

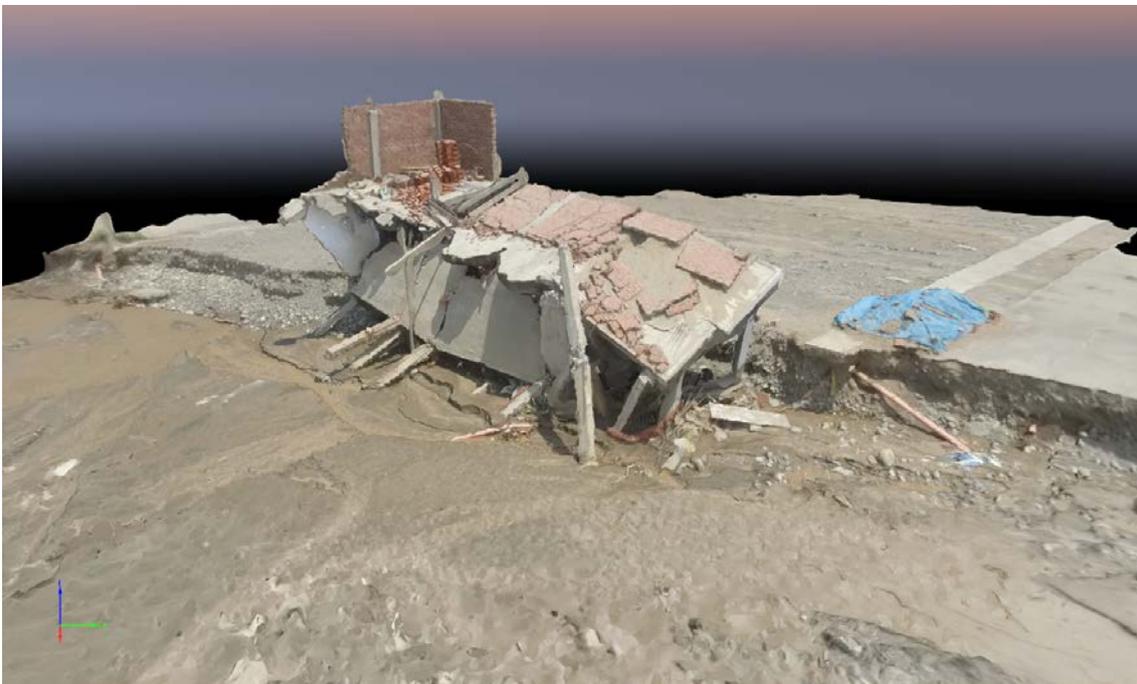


UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

Facultad de Ingeniería Civil
Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas
y Mitigación de Desastres
Instituto para la Mitigación de los Efectos del
Fenómeno El Niño



INFORME PRELIMINAR SOBRE LOS EFECTOS DE LOS DESBORDES DEL RIO CHILLÓN EN EL TRAMO URBANO DE LA CUENCA BAJA EN LOS DISTRITOS DE CARABAYLLO Y PUENTE PIEDRA POR EFECTOS DEL FENÓMENO DEL NIÑO COSTERO



**INFORME ELABORADO EN COLABORACIÓN POR EL CENTRO PERUANO
JAPONÉS DE INVESTIGACIONES SÍSMICAS Y MITIGACIÓN DE
DESASTRES – CISMID – Y EL INSTITUTO PARA LA MITIGACIÓN DE LOS
EFECTOS DEL FENÓMENO DEL NIÑO – IMEFEN – DE LA FACULTAD DE
INGENIERÍA CIVIL DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA**

