de las 4 estaciones base, se transfirieron coordenadas geodésicas hacia las 354 estaciones de la red, empleando el método de radiaciones topográficas.



Figura 13. Toma de dato de campo de gravimetría (parque Caicedo, Cali) usando el gravímetro Scintrex CG-3

El levantamiento topográfico fue realizado usando 2 receptores GPS Trimble 4000 SE de propiedad de INGEOMINAS y el método de medición GPS diferencial estático, el cual consiste en transferir coordenadas a un punto nuevo (**Figura 14**, estación móvil) desde un punto con coordenadas conocidas (estación base). En oficina se procesó la información recolectada utilizando el programa GPSurvey2.3 de Trimble, obteniéndose la solución (calidad y errores) de las mediciones GPS y las coordenadas geodésicas referidas al elipsoide WGS-84 (Sistema Geodésico Mundial 1984), las cuales fueron transformadas a coordenadas geográficas elipsoide internacional y a coordenadas planas de Gauss. Esta información permitió definir la base topográfica de la zona de estudio, insumo necesario para el estudio gravimétrico realizado en la ciudad.

Amarre a otros estudios gravimétricos. A los datos gravimétricos colectados en la zona urbana, fueron integrados datos e interpretaciones hechas en otros sitios de estudio del Proyecto MZSCali, como son los del sector de Navarro (INGEOMINAS, 2003) y los modelos gravimétricos y magnéticos de los sectores de Pance y Menga.

3.1.4 Procesamiento de los datos de campo

Ajuste de la red de bases gravimétricas. Las lecturas en las bases deben ser corregidas por deriva instrumental residual y otros errores no controlables. Para esto se utilizó una metodología que básicamente calcula una curva de deriva para un circuito, a partir de los aportes de deriva de cada base. Una vez corregidas las lecturas por deriva, se hallan las diferencias de lectura para cada lado del polígono. Posteriormente se halla el error de cierre de cada polígono, distribuyéndolo equitativamente en los tres lados.



Figura 14. Equipo móvil GPS Trimble 4000 SE diferencial utilizado para el levantamiento topográfico en la campaña gravimétrica en la ciudad de Cali.

Cálculo de gravedad observada para las bases gravimétricas. Partiendo del valor de la gravedad observada de la estación de amarre a la Red Gravimétrica Nacional (Base Aérea de Cali), y conociendo las diferencias de gravedad entre cada una de las bases, se procedió a calcular los valores de gravedad observada en cada una de las bases de la red de gravimetría (Tabla 1).

Cálculo de gravedad observada para estaciones. A partir de los valores de gravedad observada de las diferentes bases gravimétricas y realizando los cierres en los circuitos se procedió a calcular el valor de la gravedad observada en las estaciones gravimétricas del estudio.

Cierres de los circuitos. Los cierres de los circuitos se verificaron indistintamente para una misma base o para diferente base, teniendo en cuenta la cercanía a ellas. El error de cierre de un circuito se calculó conociendo la diferencia de lectura entre cada una de las bases y el tiempo de lectura. Este error de cierre se distribuyó proporcionalmente en el ciclo, dependiendo del tiempo de lectura, luego se calculó la diferencia de gravedad entre las estaciones y las respectivas bases.

Gravedad observada Go. Partiendo del valor de la base y conociendo el delta entre las estaciones y la base, se calculó el valor de la gravedad observada para cada estación.



Tabla 1. Cálculo de la gravedad observada de las bases gravimétricas en la ciudad de Cali.

Nombre estación	Código Estación	Lectura Instrumental	Lectura Interpolada	Tiempo	Lectura corregida por deriva instrumental	Gravedad observada
Base Aérea	1000	3030.305	3030.305	08:32	0.000	977824.27
Yumb	2000	3062.945	3030.263	09:59	32.682	977856.95
Pana	3000	3051.585	3030.245	10:35	21.340	977845.61
Uval	4000	3030.390	3030.230	11:07	0.160	977824.43
Muni	5000	3024.930	3030.137	14:20	-5.207	977819.06
Base Aérea	1000	3030.125	3030.125	14:44	0.000	977824.27

Cálculo de gravedad teórica G_t . Con el objetivo de homogenizar e integrar la información al Proyecto Mapa Gravimétrico de Colombia (INGEOMINAS), los cálculos de gravedad teórica para el presente trabajo se realizaron con base en la Fórmula Internacional de la Gravedad de 1971, descrita a continuación:

$$G_t = 978.033,27 (1 + 0,005278994 \text{ Sen}^2\varphi - 0,0000059 \text{ Sen}^22\varphi)$$

Donde φ es la latitud de cada estación.

Correcciones. Como se mencionó anteriormente, al valor de gravedad observada es necesario aplicar ciertas correcciones para eliminar efectos que no corresponden a la influencia de las masas en las que estamos interesados, y que por lo tanto pueden enmascarar los resultados dificultando cualquier interpretación.

Corrección por latitud, CL. Se aplica para eliminar el efecto de variación de la gravedad por la latitud, teniendo en cuenta que el radio de la tierra disminuye del ecuador a los polos, y la gravedad tiene una variación contraria.

La corrección por latitud fue calculada según la siguiente fórmula:

$$CL = -(G_t - G_r)$$

Donde G_t es la gravedad teórica de cada estación y G_r es la gravedad teórica de la estación de referencia, en este caso la base aérea de Cali. La corrección es negativa, si se encuentra en una latitud mayor que la de la estación de referencia y positiva, si se encuentra en una latitud menor.

Corrección de aire libre, CAL: Se aplica teniendo en cuenta que la gravedad varía inversamente con la altura (radio de la tierra), con un gradiente medio aproximado de 0.3086 mGal/m. Esta corrección se calculó según la siguiente fórmula:

$$CAL = 0,3086 (h - h^\circ)$$



Donde h es la altura en metros de la estación medida, h° es la altura de la estación de referencia y 0,3086 es el gradiente medio de variación de la gravedad por metro de altura, dado en mGal/m.

Corrección de Bouguer, CB. La corrección de aire libre y la gravedad teórica ignoran la masa que existe entre el nivel de observación y el nivel del mar. Esta corrección considera esta masa. La corrección de Bouguer simple aproxima todas las masas arriba del nivel del mar con una placa homogénea de extensión infinita, de espesor igual a la altura del punto de observación arriba del nivel del mar. La atracción de esta placa se describe por la ecuación:

$$C.B = -0,0419d (h-h^{\circ})$$

Donde el factor 0,0419 es la variación en mGal por metro de material con densidad d, en gr/cm³.

Corrección Topográfica, CT. Esta corrección tiene por objetivo corregir los efectos producidos por los elementos topográficos (depresiones o elevaciones), aledañas al punto de medición. Existen varios niveles de corrección topográfica, dependiendo del radio a la estación: cercana (hasta 53,3 m de radio), media (hasta 2615 m) y lejana (mayor de 2615 m). En el presente trabajo se realizó la corrección topográfica usando el módulo gravity de Geosoft Oasis Montaj, y como insumo el mapa digital de terreno (hasta 100 km de cada estación) y la localización de las estaciones.

Cálculo de la Anomalía de Bouguer Total. Una vez realizadas todas las correcciones anteriormente descritas, se calculó el valor de la anomalía de bouguer total, cuyo valor es la manifestación gravimétrica directa de la distribución de masas real en la zona de estudio. La expresión con la cual se calcula es:

$$GAL = Gobs -Gt + CL + CAL-CB +CT$$

Donde Gobs es la gravedad observada, Gt es la gravedad teórica, CL es la corrección por latitud, CAL es la corrección de aire libre, CB es la corrección de Bouguer y CT es la corrección topográfica (Anexo 2).

3.1.5 Generación de los mapas gravimétricos

El manejo de los datos, el procesamiento y generación de la parte gráfica se hizo utilizando el software Oasis Montaj de Geosoft, el cual se subdivide en varios módulos que permiten componer los mapas básicos más otros de interpretación. Estos mapas en su conjunto forman la información básica para dilucidar el mejor modelo interpretativo del subsuelo bajo la ciudad.

A partir de los datos de gravedad observada, el software permite el cálculo de cada una de las correcciones y de las diferentes anomalías así como también de varias transformaciones en el caso que se quieran detallar algunas características de las anomalías (p. e. derivada vertical, derivada horizontal, entre otros), información que es consignada en una base de datos. A partir de esa base se calcularon las diferentes grillas usando el método de mínima



curvatura apropiado para datos de posición aleatoria. Una vez generadas las grillas, estas se representan en mapas que son analizados a continuación.

3.1.5.1 Mapa de Anomalías de Bouguer Total.

Este mapa se obtiene con los datos gravimétricos a los cuales se les han aplicado todas las correcciones descritas anteriormente. El mapa de Bouguer Total (**Figura 15**) muestra características tanto a nivel regional como local. Se puede observar claramente la estructura geológica regional del área de estudio. Existe una gradación de los valores gravimétricos de Oeste a Este, siendo los de mayor valor en la parte noroeste de la ciudad (25 mGal), y de menor valor en el sector suroriental (-52 mGal). Se presentan algunas flexiones gravimétricas en varios sectores de la ciudad (sector de Cañaveralejo, sector de Pance) y corresponden a estructuras locales y/o cambios laterales de densidad por materiales superficiales. En el sector de Navarro se presentan las anomalías más bajas y forman una semi-cuenca en el límite oriental de la ciudad.

3.1.5.2 Mapa de Anomalías de Bouguer Regional

Para poder analizar más claramente el comportamiento de las estructuras regionales, es necesario filtrar la influencia de cuerpos locales en el área de estudio. Para esto existen varios algoritmos matemáticos que separan las cortas de las grandes longitudes de onda. Para el caso se utilizó un filtro Gaussiano basado en la transformada rápida de Fourier. En el mapa de Bouguer Regional (**Figura 16**) se observan las anomalías gravimétricas en sentido Suroeste – Noreste con algunas flexiones hacia los extremos norte y sur del área. El valor máximo es de 25.5 mGal al Noroeste del área y corresponde a la influencia de las rocas de la formación volcánica que afloran un poco más al norte en la vía Cali - Yumbo. El valor mínimo se encuentra en el sector de Navarro y se relaciona con la presencia de un mayor volumen de sedimentos no consolidados a poco consolidados de la llanura aluvial del río Cauca. Hacia el centro del área urbana y siguiendo una dirección Suroeste – Noreste se encuentra el mayor gradiente gravimétrico (7 mGal/km) que puede corresponder a la flexión de las diferentes unidades geológicas en especial del basamento cristalino. En otras palabras el basamento debe estar profundizándose con un ángulo mayor en esta zona, que puede deberse a fallamiento o plegamiento por esfuerzos de compresión.

3.1.5.3 Mapa de Anomalías de Bouguer Residual

Contrario al mapa regional, éste mapa se obtiene al sustraerle al mapa de anomalía de Bouguer Total el efecto de las estructuras regionales profundas sobre las cuales se asienta la ciudad. Este mapa se realiza con el objetivo de resaltar los efectos gravimétricos causados por los elementos estructurales más superficiales y/o locales, lo mismo que unidades litológicas que difieren en densidad, que son de interés para el presente trabajo. Matemáticamente se utiliza el mismo algoritmo aplicado a la parte regional pero considerando solo las longitudes de onda más cortas. Como se observa en el mapa (Mapa MZSC - GF3) la diferencia entre el valor máximo y mínimo es de 9 mGal, siendo máximo en el sector noroeste de la ciudad específicamente en Menga, donde las rocas del Grupo Diabásico se encuentran muy cerca de la superficie y en Terrón Colorado; otro máximo se localiza en el sector sur de la ciudad en la zona de Meléndez. Este alto puede deberse al plegamiento local del basamento y las unidades terciarias. En general un fuerte gradiente en dirección sur – norte en el centro del área separa anomalías altas (del centro al occidente del



28

área urbana) de anomalías bajas (del centro hacia el oriente y comprende todo el sector de Agua Blanca y Navarro) que corresponden a la llanura aluvial del río Cauca y parte del sector de Pance, relacionado con el abanico de Pance. El sector de Cañaveralejo se considera anómalo, pues registra bajos gravimétricos contenidos en una franja al occidente de la ciudad, en donde predominan las anomalías residuales altas. Teniendo en cuenta que este mapa describe la parte más superficial, un espesor mayor de material de origen fluvio torrencial puede dar origen a esta anomalía semicircular de baja densidad.

3.1.5.4 Modelos gravimétricos

El objetivo final de la aplicación de gravimetría es el de modelar el subsuelo bajo la ciudad de Cali, lo cual significa poder expresar los valores de gravimetría en términos de profundidad, densidad y geometría de las diferentes unidades o estructuras presentes en esta zona. Para llegar a ese resultado se elaboraron perfiles coincidentes con los perfiles geotécnicos del Proyecto MZSCali. Además, se elaboró un mapa de iso-profundidades para la ciudad basado en la información de los perfiles.

- **Perfiles gravimétricos**

Como se mencionó anteriormente, los perfiles gravimétricos se ubicaron de acuerdo con los requerimientos geotécnicos (**Figura 17**). Para tal efecto se utilizó un programa especializado para el modelamiento de información gravimétrica en dos dimensiones, Gmsys, el cual funciona como módulo especial del software Oasis Montaj de Geosoft, y cuyas características fueron discutidas anteriormente

Para el presente trabajo se utilizó el modelo directo y se realizaron 9 perfiles, 7 de ellos en dirección Oeste – Este, uno en dirección Suroeste - Noreste y otro perfil en dirección Noroeste – Sureste (Anexo 3). Para poder modelar estos perfiles se generaron tres unidades (**Figura 18**). La primera, la más superficial y a la cual se asignó un valor de densidad en promedio de $1,7 \text{ gr/cm}^3$ (de acuerdo a la hipótesis de trabajo planteada anteriormente), la segunda con un valor de densidad en promedio de $2,4 \text{ gr/cm}^3$ y la tercera con densidad de $2,8 \text{ gr/cm}^3$. Para el caso de la primera unidad se debe tener en cuenta que la densidad, como se menciona, es el promedio de bajas densidades hacia la superficie (hasta 1,2 para sedimentos inconsolidados) y densidades más altas por la consolidación de los mismos sedimentos a medida que se profundizan. Por lo tanto se deben tomar como perfiles geofísicos - geológicos, debido a que son generados a partir de una propiedad física dando una visión geológica del subsuelo. En general, las unidades geofísicas - geológicas buzan en dirección este con esporádicas pequeñas estructuras (anticlinales, sinclinales). La característica principal es una inflexión hacia el centro de los perfiles, llegando a ser horizontal bajo la llanura aluvial. El basamento cristalino se encuentra en su parte más profunda a 2,68 km mientras que el tope del terciario en el sector más profundo es de 630 m.

A partir de los resultados de los perfiles gravimétricos elaborados, se realizaron dos mapas de iso-profundidades que pretenden identificar el techo del Terciario (contacto Terciario – Cuaternario) y el techo del Basamento Geológico. Esta caracterización se hace únicamente con base en los contrastes de densidad.

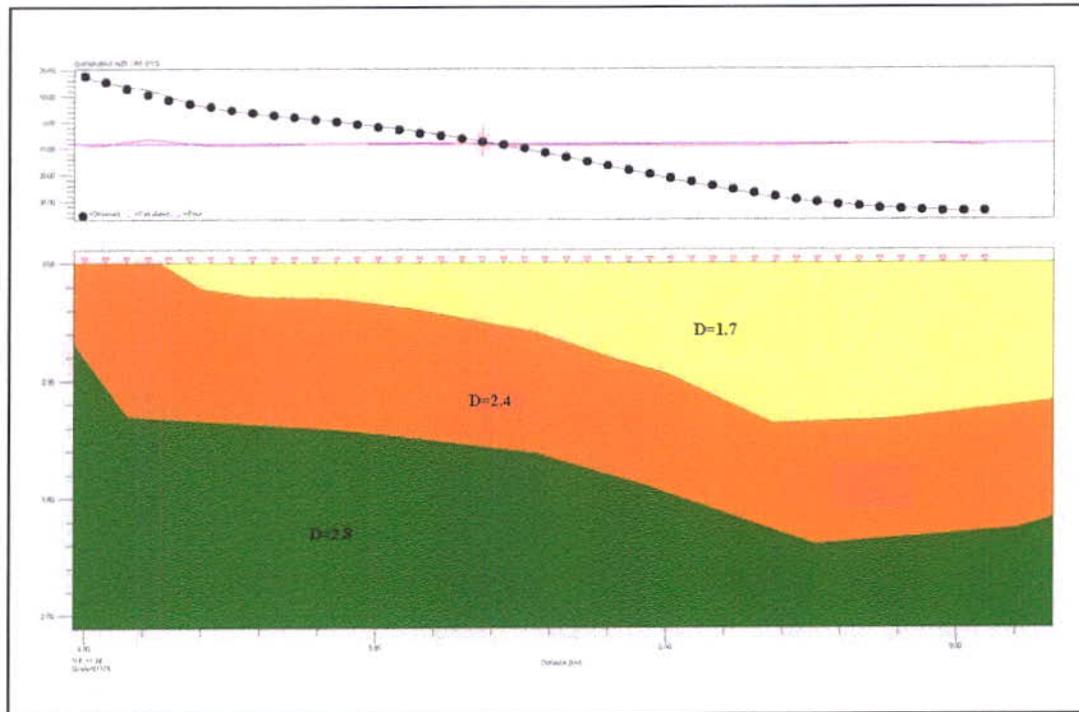


Figura 18. Perfil 3 de gravimetría en la ciudad de Cali en dirección oeste – este.

- **Modelo de isopropundidades**

La **Figura 19** representa la profundidad del contacto Terciario – Cuaternario en el área urbana de Cali. Nótese que en general la profundidad de los sedimentos cuaternarios aumentan hacia el este, siendo más profundos en el sector de Navarro alcanzando casi 2 km, y en la parte norte de la ciudad, en la zona de Floralia, hasta 1,6 km. En el lado oeste de la ciudad el promedio de espesor de estos sedimentos es de 500 m. En el sector de Cañaveralejo los sedimentos son más profundos alcanzando hasta 1 km.

La **Figura 20** presenta la profundidad del basamento geológico en la ciudad de Cali. Las mayores profundidades se reflejan en las mismas áreas, Navarro (hasta 2,6 km) y en el sector noreste de la ciudad (hasta 2,3 km aproximadamente). Como en la figura anterior, hacia el oeste disminuye la profundidad del basamento. Se identifican dos zonas anómalas: el sector de Cañaveralejo y la zona norte de la ciudad en las que el basamento llega a 1,8 km de profundidad.

3.2 ESTUDIO GEOELÉCTRICO EN LA CIUDAD DE CALI

De acuerdo a los objetivos del Proyecto MZSCali, se midieron durante los años 2003 y 2004 sondeos eléctricos verticales (SEV), del SEV 1 al SEV 108 y del SEV 123 al SEV 152 respectivamente, distribuidos en el área de la ciudad (**Figura 21**, Anexo 4). Además, se midió una línea de Tomografía Eléctrica (TE) al norte de Cali en la quebrada Arroyo Hondo, en el municipio de Yumbo por la vía a Dapa.



3.2.1 Marco Teórico

El método de resistividad eléctrica consiste fundamentalmente en estudiar las variaciones en el subsuelo, de la propiedad física denominada resistividad eléctrica en 1D y 2D. La resistividad eléctrica es la propiedad que poseen los diferentes tipos de materiales, artificiales o naturales, de oponerse al flujo de la corriente eléctrica en presencia de un campo eléctrico.

Las técnicas del SEV y de TE se aplican con el fin de obtener información del subsuelo de una forma indirecta, lo cual aunque se puede conseguir mediante perforaciones, el costo es considerablemente inferior y permite desarrollar modelos más continuos lateralmente. Es así, que éstas técnicas permiten al geotecnista reducir el número de pozos exploratorios y determinar en una forma rápida, económica y con una buena aproximación los perfiles litológicos, información que posteriormente se ajusta con datos litológicos directos de las perforaciones y pozos.

Para efectuar un SEV el dispositivo más utilizado es el de tipo Schlumberger (Figura 22), el cual consiste de un arreglo de cuatro electrodos (A, B, M y N). Para tal efecto se utiliza una fuente externa que genera corriente que se introduce al subsuelo a través de 2 electrodos (A y B). Esta corriente genera un campo de potenciales que se miden entre los otros electrodos (M y N). La profundidad investigada está relacionada con la distancia de los electrodos de corriente (AB/2). La lectura de corriente (I) y de la diferencia de potenciales (Δv), junto con un factor geométrico (K) que depende de las distancias del arreglo, permiten calcular los valores de resistividad aparente (ρ_a), así:

$$R = \Delta v / I \text{ (Ohm.m)}$$

$$K = \pi(AB)^2 - (MN)^2 / 4MN$$

$$\rho_a = KR \text{ (Ohm-m)}$$

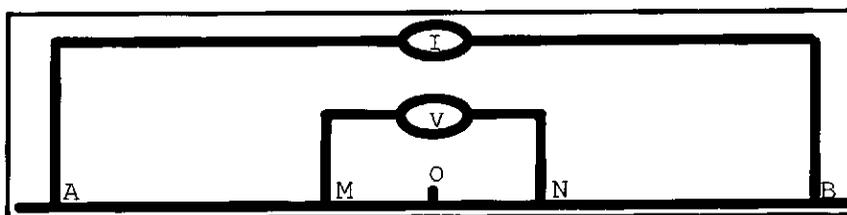


Figura 22. Esquema de la técnica del Sondeo Eléctrico Vertical (SEV), arreglo tipo Schlumberger.

Para la técnica de la TE o Perfilaje Eléctrico Vertical se utilizó la combinación de los arreglos Wenner- Schlumberger. Esta aplicación tiene la ventaja de que se obtiene una mayor profundidad de investigación, un menor decaimiento de las lecturas de potencial y, permite cuantificar pseudosecciones laterales de resistividad y profundidad aparente en 2D, en secciones de un modelo inverso de resistividad cuantificado con ayuda del programa Res2Dinv. El valor de la resistividad aparente para el arreglo Wenner-Schlumberger está dado por:

$$\rho_a = \pi n (n+1) aR$$



Donde:

R = Resistencia del Subsuelo (Ohm)
a = Distancia entre los electrodos M y N (m)
n = Radio de la distancia entre A y M

3.2.2. Objetivos

- Determinar la distribución de la resistividad eléctrica con la profundidad en modelos 1D y 2D a partir de los centros de medición de los SEV y la línea de TE.
- Correlacionar los valores de la resistividad tanto de SEV como de TE con las características litológicas del subsuelo con fines geotécnicos.

3.2.3 Metodología de Trabajo

En función de los objetivos planteados se implementó la siguiente metodología:

- Compilación de información relacionada con geología, geoelectrica y datos de perforación de pozos tanto del Proyecto MZSCali como de la CVC.
- Adquisición de datos de resistividad eléctrica en la modalidad de SEV y TE.
- Procesamiento, modelamiento matemático de capas geoelectricas e interpretación de SEV y TE.
- Elaboración de perfiles geoelectricos en sentido normal a las estructuras y su correlación litológica.

3.2.4 Adquisición de datos

En la adquisición de datos (**Figura 23**) se utilizó un equipo digital de resistividad eléctrica de fabricación Japonesa marca Oyo McOhm 2115 A (**Figura 24**) con todos sus accesorios (cables multiconductores, electrodos metálicos no polarizables, macetas, brújula geológica, GPS y multimetro, entre otros), de propiedad de INGEOMINAS. El arreglo fue de tipo Schlumberger con abertura de electrodos de corriente entre 1,5 y 700 m de AB/2. El Anexo 5 ilustra la técnica de adquisición y algunos de los lugares donde se realizaron los sondeos.

3.2.5 Procesamiento de datos e interpretación de SEV

El procesamiento de datos SEV se llevó a cabo con la ayuda del programa Resixp Plus de Interpex Ltda (USA), el cual esta basado en la metodología de "aproximaciones sucesivas". Esta metodología está basada en la comparación de curvas de campo con curvas sintéticas generadas a partir de modelos hipotéticos, comparación que se realiza hasta cuando las curvas de campo y las sintéticas alcanzan un ajuste predeterminado de bajo error. Para la línea de TE, se utilizó el programa Res2Dinv de Goetomo Software de Malasia.



Figura 23. Ubicación de los puntos de localización de electrodos para el sondeo eléctrico vertical en la Base Aérea Marco Fidel Suárez (SEV 133).

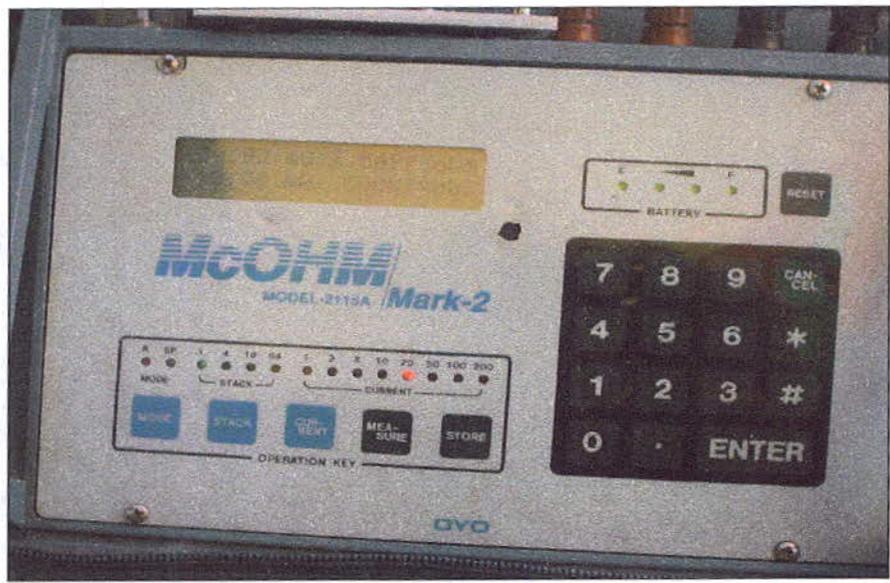


Figura 24. Equipo digital de resistividad eléctrica marca Oyo modelo 2115A Mark-2.

Para poder visualizar la variación de la resistividad del subsuelo con la profundidad, a partir de todos los datos procesados se establecieron relaciones entre los diferentes puntos de observación mediante la elaboración de los perfiles geoelectricos A-A' Yumbo, B-B' Vivero, C-C' Menga-Floralia (**Figura 25**), D-D' Río Cali-Base Aérea, E-E' Cañaveralejo-Planta de Tratamiento, F-F' Nápoles-Distrito Aguablanca, G-G' Club Campestre-río Lili, H-H' Valle del río Lili-Navarro, I-I' Río Pance-vía Puerto Tejada y J-J' El Rancho-Club Farallones (Anexo 6).

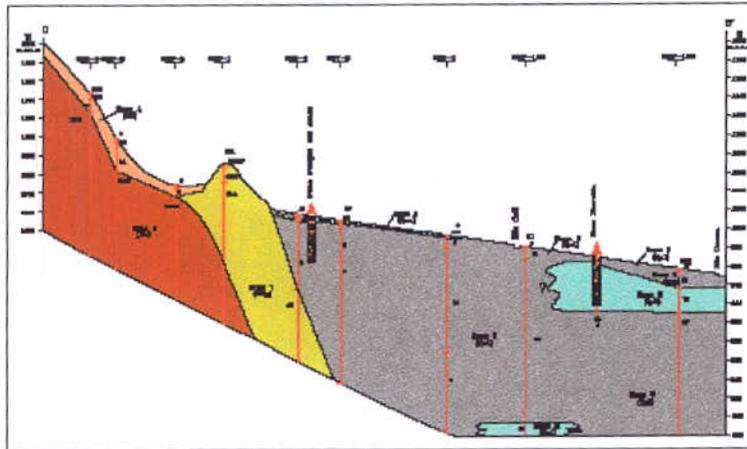


Figura 25. Perfil Geoelectrico CC' Menga - Floralia

Para poder así analizar la variación de la resistividad del subsuelo con la profundidad, se usó una escala horizontal 1:20.000 y vertical 1:2.000, con lo cual en la vertical existe una exageración importante. Hay que observar que los espesores de cuaternario obtenidos se limitan a la resolución del método en profundidad, siendo posible en la mayoría de los casos, que las dimensiones de los sedimentos cuaternarios sean mucho más grandes de las reportadas.

El perfil AA' está ubicado en la carretera antigua que va de Cali a Yumbo. El modelo geofísico – geológico plantea 3 unidades que buzcan concordantemente hacia el oriente. La unidad más profunda con resistividades entre 114 y 1764 ohm – m se correlaciona con la unidad de roca volcánica, el rango tan amplio en resistividad se puede explicar por la existencia de fracturas que hacen que la resistividad de la formación disminuya. Suprayaciendo esta unidad encontramos rocas del terciario con resistividades entre 32 y 48 ohm-m con espesor de 100 m aproximadamente. La tercera unidad conformada por depósitos cuaternarios de origen aluvial tiene resistividades entre 2 y 13 ohm – m, el espesor de esta unidad se hace mayor hacia el valle y alcanza espesores mayores de 150 m.

El perfil BB' levantado en dirección occidente – oriente a 800 m al norte de la glorieta de Menga por la carretera antigua de Cali a Yumbo, conserva la misma relación entre unidades como en el perfil anterior. El espesor de la Formación Guachinte (Tog) es de 20 m, con excepción del sector donde aflora que es 80 m. Los cuaternarios de origen aluvial (Qal) llegan a tener un espesor de 150 m en su parte oriental, aunque se infiere que su espesor aumenta en esa dirección.



El perfil CC' de dirección occidente – oriente va desde el sector de Menga hasta Floralia, límites con el río Cauca. Se destaca el espesor de la unidad Qal que llega a un espesor mínimo de 240 m. En la parte oriental los depósitos de coluvión (Qc) tienen hasta 20 m y se interrumpen en las rocas aflorantes de la unidad Tog. Esta última unidad descansa concordantemente contra la formación Volcánica (Kv).

El perfil DD' con dirección occidente – oriente esta compuesto por SEV que van desde Terrón Colorado hasta el río Cauca, pasando por la Base Aérea Marco Fidel Suárez. En la parte más occidental del corte afloran depósitos fluvio-torrenciales (Qfv) que no superan los 25 m de espesor. Estos sedimentos suprayacen a rocas alteradas de la Formación volcánica (resistividades entre 11 y 44 ohm-m). Un volumen considerable de sedimentos de origen fluvial Qal se extienden desde el río Cali hasta el río Cauca, llegando a superar en la Base Aérea más de 160 m de profundidad.

El perfil EE' se extiende desde el extremo occidental de la ciudad a la altura del barrio Siloé, pasa por la zona de Cañaveralejo hacia el río Cauca por Puerto Mallarino. Desde el velódromo hasta el río Cauca el espesor de Qal (resistividades entre 2 y 19 ohm-m) es superior a los 120 m, presentando zonas interdigitadas de mayor contenido arcilloso (resistividades entre 32 a 118 ohm-m).

El perfil FF' se desarrolla desde el sector de Nápoles al occidente de Cali hasta el río Cauca, pasando por el barrio El Vallado. Los depósitos aluviales (Qal) hacia el río Cauca alcanzan un espesor de más de 250 m y están interdigitados por capas arcillosas de espesor variable. En el extremo occidental del perfil afloran rocas de la Formación Jamundí con espesores menores de 15 m y resistividades de 17 a 125 ohm-m, y suprayacen rocas alteradas de la Formación Volcánica. Como en los demás perfiles, las rocas Terciarias y Cretáceas de la Formación Volcánica buzcan hacia el oriente.

El perfil GG' va desde el sector de Meléndez y pasa por el río Lili. En la parte occidental del perfil afloran sedimentos fluvio-torrenciales con un espesor de 30 m aproximadamente. Es incierta la unidad que hace contacto con estos sedimentos, debido a la poca abertura del SEV en esta zona.

El perfil HH' se levantó por el valle del río Lili hasta el sector de Navarro. Este último presenta los mayores espesores de sedimentos Cuaternarios que pueden ser mayores de 420 m.

En la **Tabla 2** se presenta una correlación de la resistividad con las características litológicas de las unidades geológicas en orden geocronológico. Por comodidad y comprensión, la resistividad se agrupa en 9 zonas. En el Anexo 7 se presenta el modelamiento matemático de las capas geoelectricas de los 158 SEV tomados en la ciudad de Cali.

3.2.6 Línea de Tomografía Eléctrica

Para corroborar la presencia de fallas geológicas de piedemonte con orientación noreste y para determinar la variación de la resistividad en sentido lateral, se midió una línea de TE de 200 m con espaciamiento de electrodos de diez metros ($a = 10$ m), por la vía a Dapa frente al Colegio Yeferson.



Tabla 2. Zonas de resistividad eléctrica y su correlación litológica.

No. Zona	Rango (Ohm-m)	Espesor (m)	Unidad Geológica	Correlación Litológica
1	2 - 4225	3 - 62	Abanicos Aluviales Recientes (Qaa)	Bloques, cantos, clastos subredondeados de rocas volcánicas principalmente, soportados en matriz areno- limosa hacia el Piedemonte (Resistividades mayores de 20 Ohm.m). Hacia la parte media y distal el material es mejor seleccionado y la matriz se hace limo-arcillosa (Resistividades menores de 20 Ohm.m).
2	21 - 317	6 - 290	Depósitos Aluviales Arenosos (Qal)	Ocurren hacia las márgenes del Río Cauca e infrayacen la unidad anterior. Constituyen gravas, arenas de diferente tamaño de grano y limos arenosos saturados con agua e intercalaciones menores arcillosas (Resistividades mayores de 20 Ohm.m).
3	2 - 20	4 - 340	Depósitos Aluviales Arcillosos (Qal)	Esta unidad se intercala con la anterior, se caracteriza por presentar materiales de arcillas, limos arcillosos y arcillas arenosas con ocasionales lentes arenosos (resistividades menores de 20 Ohm.m).
4	4 - 684	6 - 35	Depósitos Coluviales (Qc)	Son materiales sueltos de composición heterogénea, clastosoportados de suelos y rocas transportados por la gravedad, corrientes o deslizamientos. Los fragmentos varían de angulares a subangulares. Los valores bajos del rango de resistividad se relacionan con una matriz de carácter arcilloso.
5	2 - 742	8 - 50	Flujos de Terrón Colorado (Qfv)	Depósitos fluvio torrenciales clastosoportados con aporte volcánico compuestos por bloques, cantos y grava, subangulares y angulares en matriz de arena, limo y arcilla. Los depósitos con matriz limo-arcillosa presentan resistividades bajas del rango y los valores medios y altos con matriz arenosa y seca.
6	26 - 169	10 - 180	Formación Jamundí (TQj)	Depósitos de gravas y cantos no consolidados, mal seleccionados de basaltos, chert, gabros, limolitas, conglomerados y areniscas que varían de centímetros hasta 3 metros con matriz arcillosa y de colores rojizos. Los valores bajos y medios de resistividad se asocian con altos contenidos arcillosos y los valores más altos materiales con matriz seca.
7	4 - 29990	20 - 130	Formación Guachinte (Tog)	Los valores mas altos de resistividad se asocian con areniscas secas, los valores medios y bajos con intercalaciones de areniscas y arcillolitas con algún grado de fracturamiento.
8	11 - 599	60 - 96	Roca Volcánica Alterada- Intermedia (lv)	Rocas volcánicas con alteración de moderada a fuerte. Así mismo, esta unidad presenta permeabilidad secundaria por su abundante fracturamiento, lo cual infiere en que el valor de la resistividad sea mucho mas bajo que el de la roca sana.
9	76 - 152889	No determinado	Roca Volcánica (kv)	Esta unidad volcánica constituye lavas basálticas y diabasas sanas y fracturadas que aflora al occidente de Cali.

A partir de la pseudosección (sección superior de la **Figura 26** con resistividades y profundidades aparentes), se aplica el método inverso a ésta sección de 190 m de longitud para encontrar la resistividad verdadera y su relación con la profundidad verdadera. Se presenta la siguiente correlación litológica: i) rango de resistividad menor de 20 Ohm-m, se asocia con materiales arcillosos (tonos amarillos claros); ii) rango entre 20 y 90 Ohm-m con areniscas terciarias de la formación Guachinte (tonos amarillos oscuros); iii) valores entre 90 y 140 Ohm-m con roca ígnea volcánica meteorizada de diabasas (tonos rojos); iv) valores mayores de 140 Ohm-m con roca ígnea volcánica de diabasas frescas (tonos rojos violáceos).

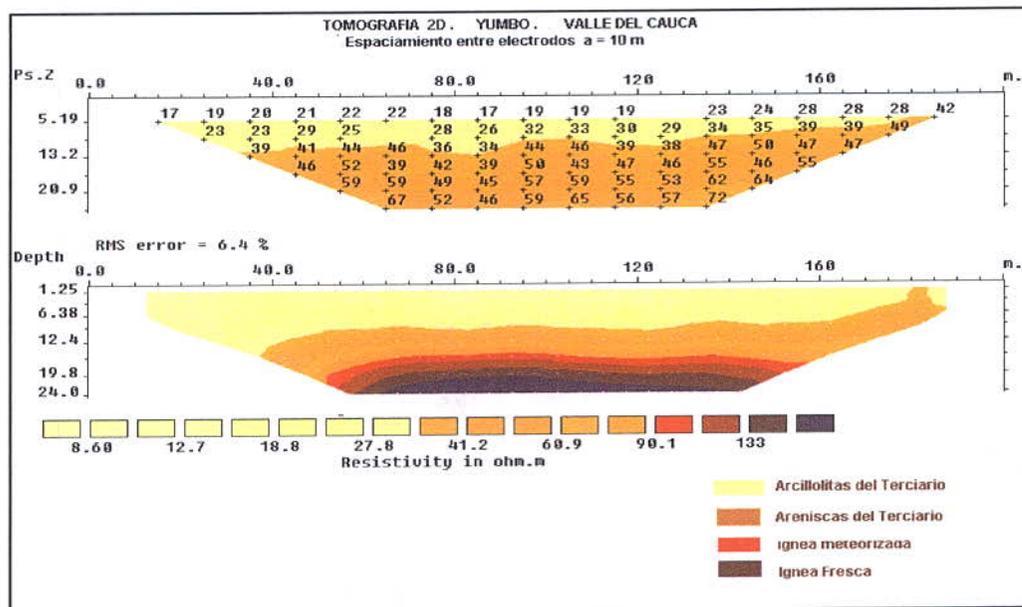


Figura 26. Interpretación del modelo inverso de resistividad de la línea de TE por la vía a Dapa.

El modelamiento anterior muestra una sección homogénea con resistividades hasta de 90 Ohm-m para areniscas de edad terciaria, y valores mayores de resistividad en el tope de la formación Volcánica para roca alterada y hacia profundidad roca fresca. No se observan cambios laterales de resistividad que permitan inferir la presencia de alguna falla geológica o estructuras locales, pero debe tenerse en cuenta que debido a la poca longitud de la línea respecto al área de trabajo, no se puede concluir a partir de este ensayo que en la zona no existan trazos de fallas en profundidad.

3.3 ESTUDIO DE SÍSMICA DE REFRACCIÓN EN EL ÁREA URBANA DE CALI

Otro de los métodos de prospección geofísica utilizado para el Proyecto de MZSCali fue la sísmica de refracción con el fin de determinar, en lo posible, las velocidades de propagación de las ondas longitudinales (V_p) y transversales (V_s). Se realizaron 11 km distribuidos en 21 líneas de refracción sísmica localizadas en diferentes sitios de la Ciudad de Cali, ejecutadas por la firma Asesorías Geofísicas de Colombia Ltda.



3.3.1 Objetivos

- Determinar las velocidades de ondas sísmicas longitudinales (V_p) y transversales (V_s), y la profundidad de los diferentes refractores que se detecten en el subsuelo en los sitios de medición.
- Correlacionar los valores de las velocidades con las características litológicas de los materiales consolidados y no consolidados presentes en el subsuelo.

3.3.2 Marco teórico

El método de Refracción Sísmica está basado en el registro de las ondas sísmicas refractadas en las distintas interfases del subsuelo con diferentes impedancias acústicas (Telford, et. al, 1993, Sheriff y Geldart, 1984, Dobrin, 1988) o sea:

$$V_1 \sigma_1 \neq V_2 \sigma_2 \neq V_3 \sigma_3 \neq \dots \neq V_i \sigma_i$$

Donde:

V_i : Velocidad de propagación de las ondas en la interfase i .

σ_i : Densidad de la roca en la interfase i .

Este método consiste en estudiar la llegada de la onda de cabecera a la superficie del terreno. La onda de cabecera sólo se produce en un límite o frontera directa, donde la velocidad de las ondas sísmicas debajo de la frontera es mayor que encima de ésta, es decir, tiene que cumplir la condición de: $V_2 > V_1$. La onda de cabecera se va a desplazar a lo largo del límite o frontera directa cuando el ángulo de incidencia de la onda descendente o primaria sea mayor que el ángulo crítico (i). El ángulo crítico se define como aquel ángulo en que la onda refractada se va a trasladar a lo largo del límite entre dos medios, depende de la velocidad del medio y se calcula según la ecuación de la Ley de Snell (1).

$$\text{sen } i = V_1 / V_2 \quad (1)$$

Una de las ventajas del método de refracción sísmica reside en la posibilidad de determinar fácilmente la velocidad a que se desplaza la onda sísmica a lo largo de la frontera. La velocidad de frontera (V_f) depende de las propiedades físicas de la capa refractora, permitiendo de ésta forma correlacionar la composición litológica y la ubicación estratigráfica de la misma. Sin embargo, la velocidad de frontera refleja solo las propiedades de la parte del corte que se encuentra inmediatamente cerca del límite.

Una de las características fundamentales de las ondas refractadas es que debido a que la velocidad del medio infrayacente es mayor que la de la capa que lo cubre, las ondas que viajan por este medio, pueden llegar a la superficie antes que las demás ondas (onda directa, reflejada), la segunda característica de las ondas de refracción, es que las ondas refractadas en una sección sísmica se siguen en primeras entradas o arribos y se representa en forma de un hodógrafo rectilíneo o aproximadamente rectilíneo, por lo tanto la velocidad aparente (V^*) que presenta la onda en el tramo de registro es aproximadamente constante. A cada frontera de refracción le corresponde un segmento de hodógrafo rectilíneo. Estos hodógrafos se construyen con los tiempos de los primeros arribos, a medida que el receptor

se aleja del punto de disparo, la onda tendrá un mayor recorrido y el tiempo de llegada será mayor, por lo tanto los registros mas lejanos pertenecen a las fronteras más profundas.

De lo anterior se deduce que la ecuación de la onda de refracción (2) corresponde a la de una recta y se expresa:

$$t = \frac{x}{V_2} + \frac{2h\sqrt{V_2^2 - V_1^2}}{V_2 V_1} \quad (2)$$

Donde:

- T : Tiempo de llegada de la onda refractada
- V_1 y V_2 : Velocidad de la capa 1 y capa 2 respectivamente
- x : Distancia del receptor
- h : Profundidad de la interfase refractada

La velocidad de una capa se determina por la pendiente de un tramo rectilíneo del hodógrafo de refracción, tal como se muestra en la **Figura 27**.

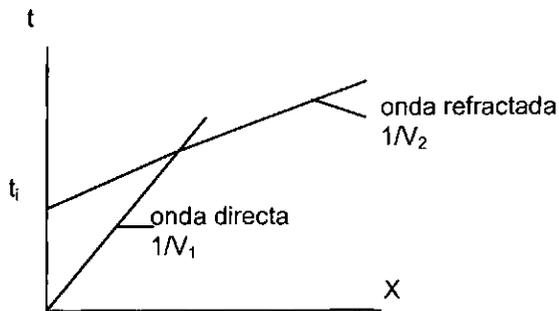


Figura 27. Hodógrafo de onda directa y refractada.

Al conocer los valores de las velocidades de las ondas P y S (V_p y V_s), se pueden determinar las propiedades elásticas de las diferentes rocas de las capas detectadas. Estas propiedades se calculan definiendo la velocidad V_p y V_s en función del coeficiente Poisson y del módulo de Young, como se expresa en las ecuaciones (3) y (3A), y de la relación de velocidades V_p y V_s , como se muestra en la ecuación (4), para obtener posteriormente las ecuaciones (5), (6) y (7), las cuales estiman las propiedades elásticas de los materiales en función de V_p y V_s (Oguilbi A, 1990; Savich A, 1990).

$$V_p = \sqrt{\frac{E(1-\gamma)}{\delta(1+\gamma)(1-2\gamma)}} \quad (3)$$

$$V_s = \sqrt{\frac{E}{2\delta(1+\gamma)}} \quad (3A)$$



Entonces tendremos:

$$\frac{V_p}{V_s} = \sqrt{\frac{2(1-\gamma)}{1-2\gamma}} \quad (4)$$

$$\gamma = \frac{V_p^2 - 2V_s^2}{2(V_p^2 - V_s^2)} \quad (5)$$

$$E = \delta V_s^2 \left(\frac{3V_p^2 - 4V_s^2}{V_p^2 - V_s^2} \right) \quad (6)$$

$$G = \frac{E}{2(1+\gamma)} = \delta V_s^2 \quad (7)$$

Donde :

- E : Módulo de Young
- γ : Coeficiente Poisson
- G : Módulo de rigidez o cizallamiento
- δ : Densidad del material

Los coeficientes de Poisson y los módulos de Young y de rigidez se calcularon a partir de las ecuaciones (5), (6) y (7) respectivamente. Como las propiedades elásticas de los materiales dependen no solamente de la velocidad V_p y V_s , sino también de la densidad, para el cálculo de éstas propiedades se utilizaron valores relativos de densidad, así: de 1,82 g/cm³ para los depósitos y abanicos aluviales, de 2,0 g/cm³ para depósitos de llanuras aluviales, 2,2 g/cm³ para los flujos de Terrón Colorado, 2,3 g/cm³ para la Formación Jamundí, 2,5 g/cm³ para la Formación Guachinte y 2,8 g/cm³ para las rocas volcánicas.

3.3.3. Metodología

El proceso metodológico empleado en la obtención de las interpretaciones de las líneas sísmicas de refracción se presenta en la **Figura 28**.

Diseño del estudio: Para la planificación de los levantamientos de refracción, el arreglo de geófonos y puntos de disparo está determinado por factores tales como el objetivo propio del trabajo, alcance en profundidad, geología de la zona, topografía del terreno y las facilidades del terreno para la adquisición, entre otros.

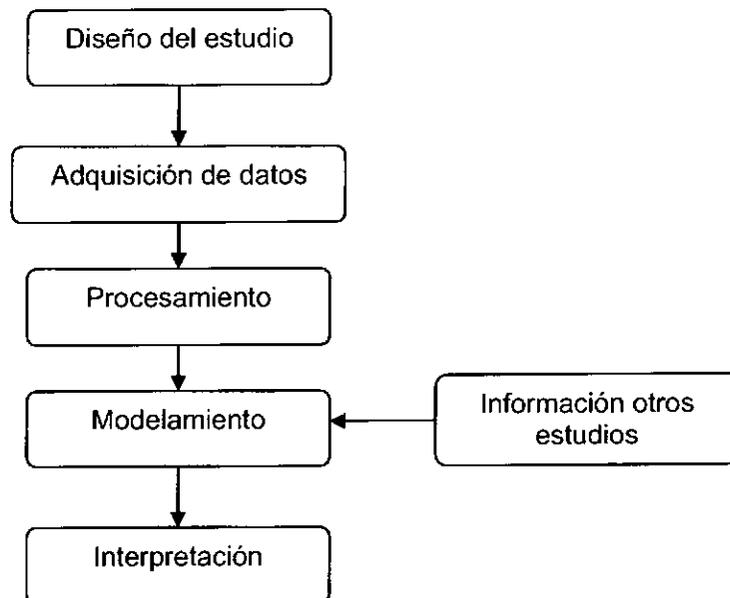


Figura 28. Metodología general para generar modelos con base en sísmica de refracción.

Adquisición de Datos: El equipo de adquisición se compone básicamente de una fuente de generación de ondas sísmicas, sensores de detección de movimiento y sistema de adquisición y almacenamiento

- *Fuente de generación de ondas.*

Las ondas que se utilizan en refracción son generadas por una perturbación artificial instantánea, que se conoce como impulso sísmico. Lo que se busca con éste es generar el tipo de ondas sísmicas (de volumen y superficiales), producidas por un único "evento" de duración "instantánea", para que no haya superposición de ondas (de diferentes eventos) en los movimientos del terreno detectados por los geófonos. Para esto se buscan fuentes de generación que se puedan controlar en términos del tiempo de inicio y localización. Existen tres tipos:

- Fuentes de impacto. Generalmente martillos o porras. Como la energía transmitida al suelo por este tipo de fuente no es muy grande, se apilan varias decenas de golpes para modelar mejor las llegadas y suprimir el ruido. También se utilizan otros medios mecánicos, por ejemplo dejando caer un gran peso de una altura de 2 a 3 metros. La energía asociada con cada uno de los golpes depende de la energía cinética (E) que relaciona la masa del martillo y la velocidad aplicada al martillo.

- Cargas explosivas. De mayor energía, son usadas especialmente para prospección petrolera. La explosión puede ocurrir en un tiempo de micro a milisegundos, dependiendo de la naturaleza y cantidad del explosivo, y del material que rodea el sitio de explosión.



- Disparos. Se utilizan balas o cartuchos de fogeo. La energía es mayor que la generada por martillo.

- *Detección de los movimientos del terreno.*

A través de geófonos de componente vertical o horizontal (para ondas P y ondas S respectivamente), el movimiento del terreno es observado en diferentes puntos a lo largo del tendido de refracción. Actualmente, se usan 12, 24 ó 48 geófonos que se escogen de acuerdo al objetivo del trabajo y la capacidad del equipo.

- *Adquisición y almacenamiento.*

Las partes que componen el equipo de adquisición y almacenamiento son:

- Unidad de apilamiento y digitalización. Corresponde a la unidad donde se adquiere, digitaliza y procesan los datos. Tiene puertos especializados para recibir las señales enviadas por los geófonos; a cada geófono le corresponde un canal y sus señales son filtradas y digitalizadas de acuerdo con las opciones definidas por el usuario.

- Cables sísmicos. Comúnmente se usan dos cables para conectar en cada uno la mitad de los geófonos. Cada cable contiene a su vez cableado para llevar la señal de cada geófono a la unidad de adquisición; cada uno de estos se llama canal.

- "Trigger". Cable conectado apropiadamente a la fuente sísmica, de tal manera que en el instante en que se golpea el suelo con el martillo o cuando la carga explosiva es detonada, el sistema de registro empieza a grabar.

Procesamiento, modelamiento e interpretación: El procesamiento de los datos de refracción se inicia con la determinación de los tiempos de llegada de la primera onda en la sección sísmica. Se puede realizar a través del papel de impresión de las ondas registradas o a través de software especializado. A partir de esta información, se construyen las curvas de tiempo – distancia que son la base para la interpretación. Como técnicas comunes de interpretación se usan los denominados método de frente de onda (wavefront method), tiempo de retardo (delay times), método de más-menos (plus-minus method), entre otros.

3.3.4 Adquisición de datos de refracción sísmica

Se seleccionaron 21 sitios para las mediciones en el área de la Ciudad de Cali (**Figura 29**), basados en criterios geológicos, ubicación de las perforaciones, zonificación geotécnica y limitaciones como ruidos generados por el entorno, infraestructura y otros. Las líneas de medición, geometría de los disparos y cargas usadas se presentan en el Anexo 8.

La metodología empleada para la adquisición de datos sísmicos fue la de perfil contra perfil. Para la adquisición de los datos de refracción se utilizó un sismógrafo digital marca OYO, modelo McSeis 160MX de 24 canales (**Figura 30**). Los datos de campo se registraron con una longitud de tiempo de registro de 125, 250 y 500 milisegundos, con intervalo de muestreo de 2, 5 y 10 milisegundos, respectivamente.



Figura 30. Equipo de refracción sísmica OYO McSeis 160MX.

En la **Figura 31** se muestra la distribución generalizada de los puntos de disparo (SP) y de los geófonos (R), la cual corresponde a la metodología del perfil contra perfil, utilizada en la adquisición de las 21 líneas sísmicas.

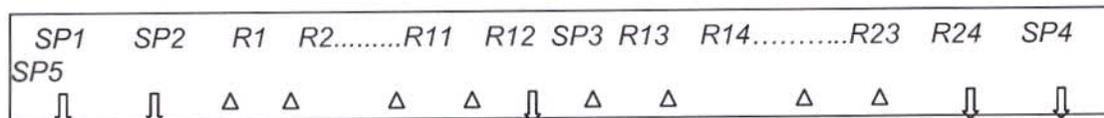


Figura 31. Arreglo general de tendido de geófonos.

Los receptores sísmicos son los geófonos que se utilizan para detectar las oscilaciones del terreno. Estas oscilaciones se producen al regresar las ondas reflejadas, refractadas o de otro tipo que se forman en el subsuelo, a la superficie del terreno. El receptor sísmico transforma la energía mecánica de las oscilaciones del subsuelo en energía eléctrica.

En el presente estudio se usaron geófonos verticales para el registro de la onda P y geófonos horizontales para el registro de la onda S. Estos geófonos se diferencian en la disposición de las bobinas. En el primero la bobina tiene un sentido vertical, lo cual lo hace más sensible a las ondas que llegan en sentido vertical. En el segundo la bobina tiene una orientación horizontal, siendo más sensible a las ondas transversales, además éste geófono tiene un nivel en la parte superior, con el fin de que la bobina quede paralela a la superficie del terreno y así minimice la sensibilidad a las ondas longitudinales. Se utilizaron cuatro tipos de separación entre geófonos, de acuerdo al área disponible en cada sitio, siendo las distancias utilizadas de 8, 10, 15 y 20 m, para una longitud de tendido de geófonos de 184 a 460 m (Anexo 8).



La onda sísmica fue generada con explosivos marca sismigel, activados con un detonador eléctrico Birkford, lo cual garantiza un tiempo de retardo cero entre la detonación y el tiempo de registro de la onda sísmica. Para la sincronización de la explosión con el registro de la onda generada se utilizó un geófono de pozo. El Anexo 9 presenta algunos de los aspectos más relevantes del equipo y de los sitios de levantamiento.

3.3.5 Procesamiento de los datos de refracción sísmica

Los datos sísmicos fueron procesados con los programas Seisrefra de la OYO Corporation y el programa SIPX de la Rimrock Geophysical Survey, el cual consta de cuatro módulos, SIPIK, SIPIN, SIPT2 y SIPEDT. El algoritmo que utiliza el programa SIPT2 se basa en el método de procesamiento denominado "tiempos de retardo" (Sheriff y Geldart, 1984).

El procesamiento incluyó los siguientes pasos:

- Selección del tiempo de primeros arribos de la onda registrada con el programa Seisrefra. Con estos datos se generan archivos con extensión .TIM.
- Con los tiempos de los primeros arribos (archivos .TIM), la elevación topográfica de los geófonos y la de los puntos de disparo, la distancia entre geófonos, la profundidad de carga y el offset (distancia entre el punto de disparo y el geófono más cercano) se crea un archivo con extensión .SIP, el cual se lee en el programa SIPIN. A partir de estos datos se obtiene un hodógrafo (curva tiempo - distancia), el cual tiene como mínimo dos ramas de inclinación y con base en los cambios de pendiente se define el número de capas detectadas. Con estos datos se genera el archivo .SIP final, para ser ingresados al programa de procesamiento SIPT2.
- Procesamiento de las curvas tiempo-distancia. Se realiza mediante el programa SIPT2, el cual arroja un modelo matemático de la profundidad de tope y el valor de velocidad para cada interfase detectada, de acuerdo con el número de capas definidas en el programa SIPIN. El resultado de este modelo matemático se almacena en un archivo tipo .TXT.
- Edición y revisión de los datos. Se realiza mediante el programa SIPEDT, el cual edita el archivo con extensión .SIP, para posteriormente ser reprocesados con el programa SIPT2, lo cual permite también visualizar los hodógrafos y/o dromocronas de los cinco disparos realizados tanto para la onda S como para la onda P. Este procedimiento se realiza cuantas veces sea necesario hasta lograr un resultado satisfactorio y que se ajuste a las condiciones geofísicas y geológicas del área de estudio.

Del resultado obtenido en el procesamiento de los datos sísmicos, se obtuvo la profundidad de las diferentes interfaces refractadas y el valor de la velocidad V_p y V_s correspondiente a cada capa. La profundidad de tope calculada para las diferentes interfaces se consiguió a través del procesamiento de los datos de velocidad de las ondas P y S, esta profundidad se visualiza debajo de cada geófono a lo largo de la línea sísmica.



3.3.6 Interpretación de datos de refracción sísmica

Con base en los resultados del procesamiento de datos de refracción sísmica y con la información adicional de geología, geoelectrónica y registros de perforación y pozos, se elaboró para cada una de las líneas un perfil sísmico (Anexo 10), el cual ilustra la profundidad de las diferentes interfases refractadas; en estos perfiles se introdujo el valor de la velocidad de la onda longitudinal y transversal para cada capa con nomenclatura V1P, V2P, V3P, V1S, V2S y V3S. El número indica la capa a la cual pertenece la velocidad y la letra corresponde al tipo de onda, P (longitudinal) y S (Transversal). También se colocó la nomenclatura de las unidades geológicas con las cuales se ha correlacionado el modelo de velocidades.

En los perfiles sísmicos de las líneas 13 y 17, entre otras, se observan irregularidades en cuanto a los espesores de la interfase 2, lo anterior puede estar relacionado con el régimen de sedimentación durante el Cuaternario, en ambientes lagunares para las facies de tendencia arcillosa y aluviales para las facies de tendencia areno-gravosa, situación propia para el valle del río Cauca en el sector de Cali.

Los resultados del procesamiento, modelamiento e interpretación de los datos de refracción sísmica adquiridos para ondas P y S, tienen una correlación aceptable con las unidades geológicas establecidas por el Proyecto MZSCali. La correlación litológica se generaliza de acuerdo con el número de refractores obtenidos (Anexo 11). En la Tabla 3 se presentan los rangos de velocidades tanto para la onda S como para la onda P discriminados por unidades geológicas.

De acuerdo con los resultados obtenidos, los valores de velocidades para onda S en la mayoría de las líneas medidas en las formaciones aluviales, presentan valores más altos que los establecidos en los reportes de los estándares internacionales para medios homogéneos, así como de los resultados de los ensayos Down Hole realizados en los sitios de perforación del Proyecto MZSCali (ver informe No.4, Subproyecto de Geotecnia, Proyecto MZSCali, 2005). Lo anterior puede estar relacionado con la complejidad y heterogeneidad de la relación arcilla-materiales granulares con alto grado de saturación (en medios granulares con alto grado de saturación y complejidad litológica por eventos superpuestos, no existen condiciones favorables para la propagación de la onda S, Liajovski et. al., 1989).

Existen algunos otros factores que dependiendo del sitio de muestreo pueden hacer que los valores de las velocidades varíen de una media aceptada. Por ejemplo, para dos capas (Capa1 Superior y Capa2 Inferior) es necesario que $V_2 > V_1$ para que exista ángulo crítico y se pueda producir el fenómeno de refracción crítica, así las primeras llegadas detectadas en la superficie del terreno contienen información sobre las características y profundidad a las que se encuentra el segundo estrato. Para el caso de estudio no siempre existe tal condición, ya que hay estratos que observados en los ensayos de Down Hole no son detectados con éste método. Otro factor a considerar son los cambios laterales de la propagación del sonido en las capas superficiales, lo que afecta todas las estimaciones de los parámetros de velocidad y profundidad.



Tabla 3. Síntesis de las velocidades V_p y V_s obtenidas por refracción sísmica con su respectiva unidad geológica y correlación litológica.

V_p , m/s	V_s , m/s	Unidad	Correlación Litológica
450-825	450-660	Qab1	Suelos limo-arcillosos, cantos, clastos en matriz limo-arenosa seca.
900-1100	740-850	Qab2	Suelo limo-arcilloso, arcillas, limos arenosos parcialmente saturados.
1150-1375	950-1114	Qab3	Suelo orgánico, gravas y arenas parcialmente saturadas a saturadas.
1575-1900	1292-1720	Qal1	Materiales de gravas, arenas de diferente tamaño de granos saturados con agua y en menor proporción lentes arcillosos y limo arcillosos.
2150-2660	1940-2250	Qal2	Arcillas semi-compactas, limos arcillosos, limos arenosos con ocasionales niveles arenosos saturados.
785-1020	650-810	Qlc	Suelos limo-arcillosos, limos arenosos y arenas de parcialmente saturadas a saturadas.
470-650	420-575	TQj1	Suelos rojizos limosos secos con ocasionales vestigios de clastos alterados, matriz arenosa seca.
2000-2100	1650-1920	TQj2	Depósitos de gravas y cantos no consolidados mal seleccionados de basaltos, cherts, conglomerados, areniscas y otras rocas con matriz limo-arenosa parcialmente saturada.
2300-2600	1985-2175	TQj3	Depósitos de gravas y cantos no consolidados mal seleccionados de basaltos, cherts, conglomerados, areniscas y otras rocas con matriz limo-arcillosa.
1900	1585	Tog1	Predominio de intercalaciones de areniscas secas, alteradas y fracturadas sobre arcillolitas.
2700-2740	2250-3170	Tog2	Intercalaciones de arcillolitas y areniscas saturadas, alteradas y fracturadas.
3240-3900	2625	Tog3	Intercalaciones de arcillolitas y areniscas sanas.
710-800	640-675	Qfv	Depósitos fluvio torrenciales clasto soportados con aporte volcánico compuestos por bloques, cantos y gravas en matriz limo-arcillosa húmeda.
800	700	Kva1	Suelo residual y diabasas alteradas secas.
1800	1400-1500	Kva2	Diabasas alteradas y fracturadas con permeabilidad secundaria.
3800	2350	Kvf	Diabasas fracturadas secas.
3900-3950	2800-3500	Kv1	Diabasas sanas con poco fracturamiento.
4400-4450	4100-4120	Kv2	Diabasas Sanas.



CAPITULO 4

TRABAJOS GEOFÍSICOS COMPLEMENTARIOS

Se presentan a continuación los trabajos complementarios de prospección geofísica realizados según los requerimientos del Proyecto MZSCali. Algunos de estos fueron realizados en el sector de Navarro y otros en sectores específicos con el objetivo de ayudar a comprender procesos sismotectónicos en el Valle del Cauca.

