



**INSTITUTO DEL FONDO NACIONAL DE LA VIVIENDA PARA LOS
TRABAJADORES
INFONAVIT**



**“ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO EN LA ZONA NORTE Y SUR
DE LA CUENCA DE
EL BARREAL EN CIUDAD JUAREZ, CHIHUAHUA”**

REPORTE

**ESTUDIO GEOTÉCNICO, GEOFÍSICO Y ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE
TALUD DEL BORDO MIGUEL DE LA MADRID HURTADO**

ÍNDICE

I. INTRODUCCIÓN	3
II. OBJETIVO	3
IV. Ubicación de la zona del proyecto	4
V. JUSTIFICACION	5
VI. ESTUDIOS GEOFÍSICOS	7
VI.1. Tomografías Eléctricas Resistivas (TER's)	8
VI.2. Resistividad	11
VI.3. Metodología de Adquisición de Datos	12
VI.4. Procesamiento	13
VII. TRABAJO DE CAMPO	14
VII.2. Acervo Fotográfico	Error! Bookmark not defined.
VIII. RESULTADOS DE TER's	49
VIII.1. Anomalías a partir de Líneas de TER's	49
IX. INTERPRETACIÓN DE PERFILES	76
X. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	80
ESTUDIOS DE SÍSMICA	81
XI. ESTUDIOS DE SÍSMICA	82
XI.1. ONDA DE CORTE (S)	85
XI.2. TRABAJO DE CAMPO	87
XI.3. PROCESAMIENTO DE LA ONDA DE CORTE (S)	93
XI.4. RESULTADO DE LA ONDA DE CORTE (S)	101
XI.5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	110
ESTUDIOS DE GEORADAR	111
XII. ESTUDIOS DE GEORADAR	112
XII.1. INTRODUCCIÓN	112
XII.1.1. METODOLOGÍA	113
XII.1.1.1. Georadar o Ground Penetrating Radar (GPR)	113
XII.2. TRABAJOS DE CAMPO	115

XII.3. PROCESAMIENTO	116
XII.4. RESULTADOS E INTERPRETACIÓN.....	116
XII.5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	Error! Bookmark not defined.
ESTUDIOS DE GEOTECNIA EN EL BORDO MIGUEL D ELA MADRID HURTADO ...	129
XIII. ESTUDIOS DE GEOTECNIA EN EL BORDO MIGUEL D ELA MADRID HURTADO.....	130
ESTUDIOS DE ESTABILIDAD DE TALUD EN EL BORDO MIGUEL DE LA MADRID HURTADO.....	149
XIV. ESTUDIOS DE GEOTECNIA EN EL BORDO MIGUEL D ELA MADRID HURTADO.....	150
XIV.1. ESTUDIOS DE GEOTECNIA EN EL BORDO MIGUEL D ELA MADRID HURTADO.....	150
I. BIBLIOGRAFÍA.....	168



I. INTRODUCCIÓN

En Ciudad Juárez, en el estado de Chihuahua, durante la temporada de lluvias se presentan situaciones de riesgo a causa de la intensidad con que se presenta la precipitación. El problema se genera aguas abajo de los principales arroyos y diques que desembocan hacia asentamientos urbanos, incrementando con esto los daños a la población y a la infraestructura urbana en general. Ante esta situación es imperativo llevar a cabo la actualización de los estudios hidrológicos requeridos para los diferentes períodos de retorno en las zonas con un marcado crecimiento urbano, de tal forma que podamos conocer a detalle las modificaciones que se han presentado en las cuencas, con el fin de diseñar las obras de control hidráulico requeridas para salvaguardar tanto la vida como de la propiedad en un ambiente de convivencia armónico y sustentable con el medio ambiente.

II. OBJETIVO

Analizar por medio de la aplicación de métodos indirectos (geofísica) y directos (geotecnia) de exploración, los parámetros físicos y condiciones estructurales actuales del bordo Miguel de la Madrid Hurtado.

III. ALCANCES

Generar un documento que englobe los principales hallazgos de los estudios de geofísica, Tomografías Eléctricas Resistivas, Sísmica, Georadar; y de los



“ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO EN LA ZONA NORTE Y SUR DE LA CUENCA DE EL BARREAL EN CIUDAD JUAREZ, CHIHUAHUA”

estudios de geotecnia en campo y de gabinete, para inferir las condiciones de integridad estructural del Bordo MMH.

IV. Ubicación de la zona del proyecto

Actualmente, la antigua zona lagunar, o parte más baja de este sistema endorreico, está protegida por un bordo con capacidad de contención de eventos hidrometeorológicos extremos de periodo de retorno de 100 años con bordo libre a 500 años. Esta zona está definida por el polígono (casi un triángulo) delimitado por la vialidad Miguel de la Madrid Hurtado (MMH) al oeste que constituye el bordo en sí, por la vialidad Manuel Talamás Camandarí (TC) al norte, y por el Boulevard Independencia (BI) al Este (Figura V.1.4).

**“ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO EN LA ZONA NORTE Y SUR DE LA CUENCA DE
EL BARREAL EN CIUDAD JUÁREZ, CHIHUAHUA”**

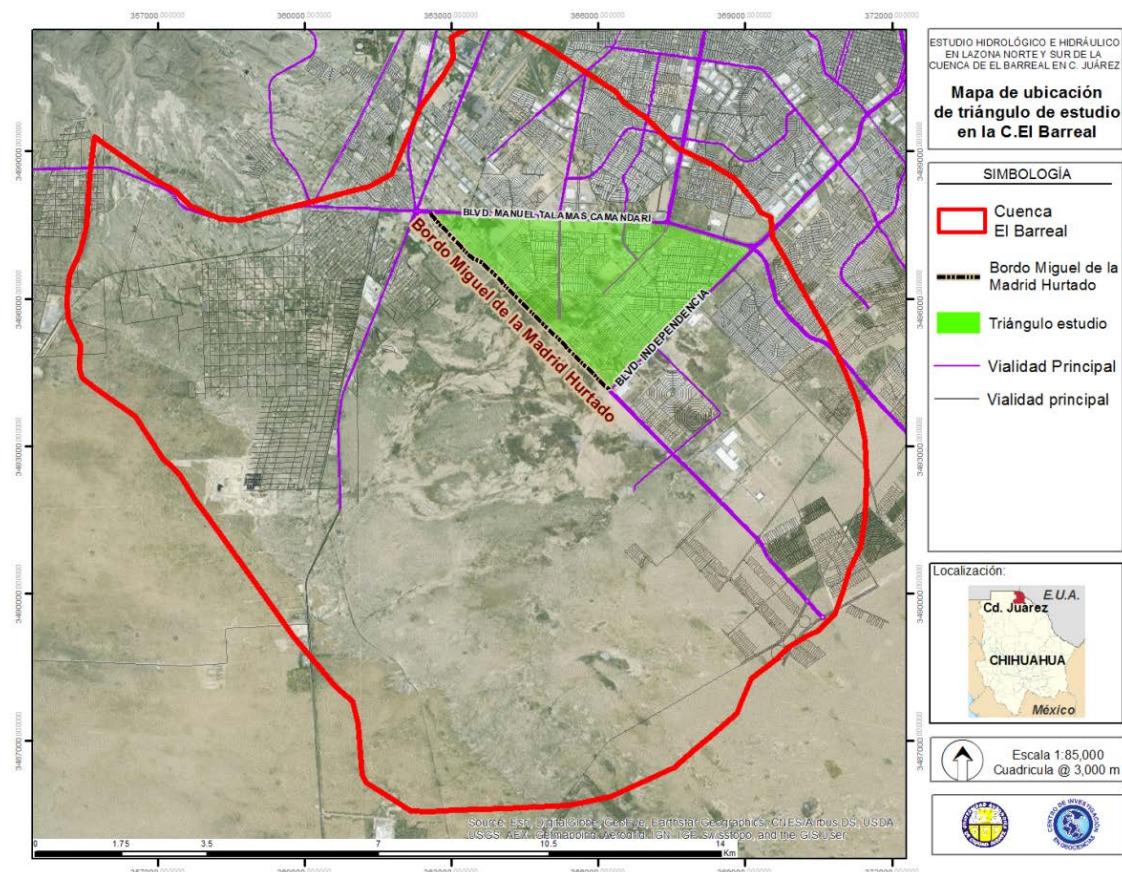


Figura IV.1.1. Localización general de la cuenca El Barreal en Cd. Juárez.

V. JUSTIFICACION

La seguridad hidráulica de los desarrollos habitacionales ubicados dentro de la poligonal que circunscriben las vialidades Miguel de la Madrid Hurtado, Talamas Camandari y Boulevard Independencia depende de la presencia e integridad estructural del Bordo MMH. De manera, los desarrollos urbanos dentro de este polígono deberán ser capaces de disponer de capacidad de manejo de escurrimientos por condiciones de lluvia por cuenca propia.



“ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO EN LA ZONA NORTE Y SUR DE LA CUENCA DE EL BARREAL EN CIUDAD JUÁREZ, CHIHUAHUA”

La altura o elevación del Bordo MMH esta actualmente, bajo las condiciones resultantes del estudio COESVI en el que se precisa las elevaciones de proyecto de este bordo.

En esta etapa de este estudio, se analizaron las condiciones internas y de esta obra de mitigación hidráulica para establecer si este bordo presenta condiciones de integridad estructural.

VI. ESTUDIOS GEOFÍSICOS

Descripción de los Estudios Geofísicos realizados

Los métodos geofísicos de exploración o Ingeniería Geofísica, están constituidos por una serie de técnicas que permiten medir las variaciones de diversas propiedades físicas en los materiales que forman la corteza terrestre tales como: densidad, susceptibilidad magnética, velocidad de propagación de ondas sísmicas, resistividad eléctrica o la radioactividad natural de las rocas, entre otras. La medición y distribución de estas variaciones, permite inferir algunas condiciones litológicas y estructurales del subsuelo, correlacionando los valores medidos o zonas anómalas, con los efectos calculados de los modelos de laboratorio, en los que se conocen las relaciones causa-efecto en términos de una función matemática.

En los métodos eléctricos la circulación de la corriente en el terreno, ocasiona diferencias de potencial, cuya magnitud, depende de la distribución de las resistividades en el subsuelo respecto a los diferentes tipos de materiales que lo constituyen. Las diferencias de tensión o de potencial se miden entre dos puntos del terreno, mediante el uso de un voltímetro de alta precisión integrado al sistema y con electrodos de inyección de corriente que se colocan en la superficie del terreno.

En el caso de los métodos sísmico se determinan las condiciones elásticas del subsuelo a través de mediciones de velocidad sísmica; parámetro que a su vez depende funcionalmente de la densidad. Este enfoque es considerado el más

certero en prospección geotécnica, ya que permite el perfilado continuo de las propiedades elásticas (mecánicas) del subsuelo.

Es importante aclarar que los métodos geofísicos son una herramienta de prospección, cuyo alcance es el inferir de forma indirecta las propiedades físicas del subsuelo, y que, aunque reduzca notablemente los gastos de sondeos exploratorios directos, no excluye estos últimos. Por lo que el modelo geológico debe ser calibrado mediante extracción de muestras *in-situ*, para finalmente ser extrapolado a un volumen continuo a través de los perfiles geofísicos.

VI.1. Tomografías Eléctricas Resistivas (TER's)

La Tomografía Eléctrica Resistiva es una técnica geofísica que genera secciones o perfiles del subsuelo en base a mediciones de caída de potencial eléctrico. Éste método consiste en inyectar una corriente al interior del suelo, la cual, regresa al voltímetro en forma de una diferencia de potencial (ΔV) producto de las variaciones en resistencias que resultan de cada tipo de material o estrato del suelo (Figura IV.1.1). Sabiendo de antemano que cada tipo de material tiene diferente manera de “resistir” una corriente eléctrica, los buenos conductores presentan una resistencia baja a la inyección de corriente, mientras que materiales aislantes presentan resistencias eléctricas mayores. Lo anterior, es relativo a diversos parámetros geológicos como el contenido mineralógico, porosidad y grado de saturación de agua. Durante décadas, los Estudio de Resistividad Eléctrica han sido utilizados en investigación sobre hidrogeología, geotecnia y también actualmente en estudios ambientales (Loke 2004).

“ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO EN LA ZONA NORTE Y SUR DE LA CUENCA DE
EL BARREAL EN CIUDAD JUÁREZ, CHIHUAHUA”

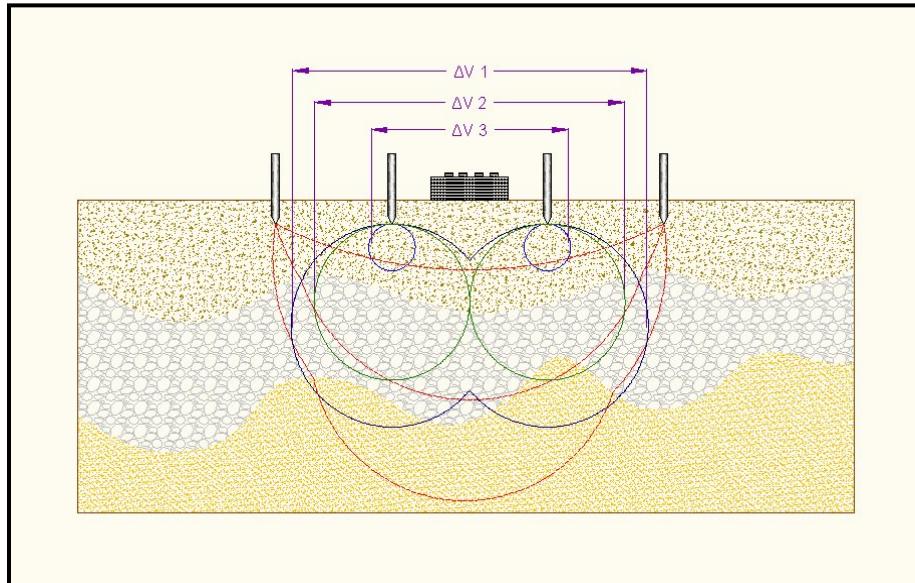


Figura IV.1.1. Método de inyección de corriente y variación de potencial eléctrico.

Existen diversos arreglos electródicos para determinar la resistividad del subsuelo (Figura IV.1.2), dependiendo de la configuración geométrica de electrodos (espaciamiento y colocación de electrodos de corriente y potencial) varía la profundidad y resolución de exploración.

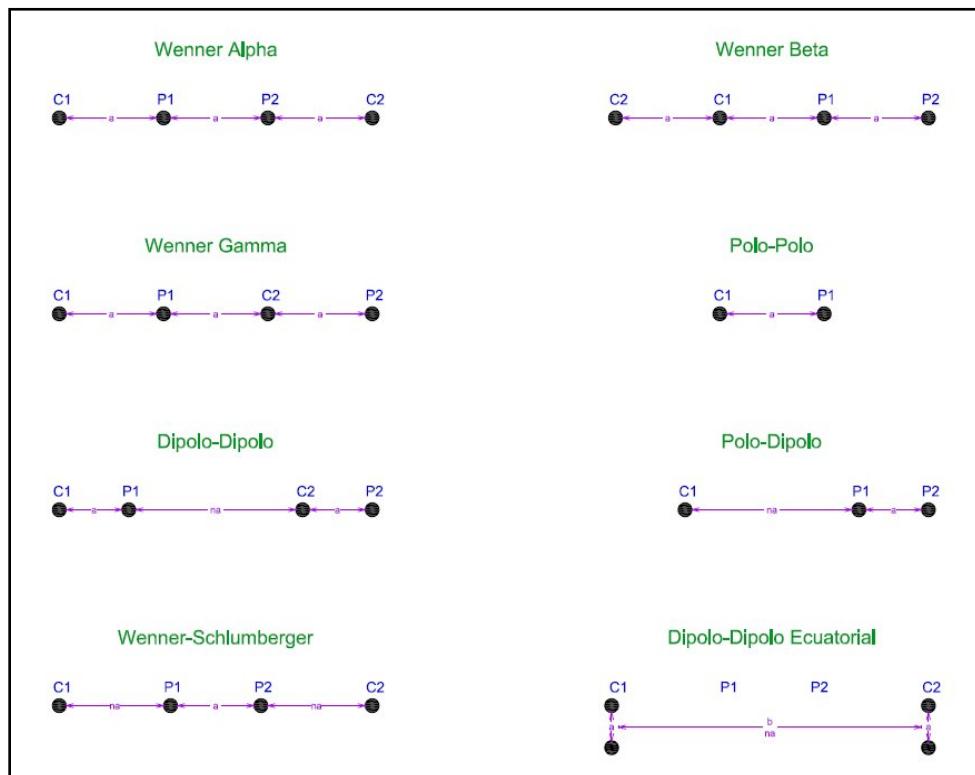
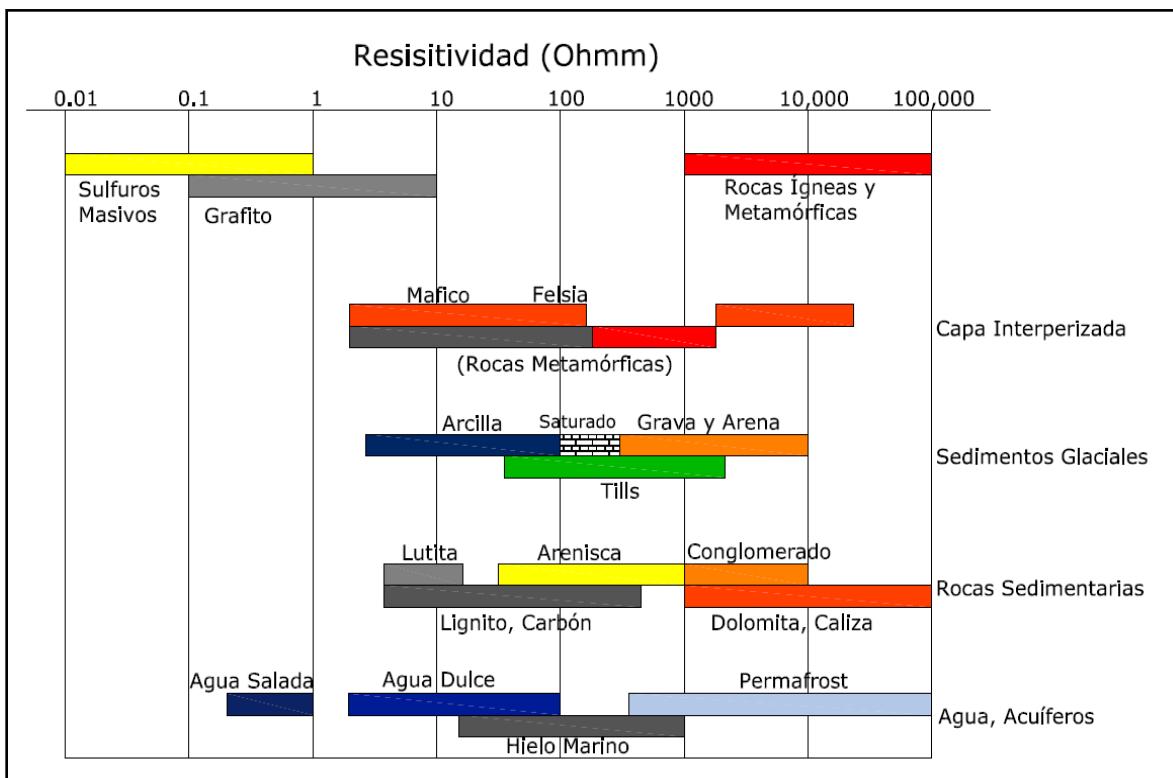


Figura IV.1.2 Arreglos electródicos en resistividad. C1, C2 y P1, P2 denotan la posición de los electrodos de corriente y potencial respectivamente.

VI.2. Resistividad

La resistividad eléctrica es una propiedad física de todos los materiales, no siendo la excepción los materiales geológicos que conforman la matriz del subsuelo. En general, los materiales de tamaño de grano grande, como arenas y gravas (no saturados), son más resistivos que los de granulometría fina como limos y arcilla (Doser et al., 2004).

Tabla I. Valores de resistividades comunes de las rocas y minerales (Palacky, 1987).



VI.3. Metodología de Adquisición de Datos

Para obtener la estratigrafía resistiva del subsuelo, se procedió utilizar el arreglo *Wenner alpha*, el cual fue pre-programado en el equipo multielectrodo inteligente ABEM Terrameter SAS-4000, generando la inyección de corriente y registrando el diferencial de potencial. La forma conceptual de la colocación de electrodos en el arreglo consiste en dos electrodos de acero (C1 y C2) para la inyección de corriente y dos electrodos de cobre (P1 y P2) para capturar la diferencia de potencial (Figura IV.3.1); los electrodos de corriente se colocan a una distancia mayor del centro del arreglo en comparación de los de potencial.

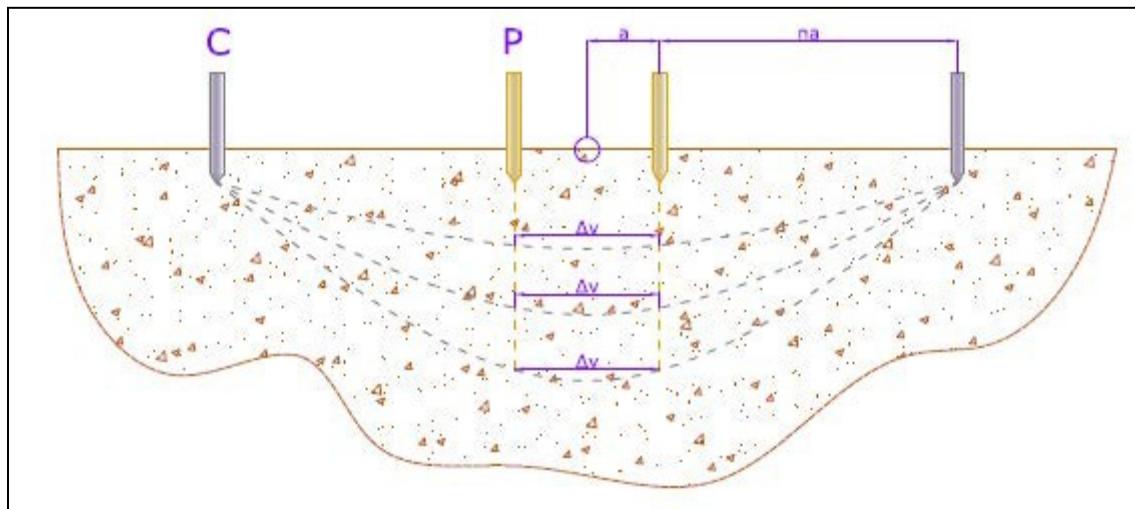


Figura IV.3.1 Fundamento básico de la Tomografía Eléctrica Resistiva.

VI.4. Procesamiento

Para el procesamiento de los datos de campo se utilizó el software RES2DINV, programa utilizado para interpolar e interpretar datos de resistividad. La inversión de los datos es elaborada por el método de mínimos cuadrados que envuelve métodos de elementos y diferencias finitas. El software acepta los distintos arreglos de tomografía (Wenner, Polo-Dipolo, Dipolo-Dipolo, Schlumberger, etc.) y como resultado mapea secciones transversales donde las resistividades quedan escaladas por contrastes de color, facilitando la interpretación de la TER (Figura VI.4.1).

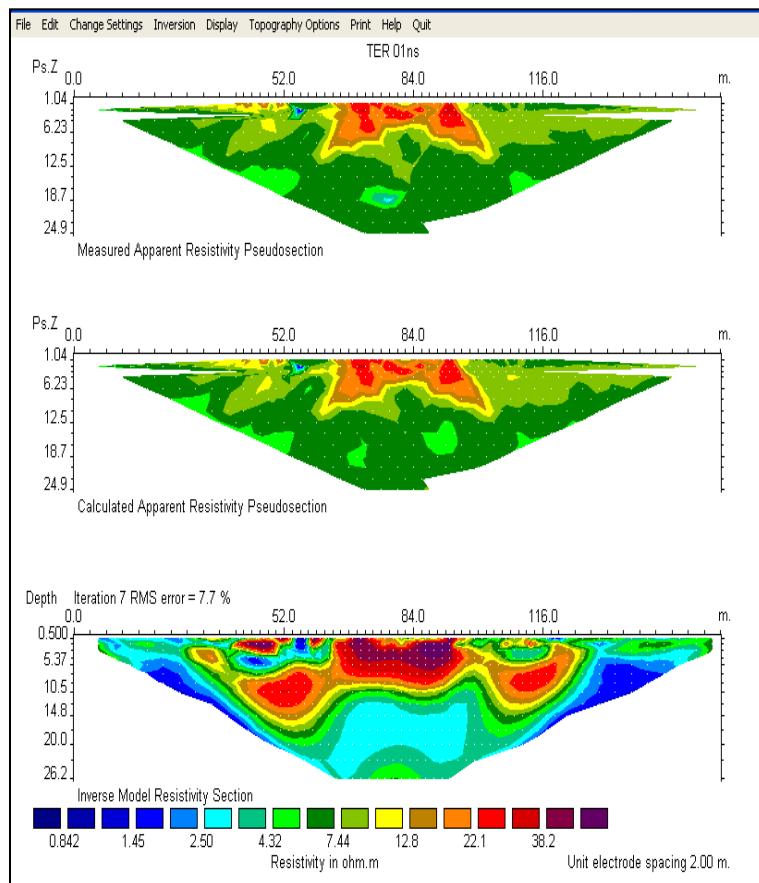


Figura VI.4.1 Sección invertida desplegada en el programa RES2DINV.

VII. TRABAJO DE CAMPO

Se realizaron cincuenta y dos (52) tendidos eléctricos resistivos de 40 m cada uno con una orientación Noroeste-Sureste, a lo largo del Bordo Miguel de la Madrid Hurtado (Figura VII.1). Las 52 secciones correspondientes a la adquisición en campo, se muestran a partir de las Figuras VII.2 a la VII.53.

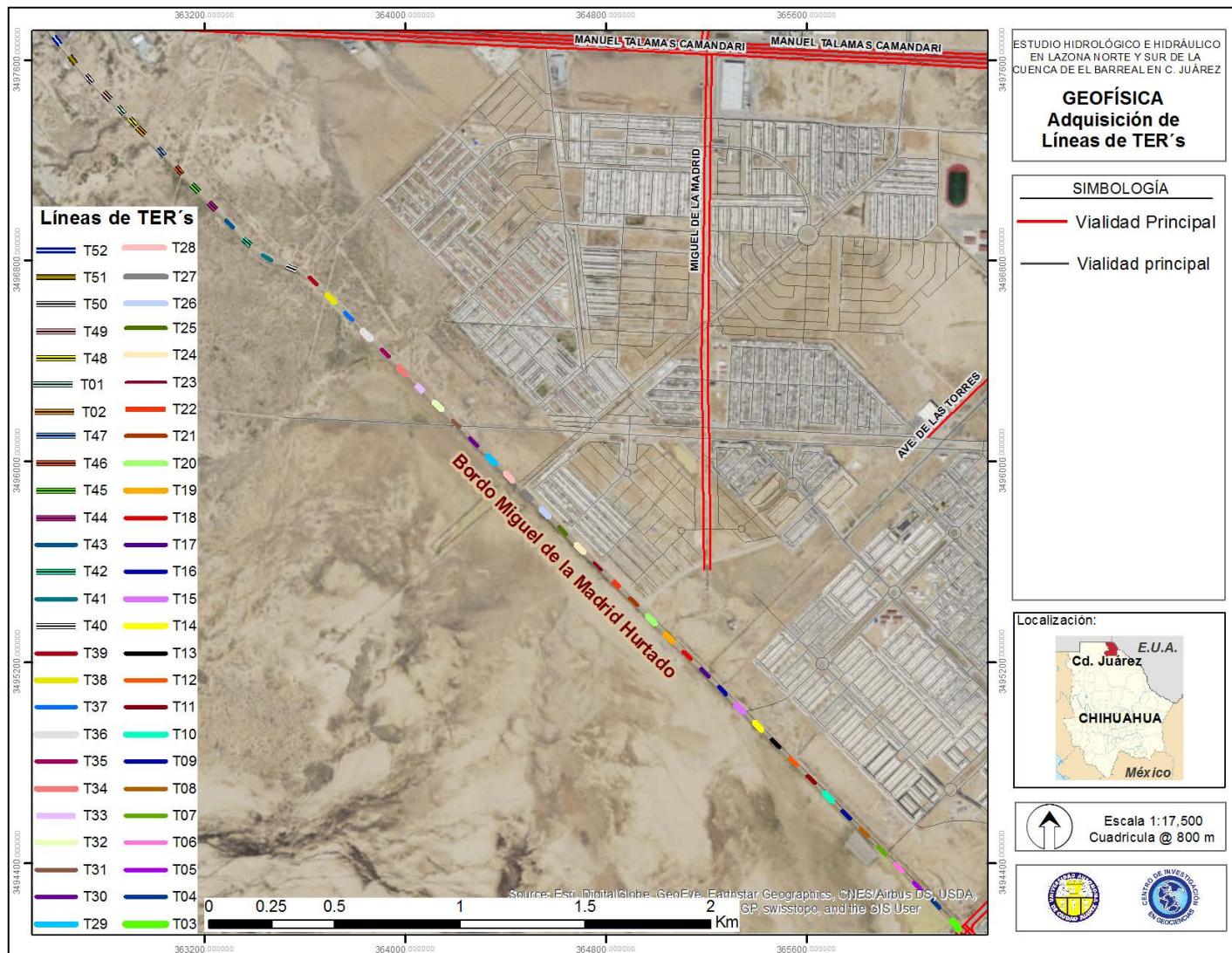


Figura VII.1 Localización de las 52 líneas de TER's en el BMMH.

**"ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO EN LA ZONA NORTE Y SUR DE LA CUENCA DE
EL BARREAL EN CIUDAD JUAREZ, CHIHUAHUA"**

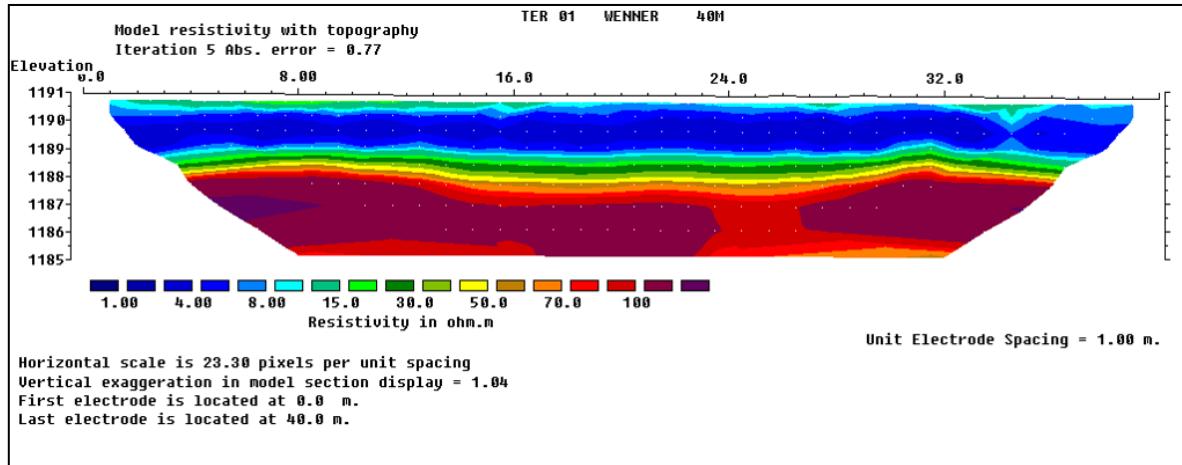


Figura VII.2. Sección TER 01, con orientación Noroeste-Sureste.

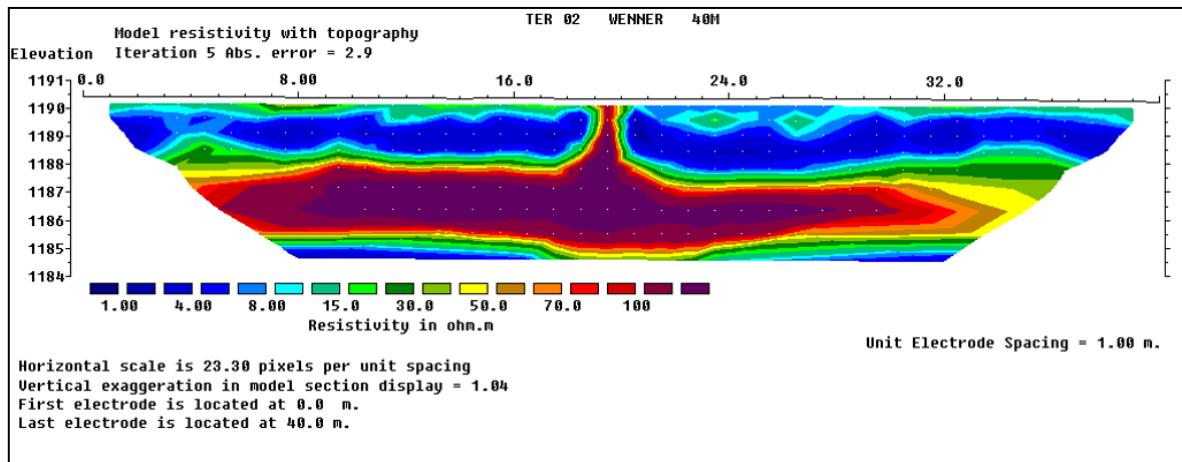


Figura VII.3. Sección TER 02, con orientación Noroeste-Sureste.

**"ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO EN LA ZONA NORTE Y SUR DE LA CUENCA DE
EL BARREAL EN CIUDAD JUAREZ, CHIHUAHUA"**

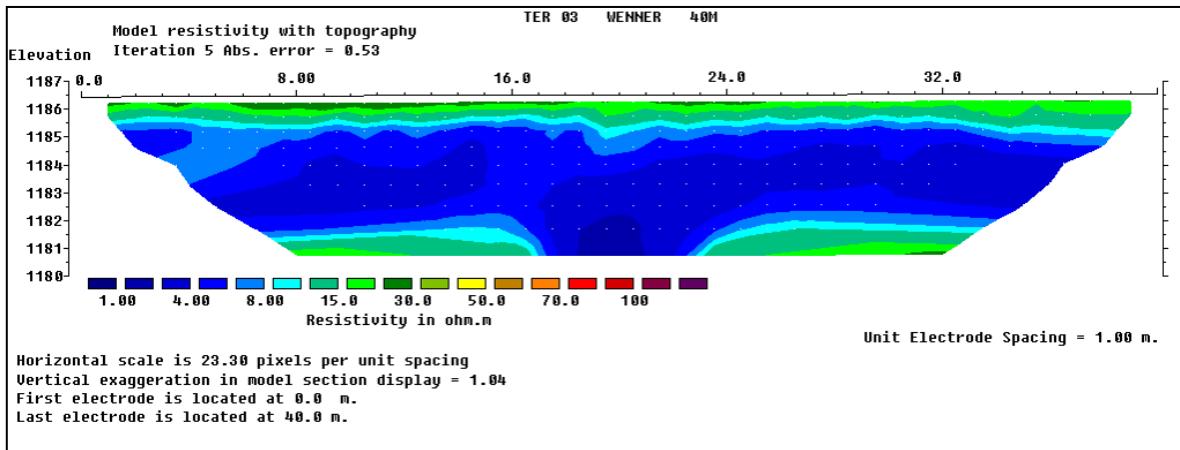


Figura VII.4. Sección TER 03, con orientación Noroeste-Sureste.

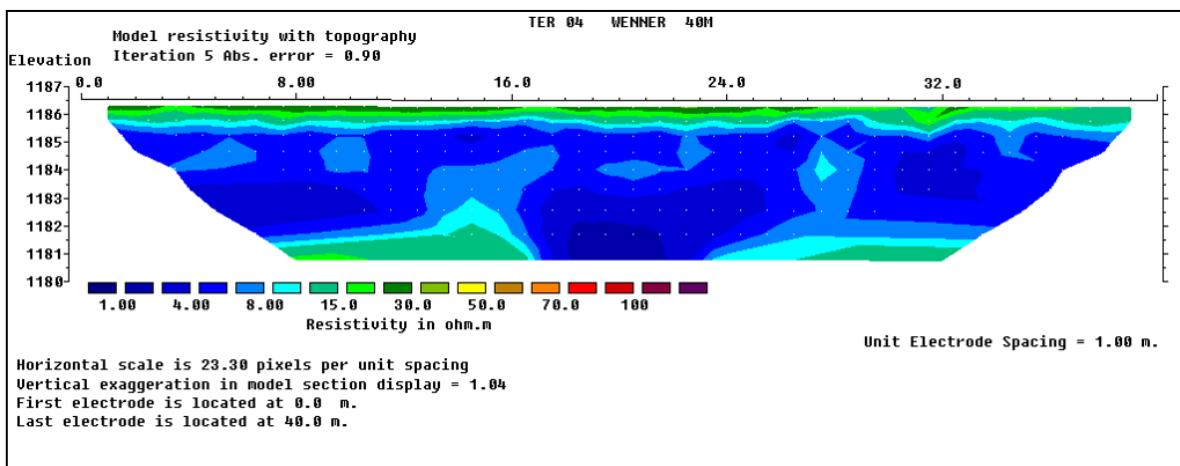


Figura VII.5. Sección TER 04, con orientación Noroeste-Sureste.

**"ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO EN LA ZONA NORTE Y SUR DE LA CUENCA DE
EL BARREAL EN CIUDAD JUAREZ, CHIHUAHUA"**

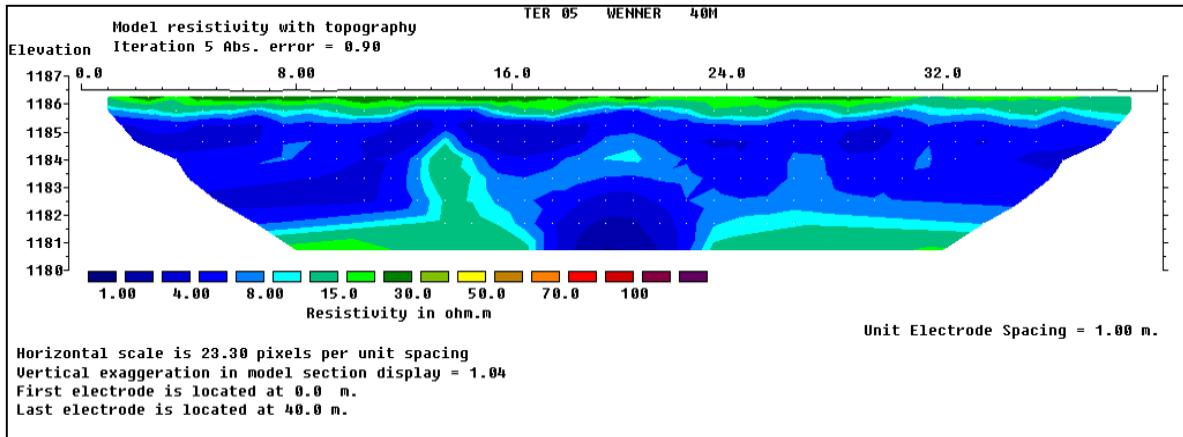


Figura VII.6. Sección TER 05, con orientación Noroeste-Sureste.

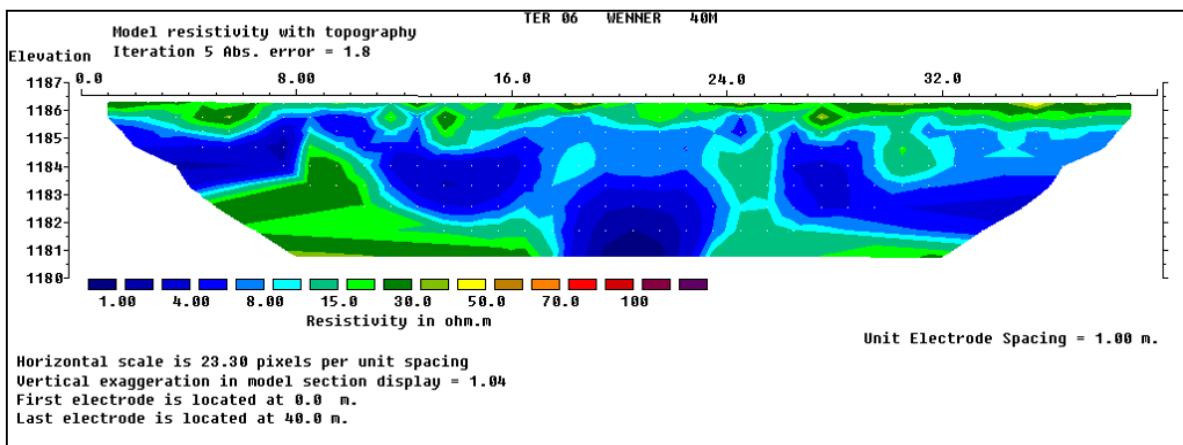


Figura VII.7. Sección TER 06, con orientación Noroeste-Sureste.

**"ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO EN LA ZONA NORTE Y SUR DE LA CUENCA DE
EL BARREAL EN CIUDAD JUAREZ, CHIHUAHUA"**

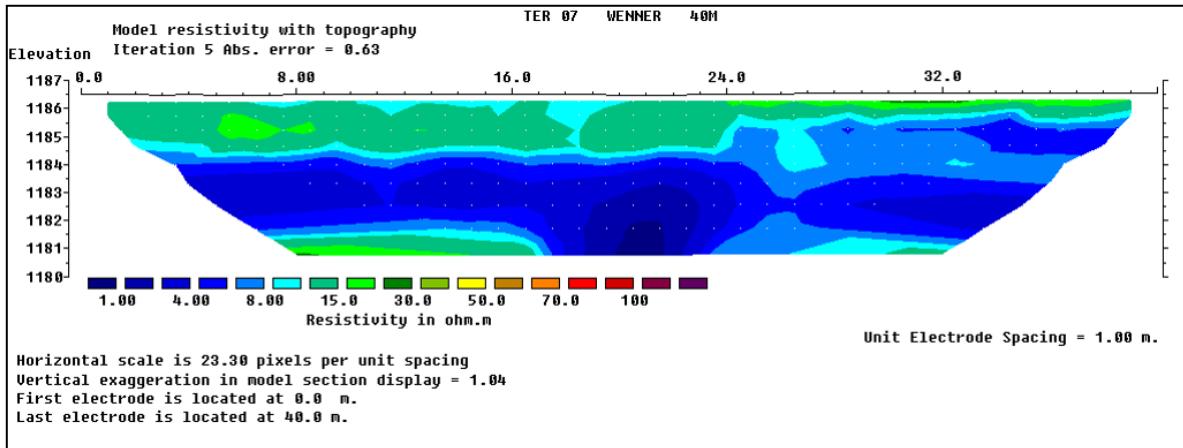


Figura VII.8. Sección TER 07, con orientación Noroeste-Sureste.

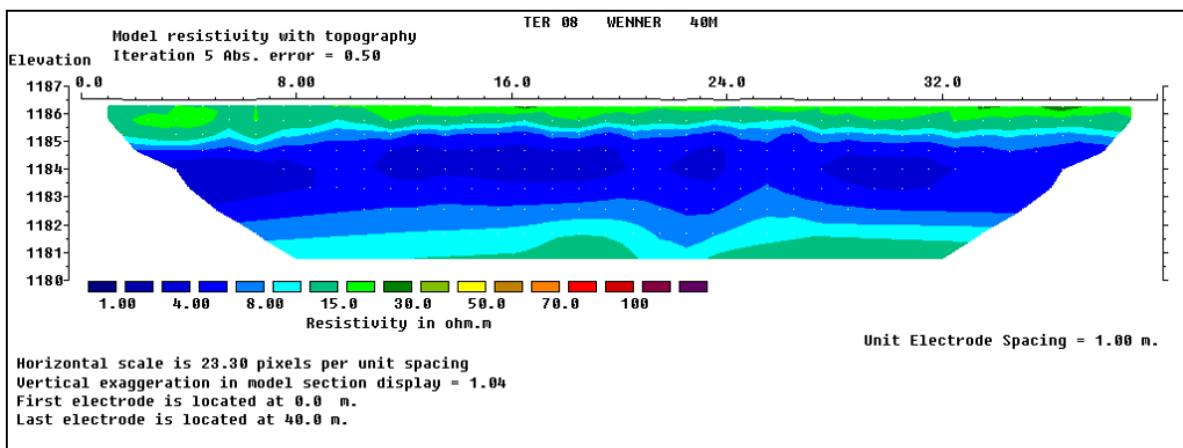


Figura VII.9. Sección TER 08, con orientación Noroeste-Sureste.

**"ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO EN LA ZONA NORTE Y SUR DE LA CUENCA DE
EL BARREAL EN CIUDAD JUAREZ, CHIHUAHUA"**

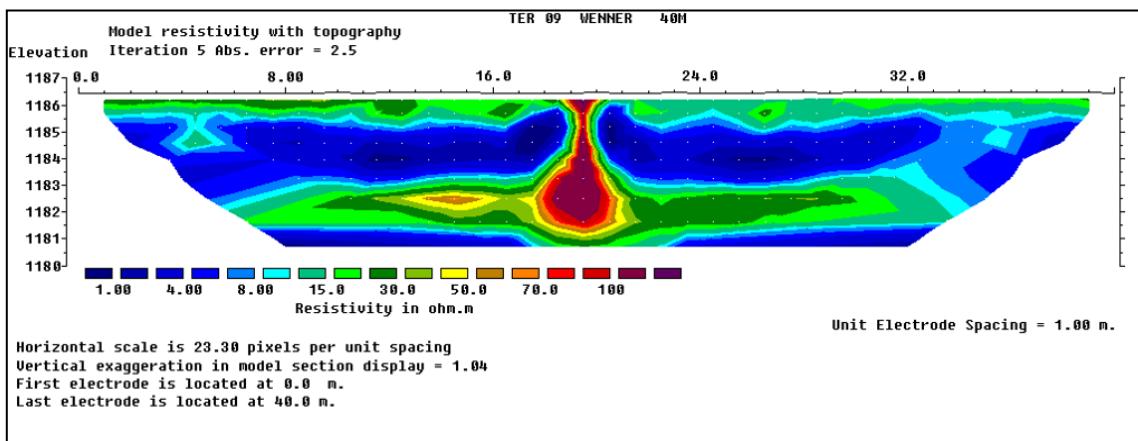


Figura VII.10. Sección TER 09, con orientación Noroeste-Sureste.

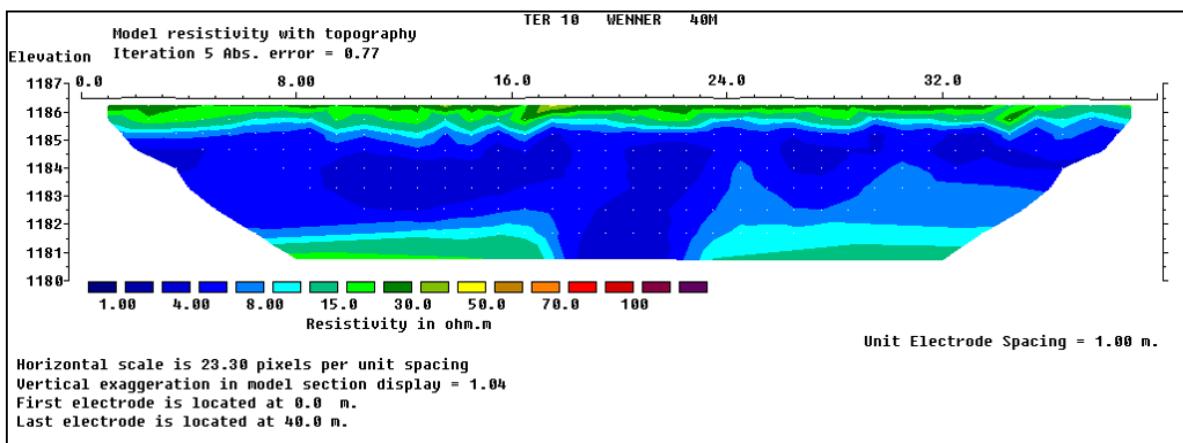


Figura VII.11. Sección TER 10, con orientación Noroeste-Sureste.

**"ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO EN LA ZONA NORTE Y SUR DE LA CUENCA DE
EL BARREAL EN CIUDAD JUAREZ, CHIHUAHUA"**

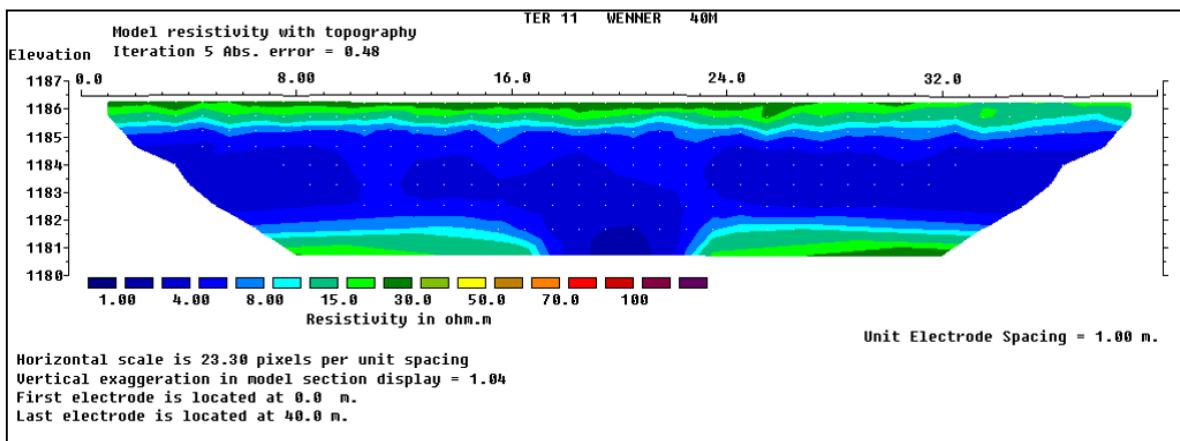


Figura VII.12. Sección TER 11, con orientación Noroeste-Sureste.

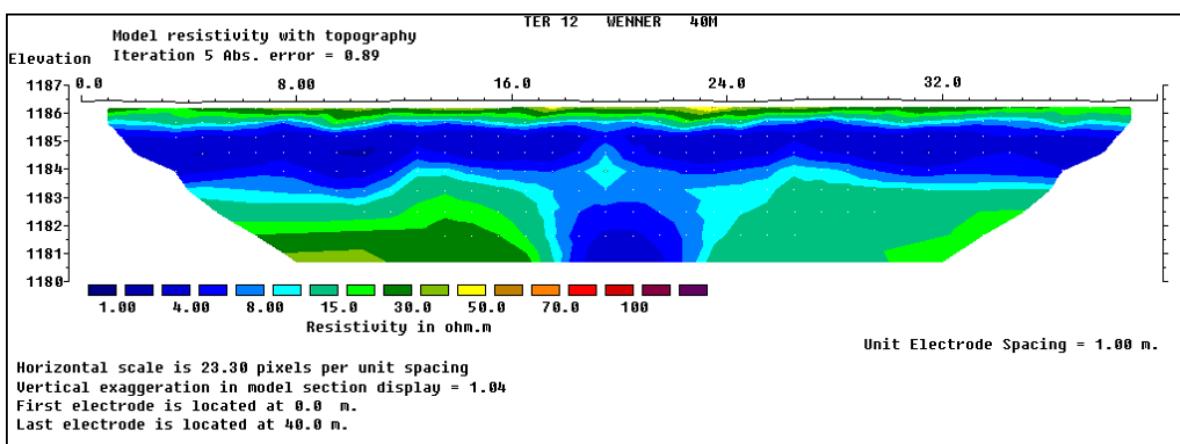


Figura VII.13. Sección TER 12, con orientación Noroeste-Sureste.

**"ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO EN LA ZONA NORTE Y SUR DE LA CUENCA DE
EL BARREAL EN CIUDAD JUAREZ, CHIHUAHUA"**

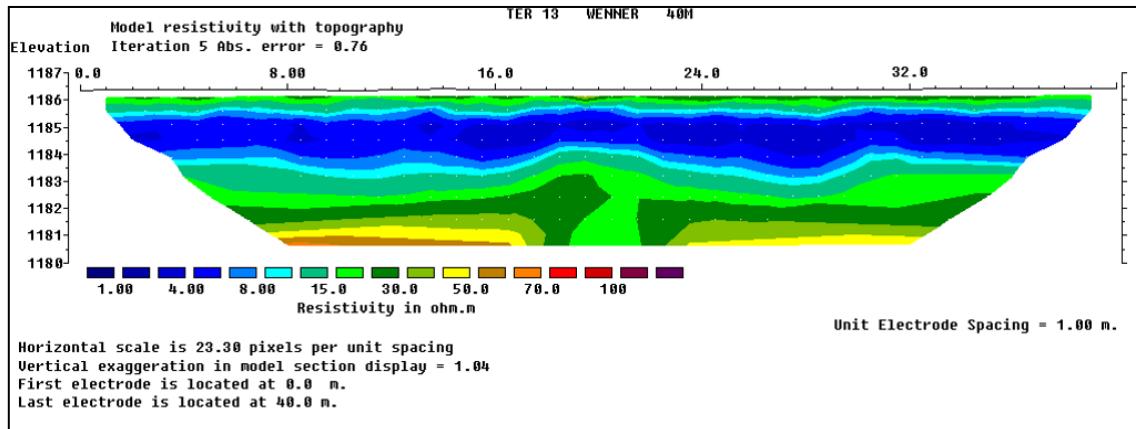


Figura VII.14. Sección TER 13, con orientación Noroeste-Sureste.

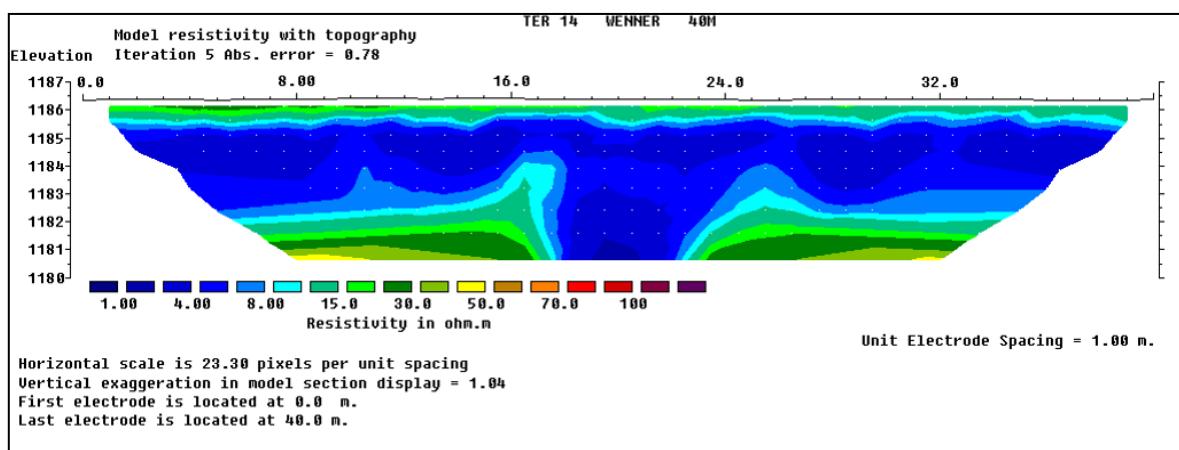


Figura VII.15. Sección TER 14, con orientación Noroeste-Sureste.

**"ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO EN LA ZONA NORTE Y SUR DE LA CUENCA DE
EL BARREAL EN CIUDAD JUAREZ, CHIHUAHUA"**

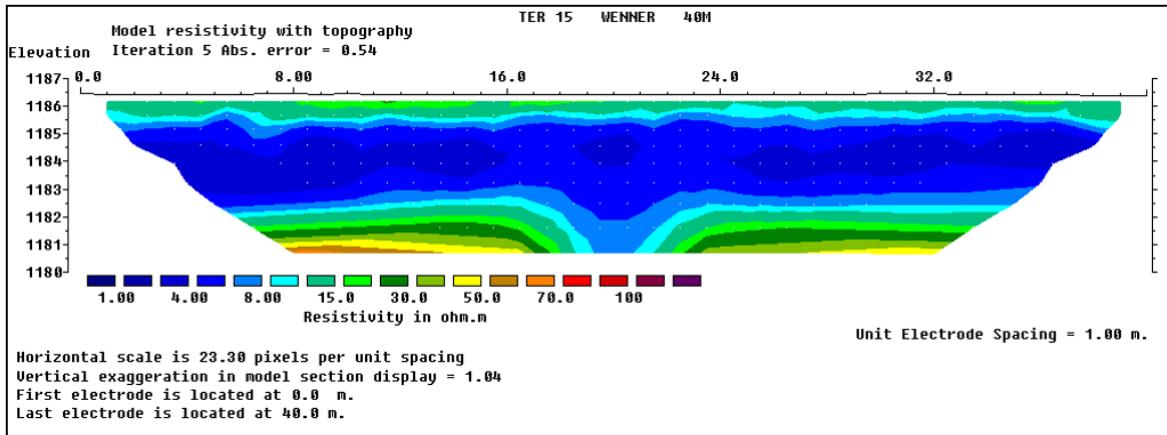


Figura VII.16. Sección TER 15, con orientación Noroeste-Sureste.

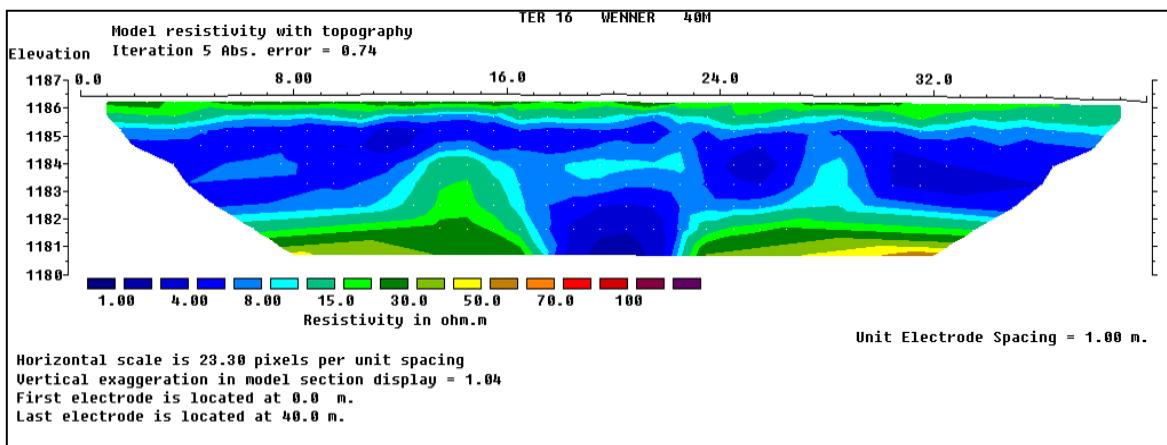


Figura VII.17. Sección TER 16, con orientación Noroeste-Sureste.