Lima, Marzo de 2017



EVALUACIÓN DE DAÑOS OCASIONADOS POR EL RIO CHILLÓN EN EL TRAMO URBANO DE LA CUENCA BAJA

1. Introducción

En la quincena del mes de marzo del año 2017, se registraron desbordes e inundaciones en diferentes tramos del Río Chillón, generando daños en viviendas, áreas de cultivo y vías de comunicación. Uno de los distritos más afectados por estos desbordes es el distrito de Carabaylo, donde las aguas del Río Chillón arrasaron con 12 lotes de la Urbanización La Rinconada, provocando el colapso de una vivienda de albañilería recién construida. Asimismo, otros sectores en este distrito fueron también seriamente afectados. Es en este contexto que especialistas en geomática y geología del Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigaciones de Desastres - CISMID, e hidrólogos del el Instituto para la Mitigación de los Efectos de El Niño - IMEFEN realizaron una visita técnica el día 21 de marzo a 05 sectores del Río Chillón para evaluar los daños ocasionados por la crecida del río. Con esta información se identificaron los daños y las causas probables que los generaron, para finalmente proponer medidas de mitigación de estos desastres.

2. Objetivo

El objetivo del presente reporte técnico es evaluar de manera preliminar los daños ocasionados por el río Chillón en el tramo urbano de su cuenca baja, evidenciando las causas que lo generaron, describiendo los efectos y posibles soluciones que deberían implementarse.

3. Equipo de Trabajo

Bajo la coordinación del PhD. Miguel Estrada, Director de CISMID, se discutió sobre las actividades que deberían llevarse a cabo para realizar una corta visita a un área afectada por los desbordes del río Chillón. Las tres áreas de trabajos fueron:

Área de Geomática

- PhD. Ing. Miguel Estrada Mendoza – CISMID – FIC – UNI
- Mg. Jorge Morales Tovar – CISMID – FIC – UNI
- Bach. Lucio Estacio Flores – CISMID – FIC – UNI
- Bach. Jorge Lumbre Santa Cruz – CISMID – FIC – UNI
- Bach. Fernando García Bashualdo – CISMID – FIC – UNI
- Bach. Gino Veramendi Ramos – CISMID – FIC – UNI
- Bach. Julián Palacios Espinoza – CISMID – FIC – UNI
- Téc. Charles Asencio Rodríguez – CISMID – FIC – UNI



Área de Geología y Geotecnia

- Ing. Jimmy Vásquez Navarro – CISMID – FIC – UNI
- Dr. Ing. Diana Calderón Cahuana – CISMID – FIC – UNI

Área de Hidráulica

- Ing. Roger Hidalgo García – IMEFEN – FIC – UNI
- Ing. Edwin Trebejo Ortiz – IMEFEN – FIC – UNI
- Bach. Diego Cornejo Tejada – IMEFEN – FIC – UNI

4. Ubicación del Área de Estudio

Los sectores evaluados corresponden a 5 tramos del curso del río Chillón, dentro o en las inmediaciones de los distritos de Carabaylo, Puente Piedra y Comas de la provincia de Lima. Los nombres de estos sectores son referenciados a la urbanización o poblado afectado. Siguiendo la dirección del flujo desde la zona más distante aguas arriba hacia la parte baja, los sectores visitados son:

- P.E-1: Urbanización La Rinconada de Carabaylo
- P.E-2: Puente San Martín
- P.E-3: Asentamiento Humano Fujimori Fujimori
- P.E-4: Urbanización Los Álamos, y
- P.E-5: Asentamiento Humano Los Gallinazos

Los primeros cuatro sectores se encuentran en el distrito de Carabaylo (Figura 1), mientras que el último sector se encuentra en el límite de los distritos de Comas y Puente Piedra (Figura 2).