4.1 INTRODUCCIÓN

A lo largo del proyecto fue necesario llevar a cabo trabajos geofísicos en diferentes zonas de la ciudad de Cali con el objeto de:

- Generar modelos geofísicos bidimensionales y tridimensionales del área de Navarro al sureste de la ciudad.
- Obtener modelos bidimensionales en las áreas que comprende desde el abanico de Pance hasta la llanura aluvial en el sector de Navarro al sur de Cali; al norte de la ciudad en el sector de Menga; y en la zona de La Ruiza, en el municipio de Pradera, Valle.

En el sector de Navarro, INGEOMINAS adelantó una serie de investigaciones geofísicas entre las cuales se ejecutaron trabajos de gravimetría, magnetometría, sondeos eléctricos verticales, ensayos de sismica de reflexión y sismica de refracción, así como ensayos electromagnéticos (INGEOMINAS, 2003).

En los sectores de Pance, Menga y La Ruiza se adelantaron perfiles gravimétricos y magnéticos acompañados de sondeos eléctricos verticales, buscando modelar posibles evidencias en el subsuelo que permitieran sustentar la existencia de ciertas fallas y sus características geométricas.

A continuación presentamos los aspectos fundamentales y las conclusiones más relevantes en dichos sitios de estudio.

4.2 ESTUDIOS GEOFÍSICOS EN EL SECTOR DE NAVARRO, CALI

En general, este estudio comprendió métodos potenciales (gravimetría y magnetometría), métodos resistivos (sondeos eléctricos verticales, tomografías y electromagnetismo), sismica de reflexión y sismica de refracción, a partir de las mediciones tomadas en campo, procesamiento e interpretación.

4.2.1 Gravimetría y magnetometría

Como estudios geofísicos de índole regional, es decir con una profundidad de investigación en kilómetros y un cubrimiento del sector en estudio, se llevaron a cabo trabajos de gravimetría y magnetometría, que incluyeron una etapa de campo de un mes



aproximadamente, una etapa de procesamiento y la parte final de análisis e interpretación de los datos y generación de los modelos.

4.2.1.1. Hipótesis de trabajo

Con un intervalo de muestreo de 200 m en un área de 6 km² aproximadamente, se pudo obtener para el sector de Navarro un modelo de techo de basamento geológico, determinado por las diferencias de densidad y susceptibilidad magnética, principalmente entre rocas sedimentarias terciarias y rocas de la Formación Volcánica del Grupo Diafásico, es decir, el límite entre la cuenca sedimentaria (sedimentos del cuaternario y rocas sedimentarias terciarias) y el basamento geológico (Grupo Diabásico).

4.2.1.2 Trabajo de campo

Para la toma de datos gravimétricos fue usado el gravímetro digital Scintrex CG-3 de propiedad de INGEOMINAS, el cual tiene una resolución de 0.01 mGal y un rango dinámico de 7000 mGal. Las estaciones se ubicaron por los carretables y senderos del sector (sector de caña y plantaciones de sorgo) con espaciamiento de 200 m. Se levantaron 134 estaciones, una de las cuales se ubicó en la finca La Esperanza que sirvió de base de cierre gravimétrico. El valor de la estación gravimétrica de la Base Aérea Marco Fidel Suarez le fue trasladado a ésta base temporal.

Los datos magnéticos fueron adquiridos con dos magnetómetros modelos MP4 y ENVI de Scintrex de propiedad de INGEOMINAS, el primero utilizado como base y el segundo como estación móvil. Los puntos de muestreo fueron los mismos que para gravimetría.

4.2.1.3 Procesamiento, análisis e interpretación de anomalías

El procesamiento de la información fue hecho también con el software Oasis Montaj de Geosoft, descrito anteriormente. Para el análisis e interpretación gravimétrica y magnética, se realizan procedimientos que fueron descritos anteriormente. Cabe precisar para el caso de la magnetometría, que por ser un método potencial en general el procedimiento metodológico es el mismo, aunque se llevan a cabo correcciones propias del método (variaciones diurnas e IGRF) y análisis a partir de los mapas de anomalías magnéticas regionales y residuales reducidas al Ecuador.

A partir de la construcción de la base de datos con la información de campo, se procede a realizar las correcciones gravimétricas y magnéticas pertinentes, y a partir de la anomalía de Bouguer Total, y con método de grillado de mínima curvatura se obtienen los mapas básicos para el análisis de las anomalías gravimétricas.

De acuerdo a los resultados presentados para esta zona (INGEOMINAS, 2003), el mapa de campo gravimétrico regional muestra una tendencia SW-NE de las anomalías que representa el tren de las estructuras geológicas en la región con decrecimiento en el valor de la gravedad hacia el este. De igual manera, el Mapa de campo magnético regional reducido al Ecuador (INGEOMINAS, 2003) muestra una tendencia SW-NE de las anomalías que representa el tren de las estructuras geológicas en la región.

4.2.1.4 Discusión de resultados

Con base en los mapas de anomalía gravimétrica regional y anomalía regional de la intensidad total del campo magnético reducido al Ecuador, se elaboraron perfiles representativos generando así modelos bidimensionales que presentan la geometría y profundidad del basamento geológico (**Figura 32**).

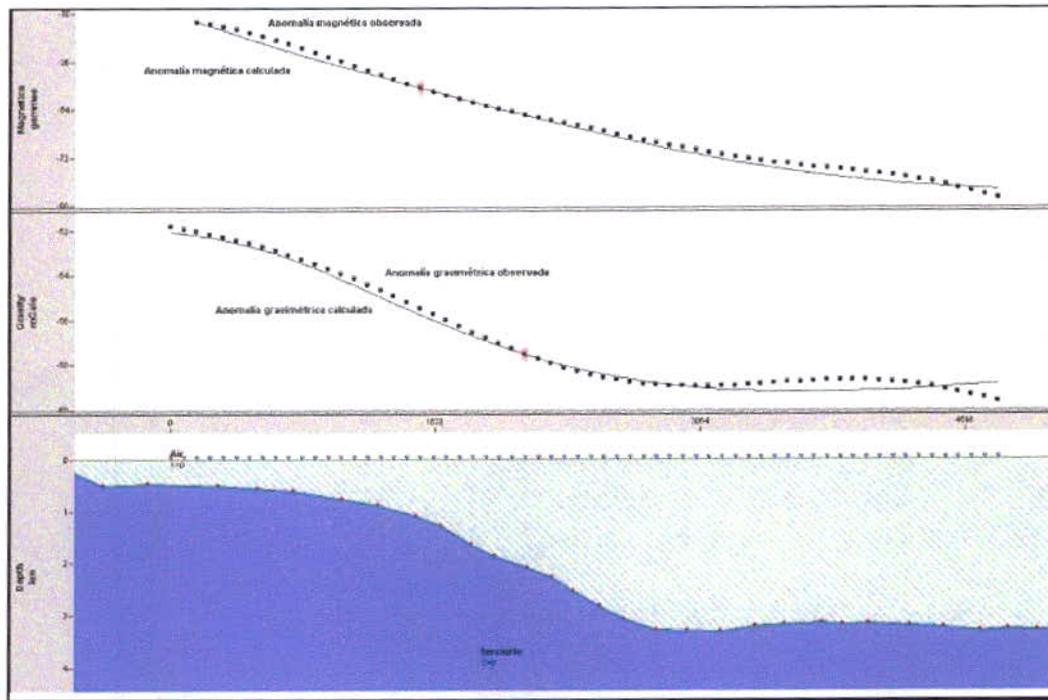


Figura 32. Perfil gravimétrico en el Sector de Navarro.

El modelo propuesto corresponde a un sector de la cuenca del Valle del Cauca, con un alto de basamento a una profundidad de 562 m, con pendiente negativa en dirección sureste. En el sector de estudio la parte más profunda se encontró a 3739 m. Como se ha explicado anteriormente, la interpretación resulta de encontrar un modelo geométrico que haga que la curva de gravedad teórica sea lo más aproximada a la calculada. Por lo tanto, muchos modelos pueden corresponder a esta situación. Entre más información geológica y geofísica sustente la interpretación será más próxima al modelo real.

4.2.2 Resistividad eléctrica

Para el estudio del subsuelo de las capas más superficiales se utilizaron los métodos de resistividad eléctrica. El objeto de utilizar este método es determinar las características, espesores y contrastes litológicos de los materiales presentes en el subsuelo en el sector de Navarro. Con estos parámetros se elaboraron modelos bidimensionales básicos para la caracterización geotécnica del sector.



4.2.2.1 Trabajo de campo

Se utilizaron las técnicas del Sondeo Eléctrico Vertical (SEV) para la medición en 79 sitios, del Sondeo Electromagnético (SEM) para la medición en 34 sitios y del Dipolo- Dipolo o Perfilaje Eléctrico Vertical (PEH) para una línea de 450 m.

En la adquisición de datos tanto para la medición de SEV como PEH se utilizó un equipo digital de resistividad eléctrica marca Oyo McOhm 2115A de propiedad de INGEOMINAS, con una unidad adicional de potencia tipo Booster de fabricación Japonesa; el arreglo de electrodos utilizado para los SEV fue de tipo Schlumberger con abertura entre 1,5 y 900 m de electrodos de corriente AB/2; para el PEH se utilizó una distancia constante entre electrodos de 10 m. Para la adquisición de datos de resistividad mediante la técnica del SEM, se utilizó un equipo marca Sirotem de propiedad de INGEOMINAS de fabricación Australiana.

4.2.2.2. Procesamiento de datos

El procesamiento de datos de los SEV se llevó a cabo con la ayuda del programa Resixp, el cual se basa en la metodología de "aproximaciones sucesivas". El procesamiento de los datos de resistividad de la línea Dipolo-Dipolo se hizo con ayuda del programa Res2Dinv, el cual mediante la solución del problema inverso permite cuantificar pseudosecciones de resistividad aparente y profundidad verdadera.

4.2.2.3 Análisis y discusión de resultados

De acuerdo a los resultados obtenidos cualitativamente (**Figura 33**) es posible considerar diferentes zonas resistivas:

- **Zona de resistividad 1**

Es la zona de resistividad más superficial, predomina hacia los sectores NW y SE del sector en estudio, se hace presente en los dos perfiles geoelectricos y se caracteriza por tener valores bajos de resistividad entre los 1,8 y 19,3 Ohm-m, con espesores entre 0,3 y 15 m. Litológicamente constituye arcillas blandas plásticas para el rango de resistividad más bajo, y arcillas limo-arenosas para el más alto.

- **Zona de resistividad 2**

Esta zona se hace superficial hacia la parte media del sector investigado, formando una franja de antiguos paleocauces del río Cauca en sentido noreste, con valores de resistividad entre 21,2 y 456,9 Ohm-m, con espesores entre 28 y 83 m. Litológicamente constituye depósitos no consolidados de arenas limosas para las resistividades más bajas del rango, mientras que gravas y arenas de diferente granulometría para los valores de resistividad más altos.

Esta zona por su alta saturación conforma un acuífero de libre a semi - confinado o Unidad A de los acuíferos del Valle del Cauca. Adicionalmente, en esta zona se presentan niveles limo-arcillosos lenticulares de poco espesor no cartografiables con geoelectrica, pero

reportados en las descripciones litológicas de los pozos para aguas subterráneas y perforaciones realizadas por el proyecto.

- **Zona de resistividad 3**

Zona con resistividades entre 2 y 19,9 Ohm-m y espesores no determinados. Litológicamente es correlacionable con una monótona secuencia de arcillas medianamente plásticas con los valores más bajos de resistividad, y de arcillas limo-arenosas para los más altos. Dentro de esta unidad geoelectrónica ocurren niveles lenticulares de gravas y arenas no detectables, pero reportadas en las descripciones litológicas de los pozos para aguas subterráneas y perforaciones realizadas por el proyecto.

Geológicamente las tres zonas de resistividad descritas anteriormente son correlacionables con Depósitos Aluviales (Qal) no consolidados de origen fluvio-lacustre del Valle del río Cauca.

- **Línea PEH con arreglo dipolo-dipolo**

Con el propósito de conocer superficialmente en detalle la relación arcilla-arena, se midió una línea de PEH (Figura 34) con un azimut de 185° y ubicada al sur del sector de Navarro en la Finca Milán. En la línea se observa una escala de colores con una gama de tonalidades de colores azules oscuros hasta rojos violáceos. Los colores azules con resistividades entre 2 y 20 Ohm-m indican materiales de composición arcillosa a arcillo-limosa; las tonalidades verdosas, amarillentas y rojizas con resistividades entre 20 y 491 Ohm-m se correlacionan con arenas limosas, arenas y gravas saturadas, constituyendo la parte más superficial hasta aproximadamente 20 m de profundidad de acuífero de la unidad A.

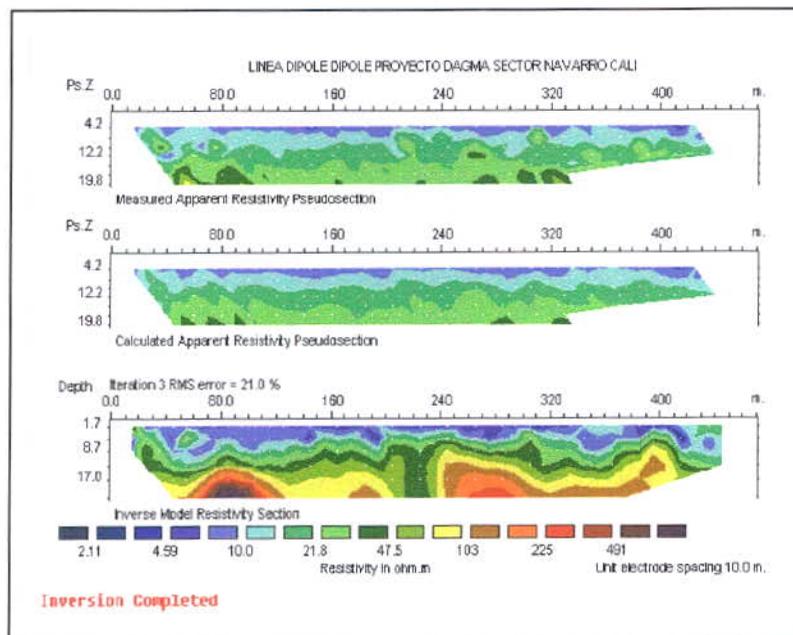


Figura 34. Línea PEH con arreglo dipolo-dipolo en el Sector de Navarro.

- **Modelo geofísico – geológico a partir de resistividad**

El procesamiento, interpretación y modelamiento de datos de resistividad en la modalidad de SEV, SEM y PEH medidos en el sector de Navarro, presentan una distribución de resistividades que concuerdan con las características litológicas de los Depósitos Aluviales (Qal) que bordean el río Cauca. En La **Tabla 4** se presenta un resumen de las zonas de resistividad con su correspondiente correlación litológica y espesores estimados.

Tabla 4. Rangos de resistividad y correlación litológica en el sector de Navarro.

Zona	Rango (Ohm-m)	Espesor (m)	Unidad Litológica	Correlación Litológica
1	1-20	1-15	Depósitos Aluviales (Qal)	Arcilla blanda plásticas, arcilla limosa y arcilla arenosa
2	21-500	28-83	Depósitos Aluviales (Qal)	Gravas y arenas de grano fino, medio y grueso, y gravas saturadas. Ocasionales niveles arcillo-limosos.
3	2-20	No Determinado	Depósitos Aluviales (Qal)	Arcilla, arena-arcillosa, limos de baja plasticidad. Eventuales niveles de gravas y arenas

4.2.3 Ensayos de sismica de reflexión

Los objetivos de realizar un ensayo de sismica de reflexión son el de identificar patrones geológicos, como la continuidad lateral de sedimentos y los espesores promedios de paquetes o unidades sísmicas que se encuentren localizados a poca profundidad, y reconocer las diferentes características de las reflexiones dentro de cada secuencia de datos y correlacionarlos con la geología del área, teniendo en cuenta la información obtenida de los sondeos eléctricos verticales. El término "poca profundidad" se refiere a profundidades de cientos de metros que puede variar de acuerdo a la fuente de energía utilizada.

La sismica 2D de reflexión somera comprende una primera fase de adquisición de información en campo, una segunda de procesamiento y una tercera de análisis e interpretación.

4.2.3.1 Trabajo de campo

Se realizó la adquisición de 1 km de información sísmica, dividida en dos partes. La primera utiliza 12 geófonos de 14Hz separados cada 4 m, aprovechando la energía de los 250 gr de sismogel utilizado en los ensayos de refracción; la segunda utiliza una fuente de energía de percusión de 8 Kg y tres geófonos de 14 Hz, utilizando un offset constante de 35 metros. Tales mediciones fueron realizadas por el Geólogo J. M. Cediell.

Para los ensayos realizados con martillo la longitud de la línea fue de 546 m con puntos de adquisición cada 7 m, durante 1 segundo. El procesamiento dejó apreciar reflectores coherentes y continuos sobre toda la línea hasta los 560 milisegundos de tiempo doble.



4.2.3.2 Procesamiento e interpretación

Para el caso de la fuente de energía con sismogel, las **Figuras 35 y 36** presentan los disparos Nos.1 y 5 a 100 m del primer geófono por el lado sur en el primer caso, y a 300 m por el lado norte en el segundo. El primer disparo tiene un tiempo de adquisición de 1 segundo observándose tres reflectores principales y continuos. El segundo disparo tiene un tiempo de adquisición de 2,5 segundos, en el cual se presentan muchos más reflectores, por medio de los cuales se calcula la profundidad de esta interfase utilizando un solo dato de velocidad de 1600 m/s sobre el último reflector adquirido. Los datos del disparo No.5 (**Figura 36**) muestra un reflector continuo y coherente para obtener un resultado promedio a 820 m de profundidad, el cual se puede deber al cambio de impedancia por el contacto entre depósitos poco consolidados del Cuaternario y el techo de la Formación Guachinte de edad Terciaria. Esto es acorde con las interpretaciones de las líneas gravimétricas ejecutadas en la ciudad (ver numeral 3.1).

Se observa desde el punto de vista geofísico, en el caso de la sísmica levantada con martillo como fuente de energía, una primera interfase sobre los 250 milisegundos que se interpreta como el límite de la unidad sísmica No.1, con un contenido de frecuencias más alto que la unidad sísmica No.2 (**Figura 37**) que la subyace. Esta última presenta una serie de reflectores muy acentuados entre los 125 y 250 m del inicio de la línea, que pueden representar una intercalación de sedimentos de características mecánicas contrastantes. La unidad sísmica No.3 presenta truncaciones de los reflectores, que se pueden observar al inicio de la línea entre los 10 y 100 m a los 350 milisegundos. Las frecuencias más bajas dentro de esta línea de reflexión están en esta última unidad, lo que la hace diferente de las dos suprayacentes. En términos generales, estas unidades son el resultado de la depositación de sedimentos en ambientes fluviales o de corrientes confinadas que van cambiando con el transcurrir del tiempo. Desde el punto de vista geológico se pueden interpretar tres unidades sísmicas, así:

- Unidad Sísmica No.1: Presenta un espesor que va de los 200 a 220 milisegundos, por las características de sus reflectores y su velocidad de 1600m/s se interpreta que esta unidad esta compuesta principalmente por arenas saturadas, la morfología de los reflectores de alta frecuencia muestra algunos lentes posiblemente de arcilla muy delgados y de limitada continuidad lateral.

- Unidad Sísmica No.2: Infrayace concordantemente a la Unidad No.1 y suprayace la Unidad No.3, generando con esta una cicatriz de erosión o contacto erosivo, identificado por los reflectores truncados de la Unidad No.3. Presenta una serie de reflectores muy acentuados lo que hace pensar que los materiales que lo conforman pueden ser de características mecánicas contrastantes, como arcilla y arena, pero se estima que la cantidad de paquetes de arcilla supera a los de arena al inicio y en el medio de la unidad.

- Unidad Sísmica No.3: Se estima que esta unidad esta compuesta principalmente de arena. Se estima, teniendo en cuenta la forma de los reflectores de la parte superior hacia la parte inicial de la línea, que esta unidad fue erodada o expuesta antes de la depositación de la Unidad No.2.

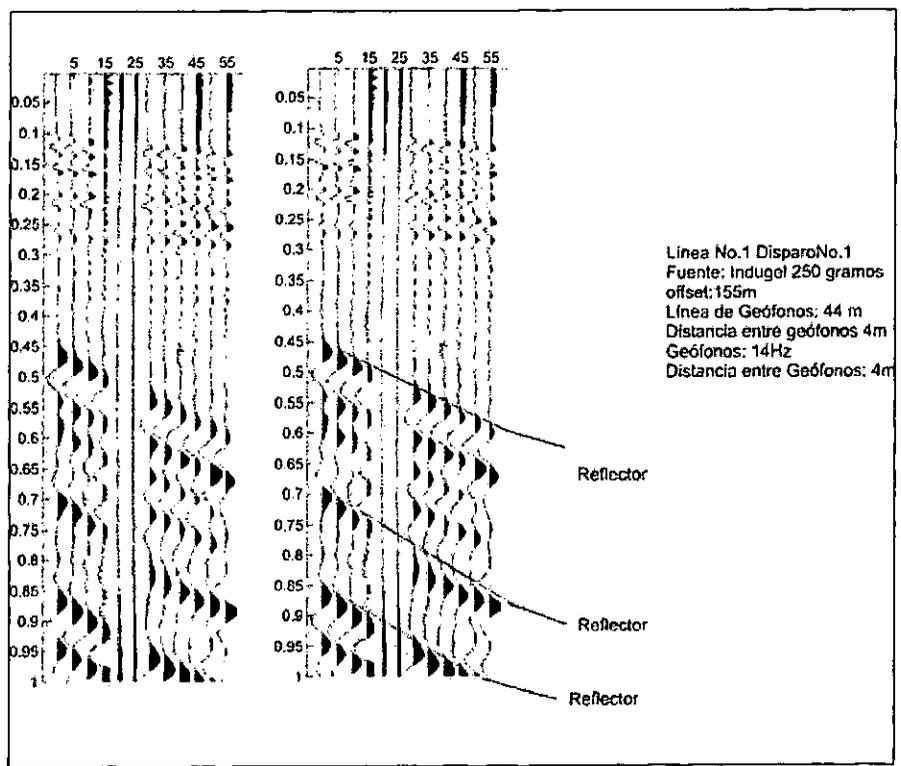


Figura 35. Sismograma del Disparo No.5 - Línea 1 de sísmica de reflexión en el Sector de Navarro.

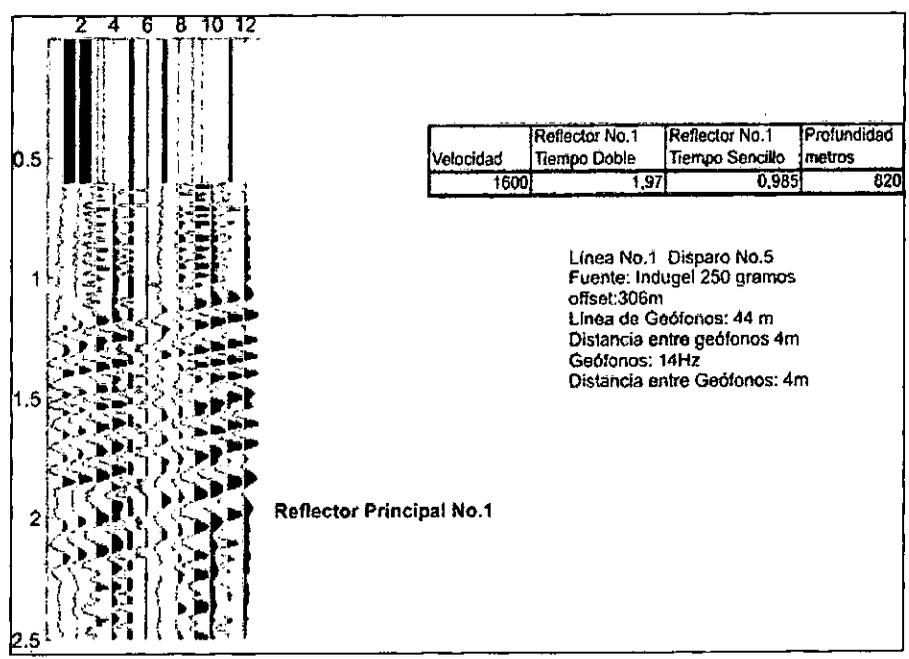


Figura 36. Sismograma del Disparo No.5 - Línea 1 de sísmica de reflexión en el Sector de Navarro.

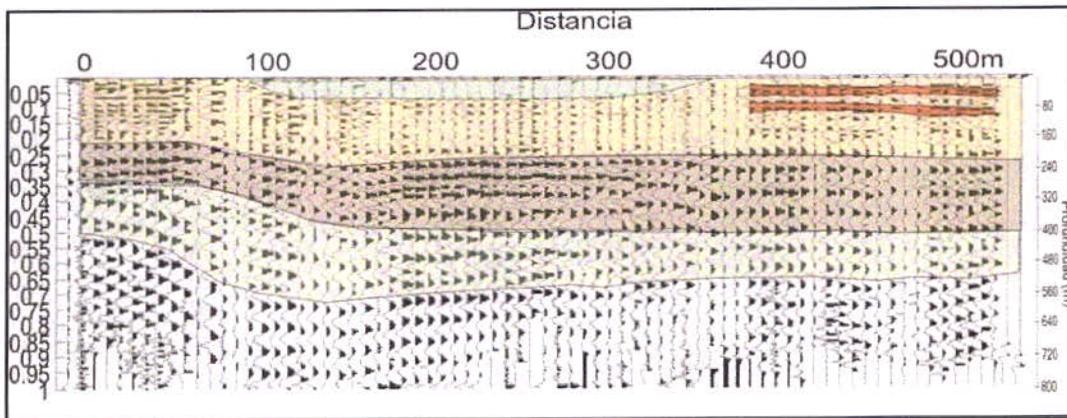


Figura 37. Modelo sísmico de reflexión del subsuelo en el Sector de Navarro.

4.2.4 Ensayos de sísmica de refracción

Por medio de este método se pretende determinar la velocidad de las ondas sísmicas V_p y V_s , así como la profundidad de las diferentes interfases de refracción que se detecten en el subsuelo, correlacionando los valores de velocidad de las ondas sísmicas con las unidades litológicas presentes en el sector.

4.2.4.1 Trabajo de campo

Para la adquisición de los datos de refracción sísmica se utilizó un sismógrafo digital marca OYO modelo McSeis 160MX de 24 canales. Los datos de campo se registraron con una longitud de tiempo de registro de 512 milisegundos, con intervalo de muestreo de 5 milisegundos. Tales mediciones fueron realizadas por la firma Asesorías Geofísicas de Colombia Ltda. En el presente estudio se usaron geófonos de 14 Hz, verticales para el registro de la onda P y horizontales para el registro de la onda S.

4.2.4.2 Procesamiento e interpretación de la información.

Los datos sísmicos fueron procesados con los programas Seisrefa de la OYO Corporation y el programa SIPX de la Rimrock Geophysical Survey. El algoritmo que utiliza el programa esta basado en el procesamiento denominado "tiempos de retardo".

Con base en los resultados del procesamiento de datos, se elaboró para cada una de las líneas un perfil sísmico en el cual se ilustra la profundidad y las velocidades de las diferentes interfases refractadas (Figuras 38 y 39). Los dos perfiles presentan valores de velocidad de propagación de ondas muy similares (ver Tabla 5).

La capa más profunda es correlacionable con arcilla con intercalaciones de gravas y arenas del Cuaternario, la profundidad de tope se detectó entre 40,5 a 62,95 m; la capa intermedia correlaciona con gravas y arenas saturadas de la Unidad A, con una profundidad de tope que oscila entre 2,25 a 7,85 m; y la capa superficial es correlacionable con suelo limo arcilloso húmedo.

Tabla 5. Correlación litológica con los parámetros de velocidad en el sector de Navarro.

Línea	V	Vp, m/s	Vs, m/s	Profundidad de Tope, m	Unidad	Correlación litológica
1	V1	750	450	-	Q	Suelo arcilloso húmedo.
	V2	1750	1225	2.25 a 6.95	Qal	Gravas y arenas saturadas (Unidad A.)
	V3	1950	1500	40.8 a 55.75	Qal	Arcillas con ocasionales lentes de gravas y arenas saturadas (Unidad B)
2	V1	780	430	-	Q	Suelo arcilloso húmedo.
	V2	1675	1100	2.85 a 7.85	Qal	Gravas y arenas saturadas (Unidad A)
	V3	1950	1500	40.5 a 62.95	Qal	Arcillas con ocasionales lentes de gravas y arenas saturadas (Unidad B)

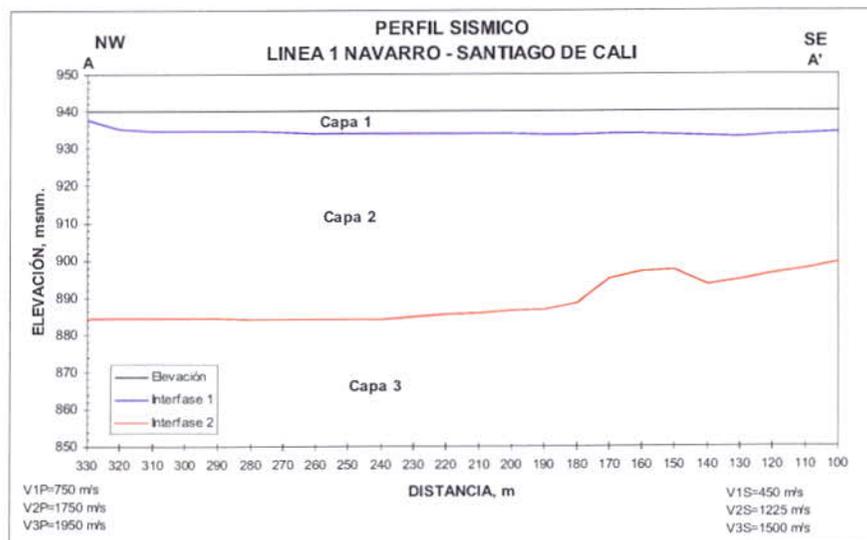


Figura 38. Perfil sísmico de la Línea 1 en el sector de Navarro, que esquematiza las capas o unidades sísmicas más superficiales en ese sector.

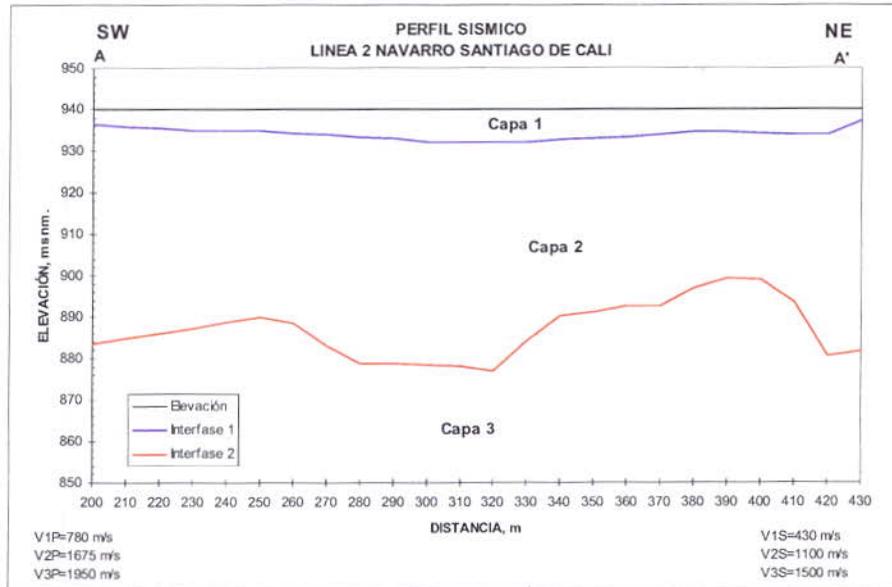


Figura 39. Perfil de refracción sísmica de la Línea 2 en el sector de Navarro. A diferencia del anterior perfil, la base de la capa 2 presenta varias ondulaciones.

4.3 ESTUDIOS GEOFÍSICOS EN LOS SECTORES DE PANCE Y MENGA

Complementario a los trabajos geofísicos hechos en la ciudad y con el fin de ayudar a resolver problemas estructurales y neotectónicos, se llevaron a cabo estudios de gravimetría, magnetometría y resistividad eléctrica en los sectores de Pance y Menga, al sur y norte de la ciudad respectivamente.

Desde el punto de vista estructural existen en superficie muy pocas evidencias de la existencia de fallas o rasgos neotectónicos que permitan delinear de una manera segura el trazo de dichas fallas. Conociendo que los contrastes de densidad entre el basamento cristalino, las formaciones terciarias y el cuaternario son bastante marcados al igual que la susceptibilidad magnética, se plantearon algunos perfiles geofísicos en estos dos sectores. Además y para observar cambios cerca de la superficie, se optó por levantar algunos perfiles geoelectrónicos basados en SEV y perfiles tipo dipolo - dipolo.

4.3.1 Trabajo de campo

Siguiendo la metodología de trabajo para métodos potenciales expuesta anteriormente, se tomaron observaciones de gravimetría y magnetometría en dos perfiles cada 20 m con longitudes totales de 500 y 1300 m, en el sector de Menga. El primer perfil denominado Menga se encuentra sobre la glorieta del sector y el segundo perfil se denomina Vivero y esta localizado 500 m más al norte del primer perfil, sobre la carretera Cali - Yumbo. En Pance, se realizó un perfil con observaciones cada 20 m sobre una longitud total de 1600 m. Igualmente, se realizaron observaciones cada 500 m aproximadamente, en diferentes

direcciones, con el objeto de construir una señal que cubriera total o parcialmente el cono de Pance. En las mismas áreas se realizaron los SEV separados entre sí 100 y 200 m.

4.3.2 Interpretación de resultados

De la información de SEV se pudo observar que el depósito cuaternario es más profundo en el sector de Pance que el encontrado en el sector de Menga. A partir de la interpretación de gravimetría y magnetimetría se observan cambios de inclinación en el basamento cristalino, siendo más irregular en el sector de Pance.

Las anomalías gravimétricas regionales en la zona del Abanico de Pance (**Figura 16**), están en un rango de -23 a -48 mGal. Su dirección de gradiente es noroeste - sureste. Igualmente se presentan cinco perfiles sobre los cuales se realizó modelamiento con el software GM-SYS.

Desde el punto de vista regional se encuentra que la geometría sugerida de la interpretación por métodos potenciales, es la siguiente:

Vivero: El perfil realizado tiene una longitud de 500 metros (**Figura 40**). Su punto inicial se ubica en el costado occidental de la cuenca del valle del Cauca, muy cerca al contacto entre la formación volcánica que conforma la parte superior del basamento cristalino y los depósitos cuaternarios de origen aluvial. Desde este punto, el basamento tiene un ángulo de inclinación de 25°, y luego presenta un cambio en esta inclinación a 35°. El depósito cuaternario inicia con un espesor de 10 m, y alcanza unos 30 m de espesor en su parte final.

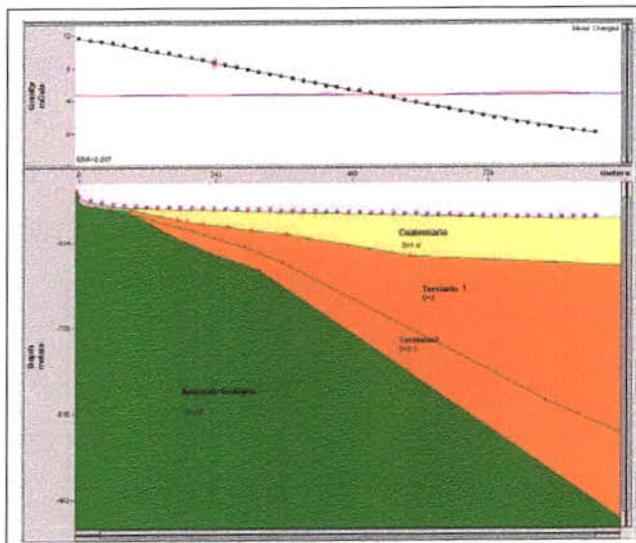


Figura 40. Perfil Gravimétrico en el sector de Vivero.

Menga: Al igual que el perfil anterior el punto inicial corresponde con afloramientos de la formación volcánica (**Figura 41**). Desde este punto la formación volcánica presenta una inclinación de 28°, luego cambia a 30° y en su parte final cambia a 45°, la longitud total de este perfil es de 920 m. Los depósitos cuaternarios inician con un espesor de 10 m, y terminan con aproximadamente 20 m de espesor.

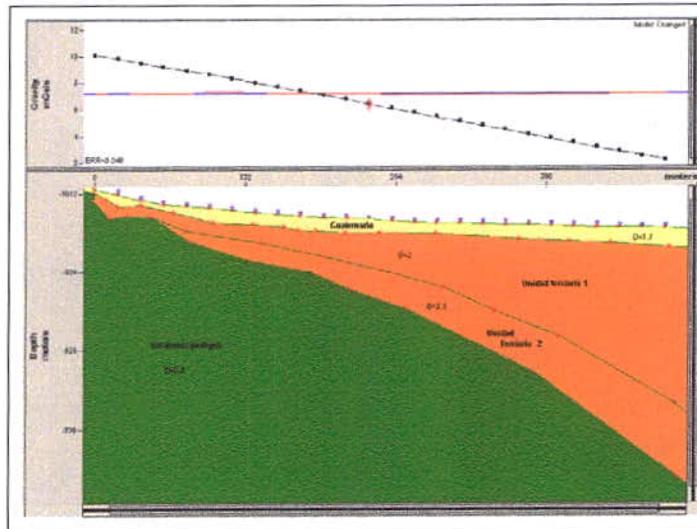


Figura 41. Perfil Gravimétrico en el sector de Menga.

Pance: Al igual que los perfiles anteriores, su punto inicial se ubica en la parte occidental de la cuenca del Valle del Cauca, por la vía que de La María conduce a La Vorágine (**Figura 42**). Igualmente presenta dos grandes zonas de inclinación, la parte inicial con una inclinación de 20° , y la parte final con 25° . En este perfil hay una zona intermedia que presenta cambios de pendiente de 43° a 20° y luego a 54° . La señal gravimétrica tomada para los alrededores del río Pance, sugiere que se da un cambio fuerte en la inclinación de la diabasa con una dirección de aproximadamente 5° noreste, efecto que se manifiesta en menor grado en los sedimentos. Las profundidades para diabasa, terciario y sedimentos cuaternarios son 2350 m, 1000 m y 390 m respectivamente.

La señal gravimétrica residual muestra un buen detalle de la profundidad de los sedimentos cuaternarios, donde los puntos de control de estas profundidades fueron tomados de los SEV. Así, los espesores encontrados, en metros, en las partes inicial, intermedia y final de los perfiles para los sedimentos cuaternarios fueron:

Perfil	Inicio	Intermedio	Final
Vivero	10	25	30
Menga	10	15	20
Pance	70	75	80

4.4 Estudios geofísicos en el sector de la Ruiza y la Buitrera, municipio de Pradera, Valle del Cauca

Dentro de las investigaciones sismotectónicas en el Valle del Cauca, se necesitó reconocer características estructurales que permitan definir ciertos parámetros como dirección, vergencia, tipo de falla, entre otros. Debido a que la zona no presenta muchos indicios en superficie, se optó por realizar perfiles geofísicos de resistividad eléctrica y magnetometría en las localidades de La Ruiza y La Buitrera en el municipio de Pradera.

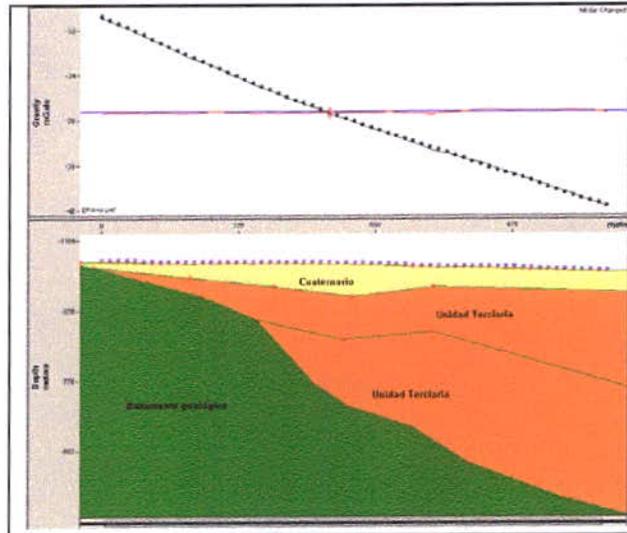


Figura 42. Perfil Gravimétrico en el sector de Pance.

4.4.1 Mediciones de resistividad

Con el fin de determinar contrastes de valores de resistividad para luego correlacionarlos con las características litológicas presentes, se midieron 9 SEV en La Ruiza y 5 SEV en la Buitrera (Figura 43).

4.4.1.1. Resultados obtenidos

El modelamiento e interpretación de los datos de resistividad permitió elaborar dos perfiles geoelectricos en sentido E-W; un perfil A-A' (La Buitrera) por los centros de medición de los SEV 117, 118, 120, 121 y 122, el otro B-B' (La Ruiza) por los centros de medición de los SEV 109, 110, 111, 112, 113, 114, 115, 116 y 119 (Figura 44). Para efectos de correlación con la geología y la litología los datos de resistividad se agrupan en 6 zonas de resistividad (Tabla 7).

Para efectos de corroboración de estructuras geológicas como posibles fallas cercanas a la superficie, la densidad del SEV fue baja en particular sobre la Formación Vilela (Tpv) en proximidades con la roca volcánica, debido a limitaciones de orden topográfico para la aplicación de la técnica de resistividad. No obstante, bajo los centros de medición de los SEV 120 y 121 del perfil A-A' La Buitrera se observa una discontinuidad geoelectrica entre las zonas de resistividad 5 y 6, lo cual infiere posible presencia de una falla geológica entre estas dos unidades litológicas

4.4.1.2 Mediciones de magnetometría

Sobre el sector de La Ruiza y en sentido este – oeste se levantó un perfil magnético utilizando los equipos mencionados para las campañas anteriores. La base se ubicó a 1 km



al occidente de la zona de trabajo. El sector de La Ruiza se desarrolló con un perfil de aproximadamente 7,8 km con 31 estaciones. Se hizo traslado de coordenadas geodésicas desde el punto CIAT en Palmira, traslado gravimétrico con cinco circuitos desde la ciudad de Cali, y 5 puntos de la Red Nacional de Nivelación para la determinación del geode en esta zona.

Tabla 6. Correlación de la resistividad con la litología en el sector de La Buitrera y La Ruiza, municipio de Pradera, Valle del Cauca.

No Zona	Rango (Ohm.m)	Espesor (m)	Unidad Litológica	Características Litológicas
1	7-5217	15-40	Depósitos de Abanicos Aluviales Secos (Qaa)	Bloques y clastos subangulares soportados en matriz arenosa seca para los valores altos de resistividad y arcillas limosas para el valor bajo de resistividad.
2	10-34	50-260	Depósitos de Abanicos Aluviales Húmedos (Qaa)	Bloques y clastos subangulares en matriz lodosa-limo-arenosa parcialmente saturada.
3	9-13	25-60	Depósitos aluviales arcillosos (Qal)	Arcillas predominando con ocasionales lentes arenosos.
4	17-120	30-350	Depósitos Aluviales Arenosos (Qal)	Arenas de diferente granulometría y gravas saturadas predominando sobre niveles menores arcillosos.
5	11-102	Mayor de 250	Formación Vilela (Tpv)	Intercalaciones de areniscas y conglomerados para los valores altos de resistividad y arcillolitas para los bajos.
6	136-5899	No determinado	Roca Volcánica (Kv)	Diabasas sanas para los valores altos de resistividad y diabasas alteradas y fracturadas para los valores de tendencia baja.

Con el fin de establecer un modelo geológico – geofísico en el perfil mencionado, se procesó la información capturada. La **Figura 45** muestra el modelo magnético en La Ruiza, en donde las mayores susceptibilidades magnéticas se asocian a rocas del Jurásico de afinidad oceánica de la formación Amaime, con una cobertura somera de sedimentos terciarios no muy potentes, relleno de una colina aislada y cuaternarios poco magnetizados, siendo más profundos hacia el valle. Por los valores de susceptibilidad, no existe un claro contraste entre los depósitos Terciarios y Cuaternarios, por lo que no es clara la continuación de los depósitos del Terciario hacia el oeste (en dirección al centro del Valle). De acuerdo a este esquema, solamente en la parte más occidental se presenta una inclinación del basamento que puede ser asociado a un trazo de falla.

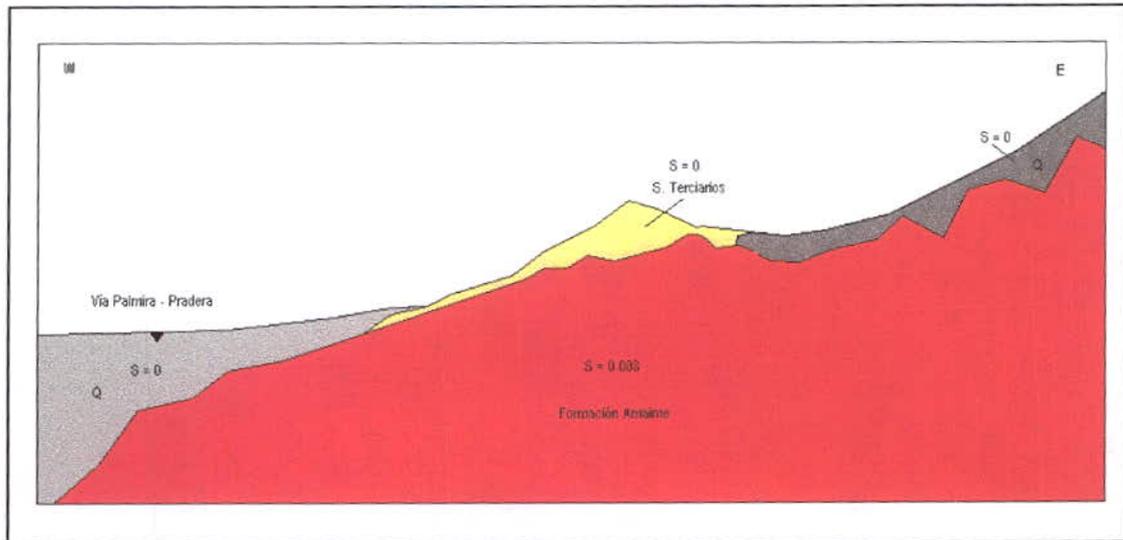


Figura 45. Perfil esquemático geológico – geofísico a partir de datos magnéticos en el sector de la Ruiza, municipio de Pradera, Valle del Cauca. S = susceptibilidad magnética del depósito (modificado de Quintero, 2004).



CAPITULO 5

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La caracterización geofísica del subsuelo con fines de microzonificación sísmica se realizó a diferentes escalas que ayudaron tanto a la generación de modelos geológicos regionales y sismotectónicos, como a la generación de modelos geológicos locales y cuantificaciones de parámetros físicos básicos para los análisis sismogeotécnicos.

Los resultados plasmados en los diferentes mapas y modelos gravimétricos y sísmicos, además de los perfiles geoeléctricos y ensayos de refracción permitieron tener una visión general del subsuelo en la ciudad de Cali. Se aclara que por ser la gravimetría y la sísmica unas herramientas geofísicas levantadas a escala menor que la geoeléctrica y la refracción, no hubo una superposición total de los resultados y por lo tanto una integración efectiva de estos métodos.

Los modelos gravimétricos se interpretan en términos de cientos de metros de profundidad hasta algunos kilómetros, mientras que los geoeléctricos y sísmicos de refracción en decenas de metros a cientos de metros. Los modelos gravimétricos se basan en el valor de densidad de las diferentes rocas presentes y su relación geométrica, así que para cada densidad y forma geométrica planteada se puede tener un modelo particular y los valores de profundidad pueden variar hasta una centena de metros. Esta ambigüedad puede disminuir si se tienen valores de densidad conocidos a través de perforaciones, pozos y/o otros ensayos geofísicos.

En general, en los modelos gravimétricos se aprecia disminución en el valor de la anomalía de occidente a oriente. En el mapa regional es muy constante el cambio, lo que quiere decir que el nivel de basamento geológico se profundiza uniformemente en toda el área de la ciudad. Adicional a este cambio, el mapa residual muestra sectores de la ciudad donde las anomalías se curvan indicando aportes de sedimentos superficiales, originados en las cuencas de los ríos que llegan de la cordillera y/o pequeñas estructuras que hacen que se originen estas anomalías. Hacia la parte central de la ciudad en sentido occidente – oriente, el basamento geológico así como las unidades terciarias se flexionan profundizando la cuenca con una mayor inclinación (p. e. **Figura 18**).

La interpretación y modelamiento de los datos de resistividad tanto de SEV como de las líneas de TE, son correlacionables con las unidades geológicas consolidadas y no consolidadas reportadas en la cartografía geológica del Proyecto MZSCali. En los perfiles geoeléctricos y en la **Tabla 2** se presenta una correlación de 9 zonas de resistividad, asociadas con las características litológicas de las diferentes unidades geológicas aflorantes.

Se hace la salvedad de que la técnica geofísica de resistividad eléctrica, como método indirecto de exploración puede tener un margen de error en un rango de 10-15%, con limitantes, al igual que todos los métodos geofísicos, como las equivalencias (una misma curva de resistividad puede tener varias interpretaciones) y la supresión de capas con la



profundidad, entre otros. Se deduce la necesidad de disponer de información adicional como registros eléctricos de pozos y/o perforaciones para calibrar los modelos geoelectricos.

También se debe tener en cuenta que para materiales sedimentarios consolidados y no consolidados, una capa litológica nunca es equivalente a una capa geoelectrica, ya que la segunda se considera como una capa con un marcado predominio de una composición litológica dada. Por lo anterior, en la zona plana y piedemonte de la ciudad de Cali, hay dificultad de establecer los límites de Inter-digitación en profundidad entre los contactos de los abanicos aluviales recientes (Qaa) con los depósitos aluviales (Qal), máxime cuando la correlación geoelectrica es con la característica litológica del material y no con la supuesta edad del sedimento.

El concepto de unidades superficiales se tuvo en cuenta parcialmente, debido a que la resolución del método permitió llegar a profundidades superiores a los 300 m, tal es el caso de los SEV medidos en el sector del rio Pance.

La sísmica de refracción se interpretó con base en la cartografía geológica establecida por el Proyecto MZSCali y tuvo en cuenta los resultados geoelectricos para el modelamiento. En cada uno de los perfiles se describe la relación geométrica, así como las profundidades de las diferentes unidades geológicas. Estas unidades se han dividido informalmente para poder explicar los cambios de velocidades más notorios en profundidad. Los factores principales que influyen en el cambio de velocidad en una misma unidad son el nivel freático, la compactación y las fracturas.

Los métodos empleados para el análisis geofísico regional, gravimetría y sísmica de reflexión, permitieron en conjunto obtener un modelo adecuado de la cuenca del valle del Cauca, profundidad de basamento, profundidad de sedimentos no consolidados, fallas y estilos estructurales.

En la investigación del subsuelo de la ciudad de Cali el uso de varias herramientas geofísicas permitió obtener un modelo tanto de la parte superficial como profunda bajo la ciudad. Con la sísmica de refracción y los métodos resistivos se modelaron diferentes capas del Cuaternario y Terciario, y la profundidad del techo del basamento hacia la parte occidental de la ciudad. A partir de la gravimetría se calculó la profundidad de basamento y el espesor de las Formaciones Terciarias y el Cuaternario.

La aplicación de métodos geofísicos en la ciudad de Cali se facilitó en gran medida por la existencia de grandes zonas verdes, sin embargo en algunos sectores de la ciudad la densidad de datos de campo es menor, como es el caso en el centro y el área poblada de los cerros occidentales.

Los datos recolectados tanto en gravimetría como sísmica de refracción y resistividad, son una base fundamental para generar a futuro modelos más amplios y detallados del valle del Cauca y la ciudad de Cali. Es recomendable densificar los datos gravimétricos hacia la cordillera occidental y hacia el norte de la ciudad.

Se sugiere considerar la realización de ensayos como Ground Penetrating Radar y sísmica de reflexión de poca profundidad, con el fin de optimizar y complementar el modelo del subsuelo en los primeros cientos de metros de profundidad.



BIBLIOGRAFIA

Barrero D. y Laverde F., 1998. Estudio integral de evaluación de la geología y potencial de hidrocarburos de la cuenca "intramontana" Cauca – Patía. Ilex Ltda. ECOPETROL.

Bermúdez A., Garzón M., Evans R., y Aucota J., 1985. Estudio gravimétrico del valle del río Cauca, Departamento del Valle. Informe 1944, INGEOMINAS. Bogotá

Dobrin M. B., 1988 Introduction to geophysical prospecting. McGraw Hill, New York

ECOPETROL, Geotec Ltda. y Robertson Research. 1998. Seismic Atlas of Colombia. Seismic expressions of structural styles in the basin of Colombia

Hinze W., 1997. The role of gravity and magnetic methods in engineering and environmental studies. In: Geotechnical and Environmental Geophysics edited by Ward Stanley Society of Exploration Geophysics Vol 1

Liajovskii, F.M., Yachenko Z. G. 1989 Ingeniería Geofísica, editorial NEDRA, Moscú (en Ruso)

Meissner R., Fluh E., y Muckelmann R., 1980. Sobre las estructuras de los Andes septentrionales – Resultados de investigaciones geofísicas. En: Nuevos resultados de la investigación científica alemana en Latinoamérica. Editado por la Deutsche Forschungsgemeinschaft, Bonn, Alemania, p. 79-90

Mooney W., Meyer R., Laurence J., Meyer H. y Ramirez J., 1981 Estudio de refracción sísmica en la cordillera Occidental de Colombia. En: Investigaciones geofísicas sobre las estructuras Océano – Continentales del Occidente Colombiano. Instituto Geofísico Universidad Javeriana, Bogotá, p. 23 – 48

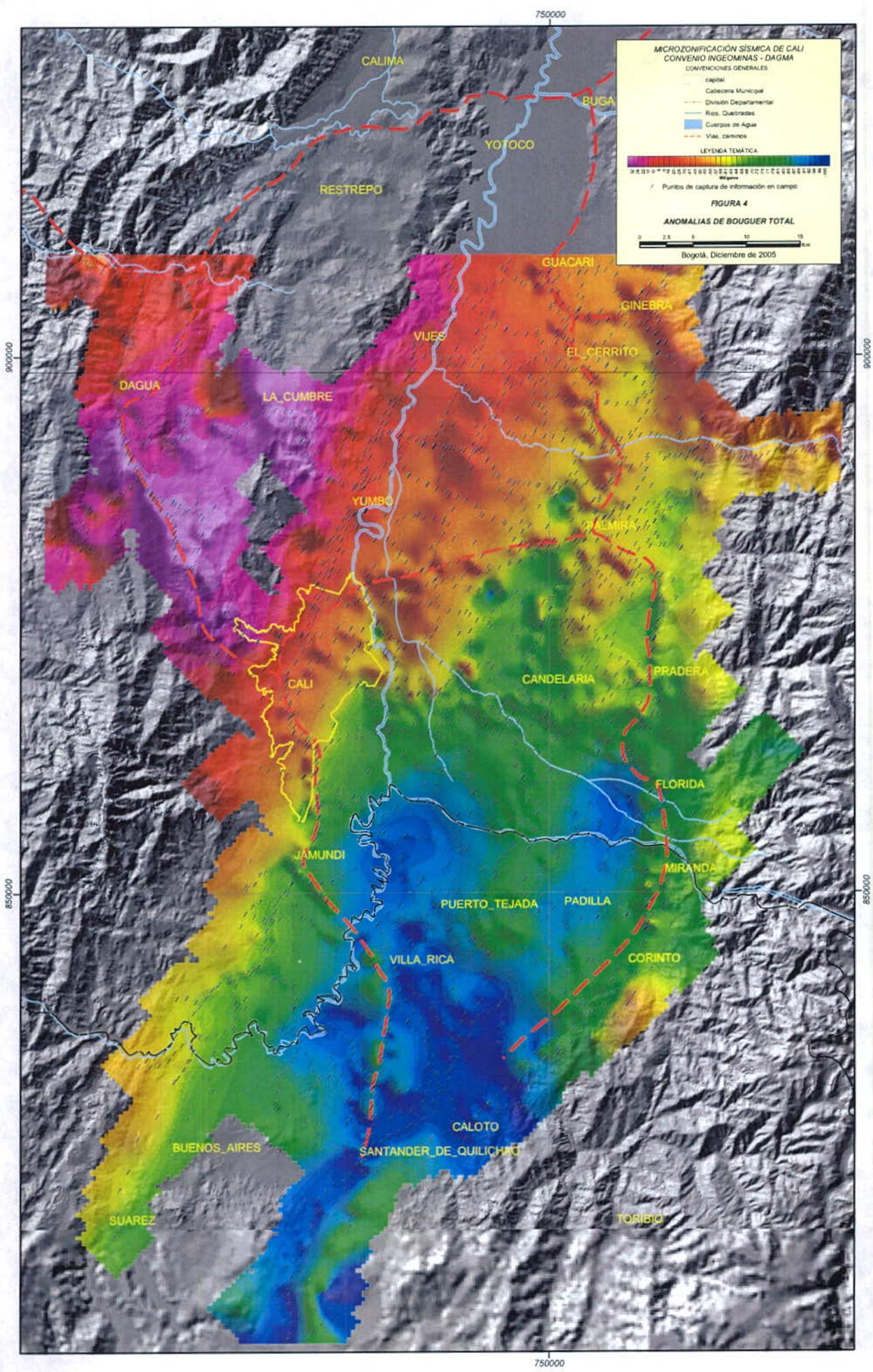
Muckelmann R. y Ramirez J., 1981 Investigaciones magnéticas en el Occidente de Colombia – Proyecto Nariño III. En: Investigaciones geofísicas sobre las estructuras Océano – Continentales del Occidente Colombiano. Instituto Geofísico Universidad Javeriana, Bogotá, p.63 – 82

Ogulbi A. A. 1990 Fundamentos de ingeniería geofísica, Editorial NEDRA Moscú (en Ruso)

Savich A. I. 1990 Investigaciones integradas de ingeniería geofísica en la construcción de obras hidrotécnicas, editorial NEDRA, Moscú (en Ruso).

Sheriff y Geldart 1984 Prospección sísmica, editorial NEDRA, Moscú (en Ruso).

Telford W. M., Geldart L. P., Sheriff R. E., and Keys D. A., 1993. Applied geophysics. Cambridge University Press, Cambridge.



MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA DE CALI
CONVENIO INGEOMINAS - DAGMA
 CONVENCIONES GENERALES

- capital
- Cabezera Municipal
- División Departamental
- Rios, Quebradas
- Cuerpos de Agua
- - - Vias, caminos

LEYENDA TEMÁTICA

7 Puntos de captura de información en campo

FIGURA 4

ANOMALIAS DE BOUGUER TOTAL

0 2.5 5 10 15 km

Bogotá, Diciembre de 2005

900000

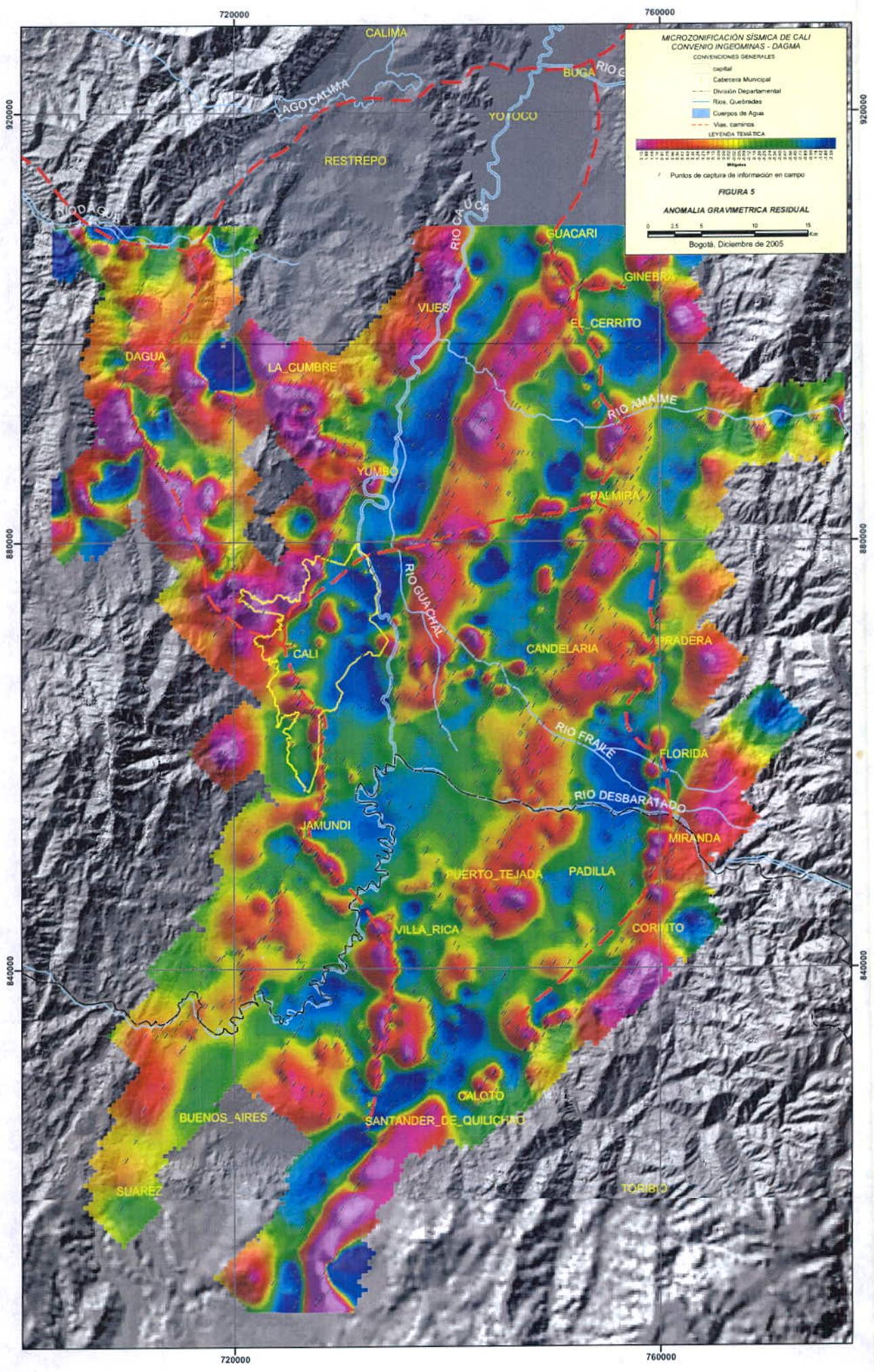
850000

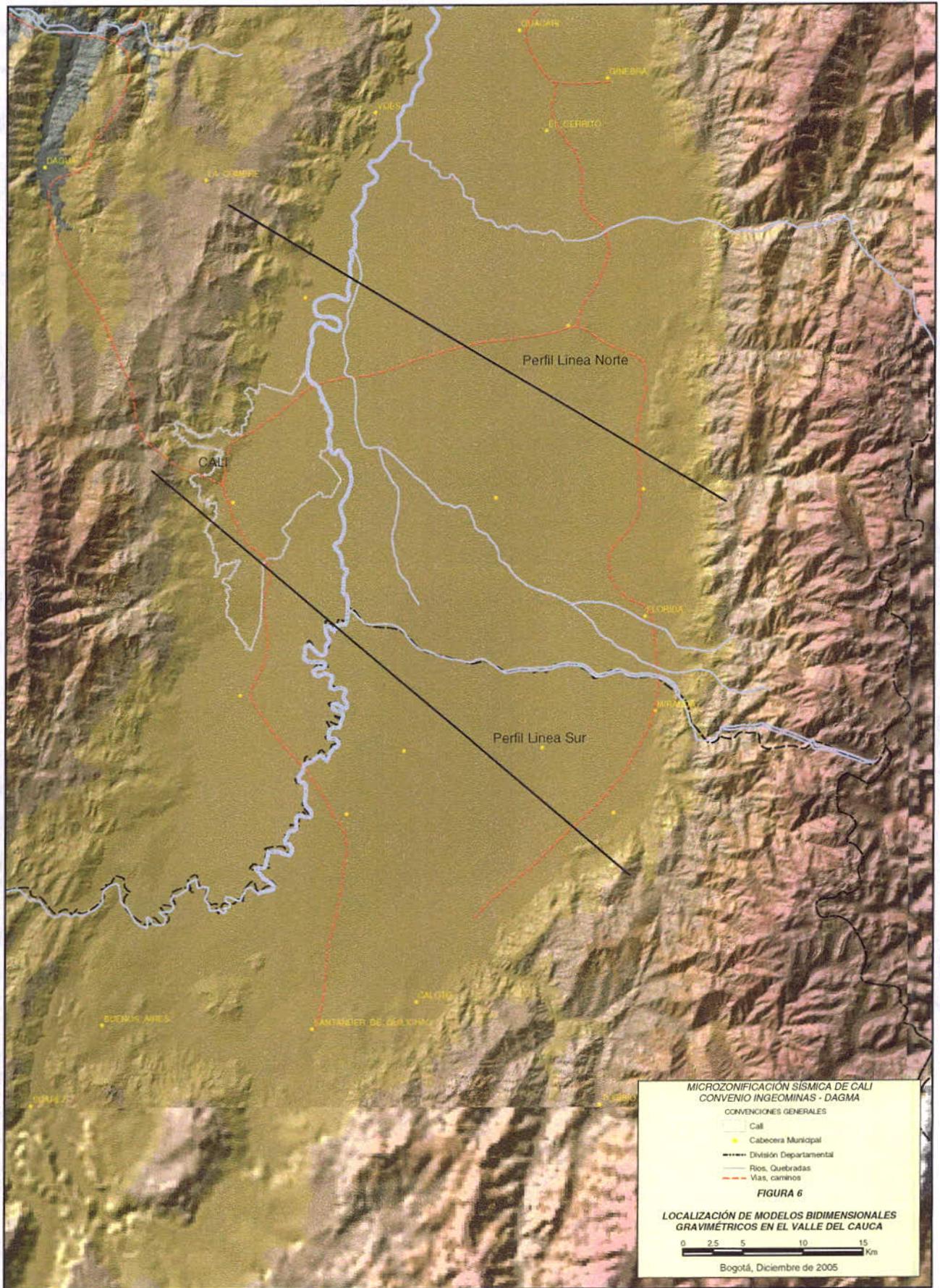
900000

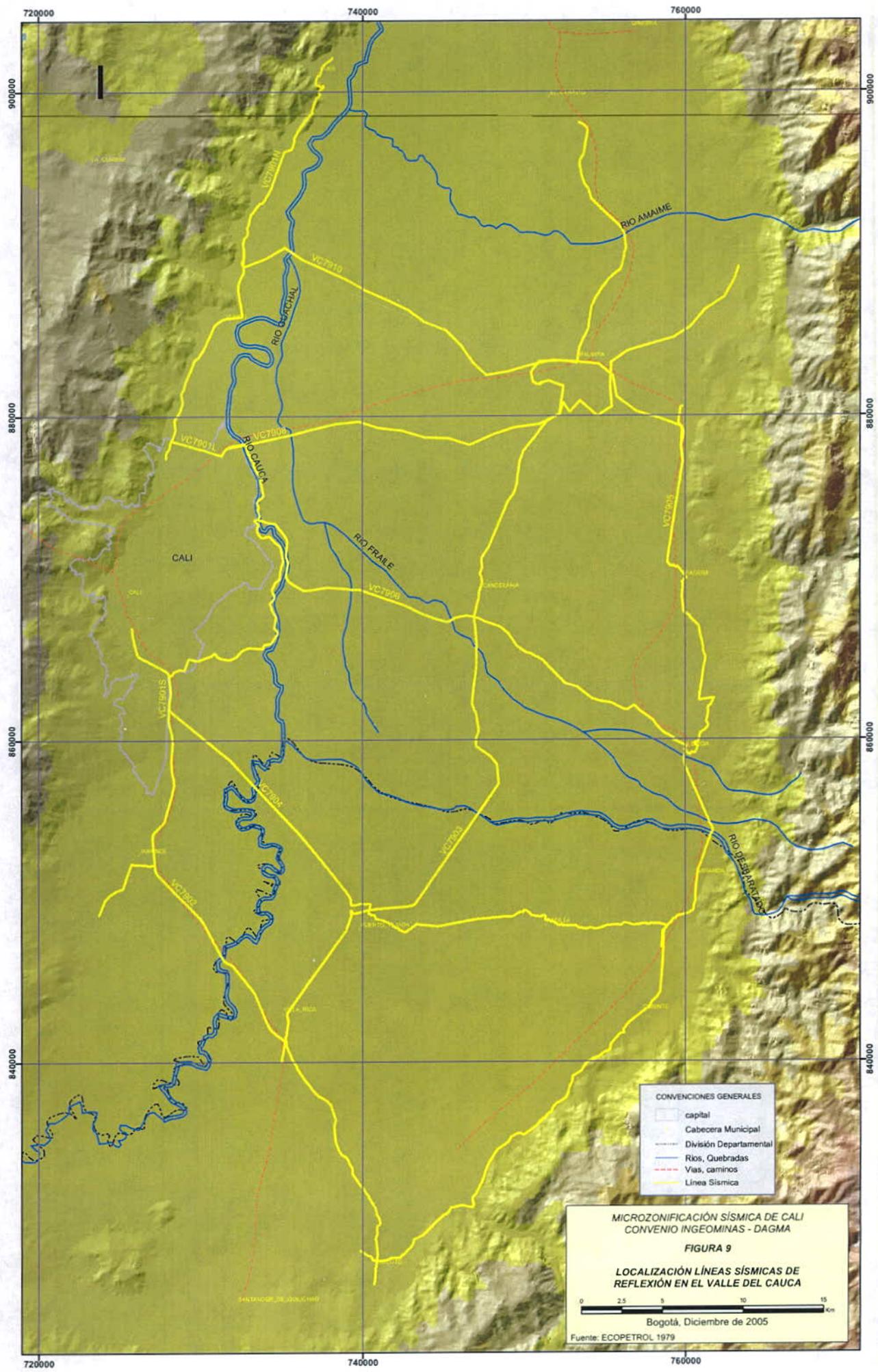
850000

750000

750000





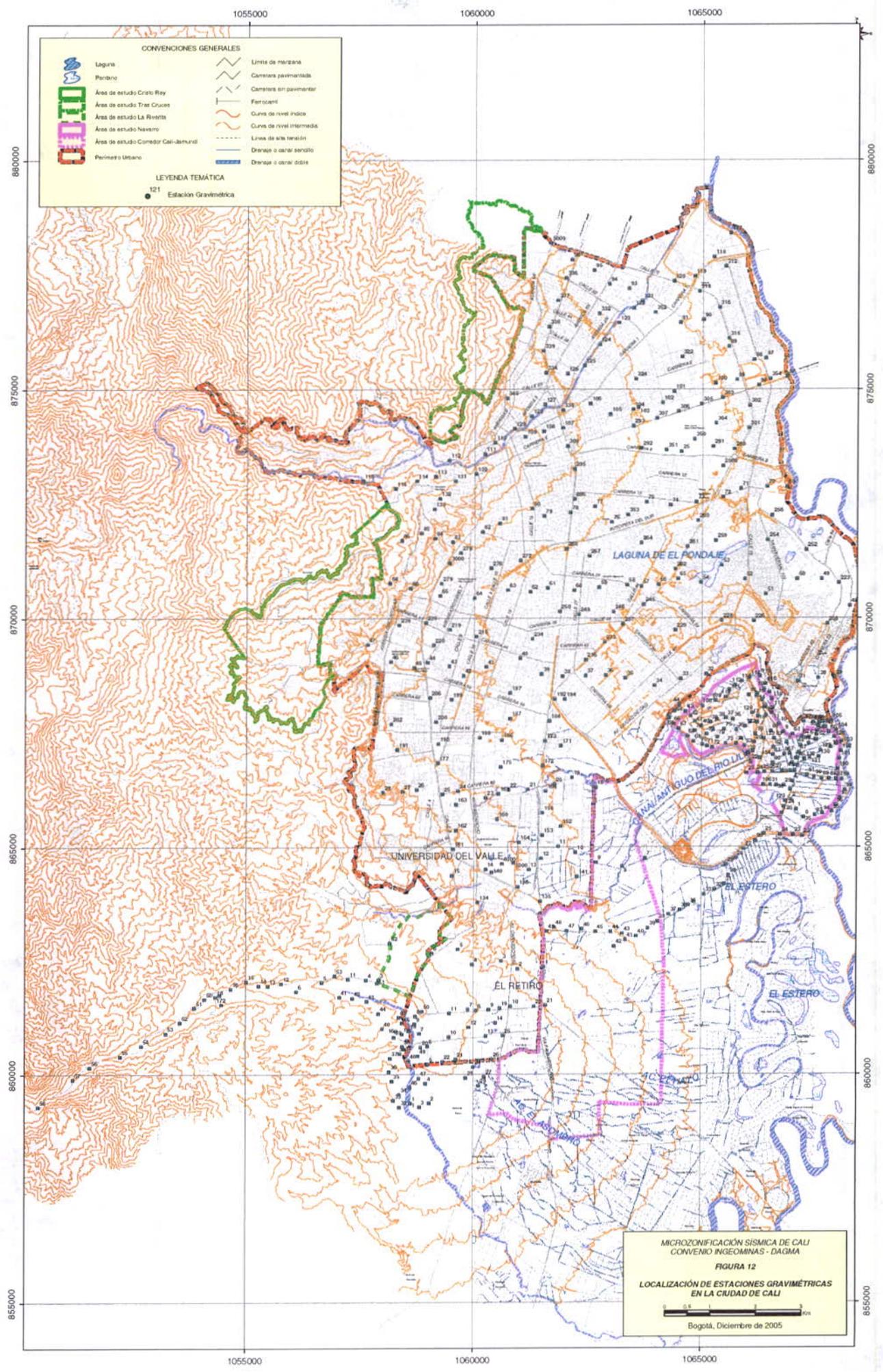


- CONVENCIONES GENERALES
- capital
 - Cabecera Municipal
 - División Departamental
 - Ríos, Quebradas
 - Vías, caminos
 - Línea Sísmica

MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA DE CALI
 CONVENIO INGEOMINAS - DAGMA
FIGURA 9
LOCALIZACIÓN LÍNEAS SÍSMICAS DE REFLEXIÓN EN EL VALLE DEL CAUCA

0 2.5 5 10 15 Km

Bogotá, Diciembre de 2005
 Fuente: ECOPETROL 1979



CONVENCIONES GENERALES

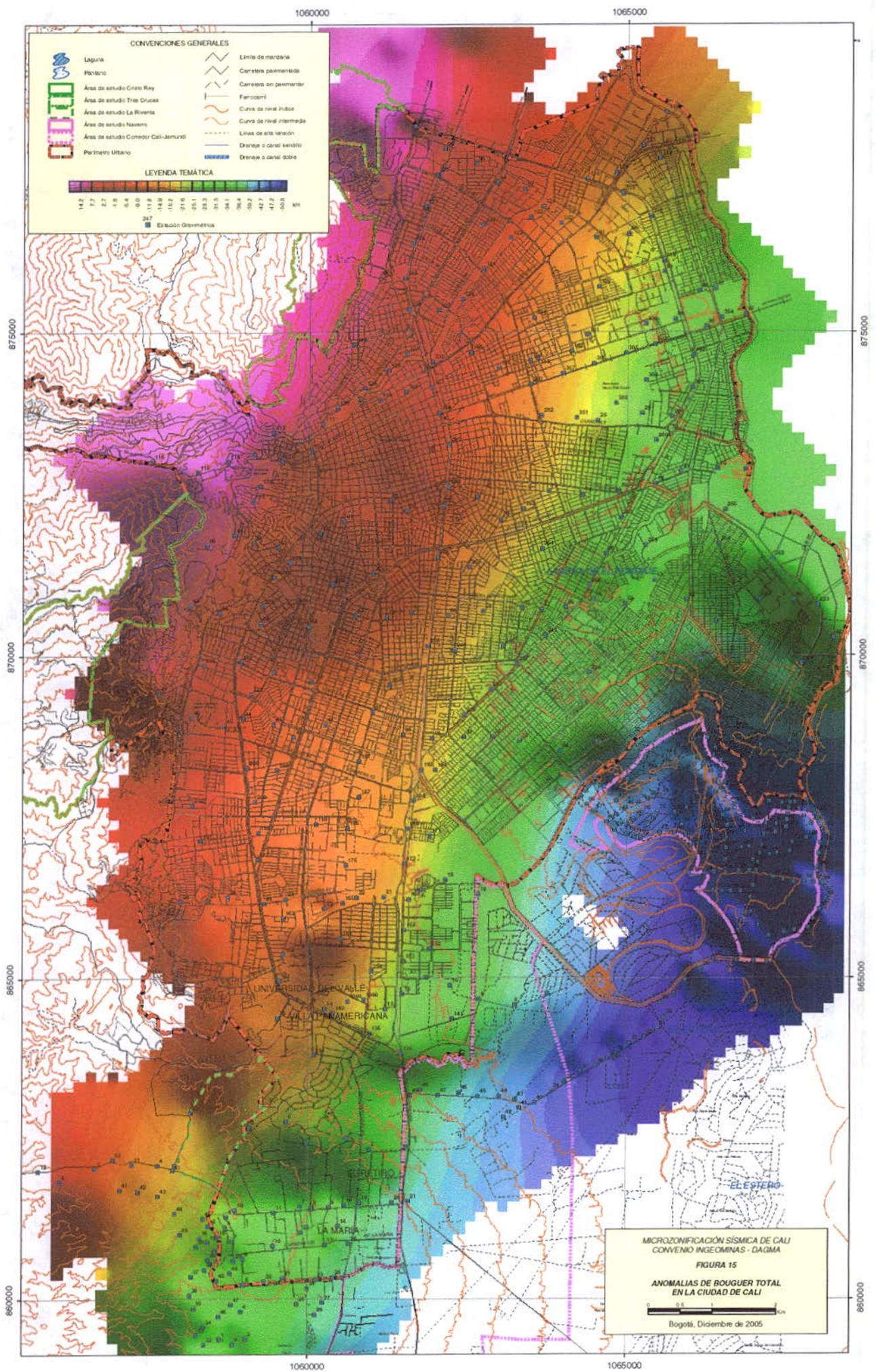
- Laguna
- Pantano
- Área de estudio Cerro Rey
- Área de estudio Tres Cruces
- Área de estudio La Rivera
- Área de estudio Navarro
- Área de estudio Comedor Cali-Jamundí
- Perímetro Urbano
- Límite de meridian
- Carretera pavimentada
- Carretera sin pavimentar
- Ferrocarril
- Curva de nivel índice
- Curva de nivel intermedia
- Línea de alta tensión
- Drenaje o canal sencillo
- Drenaje o canal doble

LEYENDA TEMÁTICA

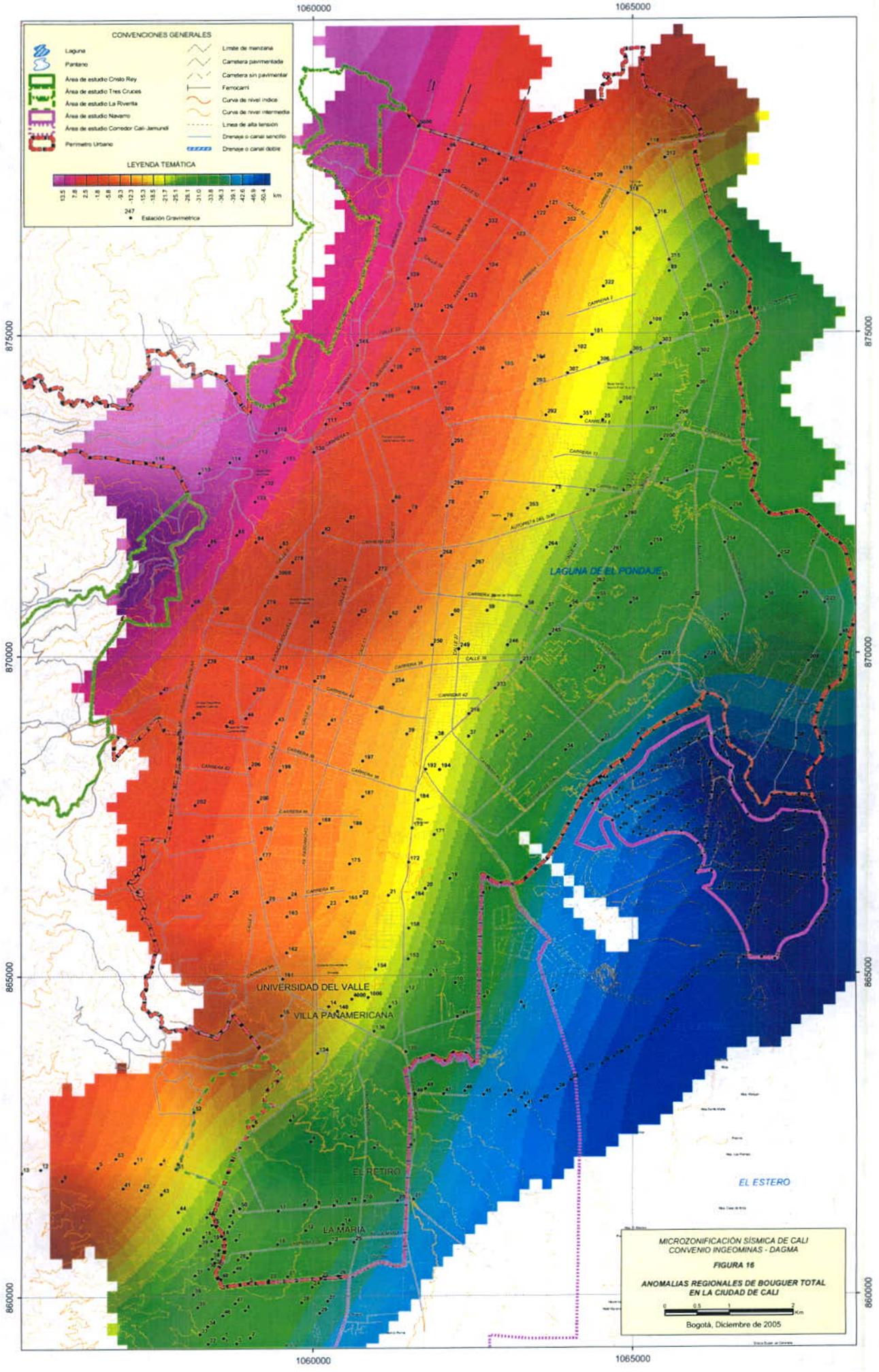
- 121 Estación Gravimétrica

MICROZONIFICACIÓN SISMICA DE CALI
 CONVENIO INGEOMINAS - DAGMA
 FIGURA 12
 LOCALIZACIÓN DE ESTACIONES GRAVIMÉTRICAS
 EN LA CIUDAD DE CALI

Bogotá, Diciembre de 2005



MICROZONIFICACIÓN SISMICA DE CALI
 CONVENIO INGEOMINAS - DAGMA
 FIGURA 15
 ANOMALIAS DE BOUGUER TOTAL
 EN LA CIUDAD DE CALI
 Bogotá, Diciembre de 2005



CONVENCIONES GENERALES

- Laguna
- Parque
- Área de estudio Cristo Rey
- Área de estudio Tres Cruces
- Área de estudio La Rivera
- Área de estudio Nareño
- Área de estudio Conector Cali-Jamundí
- Perímetro Urbano
- Limite de manzana
- Calletera pavimentada
- Calletera sin pavimentar
- Ferrocarril
- Curva de nivel índice
- Curva de nivel intermedia
- Línea de alta tensión
- Drenaje o canal sencillo
- Drenaje o canal doble

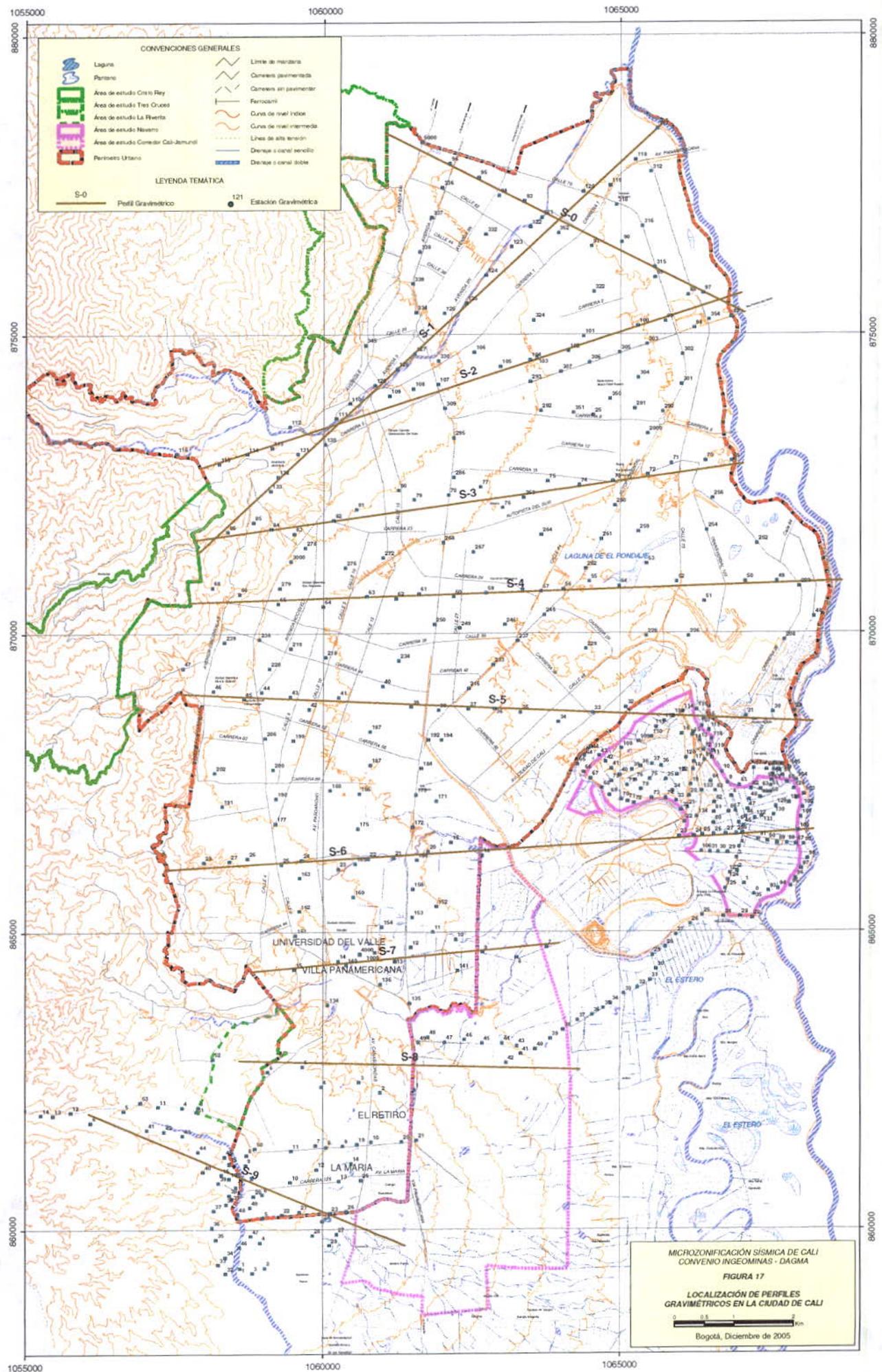
LEYENDA TEMÁTICA

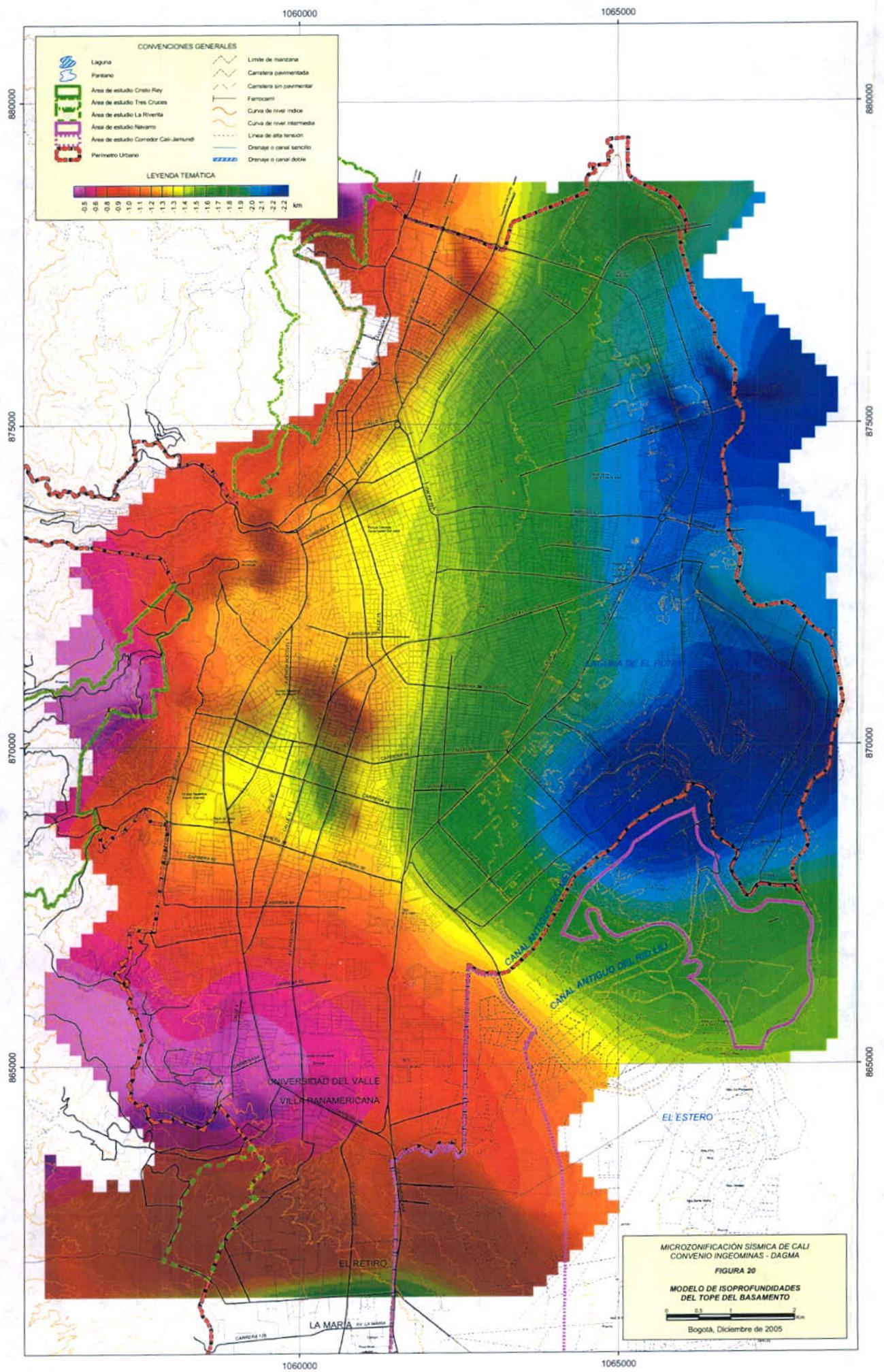
247

Estación Gravimétrica

0.5 7.9 22 58 93 123 153 183 213 243 273 303 333 363 393 423 453 50.4 km

MICROZONIFICACIÓN SISMICA DE CALI
 CONVENIO INGEOMINAS - DAGMA
FIGURA 16
 ANOMALIAS REGIONALES DE BOUGUER TOTAL
 EN LA CIUDAD DE CALI
 0 0.5 1 2 Km
 Bogotá, Diciembre de 2005





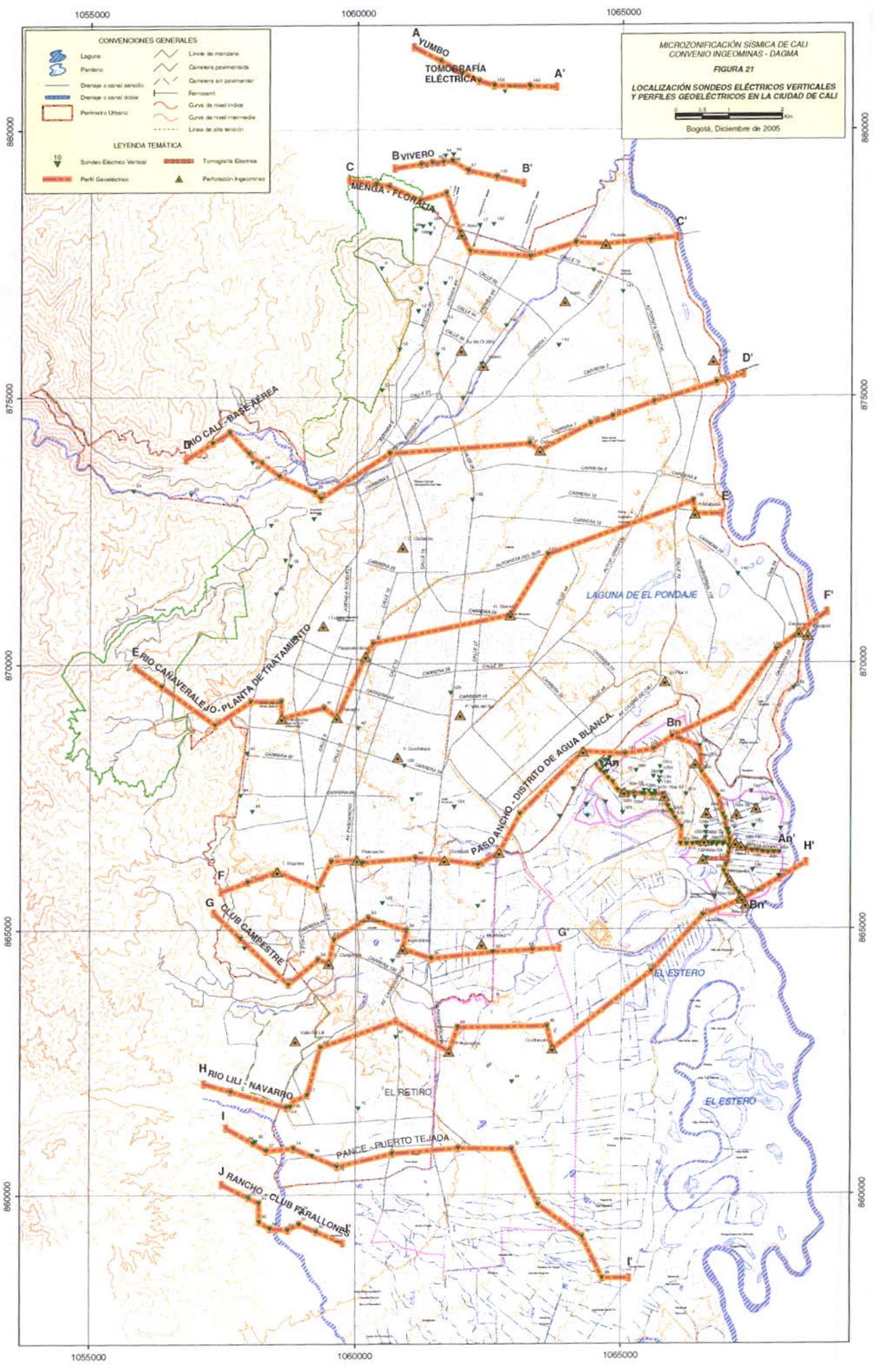
CONVENIONES GENERALES

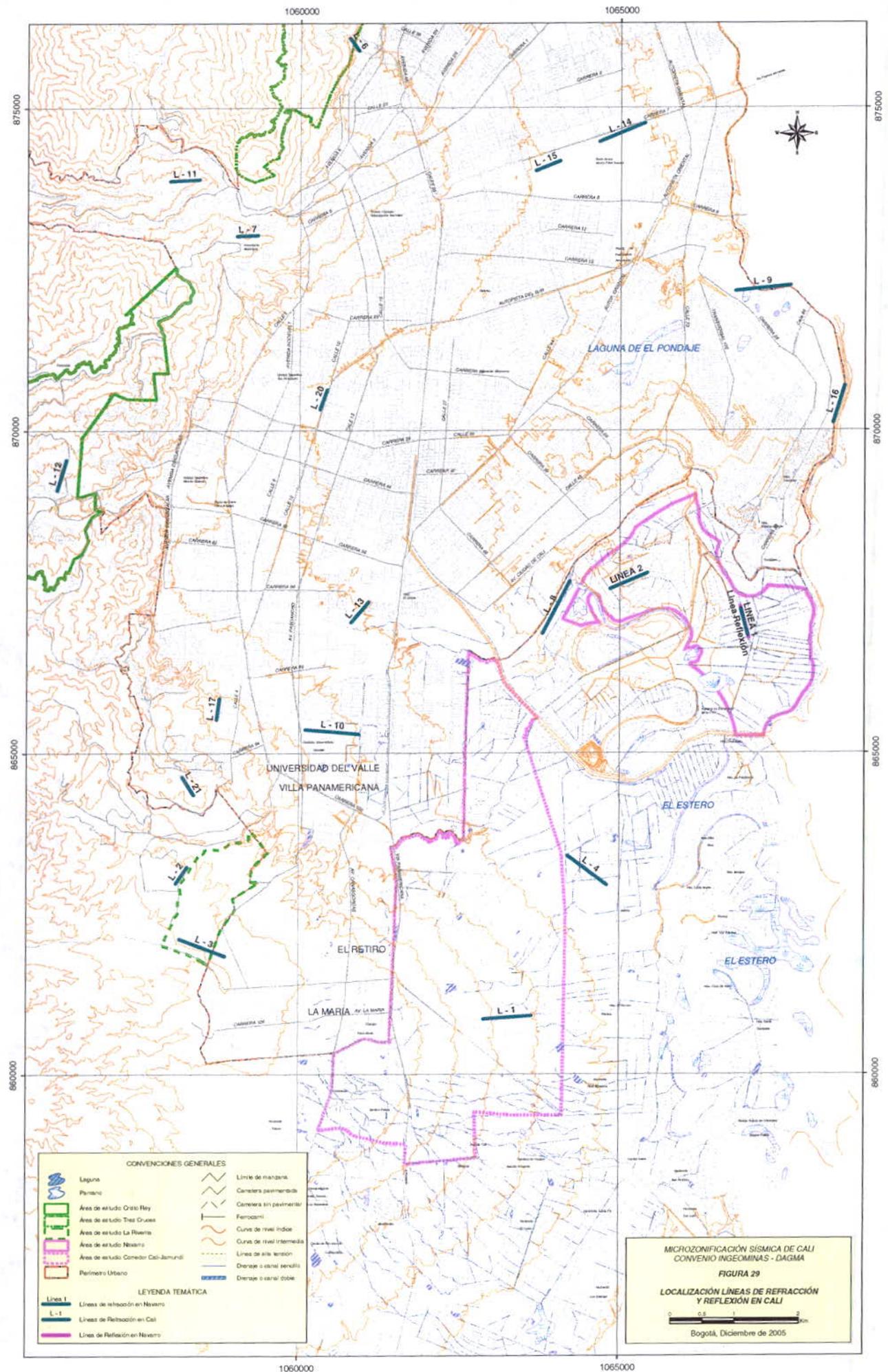
- Laguna
- Pantano
- Área de estudio Crato Rey
- Área de estudio Tres Cruces
- Área de estudio La Rivera
- Área de estudio Navarero
- Área de estudio Corredor Cali-Jamundí
- Perímetro Urbano
- Límite de manzana
- Carretera pavimentada
- Carretera sin pavimentar
- Ferrocarril
- Curva de nivel índice
- Curva de nivel intermedia
- Línea de alta tensión
- Drenaje o canal sencillo
- Drenaje o canal doble

LEYENDA TEMÁTICA

0.5 0.6 0.8 0.9 1.0 1.1 1.2 1.3 1.4 1.5 1.6 1.7 1.8 1.9 2.0 2.1 2.2 2.3 km

MICROZONIFICACIÓN SISMICA DE CALI
 CONVENIO INGEOMINAS - DAGMA
FIGURA 20
 MODELO DE ISOPROFUNDIDADES
 DEL TOPE DEL BASAMENTO
 Bogotá, Diciembre de 2005





CONVENCIONES GENERALES

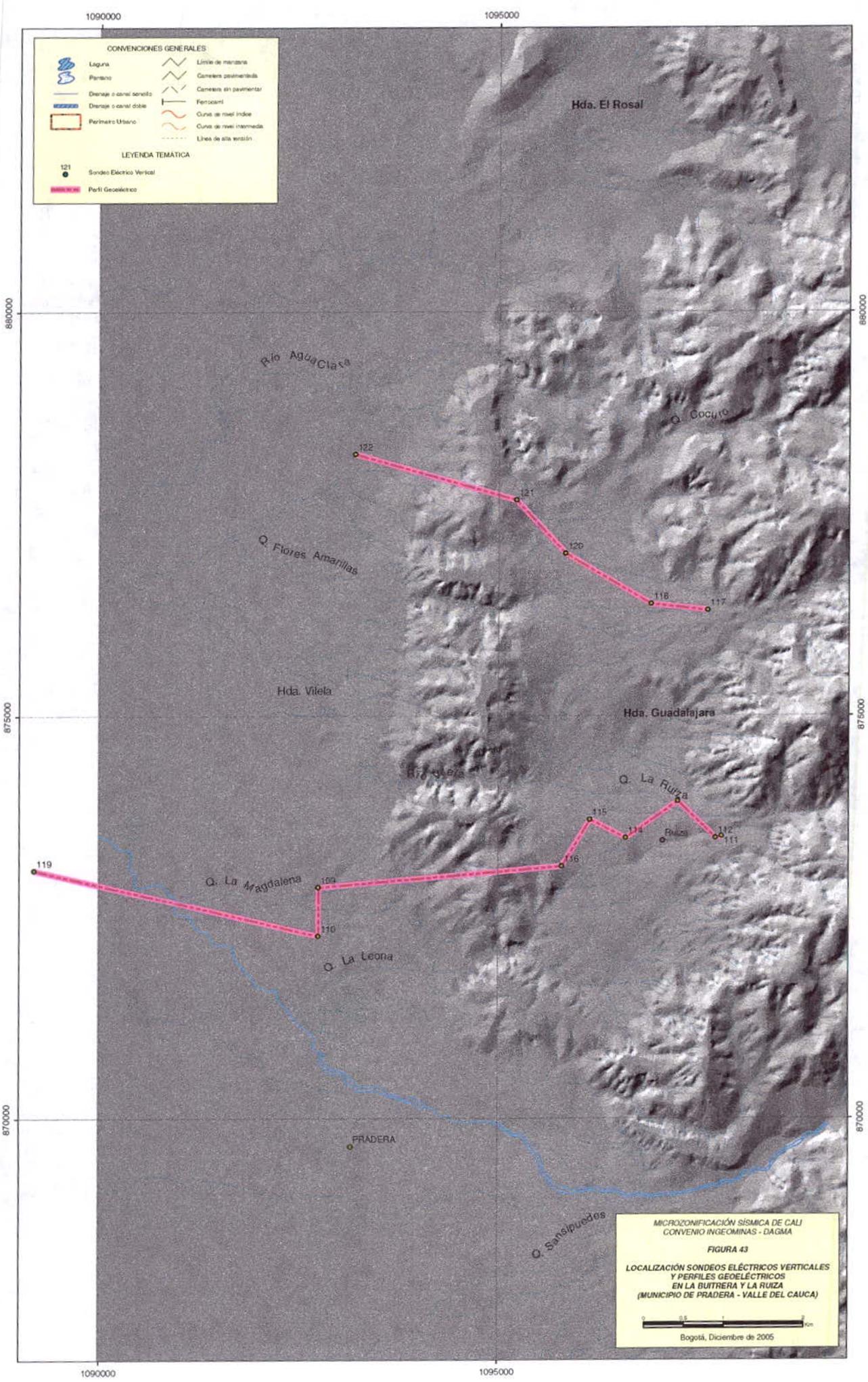
	Laguna		Límite de manzanas
	Pantano		Carretera pavimentada
	Área de estudio Cristo Rey		Carretera sin pavimentar
	Área de estudio Tres Cruces		Ferrocarril
	Área de estudio La Florida		Curva de nivel índice
	Área de estudio Nizarno		Curva de nivel intermedia
	Área de estudio Comedor Cali-Jamundí		Línea de alta tensión
	Perímetro Urbano		Drenaje o canal sencillo
	Línea de reflexión en Navarre		Drenaje o canal doble

LEYENDA TEMÁTICA

	Línea 1
	Línea 2
	Línea 3

MICROZONIFICACIÓN SISMICA DE CALI
 CONVENIO INGEOMINAS - DAGMA
 FIGURA 29
 LOCALIZACIÓN LÍNEAS DE REFRACCIÓN
 Y REFLEXIÓN EN CALI

Bogotá, Diciembre de 2005



MICROZONIFICACIÓN SISMICA DE CALI
 CONVENIO INGEOMINAS - DAGMA
FIGURA 43
 LOCALIZACIÓN SONDEOS ELÉCTRICOS VERTICALES
 Y PERFILES GEOELÉCTRICOS
 EN LA BUITRERA Y LA RUZA
 (MUNICIPIO DE PRADERA - VALLE DEL CAUCA)

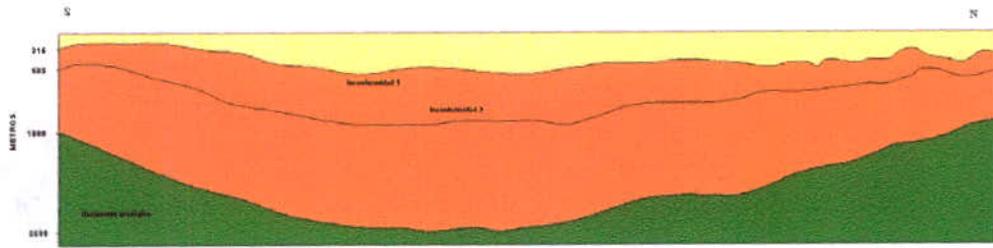
0 0.5 1 2 Km

Bogotá, Diciembre de 2005

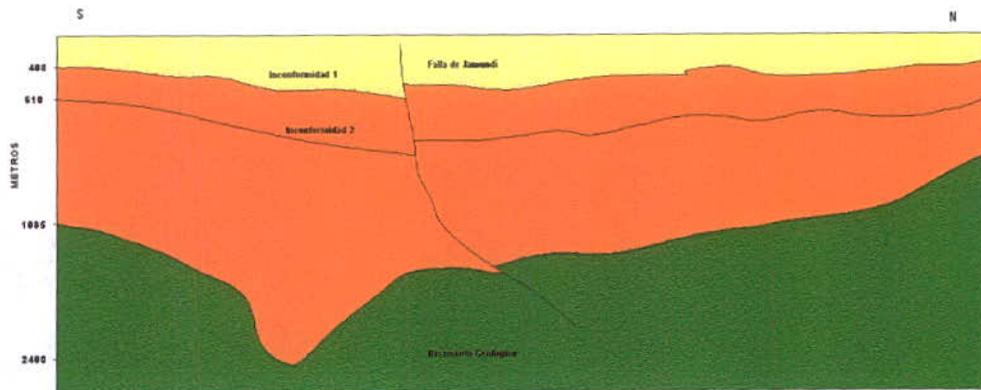


ANEXO 1

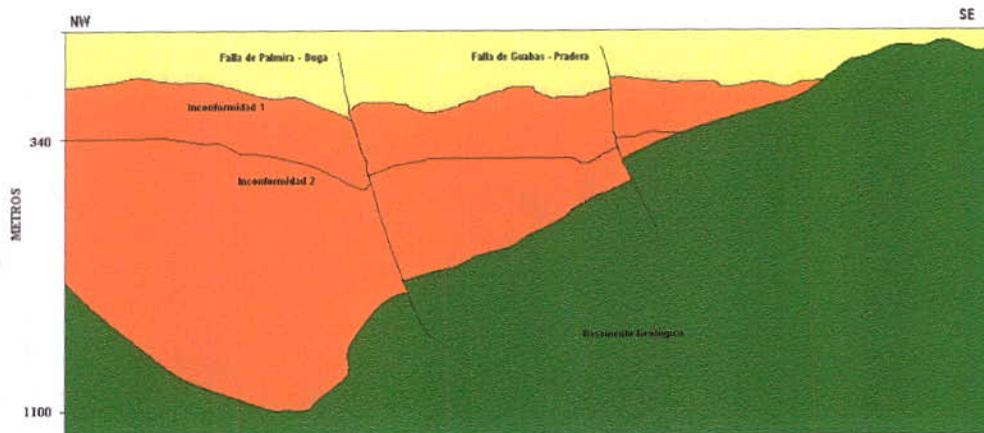
INTERPRETACIÓN DE LÍNEAS SÍSMICAS



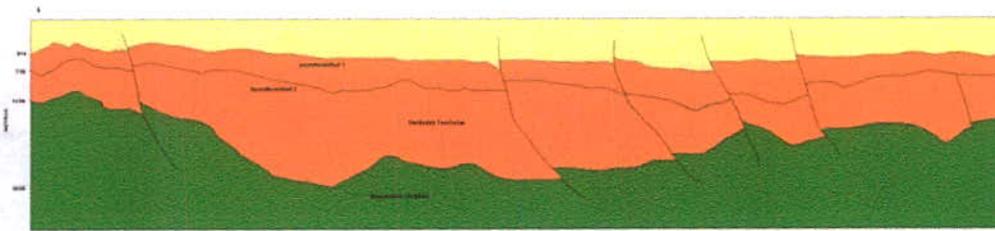
Línea sísmica VC-79-1L



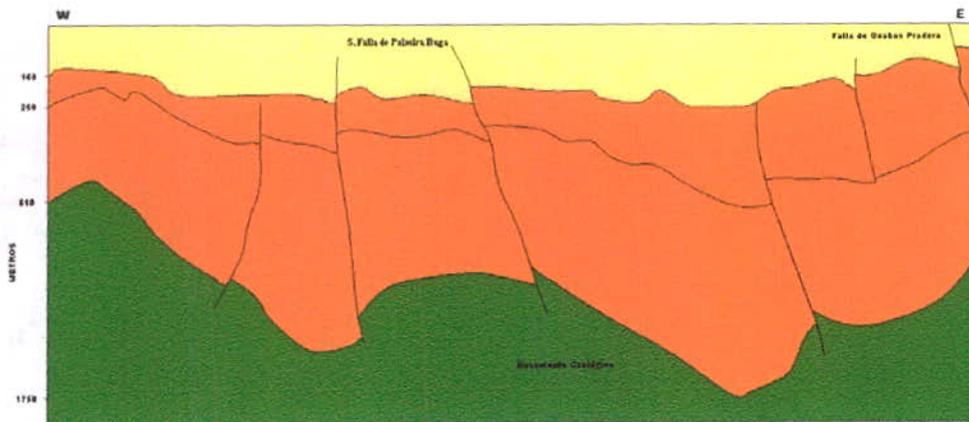
Línea sísmica VC-79-1S



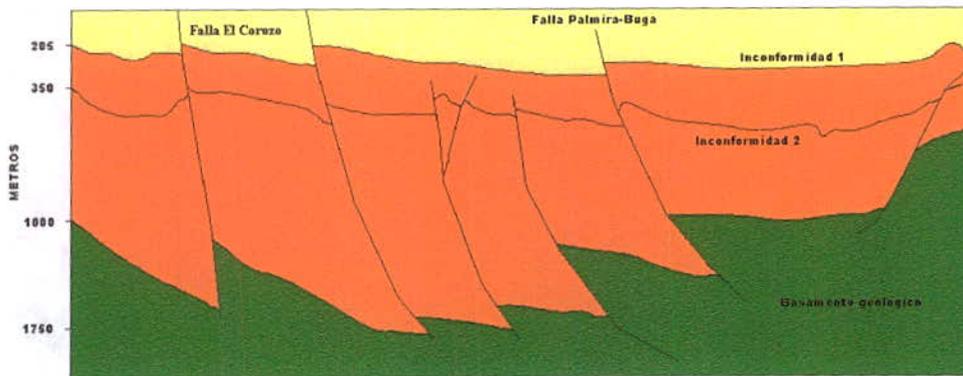
Línea sísmica VC-79-02



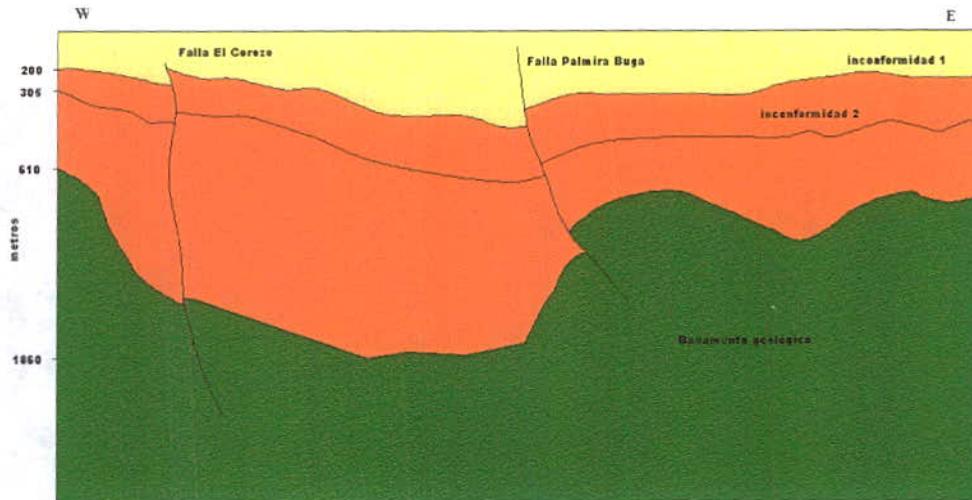
Línea sísmica VC-79-03



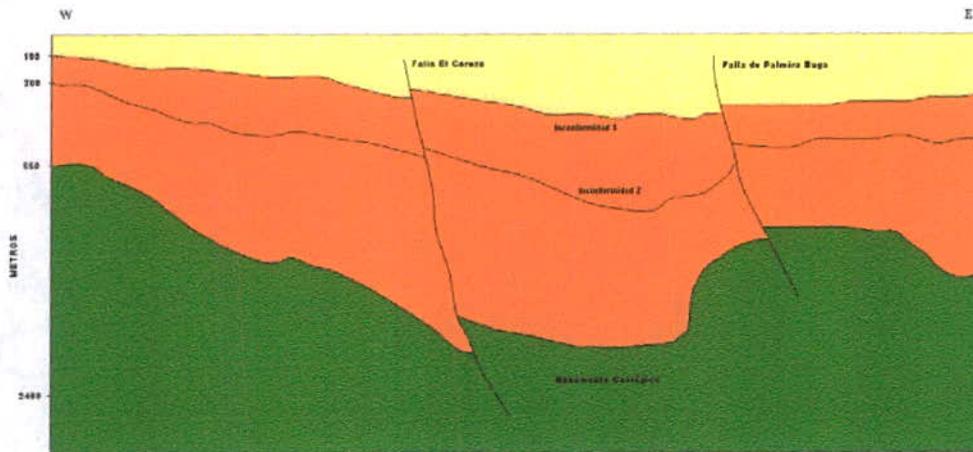
Línea sísmica VC-79-04



Línea sísmica VC-79-06



Línea sísmica VC-79-08



Línea sísmica VC-79-10

ANEXO 2

CÁLCULO DE LA GRAVEDAD OBSERVADA

ANEXO 2
ESTACIONES GRAVIMETRICAS - CIUDAD DE CALI - PROYECTO MZSCALI - INGEOMINAS

Estación	x	y	Longitude	Latitute	Elevación	G. Observ	A. A. Libre	A. Bouguer	C. Topog	A. BT
1	1061538.97	862368.82	-76.31.25.92	3.21.05.12	1003.01	977806.77	66.806	-46.539	12.78	*
2	1060967.19	862322.53	-76.31.44.44	3.21.03.62	1011.47	977807.80	70.442	-43.855	12.81	*
3	1060609.19	862497.16	-76.31.56.04	3.21.09.31	1010.53	977810.61	72.950	-41.243	12.82	*
4	1059977.36	862421.62	-76.32.16.51	3.21.06.86	1027.49	977810.23	77.812	-38.290	12.88	-25.413
5	1059659.77	862756.50	-76.32.26.79	3.21.17.77	1025.32	977813.62	80.500	-35.359	12.93	-22.427
6	1059080.35	862671.08	-76.32.45.56	3.21.15.00	1057.23	977809.51	86.252	-33.200	13.06	-20.141
7	1063762.36	864761.89	-76.30.13.85	3.22.22.98	972.92	977805.93	56.454	-53.501	12.62	-40.884
8	1063258.48	864584.96	-76.30.30.18	3.22.17.23	975.32	977807.54	58.820	-51.405	12.63	-38.776
9	1062687.19	864673.89	-76.30.48.68	3.22.20.14	975.72	977810.71	62.101	-48.169	12.64	-35.531
10	1062234.56	864890.88	-76.31.03.34	3.22.27.21	976.96	977813.77	65.526	-44.884	12.63	-32.252
11	1061850.43	865016.53	-76.31.15.78	3.22.31.31	980.17	977816.43	69.161	-41.611	12.66	-28.951
12	1061479.75	864758.00	-76.31.27.80	3.22.22.90	982.96	977818.82	72.440	-38.646	12.67	-25.975
13	1061213.33	864519.58	-76.31.36.43	3.22.15.14	985.38	977820.20	74.587	-36.772	12.71	-24.066
14	1060259.52	864525.85	-76.32.07.33	3.22.15.36	995.72	977824.95	82.530	-29.993	12.75	-17.240
15	1059521.32	864385.00	-76.32.31.24	3.22.10.79	1008.81	977824.60	86.235	-27.764	12.84	-14.927
18	1062675.19	866305.20	-76.30.49.04	3.23.13.24	972.52	977814.34	64.590	-45.321	12.63	-32.693
19	1062153.05	866527.19	-76.31.05.95	3.23.20.48	975.47	977819.86	70.994	-39.248	12.64	-26.608
20	1061767.13	866371.89	-76.31.18.46	3.23.15.43	978.23	977823.18	75.186	-35.367	12.68	-22.690
21	1061191.56	866266.41	-76.31.37.10	3.23.12.01	984.12	977827.41	81.242	-29.975	12.68	-17.292
22	1060763.51	866252.87	-76.31.50.97	3.23.11.58	984.60	977831.60	85.579	-25.692	12.69	-13.005
23	1060257.23	866085.52	-76.32.07.37	3.23.06.14	989.13	977831.62	87.020	-24.762	12.71	-12.056
24	1059646.83	866230.40	-76.32.27.14	3.23.10.86	990.64	977832.78	88.624	-23.328	12.72	-10.605
25	1059307.17	866160.71	-76.32.38.15	3.23.08.60	993.80	977833.36	90.185	-22.122	12.74	-9.380
26	1058739.50	866260.37	-76.32.56.54	3.23.11.86	994.55	977836.21	93.260	-19.133	12.75	-6.378
27	1058432.48	866210.95	-76.33.06.48	3.23.10.25	1016.65	977832.78	96.657	-18.224	12.78	-5.440
28	1058002.19	866198.22	-76.33.20.42	3.23.09.85	1006.60	977837.48	98.259	-15.491	12.90	-2.595
29	1067914.64	868694.80	-76.27.59.27	3.24.30.93	971.59	977806.86	56.591	-53.214	12.60	-40.613
30	1067555.51	868679.83	-76.28.10.90	3.24.30.45	967.19	977807.65	56.024	-53.285	12.59	-40.696
31	1067106.45	868612.91	-76.28.25.45	3.24.28.28	967.65	977806.80	55.325	-54.037	12.60	-41.442
32	1065088.26	868768.32	-76.29.30.82	3.24.33.38	969.18	977809.30	58.280	-51.253	12.60	-38.657
33	1064532.86	868675.09	-76.29.48.82	3.24.30.36	968.70	977811.10	59.944	-49.535	12.60	-36.933
34	1063956.76	868522.83	-76.30.07.48	3.24.25.41	968.25	977813.88	62.597	-46.831	12.60	-34.235
35	1063318.94	868687.40	-76.30.28.14	3.24.30.78	968.08	977818.50	67.154	-42.256	12.60	-29.655
36	1062886.12	868746.45	-76.30.42.16	3.24.32.71	969.07	977821.38	70.328	-39.193	12.61	-26.584
37	1062443.88	868740.89	-76.30.56.49	3.24.32.54	970.99	977824.33	73.875	-35.862	12.61	-23.248
38	1061941.50	868722.03	-76.31.12.76	3.24.31.94	971.24	977828.61	78.227	-31.539	12.62	-18.920
39	1061481.18	868778.11	-76.31.27.67	3.24.33.77	973.55	977831.43	81.763	-28.264	12.64	-15.628
40	1061003.98	869124.12	-76.31.43.13	3.24.45.04	975.43	977833.81	84.687	-25.551	12.64	-12.912
41	1060263.95	868934.86	-76.32.07.10	3.24.38.90	981.02	977835.43	88.047	-22.820	12.66	-10.156
42	1059764.59	868740.41	-76.32.23.28	3.24.32.57	981.70	977837.04	89.888	-21.056	12.67	-8.388
43	1059449.04	868950.31	-76.32.33.50	3.24.39.41	986.96	977837.62	92.070	-19.467	12.70	-6.766

Estación	x	y	Longitudo	Latitudo	Elevación	G. Observ	A. A. Libre	A. Bouguer	C. Topog	A. BT
44	1058973.25	869028.31	-76.32.48.91	3.24.41.96	988.21	977840.18	95.009	-16.668	12.73	-3.939
45	1058673.32	868913.08	-76.32.58.63	3.24.38.22	990.15	977841.31	96.751	-15.146	12.74	-2.406
46	1058162.40	869045.13	-76.33.15.18	3.24.42.52	997.11	977844.11	101.683	-10.997	12.76	1.759
47	1057650.63	869424.01	-76.33.31.75	3.24.54.87	1001.40	977848.54	107.400	-5.764	12.83	7.062
48	1068244.01	870269.71	-76.27.48.56	3.25.22.19	968.99	977811.91	60.684	-48.828	12.59	-36.233
49	1067621.51	870865.31	-76.28.08.72	3.25.41.60	965.71	977812.48	60.182	-48.960	12.57	-36.387
50	1067088.31	870863.96	-76.28.25.99	3.25.41.56	966.68	977811.84	59.847	-49.405	12.59	-36.814
51	1066397.71	870529.68	-76.28.48.37	3.25.30.69	966.75	977811.20	59.266	-49.994	12.60	-37.392
52	1065935.72	870862.59	-76.29.03.33	3.25.41.54	966.78	977812.53	60.571	-48.692	12.60	-36.090
53	1065427.85	871165.52	-76.29.19.78	3.25.51.41	967.96	977814.42	62.787	-46.609	12.60	-34.009
54	1064970.95	870793.13	-76.29.34.58	3.25.39.30	967.31	977815.19	63.397	-45.926	12.59	-33.336
55	1064467.81	870871.60	-76.29.50.88	3.25.41.86	968.12	977817.38	65.832	-43.582	12.61	-30.975
56	1064035.56	870744.12	-76.30.04.89	3.25.37.72	968.61	977819.22	67.835	-41.634	12.61	-29.029
57	1063661.74	870705.50	-76.30.17.00	3.25.36.47	969.74	977821.32	70.282	-39.315	12.61	-26.706
58	1063349.49	870736.81	-76.30.27.11	3.25.37.50	969.85	977823.76	72.759	-36.850	12.61	-24.241
59	1062735.13	870681.60	-76.30.47.02	3.25.35.71	972.39	977827.88	77.668	-32.228	12.62	-19.605
60	1062189.90	870618.96	-76.31.04.68	3.25.33.68	973.14	977831.84	81.866	-28.114	12.63	-15.480
61	1061610.15	870669.58	-76.31.23.46	3.25.35.34	974.90	977835.45	86.006	-24.172	12.64	-11.528
62	1061225.36	870589.46	-76.31.35.93	3.25.32.74	976.05	977836.93	87.854	-22.454	12.66	-9.796
63	1060734.02	870622.94	-76.31.51.84	3.25.33.84	976.25	977839.84	90.822	-19.508	12.67	-6.843
64	1059998.96	870452.38	-76.32.15.66	3.25.28.30	979.69	977841.55	93.605	-17.113	12.67	-4.440
65	1059244.14	870500.50	-76.32.40.11	3.25.29.88	985.35	977844.14	97.945	-13.411	12.70	-0.715
66	1058596.47	870665.30	-76.33.01.09	3.25.35.26	1002.58	977846.08	105.186	-8.110	12.95	4.844
68	1058141.40	870774.44	-76.33.15.83	3.25.38.82	1093.30	977831.55	118.634	-4.879	13.26	8.378
69	1066856.03	872872.70	-76.28.33.47	3.26.46.96	967.96	977814.88	63.082	-46.315	12.59	-33.729
70	1066417.80	872880.37	-76.28.47.67	3.26.47.22	968.69	977815.06	63.493	-45.985	12.60	-33.382
71	1065842.24	872839.69	-76.29.06.32	3.26.45.91	967.76	977816.60	64.745	-44.628	12.60	-32.027
72	1065446.54	872647.71	-76.29.19.14	3.26.39.67	968.72	977817.56	66.027	-43.455	12.60	-30.858
73	1064864.30	872541.63	-76.29.38.00	3.26.36.22	969.43	977820.15	68.837	-40.724	12.61	-28.113
74	1064299.67	872476.74	-76.29.56.30	3.26.34.12	971.03	977823.46	72.649	-37.092	12.62	-24.475
75	1063768.38	872542.11	-76.30.13.51	3.26.36.26	973.56	977827.04	77.003	-33.024	12.64	-20.385
76	1063014.58	872101.81	-76.30.37.94	3.26.21.94	977.50	977830.43	81.657	-28.814	12.65	-16.166
77	1062640.98	872446.06	-76.30.50.03	3.26.33.16	980.72	977834.53	86.715	-24.119	12.67	-11.452
78	1062104.29	872313.40	-76.31.07.42	3.26.28.85	983.80	977837.38	90.531	-20.650	12.69	-7.961
79	1061527.02	872234.48	-76.31.26.12	3.26.26.29	985.11	977840.14	93.696	-17.632	12.71	-4.927
80	1061263.76	872392.61	-76.31.34.65	3.26.31.44	988.60	977841.28	95.896	-15.826	12.70	-3.121
81	1060555.76	872076.26	-76.31.57.59	3.26.21.16	989.46	977844.42	99.339	-12.480	12.74	0.255
82	1060174.73	871895.38	-76.32.09.94	3.26.15.28	992.20	977844.69	100.466	-11.661	12.73	1.068
83	1059515.09	871673.08	-76.32.31.31	3.26.08.05	989.30	977847.59	102.502	-9.299	12.78	3.486
84	1059129.49	871750.80	-76.32.43.80	3.26.10.59	998.73	977848.13	105.944	-6.919	12.87	5.946
85	1058829.89	871861.77	-76.32.53.51	3.26.14.21	1043.85	977841.26	112.983	-4.962	13.22	8.260
86	1058398.19	871703.95	-76.33.07.49	3.26.09.08	1109.15	977831.56	123.455	-1.843	13.59	11.743
87	1066849.09	875278.42	-76.28.33.65	3.28.05.28	967.03	977819.51	67.196	-42.096	12.57	-29.530