**“ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO EN LA ZONA NORTE Y SUR DE LA CUENCA DE
EL BARREAL EN CIUDAD JUAREZ, CHIHUAHUA”**

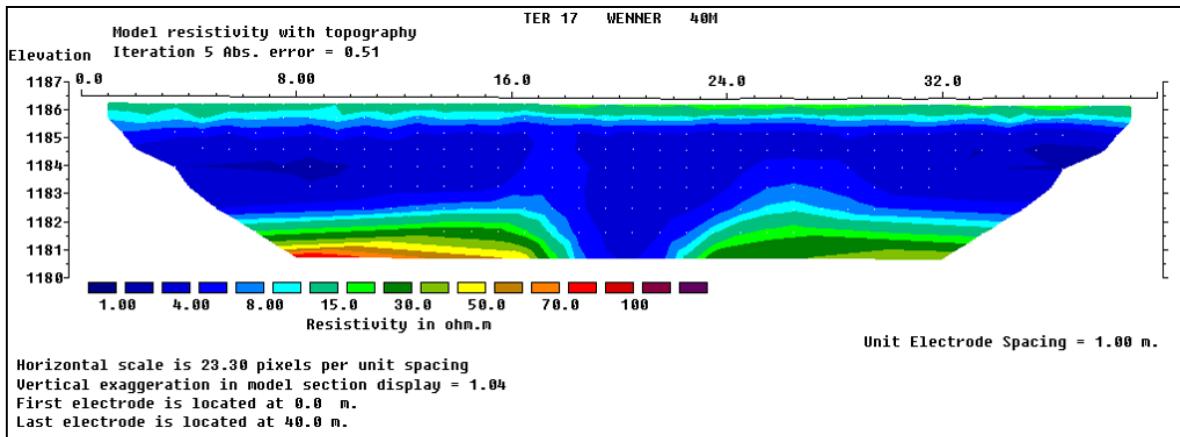


Figura VII.18. Sección TER 17, con orientación Noroeste-Sureste.

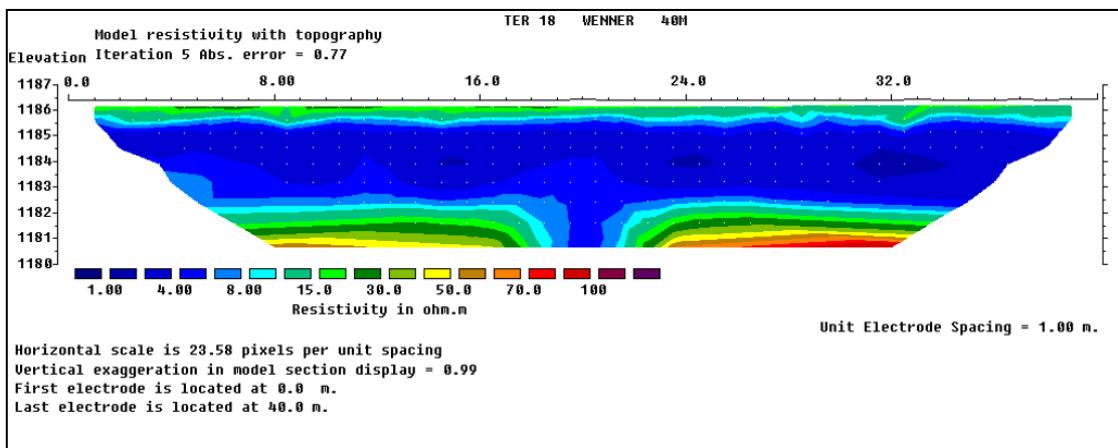


Figura VII.19. Sección TER 18, con orientación Noroeste-Sureste.

**"ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO EN LA ZONA NORTE Y SUR DE LA CUENCA DE
EL BARREAL EN CIUDAD JUAREZ, CHIHUAHUA"**

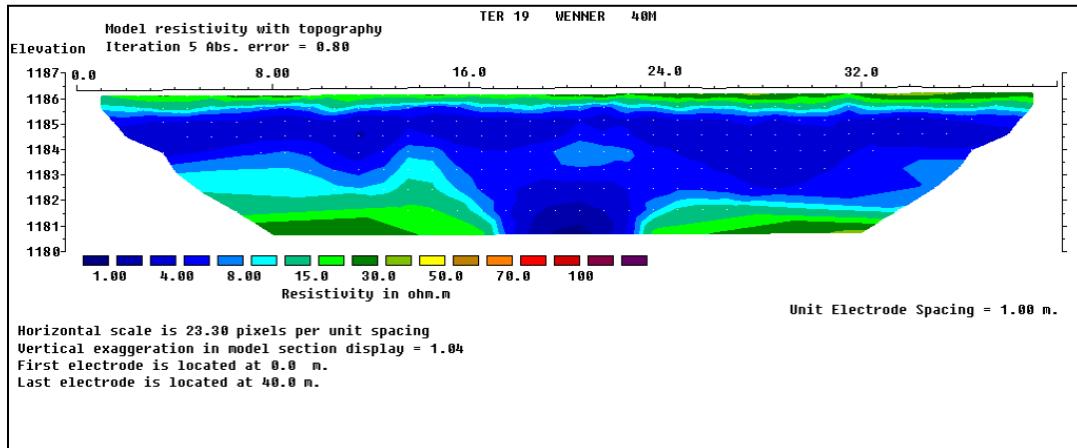


Figura VII.20. Sección TER 19, con orientación Noroeste-Sureste.

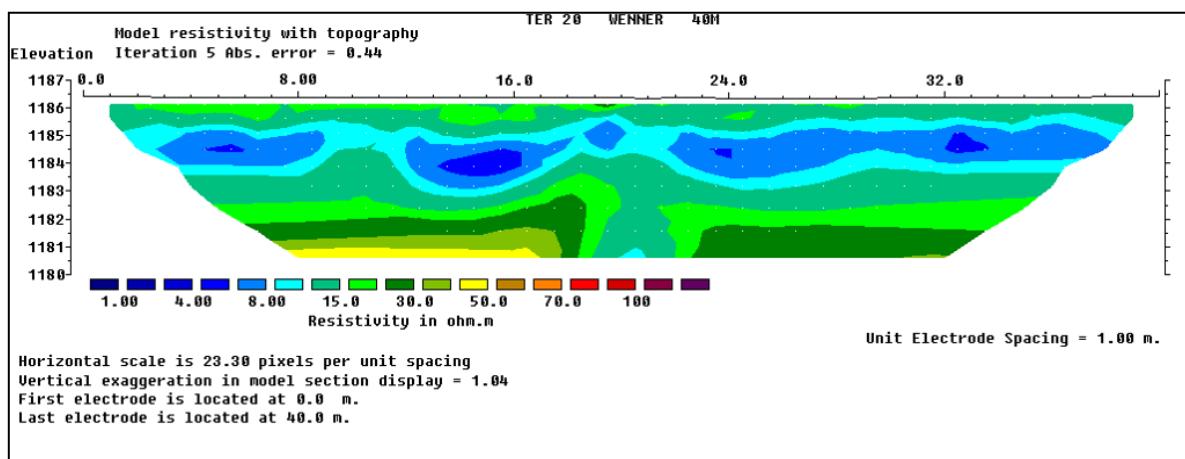


Figura VII.21. Sección TER 20, con orientación Noroeste-Sureste.

**"ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO EN LA ZONA NORTE Y SUR DE LA CUENCA DE
EL BARREAL EN CIUDAD JUAREZ, CHIHUAHUA"**

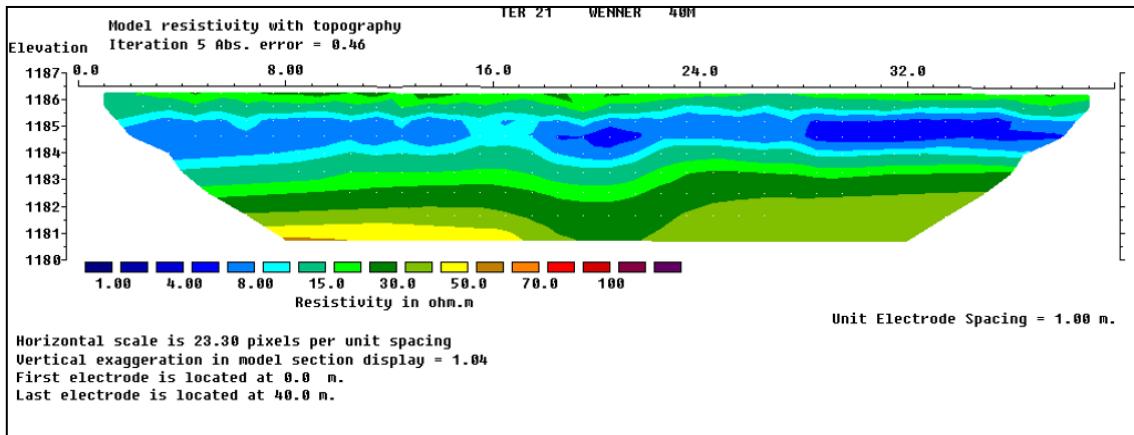


Figura VII.22. Sección TER 21, con orientación Noroeste-Sureste.

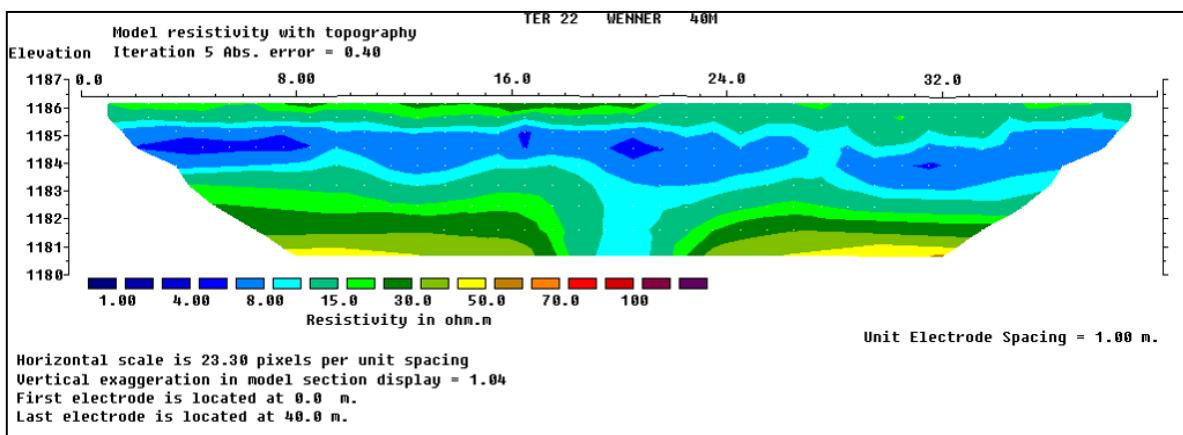


Figura VII.23. Sección TER 22, con orientación Noroeste-Sureste.

**"ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO EN LA ZONA NORTE Y SUR DE LA CUENCA DE
EL BARREAL EN CIUDAD JUAREZ, CHIHUAHUA"**

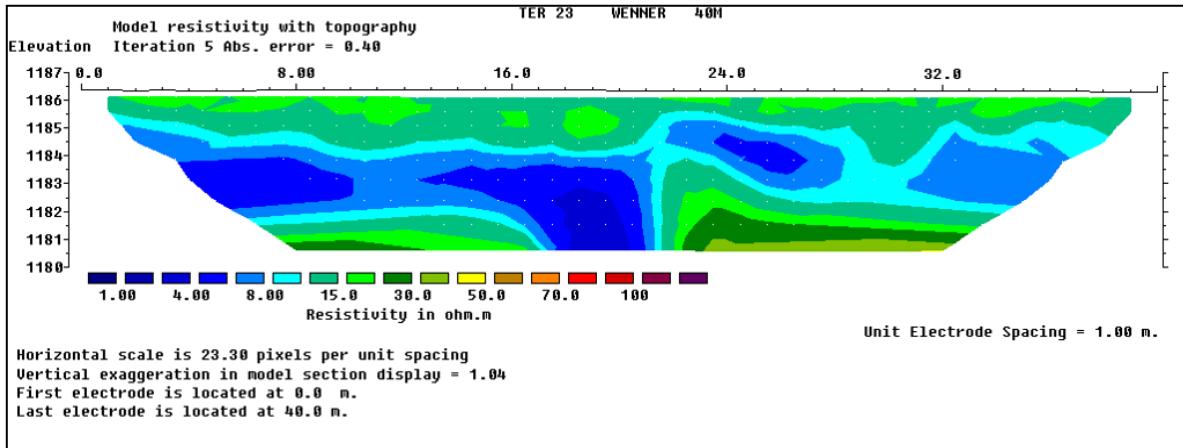


Figura VII.24. Sección TER 23, con orientación Noroeste-Sureste.

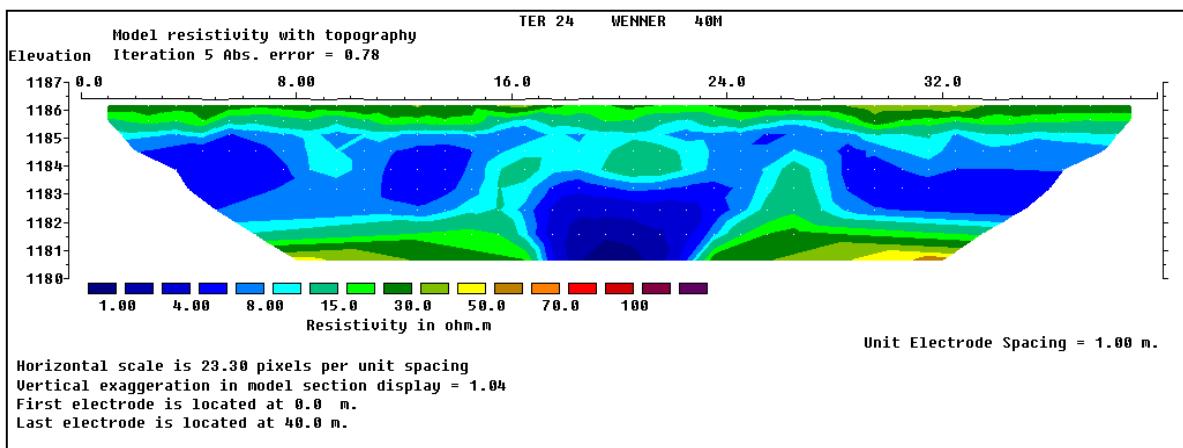


Figura VII.25. Sección TER 24, con orientación Noroeste-Sureste.

"ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO EN LA ZONA NORTE Y SUR DE LA CUENCA DE EL BARREAL EN CIUDAD JUAREZ, CHIHUAHUA"

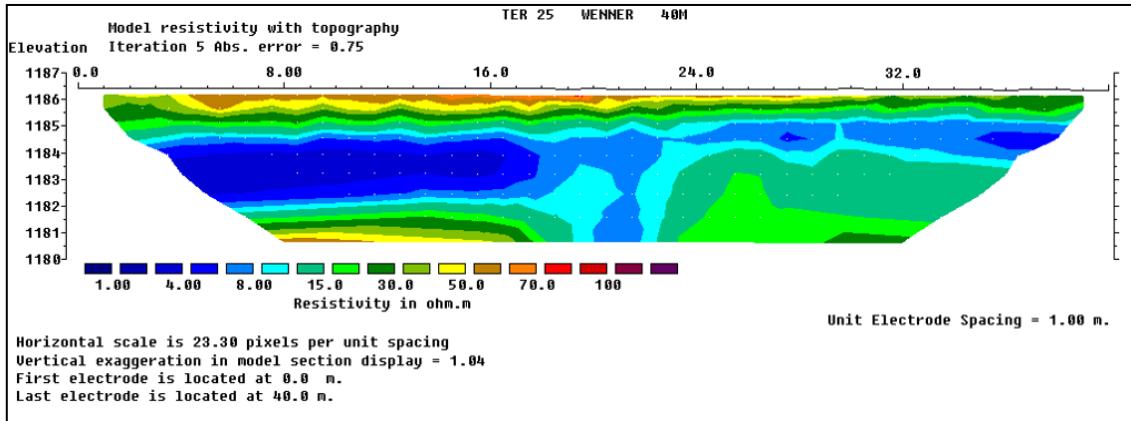


Figura VII.26. Sección TER 25, con orientación Noroeste-Sureste.

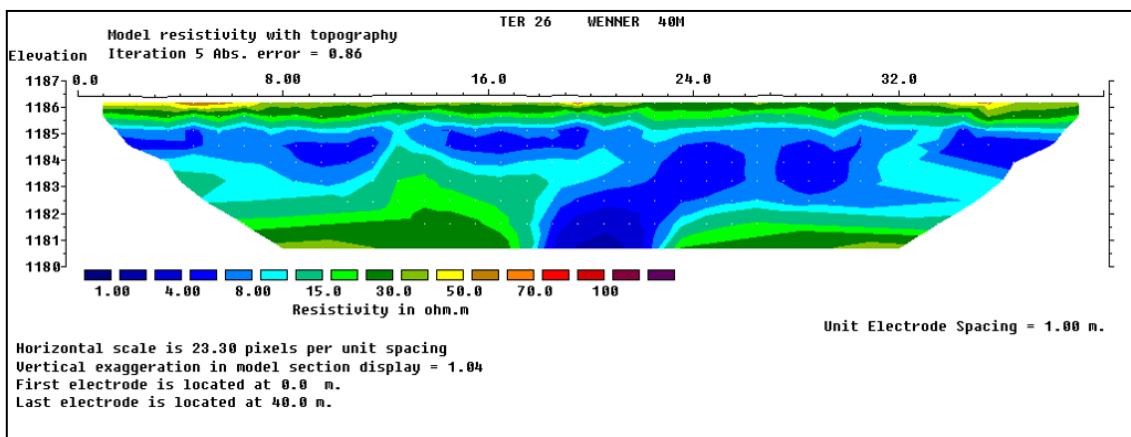


Figura VII.27. Sección TER 26, con orientación Noroeste-Sureste.

**“ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO EN LA ZONA NORTE Y SUR DE LA CUENCA DE
EL BARREAL EN CIUDAD JUAREZ, CHIHUAHUA”**

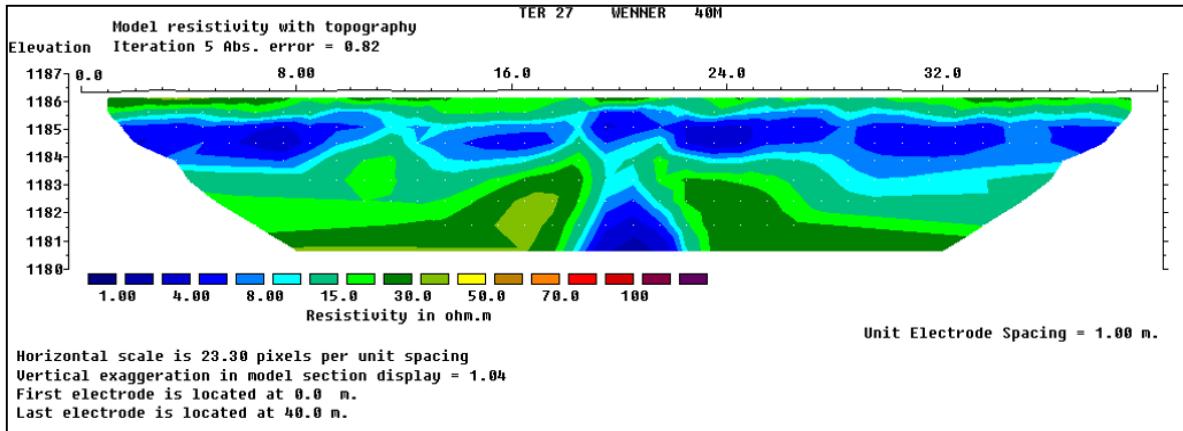


Figura VII.28. Sección TER 27, con orientación Noroeste-Sureste.

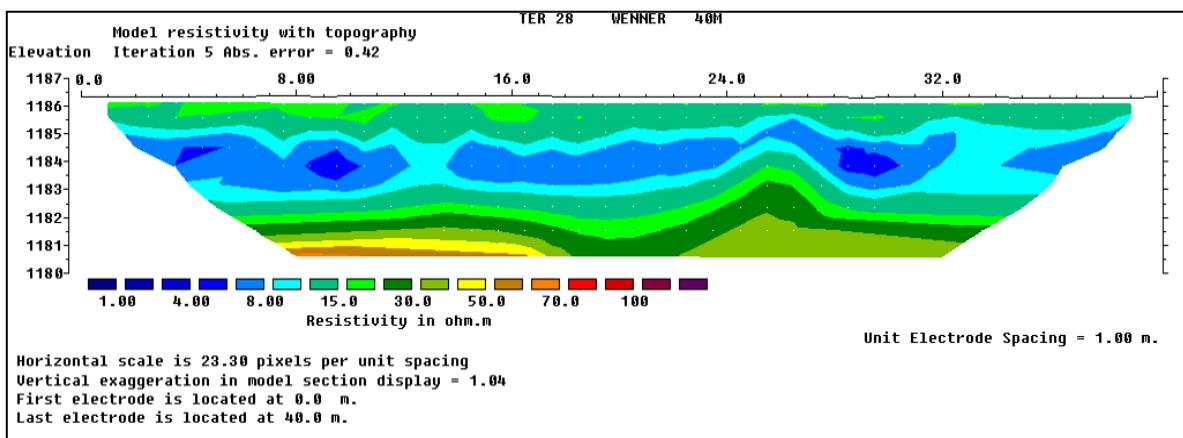


Figura VII.29. Sección TER 28, con orientación Noroeste-Sureste.

**“ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO EN LA ZONA NORTE Y SUR DE LA CUENCA DE
EL BARREAL EN CIUDAD JUAREZ, CHIHUAHUA”**

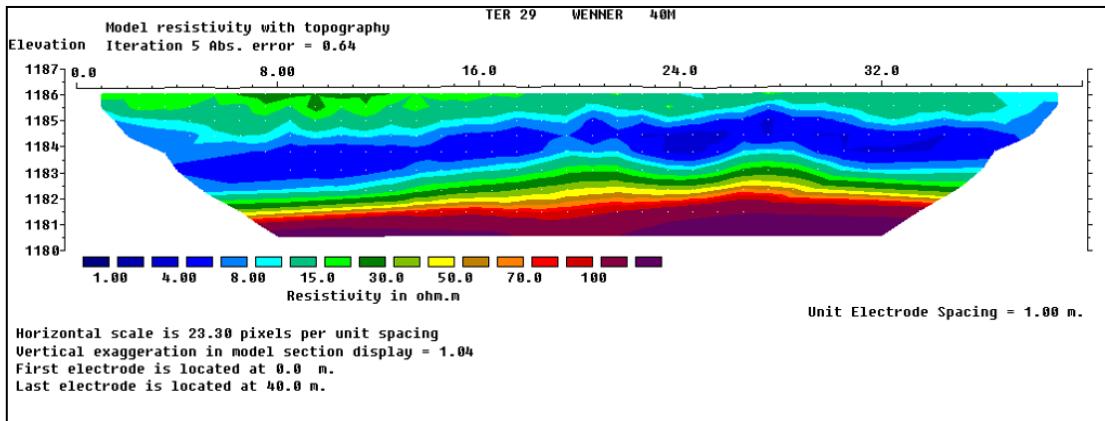


Figura VII.30. Sección TER 29, con orientación Noroeste-Sureste.

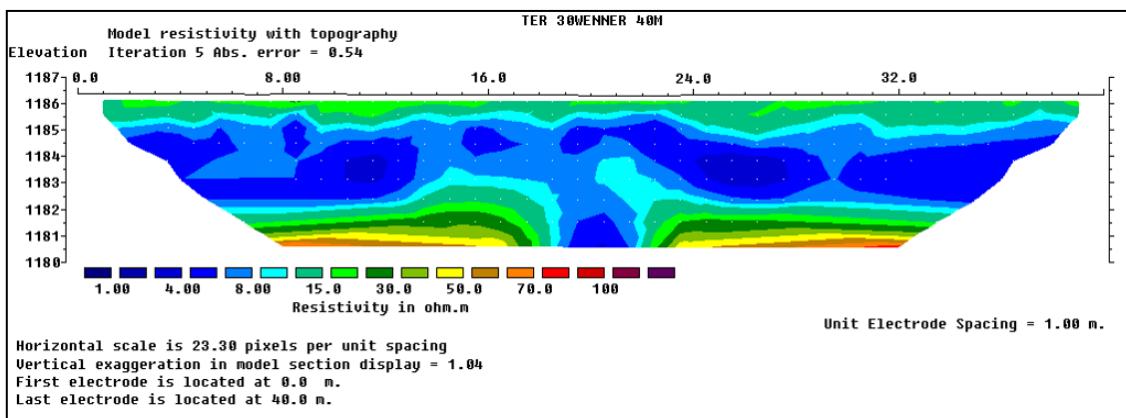


Figura VII.31. Sección TER 30, con orientación Noroeste-Sureste.

**"ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO EN LA ZONA NORTE Y SUR DE LA CUENCA DE
EL BARREAL EN CIUDAD JUAREZ, CHIHUAHUA"**

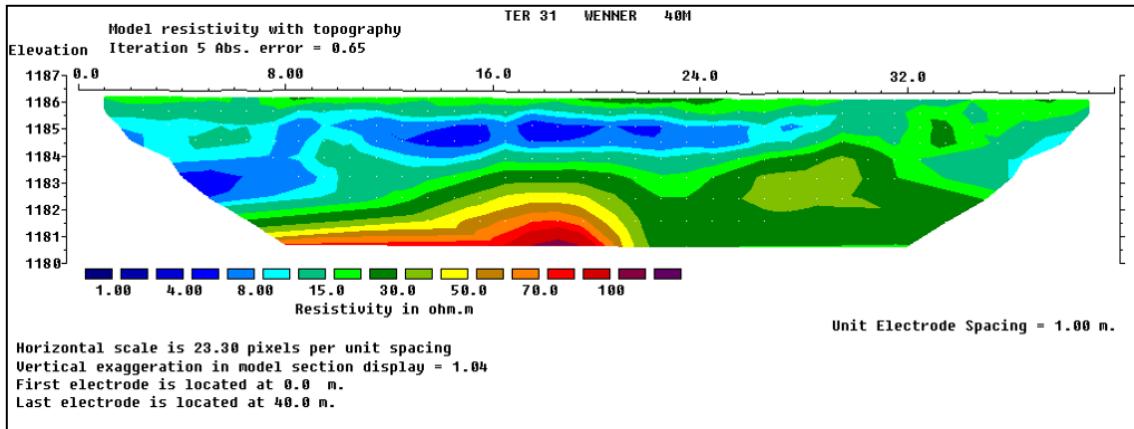


Figura VII.32. Sección TER 31, con orientación Noroeste-Sureste.

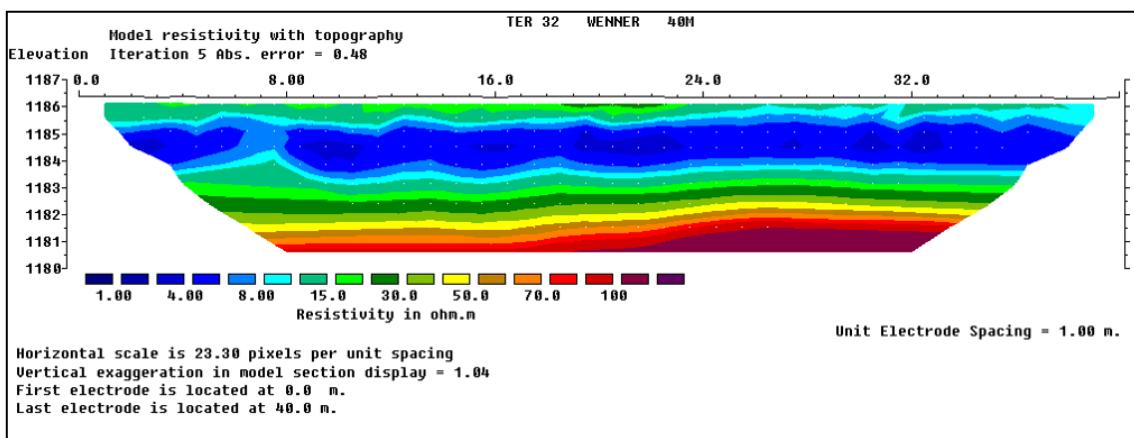


Figura VII.33. Sección TER 32, con orientación Noroeste-Sureste.

**“ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO EN LA ZONA NORTE Y SUR DE LA CUENCA DE
EL BARREAL EN CIUDAD JUAREZ, CHIHUAHUA”**

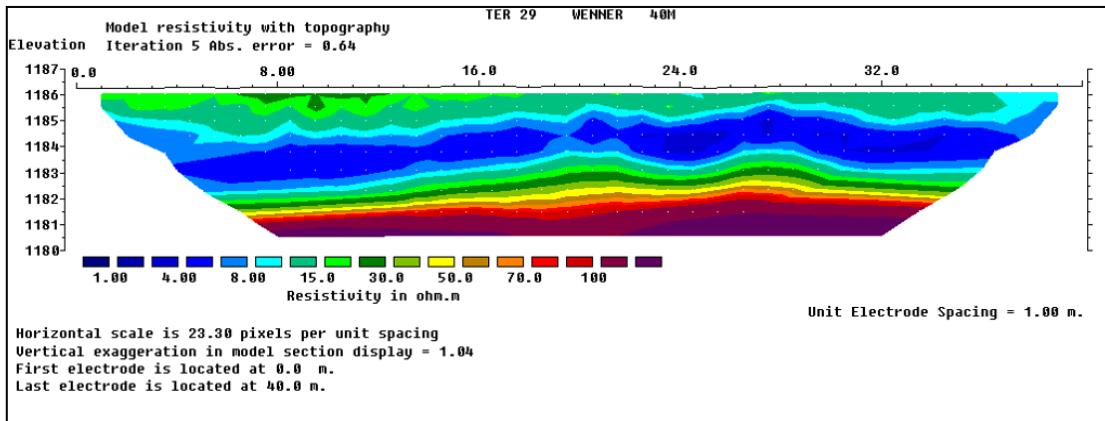


Figura VII.30. Sección TER 29, con orientación Noroeste-Sureste.

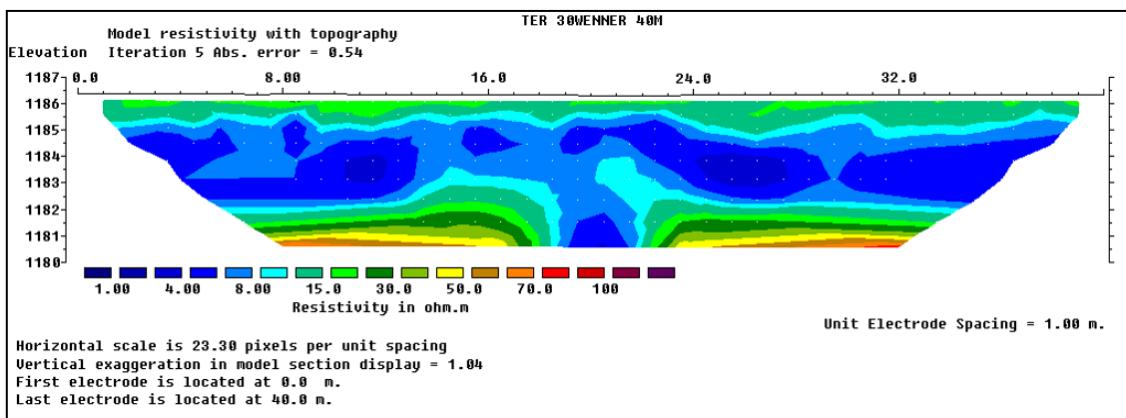


Figura VII.31. Sección TER 30, con orientación Noroeste-Sureste.

**“ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO EN LA ZONA NORTE Y SUR DE LA CUENCA DE
EL BARREAL EN CIUDAD JUAREZ, CHIHUAHUA”**

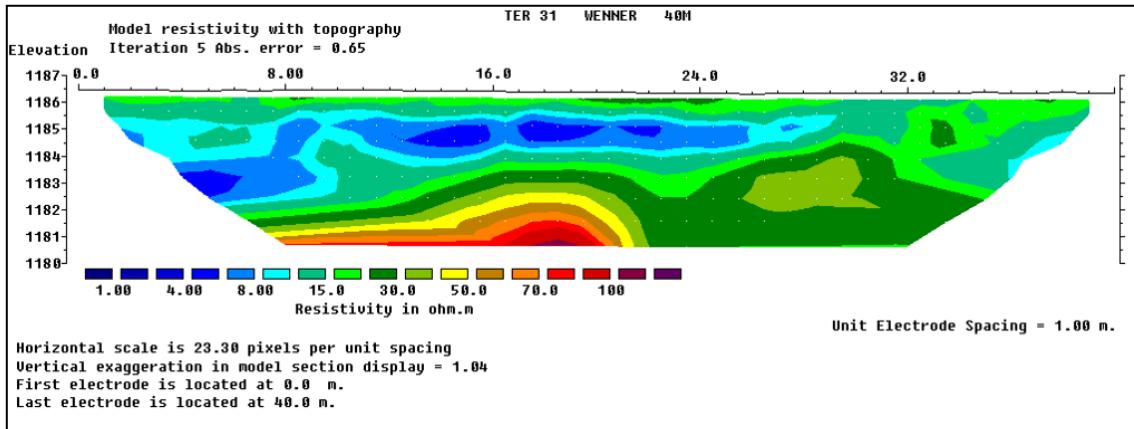


Figura VII.32. Sección TER 31, con orientación Noroeste-Sureste.

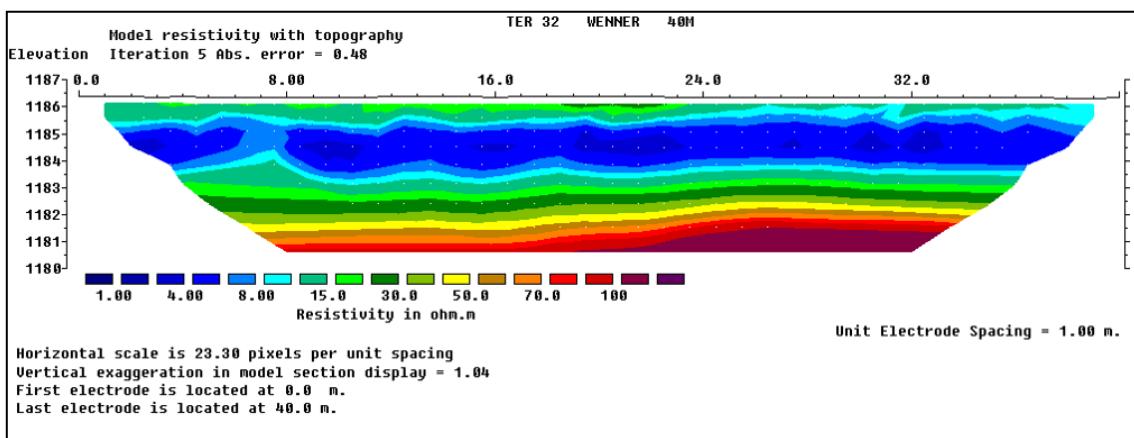


Figura VII.33. Sección TER 32, con orientación Noroeste-Sureste.

**"ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO EN LA ZONA NORTE Y SUR DE LA CUENCA DE
EL BARREAL EN CIUDAD JUAREZ, CHIHUAHUA"**

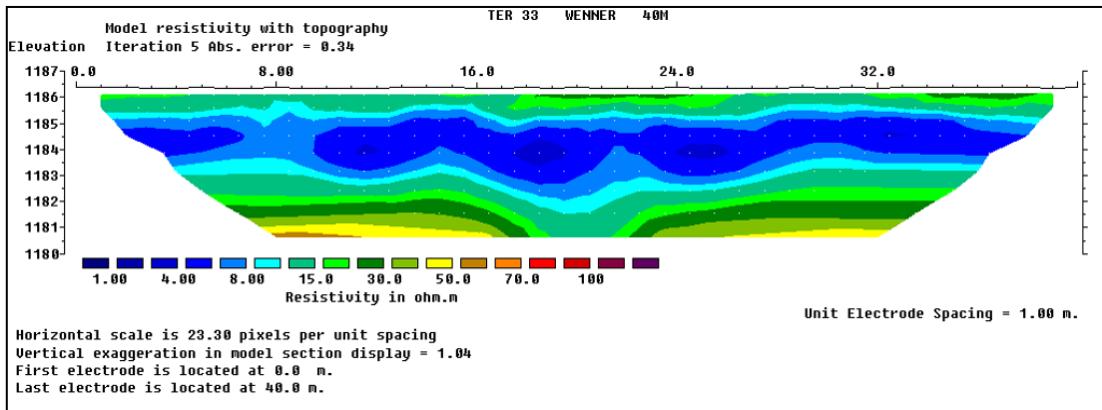


Figura VII.34. Sección TER 33, con orientación Noroeste-Sureste.

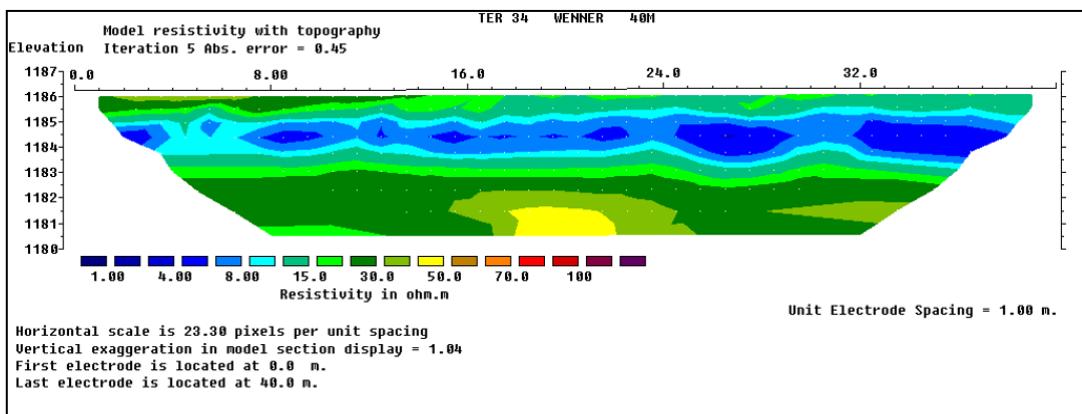


Figura VII.35. Sección TER 34, con orientación Noroeste-Sureste.

**"ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO EN LA ZONA NORTE Y SUR DE LA CUENCA DE
EL BARREAL EN CIUDAD JUAREZ, CHIHUAHUA"**

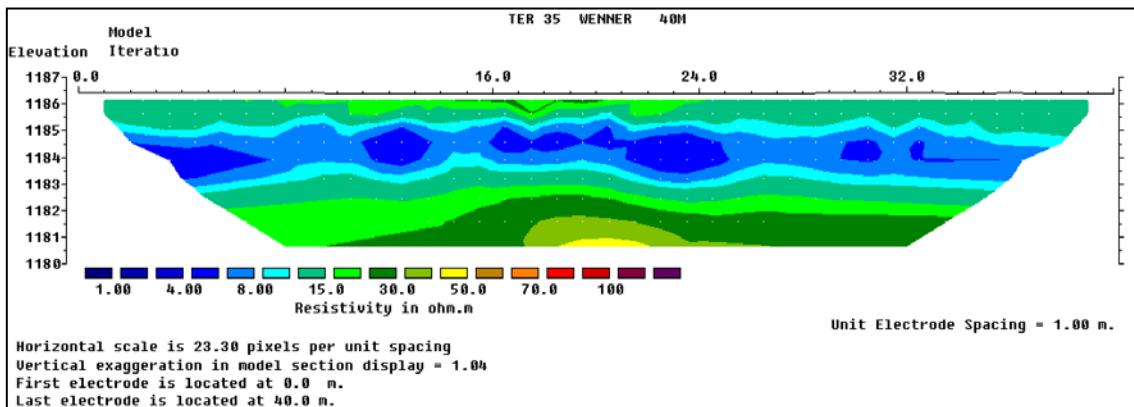


Figura VII.36. Sección TER 35, con orientación Noroeste-Sureste.

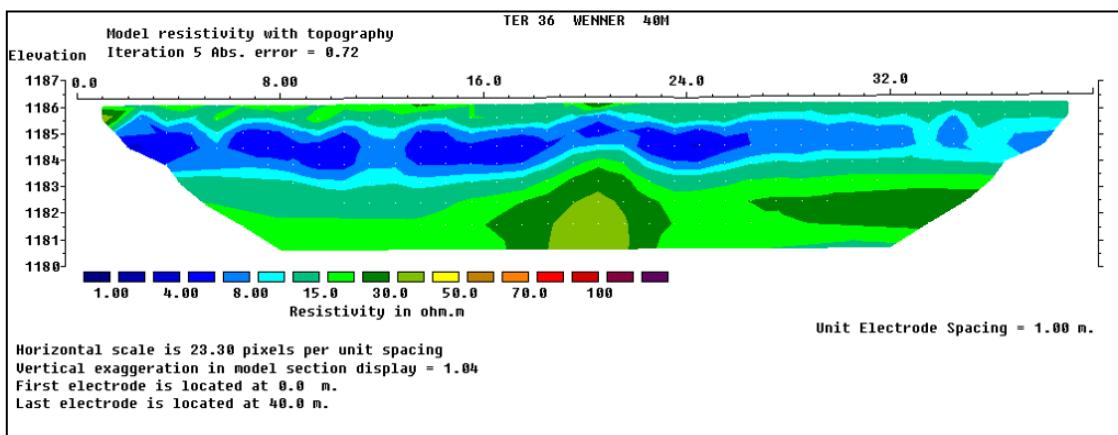


Figura VII.37. Sección TER 36, con orientación Noroeste-Sureste.

**"ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO EN LA ZONA NORTE Y SUR DE LA CUENCA DE
EL BARREAL EN CIUDAD JUAREZ, CHIHUAHUA"**

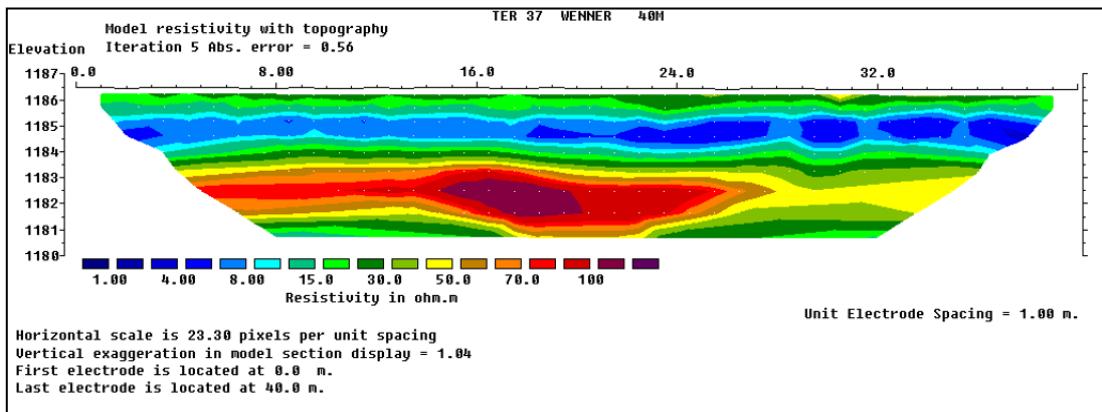


Figura VII.38. Sección TER 37, con orientación Noroeste-Sureste.

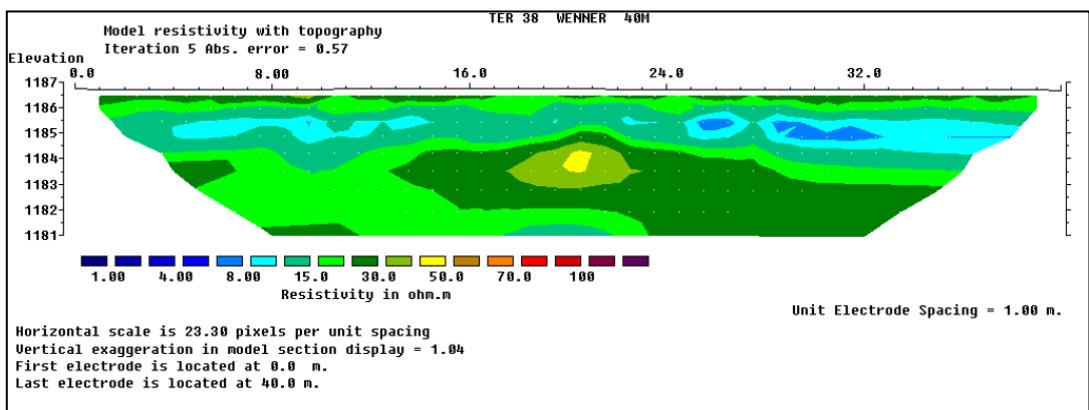


Figura VII.39. Sección TER 38, con orientación Noroeste-Sureste.

**“ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO EN LA ZONA NORTE Y SUR DE LA CUENCA DE
EL BARREAL EN CIUDAD JUAREZ, CHIHUAHUA”**

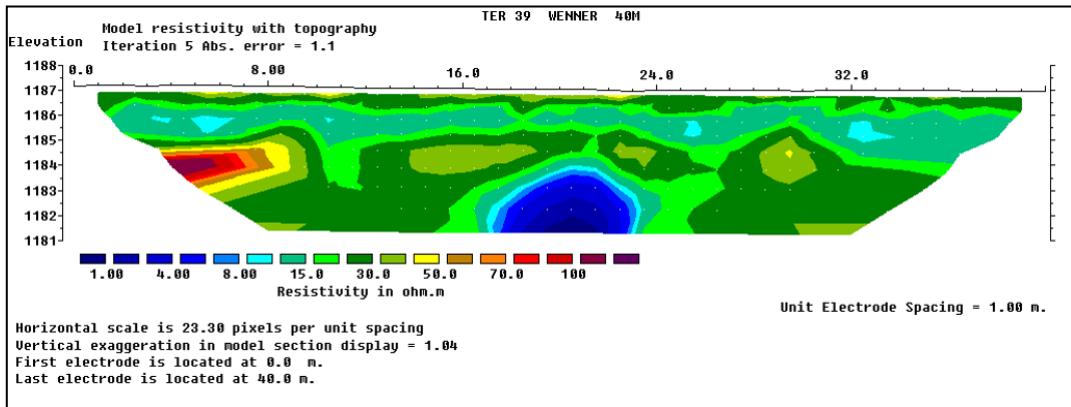


Figura VII.40. Sección TER 39, con orientación Noroeste-Sureste.

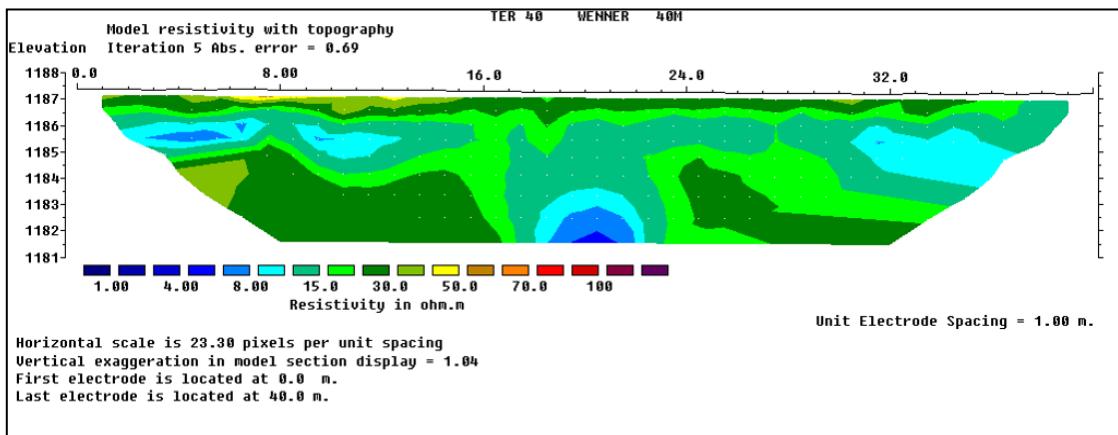


Figura VII.41. Sección TER 40, con orientación Noroeste-Sureste.

**“ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO EN LA ZONA NORTE Y SUR DE LA CUENCA DE
EL BARREAL EN CIUDAD JUAREZ, CHIHUAHUA”**

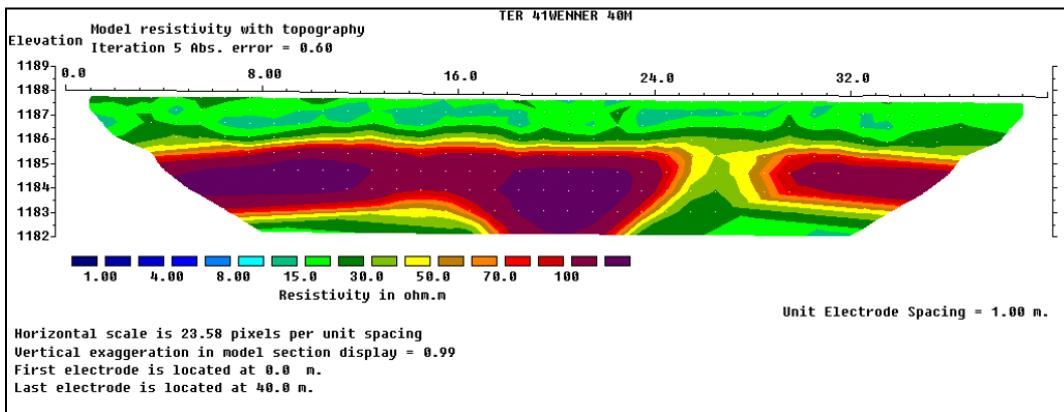


Figura VII.42. Sección TER 41, con orientación Noroeste-Sureste.

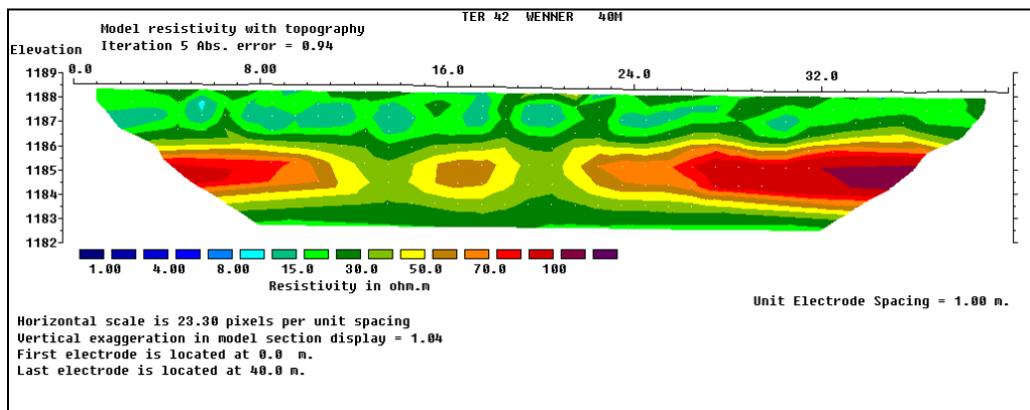


Figura VII.43. Sección TER 42, con orientación Noroeste-Sureste.

**“ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO EN LA ZONA NORTE Y SUR DE LA CUENCA DE
EL BARREAL EN CIUDAD JUAREZ, CHIHUAHUA”**

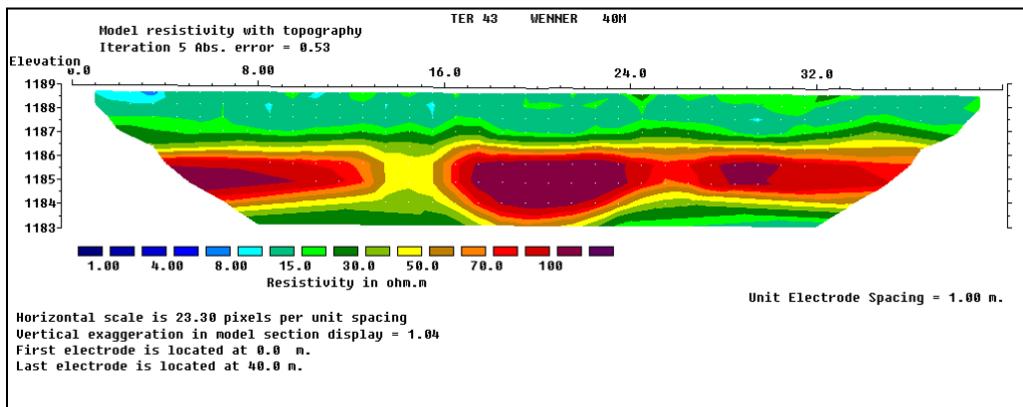


Figura VII.44. Sección TER 43, con orientación Noroeste-Sureste.

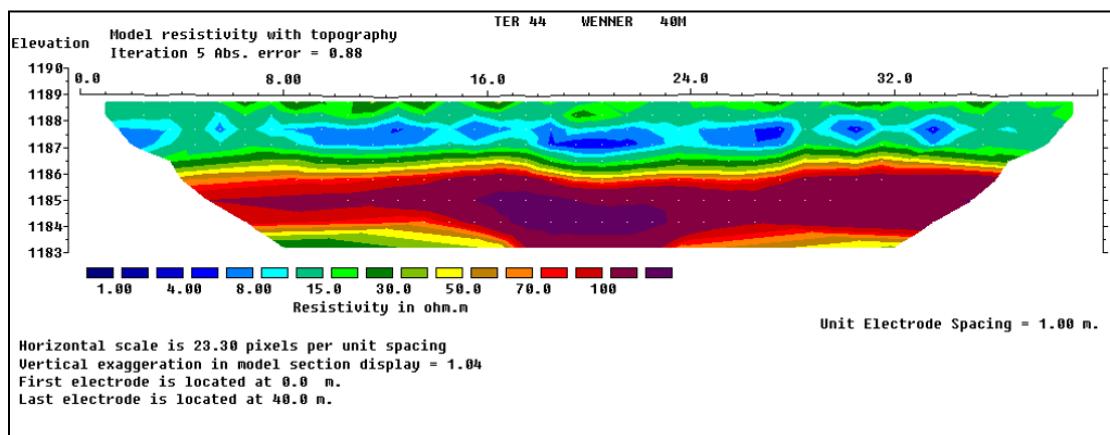


Figura VII.45. Sección TER 44, con orientación Noroeste-Sureste.

**“ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO EN LA ZONA NORTE Y SUR DE LA CUENCA DE
EL BARREAL EN CIUDAD JUAREZ, CHIHUAHUA”**

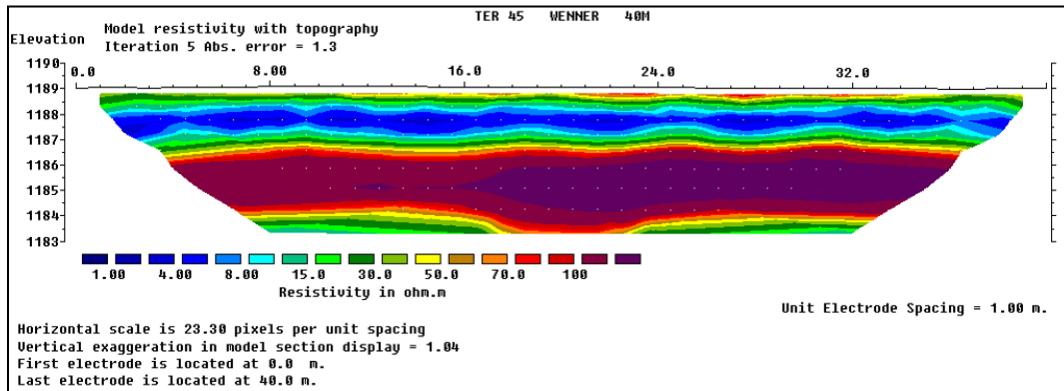


Figura VII.46. Sección TER 45, con orientación Noroeste-Sureste.

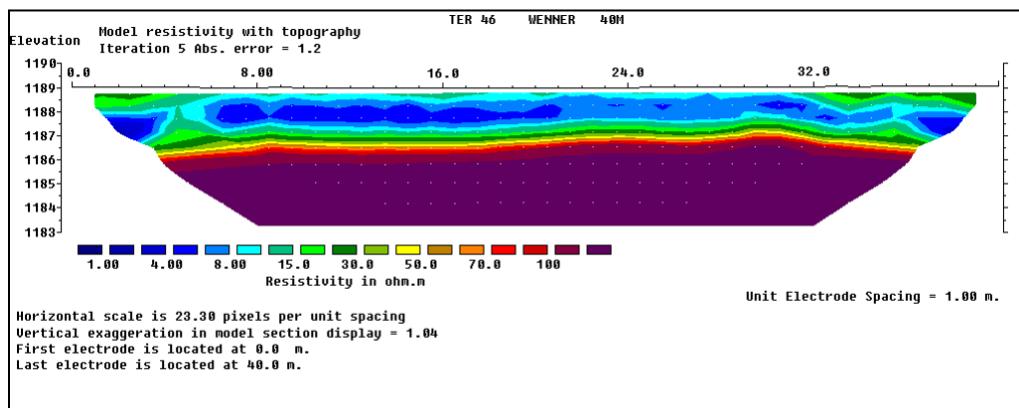


Figura VII.47. Sección TER 46, con orientación Noroeste-Sureste.