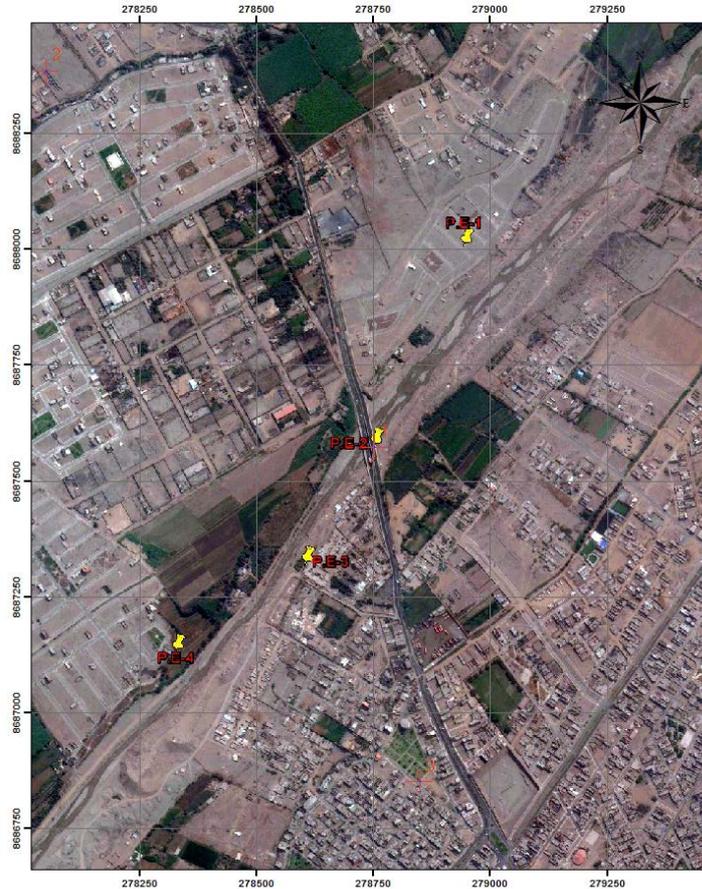


Figura 1. Ubicación de los puntos de evaluación en el distrito de Carabayllo: Urb. La Rinconada (P.E-1), Puente San Martín (P.E-2), A.H. Fujimori Fujimori (P.E-3) y Urb. Los Álamos (P.E-4).



Figura 2. Ubicación del punto de evaluación P.E-5, en el A.H. Los Gallinazos, en el distrito de Comas.



5. Geomática

5.1. Equipo Profesional

- PhD. Ing. Miguel Estrada Mendoza
- Bach. Lucio Estacio Flores
- Mg. Jorge Morales Tovar
- Bach. Jorge Lumbre Santa Cruz
- Bach. Fernando García Bashualdo
- Bach. Gino Veramendi Ramos
- Bach. Julián Palacios Espinoza
- Bach. Charles Asencio Rodríguez

5.2. Descripción del vuelo con el uso de vehículos aéreos no tripulados (UAV)

La adquisición de fotografías aéreas se realizó utilizando vehículos aéreos no tripulados (UAV por sus siglas en inglés) pertenecientes a la Marca DJI, del modelo Phantom 3 Professional con cámara Sony de 12 MP y el modelo Matrice 100 con cámara Zenmuse X5 de 16 MP. Los 05 sectores visitados se agruparon en 04 zonas de vuelo que se enumeran a continuación:

- Zona I : Urbanización La Rinconada
- Zona II : Puente San Martín
- Zona III: Asentamiento Humano Fujimori Fujimori y Urb. Los Álamos.
- Zona IV: Asentamiento Humano Los Gallinazos

La Figura 3 muestra las respectivas imágenes satelitales de las cuatro zonas de vuelo. Por otro lado, la Figura 4 muestra el plan de vuelo programado para la Zona I realizado con el Pix4D Capture. En la misma figura se puede apreciar el sentido de las líneas de vuelo, conjuntamente con la altura y el traslape asignado.