Estación	x	y	Longitude	Latitude	Elevación	G. Observ	A. A. Libre	A. Bouguer	C. Topog	A. BT
88	1066120.98	875643.30	-76.28.57.23	3.28.17.17	965.73	977822.14	69.390	-39.755	12.60	-27.153
89	1065566.04	875937.60	-76.29.15.20	3.28.26.76	967.96	977824.27	72.170	-37.226	12.59	-24.635
90	1065010.12	876526.02	-76.29.33.20	3.28.45.93	967.98	977828.80	76.650	-32.748	12.60	-20.147
91	1064499.44	876465.41	-76.29.49.75	3.28.43.97	970.60	977831.43	80.091	-29.603	12.62	-16.981
93	1063370.89	877213.58	-76.30.26.29	3.29.08.35	972.95	977843.04	92.361	-17.597	12.63	-4.967
94	1062942.83	877307.52	-76.30.40.16	3.29.11.41	973.66	977847.28	96.804	-13.234	12.65	-0.586
95	1062605.39	877608.79	-76.30.51.09	3.29.21.23	974.89	977850.74	100.617	-9.560	12.65	3.088
96	1062119.26	877840.19	-76.31.06.83	3.29.28.77	980.11	977853.47	104.935	-5.830	12.67	6.842
97	1066374.46	875675.44	-76.28.49.02	3.28.18.21	965.54	977821.37	68.550	-40.574	12.60	-27.971
98	1066224.33	875090.40	-76.28.53.89	3.27.59.17	968.16	977820.09	68.140	-41.279	12.60	-28.681
99	1065741.13	875205.04	-76.29.09.54	3.28.02.91	966.79	977822.16	69.775	-39.490	12.60	-26.887
100	1065278.94	875129.51	-76.29.24.52	3.28.00.46	969.33	977823.60	72.006	-37.544	12.61	-24.938
101	1064367.62	874958.48	-76.29.54.05	3.27.54.91	974.57	977827.87	77.912	-32.228	12.64	-19.586
102	1064114.43	874710.04	-76.30.02.25	3.27.46.83	976.64	977828.81	79.512	-30.862	12.67	-18.193
103	1063585.09	874611.34	-76.30.19.40	3.27.43.63	979.36	977832.51	84.064	-26.617	12.68	-13.941
104	1063469.93	874565.95	-76.30.23.14	3.27.42.15	979.87	977833.33	85.040	-25.697	12.68	-13.013
105	1062972.93	874455.67	-76.30.39.24	3.27.38.57	983.97	977836.42	89.411	-21.789	12.69	-9.098
106	1062531.96	874691.90	-76.30.53.52	3.27.46.27	987.23	977840.24	94.212	-17.356	12.71	-4.646
107	1061928.23	874157.51	-76.31.13.09	3.27.28.89	993.42	977842.66	98.593	-13.672	12.75	-0.917
108	1061513.26	874085.77	-76.31.26.53	3.27.26.56	996.41	977844.47	101.334	-11.268	12.76	1.494
109	1061110.75	873965.32	-76.31.39.58	3.27.22.64	1005.51	977844.73	104.417	-9.210	12.80	3.594
110	1060446.53	873837.48	-76.32.01.10	3.27.18.50	1010.65	977846.28	107.562	-6.644	12.83	6.182
111	1060218.32	873590.31	-76.32.08.50	3.27.10.45	1014.10	977846.36	108.737	-5.857	12.90	7.041
112	1059437.62	873454.65	-76.32.33.79	3.27.06.05	1026.04	977848.41	114.478	-1.460	13.00	11.536
113	1059139.98	873104.13	-76.32.43.44	3.26.54.65	1070.79	977840.01	119.926	-1.053	13.08	12.027
114	1058724.00	873000.99	-76.32.56.92	3.26.51.30	1116.40	977834.81	128.806	2.692	13.20	15.892
115	1058252.83	872836.34	-76.33.12.18	3.26.45.94	1131.25	977837.69	136.290	8.504	13.29	21.792
116	1057539.49	873006.73	-76.33.35.29	3.26.51.50	1076.95	977852.08	133.907	12.234	13.33	25.565
117	1065599.91	878409.49	-76.29.14.05	3.29.47.23	967.65	977833.80	81.360	-28.002	12.60	-15.401
118	1065237.29	877897.44	-76.29.25.81	3.29.30.57	966.00	977833.71	80.815	-28.361	12.58	-15.776
119	1064813.50	877471.29	-76.29.39.55	3.29.16.71	970.26	977833.15	81.615	-28.040	12.60	-15.445
120	1064361.14	877369.47	-76.29.54.21	3.29.13.40	971.54	977835.60	84.468	-25.332	12.61	-12.720
121	1063664.78	876943.50	-76.30.16.78	3.28.59.55	976.89	977838.44	89.000	-21.402	12.64	-8.762
122	1063475.54	876783.11	-76.30.22.91	3.28.54.33	976.63	977839.71	90.202	-20.171	12.65	-7.517
123	1063155.14	876457.81	-76.30.33.30	3.28.43.75	978.45	977841.20	92.291	-18.287	12.65	-5.642
124	1062730.93	875980.57	-76.30.47.05	3.28.28.22	981.05	977843.61	95.546	-15.325	12.66	-2.668
125	1062398.78	875513.49	-76.30.57.82	3.28.13.02	984.09	977844.29	97.208	-14.006	12.68	-1.325
126	1062028.04	875342.24	-76.31.09.83	3.28.07.45	987.86	977845.96	100.069	-11.570	12.68	1.110
127	1061531.90	874668.57	-76.31.25.92	3.27.45.53	993.77	977846.03	102.021	-10.282	12.73	2.452
128	1061243.75	874417.24	-76.31.35.26	3.27.37.35	995.23	977846.56	103.031	-9.438	12.76	3.326
129	1060866.62	874144.36	-76.31.47.48	3.27.28.48	998.43	977847.51	104.990	-7.839	12.78	4.938
130	1060027.75	873157.76	-76.32.14.68	3.26.56.37	1025.21	977843.82	109.662	-6.184	12.88	6.698
131	1059573.44	873001.28	-76.32.29.40	3.26.51.29	1070.16	977836.21	115.938	-4.970	12.98	8.013

Estación	x	y	Longitude	Latitude	Elevación	G. Observ	A. A. Libre	A. Bouguer	C. Topog	A. BT
132	1059236.19	872620.19	-76.32.40.33	3.26.38.89	1040.83	977842.17	112.888	-4.717	13.03	8.316
133	1059114.84	872386.45	-76.32.44.27	3.26.31.28	1048.27	977840.86	113.897	-4.546	12.96	8.411
137	1060086.42	863796.71	-76.32.12.95	3.21.51.63	998.58	977822.42	80.945	-31.900	12.76	-19.140
138	1061462.48	863821.88	-76.31.28.37	3.21.52.42	986.23	977816.08	70.795	-40.659	12.66	-27.996
139	1060966.22	864138.45	-76.31.44.44	3.22.02.74	988.33	977820.42	75.752	-35.939	12.70	-23.235
140	1060395.28	864455.54	-76.32.02.93	3.22.13.07	994.15	977824.68	81.781	-30.566	12.76	-17.808
141	1062266.22	864366.00	-76.31.02.33	3.22.10.12	978.37	977812.71	64.952	-45.617	12.63	-32.987
152	1061909.79	865456.38	-76.31.13.85	3.22.45.62	980.65	977817.61	70.445	-40.381	12.65	-27.726
153	1061499.66	865264.90	-76.31.27.14	3.22.39.40	983.20	977820.38	74.025	-37.088	12.69	-24.401
154	1060990.99	865104.67	-76.31.43.62	3.22.34.19	987.59	977824.31	79.323	-32.285	12.69	-19.592
158	1061508.91	865747.26	-76.31.26.83	3.22.55.10	980.77	977822.73	75.576	-35.263	12.67	-22.593
160	1060512.15	865617.71	-76.31.59.12	3.22.50.90	990.56	977830.56	86.440	-25.502	12.71	-12.788
161	1059544.14	864961.99	-76.32.30.49	3.22.29.57	1003.23	977827.58	87.434	-25.936	12.81	-13.130
162	1059606.56	865369.89	-76.32.28.46	3.22.42.85	1000.05	977829.14	87.972	-25.040	12.76	-12.282
163	1059609.32	865933.65	-76.32.28.36	3.23.01.20	994.37	977831.62	88.644	-23.728	12.73	-10.995
164	1061578.93	866229.51	-76.31.24.56	3.23.10.80	979.48	977824.52	76.922	-33.772	12.67	-21.104
165	1060544.34	866169.26	-76.31.58.07	3.23.08.86	987.22	977832.40	87.201	-24.365	12.70	-11.664
171	1061907.31	867212.16	-76.31.13.90	3.23.42.78	974.75	977824.84	75.692	-34.469	12.63	-21.836
172	1061510.06	866778.58	-76.31.26.78	3.23.28.68	979.63	977826.58	78.972	-31.739	12.66	-19.075
173	1061561.87	867316.99	-76.31.25.09	3.23.46.20	975.84	977827.85	79.030	-31.255	12.67	-18.587
175	1060586.70	866754.72	-76.31.56.69	3.23.27.92	984.42	977832.29	86.162	-25.088	12.68	-12.409
177	1059202.28	866837.78	-76.32.41.53	3.23.30.65	990.50	977835.62	91.364	-20.572	12.71	-7.858
184	1061652.78	867756.29	-76.31.22.13	3.24.00.50	974.49	977828.31	79.029	-31.102	12.63	-18.475
186	1060613.89	867334.20	-76.31.55.80	3.23.46.78	980.69	977832.79	85.460	-25.371	12.65	-12.716
187	1060791.86	867811.90	-76.31.50.02	3.24.02.33	978.73	977832.30	84.323	-26.286	12.64	-13.650
188	1060122.09	867390.38	-76.32.11.73	3.23.48.62	982.48	977834.18	87.396	-23.636	12.67	-10.964
190	1059214.25	867254.48	-76.32.41.14	3.23.44.21	985.56	977837.22	91.398	-19.981	12.69	-7.296
191	1058310.90	867128.49	-76.33.10.40	3.23.40.13	989.29	977840.38	95.727	-16.072	12.73	-3.345
192	1061773.04	868232.91	-76.31.18.23	3.24.16.02	975.28	977828.34	79.254	-30.967	12.63	-18.335
194	1061991.79	868227.46	-76.31.11.14	3.24.15.83	971.44	977827.11	76.837	-32.951	12.61	-20.340
197	1060792.05	868364.56	-76.31.50.01	3.24.20.32	976.12	977833.41	84.568	-25.748	12.64	-13.108
199	1059503.41	868222.31	-76.32.31.75	3.24.15.71	983.33	977836.79	90.193	-20.935	12.69	-8.241
200	1059161.91	867736.90	-76.32.42.82	3.23.59.92	982.14	977838.48	91.564	-19.430	12.69	-6.735
202	1058181.31	867686.26	-76.33.14.59	3.23.58.29	987.73	977842.34	97.145	-14.478	12.72	-1.760
206	1059033.31	868260.46	-76.32.46.98	3.24.16.96	985.12	977838.60	92.554	-18.776	12.70	-6.079
208	1067743.77	869878.65	-76.28.04.78	3.25.09.47	966.43	977810.40	58.422	-50.801	12.58	-38.216
216	1062449.27	869085.28	-76.30.56.31	3.24.43.75	970.10	977825.61	74.846	-34.791	12.61	-22.180
218	1060045.99	869600.77	-76.32.14.15	3.25.00.58	982.43	977837.34	90.331	-20.695	12.66	-8.036
219	1059458.29	869751.46	-76.32.33.19	3.25.05.49	984.15	977840.10	93.603	-17.617	12.69	-4.932
220	1059103.28	869415.65	-76.32.44.69	3.24.54.57	986.41	977840.65	94.882	-16.593	12.70	-3.893
223	1067999.19	870776.70	-76.27.56.48	3.25.38.70	966.04	977812.91	60.727	-48.453	12.58	-35.871
226	1066135.68	869943.80	-76.28.56.87	3.25.11.63	967.54	977810.15	58.516	-50.833	12.61	-38.228
228	1065426.60	869949.10	-76.29.19.84	3.25.11.81	969.16	977811.24	60.104	-49.427	12.60	-36.824

Estación	x	y	Longitude	Latitude	Elevación	G. Observ	A. A. Libre	A. Bouguer	C. Topog	A. BT
229	1064410.99	869738.01	-76.29.52.75	3.25.04.96	968.24	977814.51	63.104	-46.323	12.60	-33.724
233	1062860.46	869480.01	-76.30.42.98	3.24.56.59	969.44	977823.28	72.274	-37.288	12.61	-24.683
234	1061272.64	869547.13	-76.31.34.42	3.24.58.81	973.38	977833.96	84.166	-25.841	12.64	-13.200
238	1058931.74	869902.99	-76.32.50.24	3.25.10.44	988.90	977842.70	97.657	-14.098	12.74	-1.359
239	1058346.53	869856.19	-76.33.09.20	3.25.08.92	995.04	977846.13	102.980	-9.467	12.81	3.344
245	1063716.56	870307.59	-76.30.15.23	3.25.23.52	970.01	977819.21	68.300	-41.328	12.60	-28.727
246	1063052.55	870146.95	-76.30.36.74	3.25.18.30	969.51	977823.70	72.654	-36.917	12.62	-24.301
247	1063265.17	869874.20	-76.30.29.86	3.25.09.42	968.88	977821.34	70.125	-39.375	12.61	-26.769
249	1062292.82	870089.64	-76.31.01.36	3.25.16.45	971.72	977829.29	78.927	-30.892	12.62	-18.272
252	1067286.54	871496.04	-76.28.19.56	3.26.02.14	966.76	977813.23	61.195	-48.065	12.61	-35.456
254	1066438.00	871718.26	-76.28.47.04	3.26.09.39	967.98	977813.65	61.973	-47.425	12.60	-34.829
256	1066535.77	872251.44	-76.28.43.86	3.26.26.74	971.05	977813.58	62.798	-46.947	12.59	-34.356
259	1065292.04	871699.82	-76.29.24.16	3.26.08.81	967.71	977816.44	64.681	-44.687	12.60	-32.090
260	1064899.66	872132.00	-76.29.36.87	3.26.22.89	967.85	977819.17	67.411	-41.972	12.61	-29.365
261	1064668.94	871574.99	-76.29.44.35	3.26.04.76	970.13	977818.62	67.623	-42.018	12.62	-29.396
262	1064407.89	871085.16	-76.29.52.82	3.25.48.82	969.84	977818.22	67.184	-42.424	12.60	-29.823
264	1063662.86	871652.35	-76.30.16.94	3.26.07.30	972.67	977824.63	74.410	-35.516	12.62	-22.896
267	1062522.81	871368.65	-76.30.53.88	3.25.58.08	976.01	977831.71	82.543	-27.760	12.65	-15.107
268	1062019.81	871525.74	-76.31.10.17	3.26.03.21	980.12	977835.37	87.457	-23.309	12.65	-10.659
272	1061004.59	871271.13	-76.31.43.07	3.25.54.94	981.68	977840.33	92.926	-18.016	12.66	-5.353
276	1060371.15	871104.84	-76.32.03.59	3.25.49.54	981.05	977842.42	94.835	-16.036	12.67	-3.366
278	1059698.38	871437.20	-76.32.25.38	3.26.00.37	985.76	977846.10	99.934	-11.468	12.72	1.248
279	1059272.52	870765.85	-76.32.39.19	3.25.38.52	983.33	977845.66	98.808	-12.320	12.73	0.413
286	1062193.53	872609.77	-76.31.04.52	3.26.38.49	984.33	977838.05	91.330	-19.911	12.71	-7.197
290	1065698.25	873697.73	-76.29.10.96	3.27.13.84	969.46	977818.62	67.204	-42.362	12.61	-29.750
291	1065229.13	873749.92	-76.29.26.16	3.27.15.55	971.00	977820.70	69.761	-39.978	12.62	-27.354
292	1063651.11	873717.31	-76.30.17.28	3.27.14.52	977.99	977830.25	81.465	-29.061	12.66	-16.398
293	1063475.77	874201.41	-76.30.22.95	3.27.30.28	980.47	977832.44	84.375	-26.431	12.66	-13.768
295	1062192.72	873267.04	-76.31.04.54	3.26.59.89	989.81	977839.06	93.970	-17.888	12.71	-5.174
301	1066013.96	874154.46	-76.29.00.73	3.27.28.71	967.76	977818.99	67.010	-42.364	12.61	-29.750
302	1066029.40	874648.01	-76.29.00.22	3.27.44.77	967.38	977820.01	67.859	-41.472	12.60	-28.872
303	1065431.31	874820.14	-76.29.19.59	3.27.50.39	969.15	977822.48	70.860	-38.670	12.62	-26.052
304	1065287.84	874264.65	-76.29.24.25	3.27.32.31	970.60	977821.56	70.437	-39.256	12.59	-26.664
305	1064973.69	874682.07	-76.29.34.42	3.27.45.90	972.67	977823.99	73.471	-36.456	12.62	-23.833
306	1064469.23	874521.62	-76.29.50.76	3.27.40.69	974.66	977826.38	76.493	-33.658	12.64	-21.018
307	1063987.10	874368.96	-76.30.06.39	3.27.35.73	977.90	977829.08	80.206	-30.310	12.67	-17.642
309	1062039.75	873760.89	-76.31.09.48	3.27.15.97	991.39	977841.31	96.656	-15.381	12.74	-2.637
313	1065495.23	877694.48	-76.29.17.46	3.29.23.96	966.20	977831.11	78.295	-30.903	12.59	-18.311
315	1065562.69	876109.92	-76.29.15.31	3.28.32.37	969.32	977824.40	72.710	-36.840	12.60	-24.242
316	1065353.99	876792.69	-76.29.22.05	3.28.54.60	967.73	977827.69	75.434	-33.936	12.59	-21.350
318	1064917.39	877144.23	-76.29.36.19	3.29.06.06	968.52	977831.37	79.330	-30.130	12.60	-17.525
322	1064541.41	875705.20	-76.29.48.40	3.28.19.22	972.32	977828.80	78.072	-31.816	12.64	-19.176
324	1063528.24	875225.84	-76.30.21.23	3.28.03.63	977.75	977834.37	85.366	-25.133	12.66	-12.477

Estación	x	y	Longitude	Latitude	Elevación	G. Observ	A. A. Libre	A. Bouguer	C. Topog	A. BT
330	1061930.41	874548.68	-76.31.13.01	3.27.41.62	991.80	977843.88	99.279	-12.803	12.73	-0.076
332	1062724.25	876663.99	-76.30.47.25	3.28.50.47	978.78	977845.89	97.060	-13.556	12.66	-0.901
334	1061554.77	875359.31	-76.31.25.17	3.28.08.02	990.87	977848.08	103.109	-8.868	12.73	3.857
336	1061990.06	877439.94	-76.31.11.02	3.29.15.74	978.72	977853.00	104.077	-6.532	12.67	6.141
337	1061814.70	876946.71	-76.31.16.71	3.28.59.69	983.59	977851.88	104.511	-6.646	12.70	6.050
338	1061611.94	876375.95	-76.31.23.29	3.28.41.11	985.61	977851.16	104.466	-6.918	12.71	5.788
339	1061497.57	875840.41	-76.31.27.01	3.28.23.68	989.25	977849.96	104.444	-7.350	12.72	5.370
345	1060707.21	874807.66	-76.31.52.63	3.27.50.07	998.90	977850.18	107.741	-5.141	12.82	7.682
350	1064816.58	873910.48	-76.29.39.52	3.27.20.79	973.13	977823.12	72.820	-37.159	12.61	-24.545
351	1064200.09	873683.15	-76.29.59.50	3.27.13.40	975.80	977826.25	76.791	-33.488	12.65	-20.840
352	1063945.76	876685.13	-76.30.07.68	3.28.51.13	973.12	977835.93	85.357	-24.621	12.66	-11.957
353	1063364.94	872268.92	-76.30.26.58	3.26.27.38	974.92	977828.95	79.365	-30.816	12.65	-18.170
354	1066471.83	875228.93	-76.28.45.87	3.28.03.67	968.81	977819.65	67.889	-41.603	12.59	-29.012
461	1067241.40	865644.98	-76.28.21.14	3.22.51.66	951.65	977800.85	44.722	-62.836	12.59	-50.246
462	1067075.97	865820.03	-76.28.26.49	3.22.57.36	951.04	977801.21	44.877	-62.613	12.58	-50.028
463	1066960.31	866032.87	-76.28.30.24	3.23.04.29	950.57	977801.65	45.151	-62.285	12.60	-49.686
464	1066949.29	866254.39	-76.28.30.59	3.23.11.50	950.18	977802.14	45.500	-61.893	12.58	-49.312
465	1066992.92	866436.17	-76.28.29.17	3.23.17.42	950.30	977802.49	45.869	-61.537	12.59	-48.946
466	1067047.31	866665.91	-76.28.27.40	3.23.24.90	950.38	977802.98	46.362	-61.053	12.59	-48.460
467	1066987.99	866828.97	-76.28.29.32	3.23.30.21	950.93	977803.18	46.716	-60.761	12.59	-48.172
468	1066930.39	867037.04	-76.28.31.18	3.23.36.98	950.37	977803.66	47.003	-60.411	12.58	-47.829
469	1066860.14	867277.33	-76.28.33.46	3.23.44.81	950.16	977804.11	47.365	-60.025	12.58	-47.449
470	1066795.56	867505.70	-76.28.35.54	3.23.52.24	951.07	977804.13	47.644	-59.849	12.60	-47.253
471	1066699.41	867683.76	-76.28.38.65	3.23.58.04	950.85	977804.56	47.989	-59.479	12.59	-46.885
472	1066532.27	867921.81	-76.28.44.06	3.24.05.79	950.33	977805.28	48.525	-58.884	12.60	-46.281
473	1066388.45	868043.29	-76.28.48.72	3.24.09.75	950.55	977805.46	48.761	-58.673	12.57	-46.107
474	1066326.73	868204.15	-76.28.50.72	3.24.14.99	951.25	977805.71	49.212	-58.301	12.60	-45.699
475	1066220.47	868342.08	-76.28.54.16	3.24.19.48	950.89	977806.20	49.577	-57.895	12.57	-45.323
476	1066204.25	868294.24	-76.28.54.68	3.24.17.93	959.10	977806.18	52.096	-56.302	12.59	-43.716
477	1066026.76	868316.50	-76.29.00.43	3.24.18.65	949.32	977806.67	49.565	-57.730	12.60	-45.131
478	1066230.56	867851.81	-76.28.53.84	3.24.03.52	958.14	977804.97	50.632	-57.657	12.58	-45.075
479	1066216.24	867721.82	-76.28.54.30	3.23.59.29	951.16	977804.61	48.131	-59.372	12.58	-46.795
480	1066177.75	867471.04	-76.28.55.56	3.23.51.13	950.79	977804.24	47.671	-59.791	12.58	-47.210
481	1066150.30	867284.53	-76.28.56.45	3.23.45.06	950.85	977803.86	47.327	-60.141	12.58	-47.557
482	1066122.25	867093.19	-76.28.57.36	3.23.38.83	950.51	977803.60	46.981	-60.449	12.59	-47.857
483	1066073.58	866856.19	-76.28.58.94	3.23.31.11	951.22	977802.82	46.443	-61.067	12.59	-48.477
484	1065983.41	866617.39	-76.29.01.87	3.23.23.34	950.97	977802.38	45.948	-61.533	12.60	-48.935
485	1066231.73	866620.85	-76.28.53.83	3.23.23.45	950.80	977802.53	46.046	-61.417	12.59	-48.826
486	1066375.28	866639.77	-76.28.49.17	3.23.24.06	950.10	977802.58	45.878	-61.506	12.60	-48.910
487	1066561.70	866643.96	-76.28.43.14	3.23.24.19	950.11	977802.58	45.881	-61.504	12.59	-48.918
488	1066765.46	866654.71	-76.28.36.53	3.23.24.54	950.63	977802.61	46.070	-61.373	12.58	-48.795
489	1066941.61	866659.30	-76.28.30.83	3.23.24.69	950.74	977802.80	46.294	-61.162	12.58	-48.582
490	1066798.49	866344.67	-76.28.35.47	3.23.14.45	950.23	977802.23	45.596	-61.802	12.58	-49.217

Estación	x	y	Longitude	Latitude	Elevación	G. Observ	A. A. Libre	A. Bouguer	C. Topog	A. BT
491	1066639.20	866349.94	-76.28.40.63	3.23.14.62	949.54	977802.05	45.203	-62.118	12.58	-49.538
492	1066502.39	866354.25	-76.28.45.06	3.23.14.76	950.04	977802.04	45.347	-62.030	12.58	-49.446
493	1066014.80	867055.23	-76.29.00.84	3.23.37.59	950.72	977803.47	46.919	-60.534	12.59	-47.947
494	1065935.33	867205.81	-76.29.03.42	3.23.42.50	950.71	977804.12	47.552	-59.901	12.60	-47.304
495	1065869.38	867369.10	-76.29.05.55	3.23.47.81	948.80	977804.55	47.376	-59.861	12.59	-47.271
496	1065760.25	867563.27	-76.29.09.08	3.23.54.14	949.26	977805.01	47.960	-59.329	12.58	-46.750
497	1065681.70	867788.53	-76.29.11.62	3.24.01.47	948.98	977805.72	48.561	-58.696	12.59	-46.109
498	1065528.25	867821.23	-76.29.16.59	3.24.02.54	949.75	977806.05	49.126	-58.218	12.59	-45.627
499	1065334.11	867782.78	-76.29.22.88	3.24.01.29	949.26	977806.47	49.398	-57.891	12.60	-45.291
500	1065189.40	867727.28	-76.29.27.57	3.23.59.49	949.55	977806.49	49.513	-57.808	12.59	-45.214
501	1064988.22	867638.79	-76.29.34.09	3.23.56.61	950.06	977806.72	49.909	-57.470	12.61	-44.861
502	1064843.14	867745.27	-76.29.38.78	3.24.00.08	946.00	977807.66	49.586	-57.336	12.59	-44.750
503	1064746.77	867861.95	-76.29.41.90	3.24.03.88	949.35	977808.29	51.239	-56.061	12.60	-43.458
504	1064642.87	867959.31	-76.29.45.27	3.24.07.05	948.98	977808.85	51.675	-55.582	12.59	-42.994
505	1064502.93	868109.22	-76.29.49.80	3.24.11.94	949.02	977809.69	52.513	-54.749	12.61	-42.139
506	1067064.05	866784.93	-76.28.26.86	3.23.28.77	950.28	977803.19	46.529	-60.874	12.60	-48.279
507	1067098.09	866930.67	-76.28.25.75	3.23.33.52	950.24	977803.53	46.843	-60.556	12.58	-47.972
508	1067133.73	867058.31	-76.28.24.60	3.23.37.67	952.78	977803.88	47.965	-59.721	12.59	-47.132
509	1067161.91	867218.28	-76.28.23.68	3.23.42.88	949.19	977804.12	47.081	-60.200	12.58	-47.618
510	1067344.84	867260.73	-76.28.17.75	3.23.44.26	950.18	977804.51	47.773	-59.620	12.61	-47.010
511	1067510.87	867337.17	-76.28.12.37	3.23.46.74	950.63	977804.66	48.054	-59.389	12.58	-46.808
512	1067522.19	867447.19	-76.28.12.01	3.23.50.32	950.50	977804.97	48.314	-59.115	12.59	-46.529
513	1067538.73	867537.33	-76.28.11.47	3.23.53.26	950.56	977805.07	48.423	-59.012	12.61	-46.405
514	1067557.10	867636.79	-76.28.10.87	3.23.56.50	951.23	977805.22	48.771	-58.740	12.61	-46.131
515	1067573.51	867715.30	-76.28.10.34	3.23.59.05	950.59	977805.35	48.696	-58.743	12.60	-46.142
516	1067592.82	867818.33	-76.28.09.71	3.24.02.40	951.62	977805.45	49.103	-58.451	12.60	-45.850
517	1067448.77	867716.98	-76.28.14.38	3.23.59.11	946.28	977805.36	47.375	-59.578	12.59	-46.992
518	1067238.37	867738.50	-76.28.21.19	3.23.59.81	950.96	977804.90	48.357	-59.123	12.60	-46.528
519	1067648.45	867718.75	-76.28.07.91	3.23.59.16	950.77	977805.56	48.961	-58.498	12.61	-45.892
520	1067716.81	867618.31	-76.28.05.70	3.23.55.89	950.54	977805.58	48.919	-58.514	12.59	-45.919
521	1067791.93	867503.89	-76.28.03.27	3.23.52.16	950.56	977805.49	48.847	-58.589	12.60	-45.990
522	1066994.46	867459.84	-76.28.29.10	3.23.50.75	949.89	977804.51	47.664	-59.696	12.60	-47.096
523	1067191.22	867400.18	-76.28.22.73	3.23.48.80	949.29	977804.62	47.595	-59.698	12.59	-47.108
524	1067351.75	867390.05	-76.28.17.53	3.23.48.47	949.72	977804.75	47.858	-59.482	12.57	-46.912
525	1064396.11	867971.02	-76.29.53.26	3.24.07.44	949.36	977809.89	52.831	-54.469	12.60	-41.868
526	1064277.08	867818.96	-76.29.57.12	3.24.02.49	949.72	977809.94	53.007	-54.334	12.59	-41.741
527	1064377.33	867690.63	-76.29.53.88	3.23.58.31	955.76	977809.13	54.073	-53.948	12.59	-41.355
528	1064494.73	867586.87	-76.29.50.07	3.23.54.93	949.71	977808.33	51.416	-55.924	12.59	-43.332
529	1064685.54	867422.19	-76.29.43.90	3.23.49.57	950.91	977807.12	50.592	-56.883	12.60	-44.284
530	1064813.40	867302.65	-76.29.39.76	3.23.45.67	950.21	977806.49	49.758	-57.638	12.59	-45.044
531	1065012.82	867235.58	-76.29.33.30	3.23.43.49	950.66	977805.76	49.173	-58.274	12.59	-45.688
532	1065118.16	867201.11	-76.29.29.89	3.23.42.36	950.06	977805.40	48.631	-58.748	12.58	-46.172
533	1065226.23	867171.13	-76.29.26.39	3.23.41.38	950.02	977805.05	48.272	-59.103	12.58	-46.518

Estación	x	y	Longitude	Latitute	Elevación	G. Observ	A. A. Libre	A. Bouguer	C. Topog	A. BT
534	1065523.42	867252.66	-76.29.16.76	3.23.44.03	950.45	977804.50	47.847	-59.576	12.59	-46.987
535	1065755.54	867252.17	-76.29.09.24	3.23.44.01	950.57	977804.08	47.464	-59.973	12.59	-47.387
536	1065486.83	867571.51	-76.29.17.94	3.23.54.41	949.45	977805.54	48.547	-58.763	12.60	-46.167
537	1065243.83	867555.39	-76.29.25.81	3.23.53.89	950.45	977806.20	49.518	-57.905	12.59	-45.316
538	1065109.49	867465.46	-76.29.30.16	3.23.50.97	949.37	977806.28	49.273	-58.028	12.59	-45.438
539	1065341.43	867399.49	-76.29.22.65	3.23.48.81	949.35	977805.59	48.583	-58.716	12.59	-46.130
540	1064844.37	867539.28	-76.29.38.75	3.23.53.38	953.43	977807.09	51.329	-56.430	12.59	-43.842
541	1066560.12	866829.54	-76.28.43.18	3.23.30.24	950.78	977802.92	46.409	-61.051	12.59	-48.460
542	1066567.48	867008.71	-76.28.42.94	3.23.36.07	950.53	977803.36	46.755	-60.677	12.57	-48.103
543	1066575.44	867170.78	-76.28.42.68	3.23.41.34	950.26	977803.78	47.076	-60.326	12.59	-47.739
544	1066589.63	867364.60	-76.28.42.22	3.23.47.65	950.32	977804.06	47.356	-60.052	12.59	-47.462
545	1066513.05	867525.46	-76.28.44.69	3.23.52.89	953.43	977804.50	48.740	-59.019	12.58	-46.443
546	1066406.57	867878.77	-76.28.48.14	3.24.04.40	949.85	977805.32	48.421	-58.934	12.60	-46.335
547	1066815.61	867020.62	-76.28.34.90	3.23.36.45	948.93	977803.83	46.730	-60.522	12.59	-47.930
548	1067947.94	866483.11	-76.27.58.23	3.23.18.93	950.93	977803.68	47.249	-60.228	12.59	-47.633
549	1067797.28	866491.33	-76.28.03.11	3.23.19.20	950.41	977803.52	46.928	-60.491	12.59	-47.902
550	1067631.19	866491.53	-76.28.08.49	3.23.19.21	954.43	977803.39	48.038	-59.833	12.59	-47.244
551	1067469.15	866525.40	-76.28.13.74	3.23.20.32	949.84	977803.27	46.499	-60.856	12.59	-48.266
552	1067314.52	866563.70	-76.28.18.75	3.23.21.57	949.73	977803.23	46.421	-60.921	12.59	-48.332
553	1067484.45	865699.75	-76.28.13.26	3.22.53.44	951.86	977801.42	45.351	-62.231	12.61	-49.620
554	1067646.50	865738.30	-76.28.08.01	3.22.54.69	952.02	977801.69	45.667	-61.933	12.60	-49.334
555	1067857.37	865780.47	-76.28.01.18	3.22.56.06	954.64	977801.28	46.062	-61.834	12.60	-49.230
556	1067939.57	865909.97	-76.27.58.52	3.23.00.27	962.46	977801.67	48.852	-59.924	12.59	-47.331
557	1068035.34	866070.39	-76.27.55.41	3.23.05.49	954.99	977802.13	46.992	-60.943	12.60	-48.343
558	1068140.42	866237.47	-76.27.52.00	3.23.10.93	954.79	977802.62	47.404	-60.508	12.60	-47.908
559	1068076.15	866471.31	-76.27.54.08	3.23.18.54	953.78	977803.03	47.480	-60.319	12.60	-47.722
560	1067986.45	866699.78	-76.27.56.98	3.23.25.98	950.14	977803.46	46.765	-60.624	12.60	-48.021
561	1068025.96	866926.57	-76.27.55.70	3.23.33.36	954.53	977803.92	48.557	-59.325	12.61	-46.717
562	1068055.06	867089.23	-76.27.54.75	3.23.38.66	952.94	977804.31	48.441	-59.263	12.59	-46.675
563	1068077.57	867306.34	-76.27.54.02	3.23.45.73	954.26	977804.66	49.178	-58.675	12.58	-46.099
564	1067950.89	867542.81	-76.27.58.12	3.23.53.43	953.69	977804.74	49.059	-58.729	12.61	-46.118
565	1067835.64	867750.00	-76.28.01.85	3.24.00.17	954.17	977804.94	49.387	-58.455	12.60	-45.857
566	1066357.78	866362.64	-76.28.49.75	3.23.15.04	950.13	977802.03	45.364	-62.023	12.59	-49.432
567	1066366.83	868450.27	-76.28.49.41	3.24.23.00	950.25	977806.57	49.740	-57.661	12.59	-45.067
568	1065015.41	868077.91	-76.29.33.20	3.24.10.91	954.28	977808.41	52.859	-54.996	12.59	-42.405
569	1065304.09	868197.00	-76.29.23.84	3.24.14.78	948.63	977808.03	50.724	-56.494	12.59	-43.901
570	1065517.31	868270.75	-76.29.16.94	3.24.17.17	949.64	977807.48	50.479	-56.853	12.60	-44.258
571	1065597.86	868433.11	-76.29.14.32	3.24.22.46	949.51	977807.68	50.623	-56.694	12.60	-44.090
572	1065730.21	868531.28	-76.29.10.03	3.24.25.65	949.05	977807.73	50.521	-56.744	12.58	-44.163
573	1065880.64	868615.04	-76.29.05.16	3.24.28.38	949.27	977807.70	50.551	-56.739	12.59	-44.153
574	1066038.26	868687.63	-76.29.00.05	3.24.30.74	952.07	977807.46	51.168	-56.437	12.59	-43.849
575	1066274.09	868724.13	-76.28.52.41	3.24.31.92	959.92	977807.32	53.447	-55.043	12.60	-42.446
576	1066395.98	868561.13	-76.28.48.47	3.24.26.61	962.32	977806.81	53.694	-55.067	12.61	-42.460

Estación	x	y	Longitude	Latitude	Elevación	G. Observ	A. A. Libre	A. Bouguer	C. Topog	A. BT
577	1066481.77	868378.84	-76.28.45.69	3.24.20.67	949.96	977806.34	49.427	-57.941	12.57	-45.367
578	1066529.16	868227.06	-76.28.44.16	3.24.15.73	950.64	977805.91	49.221	-58.223	12.60	-45.618
579	1066552.92	868033.94	-76.28.43.39	3.24.09.44	951.36	977805.21	48.762	-58.763	12.60	-46.167
580	1066098.71	867922.06	-76.28.58.11	3.24.05.81	950.31	977805.48	48.719	-58.688	12.59	-46.093
581	1066061.00	867726.58	-76.28.59.33	3.23.59.45	949.46	977805.05	48.046	-59.266	12.58	-46.687
582	1065944.71	867638.73	-76.29.03.10	3.23.56.59	953.60	977805.09	49.372	-58.406	12.60	-45.806
583	1066836.91	866001.77	-76.28.34.23	3.23.03.28	949.98	977801.61	44.932	-62.438	12.59	-49.844
584	1066802.16	865882.94	-76.28.35.36	3.22.59.42	950.22	977801.30	44.708	-62.690	12.57	-50.116
585	1066758.26	865742.70	-76.28.36.79	3.22.54.85	957.19	977801.27	46.842	-61.341	12.59	-48.747
586	1067906.49	867394.88	-76.27.59.56	3.23.48.61	950.74	977805.42	48.843	-58.613	12.61	-46.007
587	1067951.34	867244.87	-76.27.58.11	3.23.43.73	951.06	977805.22	48.756	-58.736	12.61	-46.127
588	1067828.81	867168.55	-76.28.02.08	3.23.41.25	954.21	977805.04	49.555	-58.291	12.62	-45.672
589	1067606.61	867106.00	-76.28.09.28	3.23.39.21	950.54	977804.61	47.999	-59.434	12.60	-46.836
590	1067571.06	866965.41	-76.28.10.43	3.23.34.64	951.24	977804.35	47.968	-59.544	12.58	-46.959
591	1067370.44	866937.20	-76.28.16.93	3.23.33.72	950.02	977804.15	47.395	-59.980	12.59	-47.389
592	1067253.61	866911.43	-76.28.20.72	3.23.32.89	949.69	977804.04	47.185	-60.152	12.59	-47.562
593	1066360.96	867365.73	-76.28.49.62	3.23.47.70	949.07	977804.27	47.180	-60.087	12.60	-47.492
594	1066280.25	866944.40	-76.28.52.25	3.23.33.98	948.95	977803.47	46.384	-60.870	12.59	-48.278
595	1058618.23	859373.04	-76.33.00.58	3.19.27.64	1028.91	977803.51	71.820	-44.442	12.99	-31.455
596	1059033.20	859380.42	-76.32.47.14	3.19.27.88	1027.06	977802.61	70.349	-45.705	12.99	-32.716
597	1058822.75	859290.17	-76.32.53.96	3.19.24.94	1025.65	977803.33	70.642	-45.253	12.98	-32.277
598	1058955.67	859806.82	-76.32.49.65	3.19.41.76	1037.59	977802.04	72.988	-44.252	13.05	-31.205
599	1059000.21	860227.98	-76.32.48.20	3.19.55.47	1053.32	977799.78	75.542	-43.469	13.11	-30.362
600	1058989.39	860625.36	-76.32.48.54	3.20.08.41	1065.66	977798.74	78.273	-42.128	13.16	-28.968
601	1058814.40	860901.90	-76.32.54.20	3.20.17.41	1072.65	977799.31	80.974	-40.215	13.18	-27.031
602	1058725.90	861281.30	-76.32.57.06	3.20.29.76	1082.88	977798.85	83.635	-38.705	13.24	-25.462
603	1058711.19	861112.68	-76.32.57.54	3.20.24.27	1082.37	977798.52	83.163	-39.119	13.22	-25.895
604	1059458.69	860830.17	-76.32.33.33	3.20.15.06	1056.89	977798.49	75.297	-44.117	13.14	-30.974
605	1059470.51	861348.73	-76.32.32.94	3.20.31.95	1075.22	977795.46	77.874	-43.603	13.20	-30.404
606	1059900.34	861044.08	-76.32.19.02	3.20.22.02	1044.24	977798.83	71.713	-46.276	13.10	-33.173
607	1060277.80	860846.93	-76.32.06.80	3.20.15.60	1033.70	977798.41	68.059	-48.743	13.01	-35.731
608	1060480.38	861139.70	-76.32.00.23	3.20.25.12	1027.08	977799.91	67.489	-48.568	13.00	-35.563
609	1058433.86	861135.43	-76.33.06.53	3.20.25.02	1083.91	977799.05	84.166	-38.290	13.24	-25.046
610	1058306.39	860952.20	-76.33.10.66	3.20.19.06	1071.59	977801.52	82.852	-38.217	13.28	-24.934
611	1058547.91	860748.31	-76.33.02.84	3.20.12.42	1065.81	977801.07	80.637	-39.781	13.22	-26.556
612	1058584.20	860960.46	-76.33.01.66	3.20.19.32	1069.97	977801.02	81.851	-39.035	13.19	-25.844
613	1058432.74	860888.09	-76.33.06.57	3.20.16.97	1067.55	977801.74	81.831	-38.783	13.20	-25.582
614	1058844.03	860596.29	-76.32.53.25	3.20.07.46	1069.80	977798.24	79.053	-41.814	13.14	-28.672
615	1059613.56	860330.84	-76.32.28.33	3.19.58.81	1050.03	977797.75	72.487	-46.154	13.09	-33.062
616	1059321.51	860280.17	-76.32.37.79	3.19.57.16	1055.17	977798.01	74.338	-44.882	13.11	-31.767
617	1060131.22	860303.49	-76.32.11.56	3.19.57.91	1035.32	977797.47	67.670	-49.314	13.04	-36.276
618	1059999.79	860169.62	-76.32.15.82	3.19.53.55	1037.35	977797.33	68.170	-49.043	13.03	-36.010
619	1060647.19	860859.51	-76.31.54.84	3.20.16.00	1023.36	977799.13	65.587	-50.050	12.97	-37.080

Estación	x	y	Longitude	Latitute	Elevación	G. Observ	A. A. Libre	A. Bouguer	C. Topog	A. BT
620	1060405.42	860338.93	-76.32.02.68	3.19.59.06	1028.62	977797.48	65.610	-50.620	13.00	-37.619
621	1060238.65	859950.41	-76.32.08.09	3.19.46.41	1028.78	977797.24	65.456	-50.792	13.00	-37.795
622	1059835.85	859928.11	-76.32.21.13	3.19.45.69	1038.87	977797.26	68.591	-48.793	13.03	-35.764
623	1060116.71	859760.28	-76.32.12.04	3.19.40.22	1025.83	977797.77	65.093	-50.822	12.98	-37.842
624	1058385.72	860455.58	-76.33.08.10	3.20.02.89	1055.07	977802.56	78.841	-40.368	13.17	-27.195
625	1058478.84	860551.73	-76.33.05.08	3.20.06.02	1059.20	977801.83	79.376	-40.297	13.16	-27.134
626	1058377.43	859285.73	-76.33.08.39	3.19.24.80	1027.64	977804.61	72.537	-43.583	13.03	-30.550
627	1058250.87	859435.21	-76.33.12.48	3.19.29.67	1039.71	977803.30	74.937	-42.542	13.05	-29.496
628	1058371.43	859559.61	-76.33.08.58	3.19.33.72	1032.70	977805.00	74.462	-42.227	13.06	-29.163
629	1058215.80	859858.39	-76.33.13.61	3.19.43.45	1039.38	977805.08	76.575	-40.866	13.10	-27.769
630	1058150.80	860061.89	-76.33.15.71	3.19.50.08	1043.76	977805.11	77.938	-39.997	13.13	-26.866
631	1058175.85	860353.76	-76.33.14.90	3.19.59.58	1056.40	977802.76	79.461	-39.898	13.25	-26.649
632	1058438.84	860612.34	-76.33.06.37	3.20.07.99	1067.28	977800.34	80.374	-40.210	13.18	-27.035
633	1058255.23	860816.87	-76.33.12.32	3.20.14.65	1068.64	977801.68	82.114	-38.622	13.26	-25.358
634	1057997.72	861005.35	-76.33.20.66	3.20.20.79	1077.54	977801.74	84.903	-36.836	13.39	-23.445
635	1057055.08	861702.29	-76.33.51.18	3.20.43.50	1143.24	977799.22	102.591	-26.544	13.51	-13.035
636	1057341.59	861676.11	-76.33.41.90	3.20.42.64	1132.23	977799.01	98.986	-28.909	13.51	-15.404
637	1057652.66	861607.29	-76.33.31.82	3.20.40.40	1126.28	977797.26	95.407	-31.819	13.48	-18.342
638	1057914.25	861336.76	-76.33.23.35	3.20.31.58	1123.63	977794.58	91.935	-34.993	13.39	-21.600
639	1058357.27	861255.36	-76.33.09.00	3.20.28.93	1083.31	977800.10	85.020	-37.369	13.27	-24.095
640	1058609.34	859727.89	-76.33.00.87	3.19.39.20	1038.14	977803.05	74.175	-43.127	13.04	-30.090
641	1058801.11	859918.41	-76.32.54.65	3.19.45.39	1041.57	977801.93	74.096	-43.593	13.06	-30.532
642	1058576.00	860292.87	-76.33.01.94	3.19.57.59	1051.81	977802.36	77.650	-41.191	13.13	-28.065
643	1058784.08	860405.33	-76.32.55.19	3.20.01.25	1058.60	977800.17	77.545	-42.061	13.13	-28.930
644	1058867.88	861388.11	-76.32.52.46	3.20.33.24	1100.21	977794.38	84.502	-39.789	13.23	-26.558
645	1057881.03	862001.20	-76.33.24.42	3.20.53.21	1119.17	977798.60	94.515	-31.910	13.32	-18.595
646	1058159.70	862889.34	-76.33.15.38	3.21.22.12	1071.71	977809.29	90.475	-30.608	13.14	-17.464
647	1056946.89	862163.31	-76.33.54.68	3.20.58.51	1147.72	977801.24	105.950	-23.689	13.51	-10.175
648	1061054.41	878053.83	-76.31.41.32	3.29.35.74	1020.52	977854.83	118.744	3.427	13.30	16.723
649	1061074.39	878054.76	-76.31.40.68	3.29.35.77	1013.09	977856.14	117.761	3.281	13.27	16.548
650	1061094.37	878055.70	-76.31.40.03	3.29.35.81	1005.52	977857.56	116.845	3.217	13.23	16.448
651	1061114.34	878056.63	-76.31.39.38	3.29.35.83	1000.61	977858.36	116.130	3.055	13.19	16.249
652	1061134.32	878057.57	-76.31.38.74	3.29.35.87	997.67	977858.87	115.732	2.989	13.16	16.148
653	1061154.30	878058.50	-76.31.38.09	3.29.35.90	996.14	977858.92	115.310	2.739	13.12	15.863
654	1061174.28	878059.44	-76.31.37.44	3.29.35.93	993.90	977859.26	114.959	2.640	13.08	15.725
655	1061194.26	878060.37	-76.31.36.79	3.29.35.96	990.84	977859.74	114.494	2.520	13.04	15.564
656	1061214.24	878061.31	-76.31.36.15	3.29.35.99	988.55	977860.00	114.048	2.332	13.00	15.334
657	1061234.21	878062.24	-76.31.35.50	3.29.36.02	987.09	977860.08	113.677	2.125	12.96	15.087
658	1061254.19	878063.18	-76.31.34.85	3.29.36.05	985.33	977860.15	113.204	1.851	12.92	14.771
659	1061274.17	878064.11	-76.31.34.20	3.29.36.08	983.91	977860.15	112.765	1.572	12.89	14.466
660	1061294.15	878065.05	-76.31.33.56	3.29.36.11	982.67	977860.08	112.313	1.259	12.87	14.134
661	1061314.13	878065.98	-76.31.32.91	3.29.36.14	981.01	977860.10	111.820	0.954	12.85	13.809
662	1061334.10	878066.92	-76.31.32.26	3.29.36.17	979.84	977860.00	111.359	0.625	12.84	13.460

Estación	x	y	Longitudo	Latitudo	Elevación	G. Observ	A. A. Libre	A. Bouguer	C. Topog	A. BT
663	1061354.08	878067.85	-76.31.31.62	3.29.36.20	978.82	977859.88	110.924	0.305	12.82	13.121
664	1061374.06	878068.79	-76.31.30.97	3.29.36.23	978.39	977859.64	110.552	-0.020	12.80	12.784
665	1061394.04	878069.72	-76.31.30.32	3.29.36.26	977.74	977859.53	110.241	-0.257	12.79	12.537
666	1061414.02	878070.66	-76.31.29.67	3.29.36.29	977.25	977859.36	109.920	-0.523	12.78	12.261
667	1061434.00	878071.59	-76.31.29.03	3.29.36.32	976.64	977859.18	109.551	-0.823	12.77	11.952
668	1061453.97	878072.53	-76.31.28.38	3.29.36.35	975.47	977859.05	109.060	-1.182	12.76	11.582
669	1061473.95	878073.46	-76.31.27.73	3.29.36.38	975.04	977858.74	108.617	-1.577	12.76	11.183
670	1061493.93	878074.40	-76.31.27.08	3.29.36.41	974.32	977858.58	108.235	-1.878	12.76	10.879
671	1061513.91	878075.33	-76.31.26.44	3.29.36.44	973.55	977858.47	107.887	-2.139	12.75	10.615
672	1061532.83	878076.22	-76.31.25.82	3.29.36.46	973.26	977858.35	107.678	-2.316	12.75	10.435
673	1061553.86	878077.20	-76.31.25.14	3.29.36.50	972.72	977858.33	107.491	-2.441	12.75	10.306
674	1061394.55	879438.58	-76.31.30.28	3.30.20.82	1004.43	977860.12	118.931	5.426	13.04	18.462
675	1061414.06	879443.00	-76.31.29.65	3.30.20.96	997.65	977861.26	117.979	5.238	13.00	18.234
676	1061433.56	879447.41	-76.31.29.01	3.30.21.11	993.33	977861.89	117.275	5.021	12.96	17.980
677	1061453.07	879451.83	-76.31.28.38	3.30.21.25	990.53	977862.21	116.731	4.792	12.92	17.714
678	1061472.58	879456.24	-76.31.27.75	3.30.21.39	988.56	977862.35	116.262	4.545	12.91	17.451
679	1061492.08	879460.66	-76.31.27.12	3.30.21.54	987.16	977862.41	115.890	4.330	12.90	17.235
680	1061511.59	879465.07	-76.31.26.49	3.30.21.68	986.15	977862.42	115.588	4.142	12.90	17.044
681	1061531.10	879469.49	-76.31.25.85	3.30.21.82	985.59	977862.38	115.374	3.992	12.90	16.891
682	1061550.60	879473.90	-76.31.25.22	3.30.21.97	985.00	977862.32	115.132	3.816	12.90	16.711
683	1061570.11	879478.31	-76.31.24.59	3.30.22.11	984.36	977862.29	114.904	3.660	12.89	16.547
684	1061589.62	879482.73	-76.31.23.96	3.30.22.25	984.15	977862.16	114.709	3.488	12.87	16.362
685	1061609.12	879487.14	-76.31.23.33	3.30.22.40	983.60	977862.12	114.498	3.340	12.86	16.201
686	1061628.63	879491.56	-76.31.22.69	3.30.22.54	983.10	977861.97	114.194	3.092	12.85	15.941
687	1061648.14	879495.97	-76.31.22.06	3.30.22.68	982.26	977861.89	113.854	2.847	12.84	15.685
688	1061667.64	879500.39	-76.31.21.43	3.30.22.83	981.90	977861.74	113.593	2.626	12.83	15.454
689	1061687.15	879504.80	-76.31.20.80	3.30.22.97	980.96	977861.71	113.272	2.411	12.82	15.230
690	1061706.66	879509.21	-76.31.20.17	3.30.23.11	980.46	977861.54	112.947	2.143	12.81	14.953
691	1061726.17	879513.63	-76.31.19.53	3.30.23.26	979.94	977861.35	112.596	1.850	12.80	14.652
692	1061745.67	879518.04	-76.31.18.90	3.30.23.40	979.32	977861.17	112.225	1.549	12.79	14.341
693	1061764.57	879522.32	-76.31.18.29	3.30.23.54	978.92	977861.00	111.931	1.300	12.78	14.084
694	1061784.69	879526.87	-76.31.17.64	3.30.23.68	978.38	977860.86	111.624	1.054	12.78	13.835
695	1061804.19	879531.29	-76.31.17.00	3.30.23.83	977.85	977860.72	111.320	0.809	12.78	13.587
696	1061863.76	879244.59	-76.31.15.08	3.30.14.49	971.23	977860.32	108.905	-0.859	12.78	11.921
697	1061883.74	879243.73	-76.31.14.43	3.30.14.47	970.27	977860.22	108.509	-1.147	12.78	11.632
698	1061903.72	879242.88	-76.31.13.79	3.30.14.44	969.55	977860.08	108.147	-1.428	12.78	11.350
699	1061923.71	879242.02	-76.31.13.14	3.30.14.41	969.12	977859.94	107.874	-1.652	12.78	11.124
700	1061943.69	879241.16	-76.31.12.49	3.30.14.38	968.64	977859.79	107.576	-1.896	12.78	10.880
701	1061963.67	879240.30	-76.31.11.84	3.30.14.35	968.25	977859.62	107.286	-2.143	12.77	10.631
702	1061983.65	879239.44	-76.31.11.20	3.30.14.32	967.66	977859.49	106.974	-2.388	12.76	10.372
703	1062003.63	879238.58	-76.31.10.55	3.30.14.30	967.16	977859.34	106.670	-2.636	12.75	10.110
704	1062023.61	879237.73	-76.31.09.90	3.30.14.27	966.67	977859.20	106.379	-2.872	12.73	9.861
705	1062043.60	879236.87	-76.31.09.25	3.30.14.24	966.08	977859.07	106.067	-3.117	12.72	9.602

Estación	x	y	Longitude	Latitude	Elevación	G. Observ	A. A. Libre	A. Bouguer	C. Topog	A. BT
706	1062063.51	879236.01	-76.31.08.61	3.30.14.21	965.58	977858.93	105.773	-3.355	12.71	9.351
707	1062083.55	879234.96	-76.31.07.96	3.30.14.18	965.02	977858.81	105.480	-3.585	12.70	9.117
708	1062103.52	879233.91	-76.31.07.31	3.30.14.14	964.43	977858.70	105.188	-3.810	12.70	8.887
709	1062123.49	879232.86	-76.31.06.67	3.30.14.11	964.07	977858.54	104.917	-4.041	12.69	8.653
710	1062143.47	879231.81	-76.31.06.02	3.30.14.07	963.62	977858.38	104.618	-4.289	12.69	8.400
711	1062163.44	879230.76	-76.31.05.37	3.30.14.04	963.13	977858.25	104.337	-4.515	12.68	8.170
712	1062183.41	879229.71	-76.31.04.72	3.30.14.00	962.73	977858.10	104.064	-4.743	12.68	7.937
713	1062203.38	879228.67	-76.31.04.08	3.30.13.97	962.30	977857.98	103.811	-4.947	12.68	7.728
714	1062223.36	879227.62	-76.31.03.43	3.30.13.93	961.85	977857.84	103.532	-5.175	12.67	7.495
715	1062243.33	879226.57	-76.31.02.78	3.30.13.90	961.55	977857.69	103.290	-5.384	12.67	7.281
716	1062263.30	879225.52	-76.31.02.14	3.30.13.87	961.15	977857.57	103.047	-5.582	12.66	7.079
717	1062283.27	879224.47	-76.31.01.49	3.30.13.83	960.84	977857.46	102.841	-5.753	12.66	6.907
718	1062303.25	879223.42	-76.31.00.84	3.30.13.80	960.58	977857.33	102.631	-5.934	12.66	6.725
719	1062323.22	879222.37	-76.31.00.20	3.30.13.76	960.30	977857.20	102.415	-6.118	12.66	6.540
720	1062343.44	879221.31	-76.30.59.54	3.30.13.73	959.87	977857.11	102.192	-6.293	12.66	6.364
738	1056113.80	861822.60	-76.34.21.67	3.20.47.43	1175.80	977801.07	114.478	-18.321	13.72	-4.599
739	1056666.80	862022.60	-76.34.03.75	3.20.53.93	1144.57	977804.09	107.837	-21.447	13.63	-7.816
740	1057245.50	862091.50	-76.33.45.00	3.20.56.17	1132.99	977801.74	101.913	-26.068	13.44	-12.631
741	1057645.50	862074.50	-76.33.32.05	3.20.55.61	1119.87	977800.51	96.636	-29.868	13.37	-16.496
742	1057913.10	862076.30	-76.33.23.38	3.20.55.66	1113.87	977799.79	94.060	-31.770	13.32	-18.449
743	1058618.20	859373.00	-76.33.00.59	3.19.27.64	1029.28	977803.51	71.930	-44.374	12.99	-31.387
744	1059881.40	861443.40	-76.32.19.63	3.20.35.02	1058.86	977796.55	73.904	-45.732	13.12	-32.613
745	1060059.10	861410.00	-76.32.13.88	3.20.33.93	1049.29	977797.75	72.152	-46.406	13.09	-33.319
746	1060338.00	861430.30	-76.32.04.84	3.20.34.59	1037.18	977799.01	69.675	-47.519	13.03	-34.492
747	1060576.50	861460.70	-76.31.57.11	3.20.35.57	1019.47	977800.31	65.508	-49.691	12.98	-36.716
748	1060818.50	861499.80	-76.31.49.27	3.20.36.84	1012.32	977802.26	65.244	-49.149	12.95	-36.195
749	1061329.90	861503.10	-76.31.32.71	3.20.36.94	1002.62	977801.74	61.736	-51.565	12.88	-38.686
750	1061581.30	861525.70	-76.31.24.57	3.20.37.67	1000.34	977801.73	61.023	-52.021	12.84	-39.185
751	1061607.60	863160.10	-76.31.23.68	3.21.30.88	969.66	977812.18	61.848	-47.740	12.70	-35.040
752	1061767.50	863249.80	-76.31.18.50	3.21.33.79	969.89	977811.28	61.011	-48.602	12.70	-35.897
753	1062050.10	863165.80	-76.31.09.35	3.21.31.05	966.38	977810.29	58.941	-50.277	12.70	-37.575
754	1062379.10	863207.90	-76.30.58.69	3.21.32.42	965.40	977808.73	57.077	-52.031	12.67	-39.364
755	1062675.90	863149.70	-76.30.49.08	3.21.30.52	963.68	977806.94	54.758	-54.156	12.66	-41.498
756	1063011.30	863149.30	-76.30.38.21	3.21.30.50	961.25	977805.80	52.869	-55.771	12.66	-43.114
757	1063082.50	862825.70	-76.30.35.91	3.21.19.96	963.05	977804.74	52.396	-56.447	12.67	-43.780
758	1063263.00	863103.90	-76.30.30.06	3.21.29.01	959.03	977804.97	51.359	-57.031	12.63	-44.396
759	1063328.30	862969.60	-76.30.27.95	3.21.24.64	959.90	977804.23	50.902	-57.586	12.66	-44.921
760	1063569.60	863049.60	-76.30.20.13	3.21.27.24	955.25	977803.61	48.837	-59.127	12.65	-46.476
761	1063824.50	863227.30	-76.30.11.87	3.21.33.02	955.45	977803.10	48.379	-59.607	12.62	-46.989
762	1064036.50	863372.90	-76.30.05.00	3.21.37.76	948.55	977802.66	45.792	-61.417	12.61	-48.804
763	1064283.00	863534.80	-76.29.57.01	3.21.43.02	953.11	977802.10	46.622	-61.101	12.61	-48.493
764	1064522.70	863624.30	-76.29.49.25	3.21.45.93	951.83	977801.54	45.665	-61.914	12.61	-49.306
765	1064709.80	863733.00	-76.29.43.18	3.21.49.47	939.64	977801.12	41.464	-64.740	12.59	-52.146