**“ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO EN LA ZONA NORTE Y SUR DE LA CUENCA DE
EL BARREAL EN CIUDAD JUAREZ, CHIHUAHUA”**

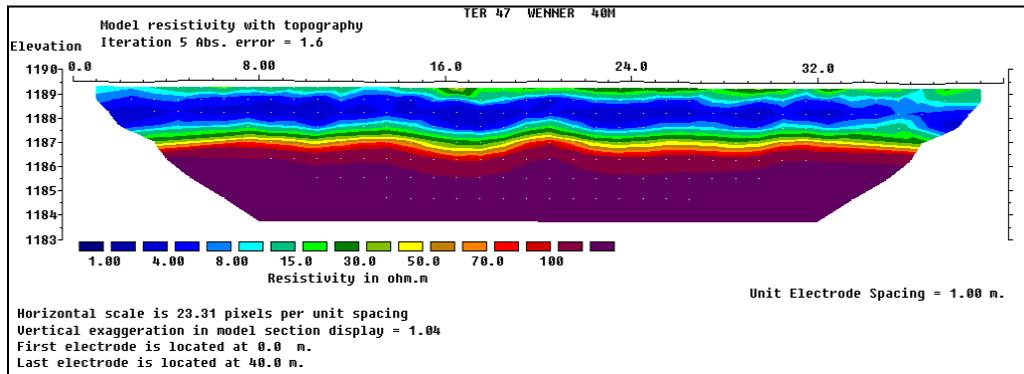


Figura VII.48. Sección TER 47, con orientación Noroeste-Sureste.

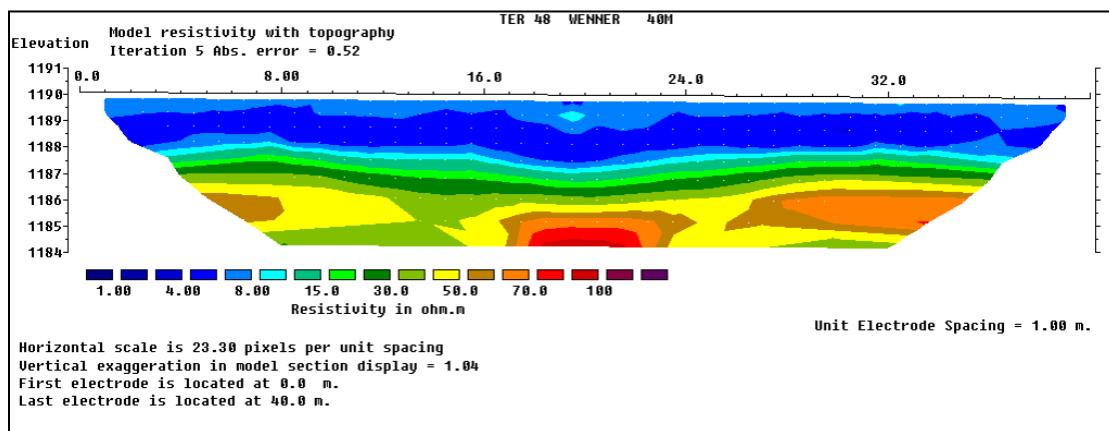


Figura VII.49. Sección TER 48, con orientación Noroeste-Sureste.

**“ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO EN LA ZONA NORTE Y SUR DE LA CUENCA DE
EL BARREAL EN CIUDAD JUAREZ, CHIHUAHUA”**

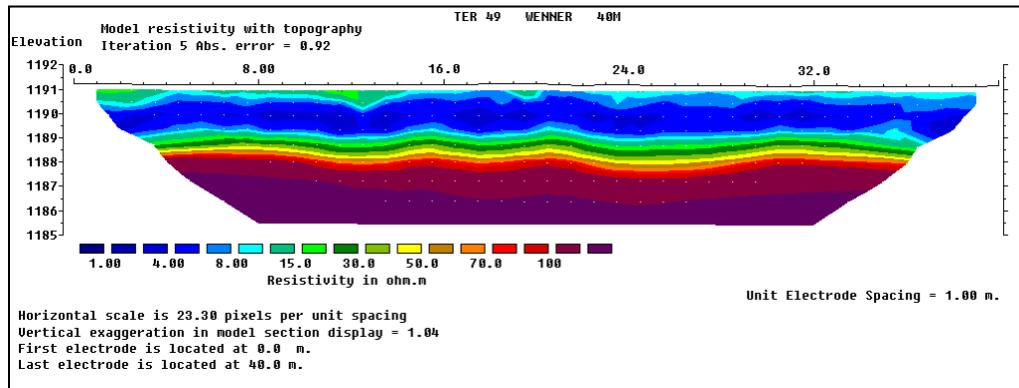


Figura VII.50. Sección TER 49, con orientación Noroeste-Sureste.

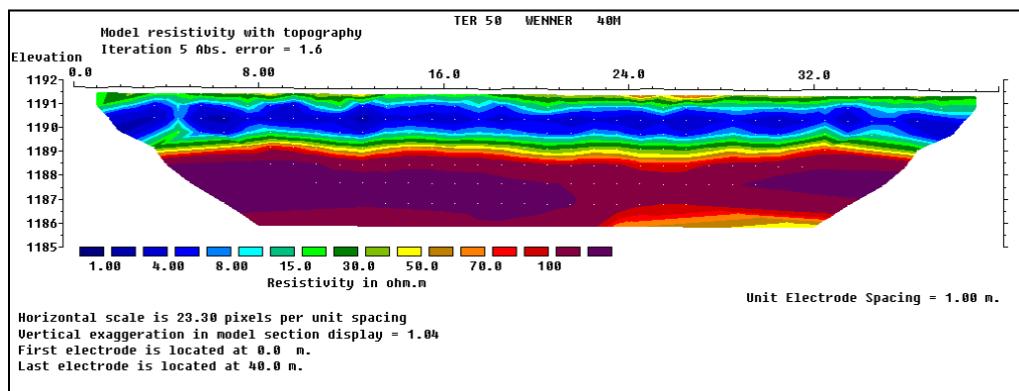


Figura VII.51. Sección TER 50, con orientación Noroeste-Sureste.

**“ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO EN LA ZONA NORTE Y SUR DE LA CUENCA DE
EL BARREAL EN CIUDAD JUAREZ, CHIHUAHUA”**

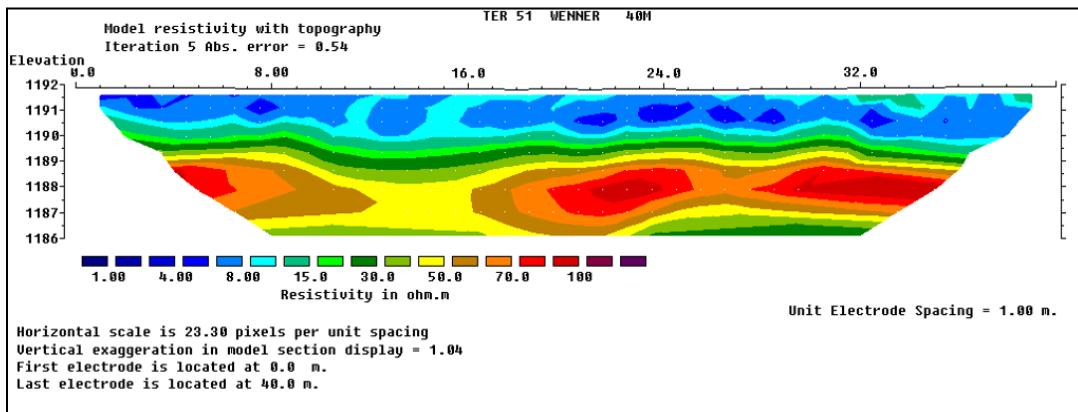


Figura VII.52. Sección TER 51, con orientación Noroeste-Sureste.

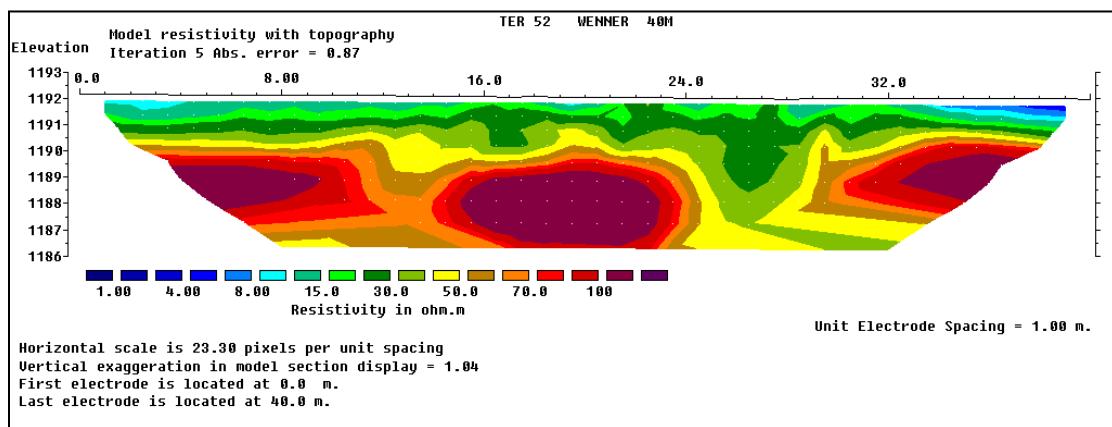


Figura VII.53. Sección TER 52, con orientación Noroeste-Sureste.

“ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO EN LA ZONA NORTE Y SUR DE LA CUENCA DE
EL BARREAL EN CIUDAD JUÁREZ, CHIHUAHUA”



“ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO EN LA ZONA NORTE Y SUR DE LA CUENCA DE
EL BARREAL EN CIUDAD JUÁREZ, CHIHUAHUA”



“ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO EN LA ZONA NORTE Y SUR DE LA CUENCA DE
EL BARREAL EN CIUDAD JUÁREZ, CHIHUAHUA”



“ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO EN LA ZONA NORTE Y SUR DE LA CUENCA DE
EL BARREAL EN CIUDAD JUÁREZ, CHIHUAHUA”



“ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO EN LA ZONA NORTE Y SUR DE LA CUENCA DE
EL BARREAL EN CIUDAD JUÁREZ, CHIHUAHUA”



“ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO EN LA ZONA NORTE Y SUR DE LA CUENCA DE
EL BARREAL EN CIUDAD JUÁREZ, CHIHUAHUA”



VIII. RESULTADOS DE TER’s

VIII.1. Anomalías a partir de Líneas de TER’s

A continuación, se muestran los Perfiles Eléctricos Resistivos correspondientes a las líneas de TER 01 a la TER 52 (Figuras VIII.1.1 a la VIII.1.52), mostrando zonas anómalas (círculos en color rojo) en los perfiles y la cota de desplante (línea punteada roja) del Bordo Miguel de la Madrid Hurtado.

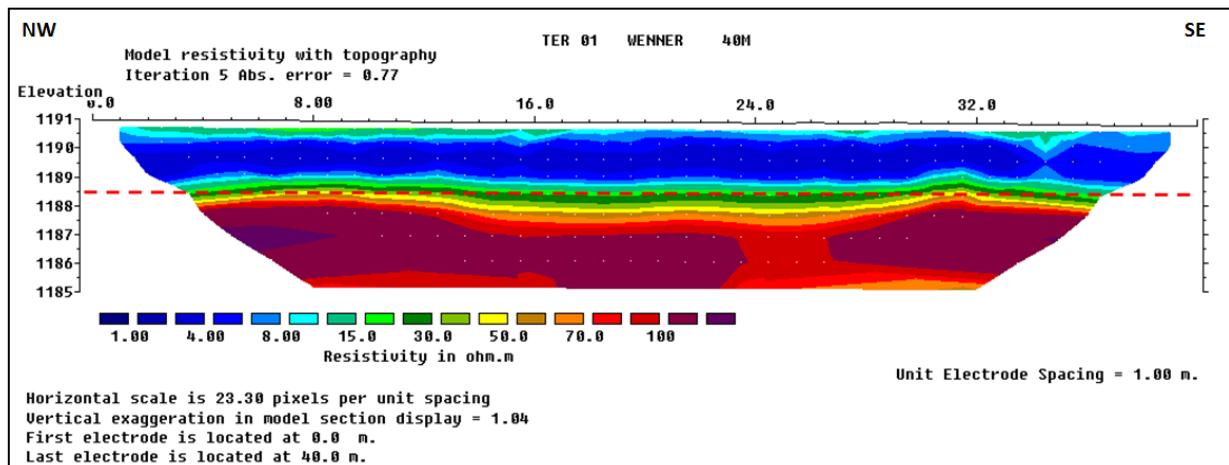


Figura VIII.1.1. Perfil Eléctrico Resistivo de la TER 01.

El Perfil 01 (Figura VIII.1.1) se localiza hacia el Noroeste del BMMH, entre las líneas de TER 48 y 49. Muestra continuidad estratigráfica y todo el cuerpo del bordo está compuesto por material asociado a arcilla.

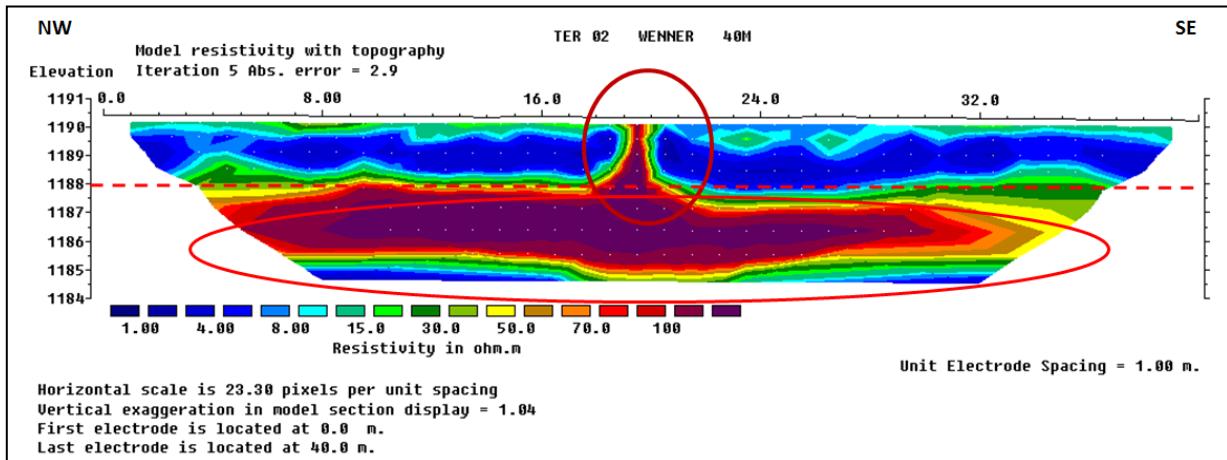


Figura VIII.1.2. Perfil Eléctrico Resistivo de la TER 02.

El Perfil 02 (Figura VIII.1.2) se localiza hacia el Noroeste del BMMH, entre las líneas de TER 47 y 48. Se observa que el cuerpo del bordo está compuesto por material limo-arcilloso y esta desplantado sobre arenas. Cabe mencionar que es en este punto donde se realizó un corte con maquinaria, por parte del dueño del predio, por lo que se observa una anomalía muy marcada en el centro del perfil entre las C.M. (coordenadas de modelo) 19 y 20 m.

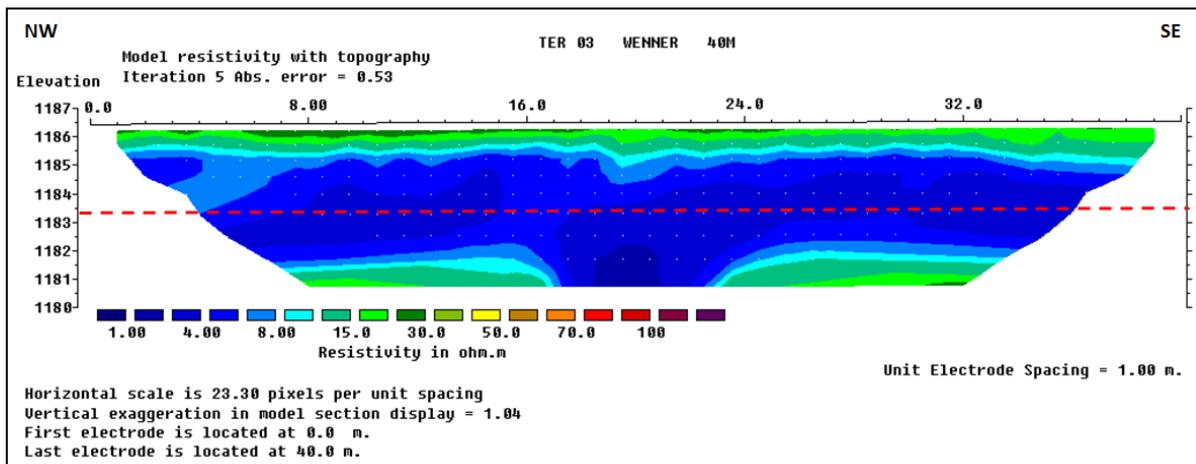


Figura VIII.1.3. Perfil Eléctrico Resistivo de la TER 03.

El Perfil 01 (Figura VIII.1.1) muestra continuidad estratigráfica, presenta 1.0 m de limos en la corona y esta desplantado en arcilla.

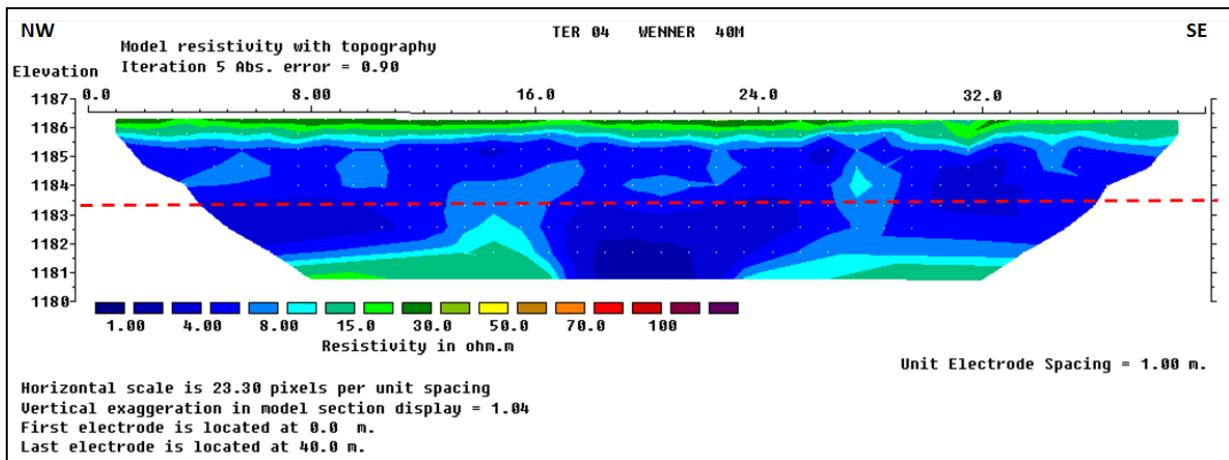


Figura VIII.1.4. Perfil Eléctrico Resistivo de la TER 04.

El Perfil 04 (Figura VIII.1.4) muestra continuidad estratigráfica, presenta 1.0 m de limos en la corona y esta desplantado en arcilla.

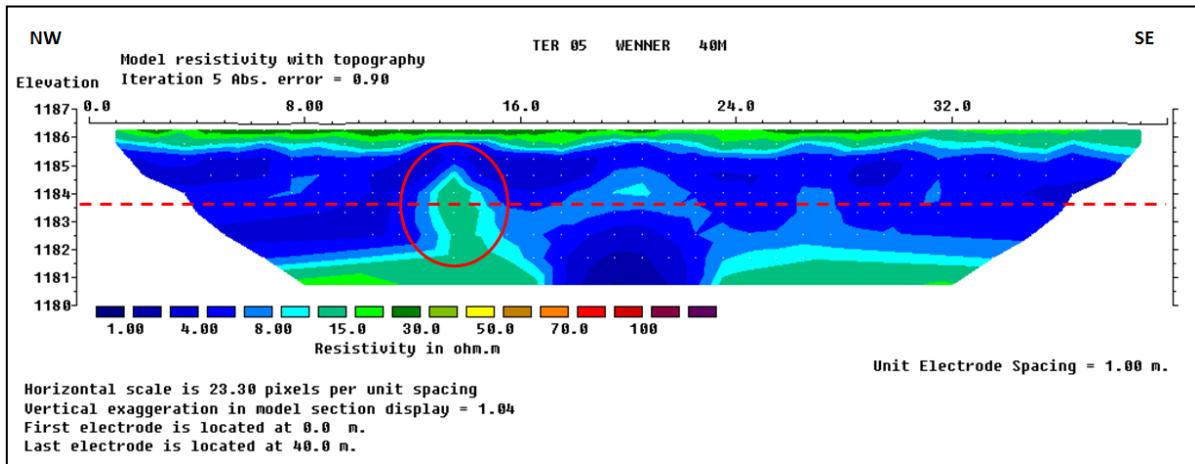


Figura VIII.1.5. Perfil Eléctrico Resistivo de la TER 05.

El Perfil 05 (Figura VIII.1.5) no presenta continuidad estratigráfica teniendo una anomalía entre los 12 m hasta los 15 m a una profundidad de 1.5 m, presenta 1.0 m de limos en la corona y esta desplantado en arcilla.

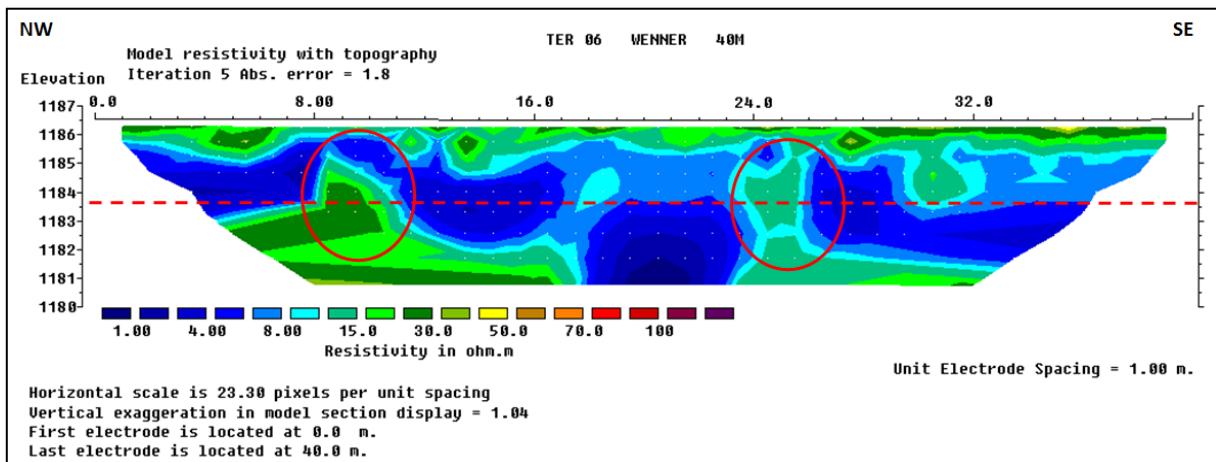


Figura VIII.1.6. Perfil Eléctrico Resistivo de la TER 06.

El Perfil 06 (Figura VIII.1.6) no presenta continuidad estratigráfica teniendo una anomalía entre los 8 m hasta los 12 m y otra de los 23 m hasta los 26 m ambas con una profundidad de 1.5 m, presenta 1.0 m de limos en la corona y en su mayor parte esta desplantado en arcilla.

**“ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO EN LA ZONA NORTE Y SUR DE LA CUENCA DE
EL BARREAL EN CIUDAD JUAREZ, CHIHUAHUA”**

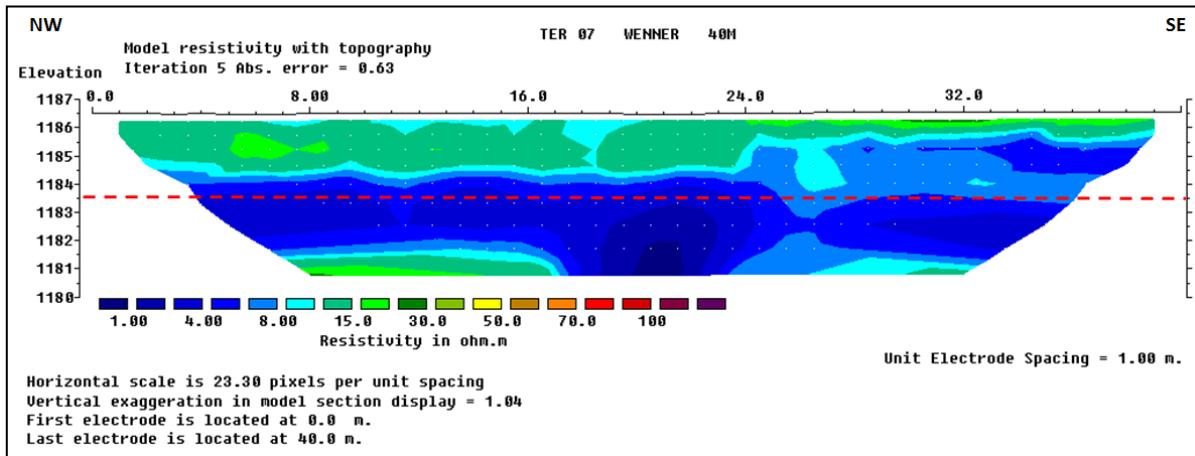


Figura VIII.1.7. Perfil Eléctrico Resistivo de la TER 07.

El Perfil 07 (Figura VIII.1.7) presenta continuidad estratigráfica, tiene un adelgazamiento de 1.0 m en la corona a partir de los 24 m y esta desplantado en arcilla.

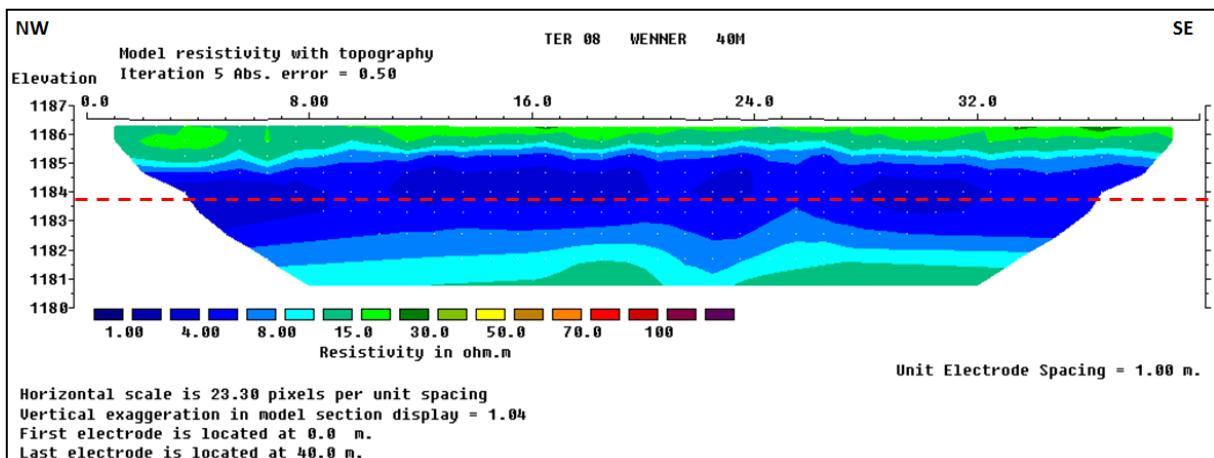


Figura VIII.1.8. Perfil Eléctrico Resistivo de la TER 08.

El Perfil 08 (Figura VIII.1.8) muestra continuidad estratigráfica, presenta 1.0 m de limos en la corona y esta desplantado en arcilla.

**"ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO EN LA ZONA NORTE Y SUR DE LA CUENCA DE
EL BARREAL EN CIUDAD JUAREZ, CHIHUAHUA"**

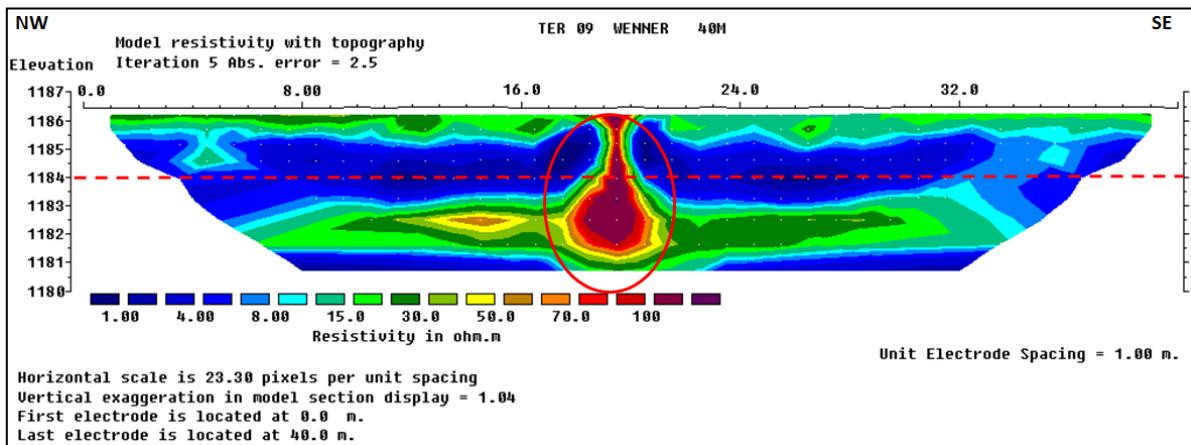


Figura VIII.1.9. Perfil Eléctrico Resistivo de la TER 09.

El Perfil 09 (Figura VIII.1.9) presenta una anomalía que se hace superficial a los 19 m hasta los 21 m y en su mayor parte esta desplantado en arcilla.

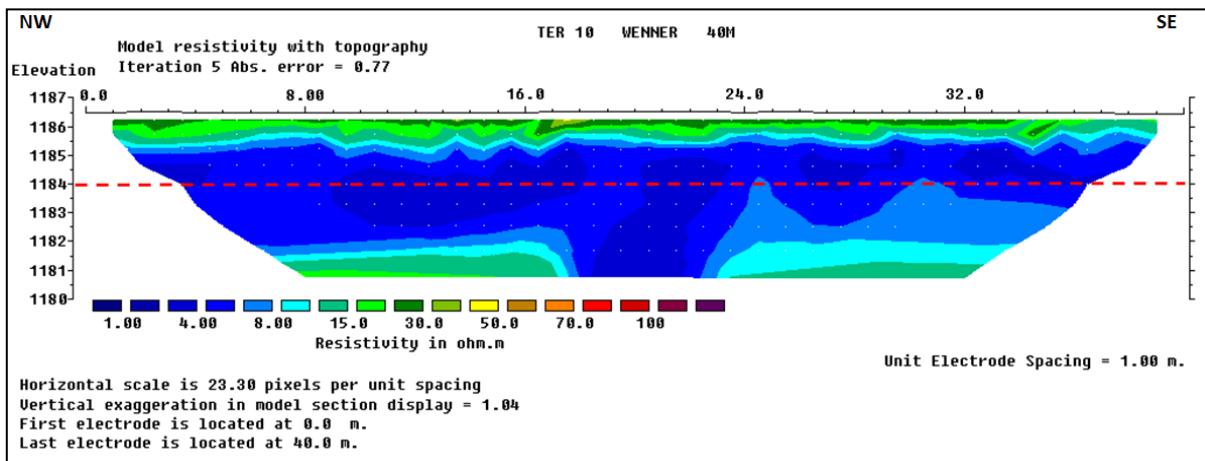


Figura VIII.1.10. Perfil Eléctrico Resistivo de la TER 10.

El Perfil 10 (Figura VIII.1.10) muestra continuidad estratigráfica, presenta 1.0 m de limos en la corona y esta desplantado en arcilla.

**“ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO EN LA ZONA NORTE Y SUR DE LA CUENCA DE
EL BARREAL EN CIUDAD JUAREZ, CHIHUAHUA”**

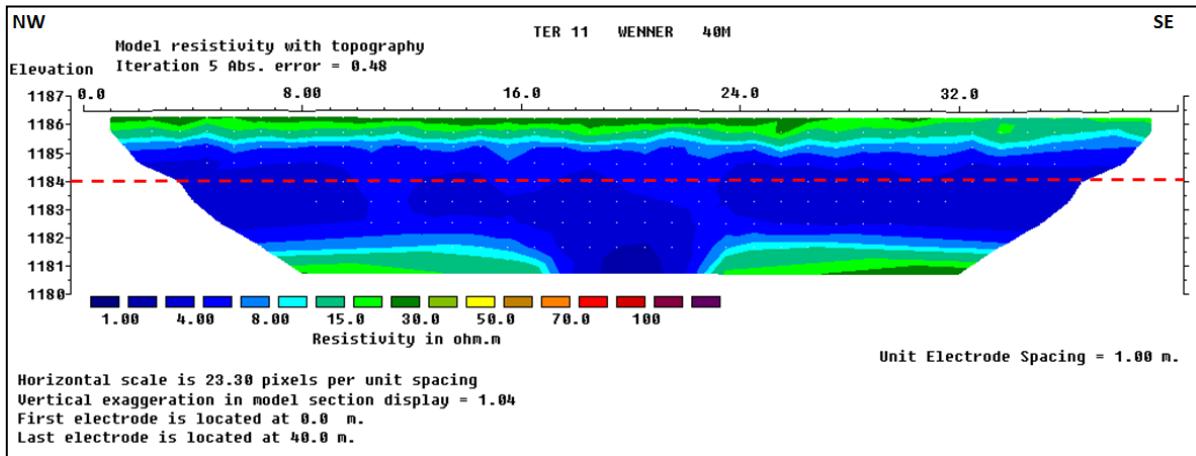


Figura VIII.1.11. Perfil Eléctrico Resistivo de la TER 11.

El Perfil 11 (Figura VIII.1.11) muestra continuidad estratigráfica, presenta 1.0 m de limos en la corona y esta desplantado en arcilla.

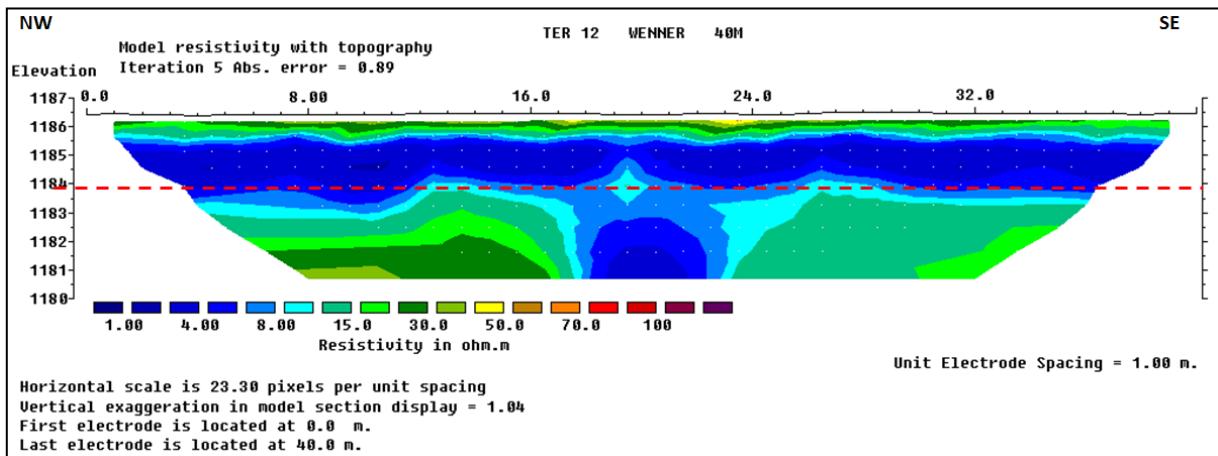


Figura VIII.1.12. Perfil Eléctrico Resistivo de la TER 12.

El Perfil 12 (Figura VIII.1.12) muestra continuidad estratigráfica, presenta 0.5 m de limos en la corona y esta desplantado en arcilla.

**"ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO EN LA ZONA NORTE Y SUR DE LA CUENCA DE
EL BARREAL EN CIUDAD JUAREZ, CHIHUAHUA"**

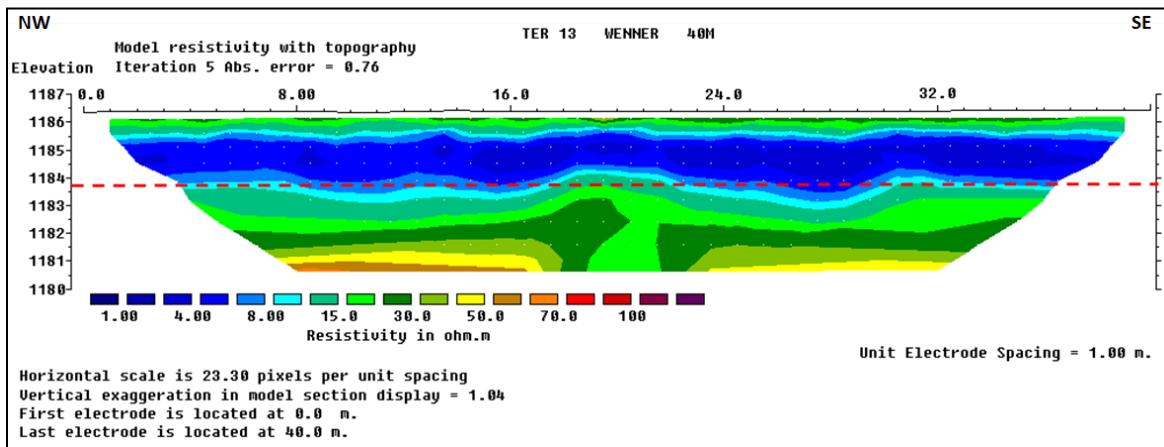


Figura VIII.1.13. Perfil Eléctrico Resistivo de la TER 13.

El Perfil 13 (Figura VIII.1.13) muestra continuidad estratigráfica, presenta 0.5 m de limos en la corona y esta desplantado en arcilla.

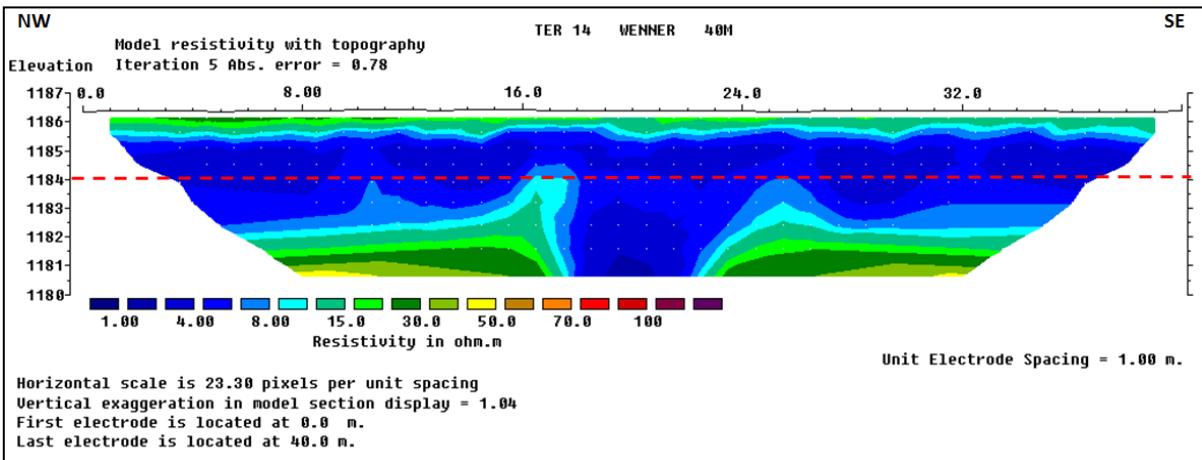


Figura VIII.1.14. Perfil Eléctrico Resistivo de la TER 14.

El Perfil 14 (Figura VIII.1.14) muestra continuidad estratigráfica, presenta 0.5 m de limos en la corona y esta desplantado en arcilla.

**“ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO EN LA ZONA NORTE Y SUR DE LA CUENCA DE
EL BARREAL EN CIUDAD JUAREZ, CHIHUAHUA”**

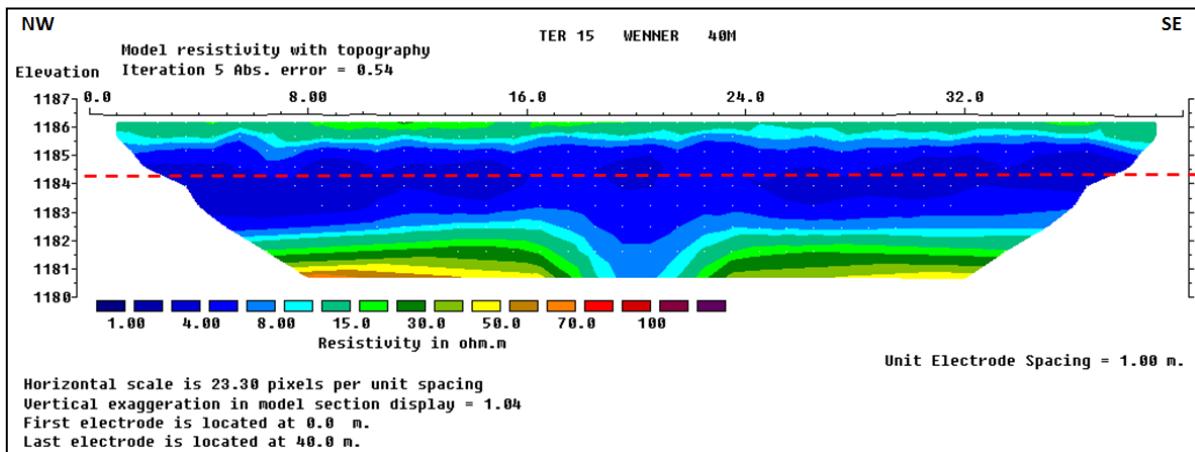


Figura VIII.1.15. Perfil Eléctrico Resistivo de la TER 15.

El Perfil 15 (Figura VIII.1.15) muestra continuidad estratigráfica, presenta 0.5 m de limos en la corona y esta desplantado en arcilla.

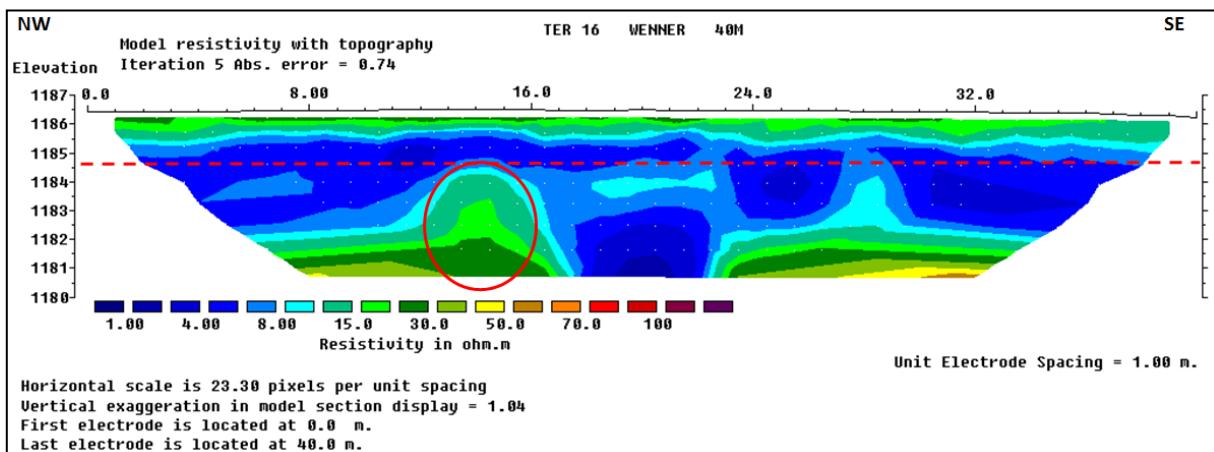


Figura VIII.1.16. Perfil Eléctrico Resistivo de la TER 16.

El Perfil 16 (Figura VIII.1.16) muestra continuidad estratigráfica solo se observa una anomalía a los 2 m de profundidad en los 13 m y 16 m, presenta 0.5 de limos en la corona y está en su mayoría desplantado en arcilla.

**"ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO EN LA ZONA NORTE Y SUR DE LA CUENCA DE
EL BARREAL EN CIUDAD JUAREZ, CHIHUAHUA"**

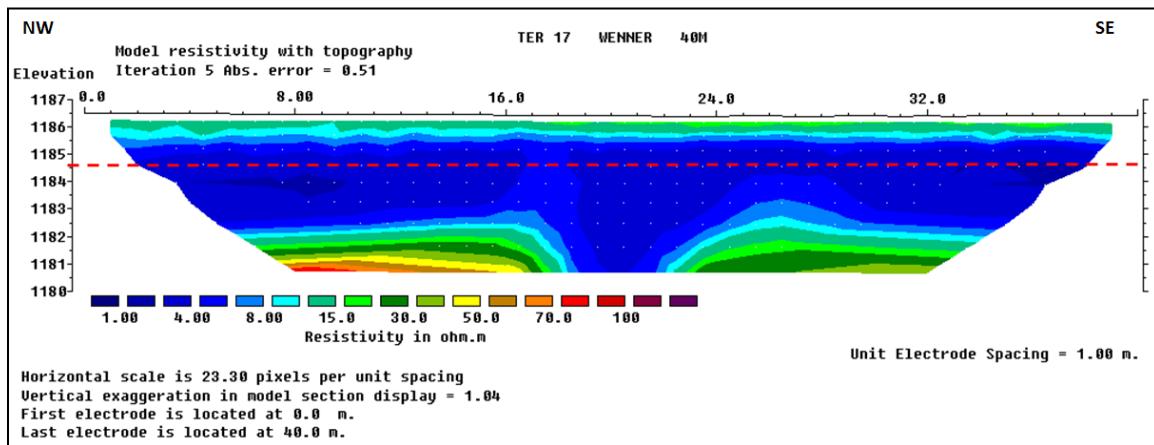


Figura VIII.1.17. Perfil Eléctrico Resistivo de la TER 17.

El Perfil 17 (Figura VIII.1.17) muestra continuidad estratigráfica, presenta 0.5 m de limos en la corona y esta desplantado en arcilla.

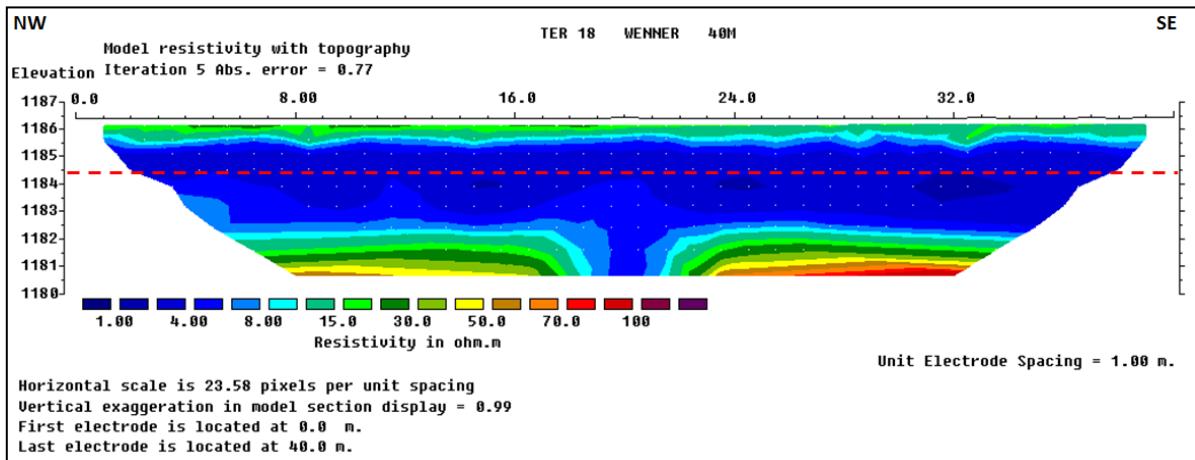


Figura VIII.1.18. Perfil Eléctrico Resistivo de la TER 18.

El Perfil 18 (Figura VIII.1.18) muestra continuidad estratigráfica, presenta 0.5 m de limos en la corona y esta desplantado en arcilla.

**“ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO EN LA ZONA NORTE Y SUR DE LA CUENCA DE
EL BARREAL EN CIUDAD JUAREZ, CHIHUAHUA”**

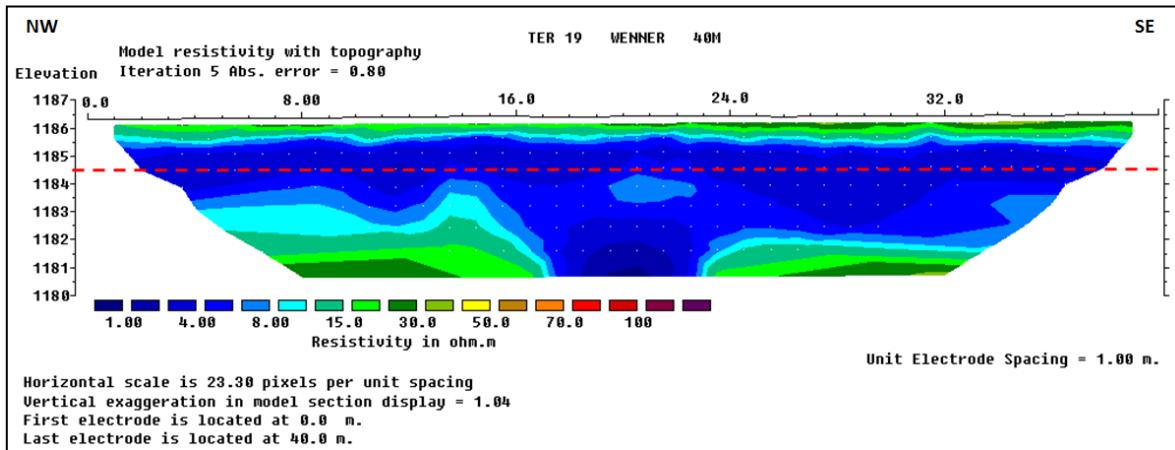


Figura VIII.1.19. Perfil Eléctrico Resistivo de la TER 19.

El Perfil 19 (Figura VIII.1.19) muestra continuidad estratigráfica, presenta 0.5 m de limos en la corona y esta desplantado en arcilla.

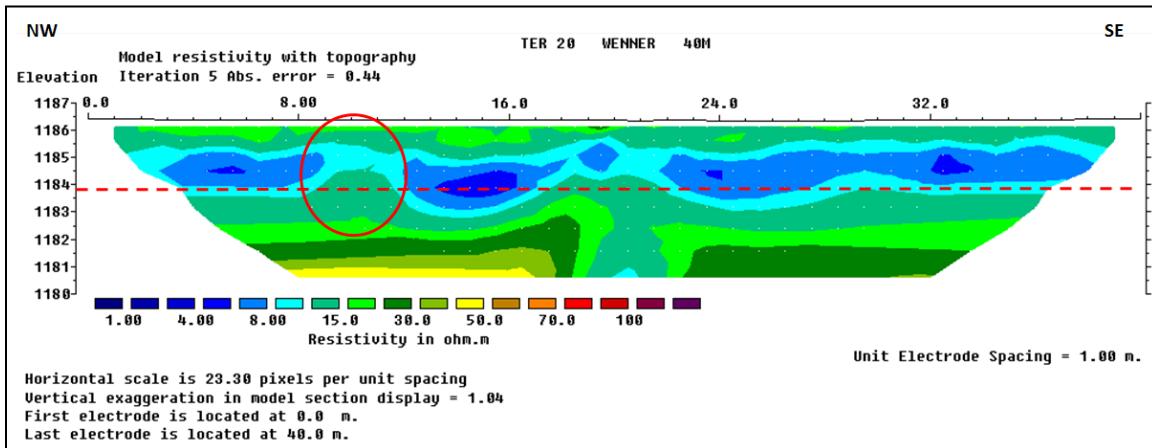


Figura VIII.1.20. Perfil Eléctrico Resistivo de la TER 20.

El Perfil 20 (Figura VIII.1.20) muestra una anomalía entre los 9 y 12 m, tiene 1.0 m de limos en la corona y esta desplantado en materiales limoso en su mayoría.

**“ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO EN LA ZONA NORTE Y SUR DE LA CUENCA DE
EL BARREAL EN CIUDAD JUAREZ, CHIHUAHUA”**

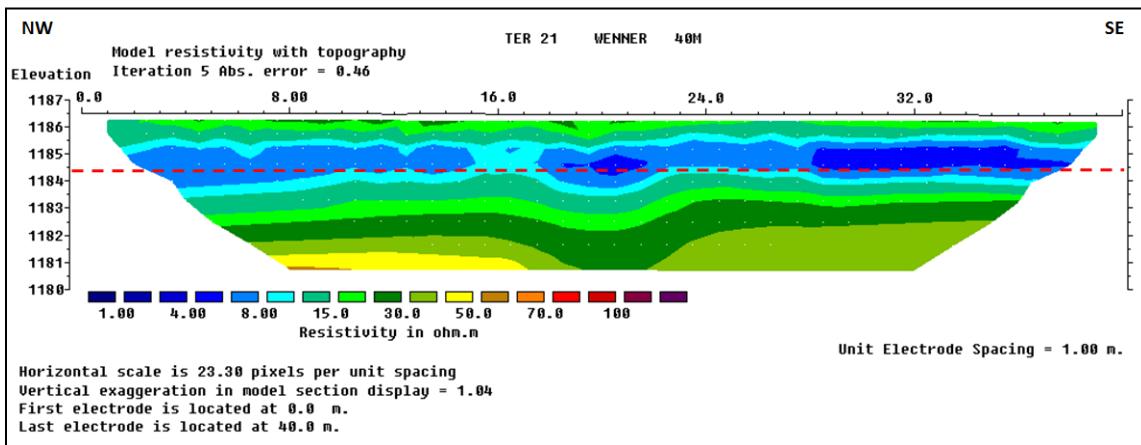


Figura VIII.1.21. Perfil Eléctrico Resistivo de la TER 21.

El Perfil 21 (Figura VIII.1.21) muestra continuidad estratigráfica, presenta 1.0 m de limos en la corona y esta desplantado en arcilla.

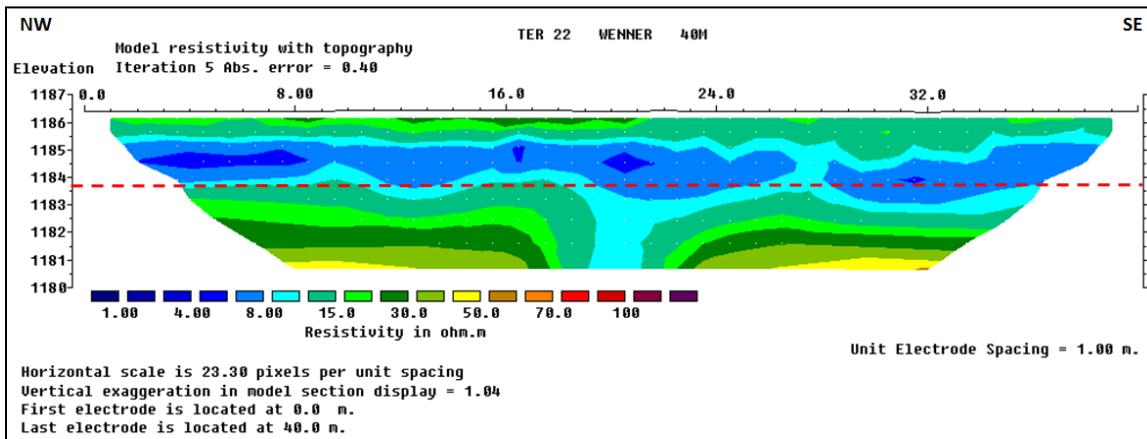


Figura VIII.1.22. Perfil Eléctrico Resistivo de la TER 22.

El Perfil 22 (Figura VIII.1.22) muestra continuidad estratigráfica, presenta 1.0 m de limos en la corona y esta desplantado en arcilla.

**“ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO EN LA ZONA NORTE Y SUR DE LA CUENCA DE
EL BARREAL EN CIUDAD JUAREZ, CHIHUAHUA”**

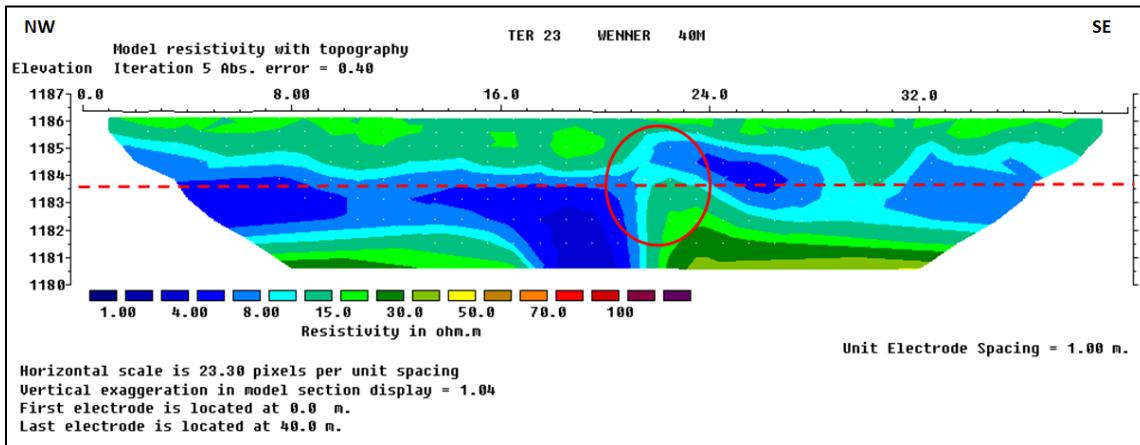


Figura VIII.1.23. Perfil Eléctrico Resistivo de la TER 23.