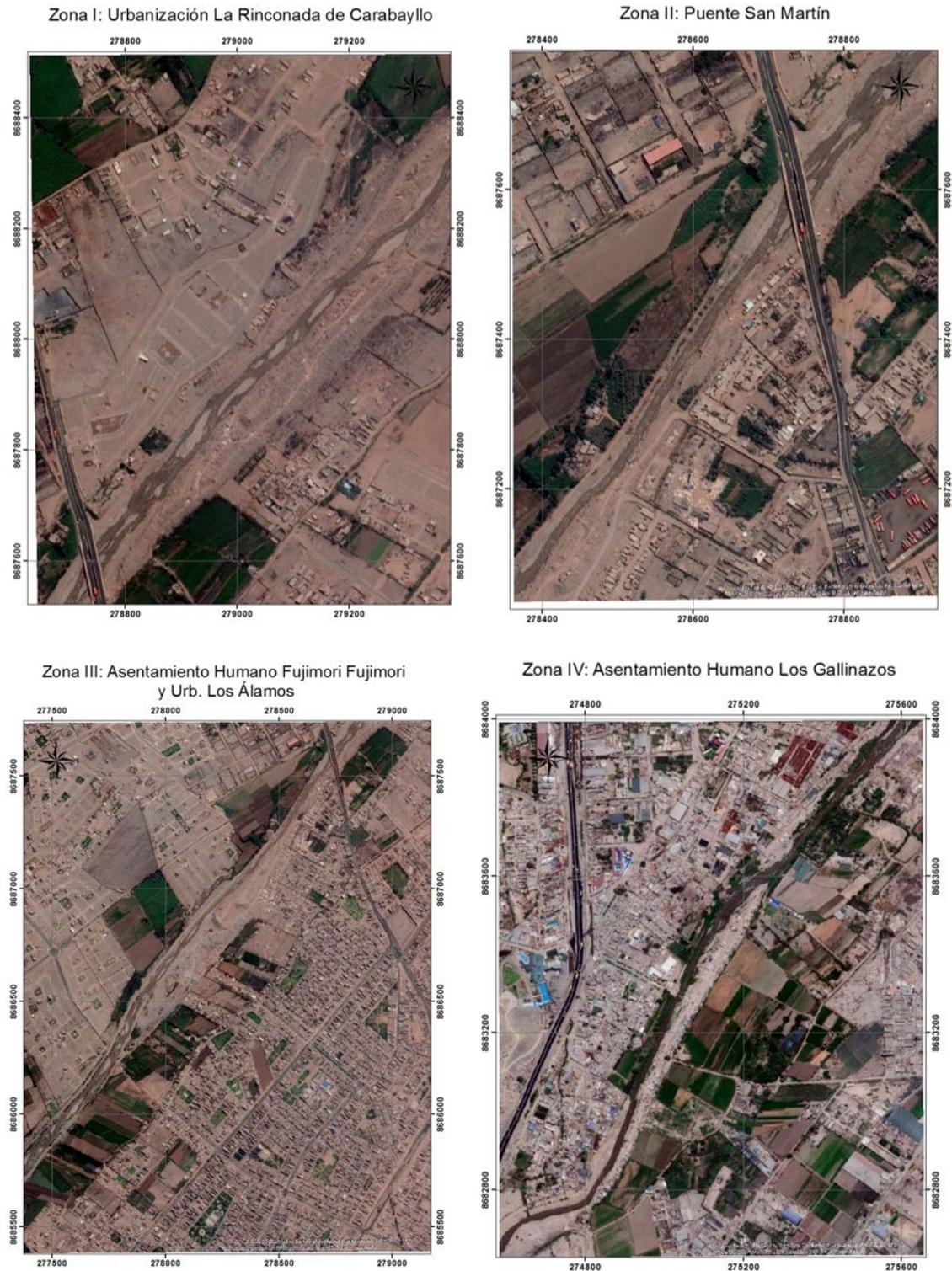


Figura 3. Imágenes Satelitales de las zonas de estudios obtenidas de la base de datos de ArcGIS® Online.