Estación	x	y	Longitudo	Latitude	Elevación	G. Observ	A. A. Libre	A. Bouguer	C. Topog	A. BT
766	1064835.40	863816.20	-76.29.39.11	3.21.52.17	951.55	977801.01	45.026	-62.521	12.59	-49.929
767	1065051.70	863973.90	-76.29.32.10	3.21.57.30	950.84	977800.55	44.331	-63.136	12.60	-50.538
768	1065285.30	864078.30	-76.29.24.53	3.22.00.70	948.90	977799.77	42.941	-64.307	12.58	-51.723
769	1065497.20	864201.50	-76.29.17.67	3.22.04.70	954.95	977799.34	44.370	-63.560	12.61	-50.950
770	1065539.30	864618.70	-76.29.16.30	3.22.18.28	951.00	977799.85	43.615	-63.870	12.61	-51.255
771	1065597.50	864387.20	-76.29.14.41	3.22.10.75	951.33	977799.43	43.325	-64.197	12.59	-51.610
772	1065755.20	864758.30	-76.29.09.30	3.22.22.82	951.27	977799.67	43.511	-64.004	12.60	-51.400
773	1065928.80	864964.40	-76.29.03.67	3.22.29.53	951.93	977799.63	43.650	-63.939	12.60	-51.340
774	1066174.90	865141.30	-76.28.55.70	3.22.35.28	957.70	977799.69	45.473	-62.767	12.60	-50.164
775	1066371.20	865292.20	-76.28.49.33	3.22.40.19	954.39	977799.13	43.876	-63.991	12.58	-51.407
776	1066729.90	865271.50	-76.28.37.71	3.22.39.51	953.59	977799.64	44.145	-63.632	12.59	-51.044
777	1067008.40	865268.50	-76.28.28.69	3.22.39.41	953.36	977799.72	44.159	-63.592	12.60	-50.989
778	1067214.00	865243.60	-76.28.22.03	3.22.38.59	958.16	977799.92	45.836	-62.456	12.60	-49.855
1000	1064534.57	873637.69	-76.29.48.66	3.27.11.91	982.27	977824.27	76.816	-34.193	12.63	-21.567
2000	1061649.49	878197.93	-76.31.22.04	3.29.40.42	993.97	977856.95	112.657	0.330	12.74	13.074
3000	1059455.37	871214.47	-76.32.33.26	3.25.53.12	990.05	977845.61	100.793	-11.092	12.74	1.643
4000	1060620.21	864640.62	-76.31.55.64	3.22.19.09	992.07	977824.43	80.871	-31.241	12.75	-18.487
5000	1065448.17	873331.12	-76.29.19.07	3.27.01.91	969.49	977819.06	67.691	-41.877	12.62	-29.259



INSTITUTO COLOMBIANO
DE GEOLOGIA Y MINERIA
INGEOMINAS

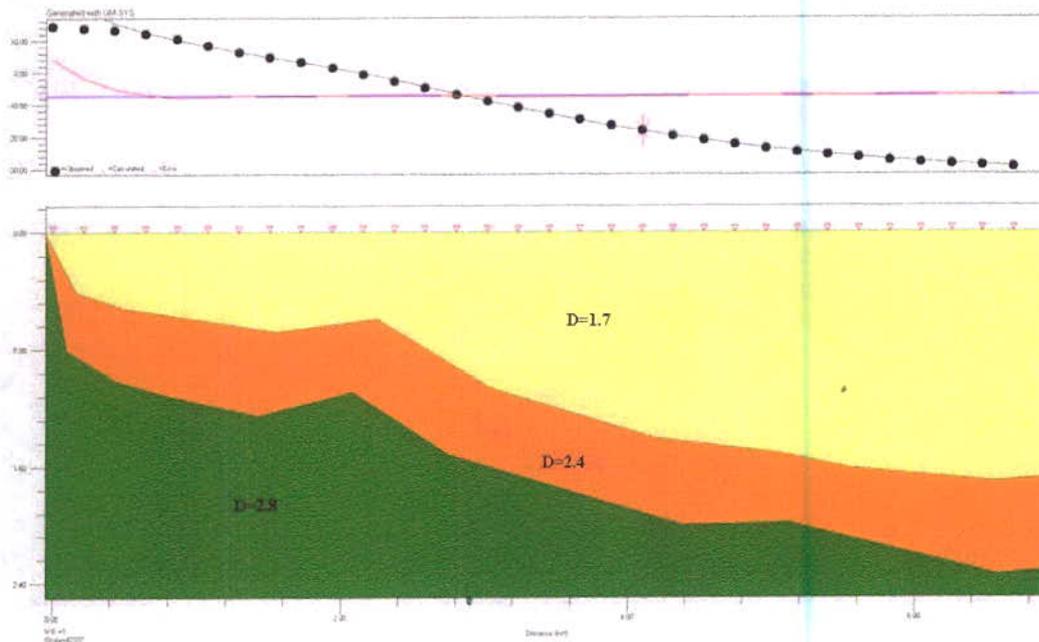
DEPARTAMENTO ADMINISTRATIVO
DE GESTIÓN DEL MEDIO AMBIENTE
DAGMA



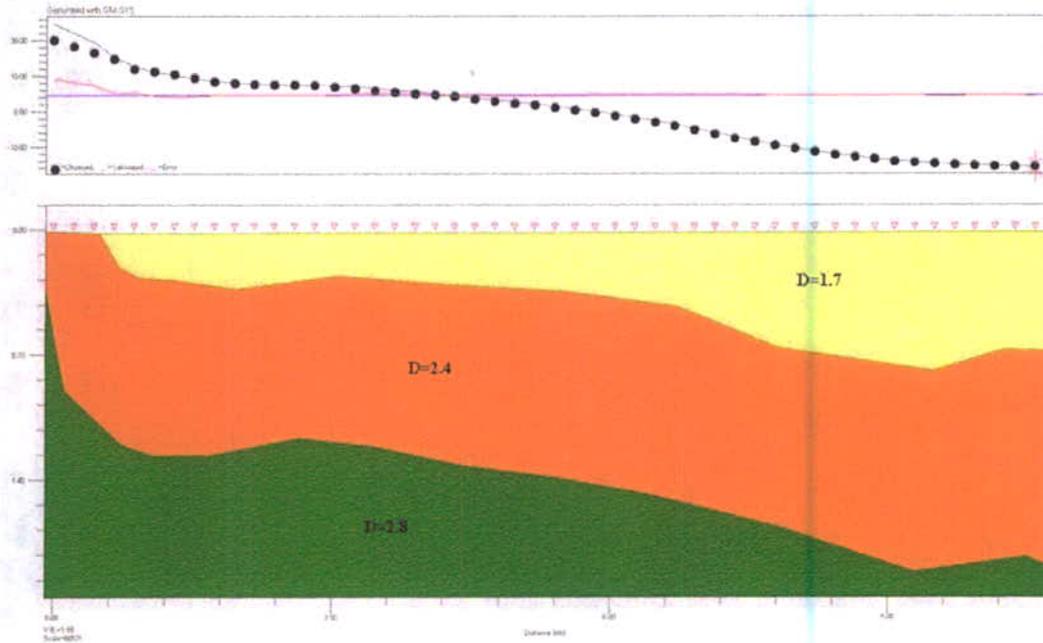
18

ANEXO 3

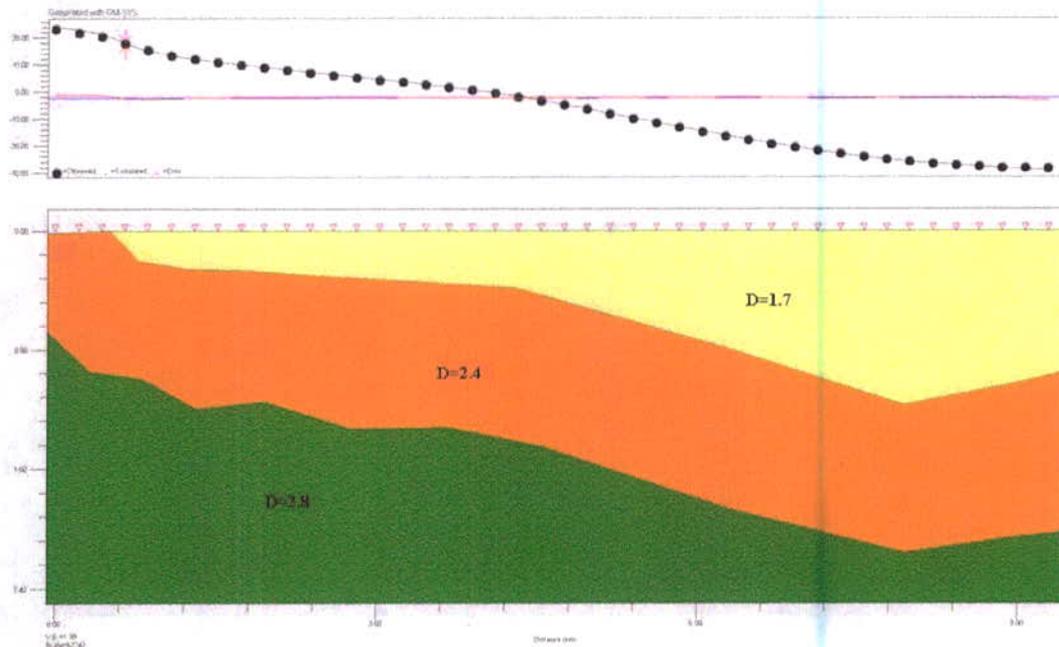
PERFILES GRAVIMÉTRICOS EN EL ÁREA URBANA DE LA CIUDAD DE SANTIAGO DE CALI



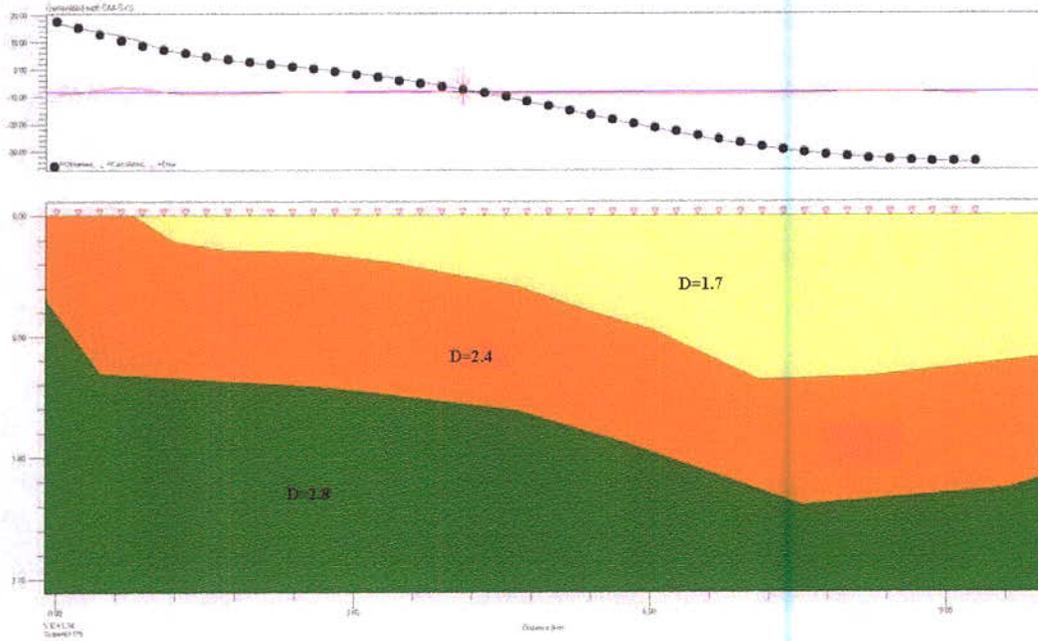
Perfil 0. Ubicado al norte de la ciudad de Cali desde el sector de Menga hasta la planta de tratamiento PTAR (ver localización en la figura 17). Densidad en gr/cm^3



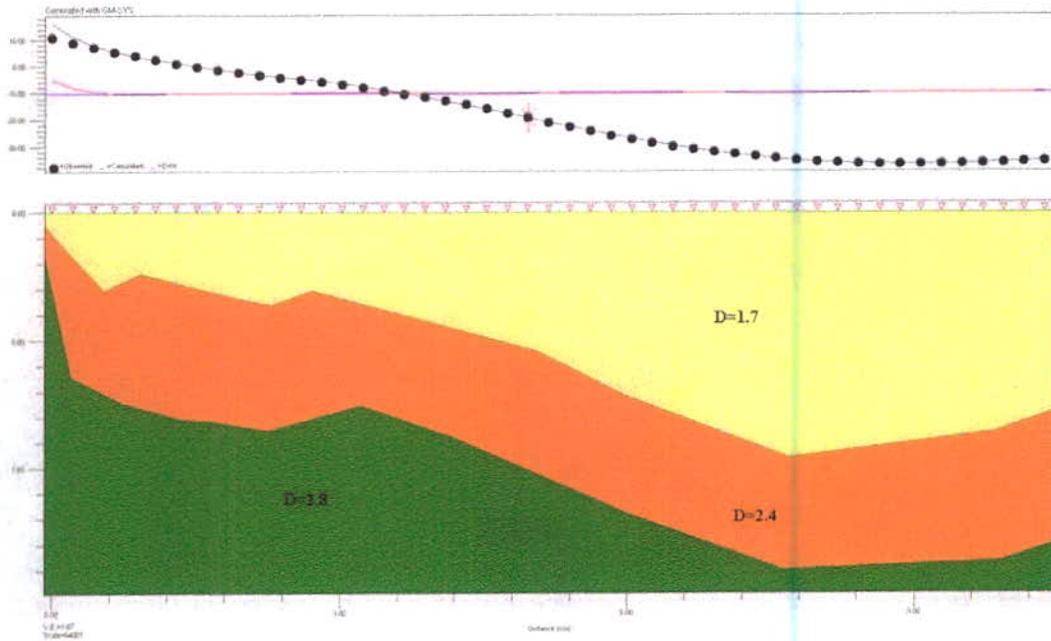
Perfil 1. Ubicado al norte de la ciudad de Cali desde la parte baja del sector de cristo Rey hasta Floralia (ver localización la figura 17). Densidad en gr/cm³



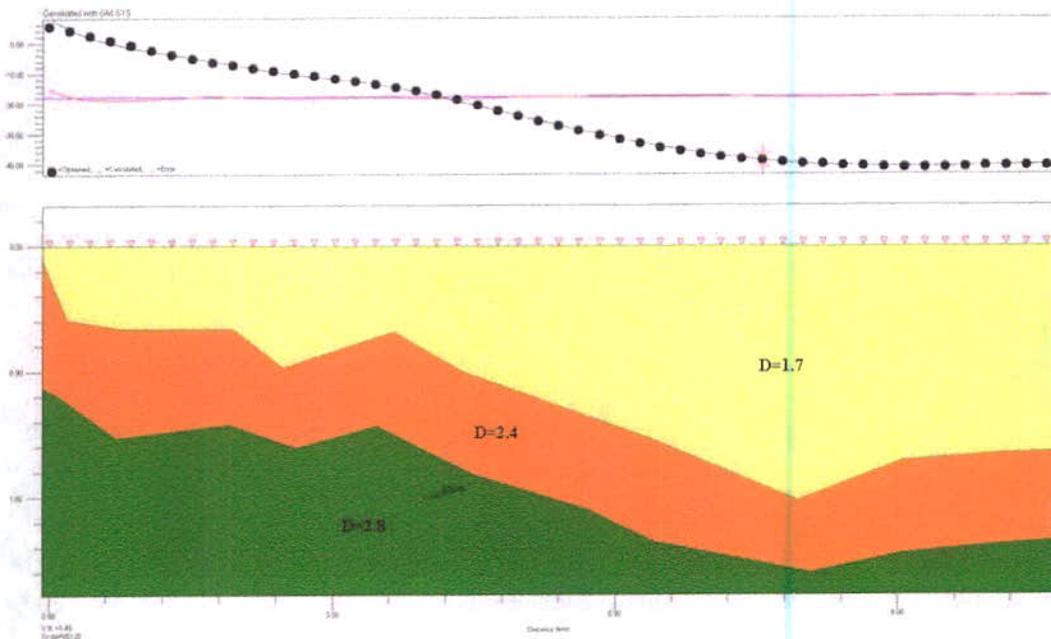
Perfil 2. Ubicado al norte de la ciudad de Cali desde Bellavista hasta la planta de tratamiento de PTAR (ver localización en la figura 17). Densidad en gr/cm³



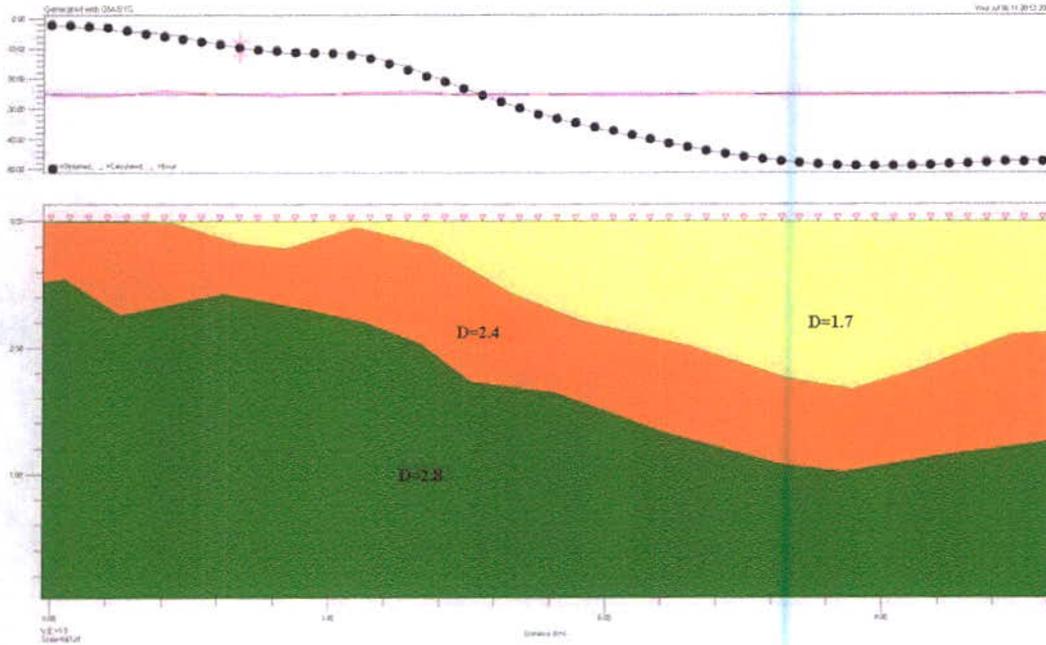
Perfil 3. Va desde el sector de Cristo Rey hasta Puerto Mallarino (ver localización en la figura 17). Densidad en gr/cm^3



Perfil 4. Va desde el sector de Siloé hasta Decepaz (ver localización en la figura 17). Densidad en gr/cm^3



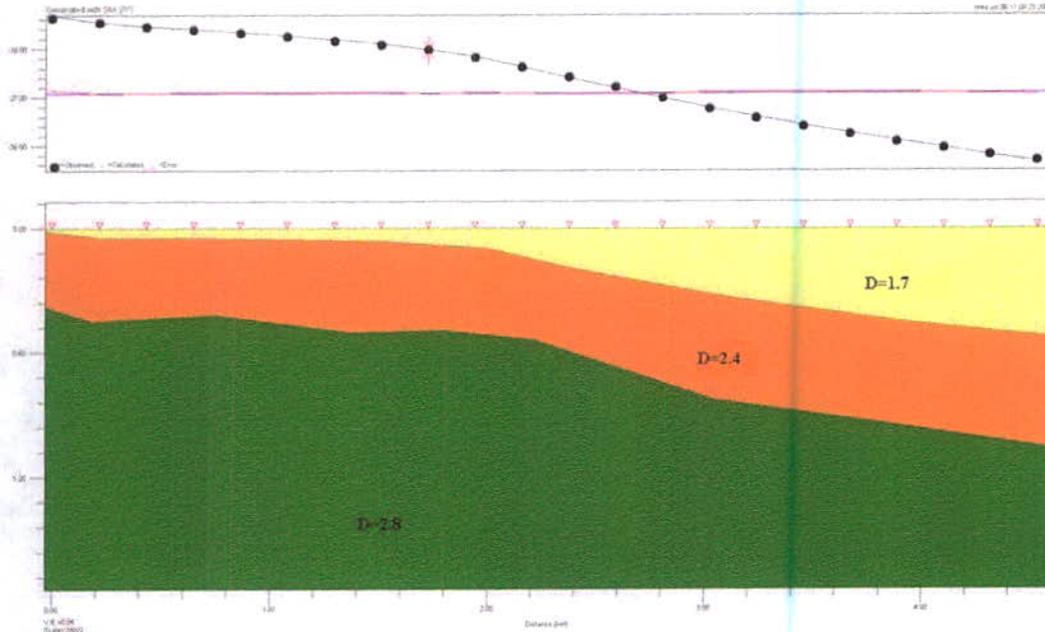
Perfil 5. Va desde el sector de la avenida Circunvarial con carrera 56 hasta la Hacienda Potrero Grande (ver localización en la figura 17). Densidad en gr/cm^3



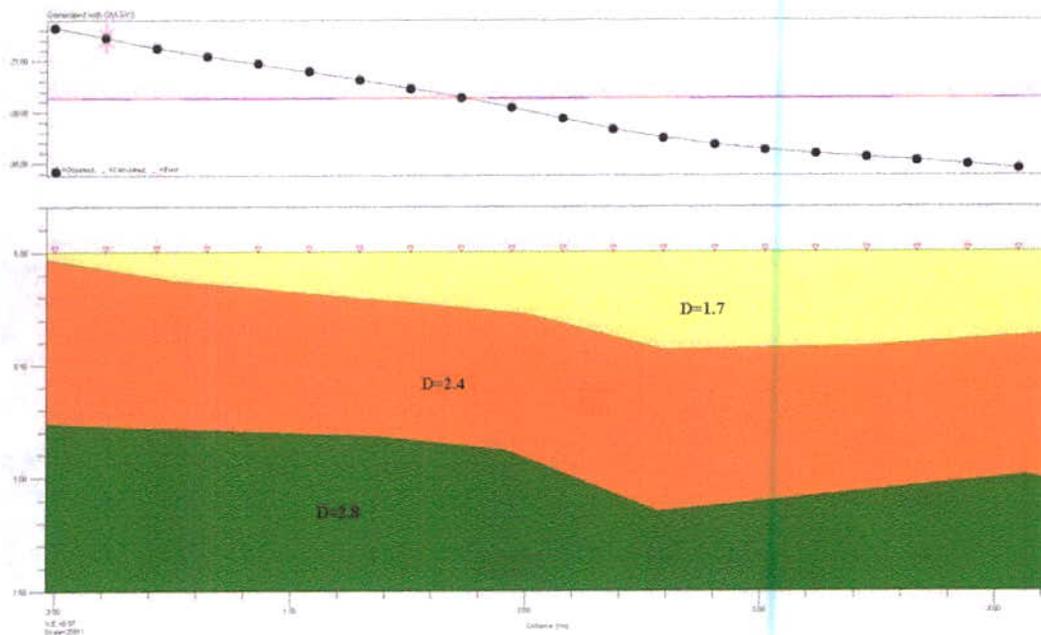
Perfil 6. Ubicado al sur de la ciudad de Cali desde el sector de los Chorros hasta la Inspección de Policía de Navarro(ver localización en la figura 17). Densidad en gr/cm^3



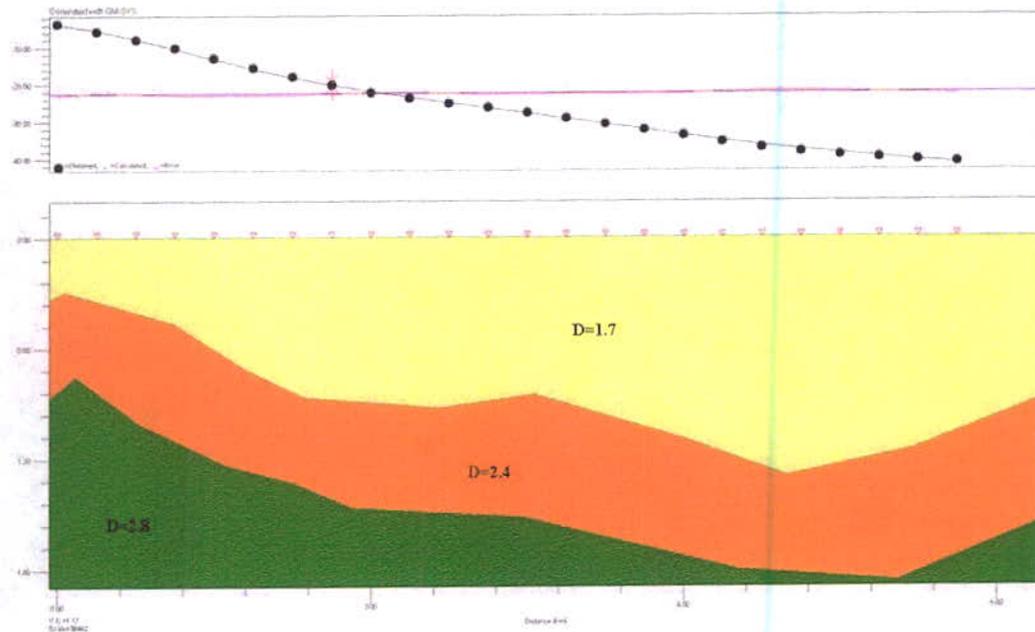
104



Perfil 7. Ubicado al sur de la ciudad de Cali desde el Club Campestre hasta inmediaciones al Basuro de Navarro (ver localización en la figura 17). Densidad en gr/cm^3



Perfil 8. Ubicado al sur de la ciudad de Cali desde la urbanización del Valle de Lili hasta el Club de Comfenalco (ver localización en la figura 17). Densidad en gr/cm^3



Perfil 9. Ubicado al sur de la ciudad de Cali desde el sector de Pance hacia el río Cauca (ver localización en la figura 17). Densidad en gr/cm^3



ANEXO 4

COORDENADAS DE LOS SONDEOS ELÉCTRICOS VERTICALES (SEV) Y TOMOGRFÍA ELÉCTRICA (TE) LEVANTADOS EN LA CIUDAD DE CALI Y LA ZONA DE LA BUITRERA – LA RUIZA EN EL MUNICIPIO DE PRADERA, VALLE DEL CAUCA



No SEV	Coordenada N	Coordenada E	AB/2
1	878780	1061670	125
2	878050	1061930	175
3	878910	1060600	100
4	878950	1060360	40
5	878030	1061370	100
6	878650	1061180	50
7	877600	1063250	250
8	877700	1062120	250
9	977380	1060460	75
10	877000	1061190	100
11	877100	1061650	100
12	876580	1061150	75
13	876370	1061650	200
14	875600	1062340	300
15	875110	1060470	60
16	875780	1061510	200
17	878180	1062300	125
18	875870	1060800	150
19	873750	1058220	125
20	873750	1058050	150
21	873930	1057980	125
22	874320	1057620	100
23	874120	1057300	75
24	873230	1055820	40
25	873160	1056900	100
26	873500	1058550	150
27	873920	1060620	175
28	873200	1059220	150
29	873080	1059330	100
30	872700	1059200	100
31	872580	1058400	100
32	870380	1060320	175
33	870480	1058850	100
34	871930	1058670	125
35	871820	1058770	60
36	869580	1056360	150
37	868860	1057360	100
38	869300	1058030	125
39	869300	1058600	200
40	871300	1058500	175
41	869180	1059400	200



No SEV	Coordenada N	Coordenada E	AB/2
42	868800	1060040	150
43	868320	1057960	150
44	867540	1057840	200
45	867240	1058060	175
46	866360	1061120	300
47	866280	1060140	150
48	866300	1059540	200
49	865800	1059280	300
50	865920	1057980	125
51	864680	1057920	125
52	864860	1057840	30
53	865240	1060240	250
54	865000	1060960	400
55	864000	1058740	350
56	864460	1059300	250
57	864840	1059600	200
58	864440	1060700	250
59	864480	1061420	500
60	865460	1062300	250
61	866240	1062300	400
62	864600	1062580	400
63	864640	1063320	500
64	862140	1062940	350
65	863200	1063600	400
66	863180	1061920	350
67	863000	1060760	350
68	862800	1059340	75
69	858460	1064640	350
70	859240	1064260	400
71	859840	1063440	300
72	860880	1062940	350
73	860900	1061940	200
74	860900	1058840	250
75	860560	1059660	200
76	860800	1060700	200
77	861900	1059100	350
78	861650	1060060	200
79	859689	1058975	700
80	859373	1058740	600
81	859478	1058950	700
82	859340	1059270	500
83	859880	1058200	300
84	859400	1058400	500
85	859530	1058200	500
86	859980	1058000	250



No SEV	Coordenada N	Coordenada E	AB/2
87	860857	1058332	125
88	861026	1058132	40
89	861000	1058080	40
90	860760	1059192	500
91	861970	1057660	300
92	879320	1061200	100
93	879350	1061400	125
94	879480	1061650	150
95	879360	1061615	300
96	879500	1061800	100
97	879200	1062080	200
98	879380	1061785	150
99	878090	1061090	100
100	878160	1061230	175
101	878200	1061365	200
102	878200	1062560	150
103	879080	1062620	400
104	861667	1058706	500
105	861682	1058782	500
106	859689	1058975	500
107	865274	1066518	700
108	864234	1065553	500
109	872890	1092750	400
110	872280	1092750	700
111	873520	1097800	300
112	873500	1097725	200
113	873950	1097250	350
114	873500	1069600	700
115	870725	1096150	600
116	873150	1095800	600
117	876300	1097622	300
118	876380	1096909	700
119	873100	1089200	700
120	877008	1095837	500
121	877668	1095222	500
122	878234	1093200	600
123	867137	1063827	600
124	867314	1061850	175
125	867180	1063080	300
126	865522	1060503	500
127	867457	1061055	300
128	868084	1060907	175
129	869457	1061777	350
130	873051	1062176	350

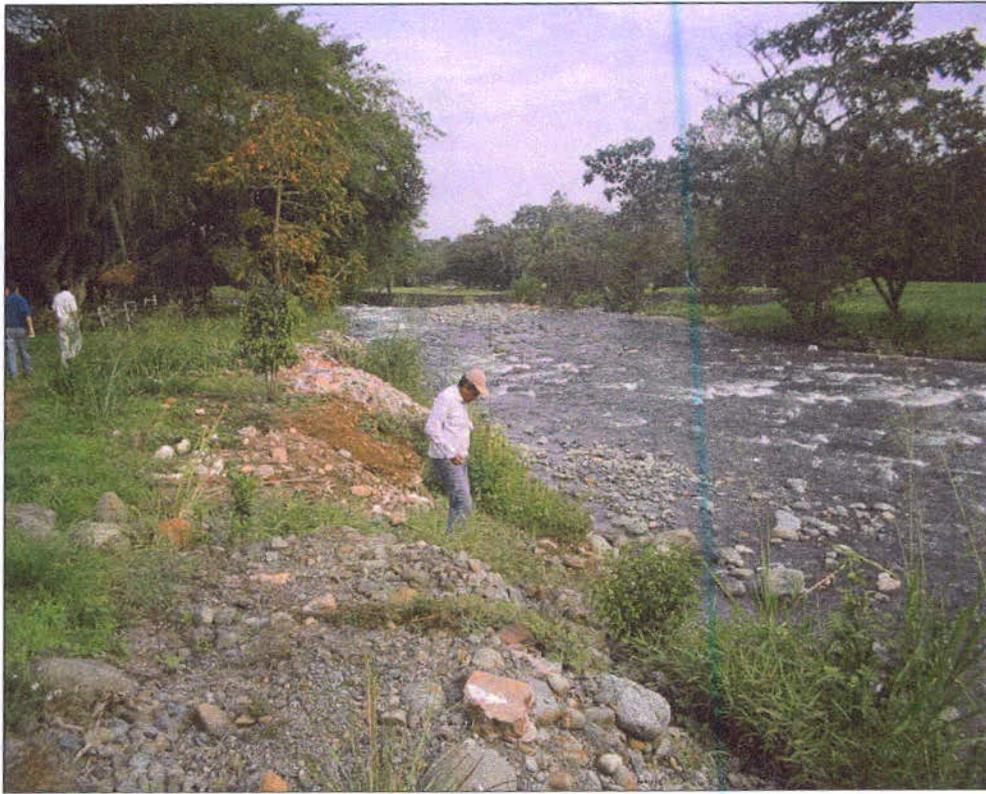


No SEV	Coordenada N	Coordenada E	AB/2
131	874103	1063249	200
132	874615	1064807	600
133	874480	1064386	350
134	874891	1065584	250
135	875245	1066750	150
136	873022	1066320	100
137	872029	1063600	250
138	870240	1067887	350
139	869525	1068213	350
140	871655	1067160	250
141	876938	1064987	175
142	877891	1065501	250
143	875939	1063785	200
144	874958	1061986	300
145	876311	1062804	350
146	877855	1064109	350
147	877343	1064433	220
148	880783	1063230	700
149	880686	1062761	300
150	880800	10612560	300
151	880887	1062279	350
152	881260	1061557	300
TE Inicio	881020	1061959	0
TE Final	881090	1061782	200



ANEXO 5

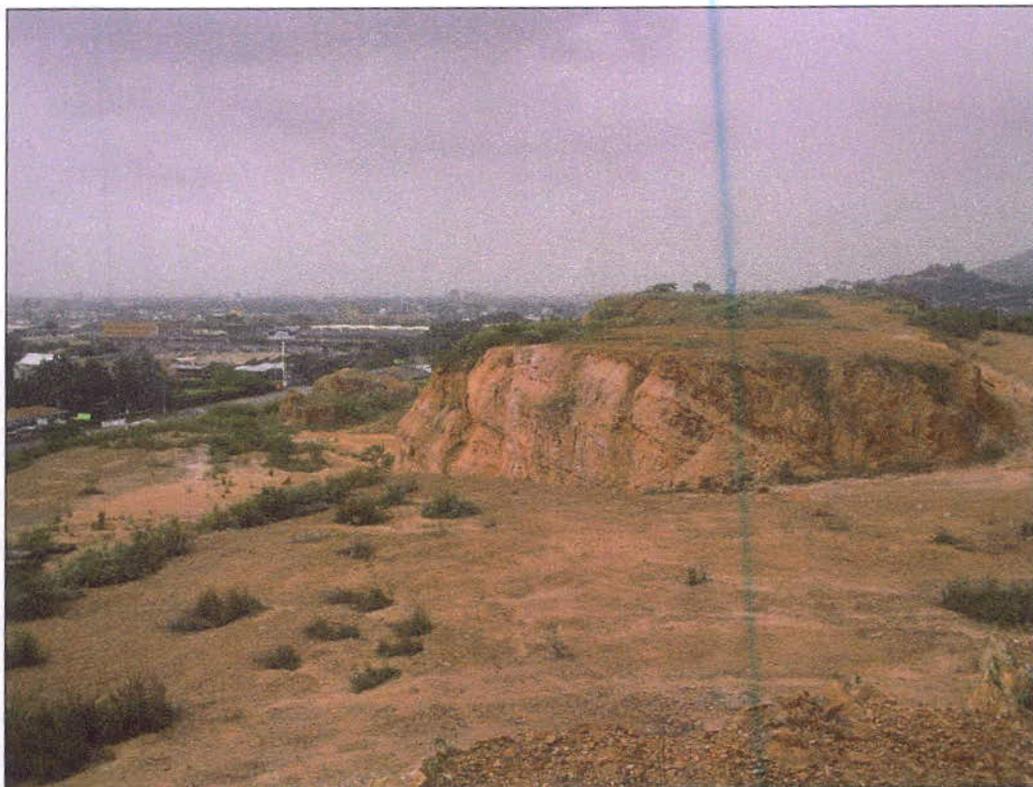
**FOTOGRAFÍAS DEL TRABAJO DE CAMPO DE SONDEOS ELECTRICOS
VERTICALES EN LA CIUDAD DE CALI**



Depósitos de Abanicos Aluviales sector Río Pance Club Shalón



Sitio de medición del SEV 79 sobre sedimentos de Abanicos Aluviales entrada a la caballeriza El Rancho al sur de Cali.



Sitio de medición del SEV 1 sobre rocas Terciarias consolidadas de La Formación Guachinte sector de Menga al norte de Cali.



Centro de medición del SEV 105 sobre sedimentos de Abanicos Aluviales por la Vía a la Vorágine.



Centro de medición del SEV 68 sobre sedimentos de la Formación Jamundí entrada Fundación Universitaria Sector de Pance.



Centro de medición del SEV 92 sobre sedimentos de Abanicos Aluviales y rocas volcánicas del Sector del Vivero al norte de Cali.



Centro de medición del SEV 137 en un separador de la Autopista Suroriental sobre Depósitos Aluviales arcillosos.



Sitio de medición de la línea de Tomografía Eléctrica frente al Colegio Yeferson vía a Dapa.

ANEXO 6

PERFILES GEOELÉCTRICOS

ANEXO 7

MODELAMIENTO CAPAS GEOELÉCTRICAS Y TE

MODELO CAPAS GEOELECTRICAS SEV MICROZONIFICACIÓN CALI

No SEV	No Capa	Resistividad	Espesor	Profundidad
1	1	261,3	0,5	0,5
	2	29,970,3	1	1,5
	3	4005,9	17,3	18,8
	4	314,5		
2	1	9,7	1,2	1,2
	2	7,1	5,8	7
	3	4,4	81,5	88,5
	4	12,3		
3	1	4,8	0,2	0,2
	2	19,7	2,8	3
	3	13	29,4	32,4
	4	2400,9		
4	1	32,6	0,4	0,4
	2	105,7	2,2	2,6
	3	10,4	21,1	23,7
	4	1247,5		
5	1	8,8	1,4	1,4
	2	5,1	8,8	9,2
	3	3527,8		
6	1	12,8	3,2	3,2
	2	2,8	1,9	5,1
	3	8195,9		
7	1	3,6	0,1	0,1
	2	239,4	0,6	0,7
	3	6,5	9,6	10,1
	4	14,3	117,4	127,5
	5	1,5		
8	1	9,5	0,5	0,5
	2	62,2	0,9	1,4
	3	3,1	6,2	7,6
	4	6,7	40	47,6
	5	3,9		
9	1	14	0,3	0,3
	2	19	20,5	20,8
	3	13,481,5		
10	1	7,8	1	1
	2	12,5	1,9	2,9
	3	3,6	33	35,9
	4	4268,7		

MODELO CAPAS GEOELECTRICAS SEV MICROZONIFICACIÓN CALI

No SEV	No Capa	Resistividad	Espesor	Profundidad
11	1	12,9	1,9	1,9
	2	2,8	3	4,9
	3	5,2	38,1	43
	4	627,4		
12	1	253,3	0,5	0,5
	2	20,8	3,1	3,6
	3	5	32,7	36,3
	4	663,8		
13	1	7,4	1,6	1,6
	2	4,1	2,4	4
	3	14,4	46,3	50,3
	4	5	107,8	158,1
	5	105,7		
14	1	11	1,2	1,2
	2	13,2	15,3	16,5
	3	68,7	14,8	26,3
	4	0,9	22,1	48,4
	5	635,9		
15	1	38,4	2,3	2,3
	2	338,7	1,2	3,5
	3	39,7		
16	1	20,5	3,1	3,1
	2	4,6	1,1	4,2
	3	24,8	48,4	52,6
	4	3,9		
17	1	19,4	2	2
	2	5,5	9,9	11,9
	3	2,6	34,6	45,6
	4	15,3		
18	1	22,6	1	1
	2	98,5	0,7	1,7
	3	4,7	5	6,7
	4	36,5		
19	1	42,2	1,8	1,8
	2	9,5	11,4	13,2
	3	26,9	75,3	88,5
	4	561,3		
20	1	3,4	0,1	0,1
	2	584,5	0,3	0,4
	3	7,9	6,7	7,1
	4	16		

MODELO CAPAS GEOELECTRICAS SEV MICROZONIFICACIÓN CALI

No SEV	No Capa	Resistividad	Espesor	Profundidad
21	1	19,1	11,7	11,7
	2	10,9	38	49,7
	3	40,5		
22	1	3,7	0,4	0,4
	2	684,2	0,8	1,2
	3	5,8	3,4	4,6
	4	864,6		
23	1	70,8	0,5	0,5
	2	14,6	7,8	8,3
	3	46051,7		
24	1	40,2	1,3	1,3
	2	10,8	1,1	2,4
	3	285,2		
25	1	15,8	3,4	3,4
	2	403,8	5	8,4
	3	13,8	11,2	19,6
	4	4123,6		
26	1	20,7	0,9	0,9
	2	570,9	1,1	2,2
	3	8,9	14,4	16,6
	4	43,7		
27	1	21	1,1	1,1
	2	189,4	15,2	16,3
	3	1,3	13,8	30,1
	4	144,4		
28	1	18	6,2	6,2
	2	12	43,2	49,6
	3	54,9		
29	1	16,6	16,4	16,4
	2	6,5	10,7	27,1
	3	34,1		
30	1	31,3	4,8	4,8
	2	4,5	44,4	49,2
	3	44,1		
31	1	23,7	2,9	2,9
	2	5,8	11,4	14,3
	3	90,6	48,8	63,1
	4	1964,8		

MODELO CAPAS GEOELECTRICAS SEV MICROZONIFICACIÓN CALI

No SEV	No Capa	Resistividad	Espesor	Profundidad
32	1	25,3	0,5	0,5
	2	4,6	0,9	1,4
	3	11,6	2,7	4,1
	4	2,8	3,6	7,7
	5	10,3	121,8	129,5
	6	118,1		
33	1	56,5	0,7	0,7
	2	10,3	3,9	4,6
	3	1,4	15,9	20,5
	4	20		
34	1	434,8	0,4	0,4
	2	6208,8	0,6	1
	3	581,4	1,1	2,1
	4	4331,3	2,9	5
	5	525,7	15,5	21,5
	6	1392,9	22,8	44,3
	7	11		
35	1	398,4	3,7	3,7
	2	10,5	38,1	41,8
	3	45,6		
36	1	102,1	0,5	0,5
	2	599	3	3,5
		36,7	51,5	55
	3	1806,1		
37	1	83,7		1,4
	2	10,1		14,6
	3	182,5		77,3
	4	24454,9		
38	1	57,5	1,2	1,2
	2	3,2	0,8	2
	3	44,9	2,2	4,4
	4	3,5		
39	1	41,4	1	1,5
	2	15,1	0,5	12,2
	3	72,1	10,7	20,1
	4	1,8	22,9	43
	5	19,4		
40	1	1362	0,7	0,7
	2	165,9	2,4	3,1
	3	1247,6	1,8	4,9
	4	111,7	109,6	114,5
	5	8,9		

MODELO CAPAS GEOELECTRICAS SEV MICROZONIFICACIÓN CALI

No SEV	No Capa	Resistividad	Espesor	Profundidad
41	1	37,7	1,8	1,8
	2	16	6,9	8,7
	3	8,5	43,1	51,8
	4	19,2	82,2	134
	5	6,7		
42	1	34,9	5,3	5,3
	2	51	7,7	10
	3	10,4		
43	1	42,2	0,2	0,2
	2	224,2	5,2	5,2
	3	30,5	38,4	38,4
	4	37,1		
44	1	47,5	1,7	1,7
	2	27,3	3,7	5,4
	3	155,9	4,4	9,8
	4	48,4	106,5	116,3
	5	7,6		
45	1	28,2	0,8	0,8
	2	19,2	12,4	13,2
	3	40,6	7,3	20,5
	4	31	12	32,5
	5	20		
46	1	44,7	0,5	0,5
	2	28,2	6,3	6,8
	3	88,2	2,7	9,5
	4	14,9	82,2	91,7
	5	30,4		
47	1	60,9	4,1	4,1
	2	7,9	4,3	8,4
	3	47,9	7,3	15,7
	4	14,8	63,2	78,9
	5	26,6		
48	1	103,9	1,7	1,7
	2	11,4	4,5	6,2
	3	878,7	8,6	14,8
	4	28,1		
49	1	80,8	1,3	1,3
	2	22,9	2,7	6
	3	12,6	15,7	21,7
	4	2082,4	8,2	29,9
	5	4,5		

MODELO CAPAS GEOELECTRICAS SEV MICROZONIFICACIÓN CALI

No SEV	No Capa	Resistividad	Espesor	Profundidad
50	1	17	0,8	0,8
	2	128,8	7,6	8,2
	3	33,3		
51	1	275,4	1,2	1,2
	2	742,6	3,3	3,3
	3	164,5	17,2	20,5
	4	1,7		
52	1	1764,9	1,9	1,9
	2	551,3	12,2	14,1
	3	2438,3		
53	1	42,5	5,5	5,5
	2	84,1	5,1	10,6
	3	8,4	10,4	21
	4	28,3		
54	1	16,9	0,5	0,5
	2	41,1	1,3	1,8
	3	16,7	14,5	16,3
	4	3,2	5,7	22
	5	69,6	20,8	42,8
	6	4,8	60,8	73,6
	7	37,4		
55	1	88,7	1,5	1,5
	2	147,6	2,8	4,3
	3	27,7	39,6	43,9
	4	17,6		
56	1	88,7	1,5	1,5
	2	147,6	2,8	4,3
	3	27,7	109,6	113,9
	4	17,6		
57	1	78,9	1,7	1,7
	2	148,7	148,7	6,6
	3	57,1	57,1	32,7
	4	24,5	24,5	
58	1	8,8	0,3	0,3
	2	33,7	1,5	1,8
	3	16	4	6,8
	4	31	25,4	32,2
	5	18,5	113	145,2
	6	37,7		

MODELO CAPAS GEOELECTRICAS SEV MICROZONIFICACIÓN CALI

No SEV	No Capa	Resistividad	Espesor	Profundidad
59	1	40,9	1,2	1,2
	2	12	0,7	1,9
	3	93,9	0,6	2,5
	4	27,8	88,4	90,9
	5	19,2	200,5	291,4
	6	39,2		
60	1	5,5	0,4	0,4
	2	87	0,8	1,2
	3	11,8	2	3,2
	4	34,4	52,5	55,7
	5	19,7		
61	1	44,4	0,7	0,7
	2	31,7	0,5	1,2
	3	36,6	8,9	10,1
	4	18,6	17,4	27,5
	5	37,6	72,4	99,9
	6	8,1	67,8	167,7
	7	80,6		
62	1	26,1	3,2	3,2
	2	34,3	64,6	67,8
	3	88,8	94,8	162,6
	4	6,4		
63	1	123,7	0,5	0,5
	2	8,6	0,3	0,8
	3	20,2	38,4	39,2
	4	31,2	142,3	181,5
	5	8	98,9	280,4
	6	132,2		
64	1	7,4	0,3	0,3
	2	176,4	1	1,3
	3	5,9	0,9	2,2
	4	121,7	4,5	6,7
	5	21,9	10,9	17,6
	6	55,1	104,2	121,8
	7	23,9		
65	1	31,2	2,4	2,4
	2	14,1	10,9	13,3
	3	15,1	32,8	46,1
	4	162,9	27,6	73,7
	5	21		

MODELO CAPAS GEOELECTRICAS SEV MICROZONIFICACIÓN CALI

No SEV	No Capa	Resistividad	Espesor	Profundidad
66	1	54,4	0,4	0,4
	2	824,7	0,3	0,7
	3	80,3	14,3	15
	4	14,4	12,3	27,3
	5	42,8	200,7	228
	6	6,5		
67	1	150,9	5,1	5,1
	2	39,2	54,2	59,3
	3	25,6	150,7	210
	4	158,2		
68	1	44,1	0,2	0,2
	2	196,7	3,6	3,8
	3	14,8	15,3	18,9
	4	17790		
69	1	31,1	2,8	2,8
	2	4,3	2,3	5,1
	3	90,2	52,8	57,9
	4	21,8		
70	1	194	0,6	0,6
	2	10,3	3,8	4,4
	3	36,6	287,7	292,1
	4	20,8		
71	1	15,3	3,3	3,6
	2	20,3	0,6	3
	3	31,4	42,2	45,2
	4	111,1	56	101,2
	5	8,8		
72	1	13,2	0,3	0,3
	2	80,4	10,9	11,2
	3	1357,8	0,1	11,3
	4	5820,7	31,8	43
	5	10,6		
73	1	36,6	2,7	2,7
	2	3626,5	0,8	3,5
	3	35,6	51,3	54,8
	4	3667,7		
74	1	142,3	2,7	2,7
	2	2045	2,6	5,3
	3	94,7	117,4	122,7
	4	8,6		

MODELO CAPAS GEOELECTRICAS SEV MICROZONIFICACIÓN CALI

No SEV	No Capa	Resistividad	Espesor	Profundidad
75	1	163,6	1,4	1,4
	2	320,6	5,3	6,7
	3	1033,9	6	12,7
	4	63,1	181,9	194,6
	5	20,2		
76	1	213,1	1	1
	2	23,3	39,2	40,2
	3	7,2		
77	1	184,1	1,2	1,2
	2	725,3	1,1	2,3
	3	98,1	12,6	14,9
	4	38,1	187,1	202
	5	97,6		
78	1	169,1	0,5	0,5
	2	38	2,8	3,3
	3	5,7		
79	1	99,8	0,7	0,7
	2	570,5	0,8	1,5
	3	3946,6	3,9	5,4
	4	143,7	63,1	68,5
	5	44,2	295,9	337,9
	6	12,2		
80	1	60,2	0,7	0,7
	2	349,8	1,9	2,6
	3	178,5	31,1	33,7
	4	36,2	394,7	428,4
	5	14,1		
81	1	71	0,4	0,4
	2	4873,7	9	9,4
	3	57,9	108,5	117,9
	4	29,7	310,2	428,2
	5	18,4		
82	1	231,6	2,3	2,3
	2	53,1	1	3,3
	3	186	30,8	34,1
	4	50,1	370	404,1
	5	3,9		
83	1	112,9	0,7	0,7
	2	3922,6	1,6	2,3
	3	49	106	108,3
	4	29,2		

MODELO CAPAS GEOELECTRICAS SEV MICROZONIFICACIÓN CALI

No SEV	No Capa	Resistividad	Espesor	Profundidad
84	1	105,2	1,4	1,4
	2	502,5	11,1	12,5
	3	44,7	325,9	336,4
	4	5,2		
85	1	49,6	0,2	0,2
	2	4245	1,2	1,4
	3	7,1	9	10,4
	4	41,9	110,1	220,5
	5	12,7		
86	1	236,9	0,1	0,1
	2	72	6	6,1
	3	19,4	37	43,6
	4	57,5	113,4	151
	5	14,7		
87	1	293,1	2,1	2,1
	2	82,4	51,7	53,8
	3	3,5		
88	1	923,7	2,7	2,7
	2	76,5	1,3	4
	3	2676		
89	1	504,4	1,4	1,4
	2	55,1	4,1	5,5
	3	69439		
90	1	88,2	0,6	0,6
	2	2502	1,4	2
	3	451,2	14,3	16,3
	4	95,9	64,1	88,2
	5	49,2		
91	1	64,6	0,4	0,4
	2	20000	2,5	2,9
	3	88,1	153,2	152,6
	4	11,2		
92	1	33,2	1,6	1,6
	2	11,8	5,8	12,4
	3	75,6		
93	1	106,4	0,4	0,4
	2	11,3	5,5	5,9
	3	5,7	22,1	28
	4	152869		
94	1	13,8	0,8	0,8
	2	9,7	15,8	16,6
	3	294,6		

MODELO CAPAS GEOELECTRICAS SEV MICROZONIFICACIÓN CALI

No SEV	No Capa	Resistividad	Espesor	Profundidad
95	1	27	0,7	0,7
	2	5,2	10,4	10,1
	3	59,5	78,3	88,4
	4	46032		
96	1	29,7	3,2	3,2
	2	6,9	37	39,2
	3	531		
97	1	58	0,4	0,4
	2	5,7	5,7	6,1
	3	9,1	13	19,1
	4	2,4	35,1	54,2
	5	70	22,3	76,5
	6	674		
98	1	173,8	1,2	1,2
	2	19,7	2,5	3,7
	3	3,2	2,8	6,5
	4	92,4	7,9	14,4
	5	1,5	5,6	20
	6	70	19,5	49,5
	7	644		
99	1	12,9	2,8	2,8
	2	2,3	2,7	5,5
	3	1988		
100	1	30,4	2	2
	2	9,2	38	40
	3	47744		
101	1	12,4	0,2	0,2
	2	24,8	4,2	4,4
	3	6	43,9	48,3
	4	12636		
102	1	41	1,1	1,1
	2	22,3	4,6	5,7
	3	4,2	21,5	27,2
	4	5761		
103	1	12,9	0,2	0,2
	2	166,8	0,6	0,8
	3	1,7	0,8	1,6
	4	3,6	29,8	31,4
	5	25,7	23,2	54,6
	6	2,9	76	130,6
	7	100		

MODELO CAPAS GEOLECTRICAS SEV MICROZONIFICACIÓN CALI

No SEV	No Capa	Resistividad	Espesor	Profundidad
104	1	160,2	1,2	1,2
	2	190,8	8,4	9,6
	3	58,9	57,8	67,4
	4	169,7	35,7	103,1
	5	32,2		
105	1	232,4	5	5
	2	133,2	6,3	11,3
	3	46	107	118,3
	4	177,3	46,5	164,8
	5	19,5		
106	1	305,9	1,6	1,6
	2	110,7	6	12,6
	3	42,8	76,5	89,1
	4	91,9	84	173,1
	5	23,5		
107	1	39,1	3,3	3,3
	2	11,1	1,2	4,5
	3	149,6	45,7	50,2
	4	25,3	44,2	381,6
	5	19,8		
108	1	47	0,7	0,7
	2	7,6	3,5	4,2
	3	16	12,1	16,3
	4	59,6	20,1	36,4
	5	15,8		
109	1	52,8	2	2
	2	13,1	53,7	55,7
	3	10,7	214,4	271,1
	4	31,1		
110	1	20	0,8	0,8
	2	4,6	0,8	1,6
	3	20,9	1,4	3
	4	9,2	20,3	23,3
	5	29,8	25	48,3
	6	12,9		
111	1	1244,4	0,4	0,4
	2	18,8	4,2	4,6
	3	36,4	35,9	40,5
	4	14,1	43,1	83,6
	5	1558,2		

MODELO CAPAS GEOELECTRICAS SEV MICROZONIFICACIÓN CALI

No SEV	No Capa	Resistividad	Espesor	Profundidad
112	1	62,3	0,8	0,8
	2	7,5	0,4	1,2
	3	37,5	20,1	21,3
	4	23,7	124,4	145,7
	5	517,8		
113	1	461,9	0,7	0,7
	2	77,9	2,3	3
	3	36,2	29,2	32,2
	4	15,4	92,8	125
	5	410,2		
114	1	19,1	3,7	3,7
	2	38,3	2,1	5,8
	3	16	255,4	261,2
	4	237,3		
115	1	43,7	0,6	0,6
	2	19,5	9,4	10
	3	1,8	2,6	12,6
	4	18	406,6	419,2
	5	304,2		
116	1	5475	0,8	0,8
	2	108,8	2,3	3,1
	3	12,7	100,9	104
	4	5899		
117	1	5214,9	0,5	0,5
	2	149,6	7,9	8,4
	3	28,7	48,7	57,1
	4	136,4		
118	1	890,9	0,6	0,6
	2	110,9	8,9	9,5
	3	34,3	210,8	220,3
	4	3207,4		
119	1	275,8	0,3	0,3
	2	6,5	4,6	4,9
	3	120,7	2	6,9
	4	42,4	118	124,9
	5	27,4		
120	1	708,3	0,5	0,5
	2	13,4	7,5	8
	3	11,9	93	93,8
	4	246,2		

MODELO CAPAS GEOELECTRICAS SEV MICROZONIFICACIÓN CALI

No SEV	No Capa	Resistividad	Espesor	Profundidad
121	1	474,4	0,9	0,9
	2	92,9	1,4	2,3
	3	573	3	5,3
	4	19,8	10,6	15,9
	5	32,9	45,5	61,4
	6	102,2	168,6	230
	7	14,2		
122	1	2647,1	0,3	0,3
	2	70,1	4,2	4,5
	3	11,6	18,8	23,3
	4	16,3	397,6	420,9
	5	11,6		
123	1	340,7	1,1	1,1
	2	21,6	10,8	11,9
	3	226,3	14,6	26,4
	4	6,5	76,1	102,5
	5	38,7		
124	1	111,1	0,7	0,7
	2	28,1	7,9	6,8
	3	3,9	22	46
	4	27,9		
125	1	288,9	1	1
	2	17	8,8	9,8
	3	8,5	9,3	19,1
	4	36,6	162,5	181,6
	5	2,8		
126	1	182	0,9	0,9
	2	37,2	7,7	8,6
	3	14,8	54,1	62,7
	4	74,8		
127	1	158,9	1	1
	2	49,3	6,5	7,5
	3	14,7	32,3	39,8
	4	64,6	54,7	94,5
	5	3,9		
128	1	387,1	1,1	1,1
	2	64,7	4,1	5,2
	3	10,1	18,3	23,5
	4	124,9	15,1	38,6
	5	4,6		

MODELO CAPAS GEOELECTRICAS SEV MICROZONIFICACIÓN CALI

No SEV	No Capa	Resistividad	Espesor	Profundidad
129	1	355,8	1,4	1,4
	2	2,2	0,4	1,8
	3	110	2	3,8
	4	11	65,2	69
	5	26	59	128
	6	3,4		
130	1	99	1,6	1,6
	2	26,4	11,5	13,1
	3	6,2	169,1	182,8
	4	3,4		
131	1	45,3	0,7	0,7
	2	12,8	6,5	7,2
	3	18,8	13,2	20,4
	4	10,1		
132	1	70,8	0,9	0,9
	2	9,7	28,7	29,6
	3	107,4	43,9	73,5
	4	9,8		
133	1	294,9	0,8	0,8
	2	14,5	19,4	20,2
	3	2,2	4,1	24,3
	4	22,4	123	114,8
	5	3,9		90,5
134	1	460,3	0,9	0,9
	2	16	4,3	5,2
	3	7,1	19,3	24,5
	4	222,4	22,2	46,7
	5	4,8		
135	1	1031,9	0,5	0,5
	2	10,7	0,6	11
	3	41,6	98,9	109,9
	4	7,8		
136	1	143,3		0,9
	2	9,5		7,5
	3	32,4		
137	1	117,1	0,5	0,5
	2	6,4	2	2,5
	3	20,5	10,7	13,2
	4	7,6	17,5	30,7
	5	32,9	75,4	106,1
	6	6,7		

MODELO CAPAS GEOELECTRICAS SEV MICROZONIFICACIÓN CALI

No SEV	No Capa	Resistividad	Espesor	Profundidad
138	1	369,9	1	1
	2	21,8	11	12
	3	317	12,4	24,4
	4	12,7		
139	1	163,1	0,6	0,6
	2	27,2	3,5	4,1
	3	5,2	4,5	8,6
	4	65	61,8	70,4
	5	11,1		
140	1	47,5	1,4	1,4
	2	10	5,6	7
	3	78,4	3	44,6
	4	21,1		
141	1	669,4	0,9	0,9
	2	6,4	11,1	12
	3	36,4		106,6
	4	10		
142	1	255,1	0,5	0,5
	2	47	1,8	2,3
	3	10,1	19,7	22
	4	78,1	25	47
	5	15,5		
143	1	137,3	1	1
	2	21,5	19,9	20,9
	3	3,2	6,5	27,4
	4	20,6		
144	1	272,4	1,4	1,4
	2	129,5	10,1	11,5
	3	20	110,4	121,9
	4	3,2		
145	1	53	1,1	1,1
	2	13,2	2,5	3,6
	3	8,1	54,2	57,8
	4	25,6		
146	1	80,1	2,1	2,1
	2	7,2	11,4	12,5
	3	12,7	177,9	190,4
	4	25,3		
147	1	157,1	1,2	1,2
	2	5,1	1,3	2,5
	3	41,1	3,5	6
	4	5,1	9,8	16,2
	5	56,2	32,2	48,4
	6	8,3		

MODELO CAPAS GEOELECTRICAS SEV MICROZONIFICACIÓN CALI

No SEV	No Capa	Resistividad	Espesor	Profundidad
148	1	24,9	0,8	0,8
	2	4,9	5,8	7,6
	3	12,6	56	63,6
	4	1,7	39,4	103
	5	31		
149	1	37,6	1,2	1,2
	2	7,4	14	15,2
	3	33,7	10,9	26,1
	4	4,3	50,1	76,6
	5	13		
150	1	44	1	1
	2	7	0,8	1,8
	3	173	1,4	3,4
	4	1,4	3,7	7,1
	5	39,2	10,9	18,1
151	1	439,8	1,3	1,3
	2	4,2	0,9	2,2
	3	160,9	3,9	6,3
	4	12,5	20,9	27,2
	5	46,6	127,5	154,7
	6	114,2		
152	1	194,5	2,1	2,1
	2	17,3	3,4	5,5
	3	88,3	117,8	123,3
	4	1764,2		



ANEXO 8

1. LOCALIZACIÓN DE LAS LÍNEAS DE SÍSMICA DE REFRACCIÓN LEVANTADAS EN LA CIUDAD DE CALI
2. GEOMETRÍA DE DISPARO Y CARGA USADA EN CADA LÍNEA DE SÍSMICA DE REFRACCIÓN



Tabla A8.1. Localización de las líneas sísmicas de refracción levantadas en la ciudad de Cali