El Perfil 23 (Figura VIII.1.23) presenta una anomalía entre los 20 m y los 24 m, 2 m de espesor en la corona de material asociado a limos en su mayoría, y esta desplantado en arcilla.

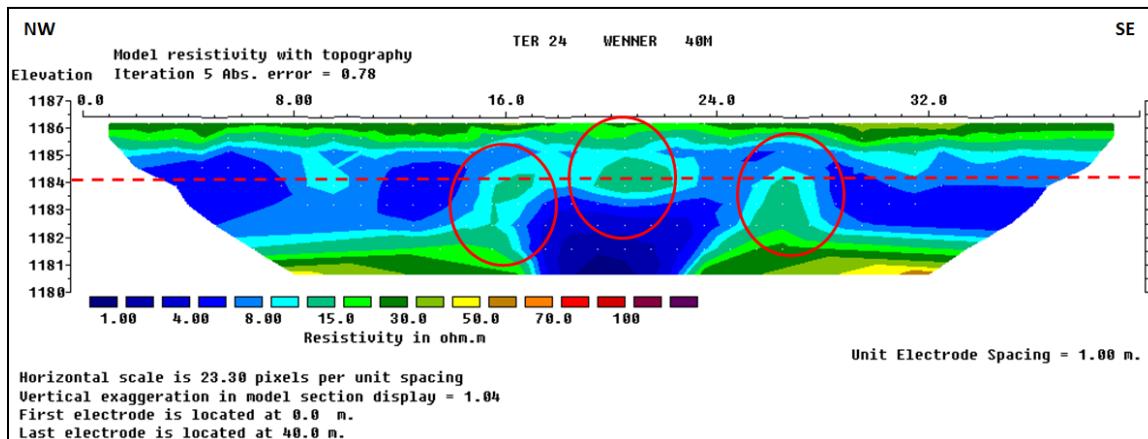


Figura VIII.1.24. Perfil Eléctrico Resistivo de la TER 24.

El Perfil 24 (Figura VIII.1.24) presenta varias anomalías en 15 m, 23 m, y una más entre los 26 m y 28 m. Se tiene 1.0 m de espesor en la corona de material asociado a limos en su mayoría, y esta desplantado en arcilla.

“ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO EN LA ZONA NORTE Y SUR DE LA CUENCA DE EL BARREAL EN CIUDAD JUAREZ, CHIHUAHUA”

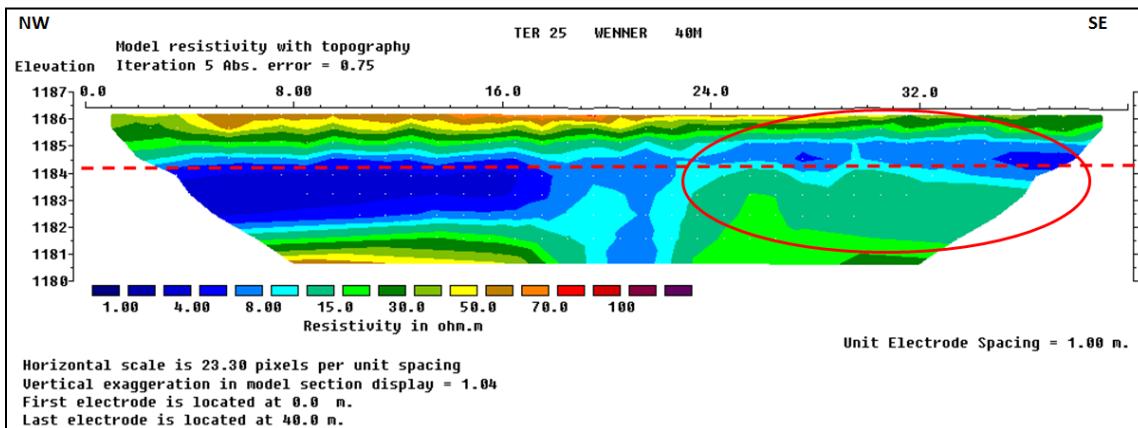


Figura VIII.1.25. Perfil Eléctrico Resistivo de la TER 25.

El Perfil 25 (Figura VIII.1.25) presenta un adelgazamiento en la capa de arcillas desde los 22 m hasta el término de la TER. Se observa el espesor aproximado de la corona de 1.5 m y esta desplantado sobre arcillas.

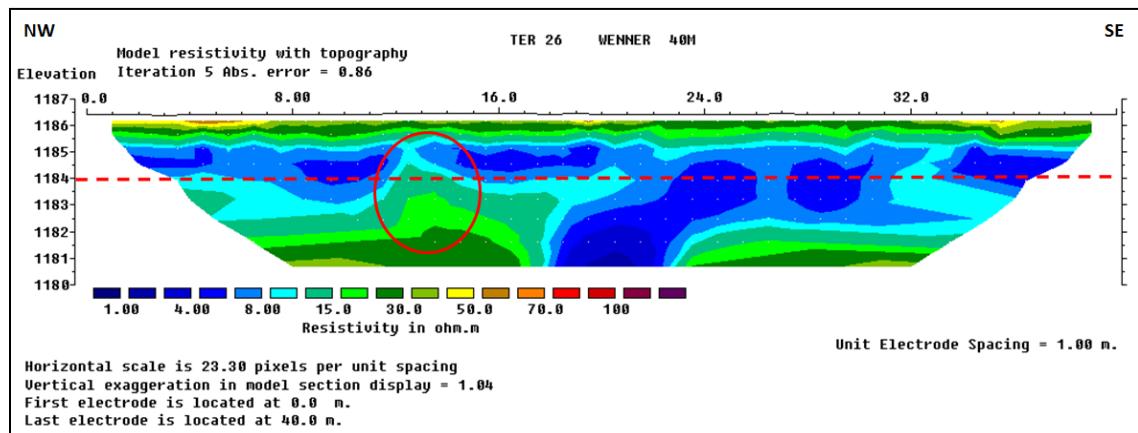


Figura VIII.1.26. Perfil Eléctrico Resistivo de la TER 26.

El Perfil 26 (Figura VIII.1.26) muestra una anomalía entre los 12 m y 14 m de la sección, mientras que en el resto del perfil los estratos son continuos, tiene 0.5 m de espesor compuesto de limos en la corona y se encuentra desplantado en arcillas.

**“ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO EN LA ZONA NORTE Y SUR DE LA CUENCA DE
EL BARREAL EN CIUDAD JUAREZ, CHIHUAHUA”**

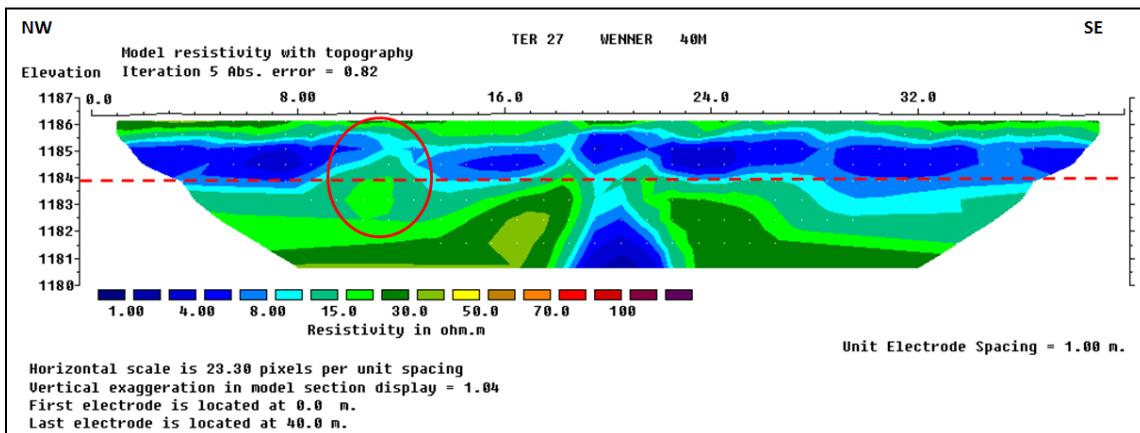


Figura VIII.1.27. Perfil Eléctrico Resistivo de la TER 27.

El Perfil 27 (Figura VIII.1.27) muestra una anomalía entre los 10 m y 13 m, tiene 0.5 m de espesor compuesto de limos en la corona y se encuentra desplantado en arcillas.

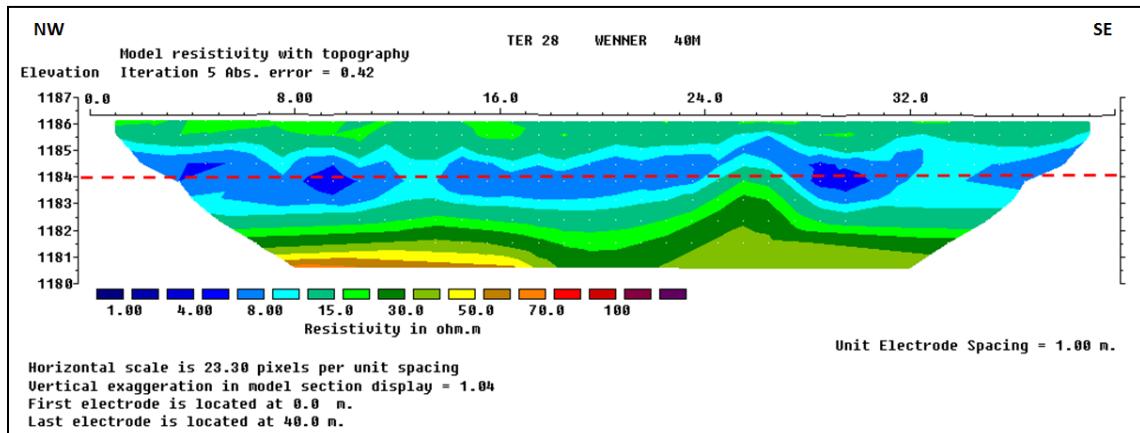


Figura VIII.1.28. Perfil Eléctrico Resistivo de la TER 28.

El Perfil 28 (Figura VIII.1.28) muestra continuidad estratigráfica, tiene 1.0 m de espesor compuesto de limos en la corona y se encuentra desplantado en arcillas.

**“ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO EN LA ZONA NORTE Y SUR DE LA CUENCA DE
EL BARREAL EN CIUDAD JUAREZ, CHIHUAHUA”**

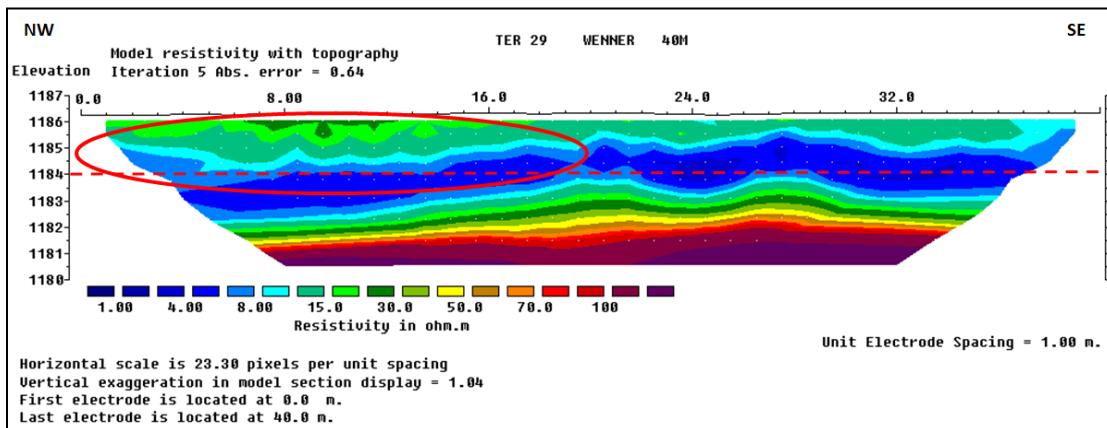


Figura VIII.1.29. Perfil Eléctrico Resistivo de la TER 29.

El Perfil 29 (Figura VIII.1.29) muestra continuidad estratigráfica y un engrosamiento de 2 m en la capa de material limoso de la corona, desde el inicio del perfil hasta los 18 m. Se encuentra desplantado en arcillas.

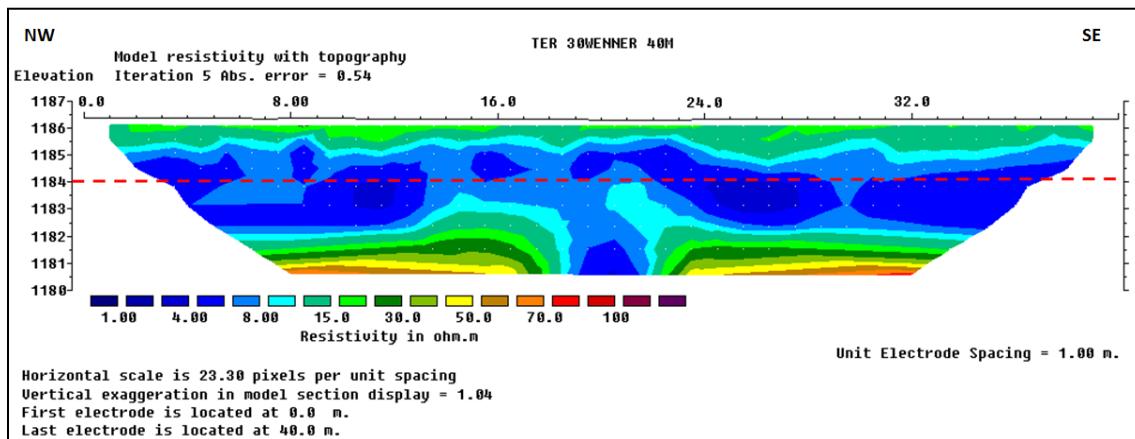


Figura VIII.1.30. Perfil Eléctrico Resistivo de la TER 30.

El Perfil 30 (Figura VIII.1.30) muestra continuidad estratigráfica, tiene 1.0 m de espesor compuesto de limos en la corona y se encuentra desplantado en arcillas.

**"ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO EN LA ZONA NORTE Y SUR DE LA CUENCA DE
EL BARREAL EN CIUDAD JUAREZ, CHIHUAHUA"**

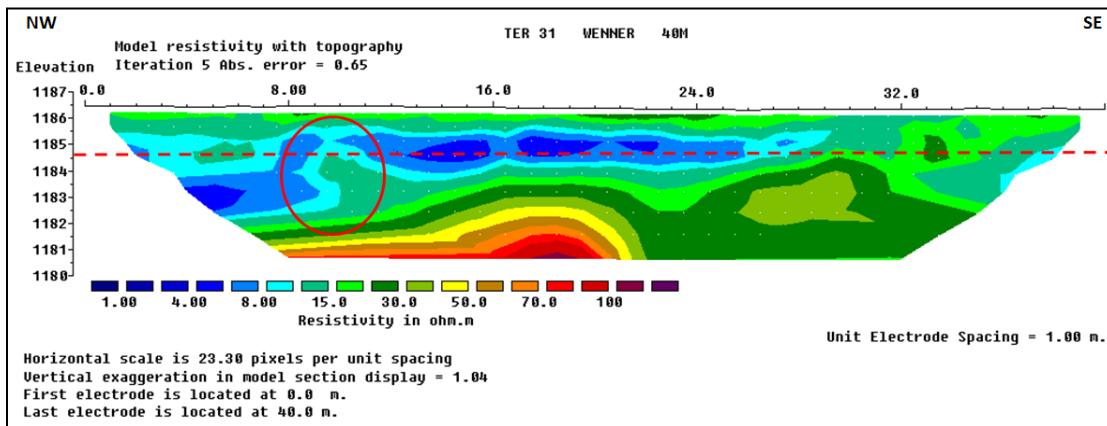


Figura VIII.1.31. Perfil Eléctrico Resistivo de la TER 31.

El Perfil 31 (Figura VIII.1.31) muestra una anomalía entre los 9 m y 11 m. A partir de los 28 m, el bordo pierde continuidad estratigráfica por el cruce de la calle Las Almeras.

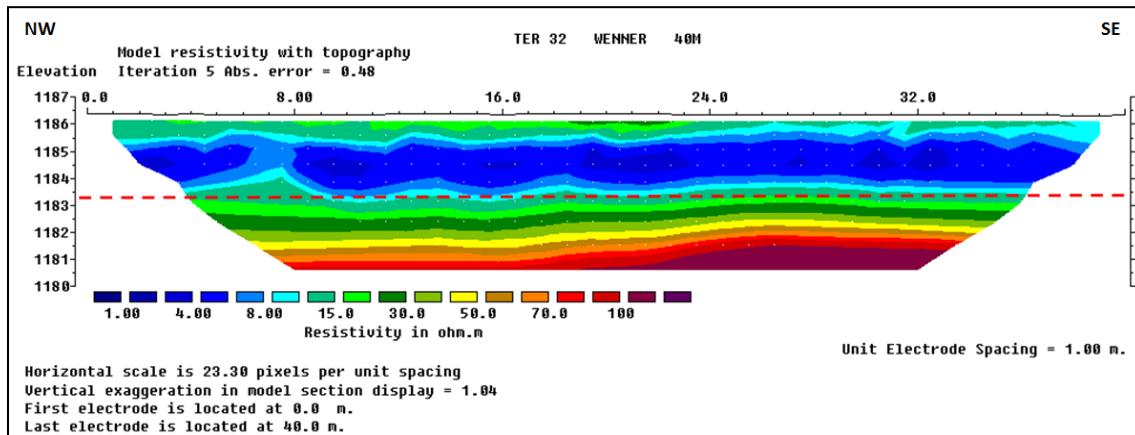


Figura VIII.1.32. Perfil Eléctrico Resistivo de la TER 32.

El Perfil 32 (Figura VIII.1.32) muestra continuidad estratigráfica, tiene 0.5 m de espesor compuesto de limos en la corona y se encuentra desplantado en arcillas.

**"ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO EN LA ZONA NORTE Y SUR DE LA CUENCA DE
EL BARREAL EN CIUDAD JUAREZ, CHIHUAHUA"**

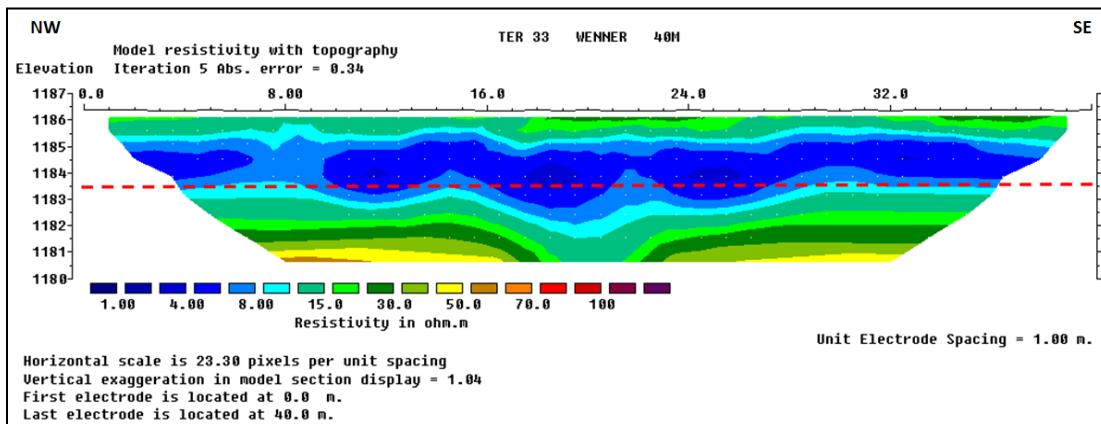


Figura VIII.1.33. Perfil Eléctrico Resistivo de la TER 33.

El Perfil 33 (Figura VIII.1.33) muestra continuidad estratigráfica, tiene 0.5 m de espesor compuesto de limos en la corona y se encuentra desplantado en arcillas.

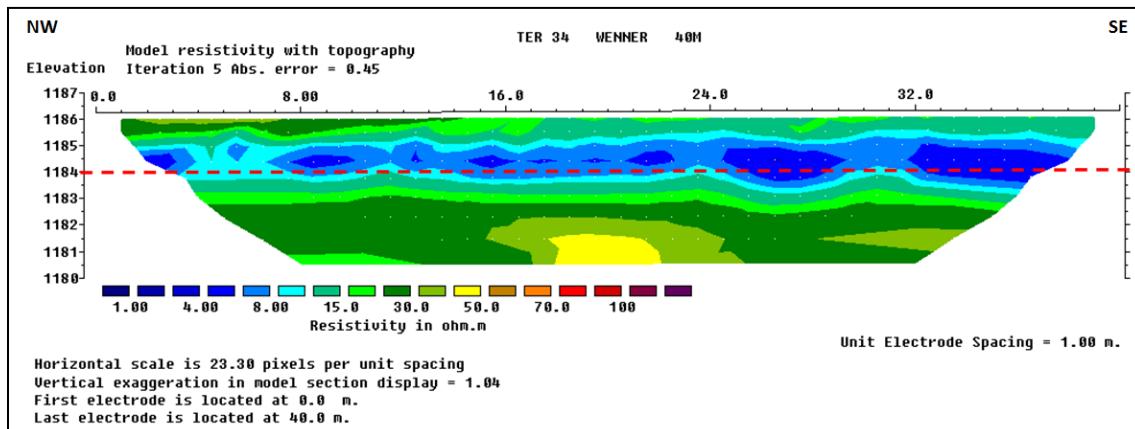


Figura VIII.1.34. Perfil Eléctrico Resistivo de la TER 34.

El Perfil 34 (Figura VIII.1.34) muestra continuidad estratigráfica, tiene 1.0 m de espesor compuesto de limos en la corona y se encuentra desplantado en arcillas.

**“ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO EN LA ZONA NORTE Y SUR DE LA CUENCA DE
EL BARREAL EN CIUDAD JUAREZ, CHIHUAHUA”**

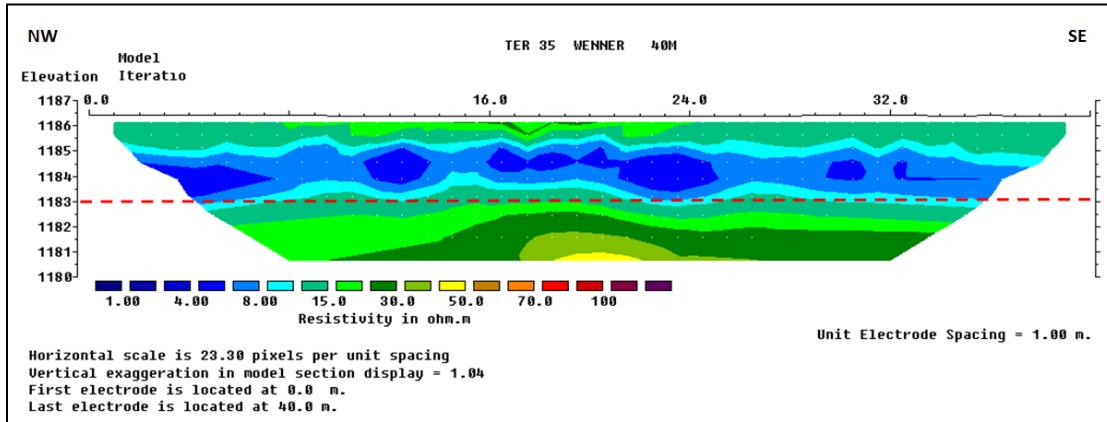


Figura VIII.1.35. Perfil Eléctrico Resistivo de la TER 35.

El Perfil 35 (Figura VIII.1.35) muestra continuidad estratigráfica, tiene 1.0 m de espesor compuesto de limos en la corona y se encuentra desplantado en arcillas.

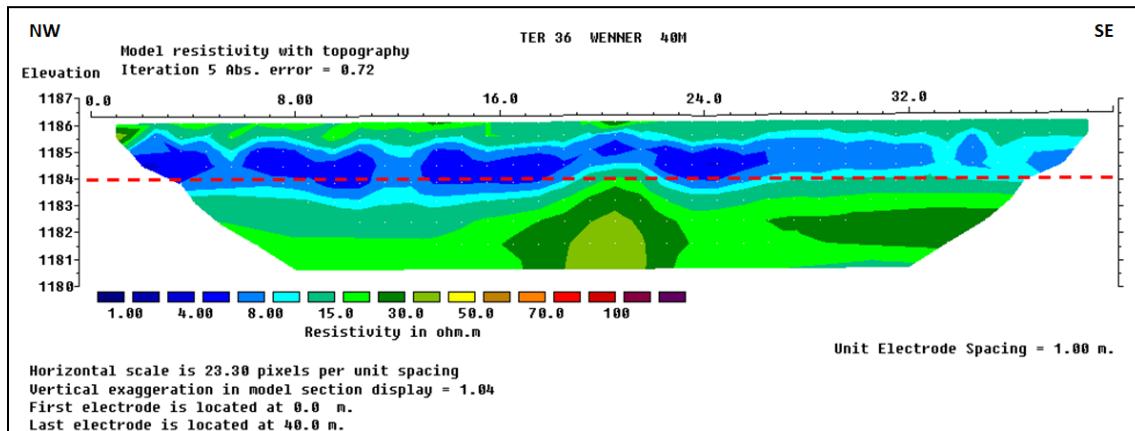


Figura VIII.1.36. Perfil Eléctrico Resistivo de la TER 36.

El Perfil 36 (Figura VIII.1.36) muestra continuidad estratigráfica, tiene 1.0 m de espesor compuesto de limos en la corona y se encuentra desplantado en arcillas.

**"ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO EN LA ZONA NORTE Y SUR DE LA CUENCA DE
EL BARREAL EN CIUDAD JUAREZ, CHIHUAHUA"**

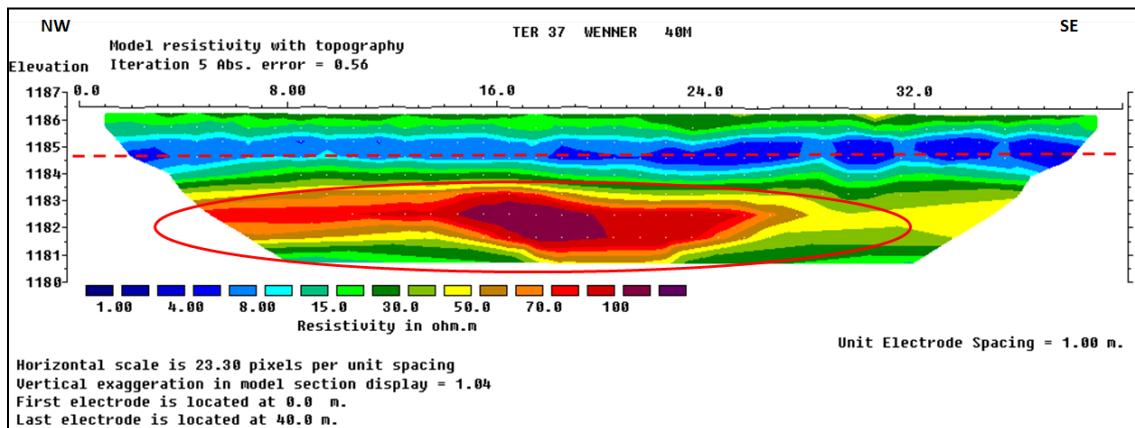


Figura VIII.1.37. Perfil Eléctrico Resistivo de la TER 37.

El Perfil 37 (Figura VIII.1.37) muestra continuidad estratigráfica, tiene 1.0 m de espesor compuesto de limos en la corona y se encuentra desplantado en arcillas. En este perfil, existe riesgo de tubificación por debajo del bordo ya que se observa una capa considerable de material muy arenoso de aproximadamente 1.5 m de espesor.

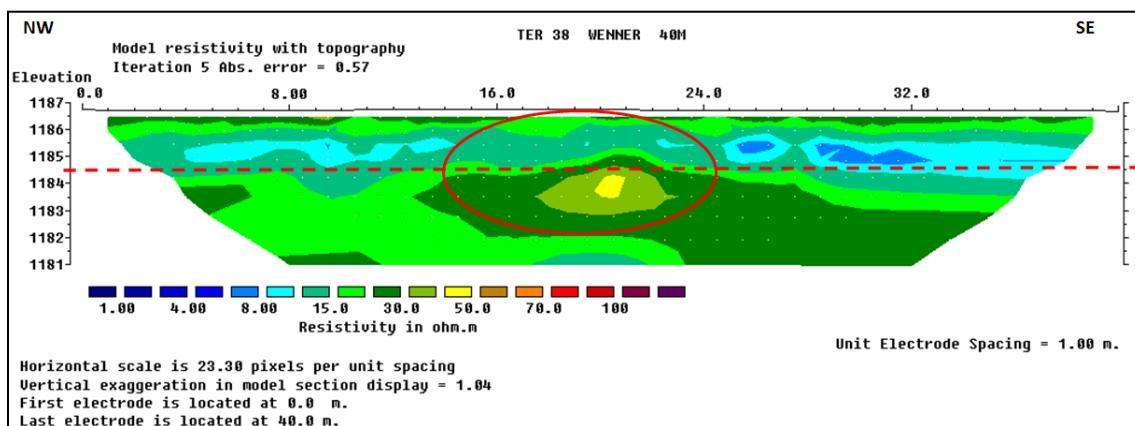


Figura VIII.1.38. Perfil Eléctrico Resistivo de la TER 38.

En el Perfil 38 (Figura VIII.1.38) se puede observar que el cuerpo del bordo está compuesto por material limo-arenoso.

**“ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO EN LA ZONA NORTE Y SUR DE LA CUENCA DE
EL BARREAL EN CIUDAD JUAREZ, CHIHUAHUA”**

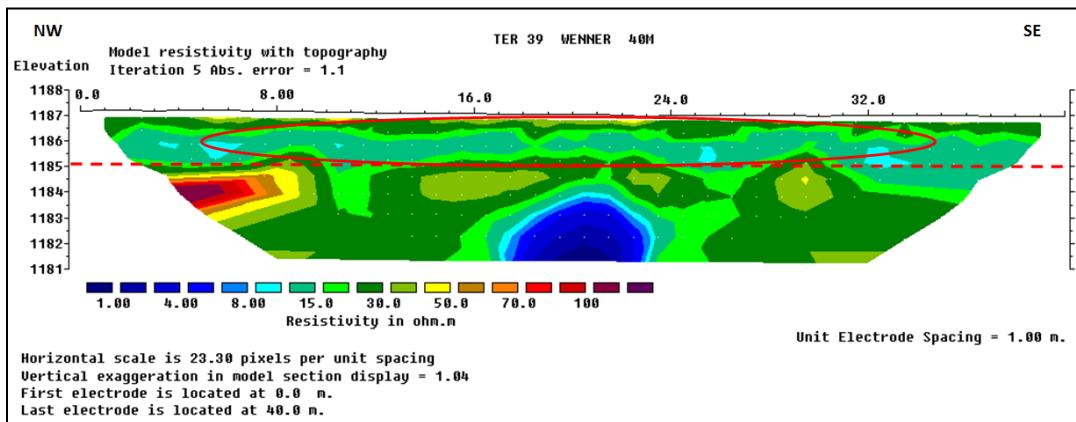


Figura VIII.1.39. Perfil Eléctrico Resistivo de la TER 39.

En el Perfil 39 (Figura VIII.1.39) se puede observar que el cuerpo del bordo está compuesto por material limo-arenoso.

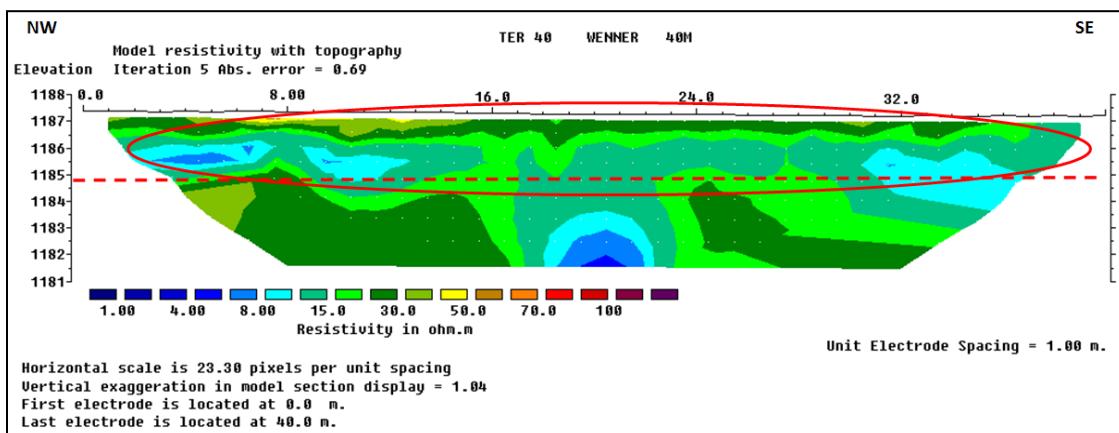


Figura VIII.1.40. Perfil Eléctrico Resistivo de la TER 40.

En el Perfil 40 (Figura VIII.1.40) se puede observar que el cuerpo del bordo está compuesto por material limo-arenoso.

**“ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO EN LA ZONA NORTE Y SUR DE LA CUENCA DE
EL BARREAL EN CIUDAD JUAREZ, CHIHUAHUA”**

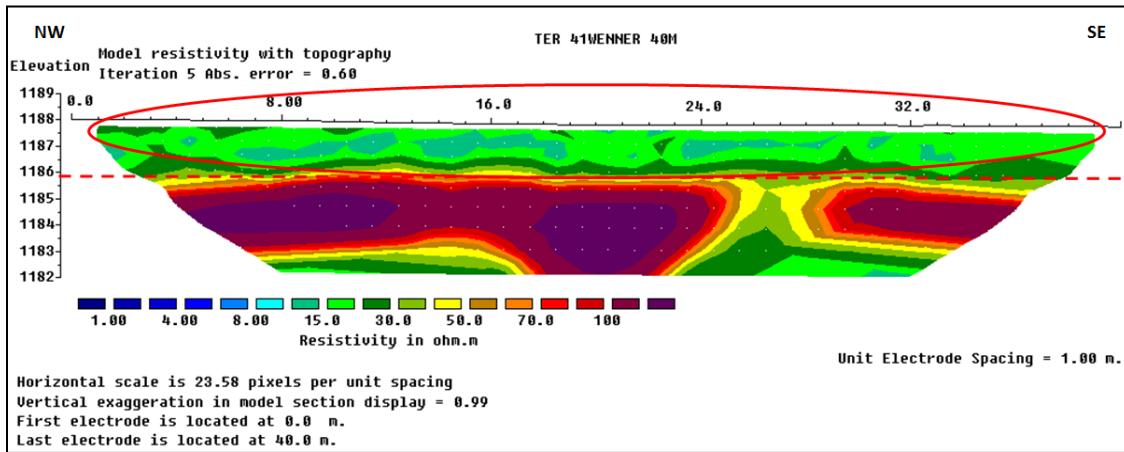


Figura VIII.1.41. Perfil Eléctrico Resistivo de la TER 41.

En el Perfil 41 (Figura VIII.1.41) se puede observar que el cuerpo del bordo está compuesto por material limo-arenoso y se encuentra desplantado sobre material asociado a arena.

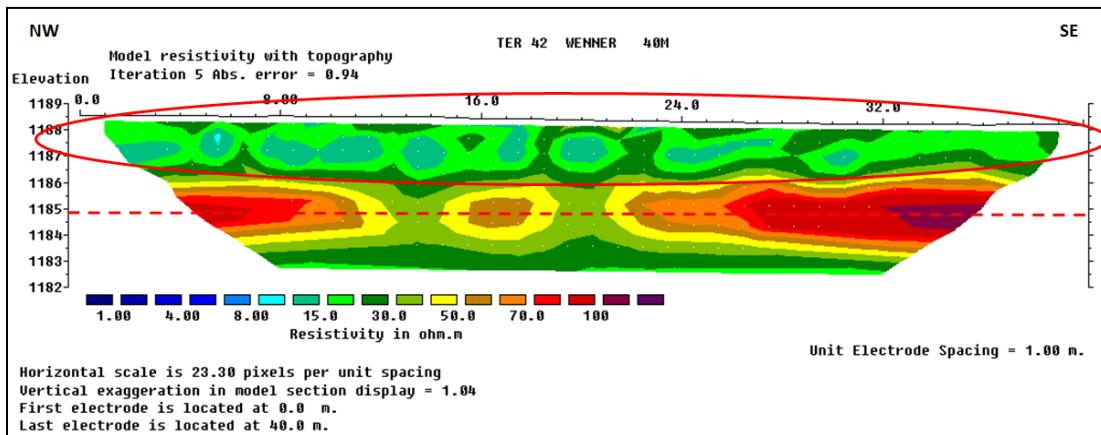


Figura VIII.1.42. Perfil Eléctrico Resistivo de la TER 42.

En el Perfil 42 (Figura VIII.1.42) se puede observar que el cuerpo del bordo está compuesto por material limo-arenoso y se encuentra desplantado sobre material asociado a arena.

**"ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO EN LA ZONA NORTE Y SUR DE LA CUENCA DE
EL BARREAL EN CIUDAD JUAREZ, CHIHUAHUA"**

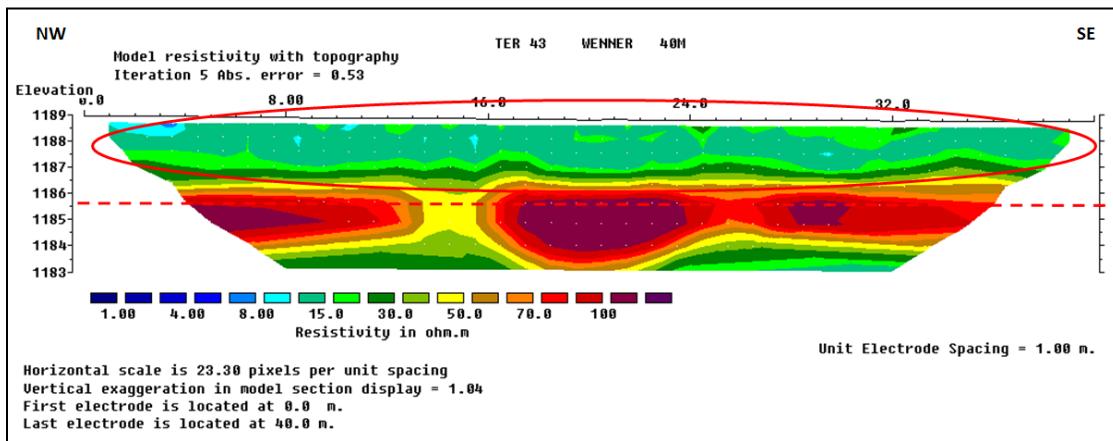


Figura VIII.1.43. Perfil Eléctrico Resistivo de la TER 43.

En el Perfil 43 (Figura VIII.1.43) se puede observar que el cuerpo del bordo está compuesto por material limo-arenoso y se encuentra desplantado sobre material asociado a arena.

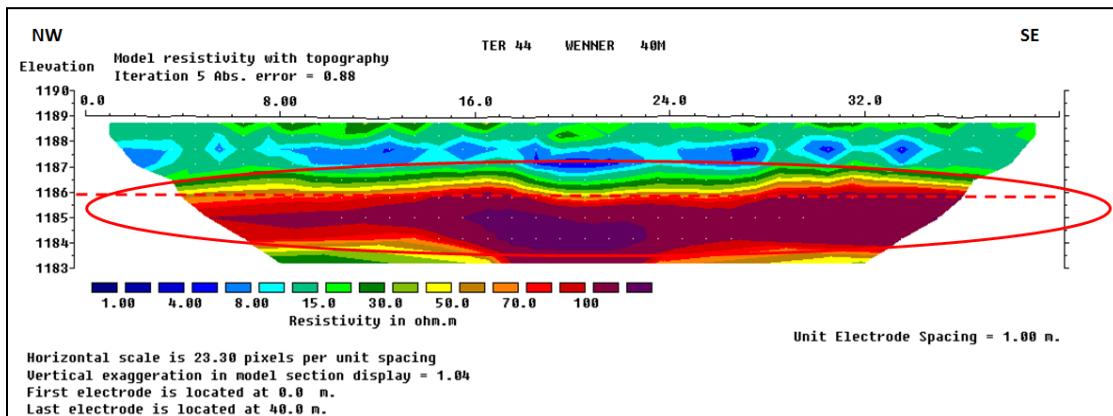


Figura VIII.1.44. Perfil Eléctrico Resistivo de la TER 44.

En el Perfil 44 (Figura VIII.1.44) se puede observar que el cuerpo del bordo está compuesto por material limo-arenoso y se encuentra desplantado sobre material asociado a arena.

“ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO EN LA ZONA NORTE Y SUR DE LA CUENCA DE EL BARREAL EN CIUDAD JUAREZ, CHIHUAHUA”

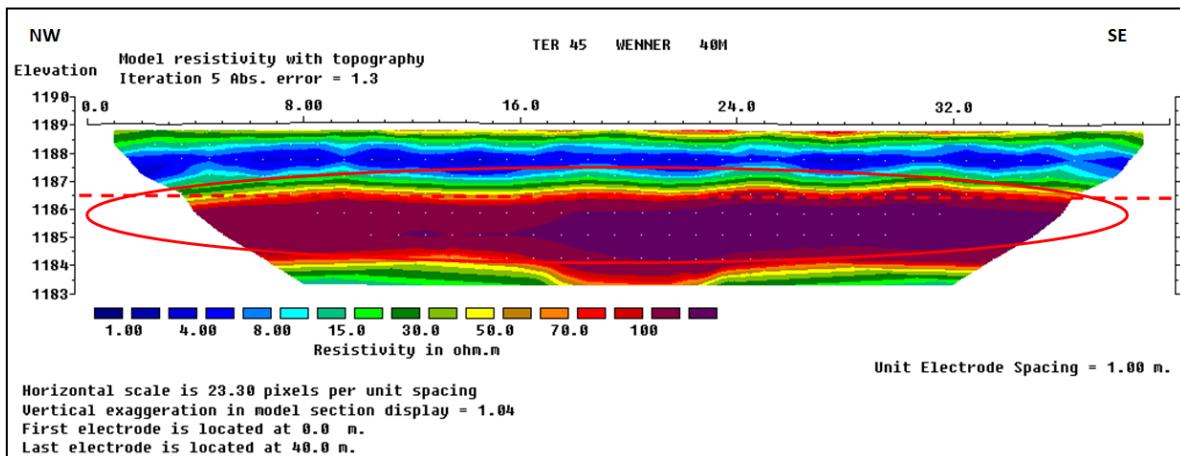


Figura VIII.1.45. Perfil Eléctrico Resistivo de la TER 45.

En el Perfil 45 (Figura VIII.1.45) se puede observar que el cuerpo del bordo está compuesto por material arcilloso y se encuentra desplantado sobre material asociado a arena.

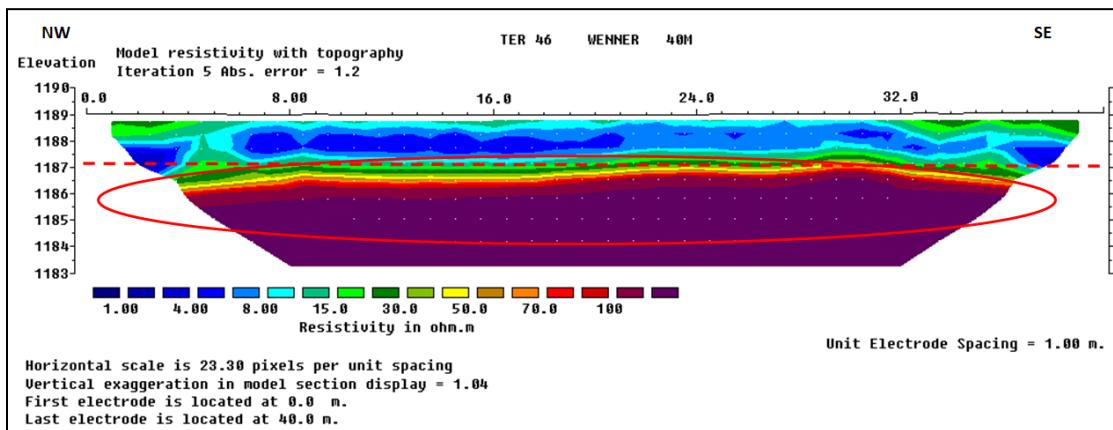


Figura VIII.1.46. Perfil Eléctrico Resistivo de la TER 46.

En el Perfil 46 (Figura VIII.1.46) se puede observar que el cuerpo del bordo está compuesto por material arcilloso y se encuentra desplantado sobre material asociado a arena.

**“ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO EN LA ZONA NORTE Y SUR DE LA CUENCA DE
EL BARREAL EN CIUDAD JUAREZ, CHIHUAHUA”**

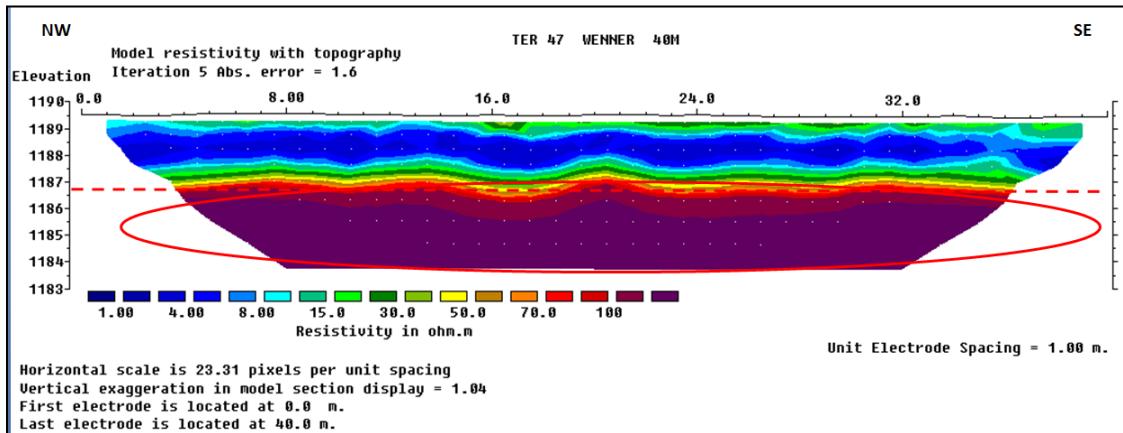


Figura VIII.1.47. Perfil Eléctrico Resistivo de la TER 47.

En el Perfil 47 (Figura VIII.1.47) se puede observar que el cuerpo del bordo está compuesto por material arcilloso y se encuentra desplantado sobre material asociado a arena.

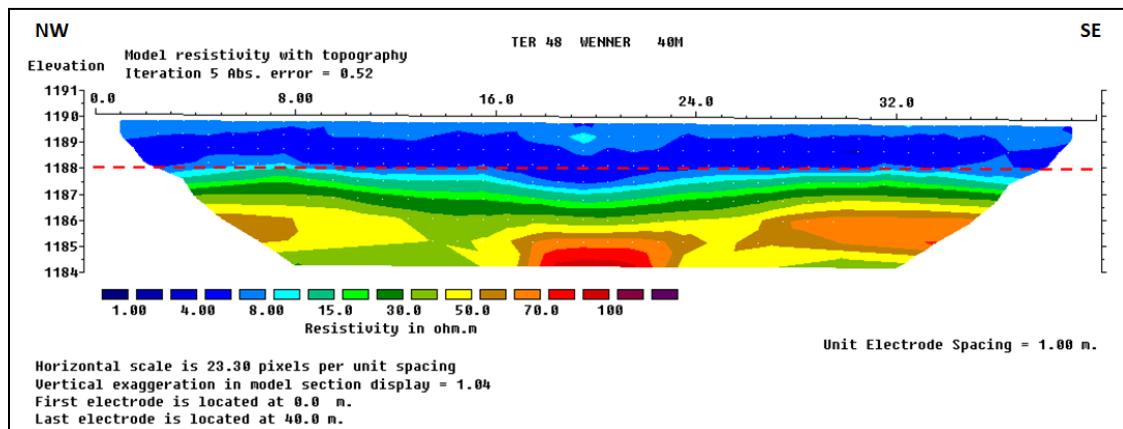


Figura VIII.1.48. Perfil Eléctrico Resistivo de la TER 48.

En el Perfil 48 (Figura VIII.1.48) se puede observar que el cuerpo del bordo está compuesto por material correspondiente a arcilla y se encuentra desplantado sobre material arcilloso. Muestra continuidad estratigráfica.

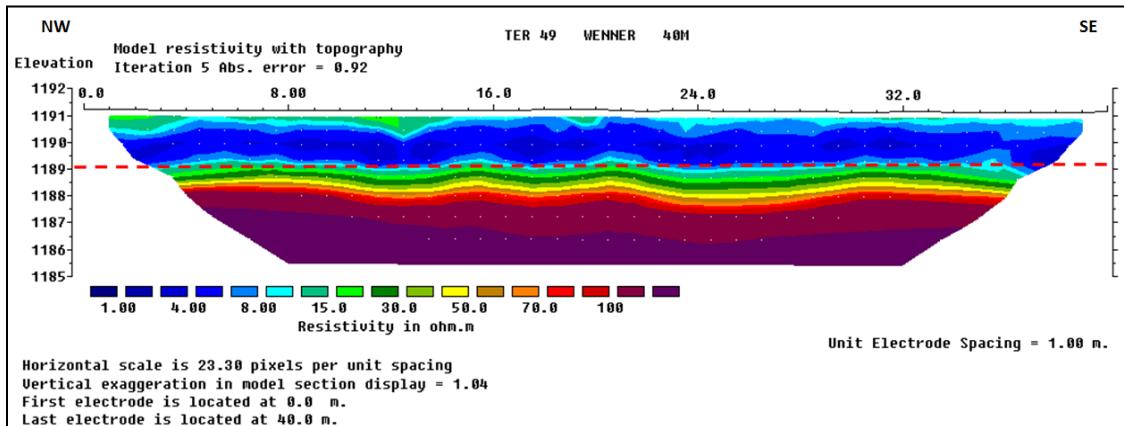


Figura VIII.1.49. Perfil Eléctrico Resistivo de la TER 49.

En el Perfil 49 (Figura VIII.1.49) se puede observar que el cuerpo del bordo está compuesto por material arcilloso y se encuentra desplantado sobre material asociado a arena. Muestra continuidad estratigráfica.

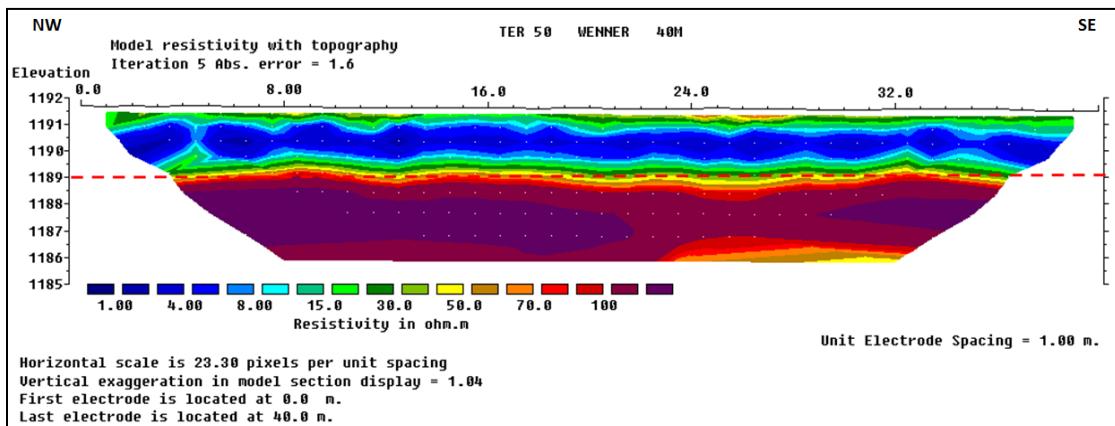


Figura VIII.1.50. Perfil Eléctrico Resistivo de la TER 50.

El Perfil 50 (Figura VIII.1.50) muestra continuidad estratigráfica, 0.5 m de espesor compuesto de limos en la corona y se encuentra desplantado en material asociado a arena.

**“ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO EN LA ZONA NORTE Y SUR DE LA CUENCA DE
EL BARREAL EN CIUDAD JUAREZ, CHIHUAHUA”**

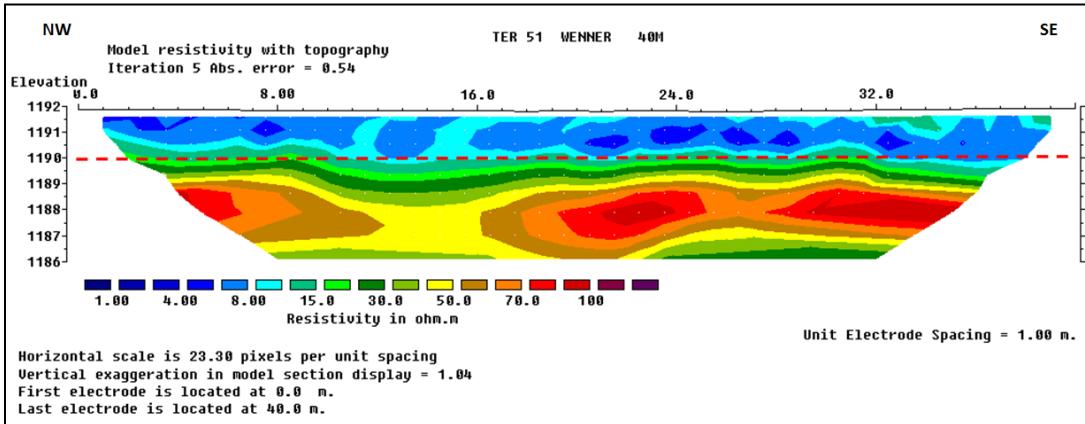


Figura VIII.1.51. Perfil Eléctrico Resistivo de la TER 51.

El Perfil 51 (Figura VIII.1.51) muestra continuidad estratigráfica, se puede observar que el cuerpo del bordo está compuesto por material arcilloso.

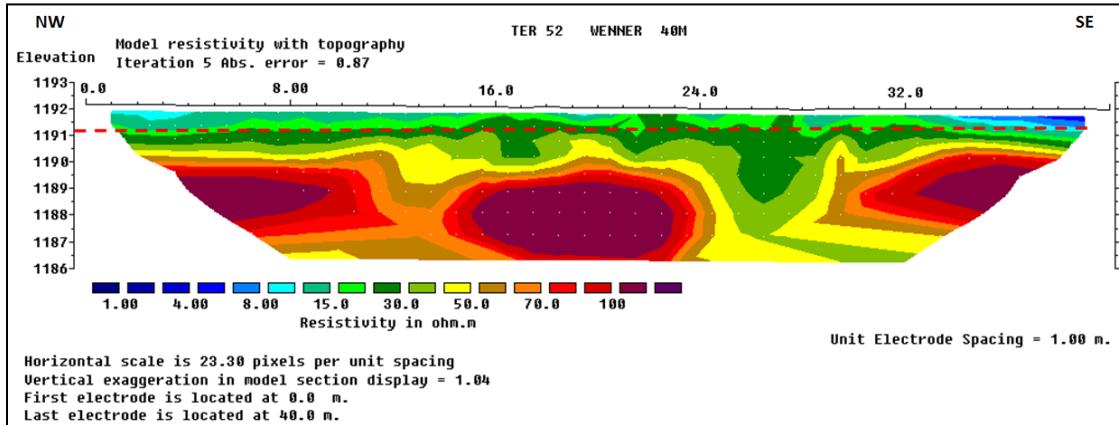


Figura VIII.1.52. Perfil Eléctrico Resistivo de la TER 52.

El Perfil 52 (Figura VIII.1.52) se encuentra a pocos metros de cercanía con el Boulevard Talamás Camandarí, por lo que se puede observar que el cuerpo del bordo está compuesto por material limo-arenoso. En este punto el bordo solo tiene 1.0 m de altura.

IX. INTERPRETACIÓN DE PERFILES

El proceso de interpretación de los datos geoeléctricos a unidades litológicas se llevó a cabo a través de la integración de la información generada en este estudio. Las variaciones en profundidad registradas en el campo resistivo se consideraron consistentes con las observaciones geológicas superficiales en las cuales se observan horizontes litoestratigráficos interestratificados. La correlación entre rangos resistivos y unidades litológicas se realizó tomando en consideración el hecho de que el tamaño de grano es directamente proporcional al registro electro resistivo (Tabla II).

Tabla II. Rangos resistivos y Unidades Geoeléctricas.

RANGO RESISTIVO (Ohm-m)	LITOLOGÍA
< 10	Arcillas Plásticas
15 -45	Limos o Arenas de Grano Fino
> 50	Arena de Grano medio a Grueso

A continuación se enlistan las anomalías más importantes y las líneas de TER en la que se observaron, así como el estatus de las mismas, ya sea que afecten o no la composición estructural del BMMH y los tramos en donde se localizan estas afectaciones (Figura VI.1).

Tabla III. Listado de Anomalías.

TER	ANOMALÍA (C.M. en metros)				STATUS
	A1	A2	A3	A4	
05	12	13	14	15	No compromete la estructura del bordo
06	8	9	10	26	Con Afectación
09	19	20	21	22	Con Afectación
16	13	14	15	16	No compromete la estructura del bordo
20	9	10	11	12	No compromete la estructura del bordo
23	20	21	22	23	Con Afectación
24	16	23	26	27	Con Afectación
25	24	25	26	29	Con Afectación
26	12	13	14		Con Afectación
27	10	11	12	13	Con Afectación

31	9	10	11		No compromete la estructura del bordo
02	19	20			Con Afectación, se realizó un corte transversal al bordo
39-43	Estas tomografías muestran espesores de más de 1m de materiales limo-arcillosos, además de estar el bordo desplantado sobre registros resistivos altos asociados con arena.				
48	No compromete la estructura del bordo sin embargo, el material del que está hecho este tramo del bordo es nuevo, debido al corte transversal realizado.				
01	No compromete la estructura del bordo sin embargo, a partir de este tramo se realizó un corte transversal al bordo hasta la TER 02.				

“ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO EN LA ZONA NORTE Y SUR DE LA CUENCA DE EL BARREAL EN CIUDAD JUAREZ, CHIHUAHUA”

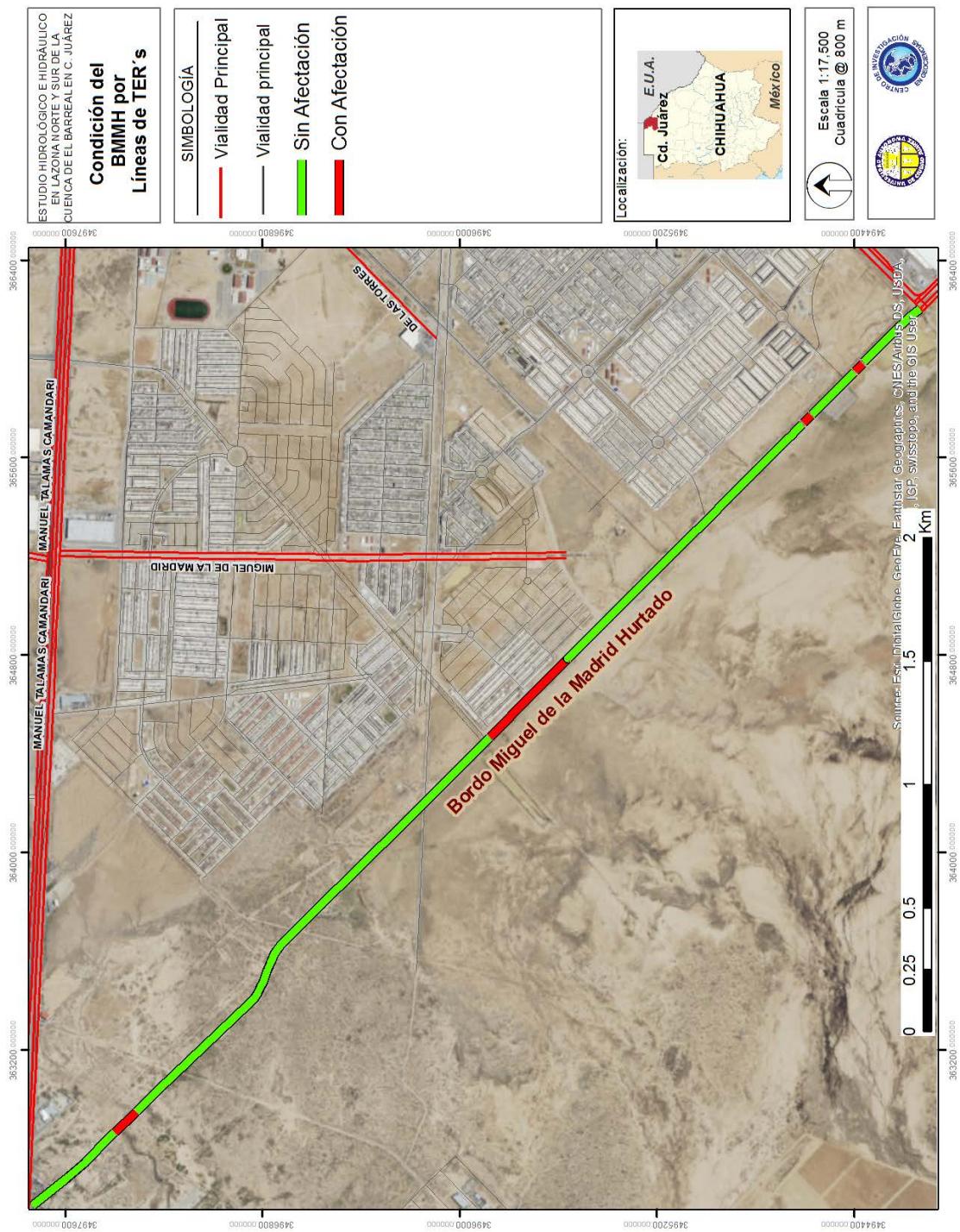


Figura IX.1 Interpretación de zonas Con y Sin afectación estructural en el BMMH.



X. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conforme a los estudios de esta investigación, en la cual se evaluaron las condiciones electroestratigráficas de la técnica de TER's se concluye lo siguiente:

1. Las anomalías detectadas son asociadas con heterogeneidades laterales en el cuerpo del bordo. Esto ocurre principalmente entre las TERs 23, 24, 25, 26 y 27, mismas que se localizan a tan solo 40 metros del desarrollo habitacional mas cercano.
2. Entre las TERs 38 a 42 se observan registros resistivos asociados con materiales limo-arenosos con más de 1 m de espesor.

Conforme el resultado de la presente investigación se recomienda:

1. Validar la asociación litológica inferida por las TERs con los sondeos Directos
2. Analizar la operación hidráulica del bordo y su integridad estructural en los escenarios de falla revelados como factibles de ocurrir en las TERs.



“ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO EN LA ZONA NORTE Y SUR DE LA CUENCA DE
EL BARREAL EN CIUDAD JUAREZ, CHIHUAHUA”

ESTUDIOS DE SÍSMICA

XI. ESTUDIOS DE SÍSMICA

El método de sísmica de refracción consiste en determinar las propiedades mecánicas del subsuelo mediante la determinación de las velocidades de propagación de la onda compresional, referida como P, por ser el primer arribo en cualquier evento sísmico activo o pasivo. La velocidad sísmica es proporcional a la densidad del medio de propagación y es por consiguiente un método efectivo para inferir las propiedades elásticas o mecánicas del continuo que en este caso constituye el macizo rocoso a estudiar. En este método se transmite energía a través de un pulso sísmico al subsuelo por medio de un martillo o fuente impulsada elásticamente o por nitrógeno, en este caso se emplearía un martillo de 16 lbs. Una vez que la energía sísmica ha interactuado con las capas del subsuelo, la señal resultante de convolución de la fuente con el medio es medida en la superficie, y una vez procesada es utilizada para inferir propiedades del subsuelo.

La refracción sísmica se fundamenta físicamente en el proceso de refracción crítica para inferir velocidades y profundidades de capas (incrementos de velocidad respecto a la profundidad). El principio base es que cuando la onda sísmica entra a un contacto donde hay un contraste de velocidad, la dirección de la onda cambia al entrar en un nuevo medio. El cambio de dirección es gobernado por la ley de Snell.

$$\frac{\sin i}{\sin r} = \frac{V1}{V2}$$

Donde V1 y V2 son las velocidades de las capas superior e inferior. E i y r son los ángulos de incidencia y refracción. En la refracción se considera

principalmente la onda primaria P, para el estudio. Aunque es posible detectar fase de onda S mediante reducciones de tiempo, o bien desarrollando metodologías de dispersión como MASW y ReMI.

El arreglo consiste en colocar una línea de geófonos (receptores) en línea para capturar arribos de onda a partir de disparos sísmicos llevados a cabo por una fuente (marro o pistón) (Figura XI.1). Las ondas viajan en forma de ondas directas sobre la superficie, por reflexión sobre la capa reflectora y por refracción crítica. La captura de los arribos es llevada a un sismograma en el cual cada geófono genera una traza (Figura XI.2), para entonces identificar y medir *tiempos de arribo* en una gráfica de dromocrónica o de tiempo-distancia

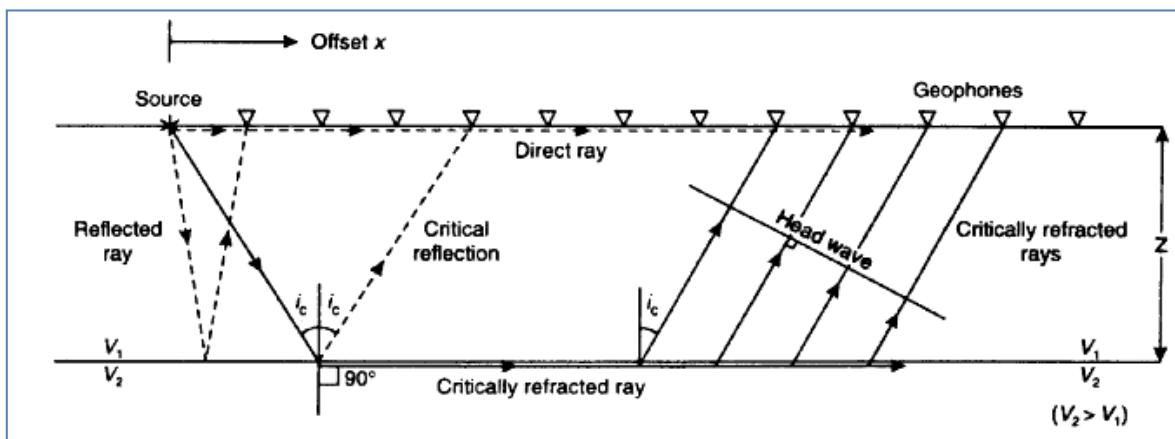


Figura XI.1. Adquisición y rayos involucrados en el método de sísmica de refracción.

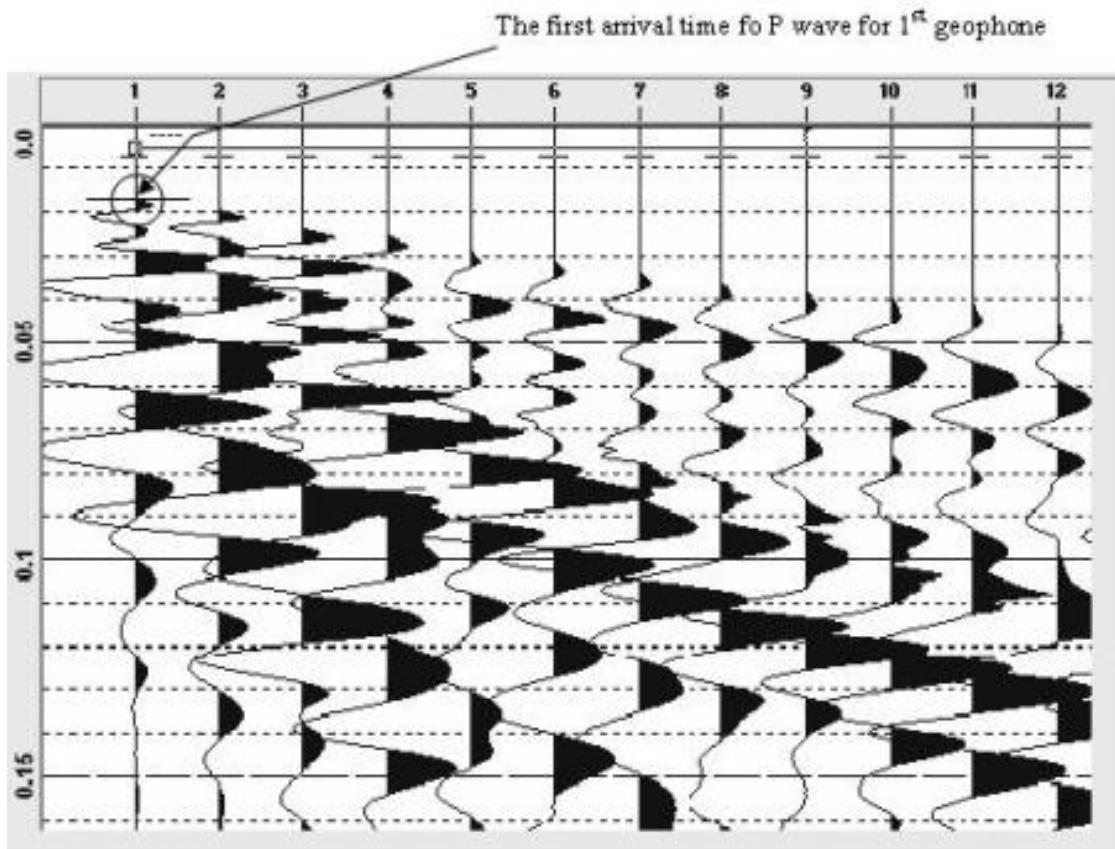


Figura XI.2. Apilamiento de sismogramas de cada geófono en función de la distancia offset.

Las aplicaciones de la refracción sísmica entre otras son el análisis de la aptitud del suelo para propósitos de ingeniería (ripabilidad), estimación de profundidad a roca, exploración de acuífero e incluso estudios de estructura de la corteza.

Como ejemplo se muestra como en base al mapeo sistemático de la velocidad P es posible inferir el nivel de intemperismo, fracturamiento, índice de calidad

de la roca (RQD) y ripabilidad hasta una profundidad de 25 m en una zona propuesta para el desplante de la cortina de la Presa proyectada (Figura XI.3).

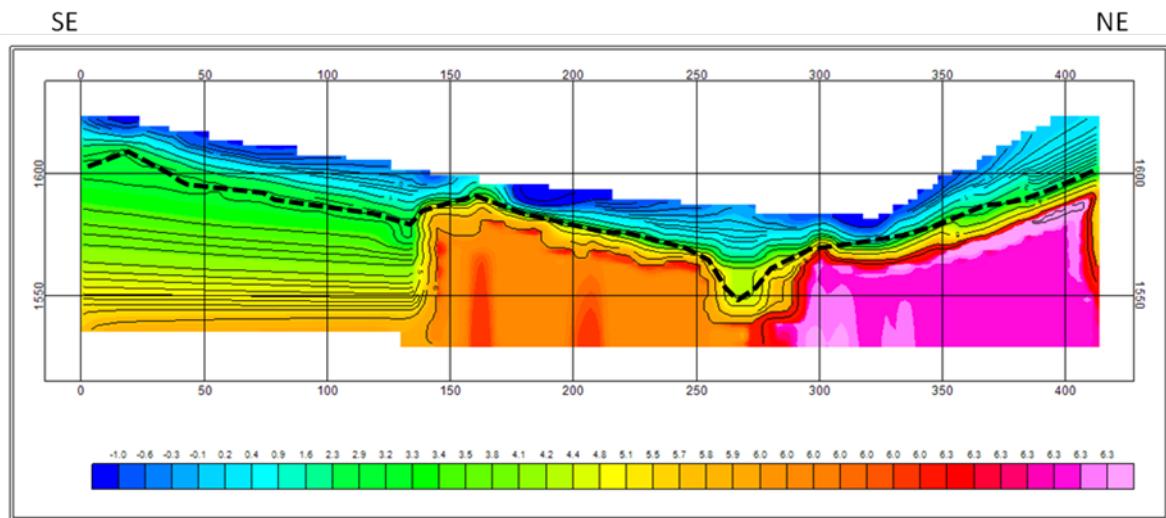


Figura XI.3. Sección sísmica de velocidad compresional P. Los tonos fríos (azul a verde) indican velocidades sísmicas menores a 3.0 km/s, son consideradas como de mala calidad para el desplante de la presa dado el grado e fracturamiento. Los tonos cálidos (amarillo a purpura) con velocidades mayores a 3.5 km/s se consideran con un RQD de regular a bueno para propósitos de cimentación. La línea punteada es el contorno de 3000 m/s, velocidades abajo de este valor se consideran ripables y con RQD malo. (Fuente: estudios propios).

XI.1. ONDA DE CORTE (S)

La velocidad de la onda de corte o cizalla V_s se puede determinar mediante refracción utilizando geófonos horizontales, siendo el método de procesamiento igual al explicado para la onda de cuerpo compresional P explicado en el apartado anterior. También es posible calcular la V_s en función de la onda superficial Rayleigh mediante la técnica o método MASW, la cual a continuación se detalla.

METODO MASW

El método de Adquisición Multicanal de Ondas Superficiales, conocido como MASW por sus siglas en el idioma inglés, consiste en la medición de ondas de corte o secundarias (V_s) a partir de las ondas superficiales Rayleigh, cuyo componente principal es precisamente la onda V_s . El método se basa en la medición de la dispersión que sufre el paquete de ondas o wavelet conforme la energía alcanza mayor “offsets” o distancias respecto del disparo (Figura XI.1.1).

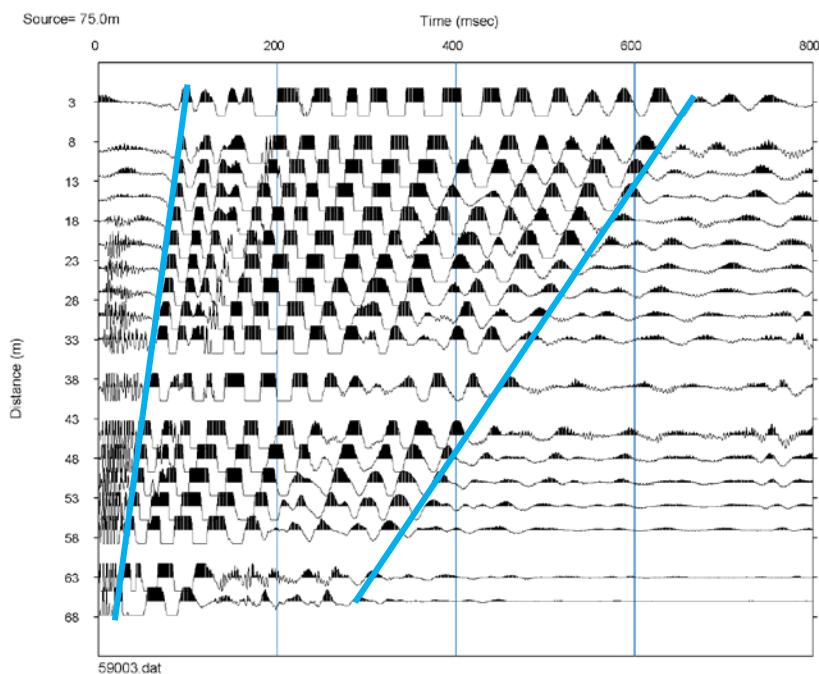


Figura XI.1.1. Sismograma mostrando la dispersión de fases dentro del paquete de la onda Rayleigh. La separación entre líneas azules muestra como las fases se retrasan conforme aumenta el offset o distancia.

Las diferentes velocidades de propagación de las diferentes fases que componen la onda Rayleigh son función de la frecuencia, es decir, las longitudes de onda corta mapean estructuras someras en tanto que las longitudes onda larga mapean estructuras más profundas (Figura XI.1.2). Por lo general, la longitud de onda más larga es precisamente la máxima distancia entre geófonos, siendo la profundidad de penetración aproximadamente la mitad del largo del tendido en el caso del disparo más lejano.

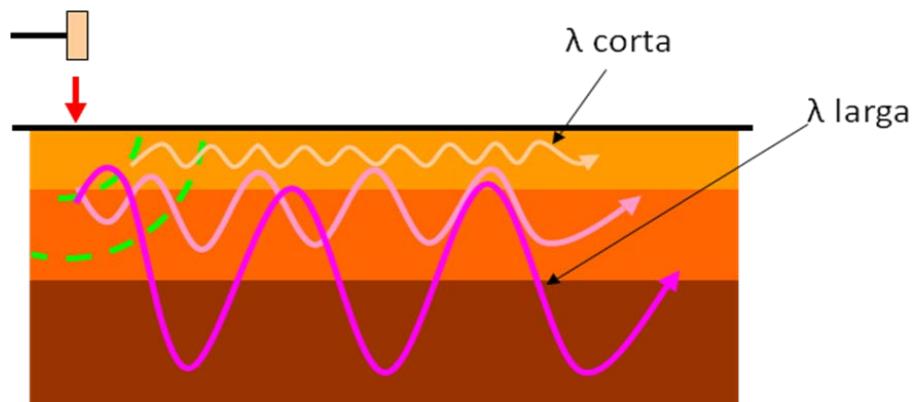


Figura XI.1.2. Diferente penetración en términos de la frecuencia o longitud de onda.

XI.2. TRABAJO DE CAMPO

Se adquirieron en campo ocho (8) líneas de Onda Superficial con longitud de 38 m y orientación Noroeste-Sureste a lo largo del Bordo Miguel de la Madrid Hurtado (Figura XI.2.1). Los registros de apilamiento del set de ondas se muestran en la Figura XI.2.2 a la Figura XI.2.10.

“ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO EN LA ZONA NORTE Y SUR DE LA CUENCA DEL BARREAL EN CIUDAD JUAREZ, CHIHUAHUA”

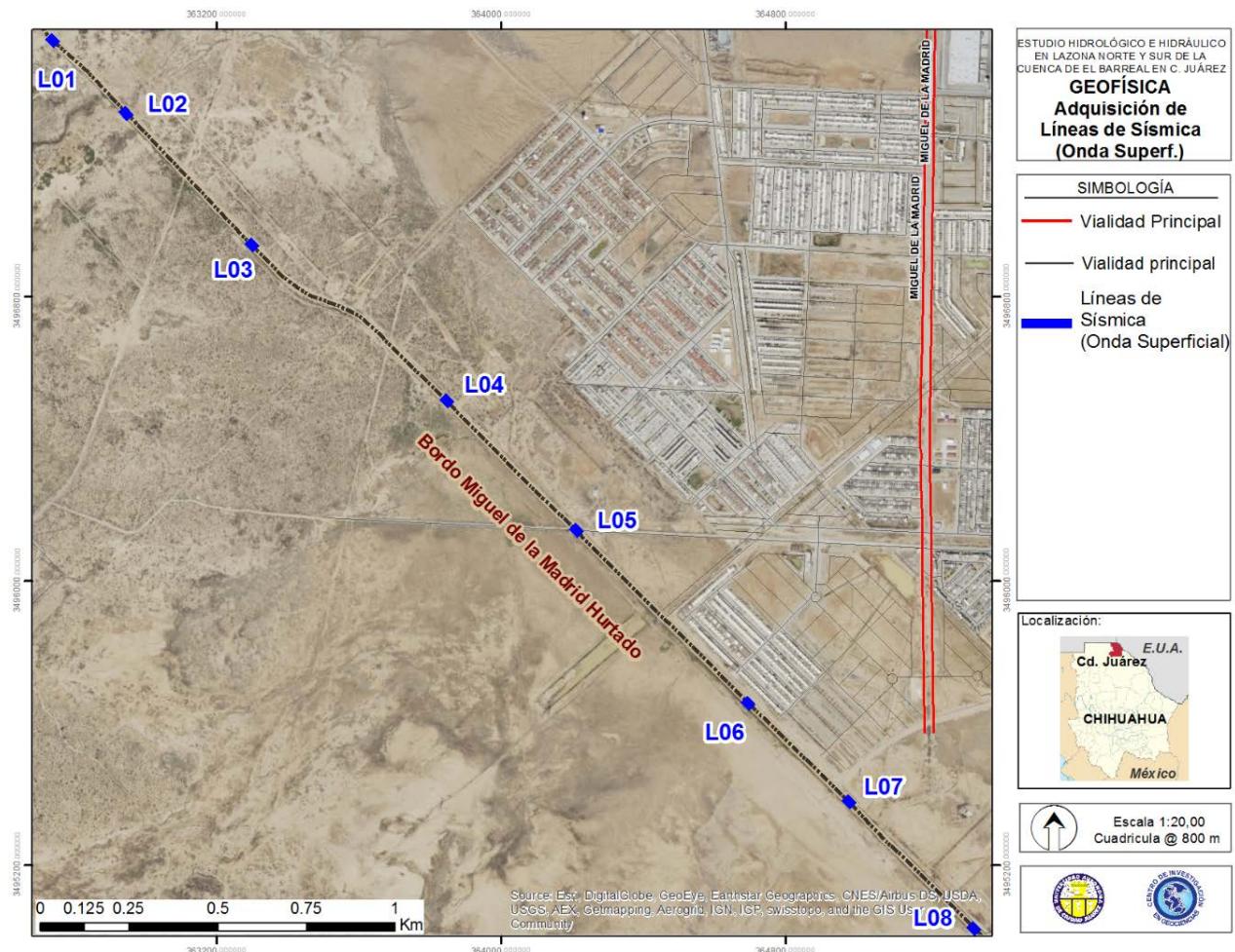


Figura XI.2.1. Adquisición de 8 líneas de Onda Superficial en el BMMH.

**“ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO EN LA ZONA NORTE Y SUR DE LA CUENCA DE
EL BARREAL EN CIUDAD JUAREZ, CHIHUAHUA”**

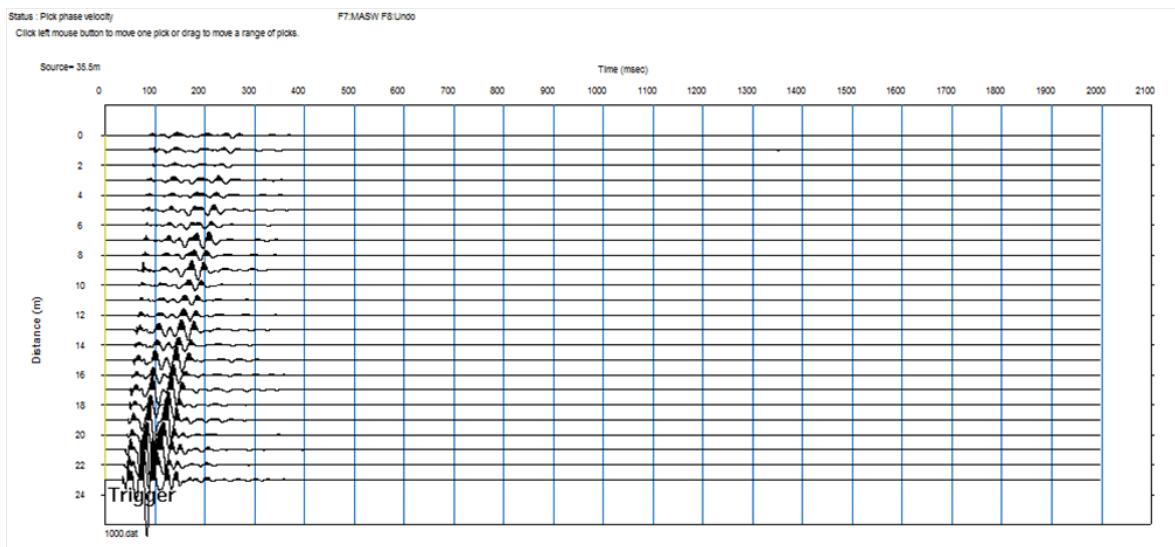


Figura XI.2.2. Línea de Onda Superficial 01.

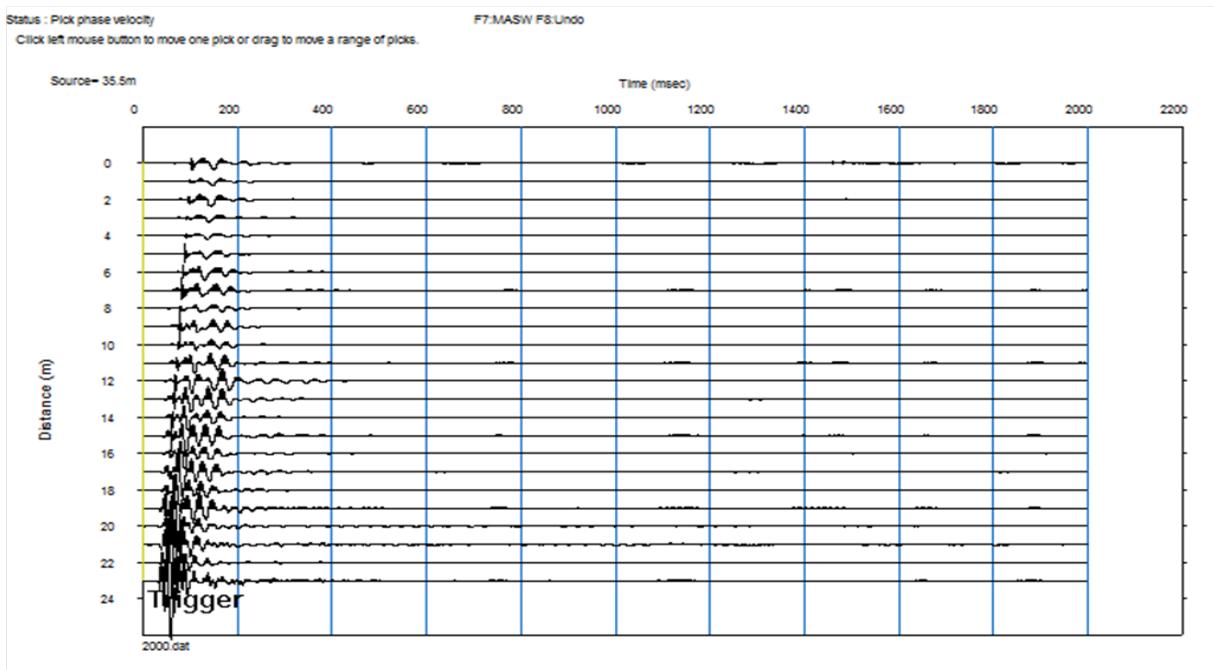


Figura XI.2.3. Línea de Onda Superficial 02.

**“ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO EN LA ZONA NORTE Y SUR DE LA CUENCA DE
EL BARREAL EN CIUDAD JUAREZ, CHIHUAHUA”**

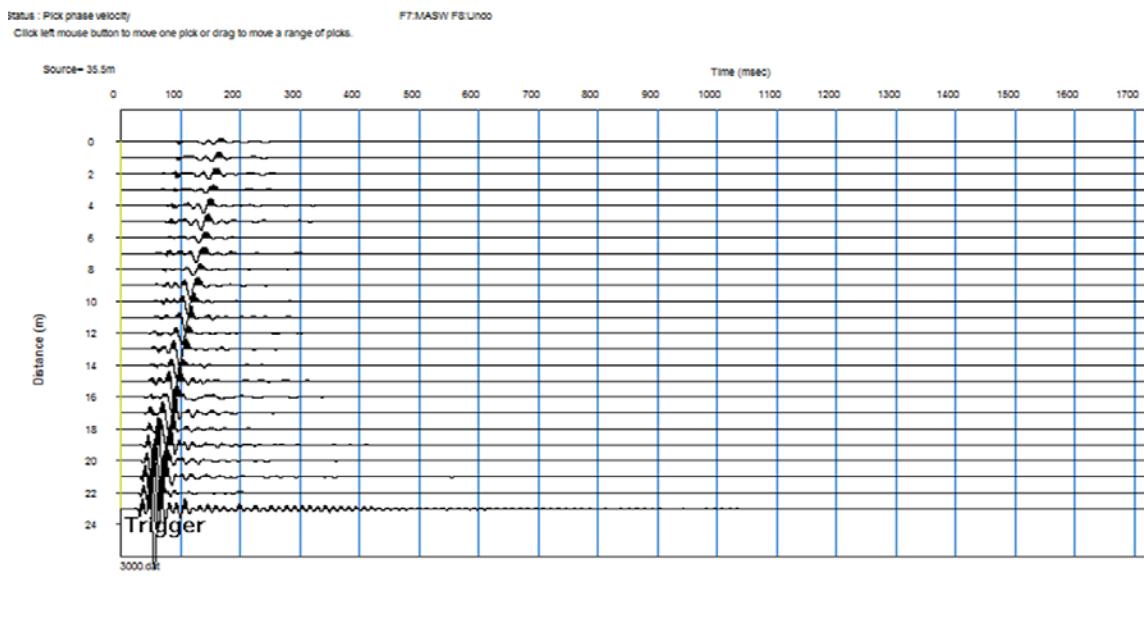


Figura XI.2.4. Línea de Onda Superficial 03.



Figura XI.2.5. Línea de Onda Superficial 04.

**“ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO EN LA ZONA NORTE Y SUR DE LA CUENCA DE
EL BARREAL EN CIUDAD JUAREZ, CHIHUAHUA”**

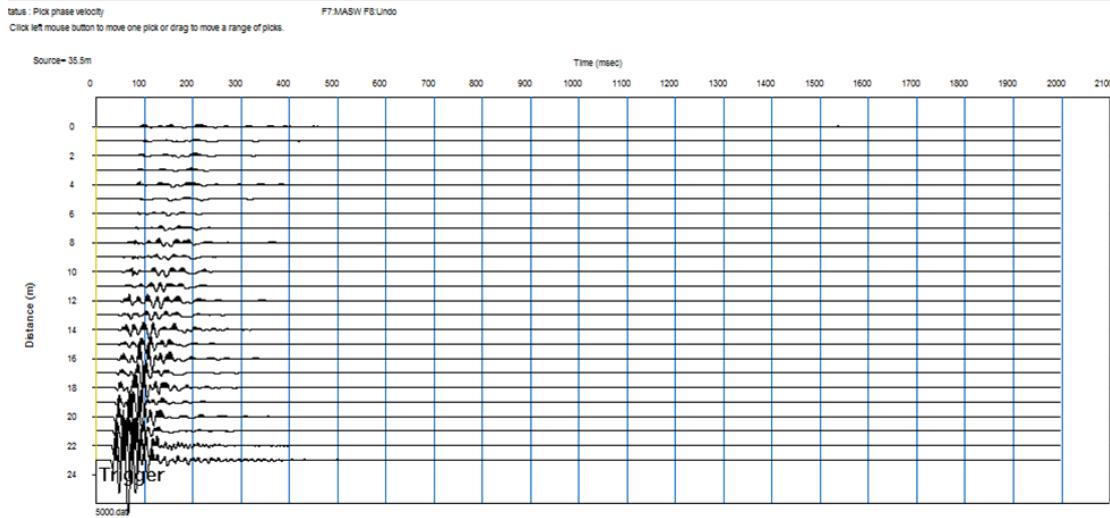


Figura XI.2.6. Línea de Onda Superficial 05.

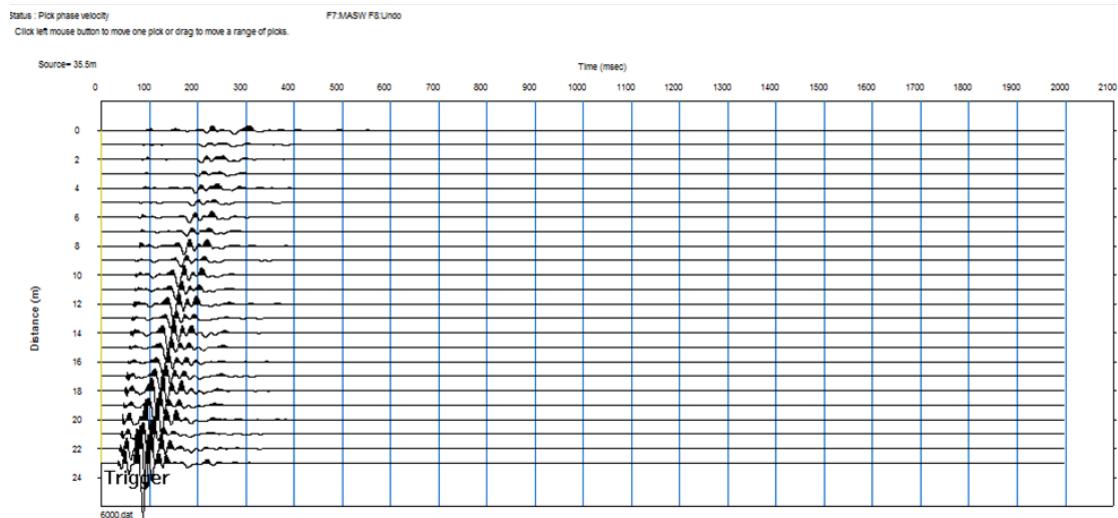


Figura XI.2.7. Línea de Onda Superficial 06.

**“ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO EN LA ZONA NORTE Y SUR DE LA CUENCA DE
EL BARREAL EN CIUDAD JUAREZ, CHIHUAHUA”**

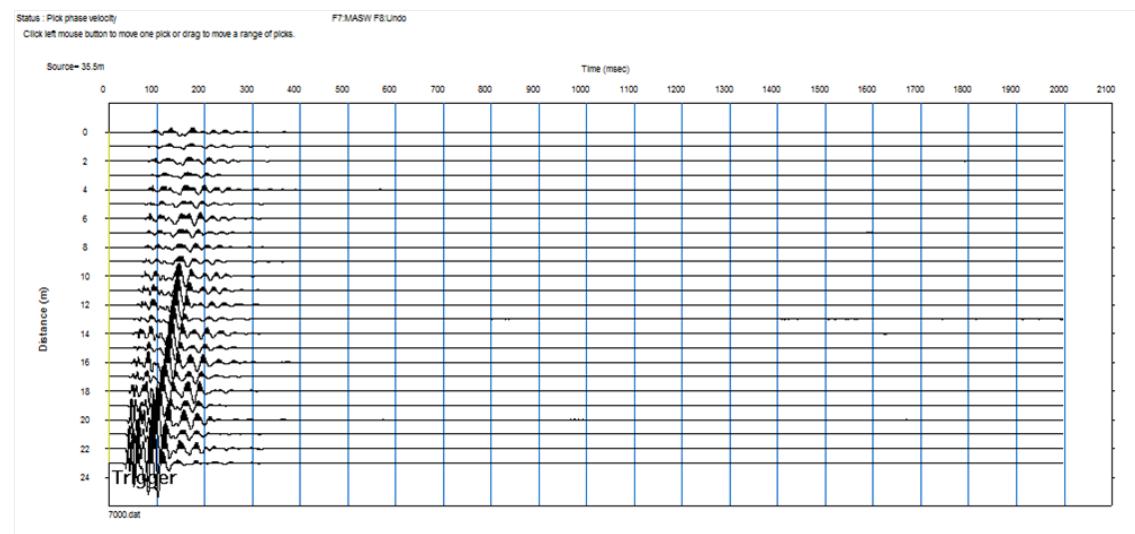


Figura XI.2.6. Línea de Onda Superficial 07.

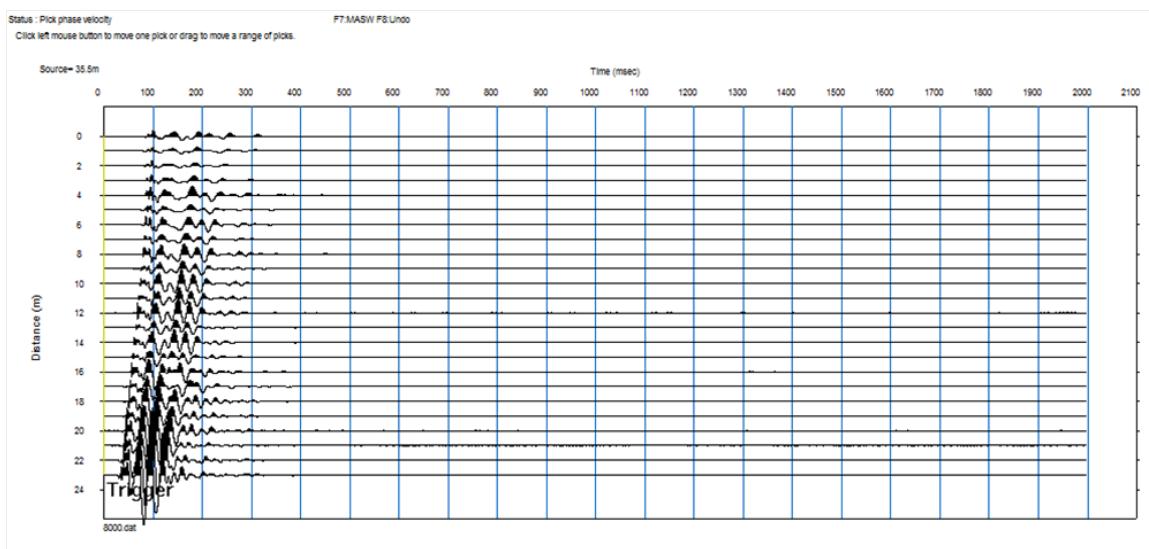


Figura XI.2.7. Línea de Onda Superficial 08.

XI.3. PROCESAMIENTO DE LA ONDA DE CORTE (S)

El procesamiento consiste en generar una curva de dispersión a partir del espectro de frecuencia-velocidad generado a partir de la transformada Tau-P aplicada sobre los sismogramas (Figura XI.3.1), posteriormente se corrigen los arribos seleccionados mediante el filtrado de sobretonos, y se invierte la curva suavizada de dispersión, generándose así un modelo 1D de velocidad de corte

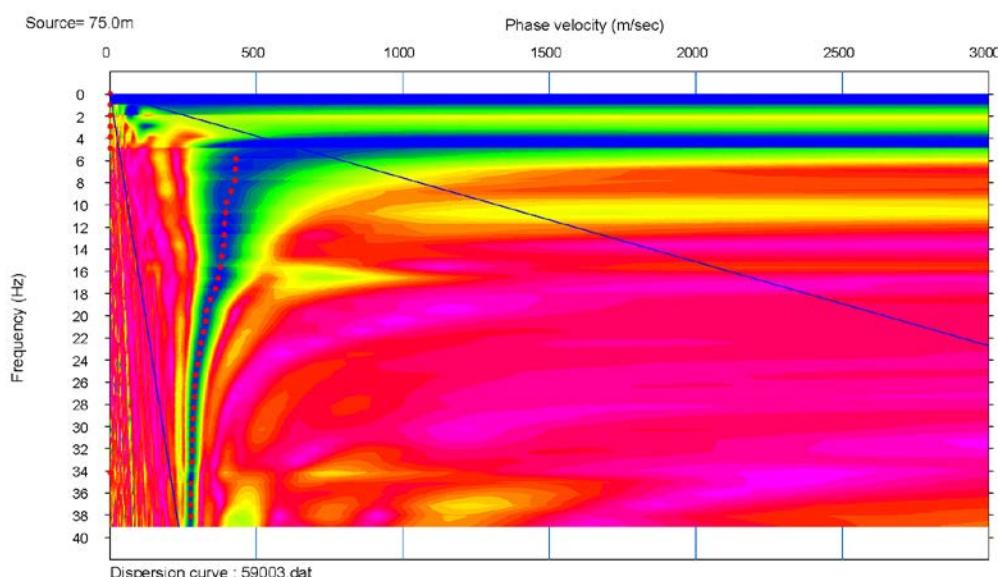


Figura XI.3.1. Espectro Frecuencia-Velocidad. Las mayores energías o amplitudes en azul representan la zona que se mapean los arribos identificados (puntos rojos) asociados con las diferentes fases.

A continuación, se muestran las 8 secciones en el espectro frecuencia-velocidad (Figura XI.3.2 a la Figura XI.3.9).

“ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO EN LA ZONA NORTE Y SUR DE LA CUENCA DE
EL BARREAL EN CIUDAD JUAREZ, CHIHUAHUA”

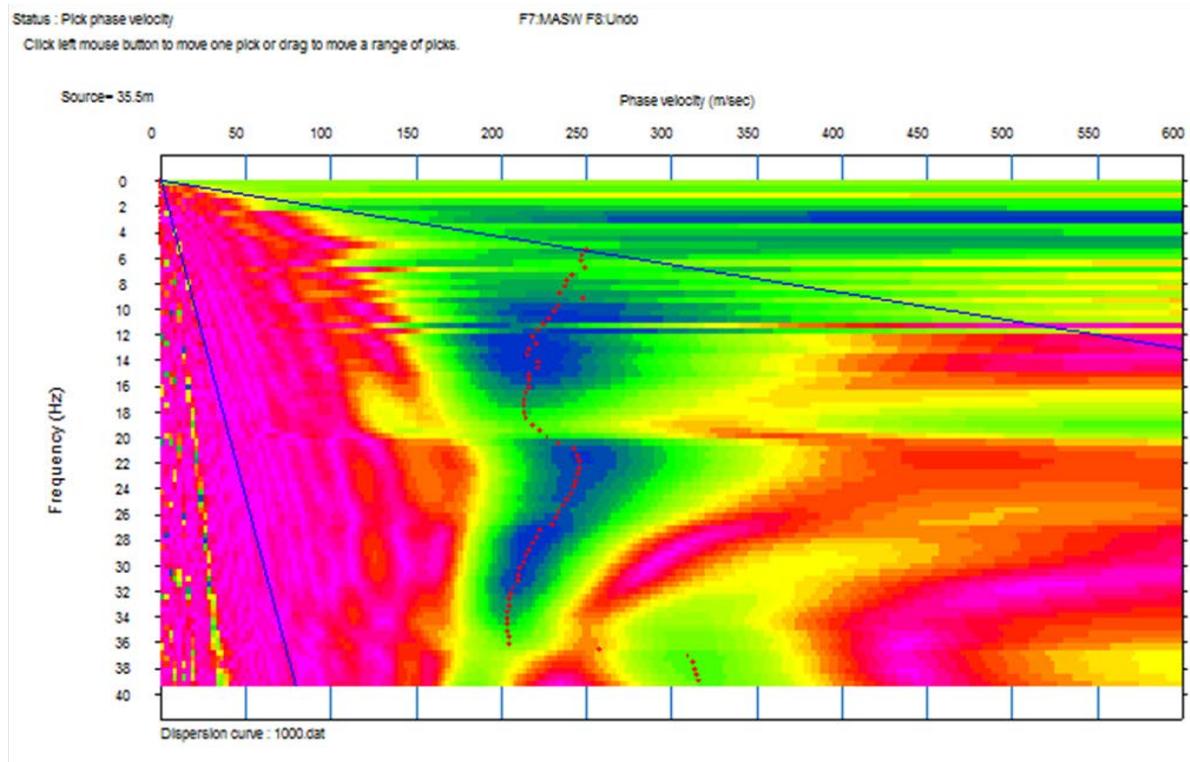


Figura XI.3.2. Espectro Frecuencia-Velocidad de la línea Onda Superficial 01.

“ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO EN LA ZONA NORTE Y SUR DE LA CUENCA DE
EL BARREAL EN CIUDAD JUAREZ, CHIHUAHUA”

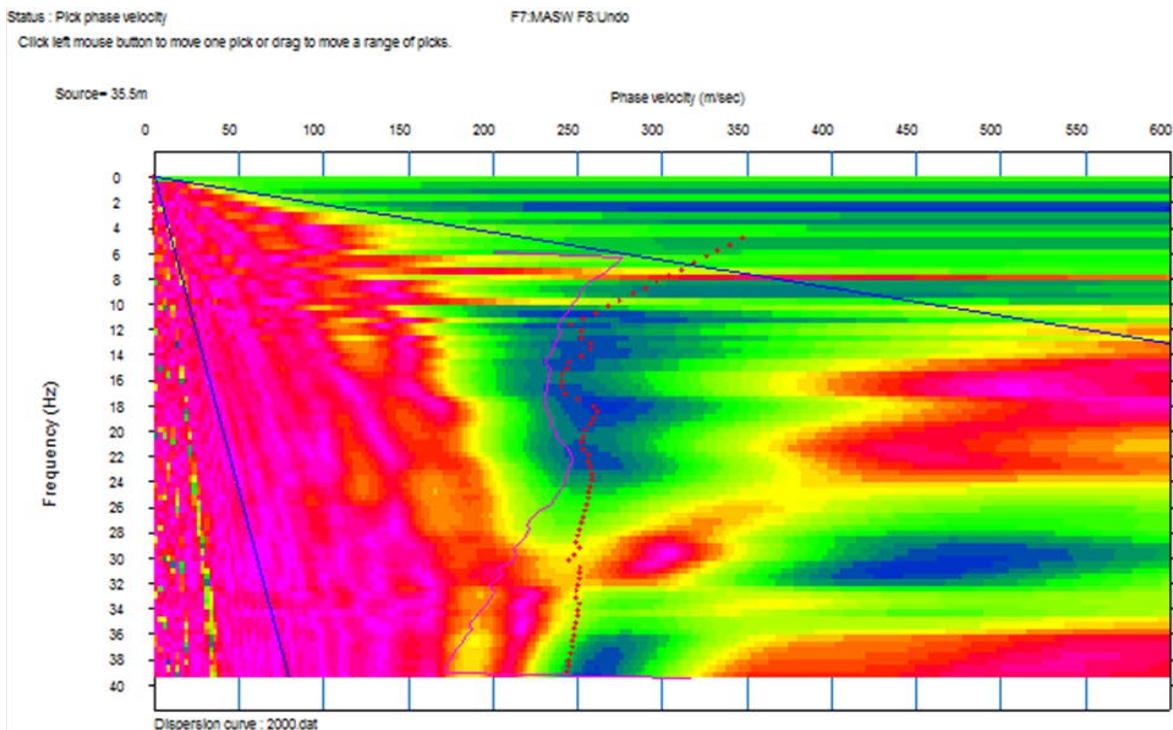


Figura XI.3.3. Espectro Frecuencia-Velocidad de la línea Onda Superficial 02.

“ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO EN LA ZONA NORTE Y SUR DE LA CUENCA DE
EL BARREAL EN CIUDAD JUAREZ, CHIHUAHUA”

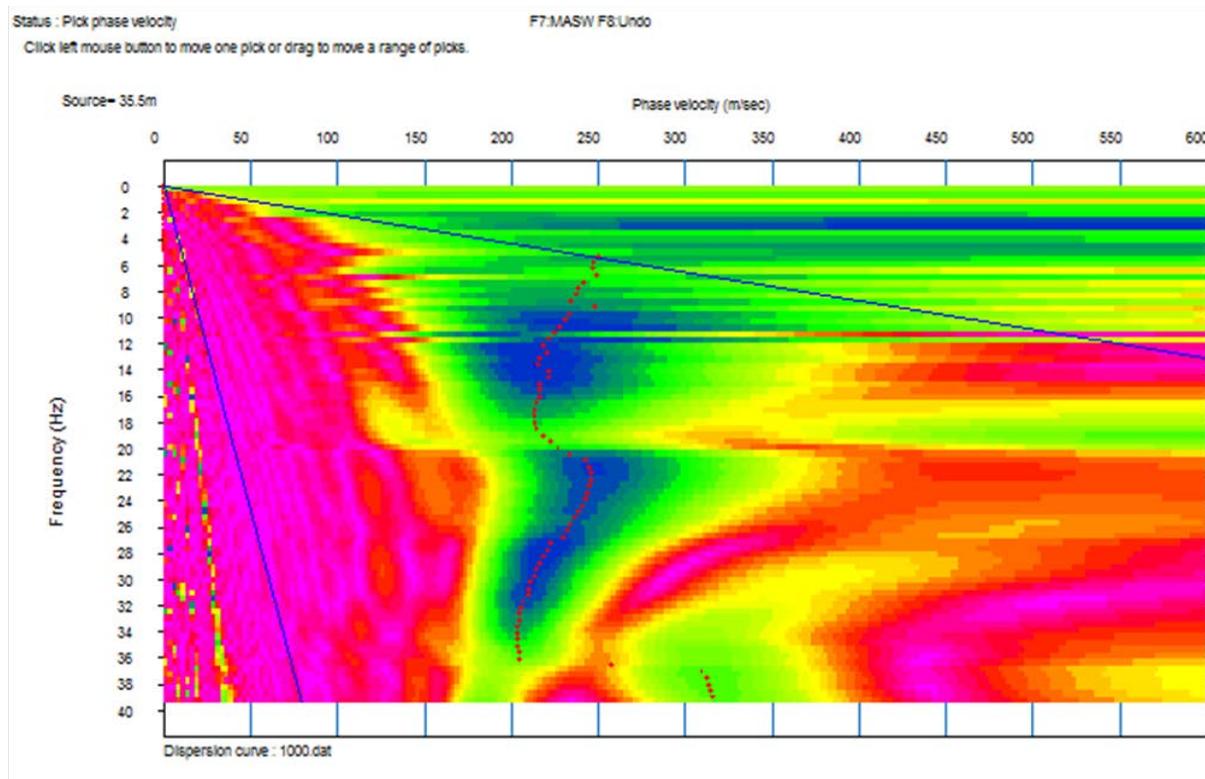


Figura XI.3.4. Espectro Frecuencia-Velocidad de la línea Onda Superficial 03.

**“ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO EN LA ZONA NORTE Y SUR DE LA CUENCA DE
EL BARREAL EN CIUDAD JUAREZ, CHIHUAHUA”**

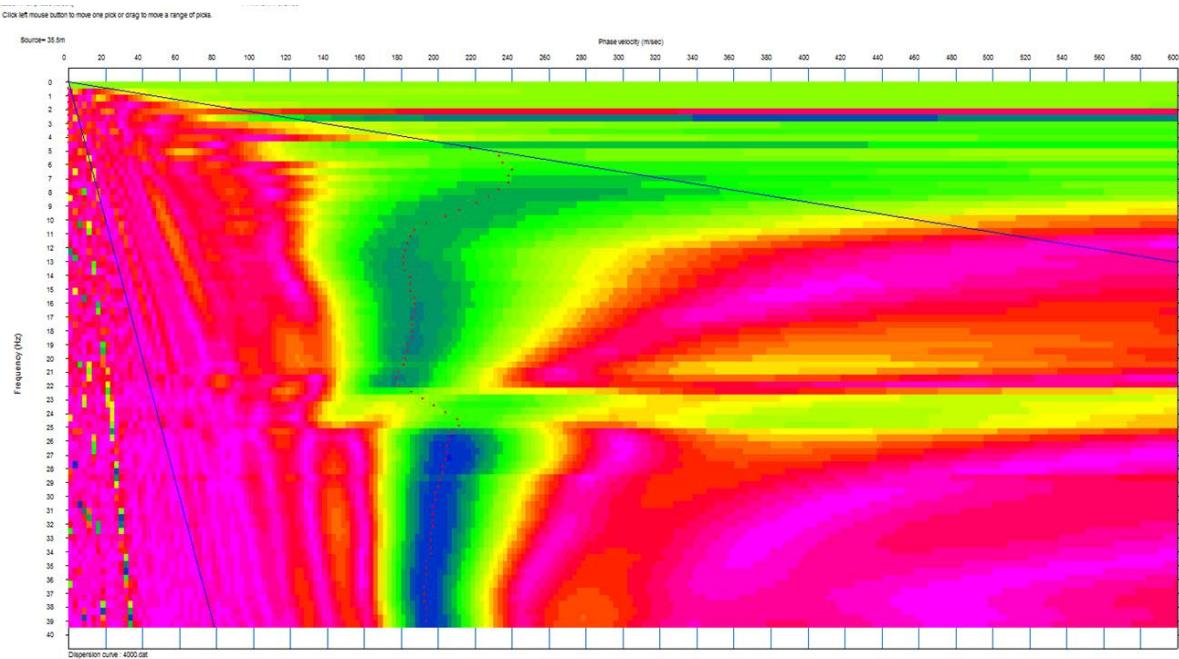


Figura XI.3.5. Espectro Frecuencia-Velocidad de la línea Onda Superficial 04.

“ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO EN LA ZONA NORTE Y SUR DE LA CUENCA DE
EL BARREAL EN CIUDAD JUÁREZ, CHIHUAHUA”

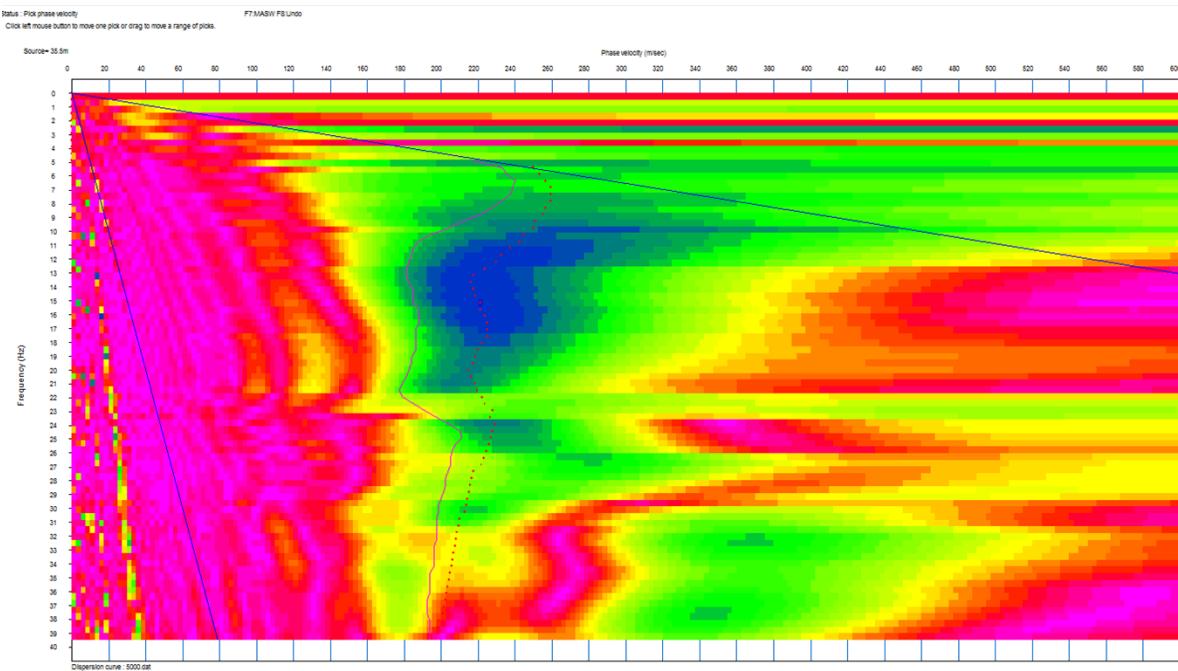


Figura XI.3.6. Espectro Frecuencia-Velocidad de la línea Onda Superficial 05.

“ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO EN LA ZONA NORTE Y SUR DE LA CUENCA DE
EL BARREAL EN CIUDAD JUÁREZ, CHIHUAHUA”

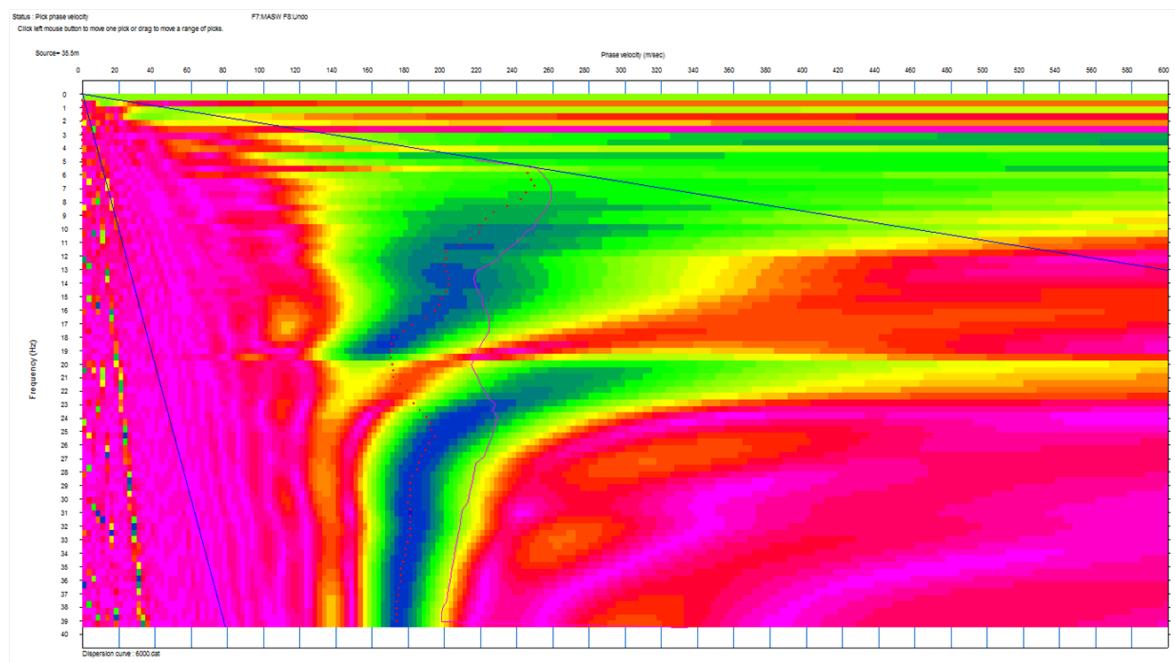


Figura XI.3.7. Espectro Frecuencia-Velocidad de la línea Onda Superficial 06.

“ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO EN LA ZONA NORTE Y SUR DE LA CUENCA DE
EL BARREAL EN CIUDAD JUÁREZ, CHIHUAHUA”

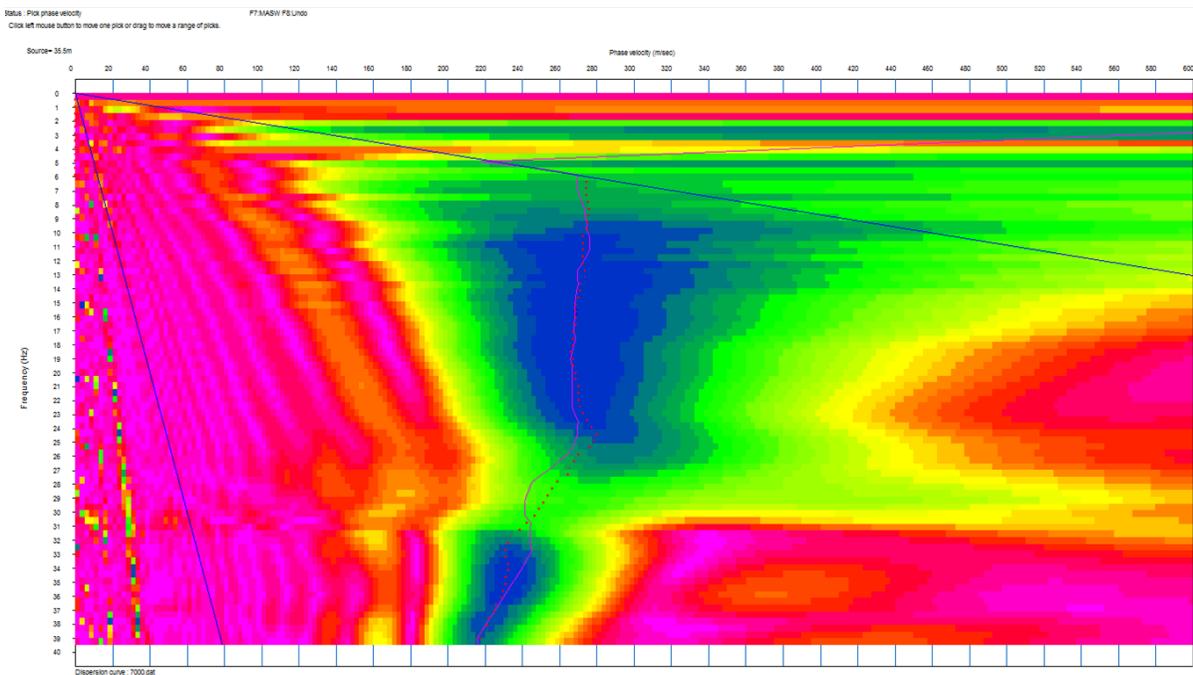


Figura XI.3.8. Espectro Frecuencia-Velocidad de la línea Onda Superficial 07.

**“ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO EN LA ZONA NORTE Y SUR DE LA CUENCA DE
EL BARREAL EN CIUDAD JUAREZ, CHIHUAHUA”**

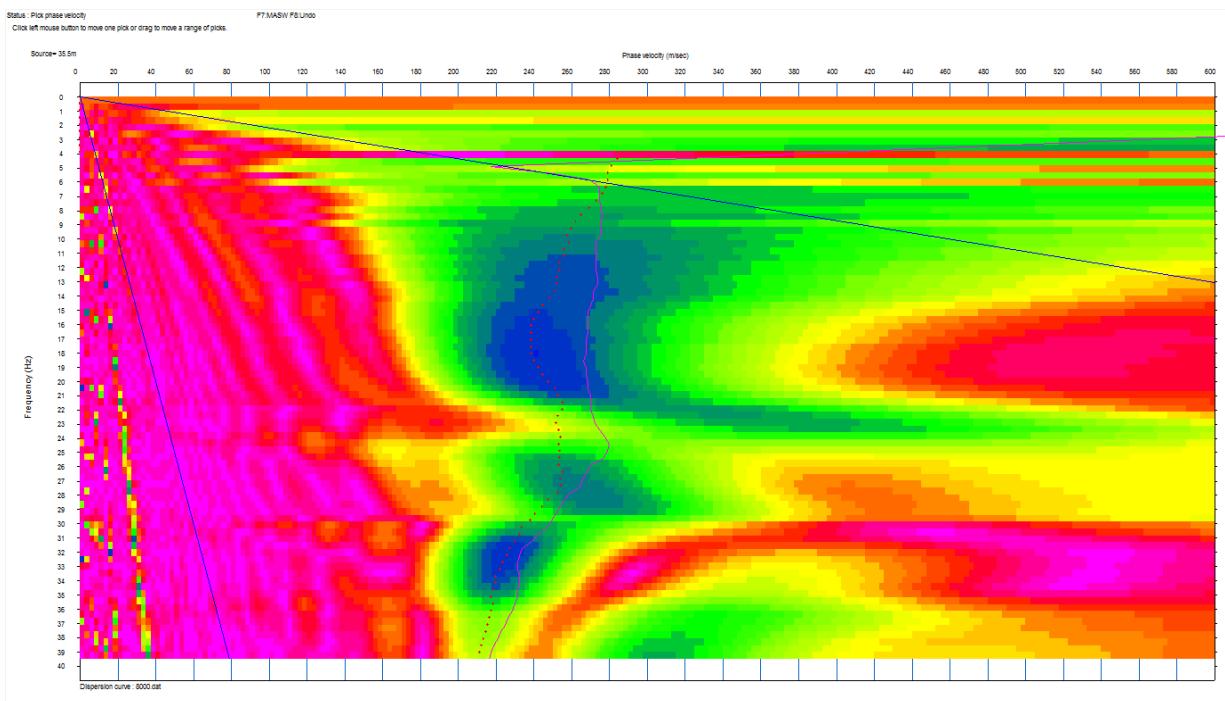


Figura XI.3.9. Espectro Frecuencia-Velocidad de la línea Onda Superficial 08.

XI.4. RESULTADO DE LA ONDA DE CORTE (S)

La ventaja de este método conforme al objetivo global de este estudio de mapear la integridad estructural del BMMH, es que a partir del modelo 1D es factible el correlacionar las Vs obtenidas con el parámetro N (número de golpes) de la Prueba de Penetración Estándar (SPT por sus siglas en inglés) y relacionarlo con la capacidad de carga del subsuelo en 1D (Figuras XI.4.1 a la Figura XI.4.8).

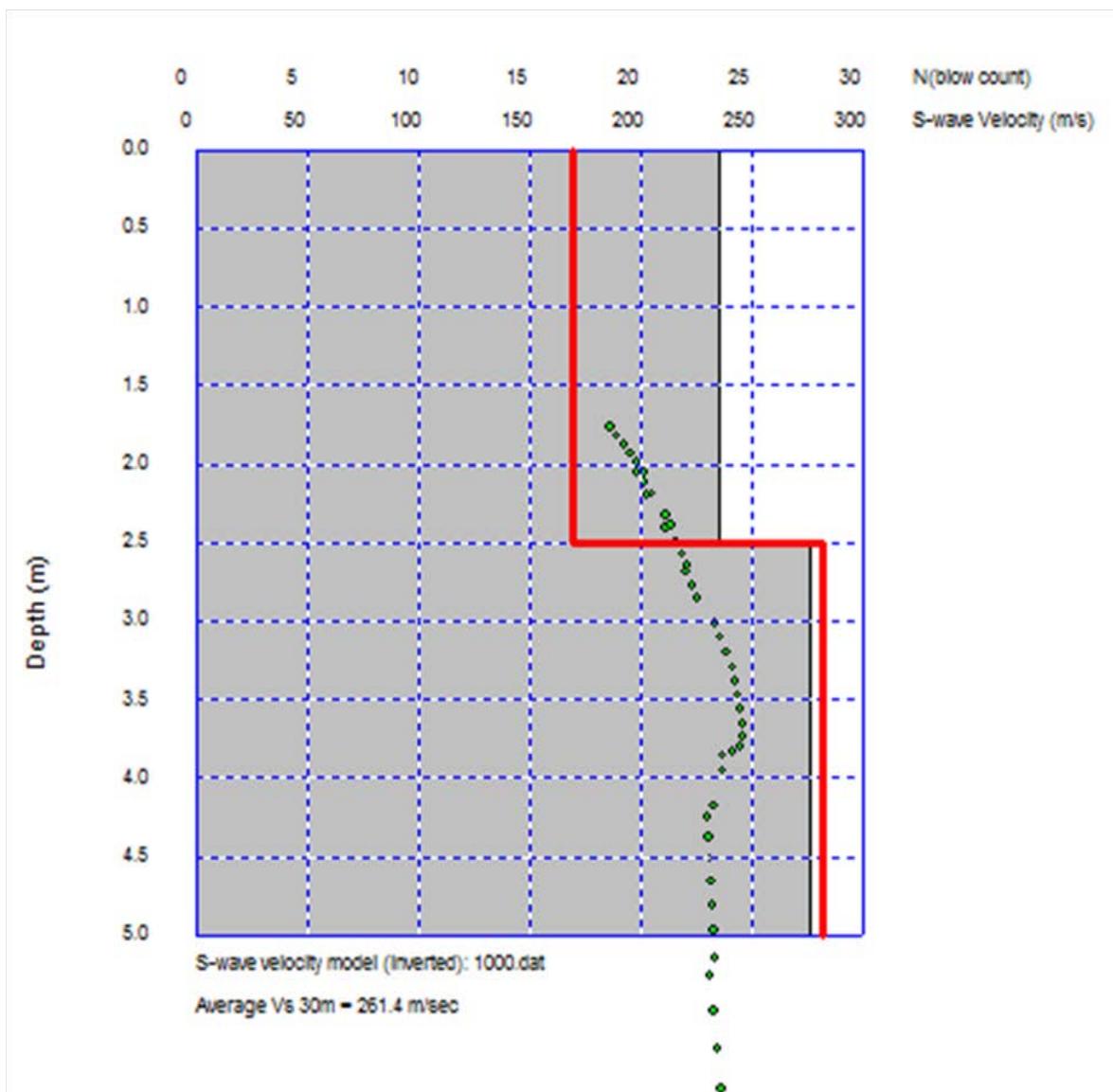


Figura XI.4.1. Modelo Vs en 1D-01. Conversión a N (línea roja) de la SPT.

“ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO EN LA ZONA NORTE Y SUR DE LA CUENCA DE
EL BARREAL EN CIUDAD JUÁREZ, CHIHUAHUA”

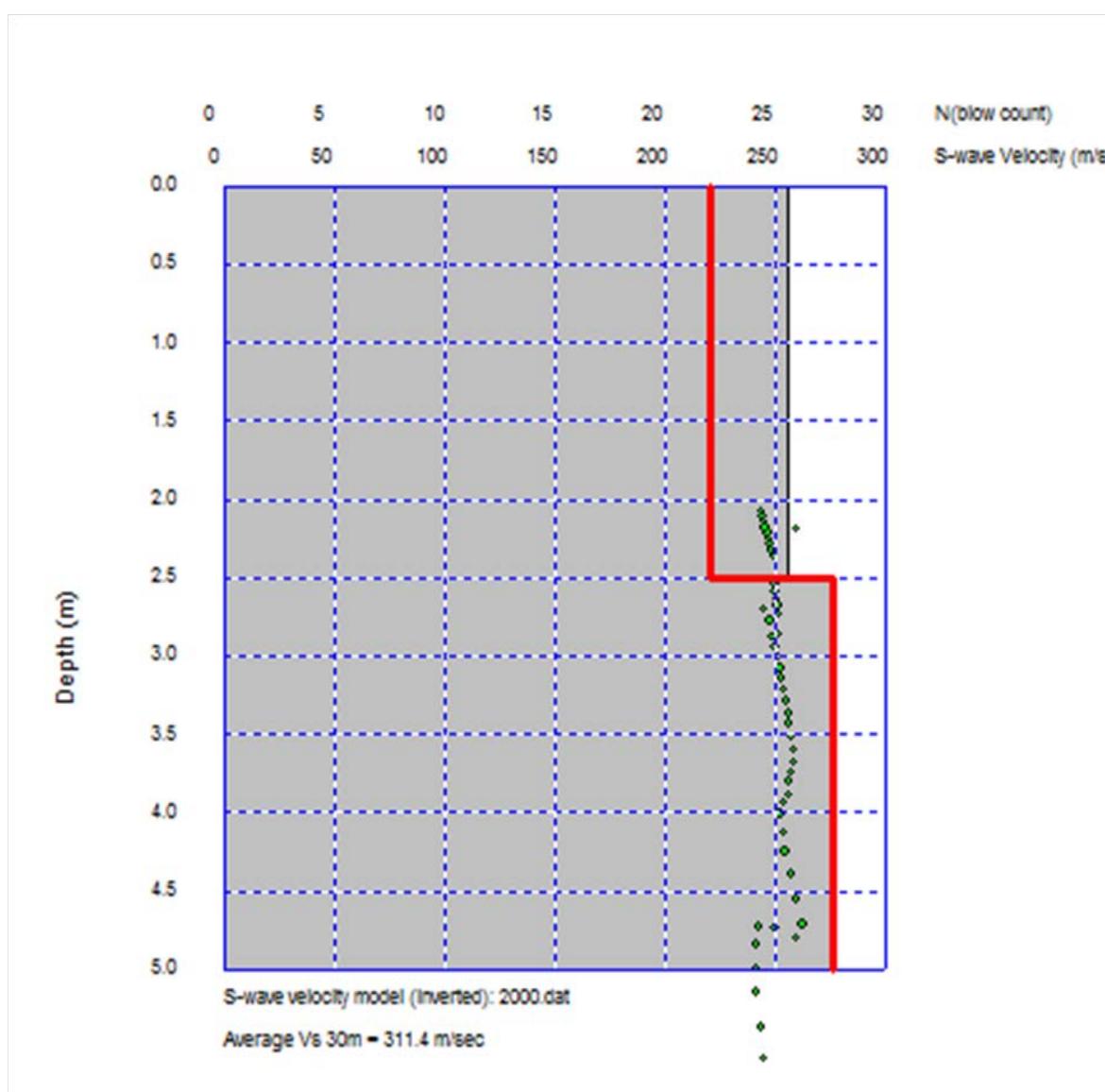


Figura XI.4.2. Modelo Vs en 1D-02. Conversión a N (línea roja) de la SPT.

“ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO EN LA ZONA NORTE Y SUR DE LA CUENCA DE
EL BARREAL EN CIUDAD JUÁREZ, CHIHUAHUA”

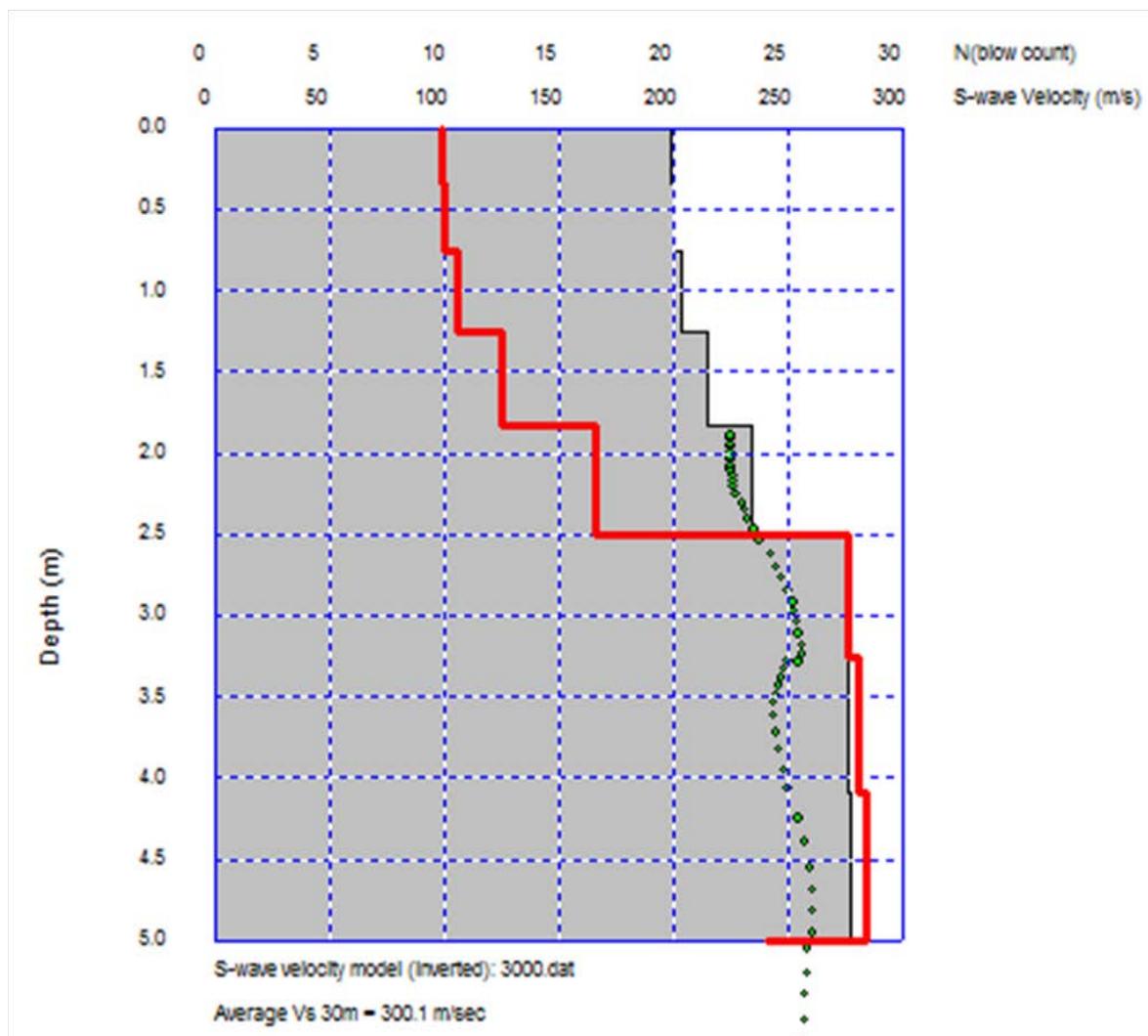


Figura XI.4.3. Modelo Vs en 1D-03. Conversión a N (línea roja) de la SPT.

“ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO EN LA ZONA NORTE Y SUR DE LA CUENCA DE
EL BARREAL EN CIUDAD JUÁREZ, CHIHUAHUA”

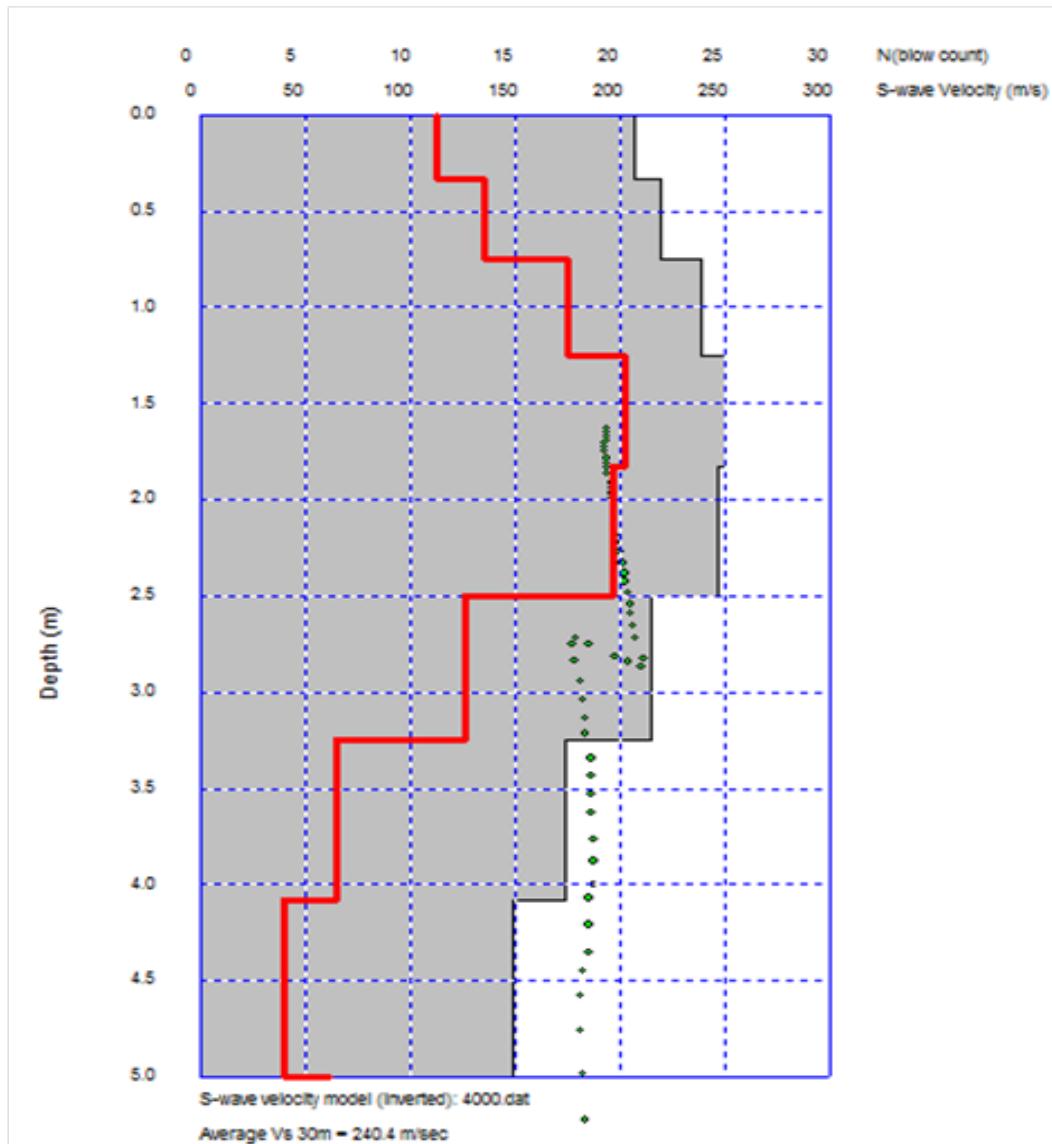


Figura XI.4.4. Modelo Vs en 1D-04. Conversión a N (línea roja) de la SPT.

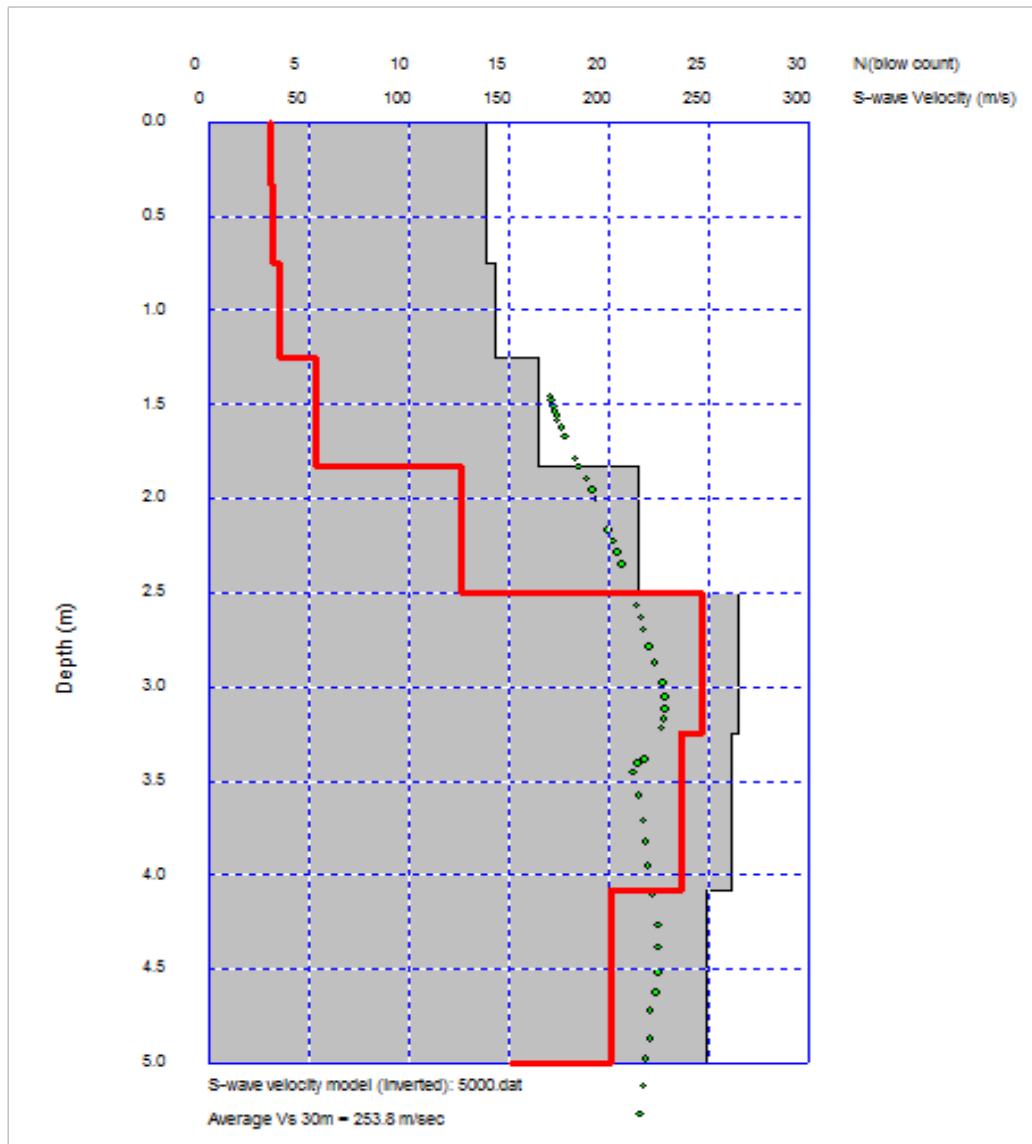


Figura XI.4.5. Modelo Vs en 1D-05. Conversión a N (línea roja) de la SPT.

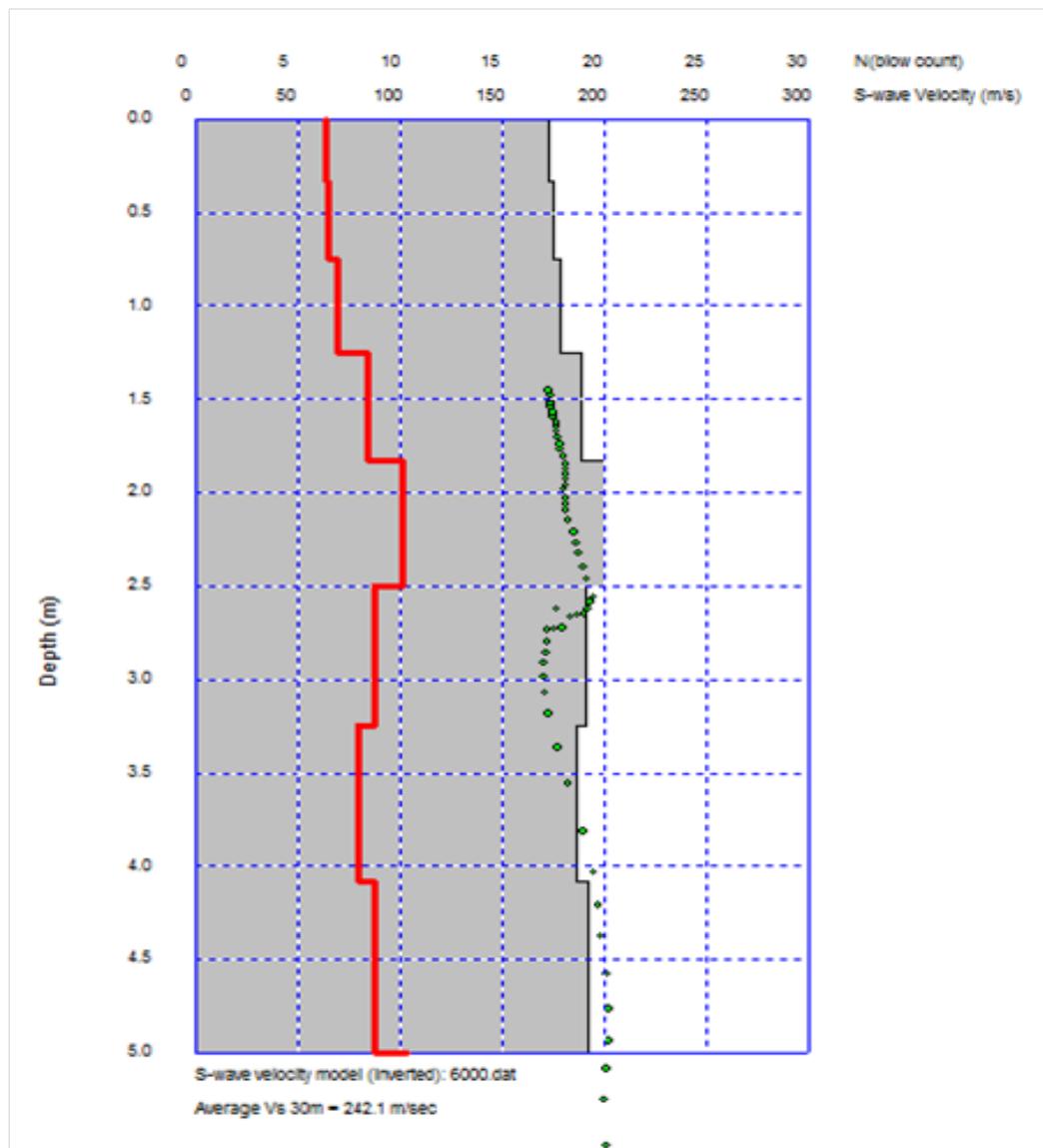


Figura XI.4.6. Modelo Vs en 1D-06. Conversión a N (línea roja) de la SPT.

“ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO EN LA ZONA NORTE Y SUR DE LA CUENCA DE
EL BARREAL EN CIUDAD JUÁREZ, CHIHUAHUA”

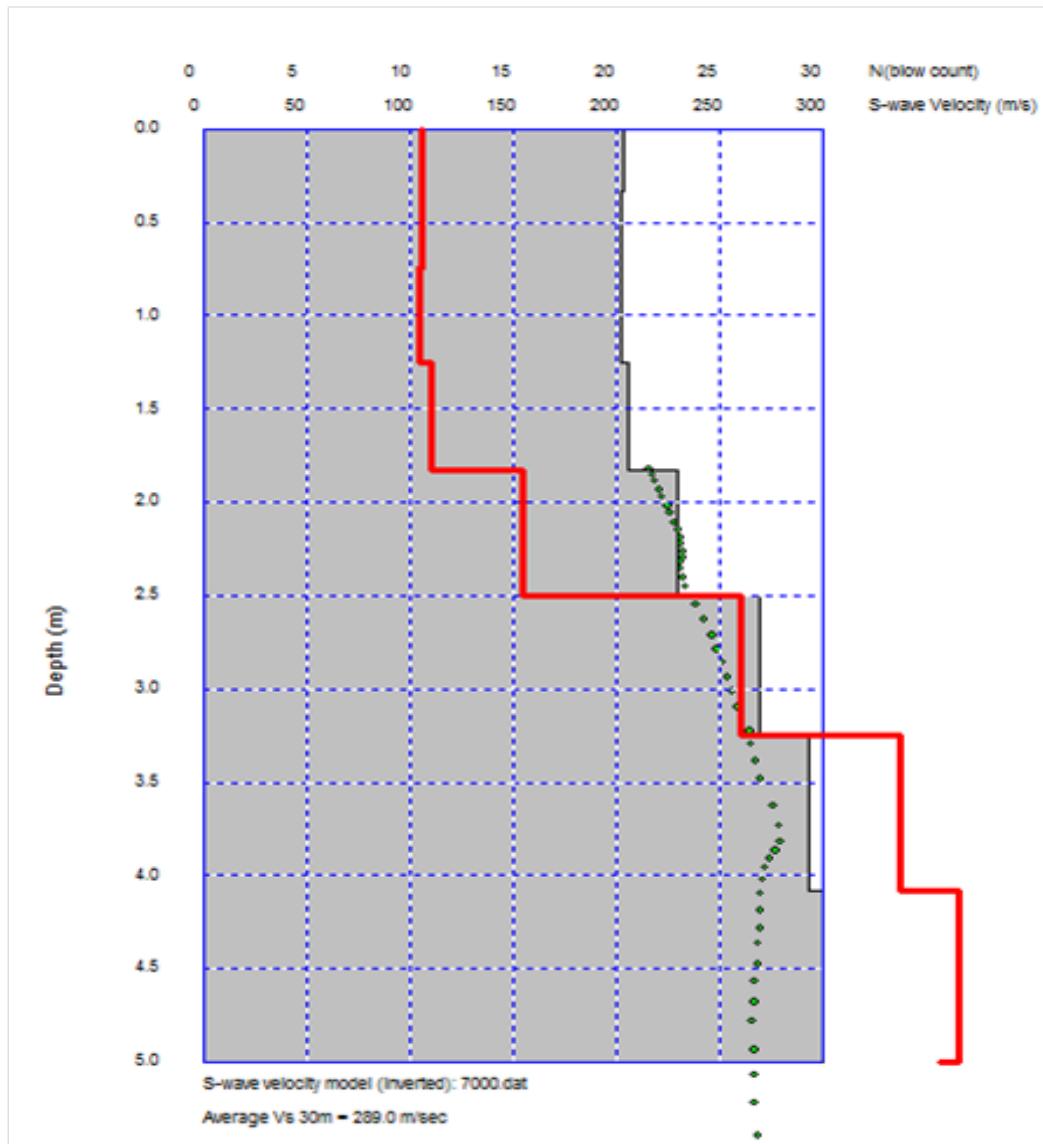


Figura XI.4.7. Modelo Vs en 1D-07. Conversión a N (línea roja) de la SPT.

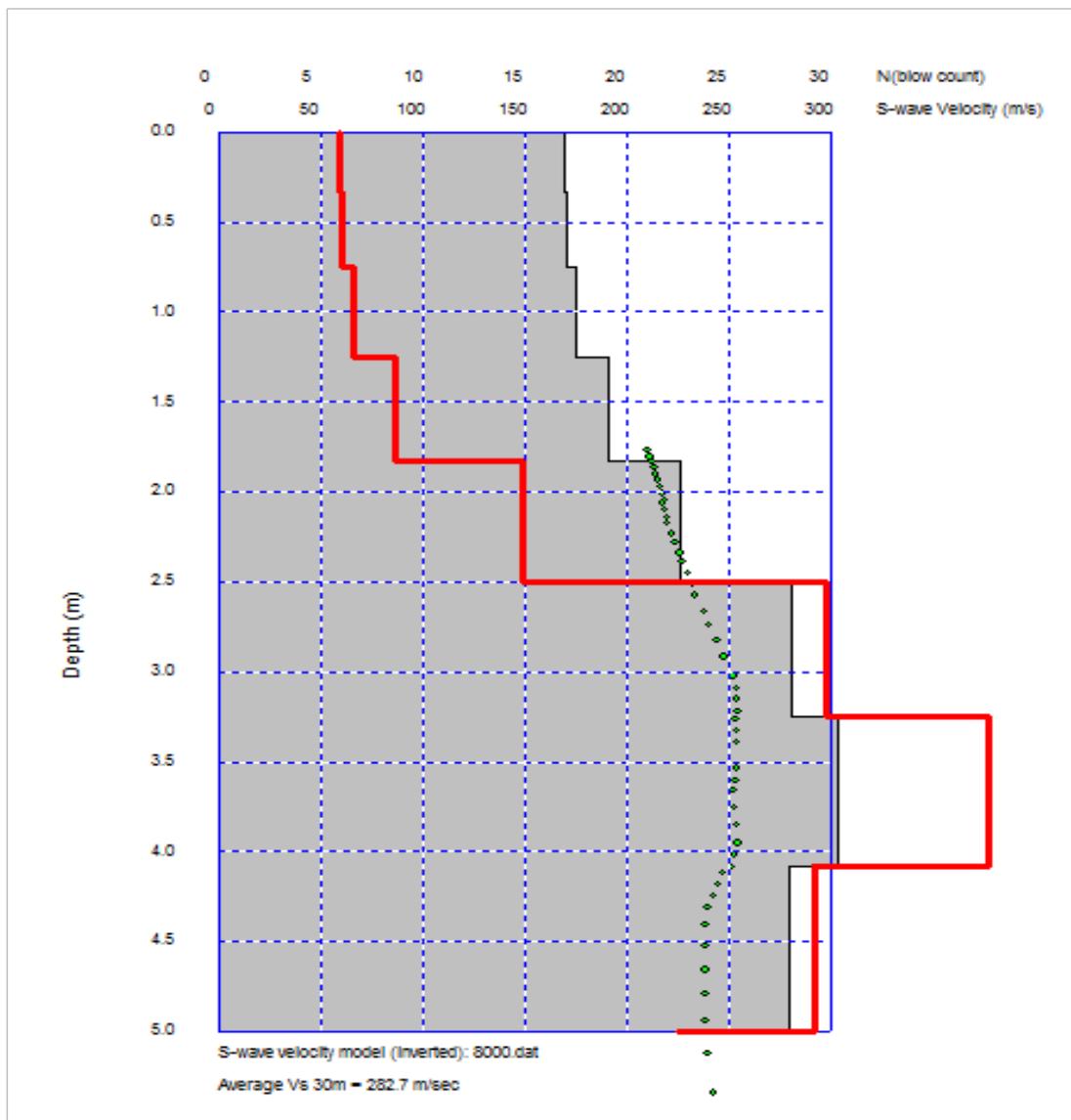


Figura XI.4.8. Modelo Vs en 1D-08. Conversión a N (línea roja) de la SPT.



XI.5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conforme los estudios de Onda Superficial, se concluye que el primer metro no fue revelado por la metodología por cuestiones del contenido espectral del registro sísmico como lo revelan los conos de dispersión.

Las velocidades de onda de corte son en promedio de 300 m/s asociadas con N mayor de 25, sin embargo hay registros bajos en velocidad en la primer capa de algunos sondeos, con N menores a 15.

Los valores bajos de Vs y N son indicativos de una posible falta de integridad estructural.



“ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO EN LA ZONA NORTE Y SUR DE LA CUENCA DE
EL BARREAL EN CIUDAD JUAREZ, CHIHUAHUA”

ESTUDIOS DE GEORADAR

XII. ESTUDIOS DE GEORADAR

XII.1. INTRODUCCIÓN

Los estudios de Georadar consisten en medir variaciones de la constante dieléctrica en el régimen de desplazamiento del campo electromagnético. Estas mediciones permiten detectar detalles ocultos de las estructuras tales como la presencia de varilla de refuerzo, zonas de daño como oquedades o fracturas, así como la presencia de objetos que sean conductivos. El procedimiento consiste en desplegar o arrastrar la antena sobre la superficie a estudiar y en la pantalla DVL se van desplegando los registros en tiempo real (Figura XII.1.1). Esta técnica geofísica es muy versátil, ya que sus aplicaciones van desde estudios en ciencias forenses, como también en la ingeniería civil, arqueología, minas y cavernas, etc.



Figura XII.1. Aplicaciones del Georadar (GPR).

XII.1. METODOLOGÍA

La metodología utilizada para la consecución del objetivo global de este estudio consistió en aplicar el método geofísico de Georadar o radar de suelos.

XII.1.1. Georadar o Ground Penetrating Radar (GPR)

Es una técnica no destructiva orientada al estudio del suelo superficial y que se fundamenta en la capacidad de las ondas de radar para propagarse a través de medios poco conductivos, por lo que opera dentro del rango de frecuencias (MHz) sensibles a las variaciones o contrastes del parámetro físico de la constante dieléctrica. Este método emplea dos antenas, la primera que es la que emite pulsos electromagnéticos y la segunda antena los recibe. Estos pulsos que se emiten son un frente de onda que es parcialmente reflejado al encontrar una discontinuidad o un cambio de material en el subsuelo, así, pudiendo ser detectado en la superficie mediante una antena receptora (Figura XII.1.1.1).

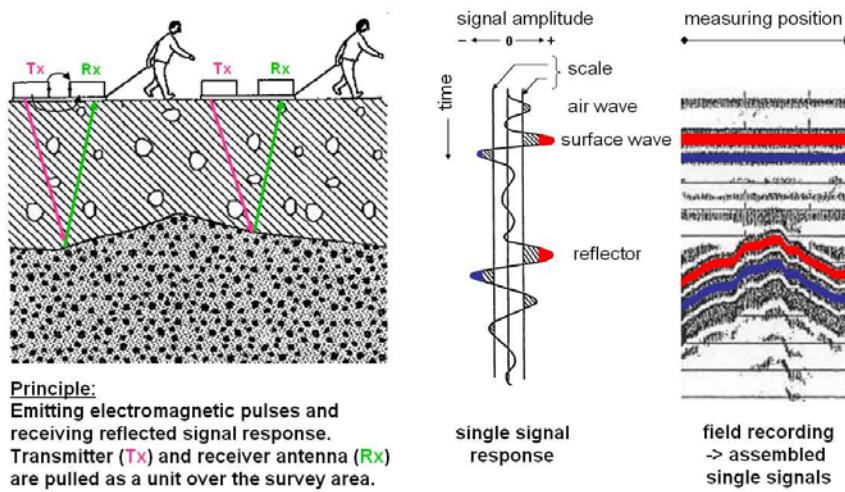


Figura XII.1.1.1. Principio de operación del Georadar (GPR).

Para la adquisición de las líneas de Georadar se utilizó el equipo GPR Nogging Smart Cart 250 del proveedor canadiense *Sensors and Software*.



Figura XII.1.1.2. Equipo de georadar GPR Nogging Smart Cart 250.

XII.2. TRABAJOS DE CAMPO

Se realizaron setenta y cuatro (74) líneas de Georadar a lo largo del Bordo Miguel de la Madrid, con una orientación de Noroeste-Sureste (Figura XII.2.1).

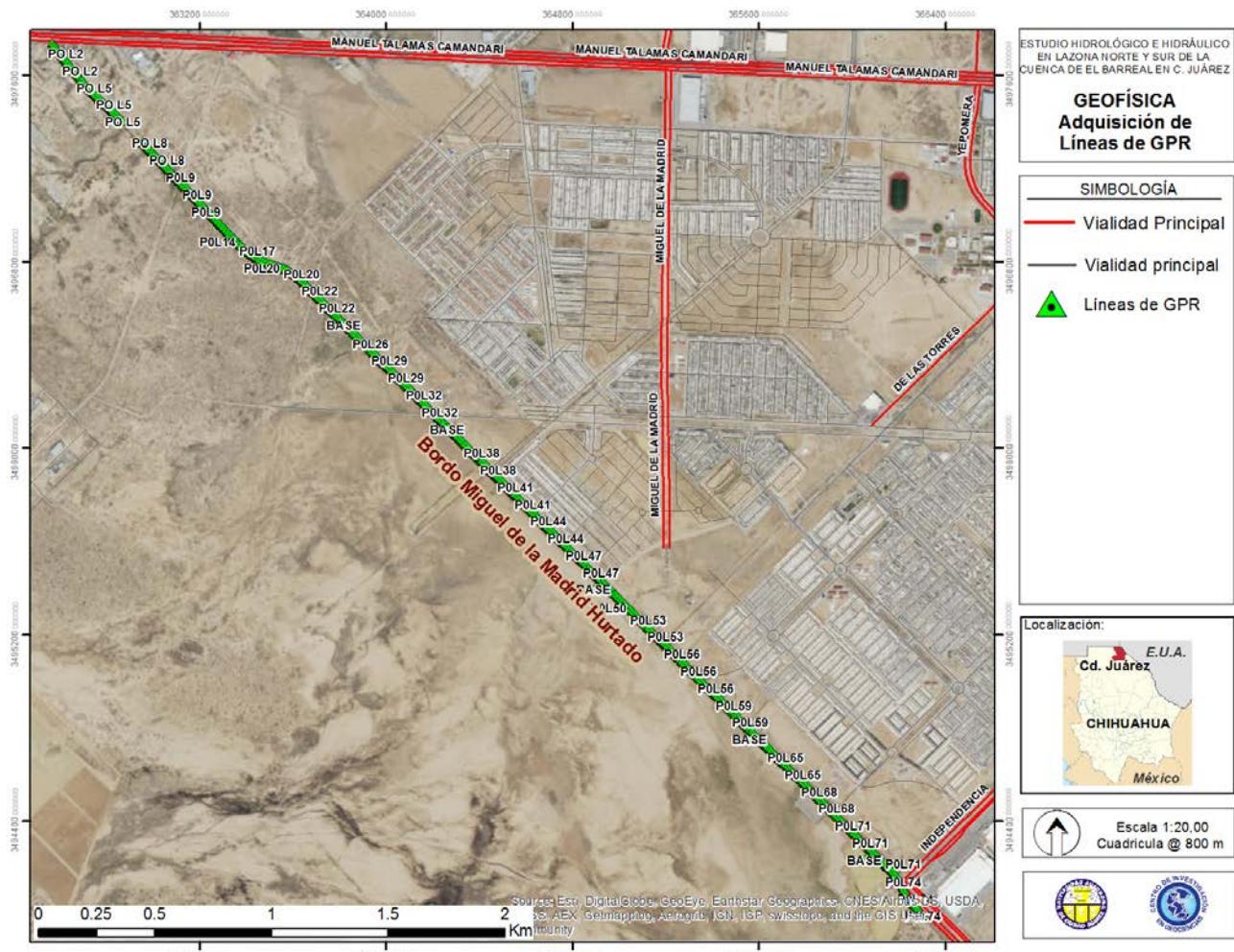


Figura XII.2.1. Líneas de adquisición dentro del área de estudio.

XII.3. PROCESAMIENTO

El flujo de procesamiento consistió en aplicar diferentes procesos o filtros a los datos crudos. El primer filtro aplicado fue el de DEWOW para suprimir el efecto “ringing” inherente a la toma de datos, posteriormente se aplicó una ventana de ganancia automática (AGC) para resaltar los arribos o pulsos iniciales. Una vez resaltados los eventos más evidentes, se aplicó un filtro de “background subtraction”, consistente en promediar las trazas adyacentes de manera que se suprime o minimiza el efecto conocido como “banding” resaltando arribos secundarios. Finalmente, dado que se observó cierta continuidad lateral entre trazas a tiempos de arribo doble mayores a los 150 ns, se aplicó un filtro de ganancia exponencial que resaltó los arribos más profundos.

La conversión de velocidad a tiempo, se realizó con una velocidad de 0.12 m/ns, considerada como factible para rocas calizas. No se emplearon las hipérbolas observadas dados los intensos patrones de interferencia observados en los datos apilados o radargramas.

XII.4. RESULTADOS E INTERPRETACIÓN

Los resultados o radargramas obtenidos (Figuras XII.4.1 a la Figura XII.4.21) muestran las líneas de radar que están relacionadas con los perfiles de TER’s en los cuales se observaron anomalías (TER’s 06, 09, 23, 24, 25, 26, 27, 02, 48, y 01) (Tabla IV).

Tabla IV. Listado de Líneas de Georadar relacionados con líneas de TER´s.

TER	LINEAS DE GEORADAR
06	L66, L67, L68
09	L63, L64, L65
23	L42, L43, L44
24	L39, L40, L41, L42, L43, L44
25	L39, L40, L41
26	L36, L37, L38
27	L36, L37, L38
02	L06, L07, L08
01	L03, L04, L05

“ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO EN LA ZONA NORTE Y SUR DE LA CUENCA DE
EL BARREAL EN CIUDAD JUÁREZ, CHIHUAHUA”

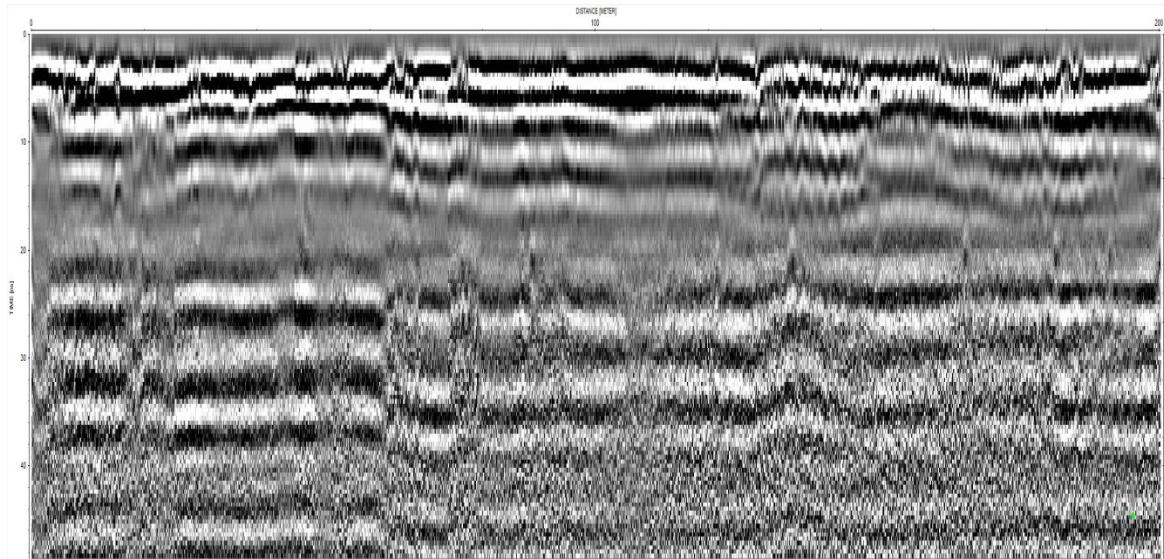


Figura XII.4.1 Radargrama correspondiente a la línea 66.

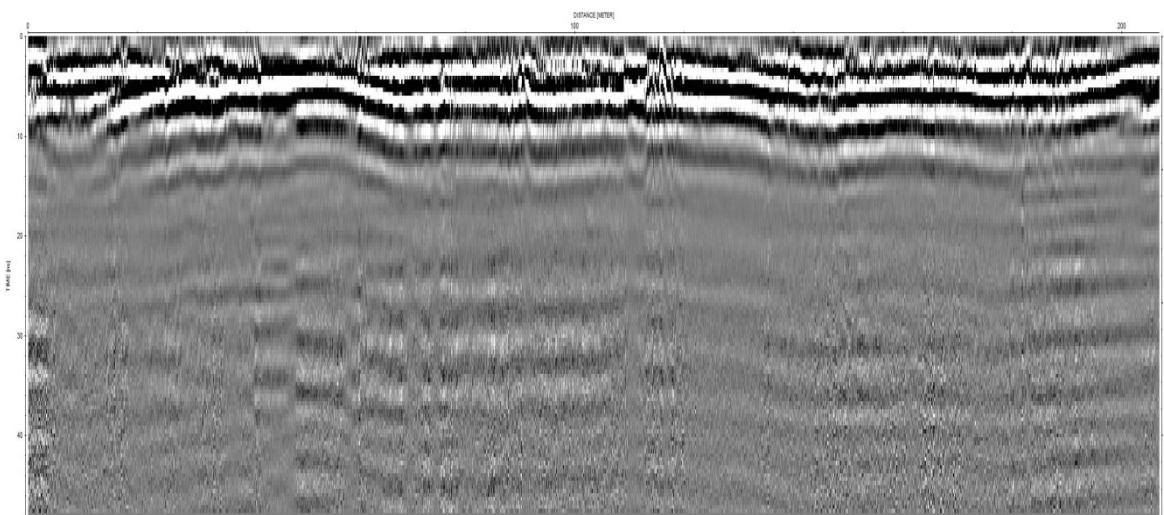


Figura XII.4.2 Radargrama correspondiente a la línea 67.

“ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO EN LA ZONA NORTE Y SUR DE LA CUENCA DE
EL BARREAL EN CIUDAD JUÁREZ, CHIHUAHUA”

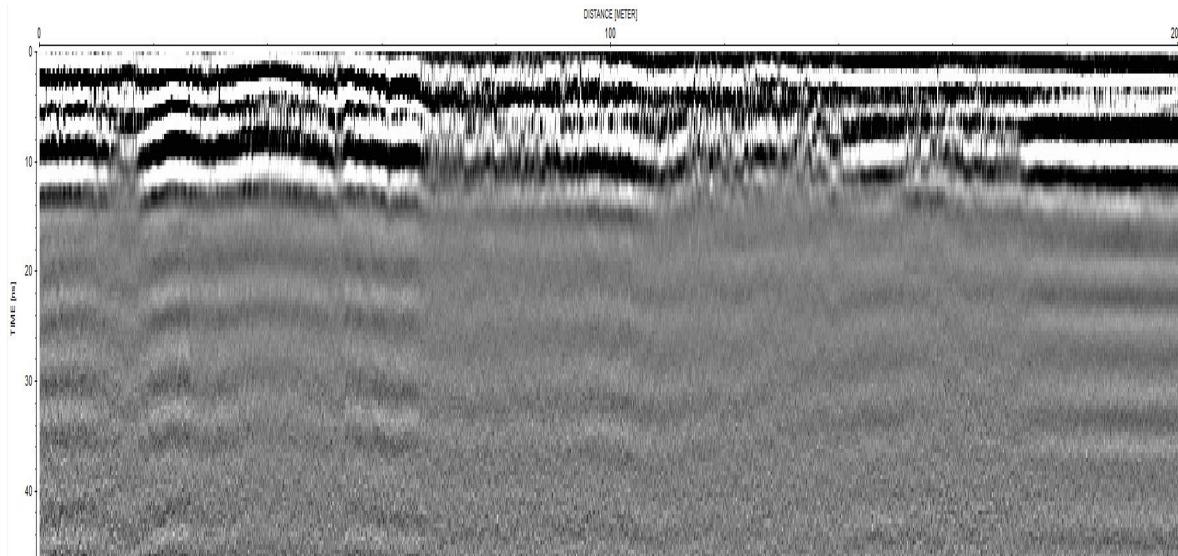


Figura XII.4.3. Radargramma correspondiente a la línea 68.

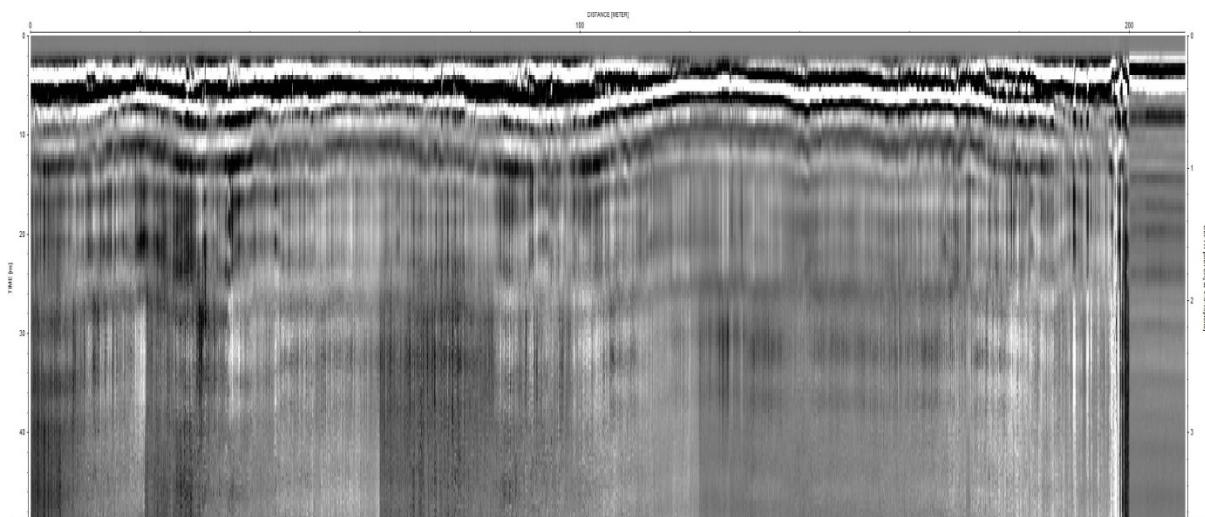


Figura XII.4.4. Radargramma correspondiente a la línea 63.

“ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO EN LA ZONA NORTE Y SUR DE LA CUENCA DE
EL BARREAL EN CIUDAD JUAREZ, CHIHUAHUA”

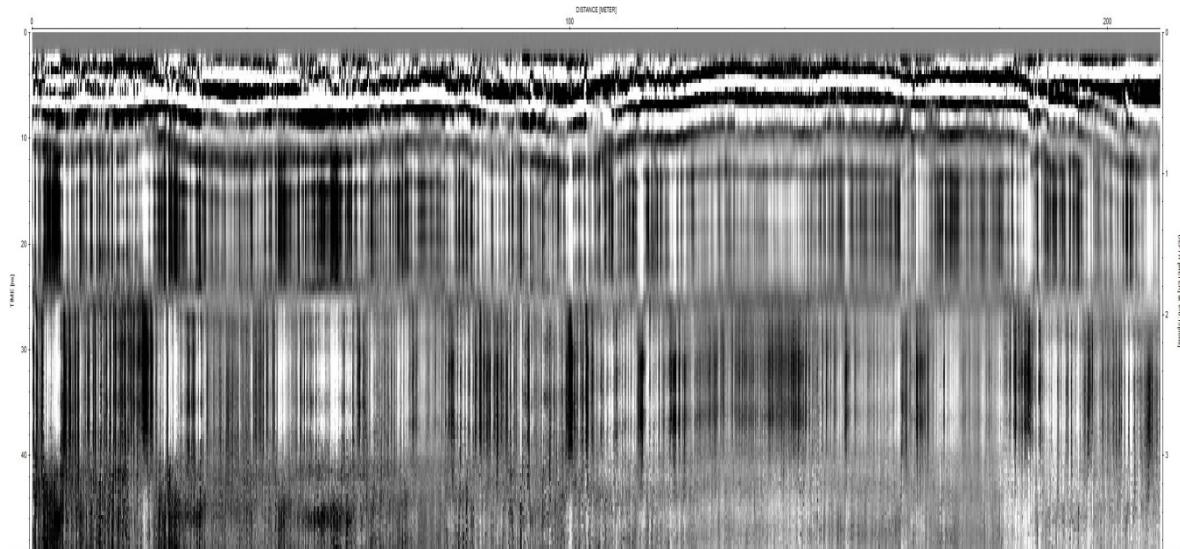


Figura XII.4.5. Radargram correspondiente a la línea 64.

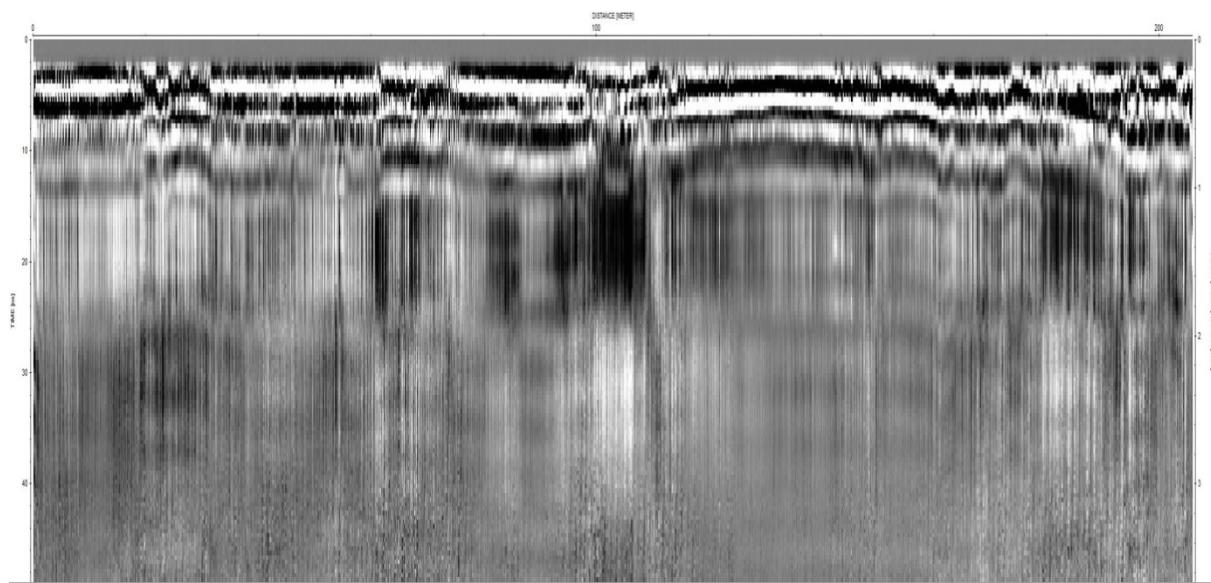


Figura XII.4.6. Radargram correspondiente a la línea 65.

“ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO EN LA ZONA NORTE Y SUR DE LA CUENCA DE
EL BARREAL EN CIUDAD JUÁREZ, CHIHUAHUA”

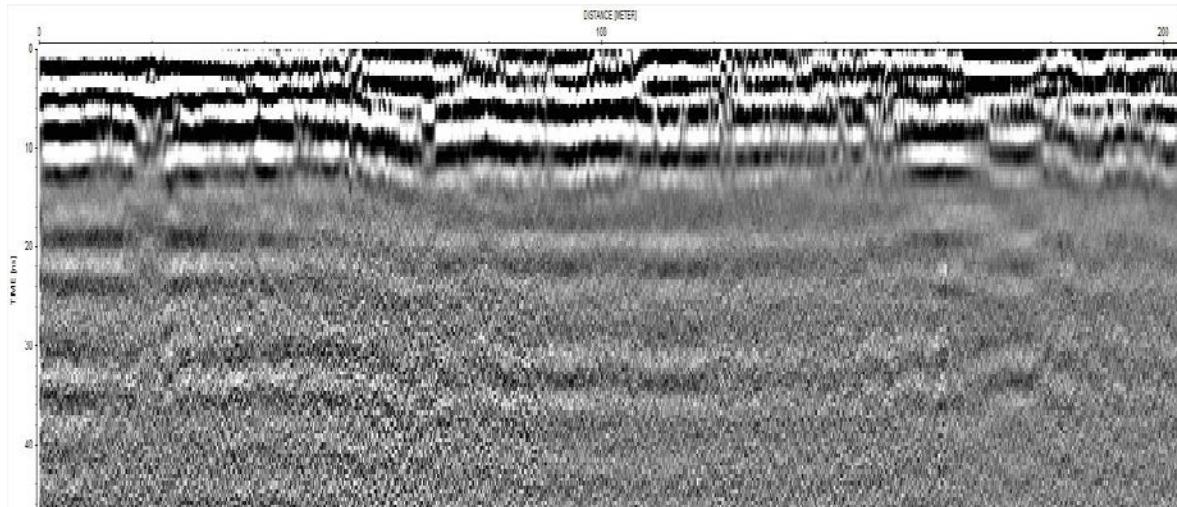


Figura XII.4.7. Radargrama correspondiente a la línea 36.

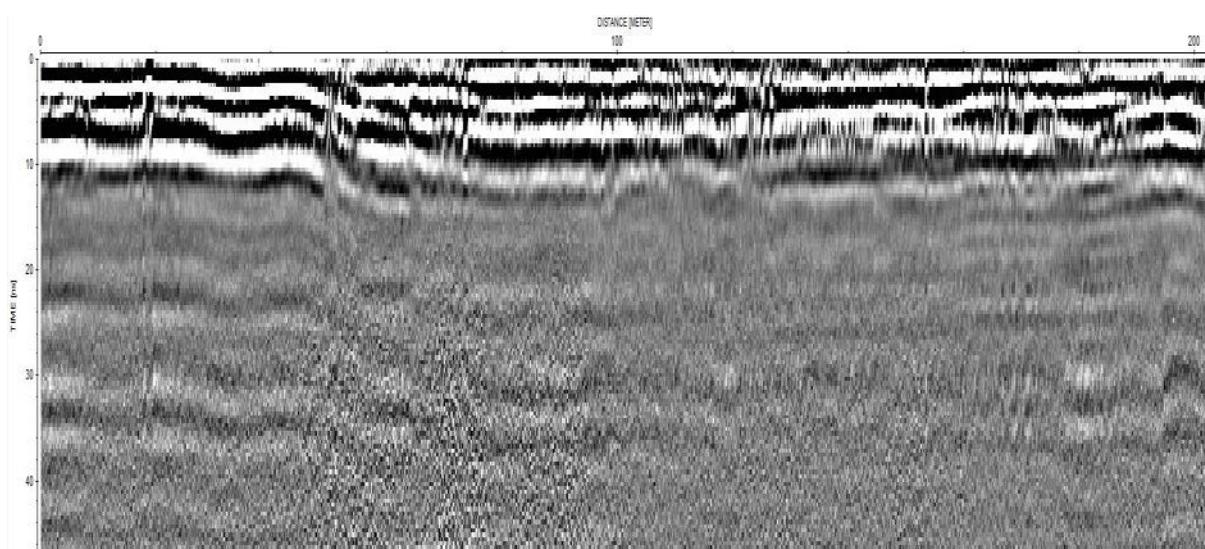


Figura XII.4.8. Radargrama correspondiente a la línea 37.

“ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO EN LA ZONA NORTE Y SUR DE LA CUENCA DE
EL BARREAL EN CIUDAD JUÁREZ, CHIHUAHUA”

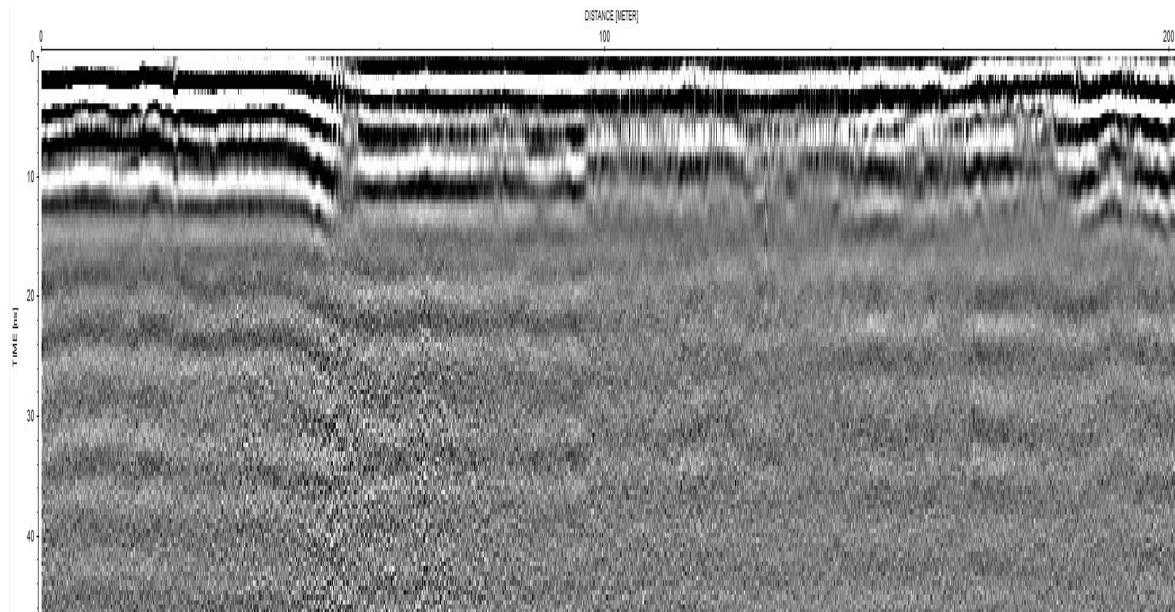


Figura XII.4.9. Radargrama correspondiente a la línea 38.

“ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO EN LA ZONA NORTE Y SUR DE LA CUENCA DE
EL BARREAL EN CIUDAD JUÁREZ, CHIHUAHUA”

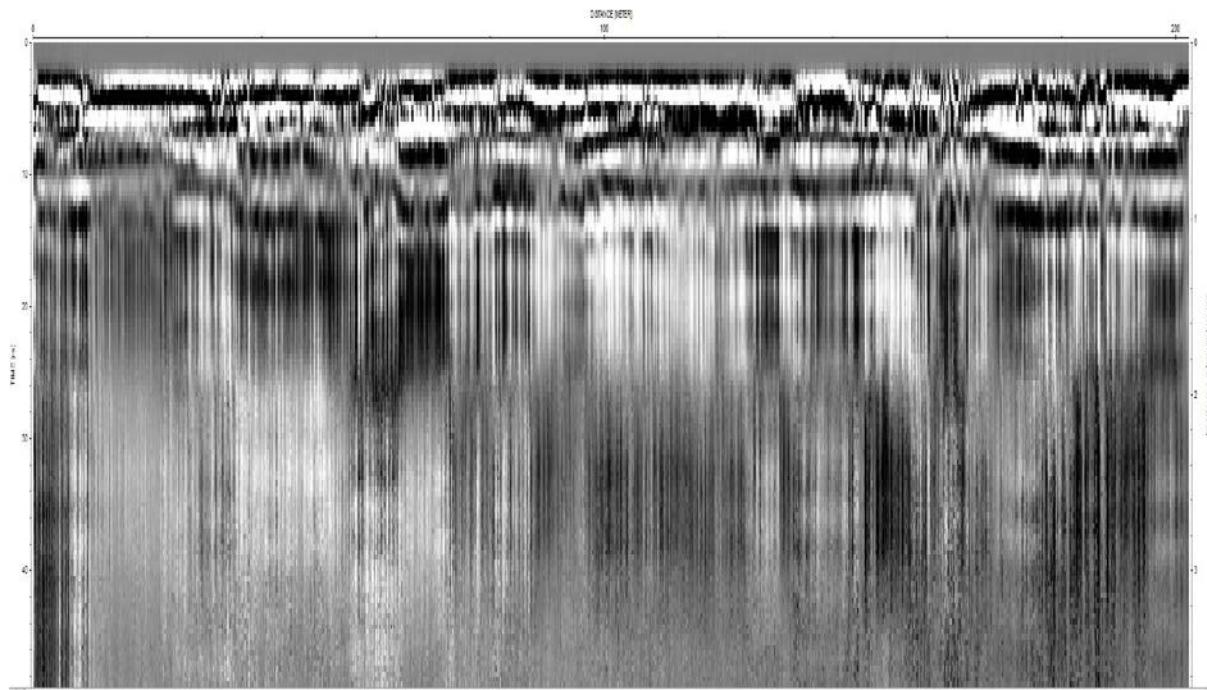


Figura XII.4.10. Radargrama correspondiente a la línea 39.

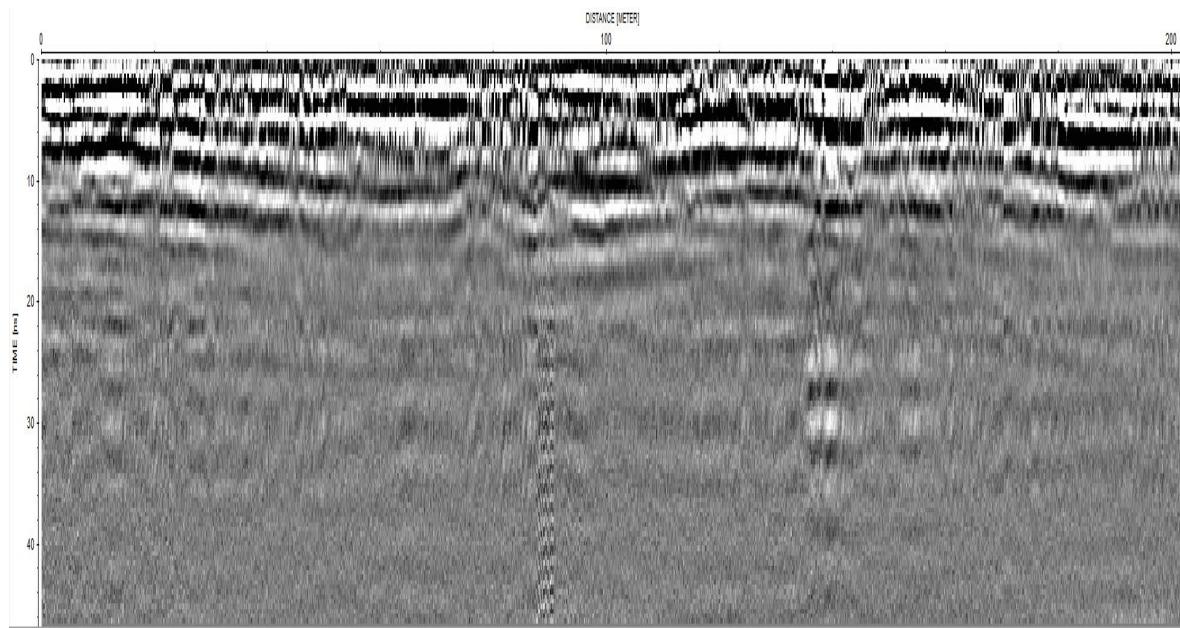


Figura XII.4.11. Radargramma correspondiente a la línea 40.

“ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO EN LA ZONA NORTE Y SUR DE LA CUENCA DE
EL BARREAL EN CIUDAD JUÁREZ, CHIHUAHUA”

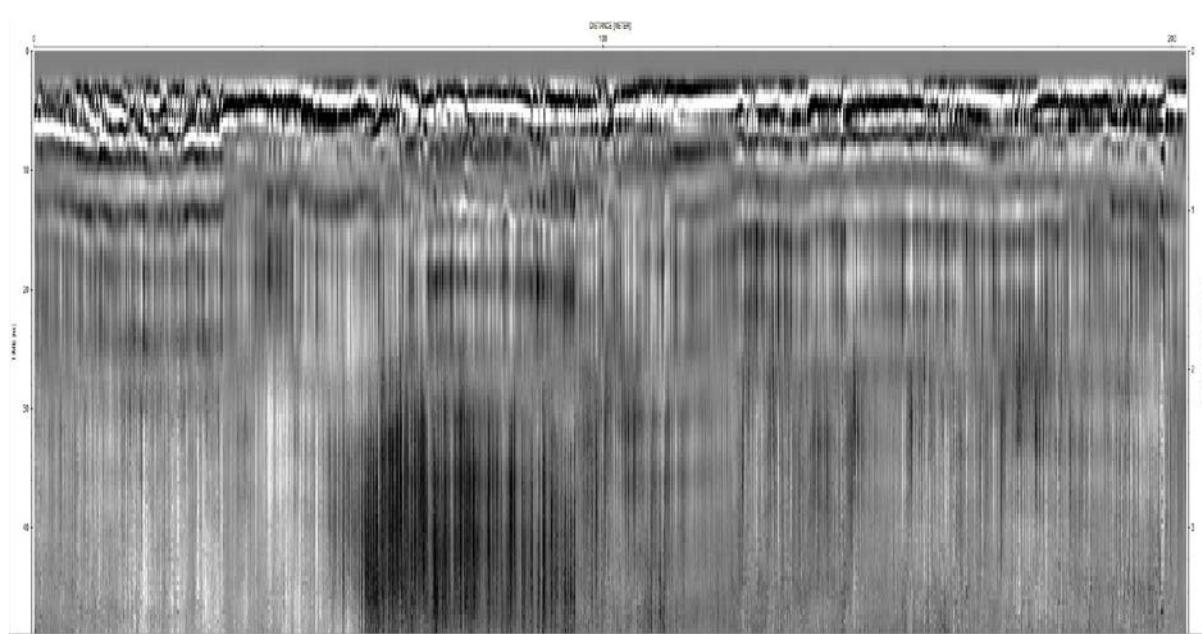


Figura XII.4.12. Radargrama correspondiente a la línea 41.

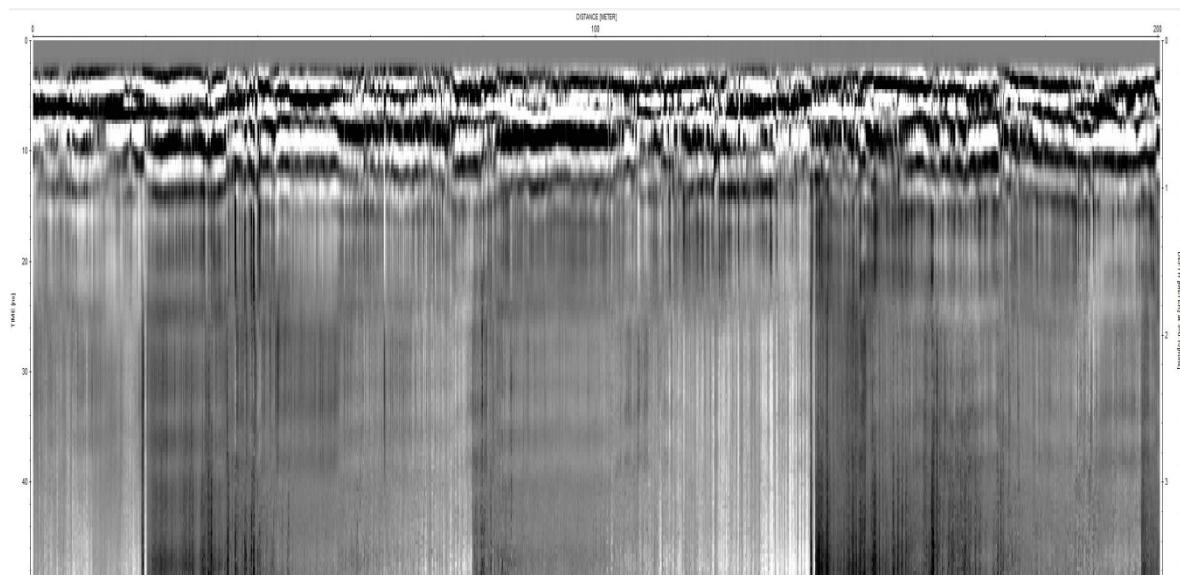


Figura XII.4.13. Radargrama correspondiente a la línea 42.

“ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO EN LA ZONA NORTE Y SUR DE LA CUENCA DE
EL BARREAL EN CIUDAD JUÁREZ, CHIHUAHUA”

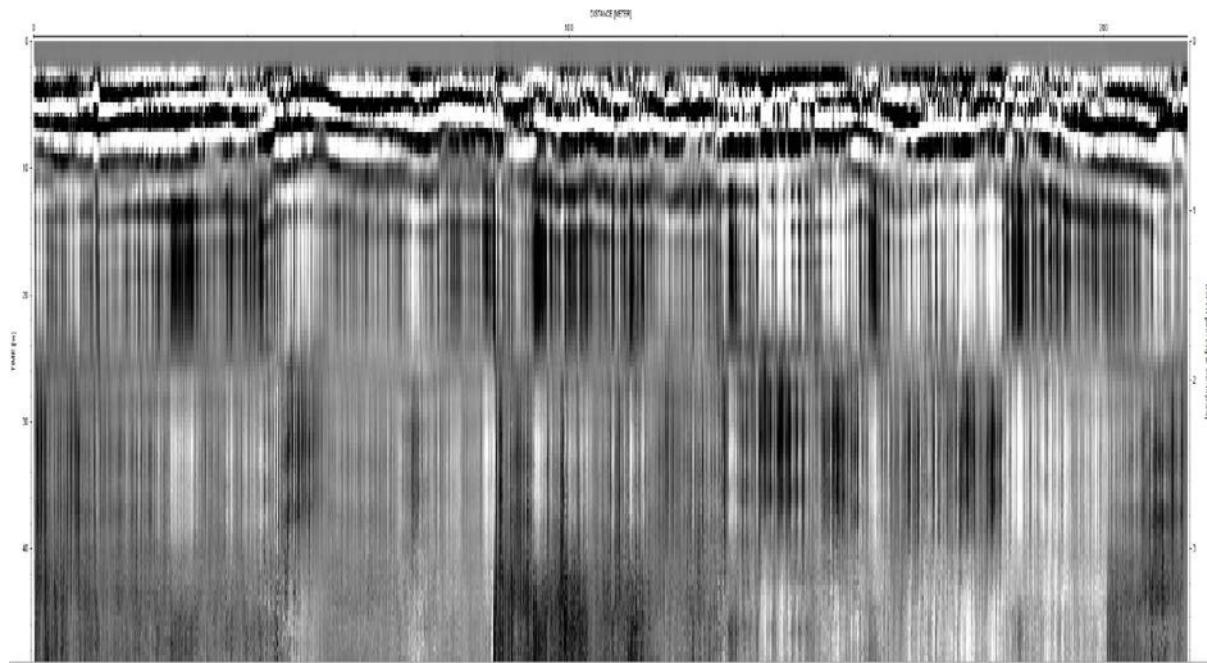


Figura XII.4.14. Radargrama correspondiente a la línea 43.

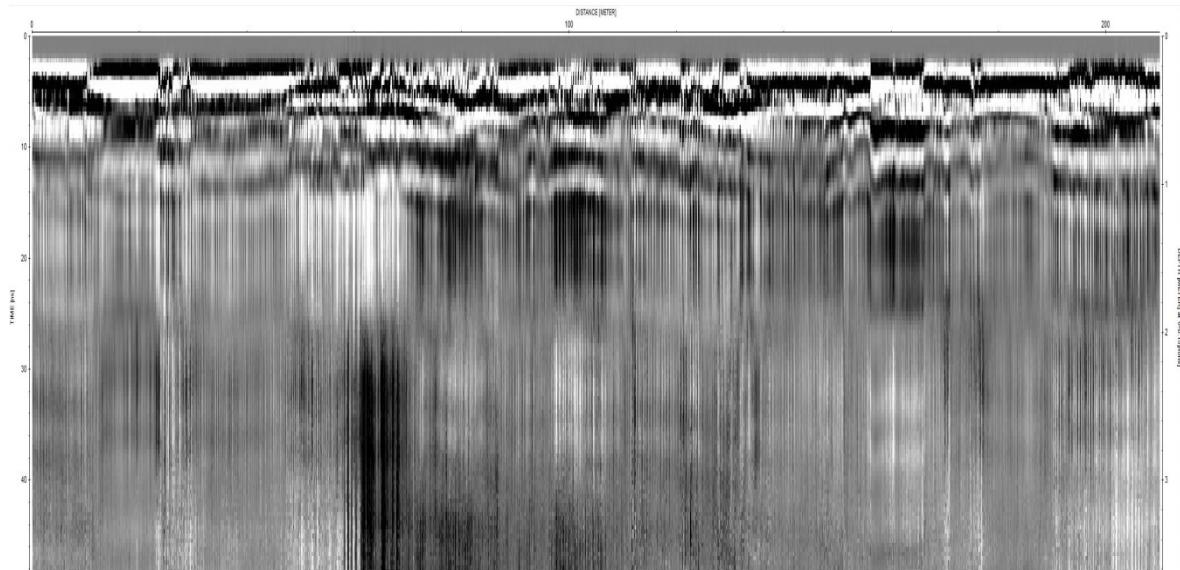


Figura XII.4.15. Radargrama correspondiente a la línea 44.

“ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO EN LA ZONA NORTE Y SUR DE LA CUENCA DE
EL BARREAL EN CIUDAD JUÁREZ, CHIHUAHUA”

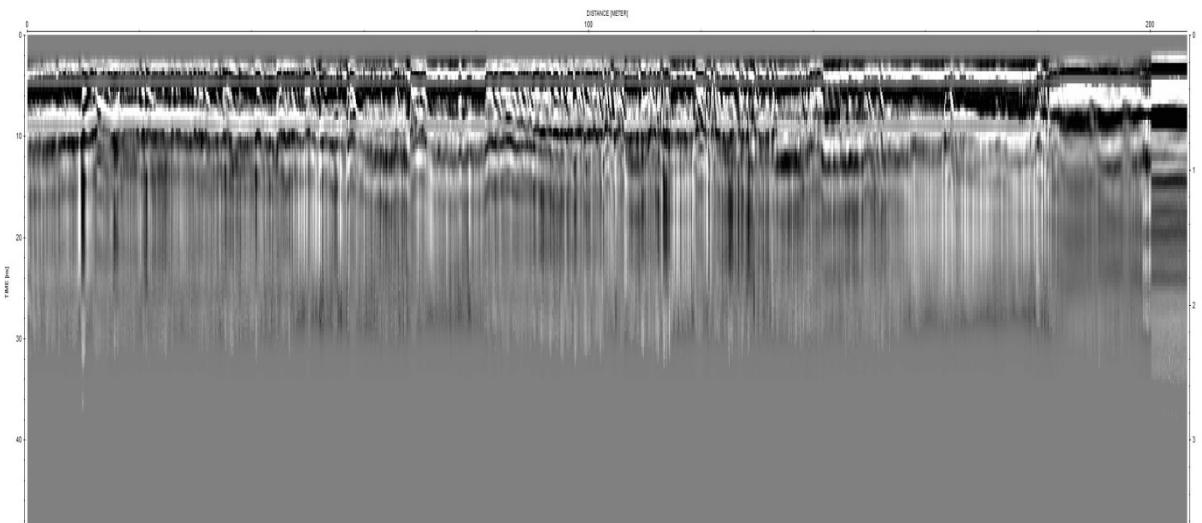


Figura XII.4.16. Radargrama correspondiente a la línea 06.

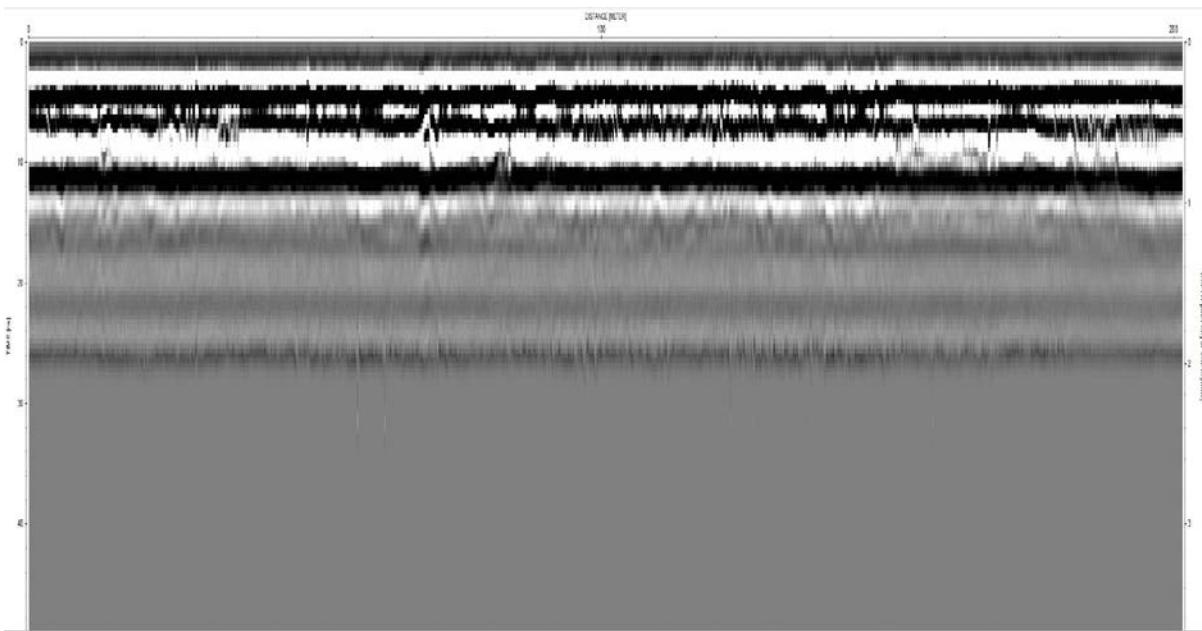


Figura XII.4.17. Radargrama correspondiente a la línea 07.

“ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO EN LA ZONA NORTE Y SUR DE LA CUENCA DE
EL BARREAL EN CIUDAD JUÁREZ, CHIHUAHUA”

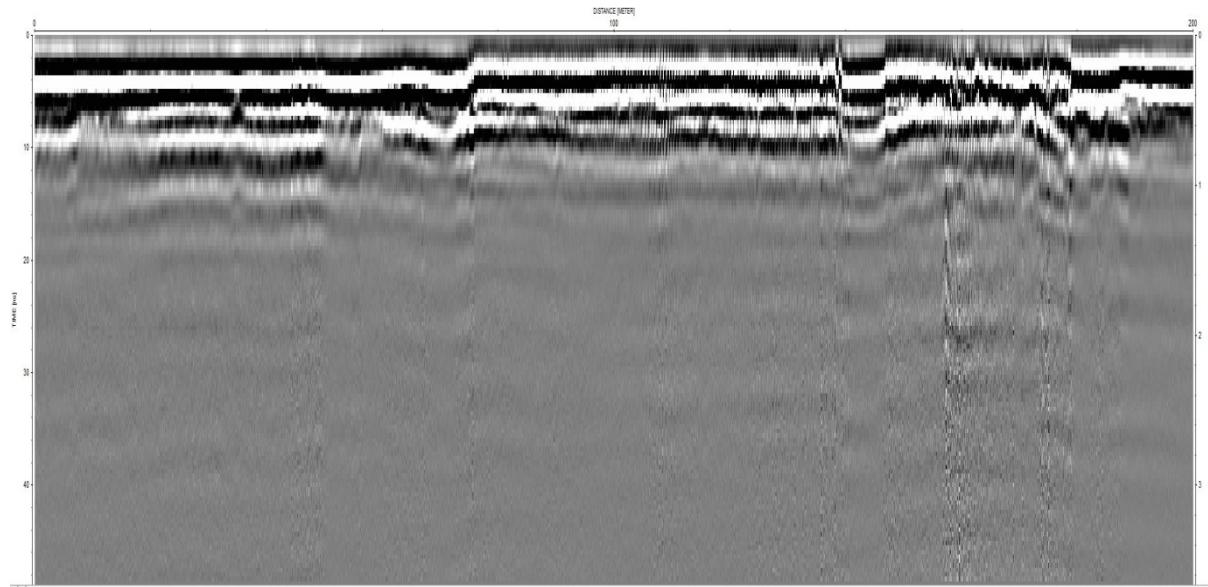


Figura XII.4.18. Radargrama correspondiente a la línea 08.

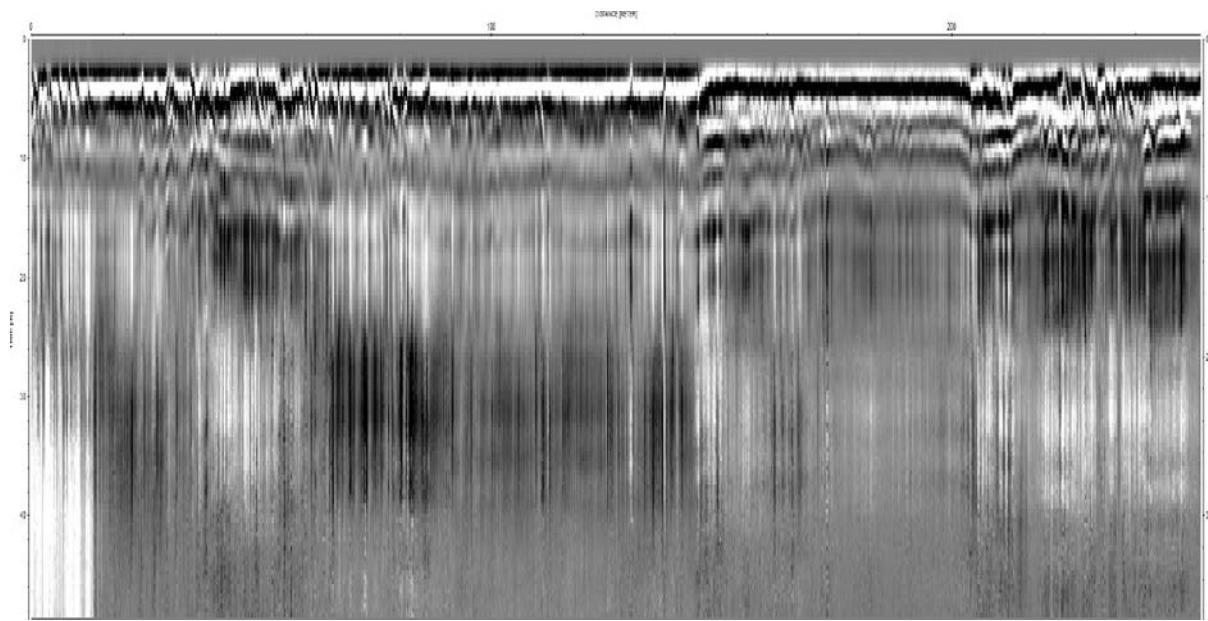


Figura XII.4.19. Radargrama correspondiente a la línea 03.

“ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO EN LA ZONA NORTE Y SUR DE LA CUENCA DE
EL BARREAL EN CIUDAD JUÁREZ, CHIHUAHUA”

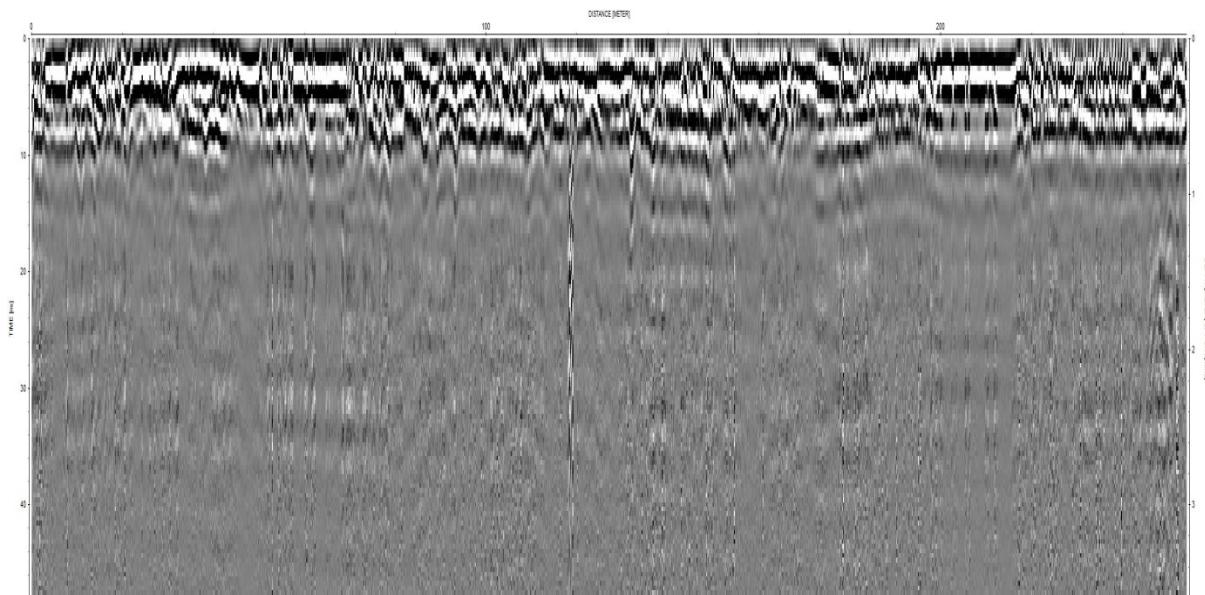


Figura XII.4.20. Radargrama correspondiente a la línea 04.

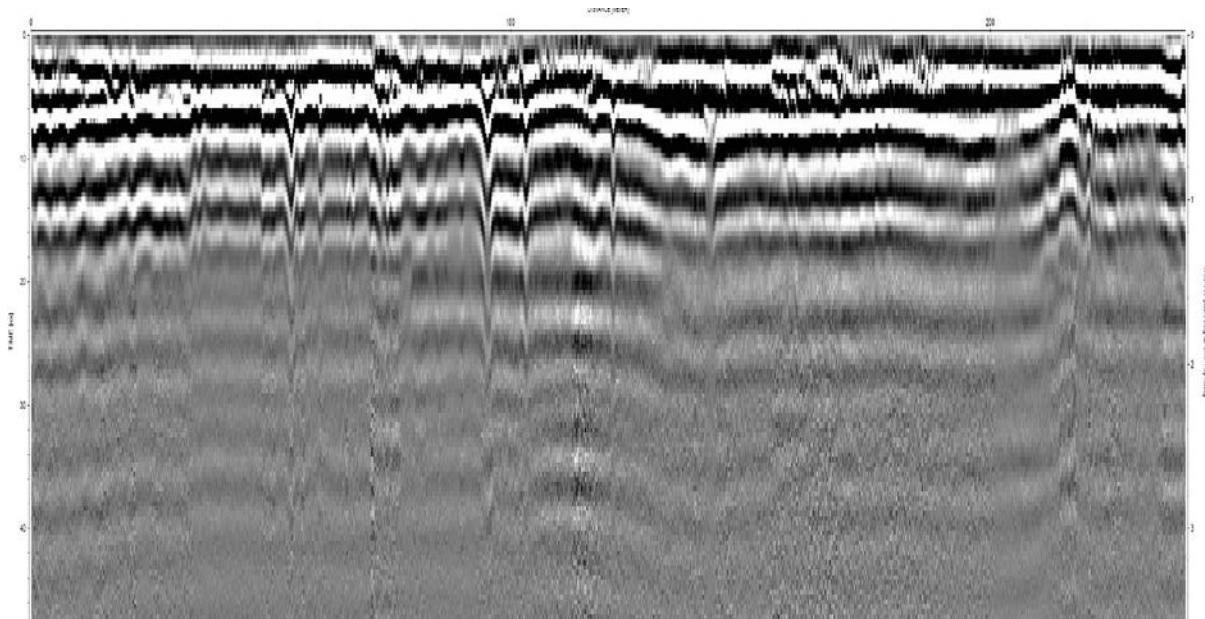


Figura XII.4.21. Radargramma correspondiente a la línea 05.



“ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO EN LA ZONA NORTE Y SUR DE LA CUENCA DE
EL BARREAL EN CIUDAD JUAREZ, CHIHUAHUA”

ESTUDIOS DE GEOTECNIA EN EL BORDO MIGUEL D ELA MADRID HURTADO

XIII. ESTUDIOS DE GEOTECNIA EN EL BORDO MIGUEL DE LA MADRID HURTADO

Reporte Técnico de las actividades realizadas en campo, en laboratorio, Resultados, Conclusiones y Recomendaciones.

A continuación, presentamos el Informe Técnico de nuestros trabajos de campo y resultados de gabinete, de los cuales, los primeros comprendieron la extracción de Muestras Alteradas de suelo mediante la ejecución de doce (12) Sondeo Exploratorio de Penetración Estándar (S.P.T.); mientras que los segundos, correspondieron a su consecutivo análisis en laboratorio.

Lo anterior, con el propósito de conocer las características conformantes del subsuelo en el Área de Estudio, las cuales, ayudarán a determinar las características estructurales del Bordo.

Para llegar a los resultados en adelante expuestos, nos hemos valido de información básica del proyecto, la consulta de normatividad especializada publicada internacionalmente, así como la aplicación de los conocimientos, tareas y criterios comunes en las actividades propias de la ingeniería para este tipo de estudios.

El sitio donde se realizó el **estudio de ingeniería** que se presenta en este documento, pertenece al Bordo Miguel de la Madrid Hurta, ubicado entre el Blvd. Libramiento y el Blvd. Independencia, dentro de una parte de la Col. Granjas Polo Gamboa, en Ciudad Juárez, Chihuahua (**Figura 01**).

“ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO EN LA ZONA NORTE Y SUR DE LA CUENCA DE
EL BARREAL EN CIUDAD JUÁREZ, CHIHUAHUA”

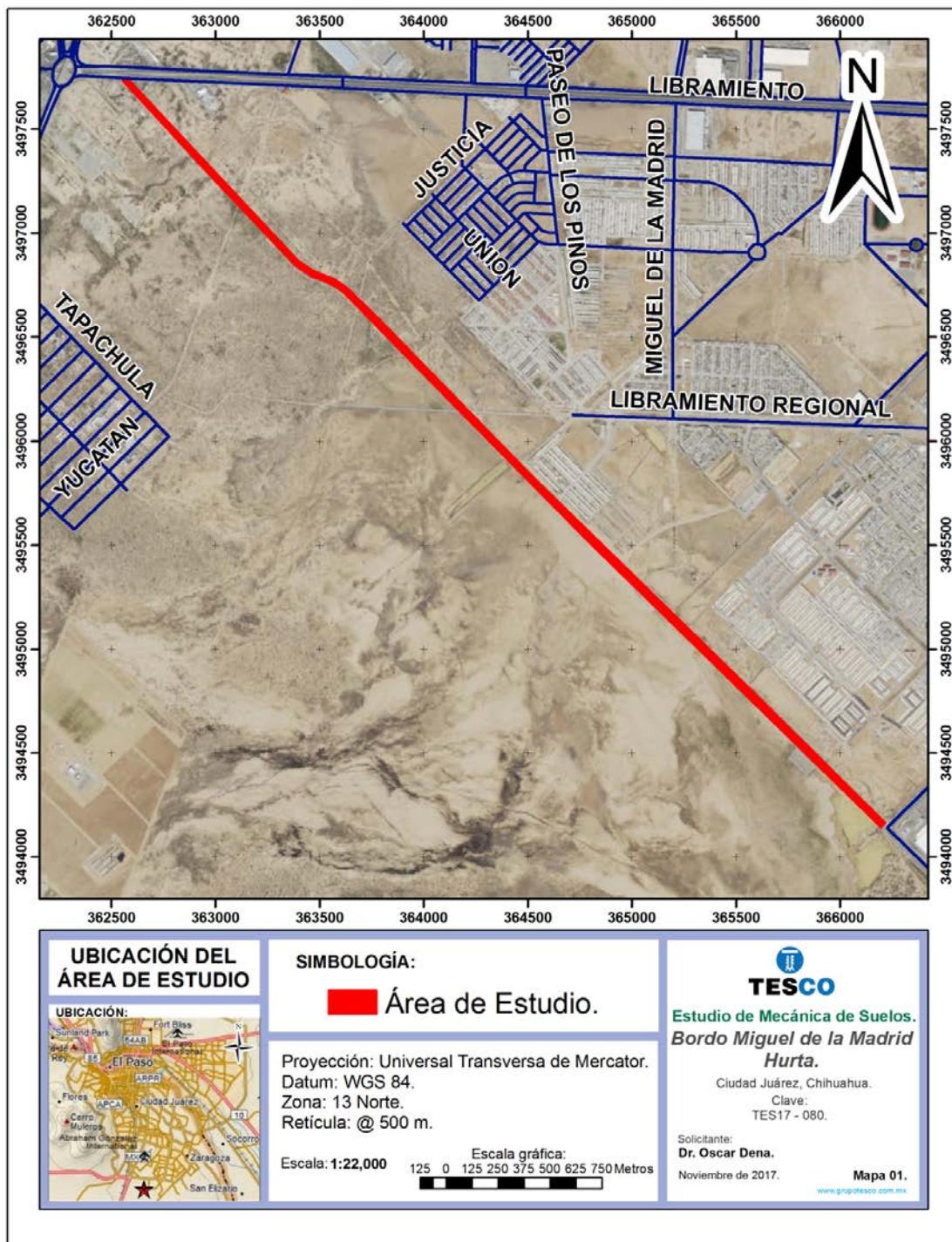


Figura 01.- Ubicación del Área de Estudio.

III.1. EXPLORACIÓN DE CAMPO

Atendiendo la amable petición de nuestro cliente: **UACJ**, por vía de su representante para nuestro estudio, el **Dr. Oscar Dena**, realizamos nuestras labores de campo del **día 8 al 13 de noviembre de 2017**, dentro del Área de Estudio (**Tabla 01 y Figura 02**).

Tabla 01.- Ubicación georreferenciada de los Sondeos Exploratorios.

Sondeo	Coord.: <i>UTM - WGS 84</i>		Profundidad de exploración (m)
	Zona: 13 N.		
	X (m)	Y (m)	
S – 0	362,739.74	3'497,523.83	6.00
S – 1	362,948.22	3'497,315.72	5.10
S – 2	363,299.41	3'496,947.11	6.60
S – 3	363,455.30	3'496,807.72	6.45
S – 4	363,847.43	3'496,505.37	6.45
S – 5	364,210.34	3'496,143.58	5.10
S – 6	364,698.03	3'495,653.76	6.60
S – 7	364,975.77	3'495,377.66	6.00
S – 8	365,329.92	3'495,022.68	6.00
S – 9	365,757.37	3'494,595.22	6.00
S – 10	365,971.79	3'494,380.56	7.35
S – 11	366,195.26	3'494,155.25	6.00

“ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO EN LA ZONA NORTE Y SUR DE LA CUENCA DE
EL BARREAL EN CIUDAD JUÁREZ, CHIHUAHUA”

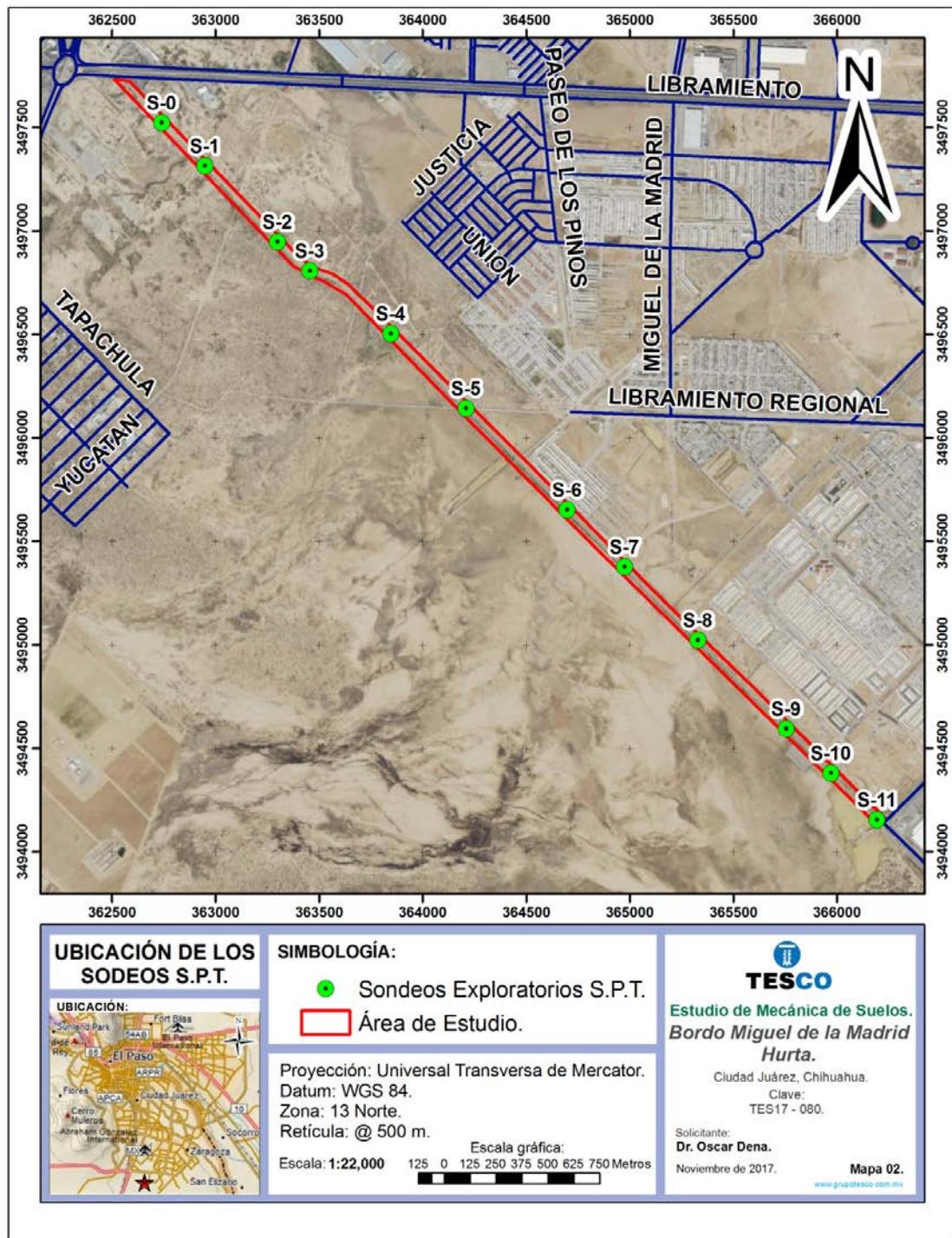


Figura 02.- Ubicación de los trabajos de campo.

Los **Sondeos de Penetración Estándar** (S.P.T.), consisten en introducir un barreno continuo (tramos de brocas rotatorias entrelazadas), hasta las profundidades de análisis requeridas.

Dichas profundidades de exploración, son preestablecidas en intervalos donde se requiere la extracción de muestras mediante un dispositivo llamado *muestreador de media caña* (o simplemente *cuchara*), el cual, consta de un cuerpo de acero que es hincado en el suelo con golpes de un martínete.

Mediante el conteo de golpes requeridos para llegar a ciertas profundidades de hincado (denotado técnicamente como **valor N**), se infieren algunos parámetros de calidad del suelo (tanto en el sitio, en base a la experiencia del personal de perforación; como en el laboratorio, con ecuaciones de ingeniería geotécnica).

El primer sondeo ejecutado, fue el denominado como **S - 1 (Figuras 03, 04 y 05)**, el cual, tuvo una profundidad de exploración total de **5.10 metros**, de donde se obtuvieron **seis (6) Muestras Alteradas**, mismas que fueron empaquetadas, transportadas y analizadas en nuestro laboratorio conforme a los alcances del presente estudio y su Normatividad Estandarizada Vigente.

El sondeo **S - 2**, se hizo hasta la profundidad de **6.60 metros**, recuperando **ocho (8) Muestras Alteradas de Suelo (Figuras 06, 07 y 08)**.

Enseguida, se realizó el sondeo **S - 3**, hasta una profundidad máxima de muestreo de **6.45 metros**, recuperando un total de **ocho (8) Muestras Alteradas de Suelo (Figuras 06, 07 y 08)**.

El sondeo **S - 4**, se elaboró hasta la profundidad de **6.45 metros**, recuperando **ocho (8) Muestras Alteradas de Suelo (Figuras 06, 07 y 08)**.

Las labores de campo continuaron con la perforación del sondeo **S – 5**, logrando una profundidad de exploración de **5.10 metros** de donde se sacó una totalidad de **siete (7) Muestras Alteradas** (**Figuras 09, 10, 11 y 12**).

Mientras que el sondeo **S – 6**, se compuso por **nueve (9) Muestras Alteradas**, logrando alcanzar una profundidad de **6.60 metros** (**Figuras 06, 07 y 08**).

El sondeo **S – 7**, se efectuó hasta la profundidad de **5.85 metros**, recuperando **ocho (8) Muestras Alteradas de Suelo** (**Figuras 06, 07 y 08**).

Prosiguiendo con el proyecto, se procedió a efectuar el sondeo designado como **S – 8**, obteniendo un total de **ocho (8) Muestras**, con las cuales se logró reconocer hasta una profundidad de **6.0 metros** (**Figuras 06, 07 y 08**).

En el sondeo **S – 9**, se recuperaron **ocho (8) Muestras Alteradas**, consiguiendo reconocer a **6.0 metros** de profundidad (**Figuras 06, 07 y 08**).

Por otro lado, en el sondeo **S – 10** se recuperaron **diez (10) Muestras**, llegando a reconocer el subsuelo hasta los **7.35 metros** de profundidad.

En tanto que el penúltimo sondeo, identificado como **S – 0**, tuvo una profundidad de exploración máxima de **6.0metros**, en el cual, se efectuó una extracción de **ocho (8) Muestras Alteradas** (**Figuras 13, 14 y 15**).

La perforación de sondeos S.P.T., culminó con el **S – 11**, el cual tuvo una profundidad de exploración de **6.0 metros**, de donde se obtuvieron **ocho (8) Muestras Alteradas** en total (**Figuras 16, 17, 18 y 19**).

XIII.1.1. ENSAYOS EN LABORATORIO DE GEOTECNIA.

En nuestro **laboratorio**, se determinó el Contenido de Humedad, Análisis Granulométrico, Límites de Atterberg y los Pesos Volumétricos del lugar de las muestras extraídas durante las labores de campo.

Realizamos estos ensayos, con el objetivo de establecer las propiedades físicas y mecánicas de suelos representativos en el sitio. También, nos permitieron clasificar correctamente los suelos residentes de acuerdo al **Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (S.U.C.S.)**.

XIII.2. CONDICIONES GENERALES DEL SITIO DE LOS TRABAJOS.

XIII.2.1.- TOPOGRAFÍA.

El sitio de los trabajos se localiza en una parte plana de Ciudad Juárez, y aun que el Bordo Miguel de la Madrid Hurta se encuentra a aprox. 2.0 metros sobre el nivel del terreno natural, las colindancias se puede considerar como terrenos *relativamente planos*.

XIII.2.2.- VEGETACIÓN.

Debido a que sobre el Bordo transitan vehículos de todo tipo, el terreno se encuentra marcado por la nula presencia de vegetación. Pero bajo el bordo, que es en donde se acumula el agua pluvial, se observan algunos arbustos de no más de 2.20 m de alto, tales como plantas *estepicursoras* (rodadoras), *zacate*, entre otras.

XIII.2.3.- ESTRATIGRAFÍA.

Los estratos del subsuelo observados en cada sondeo S.P.T. (sección IV.1 y **ANEXOS** del presente reporte), por sus características físico-mecánicas, pueden generalizarse para el Área de Estudio como a continuación se describe:

- Se observó un estrato compuesto por arenas con combinaciones de partículas *finas* tanto *plásticas* como *no plásticas* (según el caso), seca, café clara o blancuzca y de consistencia medio densa ó muy rígida dependiendo el sondeo; dicho estrato tiene una profundidad de aprox. **25 cm**.
- Seguido y hasta aprox. los **3.40** y **4.50 m** de profundidad, se encuentra un estrato, definido por suelos *arcillosos* color café, tanto secos como húmedos, de consistencia entre muy rígida y dura; en él se encuentra un pequeño lente de grava de **5 cm** de ancho (solo en algunos casos).
- En algunos casos, se encontró un estrato de arenas *limosas*, el cual se encuentra confinado entre dos estratos de *arcilla*.
- Por último, otro estrato de *arcilla*, combinado con arenas *finas*, el cual no en todos los sondeos se reconoce debido a su profundidad; localizado a partir de entre **4.75** y **7.0 m** (según el caso), color café, poco húmeda y húmeda y una consistencia por lo general *muy rígida*.

XIII.2.4.- AGUAS SUBTERRÁNEAS.

Al momento de nuestro estudio y hasta la profundidad máxima de exploración, **NO** se encontró el **nivel freático** o evidencias de algún otro escurrimiento subterráneo.

XIII.2.5.- CLIMA.

De acuerdo a la clasificación de climas realizada por Köeppen y modificada por Enriqueta García (1964), para las condiciones de la República Mexicana, el clima de la región es muy seco o desértico y se clasifica por su humedad y temperatura como BWkx'(e'), templado con verano cálido.

La temperatura media anual oscila entre 12 y 18 °C; la del mes más frío entre los -3 y los 18 °C; mientras que las del mes más caluroso sobrepasan los 18 °C, con un régimen de lluvias intermedio y muy extremoso (H. Ayuntamiento de Juárez 2004; 31).