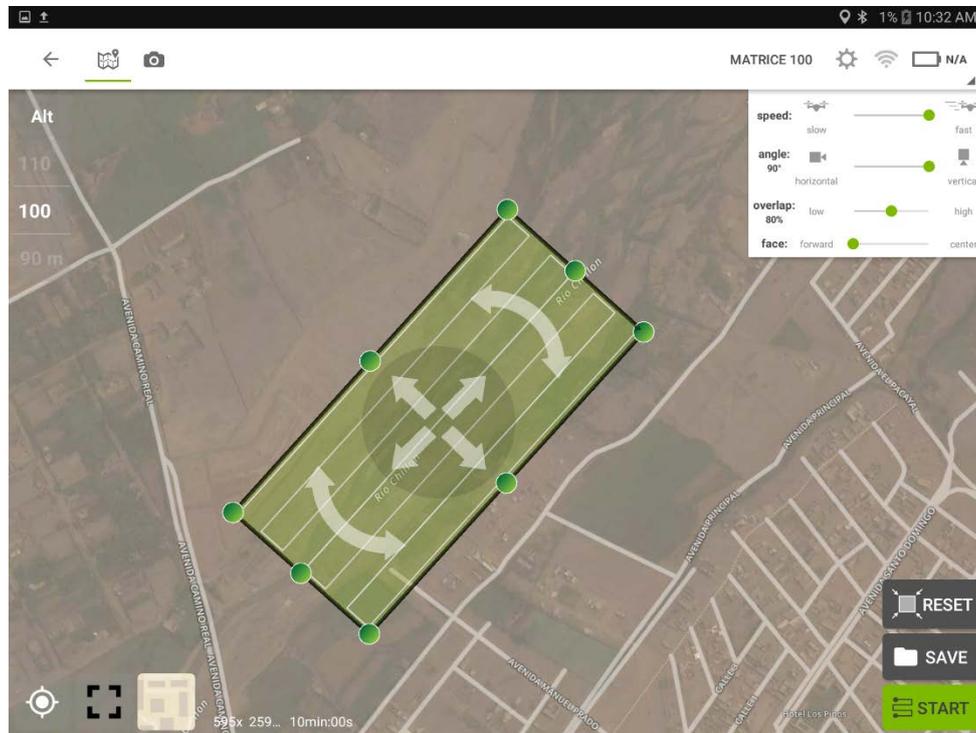


Figura 4. Plan de vuelo de la Zona I: Urb. La Rinconada realizada con la aplicación Pix4D Capture.

La Tabla 1 muestra en detalle los parámetros más importantes que caracterizan el plan de vuelo programado en las Zonas I y II donde se usó el UAV Marca DJI, modelo Matrice 100.

Tabla 1. Características del plan de vuelo – DJI Matrice 100.

ZONA I		
N°	Característica	Valor
1	Área cubierta	18.6 hectáreas
2	Total de imágenes	137
3	Altura de vuelo promedio	100 m
4	Resolución obtenida	2.45 cm/pixel
ZONA II		
N°	Característica	Valor
1	Área cubierta	15.3 hectáreas
2	Total de imágenes	102
3	Altura de vuelo promedio	98 m
4	Resolución obtenida	2.5 cm/pixel

La Tabla 2 muestra en detalle los parámetros más importantes que caracterizan el plan de vuelo programado en las Zonas III y IV donde se usó el UAV Marca DJI, modelo Phantom 3.



Tabla 2. Características del plan de vuelo- DJI Phantom 3 Professional.

ZONA III		
N°	Característica	Valor
1	Área cubierta	111.4 hectáreas
2	Total de imágenes	122
3	Altura de vuelo promedio	150 m
4	Resolución obtenida	10.22 cm/pixel
ZONA IV		
N°	Característica	Valor
1	Área cubierta	32.7 hectáreas
2	Total de imágenes	128
3	Altura de vuelo promedio	120 m
4	Resolución obtenida	5.11 cm/pixel

En la Figura 5 se observa el alineamiento del conjunto de fotografías obtenidas para una zona de estudio, a partir de las cual se obtendrá una nube densa de puntos, el Ortomosaico, el Modelo de Superficie Digital (DSM, por sus siglas en inglés) y el Modelo de Elevación Digital (DEM). Debido al objetivo del presente informe, no se consideró usar ningún punto de control en los levantamientos realizados en las zonas de estudio. Los valores para el traslape longitudinal y el traslape transversal en las fotografías aéreas se ajustó a 85%, de esta forma se obtiene un mejor detalle en el procesamiento de las imágenes utilizando herramientas informáticas de restitución fotogramétrica como el software Pix4D Mapper.