LÍNEA	UBICACIÓN	SP	Este (m)	Norte (m)	Elevación (msnm)	ΔX (m)
L1	VIA PUERTO TEJADA	SP-A	1063641	860914	970	0
		SP-E	1062890	860862	982	760
L2	CIUDAD JARDIN	SP-A	1058095	862981	1064	0
		SP-E	1058269	863235	1061	300
L3	LOTE LOS SOLARES VIA CALI PANCE	SP-A	1058860	861844	1085	0
		SP-E	1058154	862109	1093	760
L4	LA JAUJA (COMFENALCO)	SP-A	1064192	863403	956	0
		SP-E	1064806	862949	954	760
L5	MENGA	SP-A	1062080	877750	961	0
		SP-E	1061858	877987	965	330
L6	CHIPICHAPE	SP-A	1060764	876082	985	0
		SP-E	1060908	875883	978	244
L7	PARQUE SAN ANTONIO	SP-A	1059341	873024	1060	0
		SP-E	1059017	873013	1059	305
L8	MELENDEZ (BARRIO CÓRDOBA)	SP-A	1064218	867658	952	0
		SP-E	1063797	866853	950	910
L9	PUERTO MALLARINO	SP-A	1067646	872240	950	0
		SP-E	1066787	872157	952	860
L10	UNIVERSIDAD DEL VALLE	SP-A	1060937	865299	969.5	0
		SP-E	1060103	865370	978	840
L11	TERRON COLORADO	SP-A	1058433	873895	1099	0
		SP-E	1057980	873873	1135	460
L12	CAÑAVERALEJO	SP-A	1056235	869075	1030	0
		SP-E	1056377	869551	1070	490
L13	CONSTRUCTORA LIMONAR (CARRERA 70)	SP-A	1060809	867022	962	0
		SP-E	1061083	867339	962	420
L14	BASE AÉREA LÍNEA 14	SP-A	1064666	874480	955	0
		SP-E	1065371	874766	950	760
L15	BASE AÉREA LÍNEA 15	SP-A	1063671	874030	958	0
		SP-E	1064051	874182	957	410
L16	DECEPAZ	SP-A	1068318	870115	951	0
		SP-E	1068495	870690	951	605
L17	TERCERA BRIGADA	SP-A	1058722	865523	983.13	0
		SP-E	1058764	865848	982	330
L18	FLORALIA	SP-A	1064184	878158	950	0
		SP-E	1064472	878616	950	545
L19	ALTOS DE MENGA	SP-A	1061069	878088	1030	0
		SP-E	1061440	878260	981	410
L20	UNIDAD DEPORTIVA PANAMERICANAS	SP-A	1060316	870331	960	0
		SP-E	1060427	870632	960	330
L21	MIRADOR DE MELENDEZ	SP-A	1058190	864637	1061	0
		SP-E	1058364	864359	1070	330



Tabla A8.2 Geometría de disparo y carga usada en cada línea de sísmica de refracción

Línea	Geometría de disparo	Distancia geófonos, m	Offset de SP, m	Carga, gr. (Onda P)	Carga, gr. (Onda S)
L1	↓ 1-24	20	150	324	324
	↓ 1-24		50	162	162
	1-12 ↓ 13-24		10	80	80
	1-24 ↓		50	162	162
	1-24 ↓		150	324	324
L2	↓ 1-24	10	35	162	162
	↓ 1-24		15	162	162
	1-12 ↓ 13-24		5	80	80
	1-24 ↓		15	162	162
	1-24 ↓		35	162	162
L3	↓ 1-24	20	150	162	324
	↓ 1-24		50	162	162
	1-12 ↓ 13-24		10	80	162
	1-24 ↓		50	162	162
	1-24 ↓		150	162	324
L4	↓ 1-24	20	150	324	324
	↓ 1-24		50	162	162
	1-12 ↓ 13-24		10	80	80
	1-24 ↓		50	162	162
	1-24 ↓		150	324	324
L5	↓ 1-24	10	50	162	324
	↓ 1-24		20	162	242
	1-12 ↓ 13-24		5	80	162
	1-24 ↓		20	162	242
	1-24 ↓		50	162	324
L6	↓ 1-24	8	30	162	162
	↓ 1-24		10	162	162
	1-12 ↓ 13-24		4	80	80
	1-24 ↓		10	162	162
	1-24 ↓		30	162	162
L7	↓ 1-24	10	35	162	162
	↓ 1-24		15	162	162
	1-12 ↓ 13-24		5	80	80
	1-24 ↓		20	162	162
	1-24 ↓		40	162	162
L8	↓ 1-24	20	225	400	480
	↓ 1-24		75	324	324



Línea	Geometría de disparo	Distancia geófonos, m	Offset de SP, m	Carga, gr. (Onda P)	Carga, gr. (Onda S)
	1-12 ↓ 13-24		10	162	162
	1-24 ↓		75	324	324
	1-24 ↓		225	400	480
L9	↓ 1-24	20	200	480	480
	↓ 1-24		70	324	324
	1-12 ↓ 13-24		10	162	162
	1-24 ↓		70	324	324
	1-24 ↓		200	480	480
L10	↓ 1-24	20	190	480	480
	↓ 1-24		60	324	324
	1-12 ↓ 13-24		10	162	162
	1-24 ↓		60	324	324
	1-24 ↓		190	480	480
L11	↓ 1-24	10	115	324	324
	↓ 1-24		40	162	162
	1-12 ↓ 13-24		5	80	80
	1-24 ↓		40	162	162
	1-24 ↓		115	324	324
L12	↓ 1-24	10	130	324	324
	↓ 1-24		70	162	162
	1-12 ↓ 13-24		5	80	80
	1-24 ↓		60	162	162
	1-24 ↓		130	324	324
L13	↓ 1-24	10	95	400	400
	↓ 1-24		45	242	242
	1-12 ↓ 13-24		5	162	162
	1-24 ↓		45	242	242
	1-24 ↓		95	400	400
L14	↓ 1-24	20	150	324	400
	↓ 1-24		50	242	242
	1-12 ↓ 13-24		10	162	162
	1-24 ↓		50	242	242
	1-24 ↓		150	400	400
L15	↓ 1-24	20	90	400	324
	↓ 1-24		30	242	242
	1-12 ↓ 13-24		10	162	162
	1-24 ↓		30	242	242
	1-24 ↓		90	324	400
L16	↓ 1-24	15	130	324	324
	↓ 1-24		45	242	242



Línea	Geometría de disparo	Distancia geófonos, m	Offset de SP, m	Carga, gr. (Onda P)	Carga, gr. (Onda S)
	1-12 ↓ 13-24		7.5	162	162
	1-24 ↓		45	242	242
	1-24 ↓		130	400	400
L17	↓ 1-24	10	50	324	324
	↓ 1-24		15	242	242
	1-12 ↓ 13-24		5	162	162
	1-24 ↓		15	242	242
	1-24 ↓		50	324	324
L18	↓ 1-24	15	100	480	480
	↓ 1-24		30	324	324
	1-12 ↓ 13-24		7.5	162	162
	1-24 ↓		30	324	324
	1-24 ↓		100	480	480
L19	↓ 1-24	10	90	480	400
	↓ 1-24		30	242	242
	1-12 ↓ 13-24		5	162	162
	1-24 ↓		30	242	242
	1-24 ↓		90	400	480
L20	↓ 1-24	10	50	324	324
	↓ 1-24		15	242	242
	1-12 ↓ 13-24		5	162	162
	1-24 ↓		15	242	242
	1-24 ↓		50	324	324
L21	↓ 1-24	10	50	400	400
	↓ 1-24		15	242	242
	1-12 ↓ 13-24		5	162	162
	1-24 ↓		15	242	242
	1-24 ↓		50	480	400

1-24 Distribución de Geófonos ; ↓ Posición del punto de disparo(SP)



ANEXO 9

**FOTOGRAFÍAS DE SITIOS DE LEVANTAMIENTO DE LA SÍSMICA DE
REFRACCIÓN EN LA CIUDAD DE CALI Y DEL EQUIPO UTILIZADO**



Línea 5 en el sector de Menga al norte de la ciudad de Cali



Línea 5 en el sector de Menga al norte de la ciudad de Cali



Línea sísmica 6 en el sector de Chipichape al norte de la ciudad



Línea sísmica 8 en los límites de Navarro con el barrio Córdoba al occidente de la ciudad



Línea sísmica 9 en Puerto Mallarino al occidente de la ciudad



Línea sísmica 10 en predios de la Universidad del Valle al sur de Cali



Línea 11 Línea sísmica en el área de Terrón Colorado al oriente de Cali



Línea 11 Línea sísmica en el área de Terrón Colorado al oriente de Cali



Línea 14, 15 líneas sísmicas en los terrenos de la Base Aérea de Cali



Línea 16 sísmica de refracción en el sector de DECEPAZ cerca al río Cauca



Línea 17 Sísmica de refracción en el terreno de la III Brigada de Cali



Línea 18 de sísmica de refracción al occidente de la ciudad en el sector de Floralia



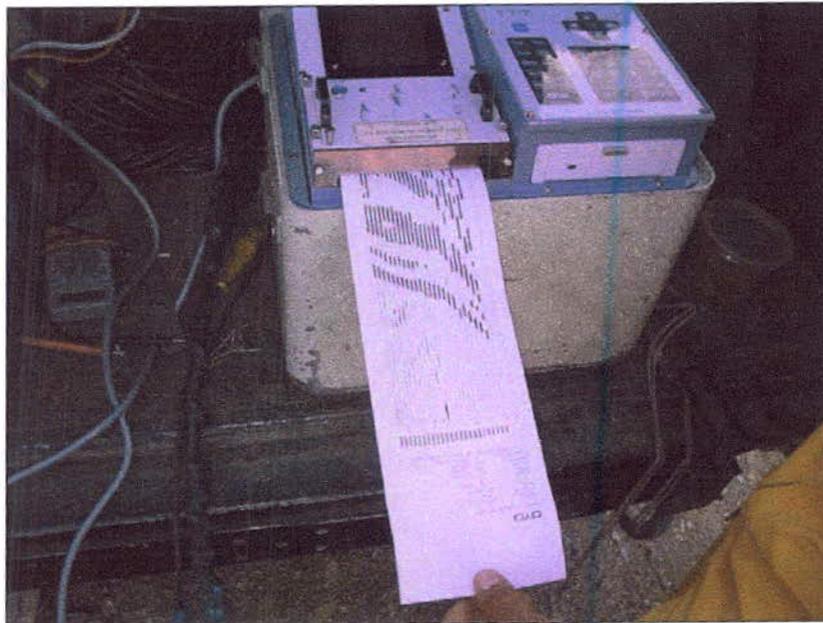
Línea 20 (Unidad Deportiva "Panamericanas")



Equipo de sismica de refracción marca OYO Mc SEIS 160 MX



Equipo de refracción sísmica OYO McSeis 160MX con ristras y geófonos.

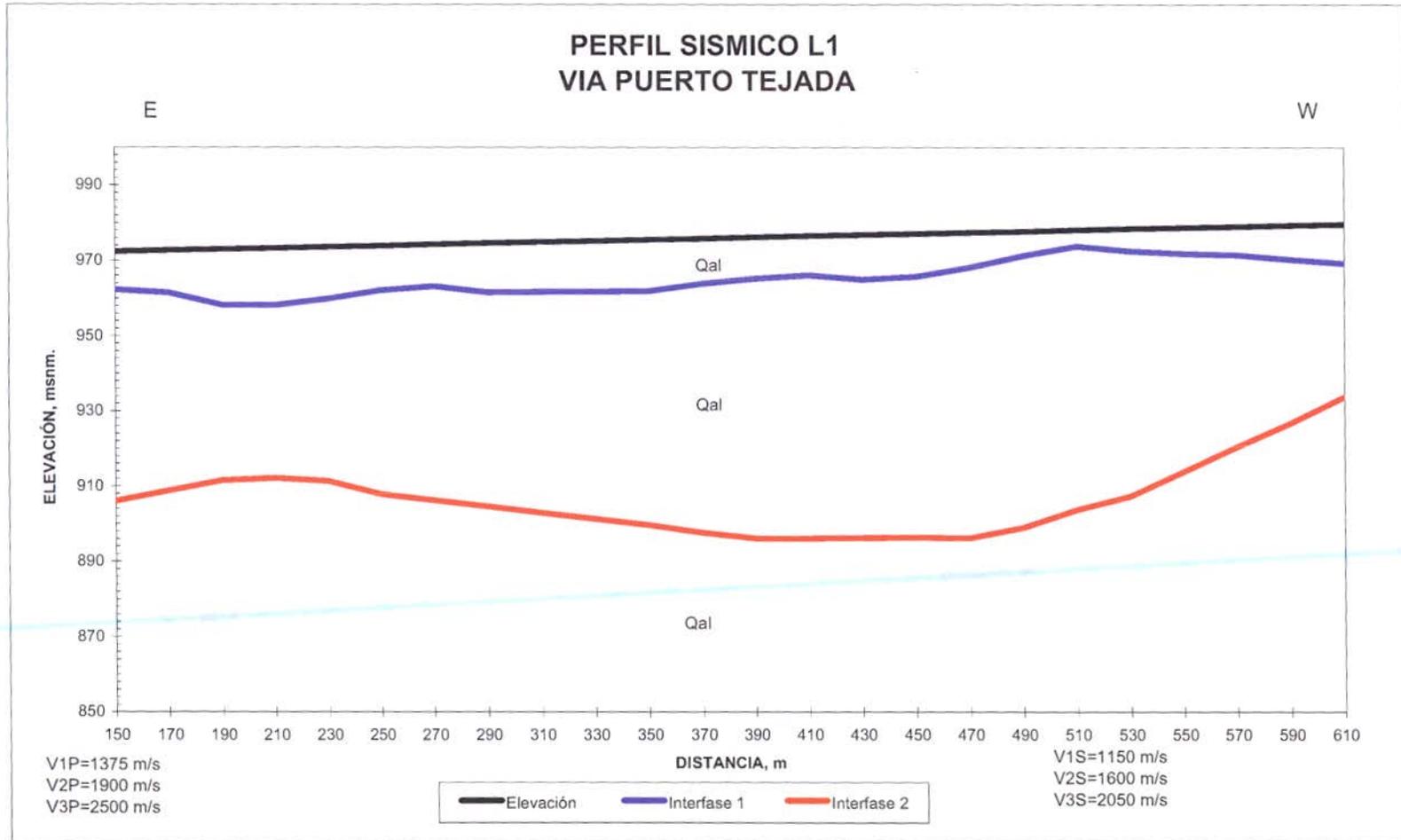


Registro sísmico de las primeras llegadas en papel térmico

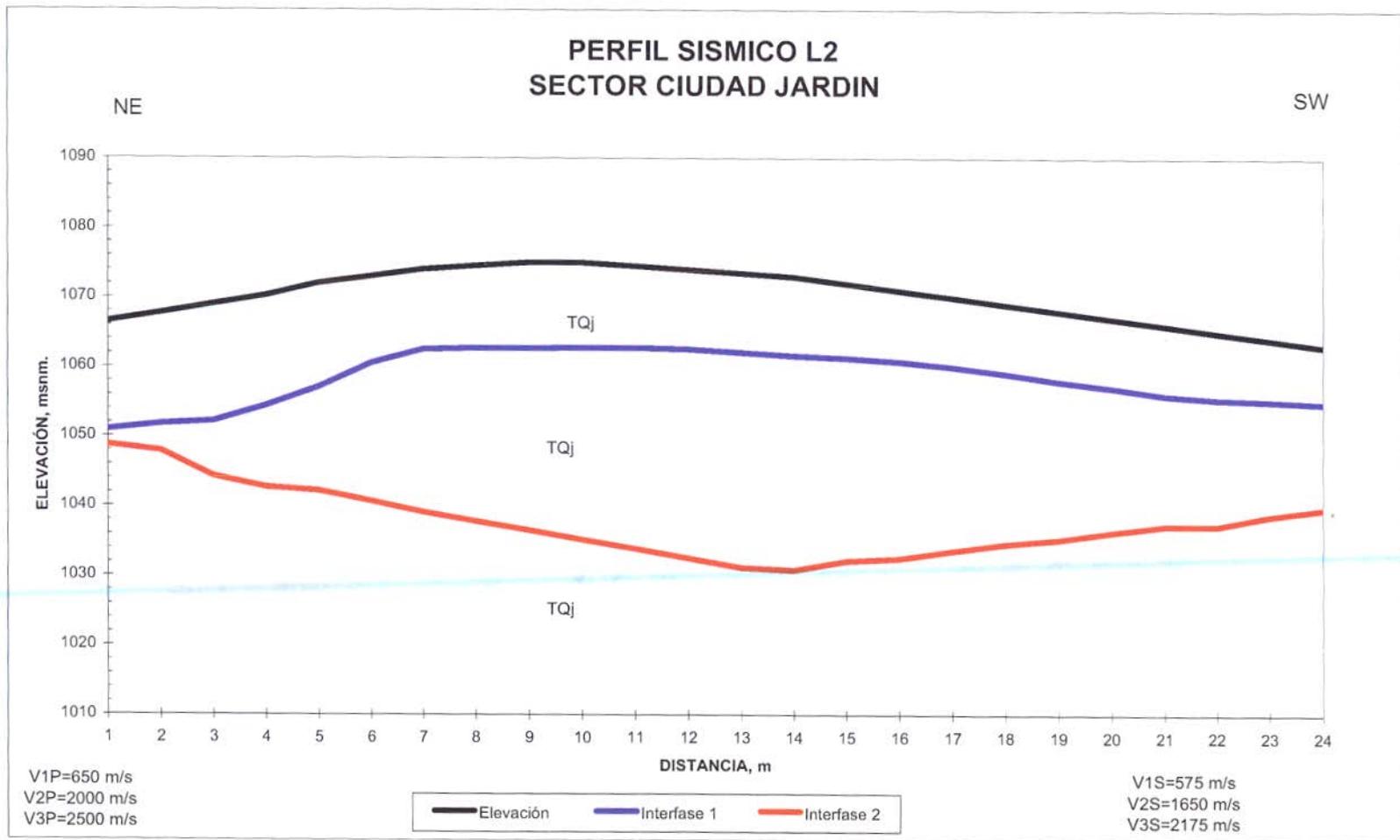
ANEXO 10

PERFILES DE REFRACCIÓN SÍSMICA

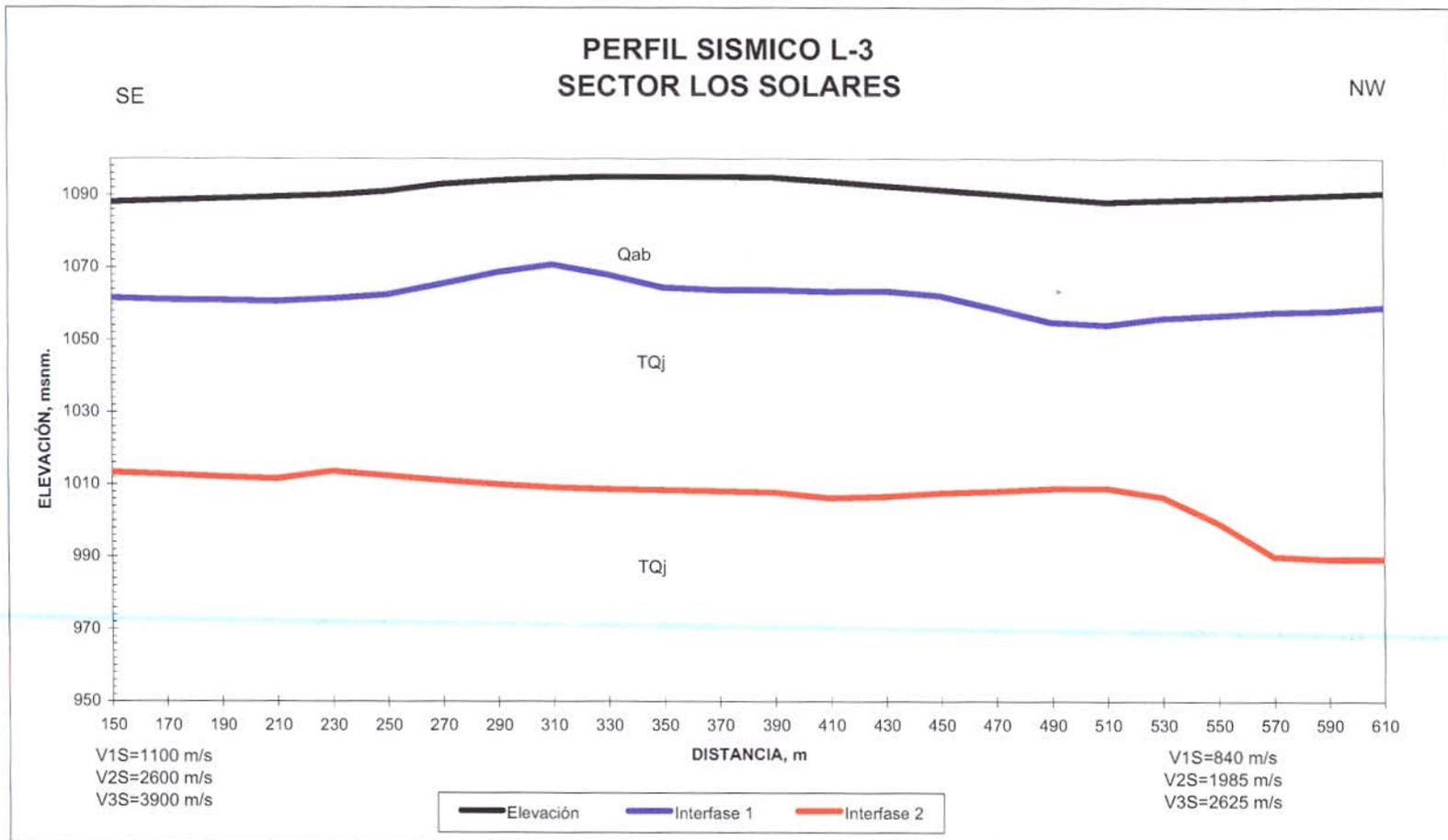
RESULTADOS DEL PROCESO DE REFRACCIÓN SÍSMICA L-1 VIA PUERTO TEJADA										
		PROF. MIN	RPOF. MAX	Vp/Vs	Relación de	Modulo de	Modulo de			
					POISSON	YOUNG	RIGIDEZ			
V1P m/s	1375	4	15	1,20	-0,66	1,618E+09	2,407E+09			
V2P m/s	1900	46	81	1,19	-0,72	2,618E+09	4,659E+09			
V3P m/s	2500	-	-	1,22	-0,53	7,247E+09	7,649E+09			
V1S m/s	1150									
V2S m/s	1600									
V3S m/s	2050									
d1 Kg/m ³	1820									
d2 Kg/m ³	1820									
d3 Kg/m ³	1820									
			Profundidad Calculada de Tope, m (Onda P)		Profundidad Calculada de Tope, m (Onda S)		Profundidad Promedio de Tope, m		Profundidad Promedio de Tope, msnm	
SP	Distancia m	Elevación msnm	Interfase 1	Interfase 2	Interfase 1	Interfase 2	Interfase 1	Interfase 2	Interfase 1	Interfase 2
1	0	970,0	10,7	96,3	7,8	75,6	9,25	85,95	960,75	884,05
2	100	971,6	7,2	74,2	7,5	57,1	7,35	65,65	964,25	905,95
3	380	976,0	17,6	84,3	5,3	74,0	11,45	79,15	964,55	896,85
4	659,9	980,4	10,4	33,5	17,0	17,8	13,70	25,65	966,70	954,75
5	759,9	982,0	1,2	34,5	15,8	36,3	8,50	35,40	973,50	946,60
Geofono	Distancia	Elevación	Interfase 1	Interfase 2	Interfase 1	Interfase 2	Interfase 1	Interfase 2	Interfase 1	Interfase 2
1	150	972,4	12,4	75,0	7,9	57,7	10,15	66,35	962,25	906,05
2	170	972,7	14,5	75,3	8,0	52,5	11,25	63,90	961,45	908,80
3	190	973,0	20,7	75,4	8,9	47,6	14,80	61,50	958,20	911,50
4	210	973,3	21,0	69,1	9,3	53,2	15,15	61,15	958,15	912,15
5	230	973,6	17,8	66,3	9,7	58,2	13,75	62,25	959,85	911,35
6	250	973,9	14,7	69,9	9,0	62,1	11,85	66,00	962,05	907,90
7	270	974,3	13,6	72,1	8,7	64,0	11,15	68,05	963,15	906,25
8	290	974,6	16,9	74,2	9,2	65,8	13,05	70,00	961,55	904,60
9	310	974,9	16,7	76,3	9,7	67,6	13,20	71,95	961,70	902,95
10	330	975,2	17,1	78,4	9,8	69,4	13,45	73,90	961,75	901,30
11	350	975,5	18,5	80,5	8,8	71,2	13,65	75,85	961,85	899,65
12	370	975,8	17,5	83,4	6,4	73,0	11,95	78,20	963,85	897,60
13	390	976,2	17,7	85,2	4,3	74,9	11,00	80,05	965,20	896,15
14	410	976,5	16,2	84,7	4,7	76,0	10,45	80,35	966,05	896,15
15	430	976,8	15,0	84,3	8,7	76,8	11,85	80,55	964,95	896,25
16	450	977,1	13,8	83,9	9,1	77,6	11,45	80,75	965,65	896,35
17	470	977,4	9,1	83,9	9,5	78,5	9,30	81,20	968,10	896,20
18	490	977,7	7,6	82,1	5,3	75,4	6,45	78,75	971,25	898,95
19	510	978,1	7,8	78,9	0,9	69,9	4,35	74,40	973,75	903,70
20	530	978,4	8,0	71,9	3,9	70,3	5,95	71,10	972,45	907,30
21	549,9	978,7	7,5	65,4	6,4	64,3	6,95	64,85	971,75	913,85
22	569,9	979	6,5	59,5	8,6	57,6	7,55	58,55	971,45	920,45
23	589,9	979,3	7,5	54	10,7	51,2	9,1	52,6	970,2	926,7
24	609,9	979,6	8,3	45,4	12,5	46,3	10,4	45,85	969,2	933,75



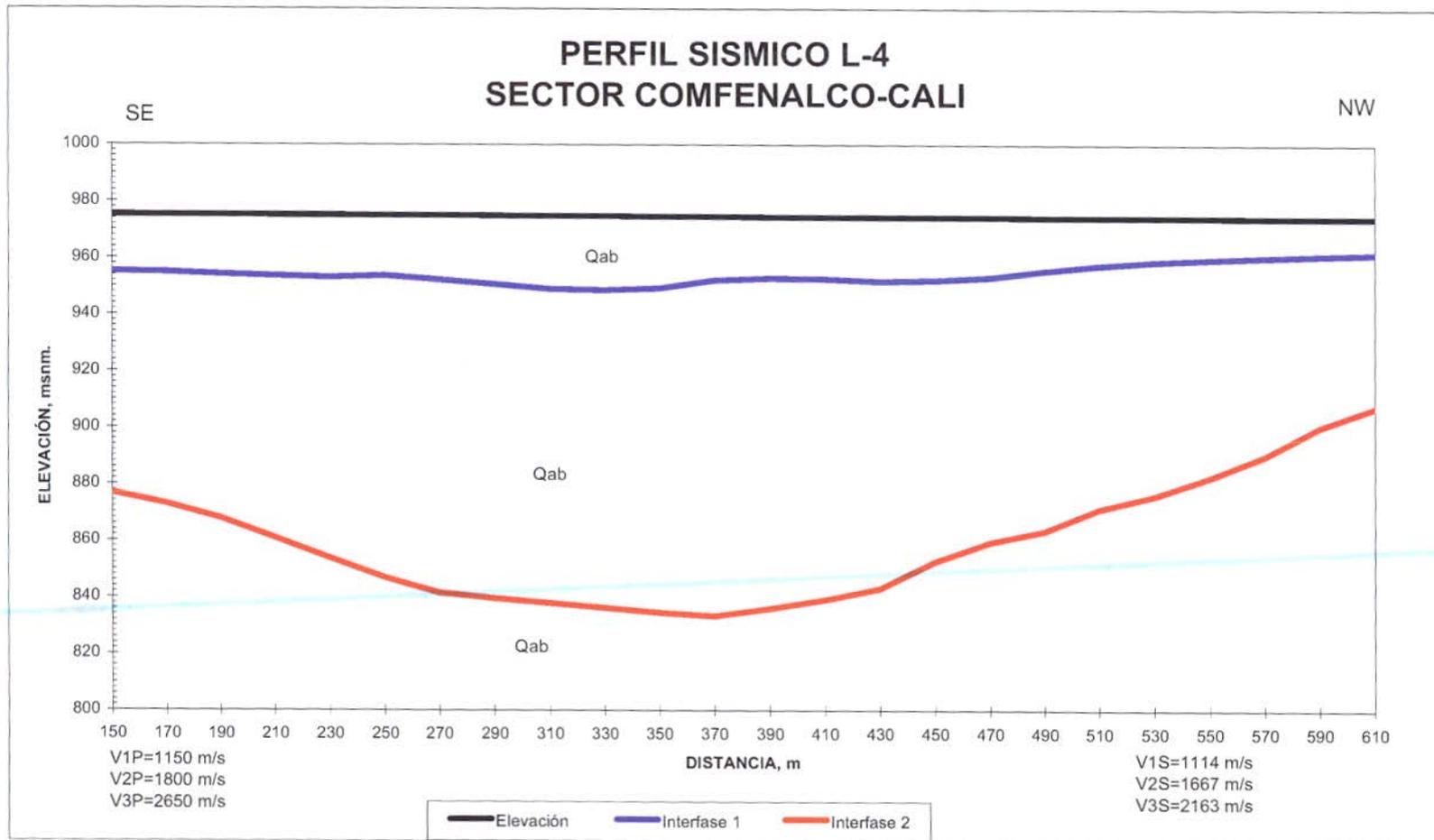
RESULTADOS DEL PROCESO DE REFRACCIÓN SÍSMICA L-2 SECTOR CIUDAD JARDIN										
		PROF. MIN	RPOF. MAX	Vp/Vs	Relación de	Modulo de	Modulo de			
					POISSON	YOUNG	RIGIDEZ			
V1P m/s	650	8	17	1,13	-1,30	-4,55E+08	760437500			
V2P m/s	2000	18	42	1,21	-0,57	5,441E+09	6,262E+09			
V3P m/s	2500	-	-	1,15	-1,06	-1,24E+09	1,088E+10			
V1S m/s	575									
V2S m/s	1650									
V3S m/s	2175									
d1 Kg/m ³	2300									
d2 Kg/m ³	2300									
d3 Kg/m ³	2300									
		Profundidad Calculada de Tope, m (Onda P)		Profundidad Calculada de Tope, m (Onda S)		Profundidad Promedio de Tope, m		Profundidad Promedio de Tope, msnm		
SP	Distancia m	Elevación msnm	Interfase 1	Interfase 2	Interfase 1	Interfase 2	Interfase 1	Interfase 2	Interfase 1	Interfase 2
1	0,1	1064,0	20,1	20,1	14,9	14,9	17,50	17,50	1046,50	1046,50
2	20,1	1065,2	18,8	18,8	13,5	13,5	16,15	16,15	1049,05	1049,05
3	149,5	1073,7	13,8	39,6	9,0	44,0	11,40	41,80	1062,30	1031,90
4	278,9	1062,0	7,4	26,5	9,2	17,9	8,30	22,20	1053,70	1039,80
5	298,9	1061,0	7,3	34,2	10,3	10,3	8,80	22,25	1052,20	1038,75
Geofono	Distancia	Elevación	Interfase 1	Interfase 2	Interfase 1	Interfase 2	Interfase 1	Interfase 2	Interfase 1	Interfase 2
1	35	1066,5	18,2	19,9	12,9	15,6	15,55	17,75	1050,95	1048,75
2	44,9	1067,7	18,4	21,6	13,5	18,0	15,95	19,80	1051,75	1047,90
3	54,8	1069,0	18,7	26,0	15,0	23,5	16,85	24,75	1052,15	1044,25
4	64,8	1070,2	17,9	28,4	13,8	26,7	15,85	27,55	1054,35	1042,65
5	74,6	1072,0	16,6	31,9	13,3	27,8	14,95	29,85	1057,05	1042,15
6	84,6	1073,0	14,6	36,6	10,4	28,1	12,50	32,35	1060,50	1040,65
7	94,5	1074,0	13,5	39,6	9,5	30,2	11,50	34,90	1062,50	1039,10
8	104,5	1074,5	13,8	40,2	9,8	33,2	11,80	36,70	1062,70	1037,80
9	114,5	1075,0	14,6	40,7	10,1	36,3	12,35	38,50	1062,65	1036,50
10	124,5	1075,0	14,7	40,8	9,8	38,9	12,25	39,85	1062,75	1035,15
11	134,5	1074,5	14,3	40,3	9,2	40,9	11,75	40,60	1062,75	1033,90
12	144,5	1074,0	13,8	39,9	9,0	43,0	11,40	41,45	1062,60	1032,55
13	154,4	1073,5	13,8	39,5	9,0	45,1	11,40	42,30	1062,10	1031,20
14	164,4	1073,0	13,9	39,0	8,8	45,3	11,35	42,15	1061,65	1030,85
15	174,4	1072,0	13,4	38,1	8,0	41,6	10,70	39,85	1061,30	1032,15
16	184,3	1071,0	12,9	36,9	7,5	40,1	10,20	38,50	1060,80	1032,50
17	194,3	1070,0	12,6	34,2	7,3	38,6	9,95	36,40	1060,05	1033,60
18	204,2	1069,0	12,2	32,8	7,6	36,0	9,90	34,40	1059,10	1034,60
19	214,2	1068,0	11,5	32,2	8,6	33,3	10,05	32,75	1057,95	1035,25
20	224,1	1067,0	10,8	30,7	9,1	30,7	9,95	30,70	1057,05	1036,30
21	234,1	1066,0	10,6	29,5	9,5	28,1	10,05	28,80	1055,95	1037,20
22	244	1065	9,8	30,4	9,4	25,2	9,6	27,8	1055,4	1037,2
23	254	1064	8,7	28,5	9	22,2	8,85	25,35	1055,15	1038,65
24	263,9	1063	7,8	27,5	8,6	19,2	8,2	23,35	1054,8	1039,65



RESULTADOS DEL PROCESO DE REFRACCIÓN SÍSMICA L-3 SECTOR ALTOS DE PANCE-LOS SOLARES										
			PROF. MIN	RPOF. MAX	Vp/Vs	Relación de POISSON	Modulo de YOUNG	Modulo de RIGIDEZ		
V1P m/s	1100	24	34	1,31	-0,20	2,056E+09	1,284E+09			
V2P m/s	2600	75	101	1,31	-0,20	1,452E+10	9,063E+09			
V3P m/s	3900	-	-	1,49	0,09	3,442E+10	1,585E+10			
V1S m/s	840									
V2S m/s	1985									
V3S m/s	2625									
d1 Kg/m ³	1820									
d2 Kg/m ³	2300									
d3 Kg/m ³	2300									
			Profundidad Calculada de Tope, m (Onda P)		Profundidad Calculada de Tope, m (Onda S)		Profundidad Promedio de Tope, m		Profundidad Promedio de Tope, msnm	
SP	Distancia m	Elevación msnm	Interfase 1	Interfase 2	Interfase 1	Interfase 2	Interfase 1	Interfase 2	Interfase 1	Interfase 2
1	0	1085,0	43,6	43,6	12,9	62,9	28,25	53,25	1056,75	1031,75
2	100	1087,0	40,2	81,2	14,0	66,0	27,10	73,60	1059,90	1013,40
3	379,8	1095,0	35,2	99,8	27,2	74,3	31,20	87,05	1063,80	1007,95
4	659,6	1092,0	34,8	115,1	34,2	60,2	34,50	87,65	1057,50	1004,35
5	759,6	1093,0	35,7	114,6	41,6	118,5	38,65	116,55	1054,35	976,45
Geofono	Distancia	Elevación	Interfase 1	Interfase 2	Interfase 1	Interfase 2	Interfase 1	Interfase 2	Interfase 1	Interfase 2
1	150	1088,0	38,5	82,4	14,5	67,0	26,50	74,70	1061,50	1013,30
2	170	1088,5	38,0	84,0	16,9	67,5	27,45	75,75	1061,05	1012,75
3	190	1089,0	37,4	85,7	18,7	68,1	28,05	76,90	1060,95	1012,10
4	210	1089,5	37,3	87,3	20,4	68,6	28,85	77,95	1060,65	1011,55
5	230	1090,0	37,1	83,7	20,2	69,1	28,65	76,40	1061,35	1013,60
6	249,9	1091,0	37,3	87,1	19,7	70,2	28,50	78,65	1062,50	1012,35
7	269,8	1093,0	36,7	91,5	18,4	72,2	27,55	81,85	1065,45	1011,15
8	289,8	1094,0	35,8	94,8	14,8	73,2	25,30	84,00	1068,70	1010,00
9	309,8	1094,7	35,9	97,2	11,9	73,9	23,90	85,55	1070,80	1009,15
10	329,8	1095,0	35,9	98,2	18,1	74,3	27,00	86,25	1068,00	1008,75
11	349,8	1095,0	35,4	98,8	25,8	74,3	30,60	86,55	1064,40	1008,45
12	369,8	1095,0	34,5	99,5	27,9	74,3	31,20	86,90	1063,80	1008,10
13	389,8	1094,8	35,6	99,9	26,4	74,2	31,00	87,05	1063,80	1007,75
14	409,8	1093,7	36,3	99,5	24,4	75,5	30,35	87,50	1063,35	1006,20
15	429,7	1092,5	35,1	98,9	22,9	72,7	29,00	85,80	1063,50	1006,70
16	449,7	1091,4	35,5	98,5	23,0	69,1	29,25	83,80	1062,15	1007,60
17	469,7	1090,3	37,1	98,3	26,3	66,0	31,70	82,15	1058,60	1008,15
18	489,6	1089,1	36,1	98,2	32,3	62,3	34,20	80,25	1054,90	1008,85
19	509,6	1088,0	34,5	98,8	33,4	59,3	33,95	79,05	1054,05	1008,95
20	529,6	1088,5	30,2	101,6	34,8	62,4	32,50	82,00	1056,00	1006,50
21	549,6	1089,0	30,8	104,3	33,7	75,0	32,25	89,65	1056,75	999,35
22	569,6	1089,5	31,6	107,5	32,1	91,3	31,85	99,4	1057,65	990,1
23	589,6	1090	32,5	113,1	31,5	88,1	32	100,6	1058	989,4
24	609,6	1090,5	33,4	113,6	29,6	88,6	31,5	101,1	1059	989,4



RESULTADOS DEL PROCESO DE REFRACCIÓN SISMICA L-4 SECTOR COMFENALCO - CALI										
		PROF. MIN	RPOF. MAX	Vp/Vs	Relación de POISSON	Modulo de YOUNG	Modulo de RIGIDEZ			
V1P m/s	1150	13	26	1,03	-7,11	-2,76E+10	2,259E+09			
V2P m/s	1800	67	141	1,08	-2,51	-1,53E+10	5,058E+09			
V3P m/s	2650	-	-	1,23	-0,50	8,549E+09	8,515E+09			
V1S m/s	1114									
V2S m/s	1667									
V3S m/s	2163									
d1 Kg/m ³	1820									
d2 Kg/m ³	1820									
d3 Kg/m ³	1820									
		Profundidad Calculada de Tope, m (Onda P)		Profundidad Calculada de Tope, m (Onda S)		Profundidad Promedio de Tope, m		Profundidad Promedio de Tope, msnm		
SP	Distancia m	Elevación msnm	Interfase 1	Interfase 2	Interfase 1	Interfase 2	Interfase 1	Interfase 2	Interfase 1	Interfase 2
1	0	975,8	16,5	74,6	16,5	120,1	16,50	97,35	959,30	878,45
2	100	975,5	17,5	93,7	20,4	101,0	18,95	97,35	956,55	878,15
3	380	974,6	18,7	161,9	25,4	118,0	22,05	139,95	952,55	834,65
4	660	974,1	9,8	70,4	11,9	48,9	10,85	59,65	963,25	914,45
5	760	973,9	5,3	48,1	4,6	33,8	4,95	40,95	968,95	932,95
Geofono	Distancia	Elevación	Interfase 1	Interfase 2	Interfase 1	Interfase 2	Interfase 1	Interfase 2	Interfase 1	Interfase 2
1	150	975,3	17,8	96,0	22,3	100,8	20,05	98,40	955,25	876,90
2	170	975,2	17,9	103,9	22,7	100,7	20,30	102,30	954,90	872,90
3	190	975,2	18,8	111,8	23,3	102,9	21,05	107,35	954,15	867,85
4	210	975,1	18,7	117,0	24,2	111,3	21,45	114,15	953,65	860,95
5	230	975,1	18,8	125,1	25,2	117,7	22,00	121,40	953,10	853,70
6	250	975,0	19,7	133,5	22,8	122,8	21,25	128,15	953,75	846,85
7	270	975,0	20,6	139,1	24,8	128,0	22,70	133,55	952,30	841,45
8	290	974,9	20,8	144,3	27,7	126,5	24,25	135,40	950,65	839,50
9	310	974,8	19,9	149,5	31,7	124,4	25,80	136,95	949,00	837,85
10	330	974,8	20,7	154,9	31,6	122,3	26,15	138,60	948,65	836,20
11	350	974,7	19,5	160,1	31,3	120,2	25,40	140,15	949,30	834,55
12	370	974,7	19,1	163,2	26,0	119,5	22,55	141,35	952,15	833,35
13	390	974,6	18,5	160,6	24,9	116,6	21,70	138,60	952,90	836,00
14	410	974,6	19,2	158,1	24,5	112,8	21,85	135,45	952,75	839,15
15	430	974,5	21,3	153,8	24,0	108,9	22,65	131,35	951,85	843,15
16	450	974,5	21,2	148,6	23,2	94,9	22,20	121,75	952,30	852,75
17	470	974,5	19,9	143,6	22,5	86,4	21,20	115,00	953,30	859,50
18	490	974,4	18,6	138,4	19,0	83,4	18,80	110,90	955,60	863,50
19	510	974,4	18,2	125,9	15,7	80,4	16,95	103,15	957,45	871,25
20	530	974,3	16,9	119,4	14,1	77,3	15,50	98,35	958,80	875,95
21	550	974,3	15,1	114,0	14,2	69,6	14,65	91,80	959,65	882,50
22	570	974,2	13,3	107,5	14,4	60,7	13,85	84,10	960,35	890,10
23	590	974,2	12,1	91,9	14,3	55,7	13,20	73,80	961,00	900,40
24	610	974,2	11,5	81,7	13,7	52,2	12,60	66,95	961,60	907,25



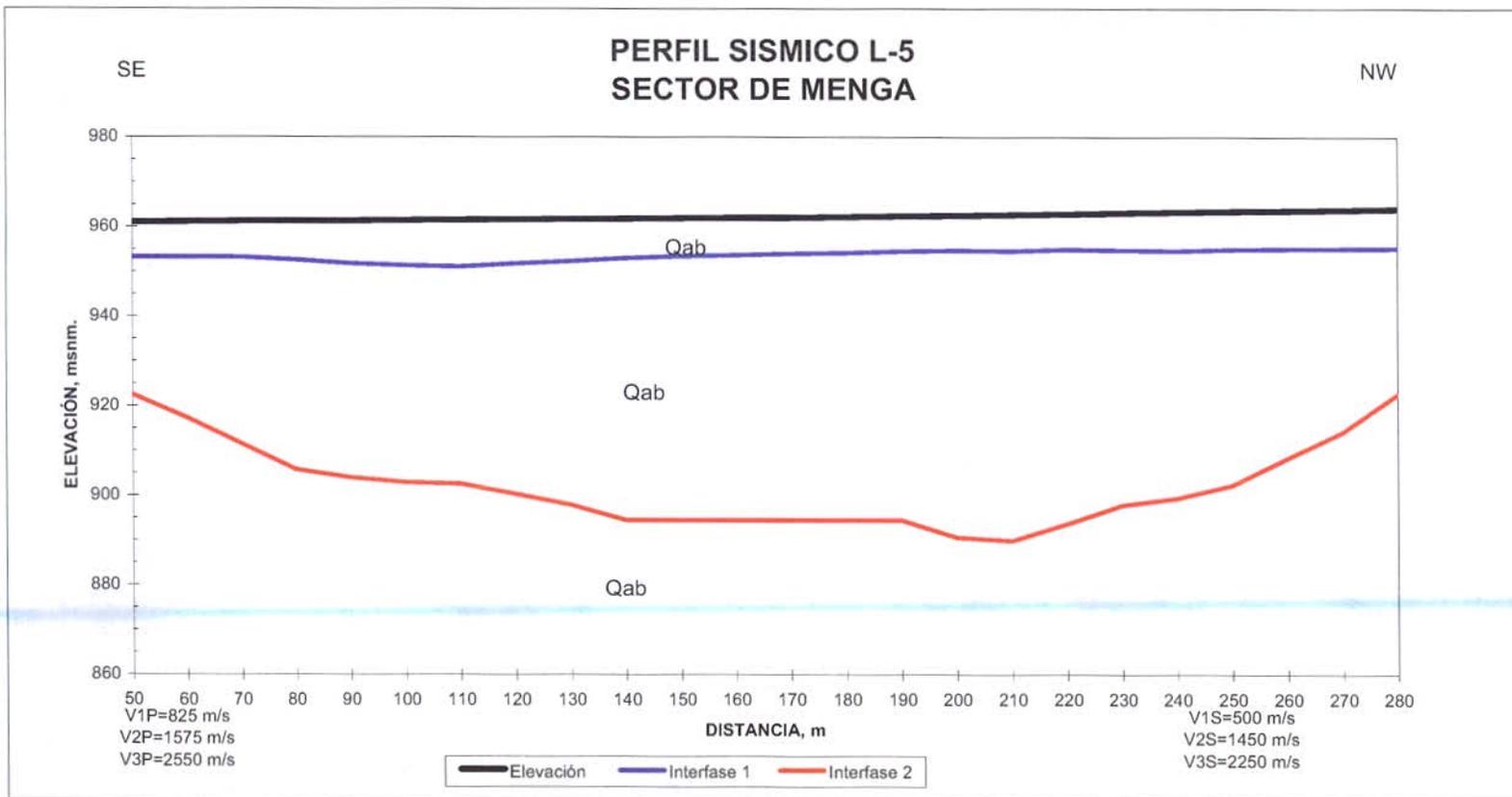
A.G.C.

Figura 19. Perfil Sísmico Línea 4

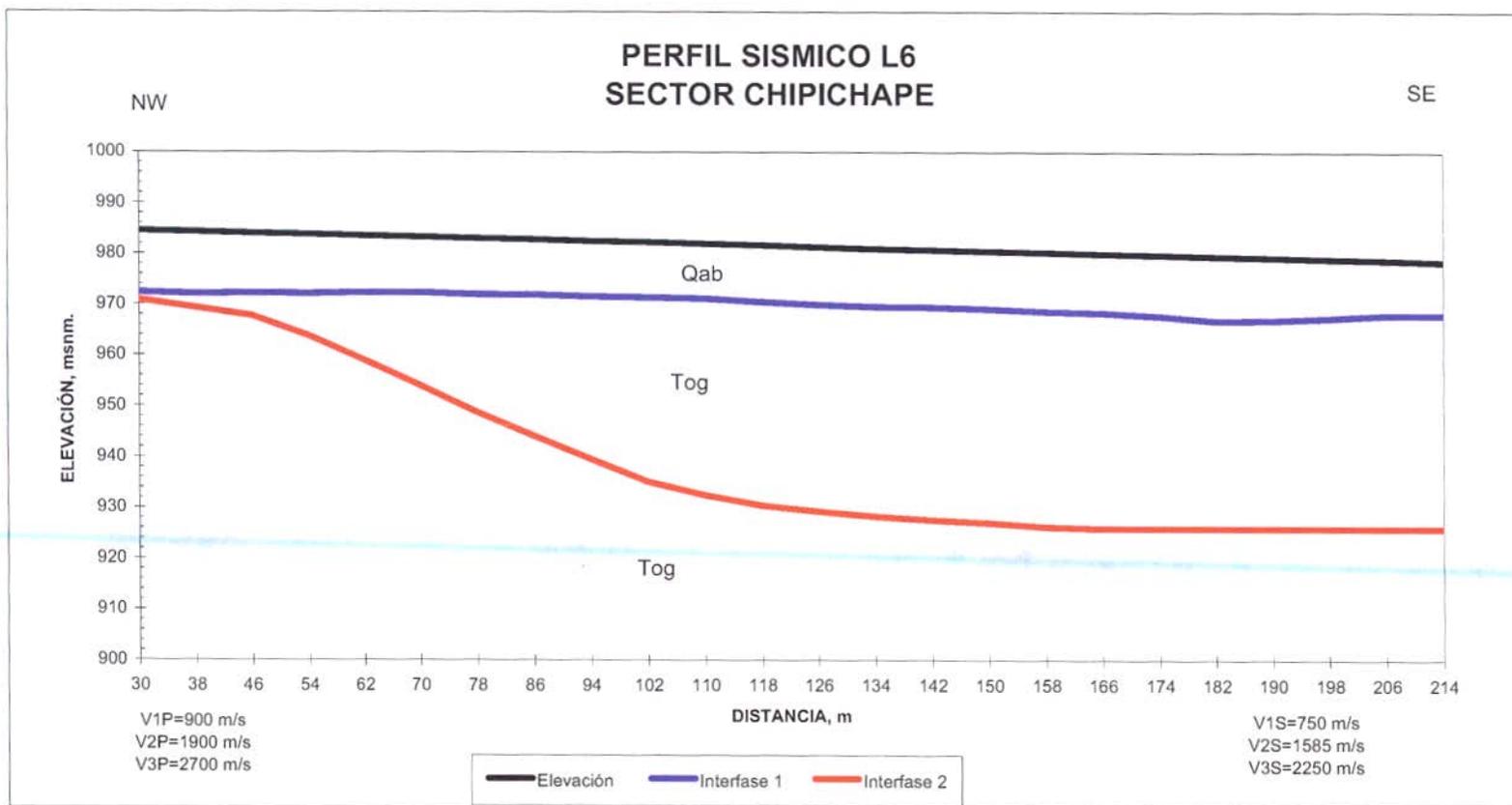
Apéndice 2

RESULTADOS DEL PROCESO DE REFRACCIÓN SISMICA L-5 SECTOR MENGSA - CALI										
			PROF. MIN	RPOF. MAX	Vp/Vs	Relación de POISSON	Modulo de YOUNG	Modulo de RIGIDEZ		
V1P m/s	825	8	10	1,65	0,21	1,101E+09	455000000			
V2P m/s	1575	38	73	1,09	-2,28	-9,8E+09	3,827E+09			
V3P m/s	2550	-	-	1,13	-1,26	-4,75E+09	9,214E+09			
V1S m/s	500									
V2S m/s	1450									
V3S m/s	2250									
d1 Kg/m ³	1820									
d2 Kg/m ³	1820									
d3 Kg/m ³	1820									
			Profundidad Calculada de Tope, m (Onda P)		Profundidad Calculada de Tope, m (Onda S)		Profundidad Promedio de Tope, m		Profundidad Promedio de Tope, msnm	
SP	Distancia m	Elevación msnm	Interfase 1	Interfase 2	Interfase 1	Interfase 2	Interfase 1	Interfase 2	Interfase 1	Interfase 2
1	0,0	961,0	6,1	36,7	9,4	36,6	7,75	36,65	953,25	924,35
2	30,0	961,0	6,9	39,7	8,5	28,7	7,70	34,20	953,30	926,80
3	165,0	962,0	12,0	70,7	4,3	64,3	8,15	67,50	953,85	894,50
4	300,0	964,4	8,7	26,5	9,3	36,4	9,00	31,45	955,40	932,95
5	330,0	965,0	7,6	27,0	11,0	49,1	9,30	38,05	955,70	926,95
Geofono	Distancia	Elevación	Interfase 1	Interfase 2	Interfase 1	Interfase 2	Interfase 1	Interfase 2	Interfase 1	Interfase 2
1	50,0	961,0	7,9	48,2	7,6	28,7	7,75	38,45	953,25	922,55
2	60,0	961,1	8,5	55,2	7,2	32,4	7,85	43,80	953,25	917,30
3	70,0	961,2	9,6	65,9	6,4	33,6	8,00	49,75	953,20	911,45
4	80,0	961,3	11,2	68,7	6,3	42,4	8,75	55,55	952,55	905,75
5	90,0	961,3	12,6	71,2	6,5	43,5	9,55	57,35	951,75	903,95
6	100,0	961,4	13,4	72,4	6,7	44,6	10,05	58,50	951,35	902,90
7	110,0	961,5	14,3	72,2	6,5	45,7	10,40	58,95	951,10	902,55
8	120,0	961,6	13,8	71,9	5,9	50,7	9,85	61,30	951,75	900,30
9	130,0	961,7	13,2	71,7	5,6	56,0	9,40	63,85	952,30	897,85
10	140,0	961,8	12,9	71,4	4,7	63,3	8,80	67,35	953,00	894,45
11	150,0	961,9	12,5	71,2	4,4	63,7	8,45	67,45	953,45	894,45
12	160,0	962,0	12,2	70,9	4,4	64,2	8,30	67,55	953,70	894,45
13	170,0	962,0	11,8	70,6	4,2	64,5	8,00	67,55	954,00	894,45
14	180,0	962,2	11,9	70,4	4,1	65,0	8,00	67,70	954,20	894,50
15	190,0	962,4	11,7	70,4	4,0	65,5	7,85	67,95	954,55	894,45
16	200,0	962,5	11,7	77,8	3,9	65,9	7,80	71,85	954,70	890,65
17	210,0	962,7	11,6	79,2	4,6	66,4	8,10	72,80	954,60	889,90
18	220,0	962,9	10,9	79,7	5,0	58,6	7,95	69,15	954,95	893,75
19	230,0	963,1	11,1	78,6	5,5	51,8	8,30	65,20	954,80	897,90
20	240,0	963,3	10,7	77,1	6,6	50,7	8,65	63,90	954,65	899,40
21	250,0	963,5	9,9	72,8	7,1	49,5	8,50	61,15	955,00	902,35
22	260,0	963,6	9,3	61,6	7,7	48,8	8,50	55,20	955,10	908,40
23	270,0	963,8	9,1	53,5	8,2	45,7	8,65	49,60	955,15	914,20
24	280,0	964,0	8,9	46,7	8,6	36,0	8,75	41,35	955,25	922,65

104



RESULTADOS DEL PROCESO DE REFRACCIÓN SÍSMICA L-6 SECTOR CHIPICHAPE - CALI										
		PROF. MIN	RPOF. MAX	Vp/Vs	Relación de	Modulo de	Modulo de			
					POISSON	YOUNG	RIGIDEZ			
V1P m/s	900	11	13	1,20	-0,64	744545455	1,024E+09			
V2P m/s	1900	14	54	1,20	-0,64	4,469E+09	6,281E+09			
V3P m/s	2700	-	-	1,20	-0,64	9,205E+09	1,266E+10			
V1S m/s	750									
V2S m/s	1585									
V3S m/s	2250									
d1 Kg/m ³	1820									
d2 Kg/m ³	2500									
d3 Kg/m ³	2500									
		Profundidad Calculada		Profundidad Calculada		Profundidad Promedio		Profundidad Promedio de		
		de Tope, m (Onda P)		de Tope, m (Onda S)		de Tope, m		Tope, msnm		
SP	Distancia m	Elevación msnm	Interfase 1	Interfase 2	Interfase 1	Interfase 2	Interfase 1	Interfase 2	Interfase 1	Interfase 2
1	0,0	985,0	11,1	11,1	13,1	13,1	12,10	12,10	972,90	972,90
2	20,0	984,8	11,6	12,0	12,3	12,5	11,95	12,25	972,85	972,55
3	121,9	981,5	14,3	64,2	8,1	39,0	11,20	51,60	970,30	929,90
4	223,9	978,3	10,2	61,1	10,2	43,6	10,20	52,35	968,10	925,95
5	243,9	978,0	10,4	65,6	11,2	50,8	10,80	58,20	967,20	919,80
Geofono	Distancia	Elevación	Interfase 1	Interfase 2	Interfase 1	Interfase 2	Interfase 1	Interfase 2	Interfase 1	Interfase 2
1	30,0	984,5	12,2	12,2	12,0	15,0	12,10	13,60	972,40	970,90
2	38,0	984,3	12,7	12,7	11,8	17,2	12,25	14,95	972,05	969,35
3	46,0	984,0	12,1	13,3	11,4	19,2	11,75	16,25	972,25	967,75
4	54,0	983,8	12,7	18,6	10,7	21,4	11,70	20,00	972,10	963,80
5	62,0	983,5	13,0	25,5	9,3	23,5	11,15	24,50	972,35	959,00
6	70,0	983,3	13,4	32,4	8,5	26,2	10,95	29,30	972,35	954,00
7	78,0	983,0	13,7	39,2	8,4	29,3	11,05	34,25	971,95	948,75
8	86,0	982,8	13,6	46,2	8,2	31,2	10,90	38,70	971,90	944,10
9	94,0	982,5	13,9	53,0	7,9	32,9	10,90	42,95	971,60	939,55
10	102,0	982,3	14,1	59,7	7,7	34,7	10,90	47,20	971,40	935,10
11	110,0	982,0	13,8	62,5	7,8	36,5	10,80	49,50	971,20	932,50
12	118,0	981,7	14,2	64,3	8,1	38,2	11,15	51,25	970,55	930,45
13	125,9	981,3	14,4	64,1	8,2	39,9	11,30	52,00	970,00	929,30
14	133,9	981,0	14,6	63,8	8,2	41,6	11,40	52,70	969,60	928,30
15	141,9	980,8	14,2	63,6	8,4	42,8	11,30	53,20	969,50	927,60
16	149,9	980,5	14,2	63,3	8,5	43,6	11,35	53,45	969,15	927,05
17	157,9	980,3	14,4	63,1	8,8	44,9	11,60	54,00	968,70	926,30
18	165,9	980,0	14,2	62,8	9,0	45,3	11,60	54,05	968,40	925,95
19	173,9	979,8	14,5	62,6	9,5	45,1	12,00	53,85	967,80	925,95
20	181,9	979,5	15,4	62,3	9,9	44,8	12,65	53,55	966,85	925,95
21	189,9	979,3	14,4	62,1	10,2	44,6	12,30	53,35	967,00	925,95
22	197,9	979	13,2	61,8	10	44,3	11,6	53,05	967,4	925,95
23	205,9	978,8	11,7	61,6	9,9	44,1	10,8	52,85	968	925,95
24	213,9	978,5	11	61,3	10	43,8	10,5	52,55	968	925,95



RESULTADOS DEL PROCESO DE REFRACCIÓN SÍSMICA L-7 SECTOR PARQUE SAN ANTONIO										
			PROF. MIN	RPOF. MAX	Vp/Vs	Relación de	Modulo de	Modulo de		
						POISSON	YOUNG	RIGIDEZ		
V1P m/s	710		6	18	1,11	-1,67	-1,26E+09	942080000		
V2P m/s	2740		42	71	1,11	-1,58	-1,61E+10	1,392E+10		
V3P m/s	3240		-	-	1,02	-10,70	-4,87E+11	2,512E+10		
V1S m/s	640									
V2S m/s	2460									
V3S m/s	3170									
d1 Kg/m ³	2300									
d2 Kg/m ³	2300									
d3 Kg/m ³	2500									
			Profundidad Calculada de Tope, m (Onda P)		Profundidad Calculada de Tope, m (Onda S)		Profundidad Promedio de Tope, m		Profundidad Promedio de Tope, msnm	
SP	Distancia m	Elevación msnm	Interfase 1	Interfase 2	Interfase 1	Interfase 2	Interfase 1	Interfase 2	Interfase 1	Interfase 2
1	0,3	1060,0	18,7	90,1	24,8	43,0	21,75	66,55	1038,25	993,45
2	20,3	1059,0	18,5	89,1	23,8	35,7	21,15	62,40	1037,85	996,60
3	149,6	1047,0	8,0	66,9	9,7	63,1	8,85	65,00	1038,15	982,00
4	283,8	1057,6	5,0	64,7	9,1	63,7	7,05	64,20	1050,55	993,40
5	303,8	1059,0	11,4	66,1	14,2	63,8	12,80	64,95	1046,20	994,05
Geofono	Distancia	Elevación	Interfase 1	Interfase 2	Interfase 1	Interfase 2	Interfase 1	Interfase 2	Interfase 1	Interfase 2
1	35	1056,0	16,1	47,4	20,7	36,9	18,40	42,15	1037,60	1013,85
2	44,9	1055,0	15,3	48,2	20,1	43,9	17,70	46,05	1037,30	1008,95
3	54,9	1054,0	14,7	49,0	19,5	49,9	17,10	49,45	1036,90	1004,55
4	64,8	1053,0	14,2	49,7	18,8	53,4	16,50	51,55	1036,50	1001,45
5	74,8	1052,5	15,6	51,0	18,5	57,9	17,05	54,45	1035,45	998,05
6	84,8	1052,0	17,2	57,8	18,3	67,6	17,75	62,70	1034,25	989,30
7	94,8	1051,0	17,6	67,6	17,8	68,3	17,70	67,95	1033,30	983,05
8	104,7	1050,0	16,9	73,6	16,7	69,0	16,80	71,30	1033,20	978,70
9	114,7	1049,0	15,1	73,1	15,6	67,0	15,35	70,05	1033,65	978,95
10	124,6	1048,0	12,9	70,9	13,6	63,0	13,25	66,95	1034,75	981,05
11	134,6	1048,0	11,6	69,7	12,6	65,9	12,10	67,80	1035,90	980,20
12	144,6	1047,2	9,2	67,7	10,7	64,8	9,95	66,25	1037,25	980,95
13	154,6	1046,8	6,8	66,0	8,8	61,4	7,80	63,70	1039,00	983,10
14	164,6	1046,7	5,9	65,8	7,4	58,3	6,65	62,05	1040,05	984,65
15	174,6	1047,0	5,9	60,5	7,5	63,0	6,70	61,75	1040,30	985,25
16	184,6	1047,5	5,3	58,6	7,6	63,6	6,45	61,10	1041,05	986,40
17	194,5	1048,3	4,5	55,7	7,3	60,8	5,90	58,25	1042,40	990,05
18	204,5	1049,0	5,1	51,7	9,3	54,7	7,20	53,20	1041,80	995,80
19	214,3	1051,0	7,3	53,7	11,8	57,1	9,55	55,40	1041,45	995,60
20	224,1	1053,0	9,5	55,7	13,7	59,1	11,60	57,40	1041,40	995,60
21	234,1	1054,0	12,2	56,7	14,6	60,1	13,40	58,40	1040,60	995,60
22	244,1	1054	12,4	56,7	14,6	60,1	13,5	58,4	1040,5	995,6
23	254	1055	11,6	57,7	13,9	61,1	12,75	59,4	1042,25	995,6
24	264	1055	8,5	57,7	11,4	61,1	9,95	59,4	1045,05	995,6