XIII.3. RESULTADOS DE GABINETE Y LABORATORIO.

A continuación, presentamos de una manera resumida los resultados encontrados para la etapa de la exploración en campo.

XIII.3.1.- SONDEO EXPLORATORIO.

Tabla 02.- Estratigrafía encontrada en el S - 0.

Estrato (#)	Profundidad (m).-		Descripción	N	PVL Kg/m ³	Ø	C
	De:	A:					
A	0.00	0.35	Arena limosa (SM), café clara, grano fino, medio densa, seca, con grumos de CaCO ₃ .	17	1,790	28	0.0003
B	0.35	2.10	Arcilla ligera (CL), café, seca, plástica, muy rígida, de seca a	26	1,670	0	1.95

**“ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO EN LA ZONA NORTE Y SUR DE LA CUENCA DE
EL BARREAL EN CIUDAD JUAREZ, CHIHUAHUA”**

			poco húmeda.				
C	2.10	3.40	Arcilla limosa (CL-ML), café clara, media ó baja plasticidad, seca, rígida.	12	1560	0	0.54
D	3.40	4.40	Arcilla arenosa (CL) con limo, baja plasticidad, seca, café, rígida (de igual que lo anterior).	12	1590	11	0.39
E	4.40	6.00	Arcilla café (CH), seca, muy plástica, muy rígida.	40	1700	0	2.19

Tabla 03.- Estratigrafía encontrada en el S - 1.

Estrato (#)	Profundidad (m).-		Descripción	N	PVL Kg/m ³	Ø	C
	De:	A:					
A	0.00	2.85	Arcilla café (CH) claro con arena húmeda dura.	10	1530	0	0.53
B	2.85	3.75	Limo húmedo color café claro.	30	1490	0	0.24
C	3.75	4.30	Arena limosa (SM) café claro medio húmeda.	47	1810	33	0.0003
D	4.30	6.00	Limos café claro con poca humedad.	17	1590	0	0.22

Tabla 04.- Estratigrafía encontrada en el S - 2.

Estrato (#)	Profundidad (m).-		Descripción	N	PVL Kg/m3	Ø	C
	De:	A:					
A	0.00	2.85	Arenas limosas (SM) humedad color café claro con poca humedad.	11	1650	28	0.0003
B	2.85	3.95	Arcillas húmedas (CL) café oscuro.	20	1430	0	0.58
C	3.95	4.80	Arenas limosas (SM) poca humedad color café oscuro.	16	1690	0	0.0003
D	4.80	5.85	Arcillas limosas (CL-ML) poca humedad color café claro.	50 +	1650	0	0.53
E	5.85	6.00	Arenas con limos (SP-SM) color café claro poca humedad.	41	1790	0	32

Tabla 05.- Estratigrafía encontrada en el S - 3.

Estrato (#)	Profundidad (m).-		Descripción	N	PVL Kg/m3	Ø	C
	De:	A:					
A	0.00	0.21	Arena arcillosa (SC) blanca densa con CaCO ₃ .	5	1670	28	0
B	0.21	1.60	Arena limosa (SM) café clara húmeda densa, estratificada con arena arcillosa muy densa.	5	1780	28	0.0003
C	1.60	3.00	Arena limosa (SM) café rojizo, húmeda suelto.	50 +	1800	32	0.0003
D	3.00	6.45	Arena arcillosa (SC) café claro húmedo con limosa a los 3 m.	43	1680	32	0

Tabla 06.- Estratigrafía encontrada en el S - 4.

Estrato (#)	Profundidad (m).-		Descripción	N	PVL Kg/m ³	Ø	C
	De:	A:					
A	0.00	0.75	Arcillas limosas (CL-ML) café claro.	21	1690	0	1.90
B	0.75	6.45	Arcillas limosas (CL-ML) café oscuro.	9	1700	0	0.48

Tabla 07.- Estratigrafía encontrada en el S - 5.

Estrato (#)	Profundidad (m).-		Descripción	N	PVL Kg/m ³	Ø	C
	De:	A:					
A	0.00	2.05	Arenas limosas (SM) con rastros de gravilla color café claro	34	1790	32	0.0003
B	2.05	4.25	Arcilla café (CL), muy plástico, poco húmedo, rígido.	30	1440	0	1.95
C	4.25	4.90	Arena limosa (SM), café claro, seca, muy densa, grano fino.	44	1780	32	0.0003

Tabla 08.- Estratigrafía encontrada en el S - 6.

Estrato (#)	Profundidad (m).-		Descripción	N	PVL Kg/m ³	Ø	C
	De:	A:					
A	0.00	0.20	Arcilla arenosa (CL), café clara, baja plasticidad, media, seca con al parecer rastros de CaCO ₃ .	39	1670	0	1.95
B	0.20	3.40	Arcilla café (CL), plástica, poco húmeda, muy rígida, con pequeños grumos de CaCO ₃ , (muchos pero pequeños),	16	1650	0	1.22
C	3.40	4.00	Arena limosa (SM), café clara, poco húmeda, grano fino, medio densa, con leve grumos de CaCO ₃ .	15	1790	29	0.0003
D	4.00	4.75	Arena limosa (SM), café clara, húmeda, grano fino, medio densa, interestraticado con arcilla café, plástica (lentes de 2", 3 encontrados).	13	1750	28	0.0003
E	4.75	5.20	Arcilla con arena (CL), café, húmeda, media plasticidad y rígida.	12	1590	0	0.58
F	5.20	6.60	Arcilla arenosa, café (CL), plástica, húmeda, rígida, interestraticada con arena limosa, café clara, húmeda y medio densa.	13	1600	0	0.53

Tabla 09.- Estratigrafía encontrada en el S - 7.

Estrato (#)	Profundidad (m).-		Descripción	N	PVL Kg/m ³	Ø	C
	De:	A:					
A	0.00	0.20	Arcilla arenosa (CL), media plasticidad, café claro, seco, con posible material calcáreo y muy rígido.	27	1550	0	0.97
B	0.20	1.65	Arcilla arenosa (CL), baja plasticidad, café, poco húmedo, muy rígido.	27	1550	0	0.97
C	1.65	1.85	Arena limosa (SM), café claro, poco húmeda, medio densa, grano fino.	31	1760	32	0.0003
D	1.85	3.60	Arcilla café (CL), plástica, poco húmedo, con grumos de CaCO ₃ de arcilla pero muy claro y seca.	19	1540	0	1.02
E	3.60	5.85	Arcilla arenosa (CL), café, poco húmeda, media plasticidad, muy rígida con rastros de CaCO ₃ .	30	1560	0	1.95

Tabla 10.- Estratigrafía encontrada en el S - 8.

Estrato (#)	Profundidad (m).-		Descripción	N	PVL Kg/m ³	Ø	C
	De:	A:					
A	0.00	0.70	Arena arcillosa (SC), baja plasticidad, seca, café clara, con manchas blancas, con leves grumos de caliche, grano fino.	26	1600	28	0
B	0.70	1.40	Arcilla con arena (CL), café media plástica, seca, con muy leves grumos de caliche.	24	1510	0	1.07
C	1.40	4.40	Arcilla café (CH), plástica, pero húmeda con mancha blanca, rígida.	12	1540	0	0.48
D	4.40	5.85	Arcilla con arena (CL), café con muy leves y pequeños manchas blancas, media plasticidad, seca.	30	1550	0	1.95
E	5.85	6.00	Arena arcillosa (SC), café clara, baja plasticidad, grano fino, seca densa.	33	1580	32	0

Tabla 11. Estratigrafía encontrada en el S - 9.

Estrato (#)	Profundidad (m).-		Descripción	N	PVL Kg/m ³	Ø	C
	De:	A:					
A	0.00	0.88	Arcilla arenosa (SC), café, seca, media plasticidad, con leve CaCO ₃ y leves grumos de ¼".	21	1680	0	1.02
B	0.88	1.40	Arena limo-arcillosa (SM), café clara, seca.	26	1790	28	0.0003
C	1.40	2.90	Arcilla con arena (CL), café, húmeda, con manchas blancas, medio plástica,	9	1590	0	0.48
D	2.90	3.60	Arcilla café (CL), plástica con manchas blancas, poca húmeda.	41	1610	0	1.95
E	3.60	5.30	Arcilla con arena (CL), café, seca, con manchas blancas (leves), plástica.	47	1720	0	1.95
F	5.30	6.00	Arena arcillosa (SC), café clara, poco plástica, grano fino, seca, densa.	34	1600	32	0

Tabla 12. Estratigrafía encontrada en el S - 10.

Estrato (#)	Profundidad (m).-		Descripción	N	PVL Kg/m ³	Ø	C
	De:	A:					
A	0.00	0.70	Arcilla con arena (CL), café clara, poco/medio plástica seca, con CaCO ₃ .	27	1540	0	1.22
B	0.70	0.72	Lente de grava (GP) a los 0.75 m de profundidad de 1" de ancho.	46	1800	32	0
C	0.72	2.20	Arcilla con arena (CL), café con muy leves grumos de CaCO ₃ , medio plástica.	12	1500	0	0.53
D	2.20	4.70	Arcilla café (CH), húmeda, con leves manchas blancas (muy leves), plástica y rígida.	11	1530	0	0.53
E	4.70	5.00	Arena arcillosa (SC), café clara, poco húmeda, media plasticidad, grano fino.	18	1450	28	0
F	5.00	7.15	Arena limosa (SM), café clara, poco húmeda, medio densa, grano fino.	24	1700	28	0.0003
G	7.15	7.35	Arcilla arenosa (CL), café, media plasticidad, poco húmeda y muy rígida.	33	1670	0	1.95

Tabla 13. Estratigrafía encontrada en el S - 11.

Estrato (#)	Profundidad (m).-		Descripción	N	PVL Kg/m ³	Ø	C
	De:	A:					
A	0.00	0.20	Arcilla arenosa (CL), café clara, seca, medio/poco plástica, con grumos de CaCO ₃ .	26	1550	0	1.12
B	0.20	2.85	Arcilla café (CL), poco húmeda, plástica, muy rígida, con leves manchas (grumos) blancas.	20	1520	0	0.97
C	2.85	4.40	Arcilla limosa (CL) con arena, café, húmeda, con lentes de grava de hasta ½" de 2" a los 2.65 – 2.70 m, plástica intermezclado con carbonatos de calcio, firme.	7	1480	0	0.39
D	4.40	6.00	Arena limosa (SM), suelta, húmeda, grano fino, café.	8	1690	28	0.0003

El análisis y valoración de las principales características de los materiales extraídos en cada sondeo exploratorio, se realizó en dos etapas: la primera en campo, contando el **Número de Golpes (N)** necesarios para penetrar los tramos de suelo muestreados; y la segunda en laboratorio, sometiendo a dichas muestras a diversas pruebas estandarizadas de mecánica de suelos.

Como se describió anteriormente, el conteo del **Número de Golpes (N)**, es uno de los primeros instrumentos con el que se pueden determinar ciertas características cualitativas de los materiales que componen el subsuelo.

En la práctica común y en el presente estudio, para tomar cada una de las muestras en el sondeo, se hincó la *cuchara* de acero en el subsuelo mediante un sistema de martillo en caída libre, contándose el número de golpes necesarios para alcanzar 12 pulgadas.

XIV.3. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En general se observan estratos competentes, densos y de medianamente a bien conformados con ángulos de fricción interna y cohesiones altas. Sin embargo, en algunos sondeos se observan estratos de arena limosa de mas de 1 m de espesor que pudieran comprometer la operación del bordo una vez sometido a carga hidráulica.

Se recomienda realizar pruebas triaxiales en la parte Noroeste del bordo y en la zona donde los desarrollos habitacionales están localizados a menos de 40 m de distancia del bordo. Con los resultados de estas pruebas se validaran los ángulos de fricción y cohesion con una mayor certidumbre.

De igual manera se recomienda también realizar al menos una prueba de permeabilidad tipo Lefranc para dispone de un valor de permeabilidad directo de campo.



“ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO EN LA ZONA NORTE Y SUR DE LA CUENCA DE
EL BARREAL EN CIUDAD JUAREZ, CHIHUAHUA”

ESTUDIOS DE ESTABILIDAD DE TALUD EN EL BORDO MIGUEL DE LA MADRID HURTADO

XIV. ESTUDIOS DE ESTABILIDAD DE TALUD DEL BORDO MIGUEL DE LA MADRID HURTADO

XIV.1. INTRODUCCIÓN

En base a los estudios de geotecnia en el Bordo Miguel de la Madrid Hurtado, se busca determinar las características físicas y mecánicas bajo las cuales operará el bordo, principalmente bajo condiciones extremas (obra con embalse y esfuerzos acaecidos en este lapso), tiempo durante el cual podrían presentarse fenómenos estructurales diferentes a los esperados en condiciones de operación sin embalse (condiciones secas), además de los posibles asentamientos diferenciales en la zona de cimentación.

Los criterios tomados en cuenta, tanto para la localización como características de las pruebas propuestas, se basan en las recomendaciones de consideración geotécnica documentados en la literatura existente (Department of Civil Engineering, University of Kentucky; Instituto Mexicano de Tecnología del Agua y GEO-SLOPE International Ltd.), en la ubicación geográfica de los anomalías y resultados más significativos, así como la cercanía a posibles bancos de préstamo; buscando con ello, atender el aspecto económico sin detrimento de la calidad en la información y características idóneas de los materiales a obtener.

XIV.2. METODOLOGÍA

Conductividad Hidráulica: Se realiza esta prueba con el objetivo de conocer la velocidad de transporte del frente húmedo a través del suelo una vez presentando embalse la obra de proyecto; los datos aportados por esta prueba ayudarán a determinar si es necesario el diseño y construcción de una barrera impermeable en la base de la obra (Figura XIV.2.1 y Figura XIV.2.2).

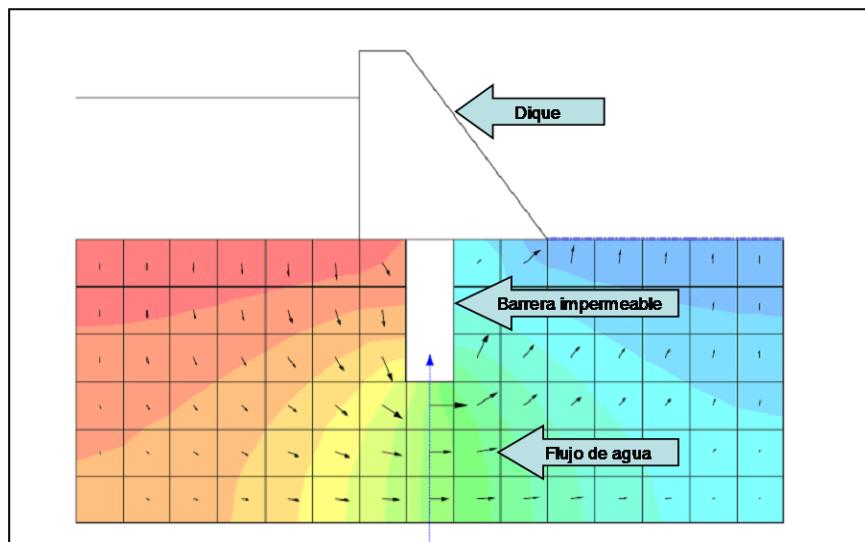


Figura XIV.2.1. Modelo teórico del flujo del agua a través de la cimentación de un dique (GEO-SLOPE International Ltd., 2007).

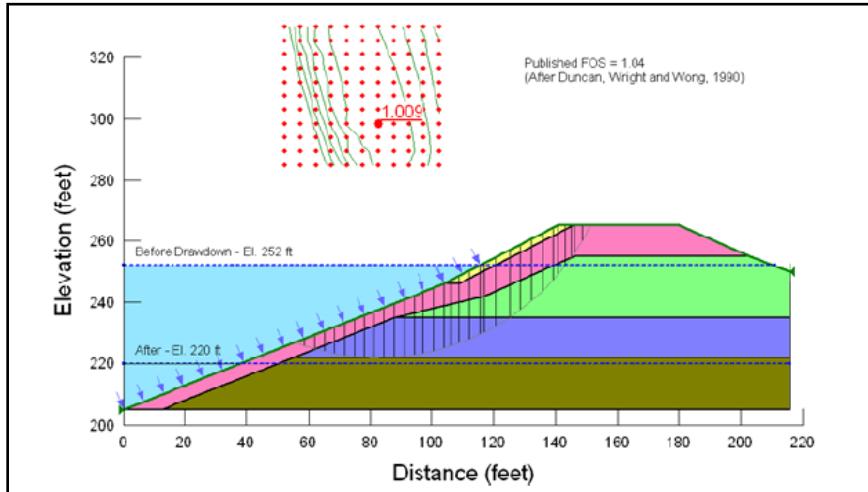


Figura XIV.2.2 Modelo teórico de las condiciones de seguridad de un dique con embalse (GEO-SLOPE International Ltd., 2007).

Triaxial Consolidada: Se recomienda esta prueba debido a que al formar parte del corazón impermeable, este material al tener contacto con la humedad cambiará sus propiedades mecánicas en comparación con su estado seco, además que esta prueba ayudará a determinar el tiempo de migración del frente húmedo a través del material cuando embalse el proyecto y diseñar adecuadamente sus dimensiones (Figura XIV.2.3).

Triaxial No Consolidada: Se recomienda debido a que al igual que la prueba anterior, ayudará a definir los parámetros de factor de seguridad del proyecto en condiciones secas y precisar de mejor manera la geometría del proyecto (Figura XIV.2.4).

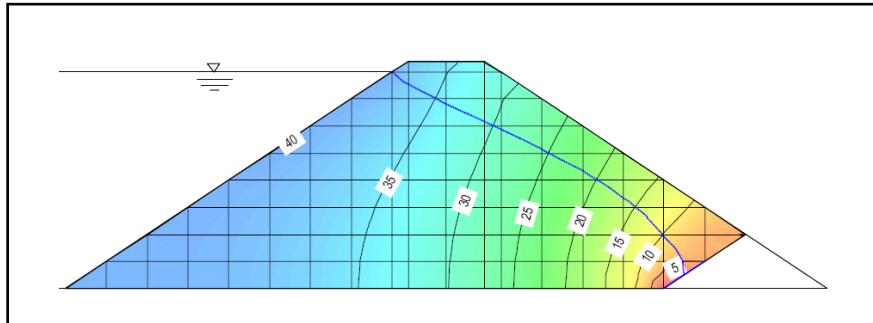


Figura XIV. 2.3. Modelo teórico de migración del frente húmedo a través del cuerpo de un dique (GEO-SLOPE International Ltd., 2007).

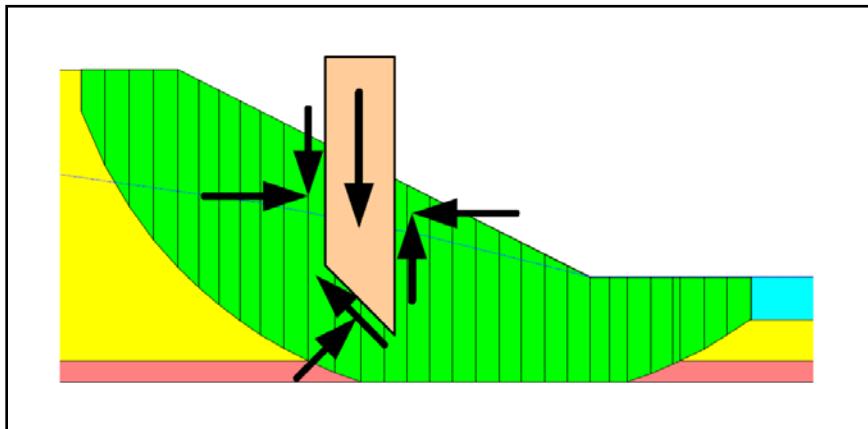


Figura XIV.2.4. Análisis de la estabilidad de un talud de dique mediante el método de las Dovelas (GEO-SLOPE International Ltd., 2007).

Para la obtención de los parámetros de campo se realizaron 12 sondeos exploratorios a lo largo del borde MMH. Los sondeos se localizaron en puntos que los métodos geofísicos indirectos de Tomografía Eléctrica Resistiva, Georadar y sísmica mostraron presencia de anomalías asociadas con heterogeneidades dentro del cuerpo del borde MMH. Así mismo se realizó un sondeo en una zona interpretada como homogénea y conformada

“ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO EN LA ZONA NORTE Y SUR DE LA CUENCA DE
EL BARREAL EN CIUDAD JUAREZ, CHIHUAHUA”

litológicamente por arcillas. La localización de los sondeos (Figura XIV.2.5) muestra la presencia de las principales anomalías geofísicas, en total se realizaron 72 m de exploración directa.



Figura XIV.2.5. Localización de sondeos geotécnicos.

El análisis de talud se realizó en la sección tipo de la TER 24, que muestra la presencia de una capa de limos de 1 m de espesor, a la cual le subyace una capa de arcilla de 3 m de espesor, la cual sin embargo no es homogénea a lo largo de la sección geoeléctrica. Por ello se modelaron escenarios de falla con las litologías observadas en los estudios geoeléctricos y validados por la exploración directa. Los parámetros de ángulo de fricción interna, peso volumétrico, e índice de permeabilidad en base a curva granulométrica.

La sección tipo (Figura XIV.2.6) muestra que el bordo, conforme a un control topográfico está por encima de la cota de 1186.74 m.s.n.m.m requerida para contener el tirante hidráulico asociado con una tormenta de diseño con periodo de retorno de 500 años. Estos estudios de elevación del bordo, obedecen al requerimiento del CENAPRED en su oficio XXXXXXX en que se solicita una simulación bidimensional para establecer la altura de diseño de un bordo de contención para un periodo de retorno de 100 años con bordo libre a 500 años, corresponden, respectivamente, a las cotas de 1186.123 y 1186.74 m.s.n.m.m. (Figura XIV.2.7). Los resultados correspondientes a esta simulación se entregaron al CENAPRED a inicios del 2017.

**“ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO EN LA ZONA NORTE Y SUR DE LA CUENCA DE
EL BARREAL EN CIUDAD JUAREZ, CHIHUAHUA”**

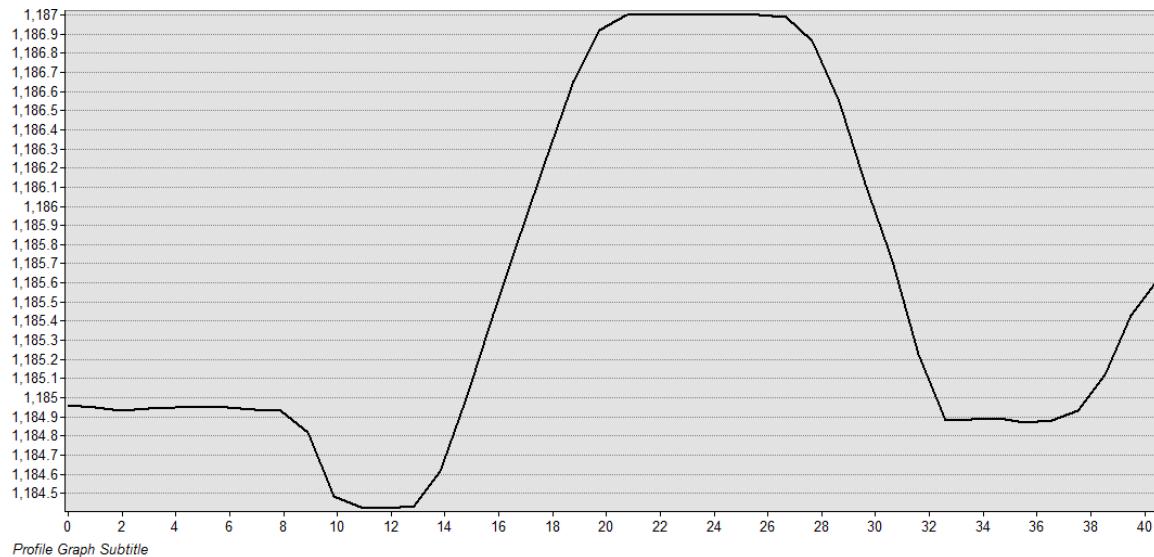


Figura XIV.2.6. Localización de sondeos geotécnicos.

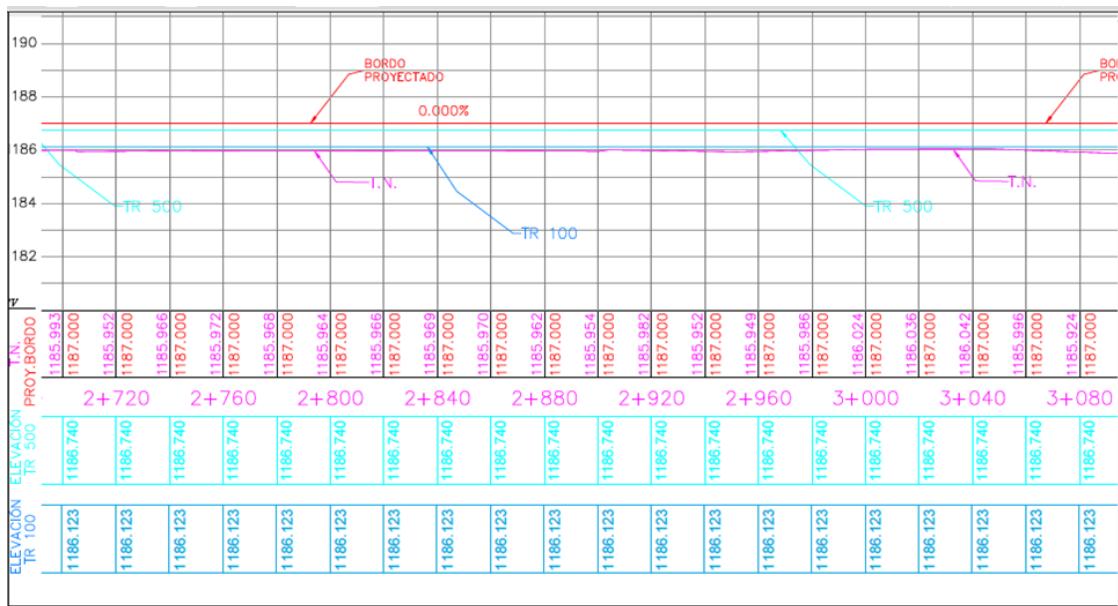


Figura XIV.2.7. Perfil de diseño del BMMH en base al estudio a la COESVI, 2016.

XIV.3. RESULTADOS, CONDICIONES DE SEGURIDAD DEL BMMH

A continuación se enlista los diferentes escenarios en los cuales se modeló de acuerdo a los análisis de talud para material arcilloso, con condiciones de suelo seco (Figuras XIV.3.1.1 a la Figura XIV.3.1.3), con línea piezometrica a un periodo de retorno de 100 años (Figuras XIV.3.2.1 a la Figura XIV.3.2.6) y de un TR de 500 años (Figuras XIV.3.3.1 a la Figura XIV.3.3.6). Además un análisis de talud para material con limo y arcilla, con condiciones de suelo seco (Figuras XIV.3.4.1 a la Figura XIV.3.4.6), con línea piezometrica a un periodo de retorno de 100 años (Figuras XIV.3.5.1 a la Figura XIV.3.5.6) y de un TR de 500 años (Figuras XIV.3.6.1 a la Figura XIV.3.6.6).

XIV.3.1. Talud con material Arcilloso: Suelo seco, TR 100 y 500 años

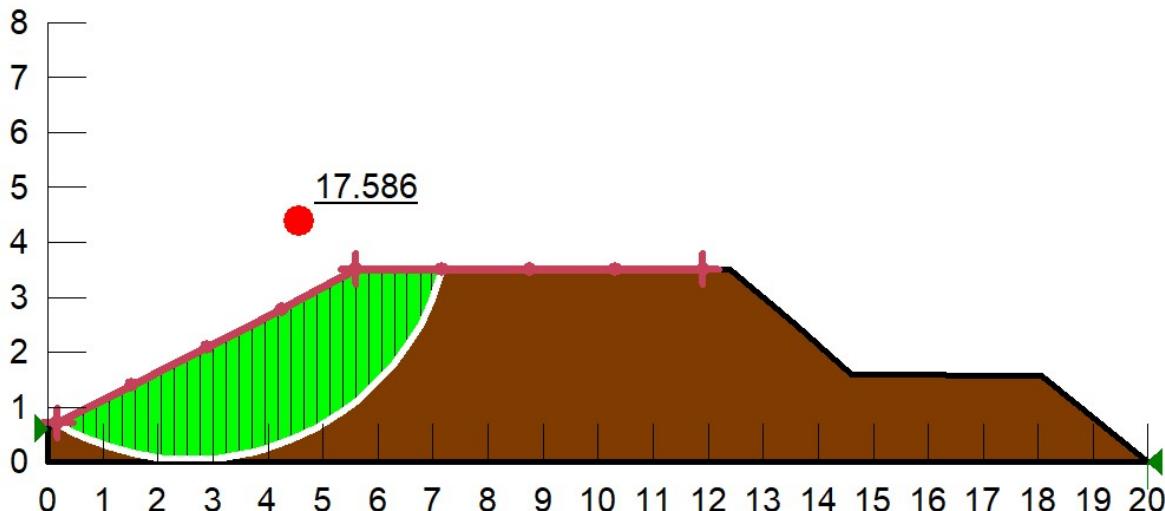


Figura XIV.3.1.1. Modelo teórico Falla de Base con suelo seco.

“ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO EN LA ZONA NORTE Y SUR DE LA CUENCA DE
EL BARREAL EN CIUDAD JUÁREZ, CHIHUAHUA”

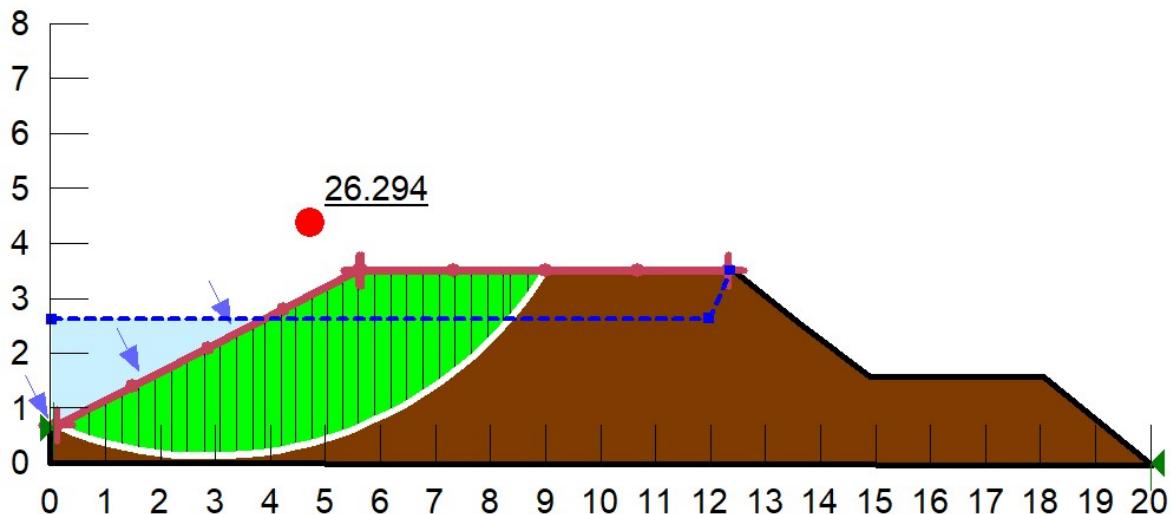


Figura XIV.3.1.2. Modelo teórico Falla de Base, TR 100 años.

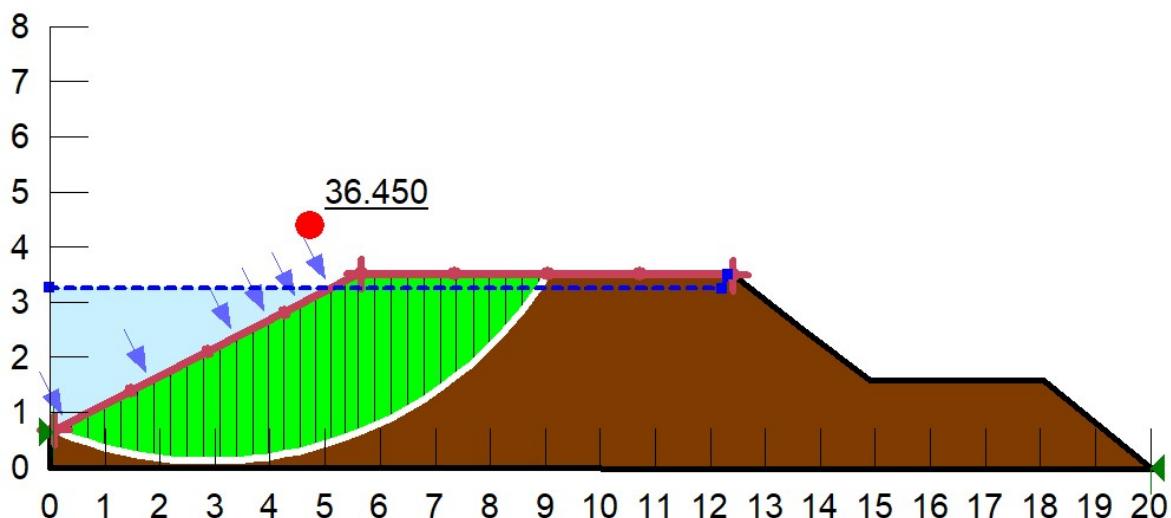


Figura XIV.3.1.3. Modelo teórico Falla Base, TR 500 años.

XIV.3.2. Talud con material Limo y Arcilla: Suelo seco, TR 100 y 500 años

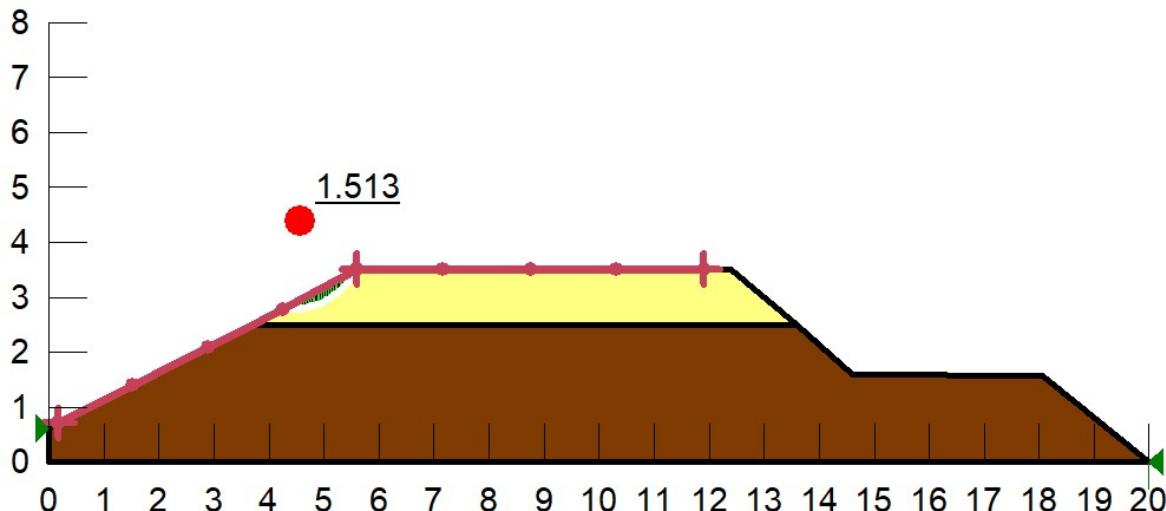


Figura XIV.3.4.1. Modelo teórico Falla de Base, suelo seco con 1 m de limos.

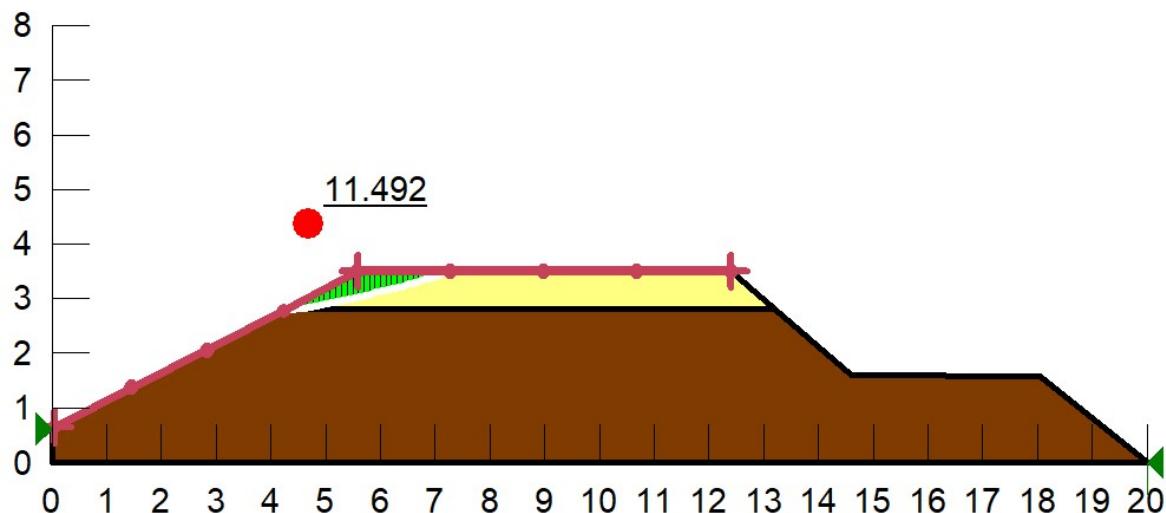


Figura XIV.3.4.2. Modelo teórico Falla de Base, suelo seco con 0.7 m de limos.

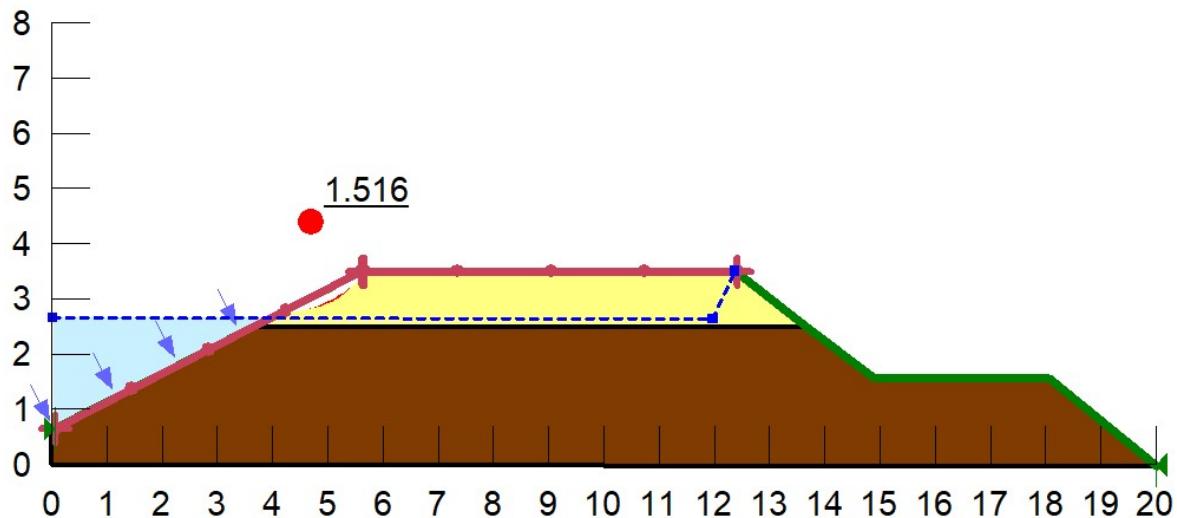


Figura XIV.3.4.3. Modelo teórico Falla de Base, a TR 100 años con 1.5 m de limos.

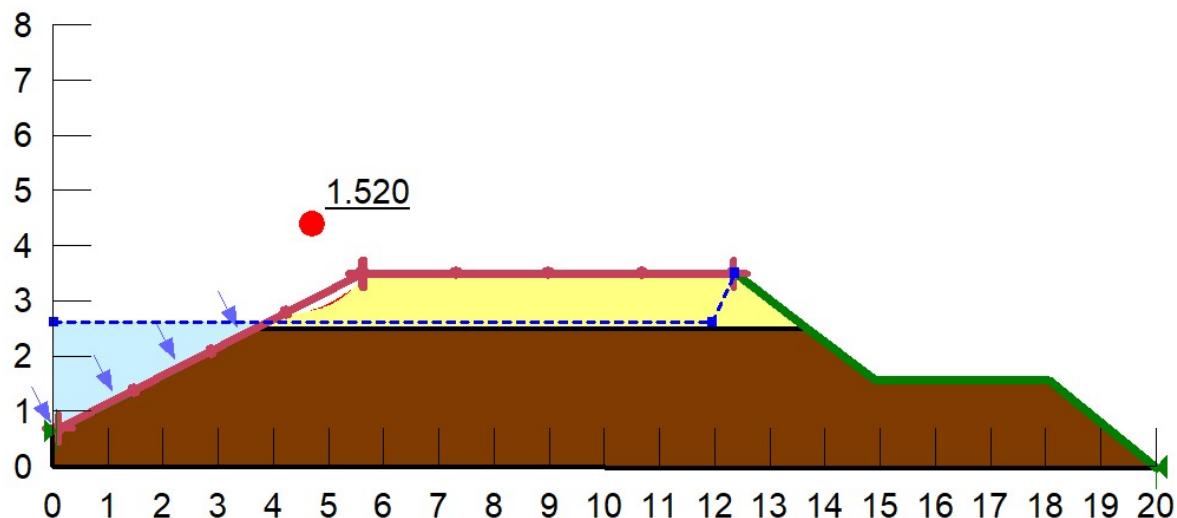


Figura XIV.3.4.4. Modelo teórico Falla de Base, a TR 100 años con 1.0 m de limos.

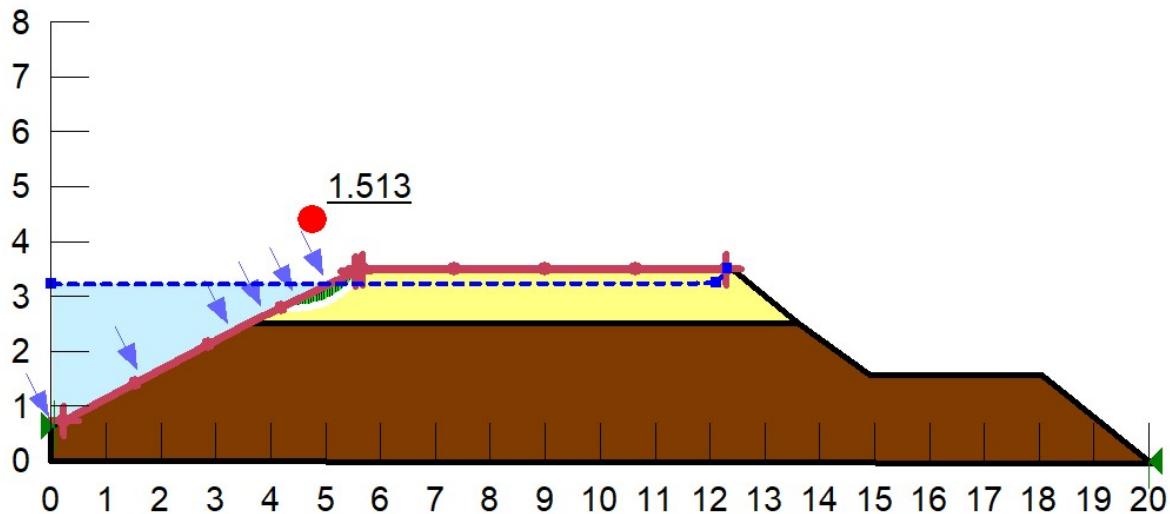


Figura XIV.3.4.5. Modelo teórico Falla de Base, a TR 500 años con 1.0 m de limos.

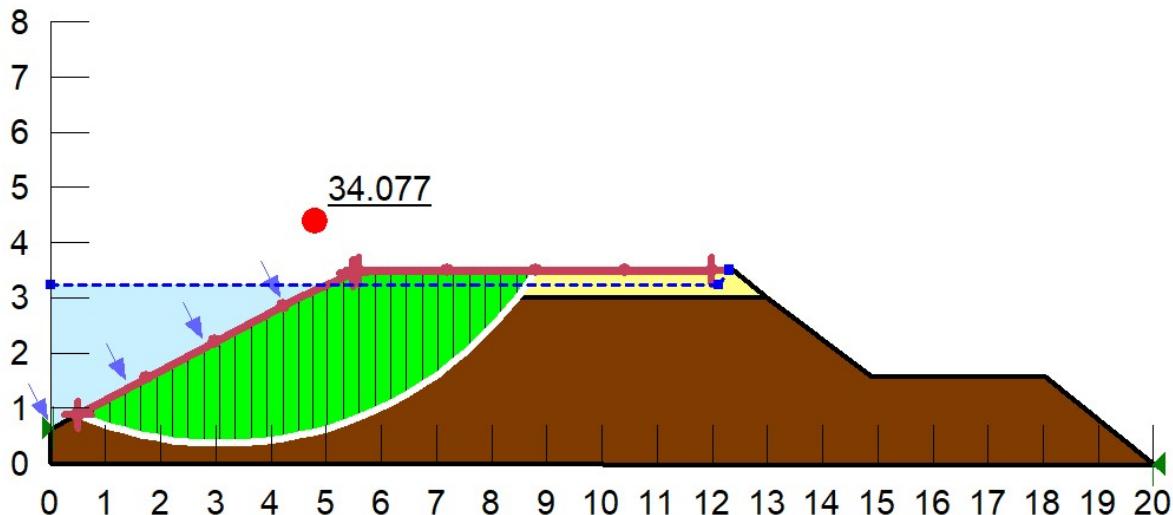


Figura XIV.3.4.6. Modelo teórico Falla de Base, a TR 500 años con 0.5 m de limos.

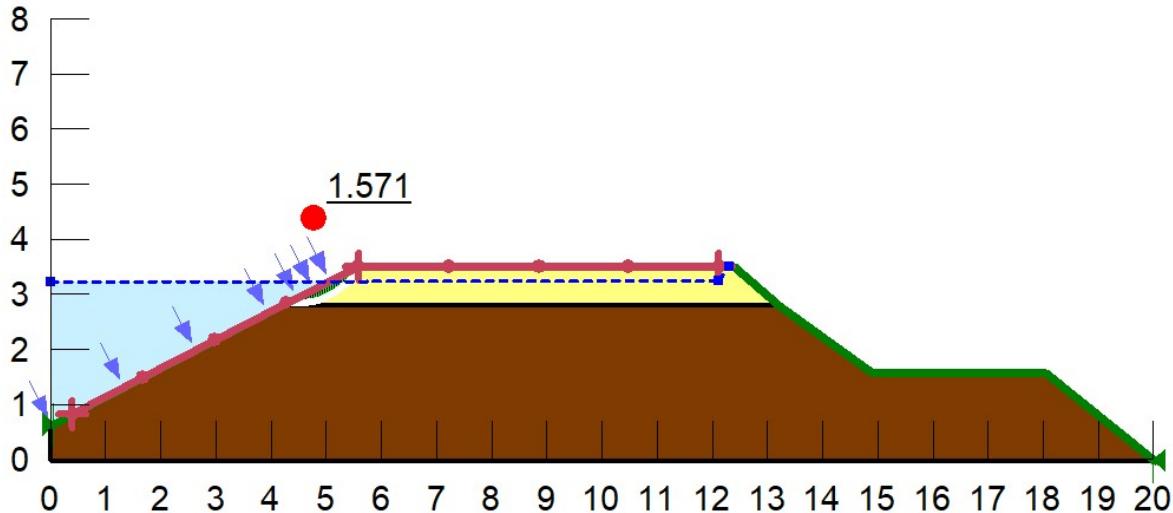


Figura XIV.3.4.6. Modelo teórico Falla de Base, a TR 500 años con 0.7 m de limos.

Como los reflejan los análisis de Estabilidad de Talud, el bordo presenta, bajo los diferentes escenarios de fallas calculados, que los factores de seguridad para los escenarios tipos se pueden resumir de la siguiente manera:

- I. Si el cuerpo del dique está conformado por pura arcilla, el escenario de falla esta siempre muy por encima del valor de 1.5 del Factor de Seguridad (F.S.).
- II. Si el espesor del limo es menor de 1 m el factor de seguridad incrementa a valores por encima de 1.5 (F.S.)
- III. Si el espesor de la capa de arenas limosas es de 1 m. el factor de seguridad es de 1.513 (F.S.).



“ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO EN LA ZONA NORTE Y SUR DE LA CUENCA DE
EL BARREAL EN CIUDAD JUAREZ, CHIHUAHUA”

- IV. Si el espesor de la capa de arenas limosas es mayor a 1 m el factor de seguridad es menor al valor de umbral de 1.5 considerándose que el talud entra en falla.

XV. CONCLUSIONES FINALES

En base a la integración de toda la información geofísica y geotécnica y los escenarios de falla resultantes se concluye que el bordo presenta dos zonas con escenario posible de riesgo de falla estructural al estar sometido al tirante hidráulico asociado con la tormenta de 500 años de periodo de retorno:

- I. Zona de corte: Esta zona, localizada a los extremos Noroeste del Bordo en la localización de las TER's 1 y 2, se observa que el cuerpo del bordo fue alterado mecánicamente. El radargrama de esta zona es muy evidente a este respecto (Figura XV.1).

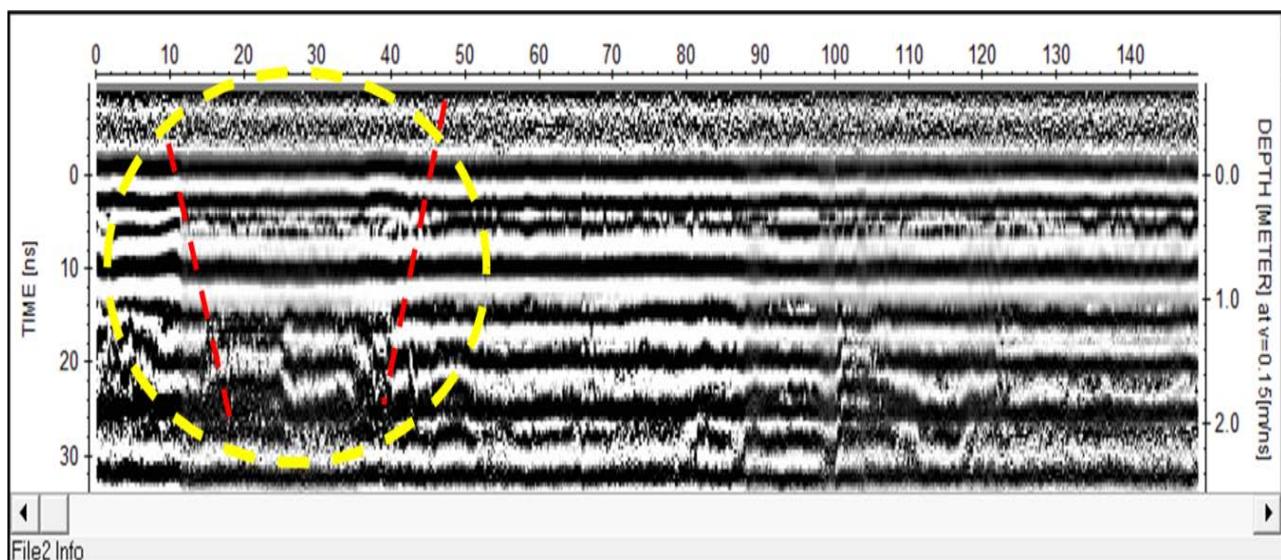


Figura XV. Radargrama de la zona del corte al noroeste del BMMH

- II. Zonas Noroeste (A), localizada entre las TER's 39 y 43. En esta zona se observa el mayor cambio de pendiente de la corona del bordo, y es aquí donde los flujos de la corrida hidráulica muestran muy alta velocidad lateral en su trayectoria hacia el centroide de la nueva zona de restitución lagunar definida por la presencia del Bordo MMH. En esta zona las TERs revelan espesores de materiales arenolimosos de más 1 m de espesor.
- III. Zona central (B), localizada entre las TER's 23 a la 27. En esta zona, la geofísica y geotecnia revelan perdida de continuidad lateral evidenciada por el acuñamiento del cuerpo de arcillas. Esta zona está en espesores de 1 m de litologías de arena limosa. Es decir en el límite del umbral de seguridad.
- IV. Zona de la TER 09 (C) donde se observa la presencia de una estructura vertical de materiales arenosos irrumpiendo la continuidad del paquete de arcillas.
- V. Zona de la TER 06, con notable pérdida de continuidad lateral del cuerpo de arcillas como consecuencia de la presencia de arenas limosas con poca cohesión.
- VI. La localización de las zonas con condición precaria de integridad estructural tal muestran en la Figura XV.2.

“ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO EN LA ZONA NORTE Y SUR DE LA CUENCA DE EL BARREAL EN CIUDAD JUAREZ, CHIHUAHUA”

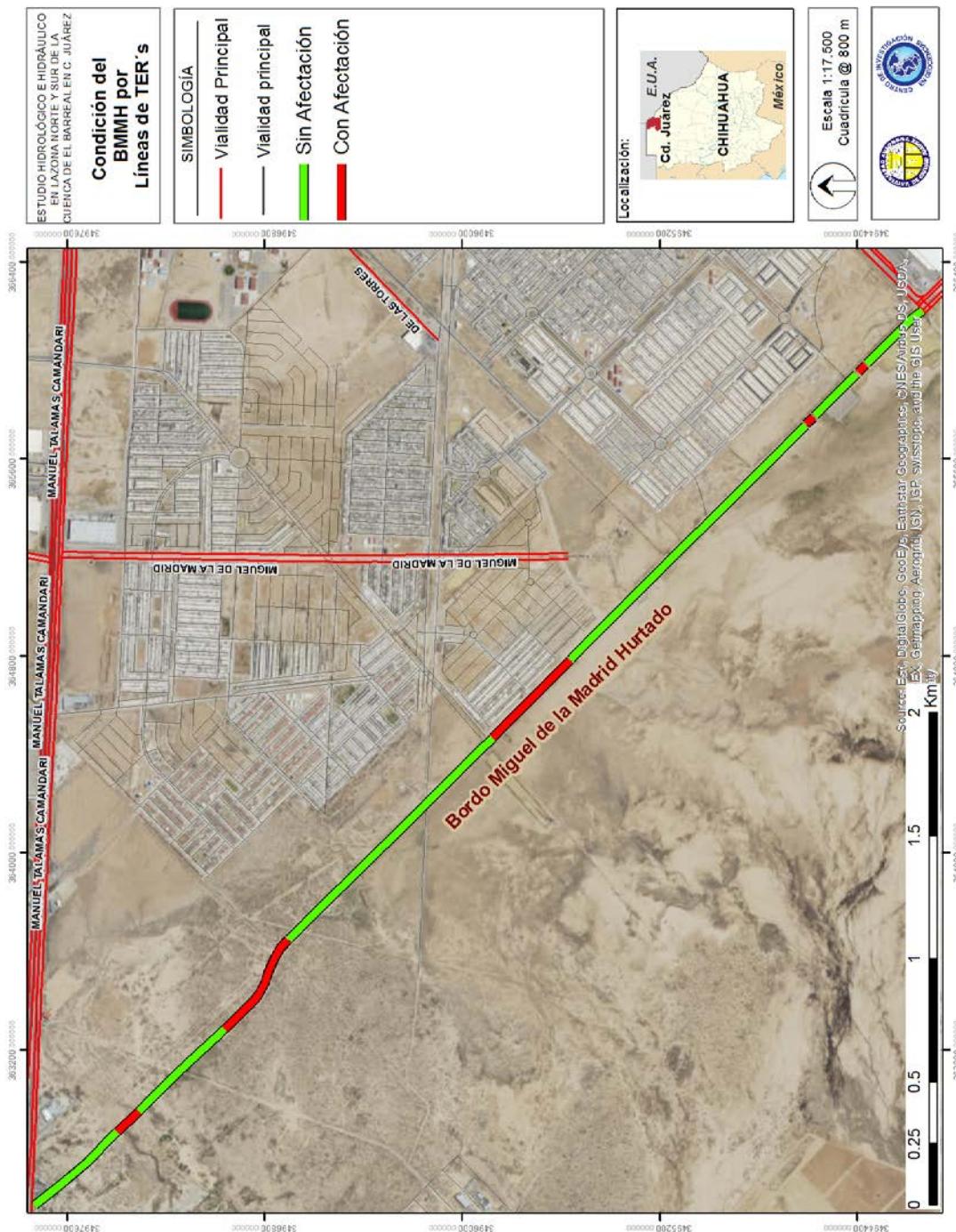


Figura XV.2. Zonas con condición precaria de estabilidad estructural.

XVI. RECOMENDACIONES

- I. Dado que las funciones de falla presentan valores límite en el umbral de 1.5, se recomienda el realizar pruebas Triaxales en las zonas con potencial de falla para validar con mayor certeza los parámetros de los estratos que conforma el bordo y poder precisar con mucho más detalle y certidumbre el riesgo de falla estructural.

- II. Realizar al menos un ensaye Lefranc sobre la corona del bordo para obtener una permeabilidad directa y no inferida por condiciones granulométricas. Esta recomendación se emite en función de la cercanía del bordo MMH en la zona de las TER 24 y 25 a desarrollos habitacionales, localizados a tan solo 40 m de distancia. De esta manera se podrá evaluar con mayor certidumbre el posible escenario de falla por erosión interna de la estructura.



XVII. BIBLIOGRAFÍA

- 1) Loke M.H, Akworth I. and Dhalin, T., 2003, A comparison of smooth and blocky inversions methods in 2D electrical imaging surveys, *Exploration Geophysics*, 32, 182-187.
- 2) Palacky, G. I., 1987, Resistivity characteristics of geological targets. In: M. Nabighian, Editor, *Electromagnetic Methods in Applied Geophysics-Theory*, Society of Exploration Geophysicists, Tulsa, OK, pp.53-129.
- 3) Sharma P., 1997. *Environmental and engineering geophysics*, Cambridge University Press, pp. 500, ISBN: 0521576326.