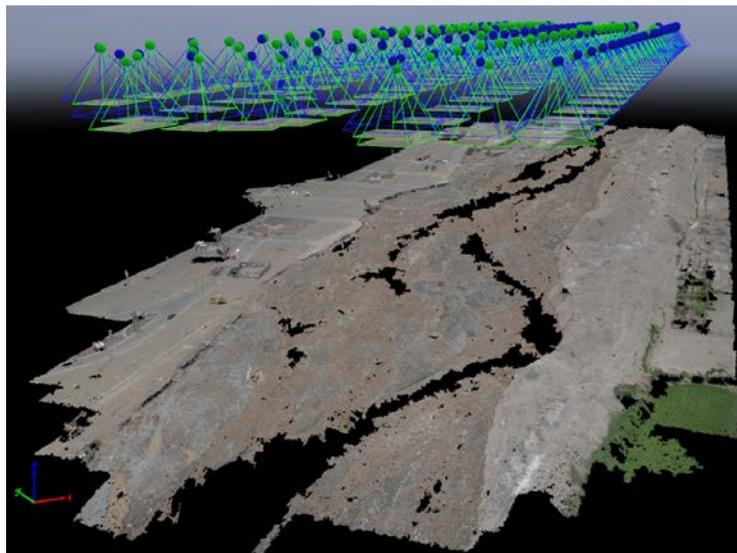


Figura 5. Visualización 3D del alineamiento de fotografías tomadas por el UAV en el software Pix4D Mapper.

El procesamiento de todas las imágenes obtenidas mediante la realización de los vuelos con UAVs descritos previamente, han dado como resultado los ortomosaicos de las cuatro zonas de estudio, que se presentan en el [Anexo I](#), los cuales serán empleados para el posterior diagnóstico del estado actual de las zonas afectadas por el desborde del río Chillón. La Figura 6 muestra el ortomosaico en la Zona I y la ubicación de las secciones transversales y longitudinales sobre el cauce del río Chillón.