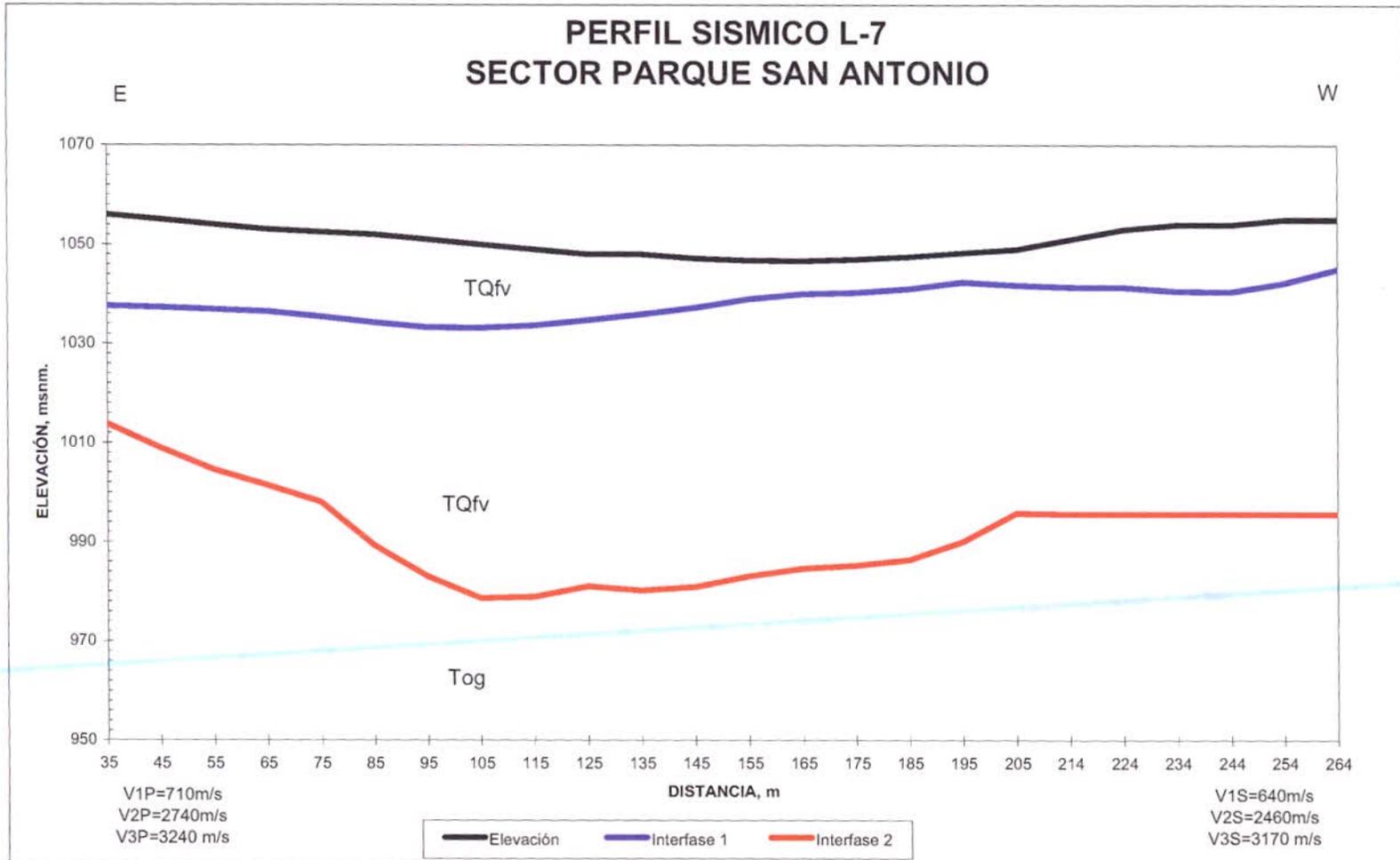
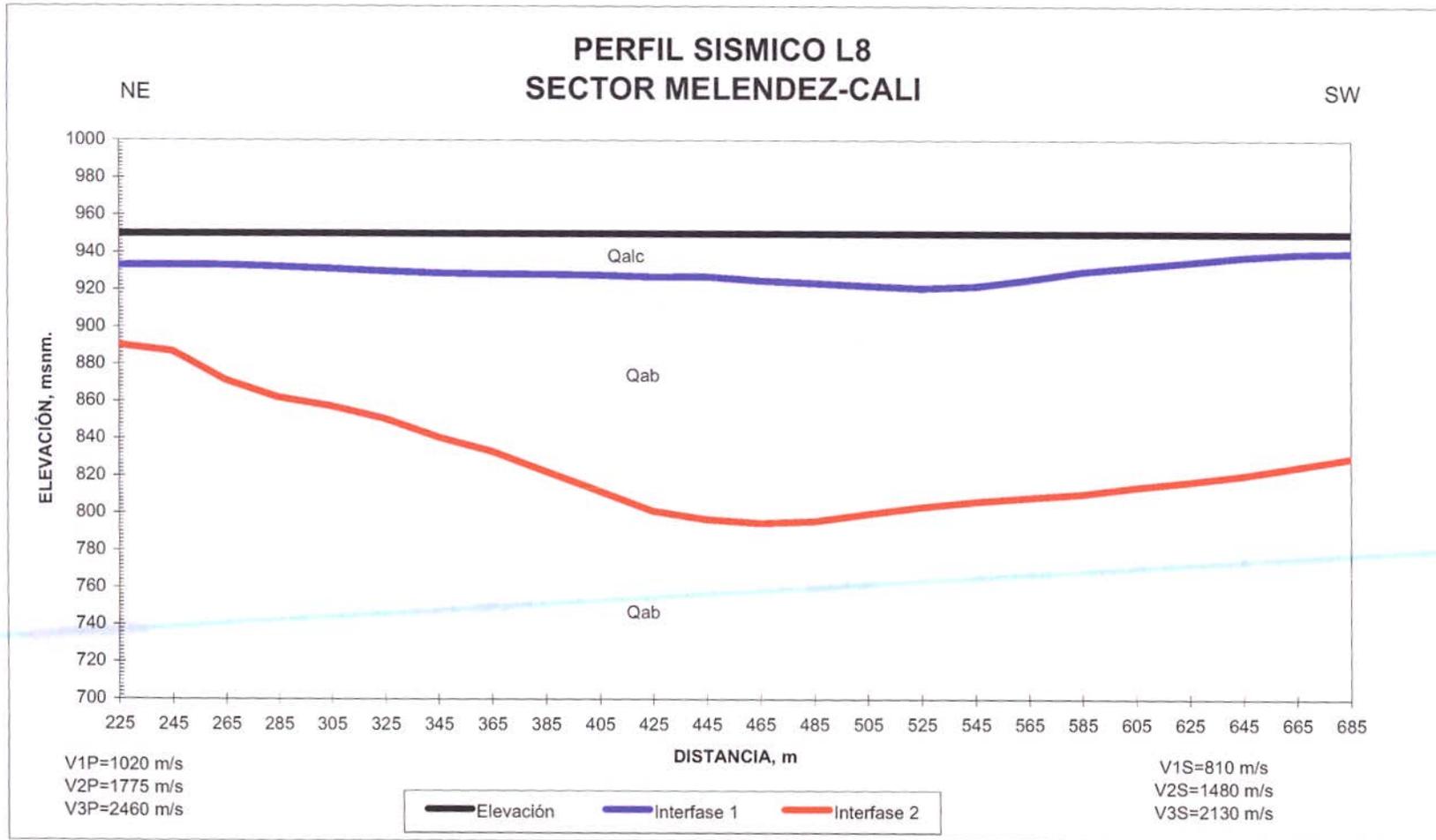


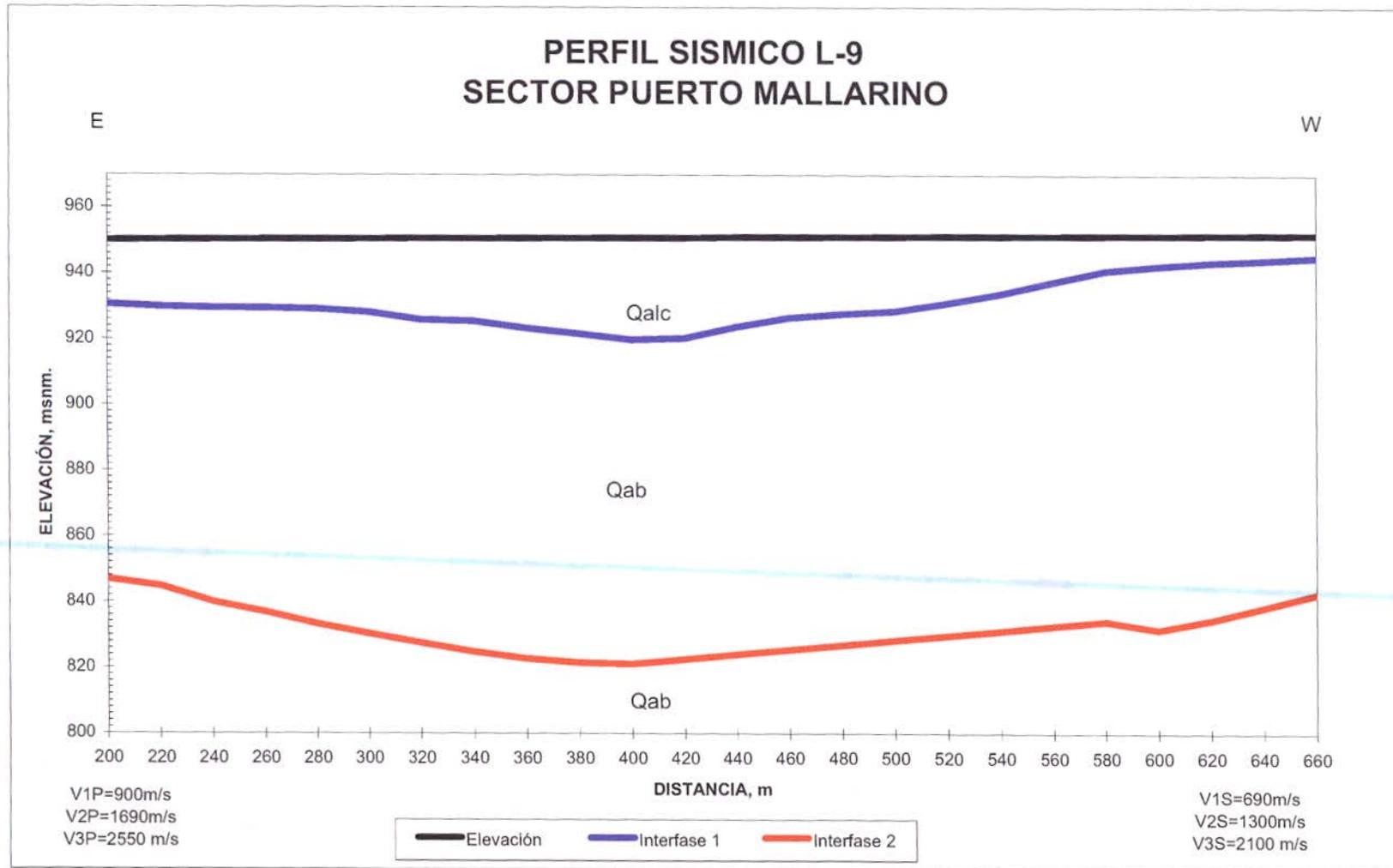
Figura 22. Perfil Sísmico Línea 7

RESULTADOS DEL PROCESO DE REFRACCIÓN SÍSMICA L-8 SECTOR MELENDEZ - CALI										
		PROF. MIN	RPOF. MAX	Vp/Vs	Relación de	Modulo de	Modulo de			
					POISSON	YOUNG	RIGIDEZ			
V1P m/s	1020	10	29	1,26	-0,35	1,544E+09	1,194E+09			
V2P m/s	1775	60	155	1,20	-0,64	2,866E+09	3,987E+09			
V3P m/s	2460	-	-	1,15	-1,00	39249711	8,257E+09			
V1S m/s	810									
V2S m/s	1480									
V3S m/s	2130									
d1 Kg/m ³	1820									
d2 Kg/m ³	1820									
d3 Kg/m ³	1820									
		Profundidad Calculada de Tope, m (Onda P)		Profundidad Calculada de Tope, m (Onda S)		Profundidad Promedio de Tope, m		Profundidad Promedio de Tope, msnm		
SP	Distancia m	Elevación msnm	Interfase 1	Interfase 2	Interfase 1	Interfase 2	Interfase 1	Interfase 2	Interfase 1	Interfase 2
1	0	950,0	25,6	25,6	0,0	0,0	12,80	12,80	937,20	937,20
2	150	950,0	29,1	58,5	5,4	71,9	17,25	65,20	932,75	884,80
3	455	950,0	23,9	152,6	24,2	156,3	24,05	154,45	925,95	795,55
4	760	950,0	15,1	152,0	2,1	69,4	8,60	110,70	941,40	839,30
5	910	950,0	1,9	147,8	0,0	22,0	0,95	84,90	949,05	865,10
Geofono	Distancia	Elevación	Interfase 1	Interfase 2	Interfase 1	Interfase 2	Interfase 1	Interfase 2	Interfase 1	Interfase 2
1	225	950,0	25,1	58,5	8,8	61,0	16,95	59,75	933,05	890,25
2	245	950,0	24,0	58,5	9,7	68,0	16,85	63,25	933,15	886,75
3	265	950,0	22,3	58,5	11,6	99,0	16,95	78,75	933,05	871,25
4	285	950,0	20,1	61,1	15,4	115,1	17,75	88,10	932,25	861,90
5	305	950,0	18,7	64,7	19,1	120,9	18,90	92,80	931,10	857,20
6	325	950,0	19,1	72,4	21,5	126,6	20,30	99,50	929,70	850,50
7	345	950,0	20,4	88,0	22,0	130,9	21,20	109,45	928,80	840,55
8	365	950,0	22,1	103,5	21,2	130,6	21,65	117,05	928,35	832,95
9	385	950,0	22,7	119,1	20,9	136,3	21,80	127,70	928,20	822,30
10	405	950,0	23,0	134,6	21,4	142,0	22,20	138,30	927,80	811,70
11	425	950,0	23,9	150,2	22,3	147,7	23,10	148,95	926,90	801,05
12	445	950,0	22,4	153,3	23,5	153,4	22,95	153,35	927,05	796,65
13	465	950,0	25,3	151,8	25,0	159,1	25,15	155,45	924,85	794,55
14	485	950,0	27,4	150,3	25,3	158,4	26,35	154,35	923,65	795,65
15	505	950,0	29,9	148,7	25,7	152,2	27,80	150,45	922,20	799,55
16	525	950,0	32,2	147,2	26,0	146,0	29,10	146,60	920,90	803,40
17	545	950,0	32,6	147,8	23,7	139,8	28,15	143,80	921,85	806,20
18	565	950,0	29,3	149,7	19,7	133,6	24,50	141,65	925,50	808,35
19	585	950,0	24,1	151,6	16,4	127,7	20,25	139,65	929,75	810,35
20	605	950,0	21,4	149,3	13,8	122,8	17,60	136,05	932,40	813,95
21	625	950,0	19,3	149,3	10,8	116,9	15,05	133,10	934,95	816,90
22	645	950	17,6	149,3	7,1	110	12,35	129,65	937,65	820,35
23	665	950	17	149,3	4,4	100,7	10,7	125	939,3	825
24	685	950	16,6	149,3	3,9	91,3	10,25	120,3	939,75	829,7

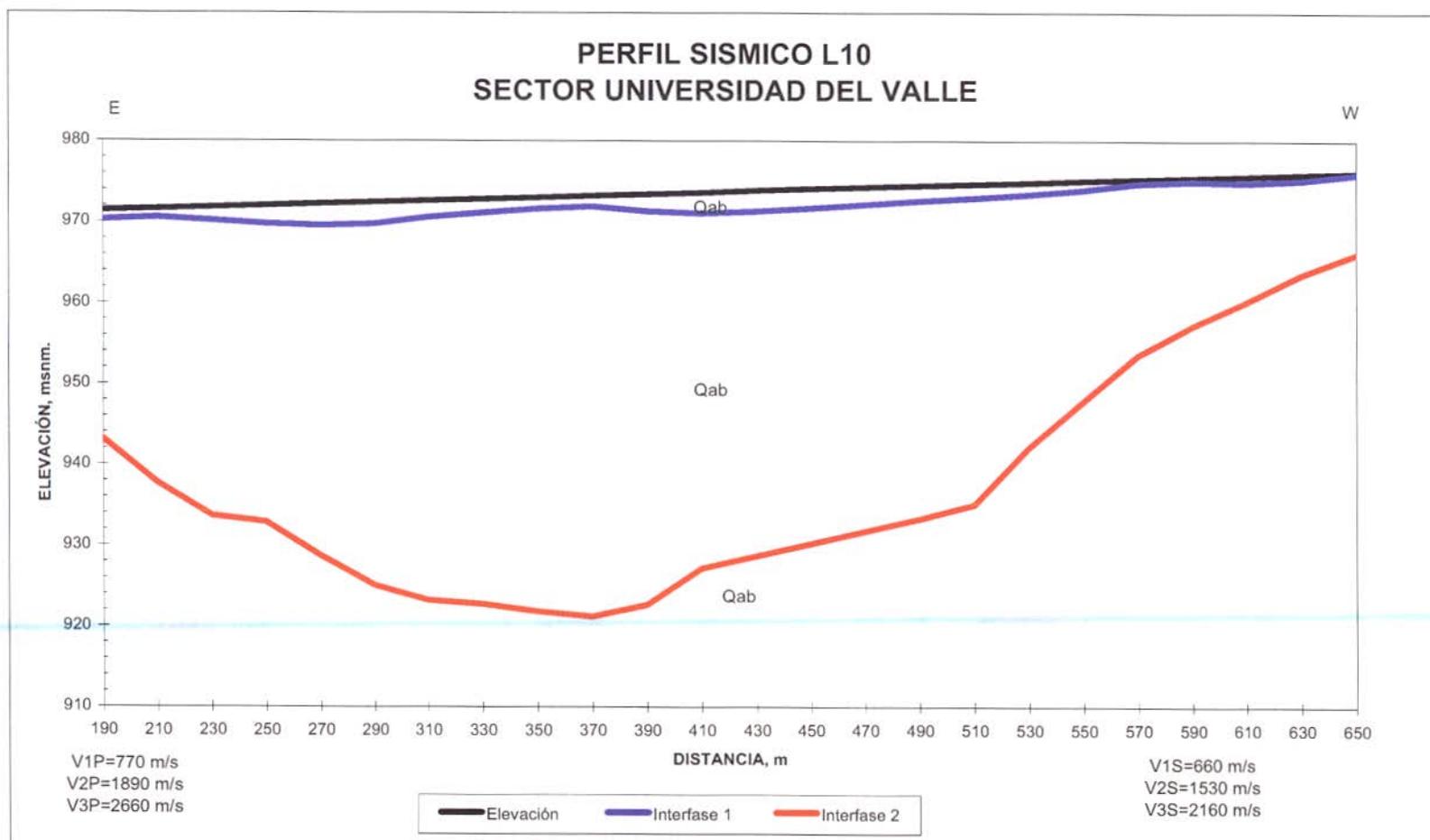
70



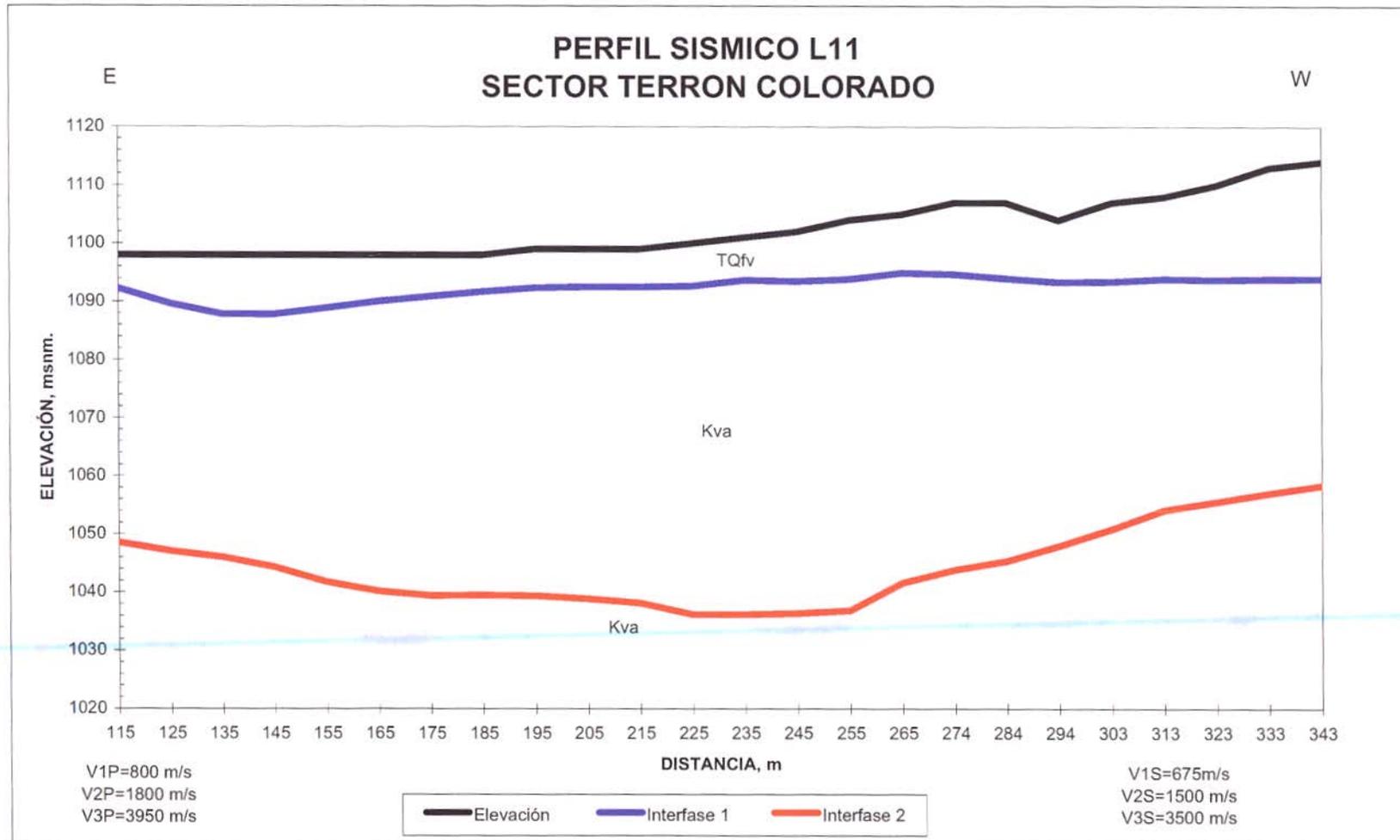
RESULTADOS DEL PROCESO DE REFRACCIÓN SÍSMICA L-9 SECTOR PUERTO MALLARINO										
		PROF. MIN	RPOF. MAX	Vp/Vs	Relación de	Modulo de	Modulo de			
					POISSON	YOUNG	RIGIDEZ			
V1P m/s	900	7	31	1,30	-0,21	1,364E+09	866502000			
V2P m/s	1690	103	130	1,30	-0,22	4,77E+09	3,076E+09			
V3P m/s	2550	-	-	1,21	-0,55	7,163E+09	8,026E+09			
V1S m/s	690									
V2S m/s	1300									
V3S m/s	2100									
d1 Kg/m ³	1820									
d2 Kg/m ³	1820									
d3 Kg/m ³	1820									
			Profundidad Calculada de Tope, m (Onda P)		Profundidad Calculada de Tope, m (Onda S)		Profundidad Promedio de Tope, m		Profundidad Promedio de Tope, msnm	
SP	Distancia m	Elevación msnm	Interfase 1	Interfase 2	Interfase 1	Interfase 2	Interfase 1	Interfase 2	Interfase 1	Interfase 2
1	0	950,0	3,5	94,8	17,6	73,6	10,55	84,20	939,45	865,80
2	130	950,1	16,8	91,3	23,1	175,2	19,95	133,25	930,15	816,85
3	430	951,0	34,8	80,0	3,3	134,6	19,05	107,30	931,95	843,70
4	730	951,9	2,7	77,8	0,0	0,0	1,35	38,90	950,55	913,00
5	860	952,0	0,0	51,6	0,0	0,0	0,00	25,80	952,00	926,20
Geofono	Distancia	Elevación	Interfase 1	Interfase 2	Interfase 1	Interfase 2	Interfase 1	Interfase 2	Interfase 1	Interfase 2
1	200	950,1	19,6	91,3	19,5	115,1	19,55	103,20	930,55	846,90
2	220	950,2	20,5	90,6	20,2	120,3	20,35	105,45	929,85	844,75
3	240	950,3	20,8	89,5	20,8	131,1	20,80	110,30	929,50	840,00
4	260	950,4	20,7	88,4	21,3	138,5	21,00	113,45	929,40	836,95
5	280	950,4	20,7	87,3	21,8	147,0	21,25	117,15	929,15	833,25
6	300	950,5	22,2	86,3	22,4	154,0	22,30	120,15	928,20	830,35
7	320	950,6	26,6	85,4	22,9	160,7	24,75	123,05	925,85	827,55
8	340	950,6	26,9	84,3	23,4	167,3	25,15	125,80	925,45	824,80
9	360	950,7	30,7	83,4	24,0	172,4	27,35	127,90	923,35	822,80
10	380	950,8	33,8	82,4	24,5	176,0	29,15	129,20	921,65	821,60
11	400	950,9	36,9	81,5	25,1	177,9	31,00	129,70	919,90	821,20
12	420	950,9	35,5	80,5	25,6	176,0	30,55	128,25	920,35	822,65
13	440	951,1	34,0	79,6	20,6	174,4	27,30	127,00	923,80	824,10
14	460	951,1	31,5	78,6	17,5	172,5	24,50	125,55	926,60	825,55
15	480	951,2	30,7	77,6	16,2	170,8	23,45	124,20	927,75	827,00
16	500	951,3	30,2	76,7	15,1	169,0	22,65	122,85	928,65	828,45
17	520	951,4	27,2	75,7	13,4	167,3	20,30	121,50	931,10	829,90
18	540	951,4	24,1	74,7	10,8	165,4	17,45	120,05	933,95	831,35
19	560	951,5	21,0	73,8	6,8	163,6	13,90	118,70	937,60	832,80
20	580	951,6	17,9	72,8	3,3	161,9	10,60	117,35	941,00	834,25
21	600	951,6	16,0	79,8	2,4	160,0	9,20	119,90	942,40	831,70
22	620	951,7	14,3	79,2	2,1	154,8	8,2	117	943,5	834,7
23	640	951,8	12,6	78,6	2,5	147,8	7,55	113,2	944,25	838,6
24	660	951,9	10,8	78	2,8	140,6	6,8	109,3	945,1	842,6



RESULTADOS DEL PROCESO DE REFRACCIÓN SÍSMICA L-10 SECTOR UNIVERSIDAD DEL VALLE										
		PROF. MIN	RPOF. MAX	Vp/Vs	Relación de POISSON	Modulo de YOUNG	Modulo de RIGIDEZ			
V1P m/s	770	0,15	2,7	1,17	-0,88	182952000	792792000			
V2P m/s	1890	10	52	1,24	-0,45	4,681E+09	4,26E+09			
V3P m/s	2660	-	-	1,23	-0,47	9,035E+09	8,491E+09			
V1S m/s	660									
V2S m/s	1530									
V3S m/s	2160									
d1 Kg/m ³	1820									
d2 Kg/m ³	1820									
d3 Kg/m ³	1820									
		Profundidad Calculada de Tope, m (Onda P)		Profundidad Calculada de Tope, m (Onda S)		Profundidad Promedio de Tope, m		Profundidad Promedio de Tope, msnm		
SP	Distancia m	Elevación msnm	Interfase 1	Interfase 2	Interfase 1	Interfase 2	Interfase 1	Interfase 2	Interfase 1	Interfase 2
1	0	969,5	0,9	13,4	0,4	0,4	0,65	6,90	968,85	962,60
2	130	970,8	0,7	24,0	1,2	9,7	0,95	16,85	969,85	953,95
3	420	973,8	2,8	41,9	2,4	49,8	2,60	45,85	971,20	927,95
4	710	976,7	0,6	0,6	0,0	0,9	0,30	0,75	976,40	975,95
5	840	978,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,00	0,50	978,00	977,50
Geofono	Distancia	Elevación	Interfase 1	Interfase 2	Interfase 1	Interfase 2	Interfase 1	Interfase 2	Interfase 1	Interfase 2
1	190	971,4	0,7	36,0	1,6	20,5	1,15	28,25	970,25	943,15
2	210	971,6	1,4	42,0	0,7	25,8	1,05	33,90	970,55	937,70
3	230	971,8	2,8	44,3	0,5	32,0	1,65	38,15	970,15	933,65
4	250	972,0	4,2	39,1	0,3	39,2	2,25	39,15	969,75	932,85
5	270	972,2	5,2	41,7	0,2	45,4	2,70	43,55	969,50	928,65
6	290	972,4	5,3	44,5	0,1	50,3	2,70	47,40	969,70	925,00
7	310	972,6	4,1	45,5	0,0	53,3	2,05	49,40	970,55	923,20
8	330	972,8	2,9	45,6	0,5	54,6	1,70	50,10	971,10	922,70
9	350	973,0	1,7	48,9	1,1	53,5	1,40	51,20	971,60	921,80
10	370	973,2	1,0	51,6	1,6	52,4	1,30	52,00	971,90	921,20
11	390	973,4	2,0	50,2	2,2	51,3	2,10	50,75	971,30	922,65
12	410	973,6	2,6	42,6	2,5	50,3	2,55	46,45	971,05	927,15
13	430	973,9	2,9	41,1	2,3	49,3	2,60	45,20	971,30	928,70
14	450	974,1	2,9	39,6	1,9	48,2	2,40	43,90	971,70	930,20
15	470	974,3	2,8	38,0	1,5	47,1	2,15	42,55	972,15	931,75
16	490	974,5	2,7	36,4	1,1	46,0	1,90	41,20	972,60	933,30
17	510	974,7	2,6	34,6	0,8	44,7	1,70	39,65	973,00	935,05
18	530	974,9	2,5	27,1	0,4	38,4	1,45	32,75	973,45	942,15
19	550	975,1	2,2	24,5	0,0	30,0	1,10	27,25	974,00	947,85
20	570	975,3	0,9	21,8	0,1	21,7	0,50	21,75	974,80	953,55
21	590	975,5	0,6	20,0	0,3	16,6	0,45	18,30	975,05	957,20
22	610	975,7	1,2	17,9	0,4	13,1	0,8	15,5	974,9	960,2
23	630	975,9	0,9	15,1	0,5	9,6	0,7	12,35	975,2	963,55
24	650	976,1	0	12,2	0,3	7,8	0,15	10	975,95	966,1

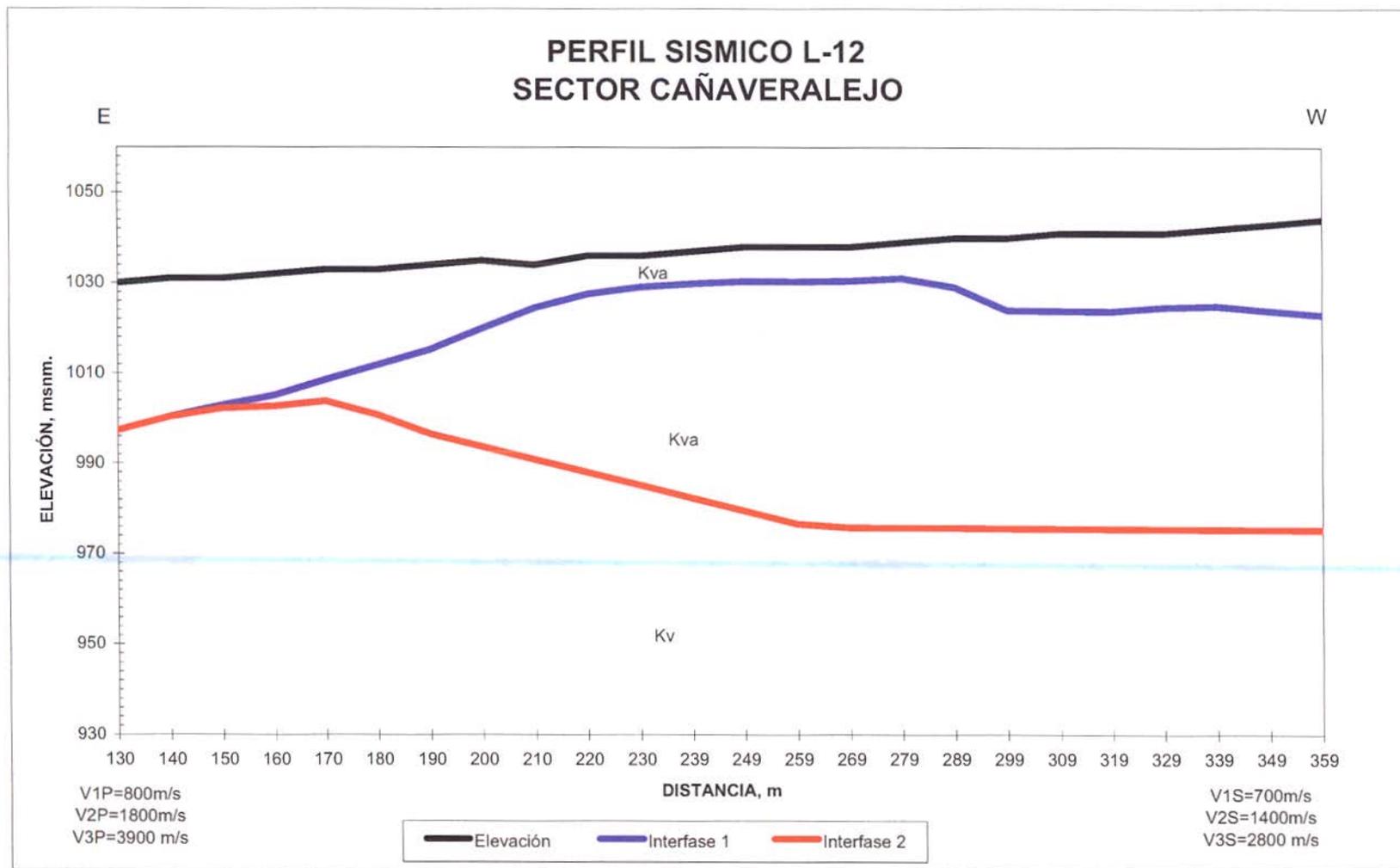


RESULTADOS DEL PROCESO DE REFRACCIÓN SÍSMICA L-11 SECTOR TERRON COLORADO										
		PROF. MIN	RPOF. MAX	Vp/Vs	Relación de	Modulo de	Modulo de			
					POISSON	YOUNG	RIGIDEZ			
V1P m/s	800	5,75	20,05	1,19	-0,74	554163559	1,048E+09			
V2P m/s	1800	49,45	67,1	1,20	-0,64	4,582E+09	6,3E+09			
V3P m/s	3950	-	-	1,13	-1,33	-2,24E+10	3,43E+10			
V1S m/s	675									
V2S m/s	1500									
V3S m/s	3500									
d1 Kg/m ³	2300									
d2 Kg/m ³	2800									
d3 Kg/m ³	2800									
		Profundidad Calculada de Tope, m (Onda P)		Profundidad Calculada de Tope, m (Onda S)		Profundidad Promedio de Tope, m		Profundidad Promedio de Tope, msnm		
SP	Distancia m	Elevación msnm	Interfase 1	Interfase 2	Interfase 1	Interfase 2	Interfase 1	Interfase 2	Interfase 1	Interfase 2
1	0	1099,0	10,2	20,2	10,8	48,6	10,50	34,40	1088,50	1064,60
2	75	1098,5	0,0	41,9	2,6	46,6	1,30	44,25	1097,20	1054,25
3	229,9	1101,0	9,7	65,2	5,9	64,4	7,80	64,80	1093,20	1036,20
4	381,9	1122,0	30,7	62,0	24,9	57,6	27,80	59,80	1094,20	1062,20
5	455,7	1135,0	43,4	79,4	38,9	38,9	41,15	59,15	1093,85	1075,85
Geofono	Distancia	Elevación	Interfase 1	Interfase 2	Interfase 1	Interfase 2	Interfase 1	Interfase 2	Interfase 1	Interfase 2
1	115	1098,0	6,2	47,2	5,3	51,7	5,75	49,45	1092,25	1048,55
2	125	1098,0	10,6	48,7	6,1	53,2	8,35	50,95	1089,65	1047,05
3	135	1098,0	13,7	50,2	6,6	53,7	10,15	51,95	1087,85	1046,05
4	145	1098,0	14,5	51,2	5,9	56,1	10,20	53,65	1087,80	1044,35
5	155	1098,0	14,0	53,6	4,3	58,8	9,15	56,20	1088,85	1041,80
6	165	1098,0	13,0	55,8	2,9	59,8	7,95	57,80	1090,05	1040,20
7	175	1098,0	11,9	57,0	2,3	60,1	7,10	58,55	1090,90	1039,45
8	185	1098,0	10,9	57,4	1,7	59,6	6,30	58,50	1091,70	1039,50
9	194,9	1099,0	11,0	58,3	2,3	60,9	6,65	59,60	1092,35	1039,40
10	204,9	1099,0	10,1	59,0	2,8	61,2	6,45	60,10	1092,55	1038,90
11	214,9	1099,0	9,1	59,9	3,8	61,7	6,45	60,80	1092,55	1038,20
12	224,9	1100,0	9,2	63,9	5,5	63,7	7,35	63,80	1092,65	1036,20
13	234,8	1101,0	9,2	65,5	5,4	64,1	7,30	64,80	1093,70	1036,20
14	244,8	1102,0	11,1	67,0	5,9	64,2	8,50	65,60	1093,50	1036,40
15	254,6	1104,0	14,1	68,9	6,2	65,3	10,15	67,10	1093,85	1036,90
16	264,5	1105,0	14,3	61,3	5,8	65,4	10,05	63,35	1094,95	1041,65
17	274,3	1107,0	16,6	59,7	8,0	66,5	12,30	63,10	1094,70	1043,90
18	284,3	1107,0	17,2	56,7	8,8	66,5	13,00	61,60	1094,00	1045,40
19	293,9	1104,0	14,7	51,6	6,5	60,4	10,60	56,00	1093,40	1048,00
20	303,4	1107,0	16,9	52,3	10,2	59,9	13,55	56,10	1093,45	1050,90
21	313,4	1108,0	16,7	51,8	11,5	55,9	14,10	53,85	1093,90	1054,15
22	323,2	1110	18,7	55,7	13,7	53,1	16,2	54,4	1093,8	1055,6
23	332,7	1113	21,7	58,7	16,5	53,2	19,1	55,95	1093,9	1057,05
24	342,7	1114	22,7	59,7	17,4	51,5	20,05	55,6	1093,95	1058,4



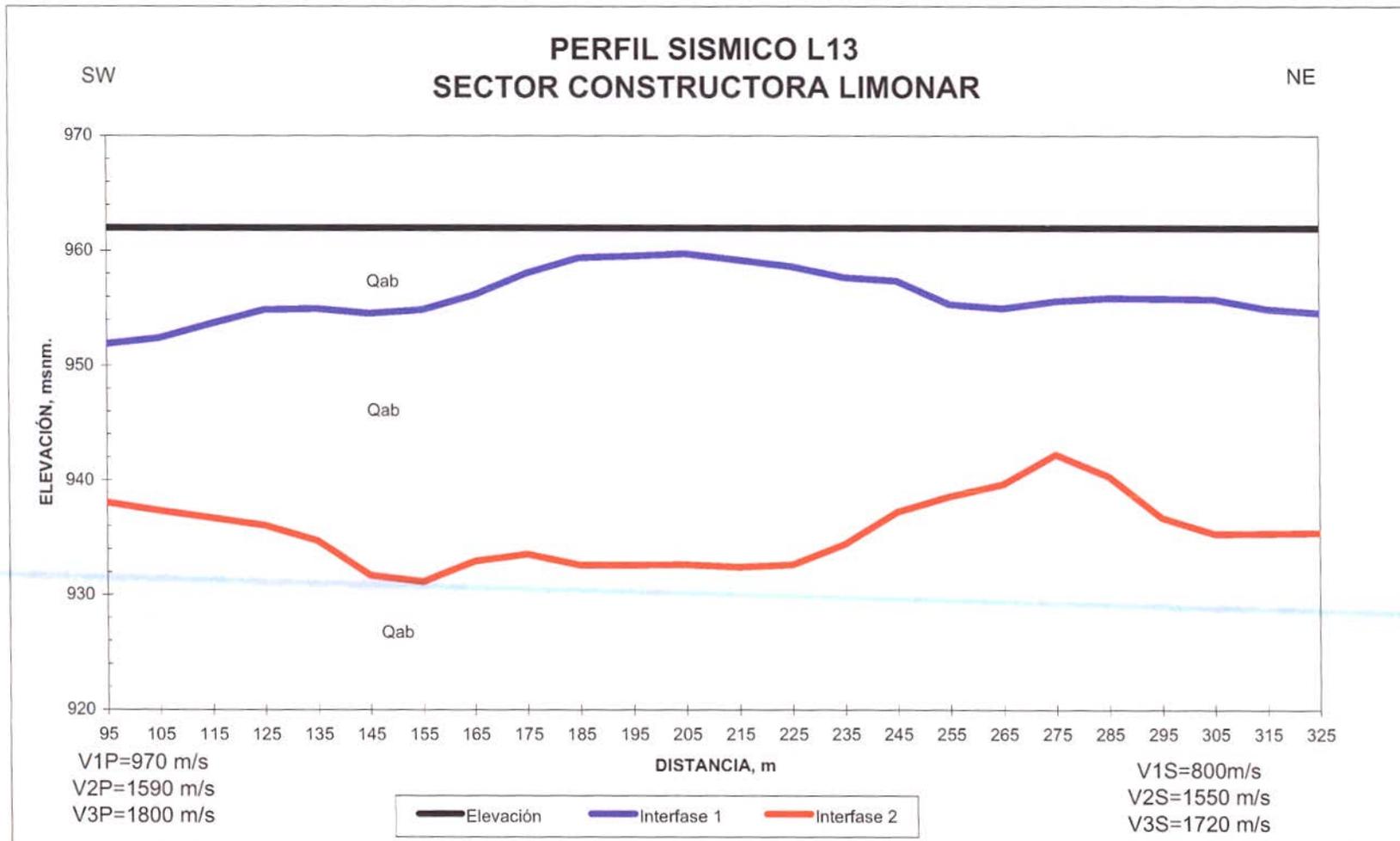
RESULTADOS DEL PROCESO DE REFRACCIÓN SÍSMICA L-12 SECTOR CAÑAVERALEJO										
		PROF. MIN	RPOF. MAX	Vp/Vs	Relación de	Modulo de	Modulo de			
					POISSON	YOUNG	RIGIDEZ			
V1P m/s	800	7	33	1,14	-1,13	-3,66E+08	1,372E+09			
V2P m/s	1800	29	69	1,29	-0,27	8,061E+09	5,488E+09			
V3P m/s	3900	-	-	1,39	-0,03	4,25E+10	2,195E+10			
V1S m/s	700									
V2S m/s	1400									
V3S m/s	2800									
d1 Kg/m ³	2800									
d2 Kg/m ³	2800									
d3 Kg/m ³	2800									
		Profundidad Calculada de Tope, m (Onda P)		Profundidad Calculada de Tope, m (Onda S)		Profundidad Promedio de Tope, m		Profundidad Promedio de Tope, msnm		
SP	Distancia m	Elevación msnm	Interfase 1	Interfase 2	Interfase 1	Interfase 2	Interfase 1	Interfase 2	Interfase 1	Interfase 2
1	0,1	1030,0	69,1	69,1	80,3	80,3	74,70	74,70	955,30	955,30
2	60	1032,0	49,9	53,7	60,8	60,8	55,35	57,25	976,65	974,75
3	244,4	1037,0	10,3	55,8	3,5	56,3	6,90	56,05	1030,10	980,95
4	415,3	1065,0	39,9	102,0	55,6	61,5	47,75	81,75	1017,25	983,25
5	485,1	1070,0	41,9	120,0	72,3	79,0	57,10	99,50	1012,90	970,50
Geofono	Distancia	Elevación	Interfase 1	Interfase 2	Interfase 1	Interfase 2	Interfase 1	Interfase 2	Interfase 1	Interfase 2
1	130	1030,0	31,6	31,6	33,7	33,7	32,65	32,65	997,35	997,35
2	139,9	1031,0	30,2	30,2	31,1	31,1	30,65	30,65	1000,35	1000,35
3	149,9	1031,0	28,8	30,2	27,4	27,4	28,10	28,80	1002,90	1002,20
4	159,9	1032,0	27,1	32,0	26,7	26,7	26,90	29,35	1005,10	1002,65
5	169,8	1033,0	25,4	34,9	23,4	23,4	24,40	29,15	1008,60	1003,85
6	179,8	1033,0	21,9	38,8	20,4	25,7	21,15	32,25	1011,85	1000,75
7	189,8	1034,0	19,3	44,0	18,2	30,8	18,75	37,40	1015,25	996,60
8	199,7	1035,0	14,1	46,6	15,9	35,9	15,00	41,25	1020,00	993,75
9	209,7	1034,0	10,4	47,2	8,5	39,0	9,45	43,10	1024,55	990,90
10	219,5	1036,0	11,3	50,8	5,6	45,0	8,45	47,90	1027,55	988,10
11	229,5	1036,0	10,4	52,4	3,4	49,1	6,90	50,75	1029,10	985,25
12	239,4	1037,0	10,7	55,0	3,6	54,2	7,15	54,60	1029,85	982,40
13	249,4	1038,0	10,9	57,6	4,3	59,3	7,60	58,45	1030,40	979,55
14	259,4	1038,0	11,2	59,2	4,1	63,4	7,65	61,30	1030,35	976,70
15	269,4	1038,0	11,5	60,8	3,5	63,4	7,50	62,10	1030,50	975,90
16	279,3	1039,0	12,7	63,4	3,1	62,9	7,90	63,15	1031,10	975,85
17	289,3	1040,0	14,8	66,0	7,0	62,4	10,90	64,20	1029,10	975,80
18	299,3	1040,0	19,5	67,6	12,5	61,0	16,00	64,30	1024,00	975,70
19	309,2	1041,0	18,3	70,2	15,9	60,5	17,10	65,35	1023,90	975,65
20	319,2	1041,0	16,1	71,8	18,4	59,0	17,25	65,40	1023,75	975,60
21	329,2	1041,0	13,9	73,4	18,8	57,5	16,35	65,45	1024,65	975,55
22	339,2	1042	13,9	76	20,2	57	17,05	66,5	1024,95	975,5
23	349,1	1043	15,5	78,6	22,7	56,5	19,1	67,55	1023,9	975,45
24	359,1	1044	16,8	81,2	25,2	56,1	21	68,65	1023	975,35

178



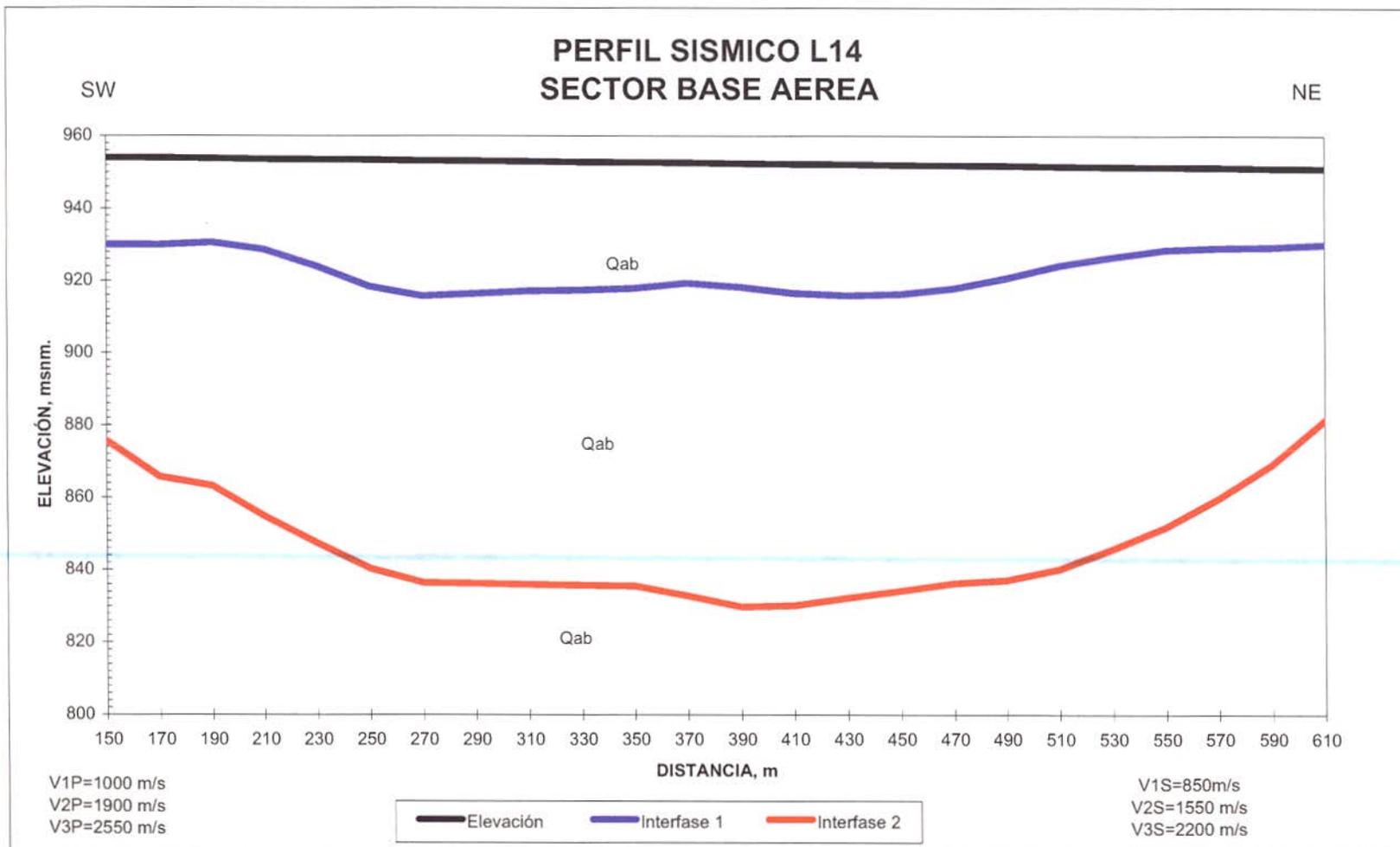
RESULTADOS DEL PROCESO DE REFRACCIÓN SÍSMICA L-13 SECTOR CONSTRUCTORA LIMONAR										
		PROF. MIN	RPOF. MAX	Vp/Vs	Relación de POISSON	Modulo de YOUNG	Modulo de RIGIDEZ			
V1P m/s	970	2	10	1,21	-0,56	1,017E+09	1,165E+09			
V2P m/s	1590	20	31	1,03	-9,06	-7,05E+10	4,373E+09			
V3P m/s	1800	-	-	1,05	-4,75	-4,04E+10	5,384E+09			
V1S m/s	800									
V2S m/s	1550									
V3S m/s	1720									
d1 Kg/m ³	1820									
d2 Kg/m ³	1820									
d3 Kg/m ³	1820									
			Profundidad Calculada de Tope, m (Onda P)		Profundidad Calculada de Tope, m (Onda S)		Profundidad Promedio de Tope, m		Profundidad Promedio de Tope, msnm	
SP	Distancia m	Elevación msnm	Interfase 1	Interfase 2	Interfase 1	Interfase 2	Interfase 1	Interfase 2	Interfase 1	Interfase 2
1	0	962,0	16,9	20,4	17,4	17,4	17,15	18,90	944,85	943,10
2	50	962,0	11,4	29,5	12,7	13,4	12,05	21,45	949,95	940,55
3	210	962,0	3,3	31,8	1,7	26,1	2,50	28,95	959,50	933,05
4	370	962,0	9,8	20,5	8,3	8,3	9,05	14,40	952,95	947,60
5	420	962,0	11,4	40,9	10,4	10,4	10,90	25,65	951,10	936,35
Geofono	Distancia	Elevación	Interfase 1	Interfase 2	Interfase 1	Interfase 2	Interfase 1	Interfase 2	Interfase 1	Interfase 2
1	95	962,0	10,4	29,3	9,8	18,6	10,10	23,95	951,90	938,05
2	105	962,0	10,1	29,1	9,1	20,2	9,60	24,65	952,40	937,35
3	115	962,0	8,7	28,9	8,0	21,7	8,35	25,30	953,65	936,70
4	125	962,0	7,3	28,7	7,0	23,2	7,15	25,95	954,85	936,05
5	135	962,0	7,5	29,2	6,6	25,4	7,05	27,30	954,95	934,70
6	145	962,0	8,7	30,7	6,2	29,9	7,45	30,30	954,55	931,70
7	155	962,0	8,8	31,1	5,5	30,6	7,15	30,85	954,85	931,15
8	165	962,0	7,2	31,1	4,5	27,0	5,85	29,05	956,15	932,95
9	175	962,0	4,8	31,6	3,1	25,3	3,95	28,45	958,05	933,55
10	185	962,0	3,1	33,1	2,1	25,7	2,60	29,40	959,40	932,60
11	195	962,0	3,1	33,1	1,8	25,7	2,45	29,40	959,55	932,60
12	205	962,0	3,2	32,2	1,3	26,5	2,25	29,35	959,75	932,65
13	215	962,0	3,4	31,4	2,2	27,7	2,80	29,55	959,20	932,45
14	225	962,0	4,4	30,5	2,3	28,2	3,35	29,35	958,65	932,65
15	235	962,0	5,8	29,2	2,8	25,9	4,30	27,55	957,70	934,45
16	245	962,0	7,7	27,3	1,5	22,2	4,60	24,75	957,40	937,25
17	255	962,0	9,0	26,8	4,3	20,0	6,65	23,40	955,35	938,60
18	265	962,0	8,9	25,4	5,1	19,3	7,00	22,35	955,00	939,65
19	275	962,0	7,6	21,9	5,2	17,6	6,40	19,75	955,60	942,25
20	285	962,0	6,6	23,4	5,6	19,9	6,10	21,65	955,90	940,35
21	295	962,0	6,9	23,4	5,4	27,1	6,15	25,25	955,85	936,75
22	305	962	7,5	23,4	4,9	29,9	6,2	26,65	955,8	935,35
23	315	962	8,1	23,4	6	29,8	7,05	26,6	954,95	935,4
24	325	962	8,4	23,4	6,4	29,7	7,4	26,55	954,6	935,45

180

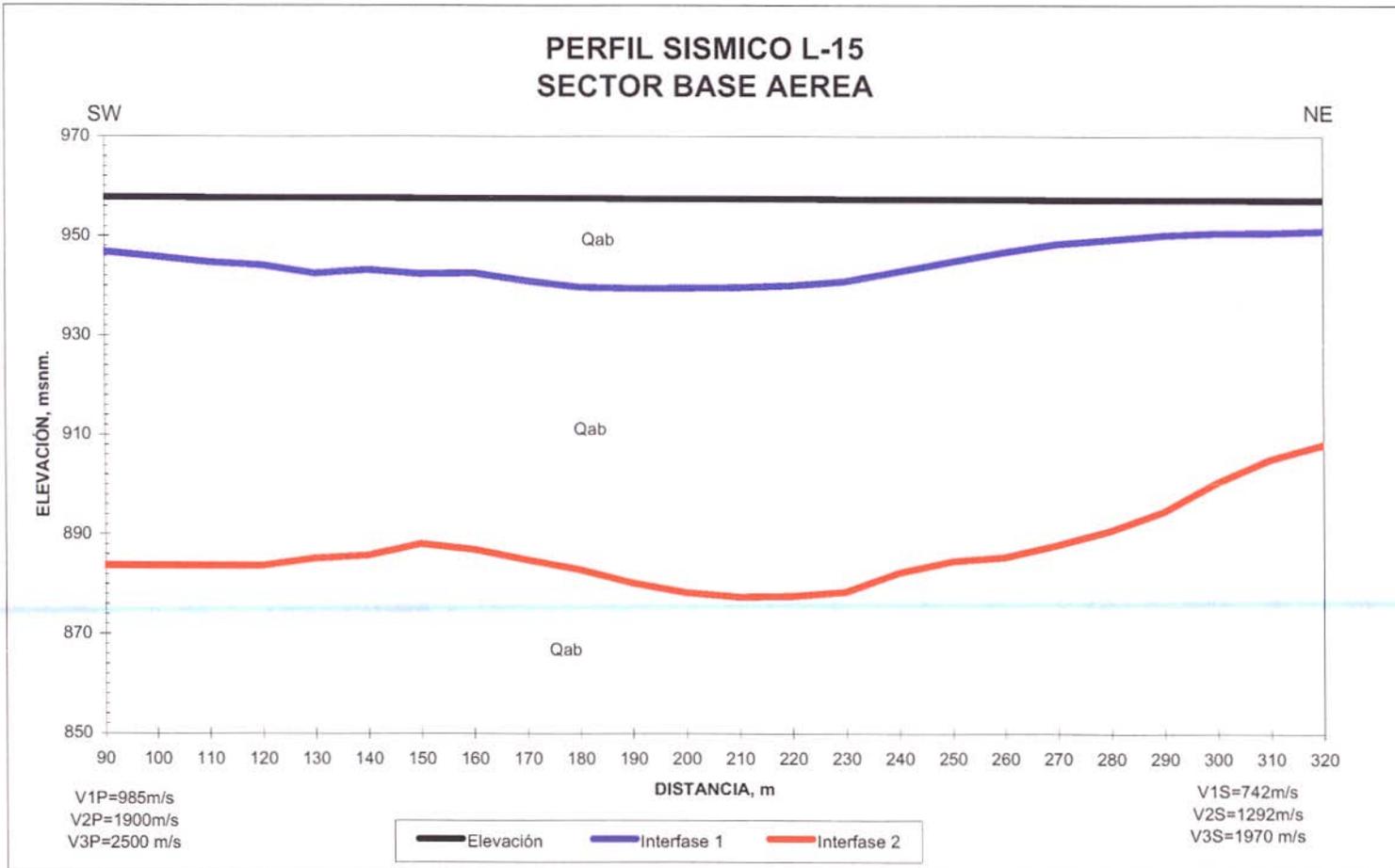


RESULTADOS DEL PROCESO DE REFRACCIÓN SÍSMICA L14 SECTOR BASE AEREA										
		PROF. MIN	RPOF. MAX	Vp/Vs	Relación de	Modulo de	Modulo de			
					POISSON	YOUNG	RIGIDEZ			
V1P m/s	1000	21	37	1,18	-0,80	521241441	1,315E+09			
V2P m/s	1900	70	123	1,23	-0,49	4,418E+09	4,373E+09			
V3P m/s	2550	-	-	1,16	-0,96	781532632	8,809E+09			
V1S m/s	850									
V2S m/s	1550									
V3S m/s	2200									
d1 Kg/m ³	1820									
d2 Kg/m ³	1820									
d3 Kg/m ³	1820									
			Profundidad Calculada de Tope, m (Onda P)		Profundidad Calculada de Tope, m (Onda S)		Profundidad Promedio de Tope, m		Profundidad Promedio de Tope, msnm	
SP	Distancia m	Elevación msnm	Interfase 1	Interfase 2	Interfase 1	Interfase 2	Interfase 1	Interfase 2	Interfase 1	Interfase 2
1	0	955,0	15,5	41,9	15,1	43,8	15,30	42,85	939,70	912,15
2	100	954,3	20,9	40,0	27,3	69,0	24,10	54,50	930,20	899,80
3	380	952,5	29,6	109,0	37,7	133,3	33,65	121,15	918,85	831,35
4	660	950,7	16,2	36,3	21,4	58,3	18,80	47,30	931,90	903,40
5	760	950,0	4,5	4,6	13,3	46,8	8,90	25,70	941,10	924,30
Geofono	Distancia	Elevación	Interfase 1	Interfase 2	Interfase 1	Interfase 2	Interfase 1	Interfase 2	Interfase 1	Interfase 2
1	150	954,0	23,0	75,0	25,0	81,7	24,00	78,35	930,00	875,65
2	170	953,9	23,8	83,0	24,1	93,4	23,95	88,20	929,95	865,70
3	190	953,8	24,5	91,1	21,9	90,0	23,20	90,55	930,60	863,25
4	210	953,6	25,2	98,8	24,8	98,6	25,00	98,70	928,60	854,90
5	230	953,5	27,9	105,8	31,1	106,3	29,50	106,05	924,00	847,45
6	250	953,4	32,0	112,8	38,0	113,2	35,00	113,00	918,40	840,40
7	270	953,2	36,0	116,1	38,8	117,3	37,40	116,70	915,80	836,50
8	290	953,1	35,9	114,8	37,4	118,8	36,65	116,80	916,45	836,30
9	310	953,0	36,3	113,6	35,3	120,4	35,80	117,00	917,20	836,00
10	330	952,8	34,7	112,2	36,0	121,8	35,35	117,00	917,45	835,80
11	350	952,7	31,8	110,9	37,8	123,3	34,80	117,10	917,90	835,60
12	370	952,6	28,4	109,7	38,1	129,7	33,25	119,70	919,35	832,90
13	390	952,4	30,9	108,3	37,3	136,8	34,10	122,55	918,30	829,85
14	410	952,3	33,5	107,1	37,8	137,1	35,65	122,10	916,65	830,20
15	430	952,2	35,0	105,8	37,4	134,0	36,20	119,90	916,00	832,30
16	450	952,0	34,9	104,5	36,5	130,9	35,70	117,70	916,30	834,30
17	470	951,9	32,0	103,2	35,9	127,8	33,95	115,50	917,95	836,40
18	490	951,8	29,6	104,4	32,5	124,7	31,05	114,55	920,75	837,25
19	510	951,6	26,1	101,1	28,7	121,6	27,40	111,35	924,20	840,25
20	530	951,5	21,7	92,8	28,3	118,5	25,00	105,65	926,50	845,85
21	550	951,4	19,5	84,5	26,2	114,5	22,85	99,50	928,55	851,90
22	570	951,3	18,7	76,3	25,7	106,5	22,2	91,4	929,1	859,9
23	590	951,1	18,2	67,9	25,3	95,9	21,75	81,9	929,35	869,2
24	610	951	17,6	59,6	24,2	79,5	20,9	69,55	930,1	881,45

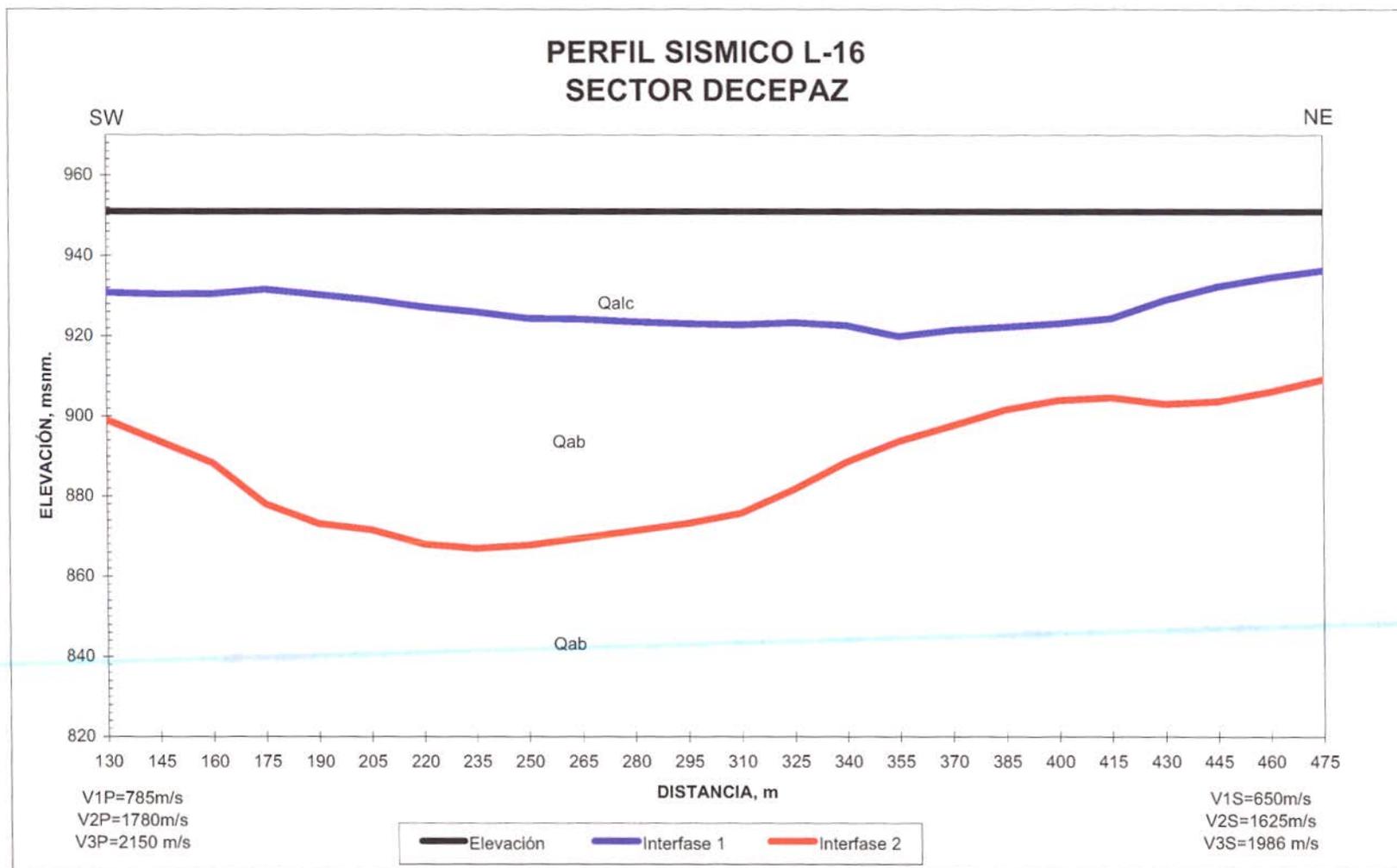
132



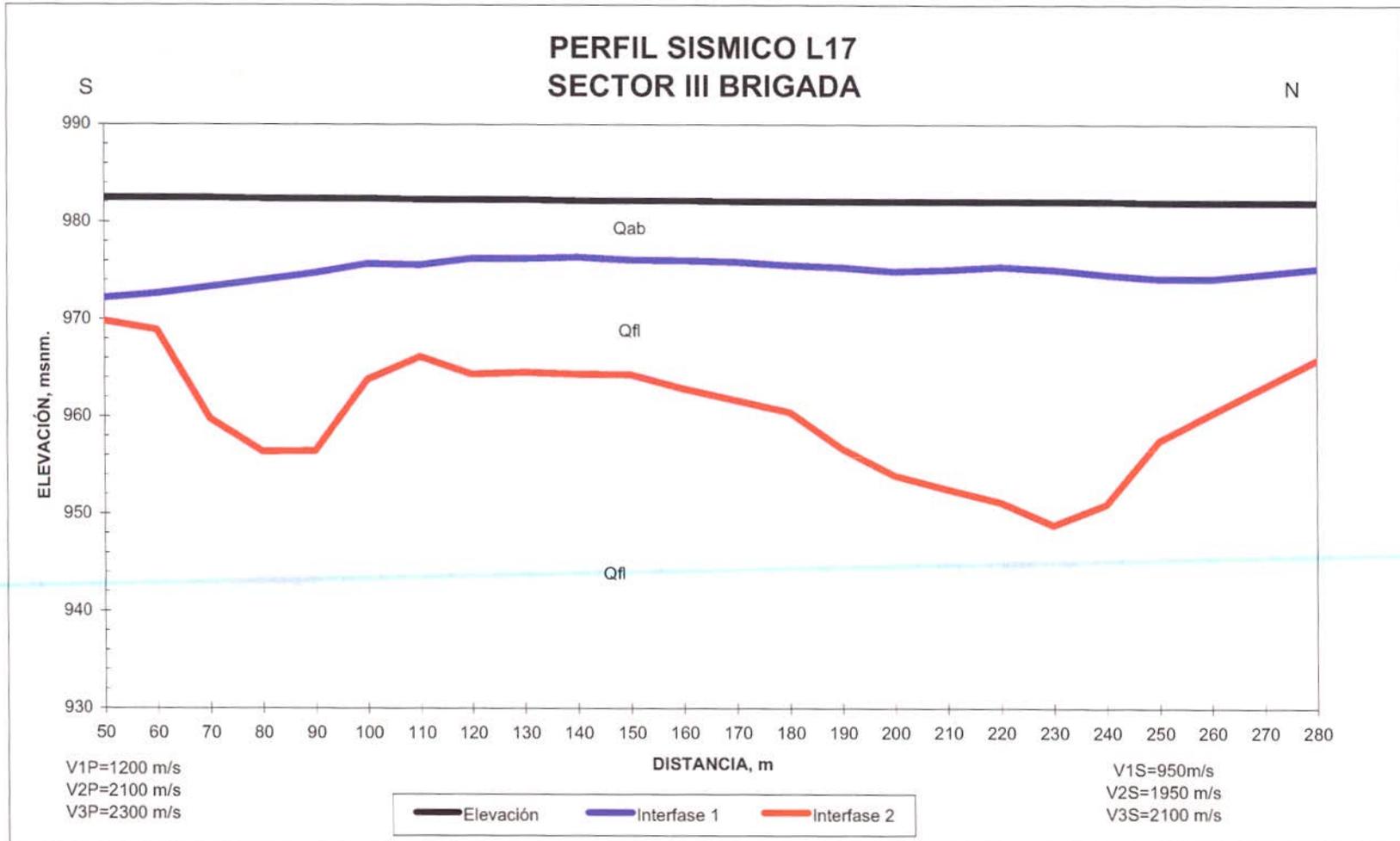
RESULTADOS DEL PROCESO DE REFRACCIÓN SÍSMICA L-15 SECTOR BASE AEREA										
		PROF. MIN	RPOF. MAX	Vp/Vs	Relación de POISSON	Modulo de YOUNG	Modulo de RIGIDEZ			
V1P m/s	985	6	18	1,33	-0,16	1,691E+09	1,002E+09			
V2P m/s	1900	49	80	1,47	0,07	6,501E+09	3,038E+09			
V3P m/s	2500	-	-	1,27	-0,32	9,619E+09	7,063E+09			
V1S m/s	742									
V2S m/s	1292									
V3S m/s	1970									
d1 Kg/m ³	1820									
d2 Kg/m ³	1820									
d3 Kg/m ³	1820									
		Profundidad Calculada de Tope, m (Onda P)		Profundidad Calculada de Tope, m (Onda S)		Profundidad Promedio de Tope, m		Profundidad Promedio de Tope, msnm		
SP	Distancia m	Elevación msnm	Interfase 1	Interfase 2	Interfase 1	Interfase 2	Interfase 1	Interfase 2	Interfase 1	Interfase 2
1	0	958,0	9,7	76,3	0,9	72,2	5,30	74,25	952,70	883,75
2	60	957,9	7,7	68,7	8,2	80,7	7,95	74,70	949,95	883,20
3	205	957,5	18,5	76,6	17,2	82,5	17,85	79,55	939,65	877,95
4	350	957,1	6,7	51,3	3,8	43,9	5,25	47,60	951,85	909,50
5	410	957,0	1,2	23,2	0,0	28,1	0,60	25,65	956,40	931,35
Geofono	Distancia	Elevación	Interfase 1	Interfase 2	Interfase 1	Interfase 2	Interfase 1	Interfase 2	Interfase 1	Interfase 2
1	90	957,8	13,1	68,6	8,8	79,5	10,95	74,05	946,85	883,75
2	100	957,8	14,9	68,6	9,0	79,5	11,95	74,05	945,85	883,75
3	110	957,7	16,8	68,5	9,1	79,4	12,95	73,95	944,75	883,75
4	120	957,7	16,1	68,5	11,0	79,4	13,55	73,95	944,15	883,75
5	130	957,7	15,5	65,6	14,9	79,4	15,20	72,50	942,50	885,20
6	140	957,7	14,2	61,8	14,7	82,0	14,45	71,90	943,25	885,80
7	150	957,6	15,8	57,9	14,5	81,0	15,15	69,45	942,45	888,15
8	160	957,6	15,8	61,3	14,2	79,9	15,00	70,60	942,60	887,00
9	170	957,6	17,0	66,6	16,2	78,8	16,60	72,70	941,00	884,90
10	180	957,6	17,6	70,0	18,1	79,3	17,85	74,65	939,75	882,95
11	190	957,5	18,4	73,4	17,5	81,0	17,95	77,20	939,55	880,30
12	200	957,5	18,5	76,2	17,3	82,0	17,90	79,10	939,60	878,40
13	210	957,5	18,6	77,0	17,0	83,0	17,80	80,00	939,70	877,50
14	220	957,5	18,0	77,1	16,8	82,6	17,40	79,85	940,10	877,65
15	230	957,4	15,4	78,5	17,6	79,3	16,50	78,90	940,90	878,50
16	240	957,4	11,3	74,8	17,7	75,3	14,50	75,05	942,90	882,35
17	250	957,4	9,7	73,9	15,3	71,6	12,50	72,75	944,90	884,65
18	260	957,4	10,2	73,1	11,0	70,7	10,60	71,90	946,80	885,50
19	270	957,3	10,6	72,2	7,1	66,5	8,85	69,35	948,45	887,95
20	280	957,3	10,6	70,4	5,4	62,5	8,00	66,45	949,30	890,85
21	290	957,3	10,1	66,7	4,1	58,5	7,10	62,60	950,20	894,70
22	300	957,3	9,5	59,1	3,8	54,4	6,65	56,75	950,65	900,55
23	310	957,2	9	53,6	4	50,4	6,5	52	950,7	905,2
24	320	957,2	8,4	51,4	3,9	46,7	6,15	49,05	951,05	908,15



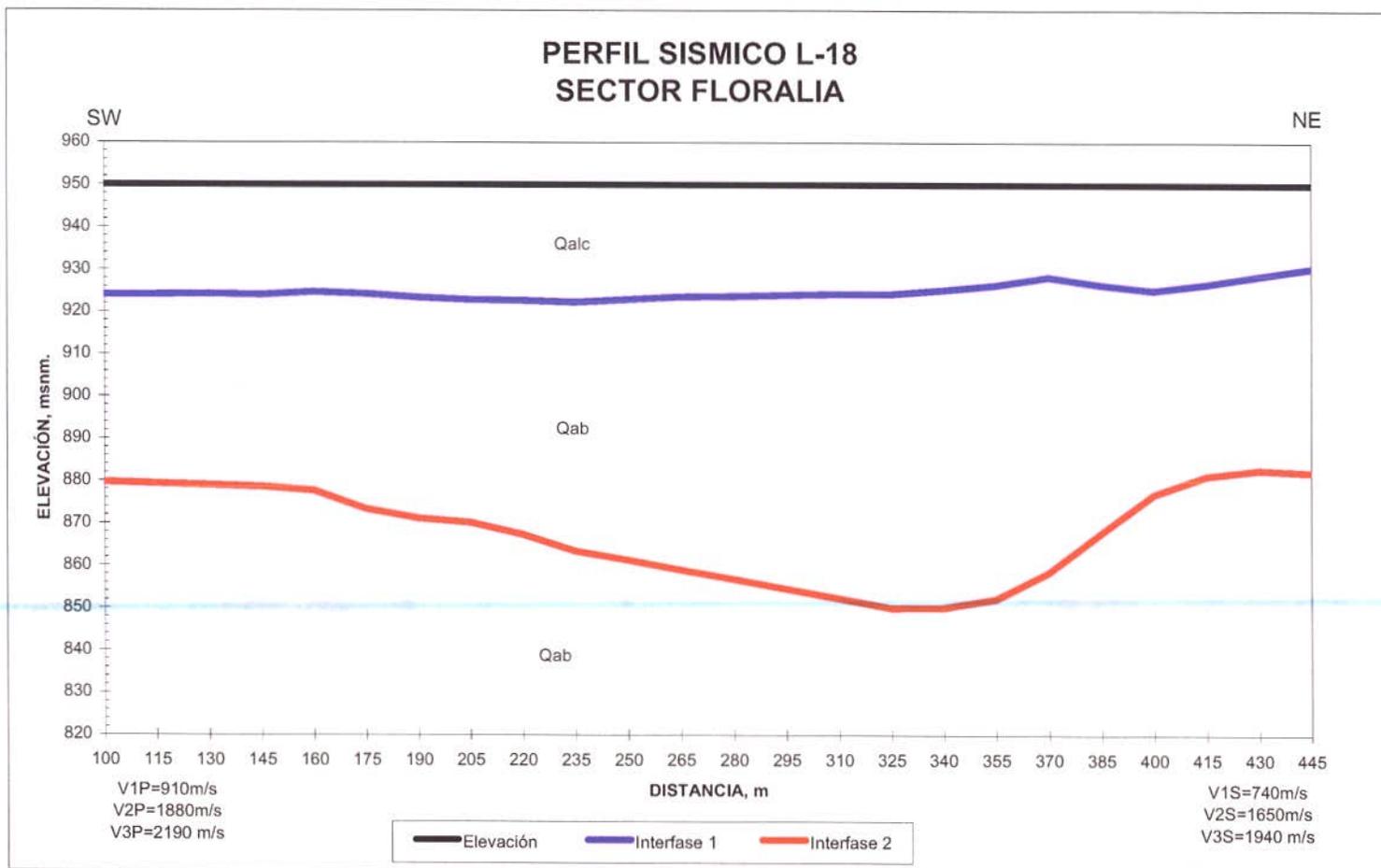
RESULTADOS DEL PROCESO DE REFRACCIÓN SÍSMICA L-16 SECTOR DECEPAZ										
		PROF. MIN	RPOF. MAX	Vp/Vs	Relación de	Modulo de	Modulo de			
					POISSON	YOUNG	RIGIDEZ			
V1P m/s	785	15	31	1,21	-0,59	629826513	768950000			
V2P m/s	1780	42	84	1,10	-2,00	-9,63E+09	4,806E+09			
V3P m/s	2150	-	-	1,08	-2,41	-2,02E+10	7,178E+09			
V1S m/s	650									
V2S m/s	1625									
V3S m/s	1986									
d1 Kg/m ³	1820									
d2 Kg/m ³	1820									
d3 Kg/m ³	1820									
			Profundidad Calculada de Tope, m (Onda P)		Profundidad Calculada de Tope, m (Onda S)		Profundidad Promedio de Tope, m		Profundidad Promedio de Tope, msnm	
SP	Distancia m	Elevación msnm	Interfase 1	Interfase 2	Interfase 1	Interfase 2	Interfase 1	Interfase 2	Interfase 1	Interfase 2
1	0	951,0	12,3	74,5	14,0	103,1	13,15	88,80	937,85	862,20
2	85	951,0	20,9	48,5	17,0	51,9	18,95	50,20	932,05	900,80
3	302,5	951,0	29,3	70,3	26,8	82,7	28,05	76,50	922,95	874,50
4	520	951,0	17,1	31,3	1,7	25,5	9,40	28,40	941,60	922,60
5	605	951,0	9,0	41,7	0,0	0,0	4,50	20,85	946,50	930,15
Geofono	Distancia	Elevación	Interfase 1	Interfase 2	Interfase 1	Interfase 2	Interfase 1	Interfase 2	Interfase 1	Interfase 2
1	130	951,0	20,8	49,7	19,6	54,2	20,20	51,95	930,80	899,05
2	145	951,0	20,7	53,2	20,5	61,5	20,60	57,35	930,40	893,65
3	160	951,0	20,1	56,8	20,9	68,7	20,50	62,75	930,50	888,25
4	175	951,0	18,1	60,3	20,8	85,6	19,45	72,95	931,55	878,05
5	190	951,0	20,6	64,7	20,8	91,0	20,70	77,85	930,30	873,15
6	205	951,0	22,3	69,4	21,8	89,4	22,05	79,40	928,95	871,60
7	220	951,0	23,9	74,1	23,6	91,8	23,75	82,95	927,25	868,05
8	235	951,0	24,9	75,6	25,1	92,4	25,00	84,00	926,00	867,00
9	250	951,0	26,6	75,9	26,6	90,5	26,60	83,20	924,40	867,80
10	265	951,0	28,4	74,6	25,3	88,2	26,85	81,40	924,15	869,60
11	280	951,0	30,0	73,2	25,0	86,0	27,50	79,60	923,50	871,40
12	295	951,0	30,0	71,7	25,8	83,8	27,90	77,75	923,10	873,25
13	310	951,0	28,6	68,9	27,8	81,6	28,20	75,25	922,80	875,75
14	325	951,0	26,8	63,6	28,5	75,0	27,65	69,30	923,35	881,70
15	340	951,0	25,8	58,3	30,9	66,6	28,35	62,45	922,65	888,55
16	355	951,0	24,4	53,0	37,8	61,5	31,10	57,25	919,90	893,75
17	370	951,0	23,2	47,7	35,9	59,0	29,55	53,35	921,45	897,65
18	385	951,0	23,6	42,4	34,0	56,4	28,80	49,40	922,20	901,60
19	400	951,0	23,7	41,2	32,1	52,9	27,90	47,05	923,10	903,95
20	415	951,0	23,0	42,2	30,2	50,5	26,60	46,35	924,40	904,65
21	430	951,0	21,2	41,8	23,0	54,2	22,10	48,00	928,90	903,00
22	445	951	18,4	40,5	19	54,2	18,7	47,35	932,3	903,65
23	460	951	17,5	38	15,4	51,9	16,45	44,95	934,55	906,05
24	475	951	17,4	35,5	12	48,3	14,7	41,9	936,3	909,1



RESULTADOS DEL PROCESO DE REFRACCIÓN SÍSMICA L-17 SECTOR III BRIGADA										
		PROF. MIN	RPOF. MAX	Vp/Vs	Relación de POISSON	Modulo de YOUNG	Modulo de RIGIDEZ			
V1P m/s	1200	6	10	1,26	-0,34	2,17E+09	1,643E+09			
V2P m/s	2100	13	33	1,09	-2,05	-1,7E+10	8,11E+09			
V3P m/s	2300	-	-	1,10	-2,01	-1,95E+10	9,702E+09			
V1S m/s	950									
V2S m/s	1920									
V3S m/s	2100									
d1 Kg/m ³	1820									
d2 Kg/m ³	2200									
d3 Kg/m ³	2200									
		Profundidad Calculada de Tope, m (Onda P)		Profundidad Calculada de Tope, m (Onda S)		Profundidad Promedio de Tope, m		Profundidad Promedio de Tope, msnm		
SP	Distancia m	Elevación msnm	Interfase 1	Interfase 2	Interfase 1	Interfase 2	Interfase 1	Interfase 2	Interfase 1	Interfase 2
1	0	983,1	13,5	13,5	12,2	12,2	12,85	12,85	970,25	970,25
2	35	982,7	12,2	12,9	10,3	10,3	11,25	11,60	971,45	971,10
3	165	982,1	7,0	13,4	5,2	24,6	6,10	19,00	976,00	963,10
4	295	982,0	7,3	8,3	4,7	5,4	6,00	6,85	976,00	975,15
5	330	982,0	8,7	67,6	5,6	27,1	7,15	47,35	974,85	934,65
Geofono	Distancia	Elevación	Interfase 1	Interfase 2	Interfase 1	Interfase 2	Interfase 1	Interfase 2	Interfase 1	Interfase 2
1	50	982,5	11,4	15,7	9,2	9,7	10,30	12,70	972,20	969,80
2	60	982,5	11,0	14,8	8,7	12,4	9,85	13,60	972,65	968,90
3	70	982,5	10,6	18,4	7,7	27,1	9,15	22,75	973,35	959,75
4	80	982,4	10,3	25,7	6,4	26,3	8,35	26,00	974,05	956,40
5	90	982,4	9,8	26,2	5,5	25,7	7,65	25,95	974,75	956,45
6	100	982,4	9,6	19,6	3,8	17,6	6,70	18,60	975,70	963,80
7	110	982,3	9,5	17,5	3,9	14,8	6,70	16,15	975,60	966,15
8	120	982,3	9,2	19,5	2,9	16,4	6,05	17,95	976,25	964,35
9	130	982,3	8,8	16,8	3,3	18,7	6,05	17,75	976,25	964,55
10	140	982,2	8,5	14,2	3,1	21,5	5,80	17,85	976,40	964,35
11	150	982,2	8,1	12,6	4,1	23,2	6,10	17,90	976,10	964,30
12	160	982,2	7,3	14,2	5,0	24,5	6,15	19,35	976,05	962,85
13	170	982,1	6,9	16,1	5,5	24,8	6,20	20,45	975,90	961,65
14	180	982,1	7,6	18,7	5,5	24,6	6,55	21,65	975,55	960,45
15	190	982,1	8,4	22,2	5,1	28,6	6,75	25,40	975,35	956,70
16	200	982,1	8,9	25,8	5,4	30,5	7,15	28,15	974,95	953,95
17	210	982,1	8,9	29,3	5,1	29,8	7,00	29,55	975,10	952,55
18	220	982,1	8,7	32,8	4,7	29,0	6,70	30,90	975,40	951,20
19	230	982,1	8,8	38,3	5,2	28,2	7,00	33,25	975,10	948,85
20	240	982,1	9,2	35,6	5,8	26,6	7,50	31,10	974,60	951,00
21	250	982,0	9,5	25,1	6,1	23,8	7,80	24,45	974,20	957,55
22	260	982	9,5	22,3	6,1	21	7,8	21,65	974,2	960,35
23	270	982	8,8	19,5	5,8	18,3	7,3	18,9	974,7	963,1
24	280	982	8,2	16,7	5,3	15,6	6,75	16,15	975,25	965,85



RESULTADOS DEL PROCESO DE REFRACCIÓN SÍSMICA L-18 SECTOR FLORALIA										
		PROF. MIN	RPOF. MAX	Vp/Vs	Relación de	Modulo de	Modulo de			
					POISSON	YOUNG	RIGIDEZ			
V1P m/s	910	20	28	1,23	-0,48	1,044E+09	996632000			
V2P m/s	1880	67	100	1,14	-1,18	-1,75E+09	4,955E+09			
V3P m/s	2190	-	-	1,13	-1,32	-4,42E+09	6,85E+09			
V1S m/s	740									
V2S m/s	1650									
V3S m/s	1940									
d1 Kg/m ³	1820									
d2 Kg/m ³	1820									
d3 Kg/m ³	1820									
		Profundidad Calculada de Tope, m (Onda P)		Profundidad Calculada de Tope, m (Onda S)		Profundidad Promedio de Tope, m		Profundidad Promedio de Tope, msnm		
SP	Distancia m	Elevación msnm	Interfase 1	Interfase 2	Interfase 1	Interfase 2	Interfase 1	Interfase 2	Interfase 1	Interfase 2
1	0	950,0	18,5	88,3	31,6	31,6	25,05	59,95	924,95	890,05
2	70	950,0	22,7	78,6	29,3	56,6	26,00	67,60	924,00	882,40
3	272,5	950,0	29,1	89,4	23,5	94,7	26,30	92,05	923,70	857,95
4	475	950,0	14,5	67,9	17,3	79,8	15,90	73,85	934,10	876,15
5	545	950,0	12,8	82,5	18,8	18,9	15,80	50,70	934,20	899,30
Geofono	Distancia	Elevación	Interfase 1	Interfase 2	Interfase 1	Interfase 2	Interfase 1	Interfase 2	Interfase 1	Interfase 2
1	100	950,0	23,5	78,6	28,3	62,0	25,90	70,30	924,10	879,70
2	115	950,0	23,9	78,6	27,9	62,7	25,90	70,65	924,10	879,35
3	130	950,0	24,0	78,6	27,6	63,4	25,80	71,00	924,20	879,00
4	145	950,0	24,8	80,2	27,2	62,6	26,00	71,40	924,00	878,60
5	160	950,0	24,3	78,0	26,3	66,6	25,30	72,30	924,70	877,70
6	175	950,0	26,1	82,8	25,4	70,5	25,75	76,65	924,25	873,35
7	190	950,0	28,6	83,4	24,6	74,2	26,60	78,80	923,40	871,20
8	205	950,0	30,6	81,6	23,6	78,0	27,10	79,80	922,90	870,20
9	220	950,0	30,6	83,5	24,0	81,7	27,30	82,60	922,70	867,40
10	235	950,0	30,3	87,7	25,1	85,4	27,70	86,55	922,30	863,45
11	250	950,0	30,2	88,2	23,9	89,1	27,05	88,65	922,95	861,35
12	265	950,0	30,1	89,0	22,7	92,9	26,40	90,95	923,60	859,05
13	280	950,0	28,1	89,7	24,4	96,6	26,25	93,15	923,75	856,85
14	295	950,0	26,0	90,5	25,9	100,3	25,95	95,40	924,05	854,60
15	310	950,0	23,9	91,3	27,5	104,0	25,70	97,65	924,30	852,35
16	325	950,0	22,4	92,0	29,0	107,8	25,70	99,90	924,30	850,10
17	340	950,0	21,9	88,2	27,6	111,5	24,75	99,85	925,25	850,15
18	355	950,0	21,1	83,9	26,1	111,7	23,60	97,80	926,40	852,20
19	370	950,0	19,7	78,8	23,7	104,2	21,70	91,50	928,30	858,50
20	385	950,0	20,8	73,2	26,3	91,2	23,55	82,20	926,45	867,80
21	400	950,0	20,8	67,9	28,9	78,2	24,85	73,05	925,15	876,95
22	415	950	20,6	67,9	26,1	69,5	23,35	68,7	926,65	881,3
23	430	950	19,6	67,9	23,2	66,6	21,4	67,25	928,6	882,75
24	445	950	17,9	67,9	21,3	67,8	19,6	67,85	930,4	882,15

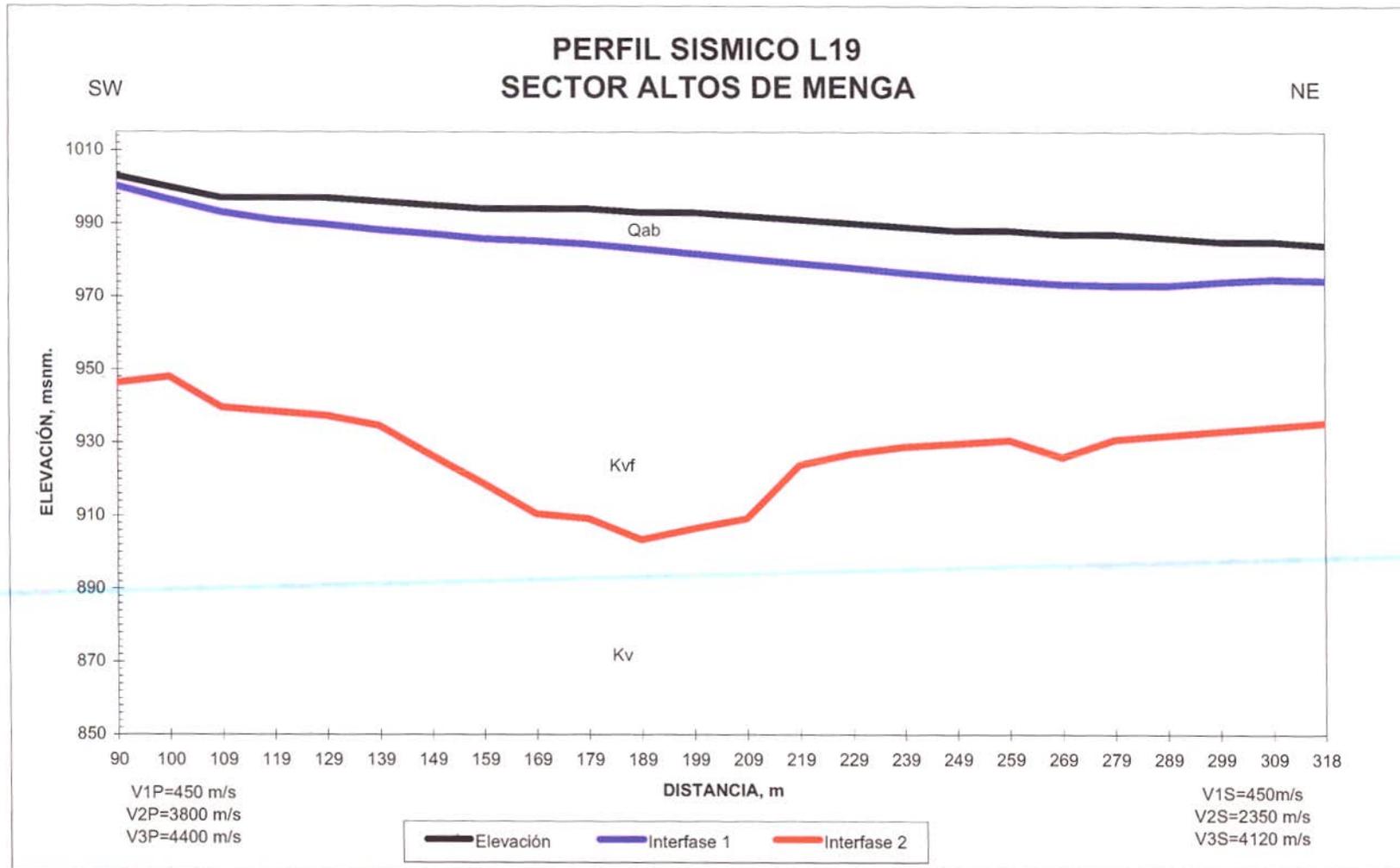


A.G.C.

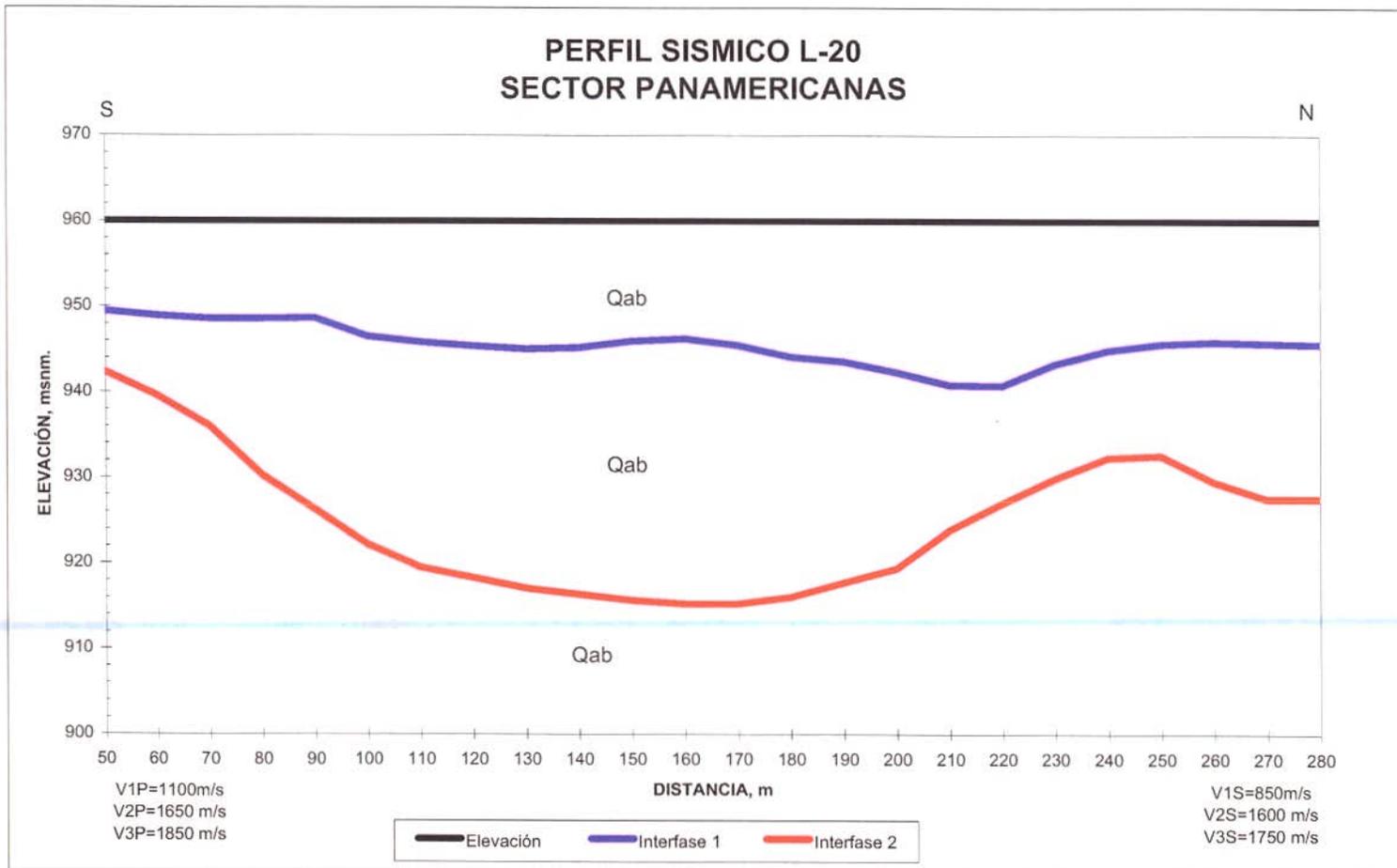
Figura 33. Perfil Sísmico Línea 18

Apéndice 2

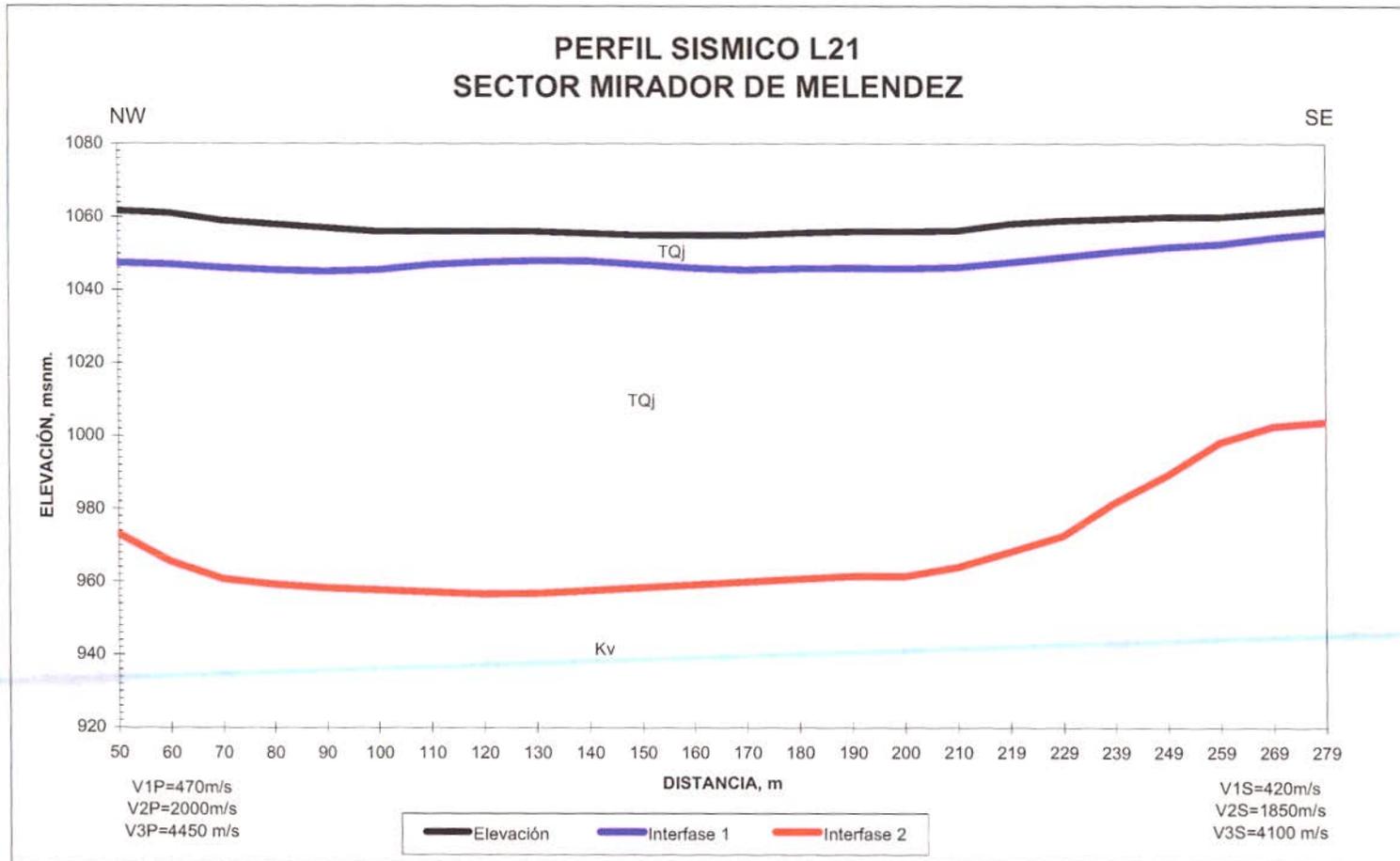
RESULTADOS DEL PROCESO DE REFRACCIÓN SÍSMICA L-19 SECTOR ALTOS DE MENGA										
		PROF. MIN	RPOF. MAX	Vp/Vs	Relación de POISSON	Modulo de YOUNG	Modulo de RIGIDEZ			
V1P m/s	450	3	14	1,00	-10,38	-6,61E+09	352352000			
V2P m/s	3800	49	90	1,62	0,19	3,681E+10	1,546E+10			
V3P m/s	4400	-	-	1,07	-3,06	-1,96E+11	4,753E+10			
V1S m/s	450									
V2S m/s	2350									
V3S m/s	4120									
d1 Kg/m ³	1820									
d2 Kg/m ³	2800									
d3 Kg/m ³	2800									
		Profundidad Calculada de Tope, m (Onda P)		Profundidad Calculada de Tope, m (Onda S)		Profundidad Promedio de Tope, m		Profundidad Promedio de Tope, msnm		
SP	Distancia m	Elevación msnm	Interfase 1	Interfase 2	Interfase 1	Interfase 2	Interfase 1	Interfase 2	Interfase 1	Interfase 2
1	4,1	1030,0	17,7	56,8	16,1	111,0	16,90	83,90	1013,10	946,10
2	61,4	1012,0	1,7	38,8	0,0	93,0	0,85	65,90	1011,15	946,10
3	203,9	992,0	8,4	95,6	13,6	78,8	11,00	87,20	981,00	904,80
4	348,4	984,0	8,3	83,5	13,3	26,9	10,80	55,20	973,20	928,80
5	408,4	981,0	9,6	80,5	13,5	36,2	11,55	58,35	969,45	922,65
Geofono	Distancia	Elevación	Interfase 1	Interfase 2	Interfase 1	Interfase 2	Interfase 1	Interfase 2	Interfase 1	Interfase 2
1	90	1003,0	2,1	56,5	3,5	56,7	2,80	56,60	1000,20	946,40
2	99,5	1000,0	2,2	57,6	4,6	46,4	3,40	52,00	996,60	948,00
3	109,1	997,0	2,5	58,8	5,4	56,0	3,95	57,40	993,05	939,60
4	119,1	997,0	3,4	63,2	8,7	53,9	6,05	58,55	990,95	938,45
5	129,1	997,0	4,5	67,5	10,0	51,8	7,25	59,65	989,75	937,35
6	139	996,0	5,7	70,9	9,8	51,9	7,75	61,40	988,25	934,60
7	149	995,0	6,1	80,8	9,6	56,2	7,85	68,50	987,15	926,50
8	158,9	994,0	6,0	91,2	10,4	59,5	8,20	75,35	985,80	918,65
9	168,9	994,0	5,8	104,0	11,8	63,1	8,80	83,55	985,20	910,45
10	178,9	994,0	6,3	100,5	12,9	69,1	9,60	84,80	984,40	909,20
11	188,9	993,0	6,9	97,0	12,9	82,2	9,90	89,60	983,10	903,40
12	198,9	993,0	8,8	92,1	13,8	80,9	11,30	86,50	981,70	906,50
13	208,8	992,0	8,9	88,0	14,4	77,6	11,65	82,80	980,35	909,20
14	218,8	991,0	9,1	60,1	14,7	74,3	11,90	67,20	979,10	923,80
15	228,7	990,0	9,5	55,0	14,8	71,1	12,15	63,05	977,85	926,95
16	238,7	989,0	9,7	52,6	15,3	67,8	12,50	60,20	976,50	928,80
17	248,6	988,0	9,6	52,1	15,8	64,5	12,70	58,30	975,30	929,70
18	258,6	988,0	10,2	52,6	17,2	62,2	13,70	57,40	974,30	930,60
19	268,6	987,0	9,9	63,1	17,3	58,9	13,60	61,00	973,40	926,00
20	278,6	987,0	10,1	55,8	17,9	56,6	14,00	56,20	973,00	930,80
21	288,5	986,0	9,6	54,8	16,4	53,3	13,00	54,05	973,00	931,95
22	298,5	985	8,7	53,8	13,3	50	11	51,9	974	933,1
23	308,5	985	8,1	53,8	12,4	47,7	10,25	50,75	974,75	934,25
24	318,4	984	7,4	52,8	11,9	44,4	9,65	48,6	974,35	935,4



RESULTADOS DEL PROCESO DE REFRACCIÓN SÍSMICA L-20 SECTOR UNIDAD DEPORTIVA PANAMERICANAS										
		PROF. MIN	RPOF. MAX	Vp/Vs	Relación de	Modulo de	Modulo de			
					POISSON	YOUNG	RIGIDEZ			
V1P m/s	1100	11	19	1,29	-0,24	1,996E+09	1,315E+09			
V2P m/s	1650	18	45	1,03	-7,38	-5,94E+10	4,659E+09			
V3P m/s	1850	-	-	1,06	-3,75	-3,07E+10	5,574E+09			
V1S m/s	850									
V2S m/s	1600									
V3S m/s	1750									
d1 Kg/m ³	1820									
d2 Kg/m ³	1820									
d3 Kg/m ³	1820									
			Profundidad Calculada de Tope, m (Onda P)		Profundidad Calculada de Tope, m (Onda S)		Profundidad Promedio de Tope, m		Profundidad Promedio de Tope, msnm	
SP	Distancia m	Elevación msnm	Interfase 1	Interfase 2	Interfase 1	Interfase 2	Interfase 1	Interfase 2	Interfase 1	Interfase 2
1	0	960,0	10,0	10,2	7,0	7,1	8,50	8,65	951,50	951,35
2	35	960,0	11,6	20,3	7,7	8,1	9,65	14,20	950,35	945,80
3	165	960,0	16,5	47,0	11,7	42,5	14,10	44,75	945,90	915,25
4	295	960,0	17,6	21,2	11,4	41,4	14,50	31,30	945,50	928,70
5	330	960,0	16,9	35,0	9,9	10,0	13,40	22,50	946,60	937,50
Geofono	Distancia	Elevación	Interfase 1	Interfase 2	Interfase 1	Interfase 2	Interfase 1	Interfase 2	Interfase 1	Interfase 2
1	50	960,0	12,6	21,8	8,5	13,5	10,55	17,65	949,45	942,35
2	60	960,0	13,2	22,9	9,0	18,0	11,10	20,45	948,90	939,55
3	70	960,0	13,5	25,5	9,4	22,5	11,45	24,00	948,55	936,00
4	80	960,0	13,1	32,6	9,8	26,9	11,45	29,75	948,55	930,25
5	90	960,0	12,3	38,0	10,4	29,5	11,35	33,75	948,65	926,25
6	100	960,0	15,9	42,5	11,1	33,2	13,50	37,85	946,50	922,15
7	110	960,0	17,3	46,0	11,0	35,0	14,15	40,50	945,85	919,50
8	120	960,0	18,0	47,0	11,2	36,4	14,60	41,70	945,40	918,30
9	130	960,0	17,9	48,2	12,0	37,7	14,95	42,95	945,05	917,05
10	140	960,0	17,5	48,2	12,1	39,1	14,80	43,65	945,20	916,35
11	150	960,0	16,9	48,3	11,2	40,4	14,05	44,35	945,95	915,65
12	160	960,0	16,3	47,7	11,2	41,8	13,75	44,75	946,25	915,25
13	170	960,0	16,7	46,4	12,3	43,1	14,50	44,75	945,50	915,25
14	180	960,0	18,3	45,7	13,4	42,2	15,85	43,95	944,15	916,05
15	190	960,0	19,6	43,8	13,2	40,7	16,40	42,25	943,60	917,75
16	200	960,0	21,1	42,0	14,2	39,2	17,65	40,60	942,35	919,40
17	210	960,0	23,0	36,8	15,3	35,4	19,15	36,10	940,85	923,90
18	220	960,0	22,8	35,6	15,7	30,4	19,25	33,00	940,75	927,00
19	230	960,0	20,3	31,6	13,1	28,6	16,70	30,10	943,30	929,90
20	240	960,0	18,8	26,1	11,4	29,2	15,10	27,65	944,90	932,35
21	250	960,0	17,7	25,4	11,0	29,4	14,35	27,40	945,65	932,60
22	260	960	17,3	30,5	10,9	30,4	14,1	30,45	945,9	929,55
23	270	960	17,5	30,5	11	34,4	14,25	32,45	945,75	927,55
24	280	960	17,6	30,5	11,2	34,4	14,4	32,45	945,6	927,55



RESULTADOS DEL PROCESO DE REFRACCIÓN SÍSMICA L-21 SECTOR MIRADOR DE MELENDEZ										
			PROF. MIN	RPOF. MAX	Vp/Vs	Relación de POISSON	Modulo de YOUNG	Modulo de RIGIDEZ		
V1P m/s	470		6,25	14,2	1,12	-1,48	-3,91E+08	405720000		
V2P m/s	2000		58,2	99,4	1,08	-2,46	-2,3E+10	7,872E+09		
V3P m/s	4450				1,09	-2,31	-1,01E+11	3,866E+10		
V1S m/s	420									
V2S m/s	1850									
V3S m/s	4100									
d1 Kg/m ³	2300									
d2 Kg/m ³	2300									
d3 Kg/m ³	2300									
			Profundidad Calculada de Tope, m (Onda P)		Profundidad Calculada de Tope, m (Onda S)		Profundidad Promedio de Tope, m		Profundidad Promedio de Tope, msnm	
SP	Distancia m	Elevación msnm	Interfase 1	Interfase 2	Interfase 1	Interfase 2	Interfase 1	Interfase 2	Interfase 1	Interfase 2
1	0	1061,0	14,3	63,8	13,1	102,4	13,70	83,10	1047,30	977,90
2	35	1062,0	14,7	73,6	12,7	90,9	13,70	82,25	1048,30	979,75
3	164,6	1055,0	11,1	101,0	7,5	89,9	9,30	95,45	1045,70	959,55
4	293,9	1065,0	3,5	72,8	10,8	46,0	7,15	59,40	1057,85	1005,60
5	328,6	1070,0	5,5	48,0	13,4	35,1	9,45	41,55	1060,55	1028,45
Geófono	Distancia	Elevación	Interfase 1	Interfase 2	Interfase 1	Interfase 2	Interfase 1	Interfase 2	Interfase 1	Interfase 2
1	50	1061,7	15,2	86,5	13,2	90,6	14,20	88,55	1047,50	973,15
2	60	1061,0	15,0	90,8	13,0	100,2	14,00	95,50	1047,00	965,50
3	69,8	1059,0	13,8	93,7	12,1	102,8	12,95	98,25	1046,05	960,75
4	79,7	1058,0	13,3	95,7	11,8	101,9	12,55	98,80	1045,45	959,20
5	89,7	1057,0	12,9	96,4	11,0	101,1	11,95	98,75	1045,05	958,25
6	99,6	1056,0	11,9	96,3	9,1	100,3	10,50	98,30	1045,50	957,70
7	109,6	1056,0	10,8	97,2	7,4	100,5	9,10	98,85	1046,90	957,15
8	119,6	1056,0	9,9	98,1	6,9	100,7	8,40	99,40	1047,60	956,60
9	129,6	1056,0	9,4	98,9	6,6	99,5	8,00	99,20	1048,00	956,80
10	139,6	1055,5	9,2	99,3	6,0	96,6	7,60	97,95	1047,90	957,55
11	149,6	1055,0	9,8	99,7	6,3	93,6	8,05	96,65	1046,95	958,35
12	159,6	1055,0	10,7	100,6	7,3	91,1	9,00	95,85	1046,00	959,15
13	169,6	1055,0	11,4	101,5	7,6	88,6	9,50	95,05	1045,50	959,95
14	179,6	1055,6	11,8	103,0	7,7	86,7	9,75	94,85	1045,85	960,75
15	189,6	1056,0	12,0	104,3	8,0	84,7	10,00	94,50	1046,00	961,50
16	199,6	1056,0	12,0	105,2	8,3	83,8	10,15	94,50	1045,85	961,50
17	209,6	1056,2	11,7	106,2	8,3	78,2	10,00	92,20	1046,20	964,00
18	219,4	1058,1	12,1	109,0	9,0	70,7	10,55	89,85	1047,55	968,25
19	229,3	1059,0	11,5	110,8	8,5	62,0	10,00	86,40	1049,00	972,60
20	239,3	1059,5	10,3	99,3	7,7	56,2	9,00	77,75	1050,50	981,75
21	249,3	1060,0	9,1	83,2	7,4	58,3	8,25	70,75	1051,75	989,25
22	259,3	1060	7,5	66,5	7,4	57	7,45	61,75	1052,55	998,25
23	269,3	1061	5,4	62,6	8	54,2	6,7	58,4	1054,3	1002,6
24	279,2	1062	4	66,1	8,5	50,3	6,25	58,2	1055,75	1003,8



A.G.C

Figura 36. Perfil Sísmico Línea 21

Apéndice 2



ANEXO 11

**TABLA DE VELOCIDAD DE ONDA "P" y ONDA "S" CON SU CORRELACIÓN
LITOLÓGICA EN EL ÁREA DE LA CIUDAD DE CALI**



Tabla de velocidades Vp, Vs y su correlación litológica

LÍNEA	INTERFASE	VP (m/s)	VS (m/s)	PROFUNDIDAD (m)	UNIDAD GEOLÓGICA	CORRELACIÓN LITOLÓGICA	
1- VIA PUERTO TEJADA	1	1375	1150	4	15	Abanicos Aluviales (Qab3)	Suelo orgánico, gravas y arenas parcialmente saturadas con agua
	2	1900	1600	46	81	Depósitos Aluviales (Qal1)	Gravas y arenas de diferente tamaño de grano y limos arenosos saturados con agua e intercalaciones menores arcillosas
	3	2500	2050	-	-	Depósitos Aluviales (Qal2)	Materiales de arcillas, limos arcillosos, limos arenosos e intercalaciones menores de lentes gravo-arenosos con agua
2- CIUDAD JARDIN	1	650	575	8	17	Formación Jamundí (TQj1)	Depósitos de gravas y cantos no consolidados mal seleccionados de basaltos, cherts, conglomerados, areniscas y otras rocas con matriz arenosa seca
	2	2000	1650	18	42	Formación Jamundí (TQj2)	Depósitos de gravas y cantos no consolidados mal seleccionados de basaltos, cherts, conglomerados, areniscas y otras rocas con matriz limo-arenosa saturada
	3	2500	2175	-	-	Formación Jamundí (TQj3)	Depósitos de gravas y cantos no consolidados mal seleccionados de basaltos, cherts, conglomerados, areniscas y otras rocas con matriz arcillosa
3- LOS SOLARES (Vía a la Vorágine)	1	1100	840	24	34	Depósitos Aluviales (Qab2)	Gravas y arenas de diferente tamaño de grano y limos arenosos semisaturados con agua
	2	2600	1985	75	101	Formación Jamundí (TQj3)	Depósitos de gravas y cantos no consolidados mal seleccionados de basaltos, cherts, conglomerados, areniscas y otras rocas con matriz arcillosa
	3	3900	2625	-	-	Formación Guachinte (Tog3)	Intercalaciones de arcillolitas y areniscas saturadas
4- LA JAUJA (COMFENALCO)	1	1150	1114	13	26	Abanicos Aluviales (Qab3)	Suelo orgánico, gravas y arenas de parcialmente a saturadas con agua
	2	1800	1667	67	141	Depósitos aluviales (Qal1)	Gravas y arenas de diferente tamaño de grano y limos arenosos saturados con agua e intercalaciones menores arcillosas
	3	2650	2163	-	-	Depósitos Aluviales (Qal2)	Materiales de arcillas, limos arcillosos, limos arenosos e intercalaciones menores de lentes gravo-arenosos con agua
5- MENGA	1	825	500	8	10	Abanicos Aluviales (Qab1)	Suelos limo-arcillosos, cantos, clastos en matriz arcillosa húmeda
	2	1575	1450	38	73	Depósitos Aluviales (Qal1)	Arcillas y limos arcillosos con ocasionales niveles arenosos



LÍNEA	INTERF ASE	VP (m/s)	VS (m/s)	PROFUN- DIDAD (m)	UNIDAD GEOLÓGICA	CORRELACIÓN LITOLÓGICA	
	3	2550	2250	-	Depósitos Aluviales (Qal2)	Predominio arcilloso y ocasionales lentes gravo-arenosos	
6- CHIPICHAPE	1	900	750	11	13	Abanicos Aluviales (Qab2)	Suelos limo-arcillosos, cantos, clastos en matriz arcillosa húmeda
	2	1900	1585	14	54	Formación Guachinte (Tog1)	Predominio de intercalaciones de areniscas alteradas y fracturadas sobre arcillolitas
	3	2700	2250	-	-	Formación Guachinte (Tog2)	Predominio de intercalaciones de arcillolitas sobre areniscas
7- PARQUE SAN ANTONIO	1	710	640	6	18	Flujos de Terrón Colorado (Qfv)	Depósitos fluvio-torrenciales clastosoportados con aporte volcánico compuestos por bloques, cantos y gravas en matriz limo-arcillosa húmeda
	2	2740	2460	42	71	Formación Guachinte (Tog2)	Intercalaciones de arcillolitas y areniscas saturadas, alteradas y fracturadas
	3	3240	3170	-	-	Formación Guachinte (Tog3)	Intercalaciones de areniscas y arcillolitas sanas
8- MELENDEZ (BARRIO CORDOBA)	1	1020	810	10	29	Depósitos de Llanuras Aluviales (Qlc)	Suelos limo-arcillosos, gravas, arenas de parcialmente saturados a saturados con agua
	2	1775	1480	60	155	Depósitos Aluviales (Qal1)	Gravas y arenas saturadas con agua e intercalaciones menores arcillosas
	3	2460	2130	-	-	Depósitos Aluviales (Qal2)	Arcillas semi- compactas y limos arcillosos con ocasionales niveles arenosos saturados
9- PUERTO MALLARINO	1	900	690	7	31	Depósitos de Llanuras Aluviales (Qlc)	materiales de relleno superficiales, limos arcillosos de secos a parcialmente saturados con agua
	2	1690	1300	103	130	Depósitos Aluviales (Qal1)	Gravas y arenas saturadas con agua e intercalaciones menores arcillosas
	3	2550	2100	-	-	Depósitos Aluviales (Qal2)	Arcillas y limos arcillosos con ocasionales lentes arenosos con agua
10- UNIVALLE	1	770	660	0	3	Abanicos Aluviales (Qab1)	Suelos limo-arcillosos, cantos, clastos en matriz limo-arenosa húmeda
	2	1890	1530	10	52	Depósitos Aluviales (Qal1)	Gravas y arenas saturadas con agua e intercalaciones menores arcillosas
	3	2660	2160	-	-	Depósitos Aluviales (Qal2)	Arcillas semi-compactas y limos arcillosos con ocasionales niveles arenosos saturados
11- TERRON COLORADO	1	800	675	6	20	Flujos de Terrón Colorado (Qfv)	Depósitos fluvio-torrenciales clastosoportados con aporte volcánico compuestos por bloques, cantos y gravas en matriz limo-arcillosa húmeda.
	2	1800	1500	49	67	Roca volcánica Alterada (Kva2)	Rocas volcánicas de diabasas alteradas y fracturadas
	3	3950	3500	-	-	Roca Volcánica (Kv1)	Rocas volcánicas de diabasas sanas



LÍNEA	INTERF ASE	VP (m/s)	VS (m/s)	PROFUN- DIDAD (m)	UNIDAD GEOLÓGICA	CORRELACIÓN LITOLÓGICA	
12- CAÑAVERALEJO	1	800	700	7	20	Roca volcánica Alterada (Kva1)	Suelo residual y diabasas alteradas secas
	2	1800	1400	29	69	Roca volcánica Alterada (Kva2)	Diabasas alteradas y fracturadas con permeabilidad secundaria
	3	3900	2800	-	-	Roca Volcánica (Kv1)	Rocas volcánicas de diabasas sanas
13- CONSTRUCTORA LIMONAR	1	970	800	2	10	Abanicos Aluviales (Qab2)	Suelos limosos, arcillas y limos arenosos húmedos
	2	1590	1550	20	31	Depósitos Aluviales (Qal1)	Gravas y arenas saturadas con agua e intercalaciones menores arcillosas
	3	1800	1720	-	-	Depósitos Aluviales (Qal1)	Arcillas y limos arcillosos con ocasionales niveles arenosos saturados
14- BASE AEREA	1	1000	850	21	37	Abanico Aluvial (Qab2)	Suelo limoso y limos arenosos parcialmente saturados con agua
	2	1900	1550	70	123	Depósitos Aluviales (Qal1)	Gravas, arenas saturadas con agua e intercalaciones arcillosas menores
	3	2550	2200	-	-	Depósitos Aluviales (Qal2)	Arcillas y limos arcillosos predominando sobre eventuales lentes de arena y grava
15- BASE AEREA	1	985	742	6	18	Abanicos Aluviales (Qab2)	Suelo limoso y limos arenosos parcialmente saturados con agua
	2	1900	1292	49	80	Depósitos Aluviales (Qal1)	Limos arenosos, gravas y arena saturadas con agua
	3	2500	1970	-	-	Depósitos Aluviales (Qal2)	Arcillas y limos arcillosos con ocasionales niveles arenosos saturados
16- DECEPAZ	1	785	650	15	31	Depósitos de Llanuras Aluviales (Qlc)	Suelos limo-arcillosos, limos arenosos y arenas de parcialmente saturados a saturados con agua
	2	1780	1625	42	84	Depósitos Aluviales (Qal1)	Gravas, arenas saturadas con agua e intercalaciones arcillosas menores
	3	2150	1986	-	-	Depósitos Aluviales (Qal2)	Arcillas y limos arcillosos con ocasionales niveles arenosos saturados
17- III BRIGADA	1	1200	950	6	10	Abanicos aluviales (Qab3)	Suelo limoso y limos arenosos parcialmente saturados con agua
	2	2100	1920	13	33	Formación Jamundi (TQj2)	Depósitos de gravas y cantos no consolidados mal seleccionados de basaltos, cherts, conglomerados, areniscas y otras rocas con matriz limo-arenosa rojiza saturada
	3	2300	2100	-	-	Formación Jamundi (TQj3)	Depósitos de gravas y cantos no consolidados mal seleccionados de basaltos, cherts, conglomerados, areniscas y otras rocas con matriz arcillosa rojiza
18- FLORALIA	1	910	740	20	28	Depósitos de Llanuras Aluviales (Qlc)	Suelos limo-arcillosos, limos arenosos y arenas de parcialmente saturados a saturados con agua
	2	1880	1650	67	100	Depósitos Aluviales (Qal1)	Limos arcillosos e intercalaciones menores arenas y gravas con agua
	3	2190	1940	-	-	Depósitos Aluviales (Qal2)	Arcillas, limos arcillosos y limos arenosos saturados



LÍNEA	INTERF ASE	VP (m/s)	VS (m/s)	PROFUN- DIDAD (m)		UNIDAD GEOLÓGICA	CORRELACIÓN LITOLÓGICA
19- ALTOS DE MENGA	1	450	450	3	14	Abanicos Aluviales (Qab1)	Suelo limoso y limos arcillosos secos
	2	3800	2350	49	90	Roca Volcánica (Kvf)	Diabasas fracturadas secas
	3	4400	4120	-	-	Roca Volcánica (Kv2)	Diabasas Sanas
20- UNIDAD DEPORTIVA PANAMERICANA	1	1100	850	11	19	Abanicos Aluviales (Qab2)	Suelo limo-arcilloso, arcillas, limos arenosos semisaturados
	2	1650	1600	18	45	Depósitos Aluviales (Qal1)	Arcillas, limos arcillosos y limos arenosos saturados
	3	1850	1750	-	-	Depósitos Aluviales (Qal2)	Arcilla, limos y lentes delgados de arenas con agua
21- MIRADOR DE MELENDEZ	1	470	420	6	14	Formación Jamundí (TQj1)	Suelos rojizos limosos secos con ocasionales vestigios de clastos alterados
	2	2000	1850	58	99	Formación Jamundí (TQj2)	Depósitos de gravas y cantos no consolidados mal seleccionados de basaltos, cherts, conglomerados, areniscas y otras rocas con matriz limosa
	3	4450	4100	-	-	Roca Volcánica (Kv2)	Diabasas sanas