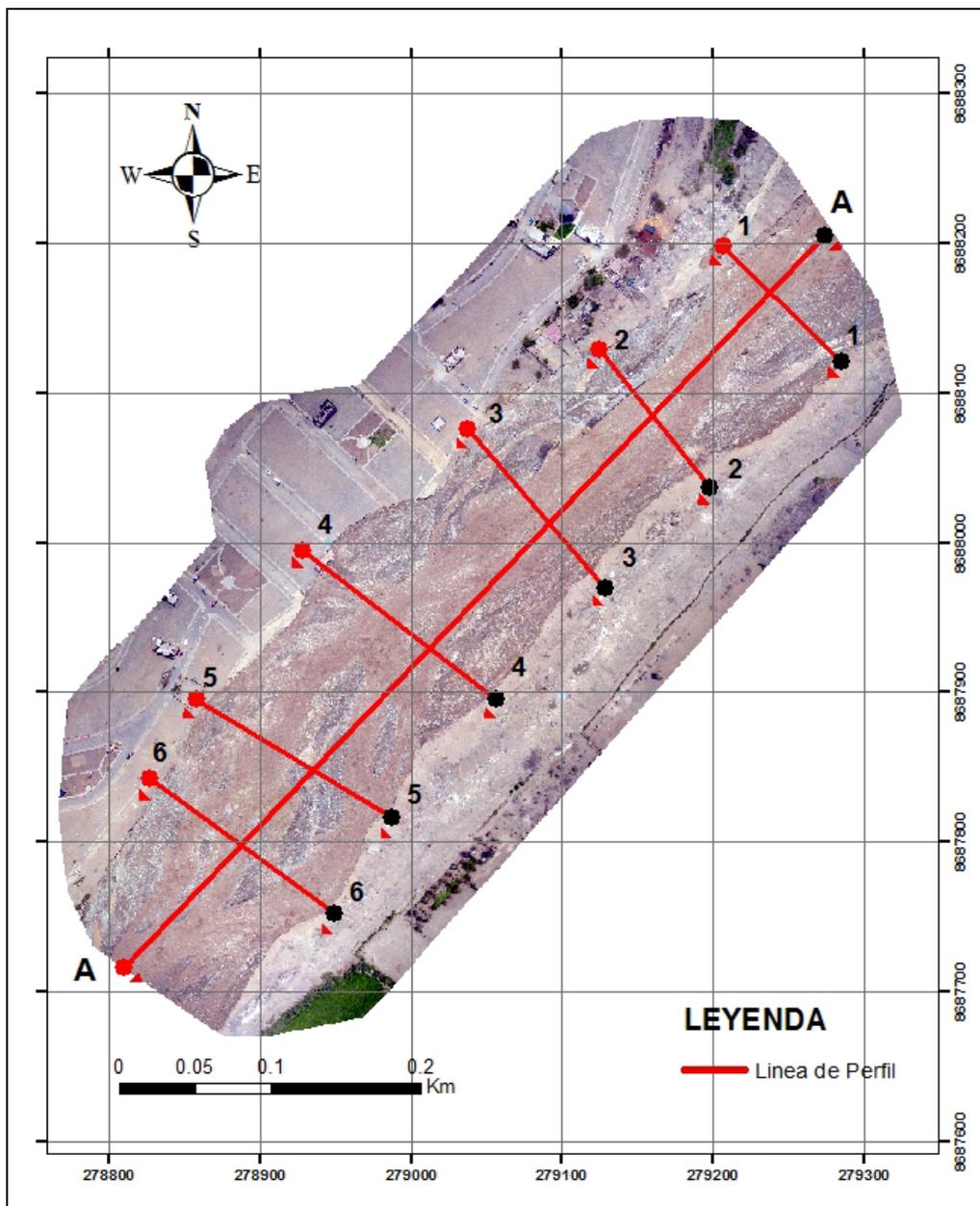


Figura 6. Ortomosaico de la Zona I: Urbanización La Rinconada y ubicación de las secciones transversales y longitudinales.



5.3. Metodología

5.4. Definiciones

Modelo de Elevación Digital o Digital Elevation Model (DEM)

Es una representación de la elevación de la superficie de la Tierra por encima de cierto dato (por ejemplo, nivel medio del mar) en forma digital. Esto se logra tomando mediciones de elevación en puntos regulares (por ejemplo, cada 50 metros) o irregulares (por ejemplo, cada 3 segundos de arco) sobre la superficie de la Tierra.

Modelo Digital de Superficie o Digital Surface Model (DSM)

Es un Modelo de Elevación Digital que representa la elevación de la superficie que se encontrará primero bajo un sistema de detección remota. De esta forma se puede entender que el DSM resultante incluye la elevación del terreno más los elementos naturales (por ejemplo, árboles, arbustos) y artificiales (por ejemplo edificaciones).

5.5. Análisis

A partir de las imágenes tomadas por el UAV se obtiene no sólo el ortomosaico sino también el DSM, que tras un proceso de filtrado y post procesamiento utilizando herramientas SIG puede ser convertido en un modelo de tierra desnudo o DEM. En la Figura 7 se muestra el DSM de la Zona I y en el [Anexo II](#) se muestran los DSM de todas las zonas evaluadas. Con el modelo DEM, finalmente se generarán las curvas de nivel cada 0.5 m que se muestran en la Figura 8 y en el [Anexo III](#) se muestran las curvas de nivel de todas las zonas evaluadas.

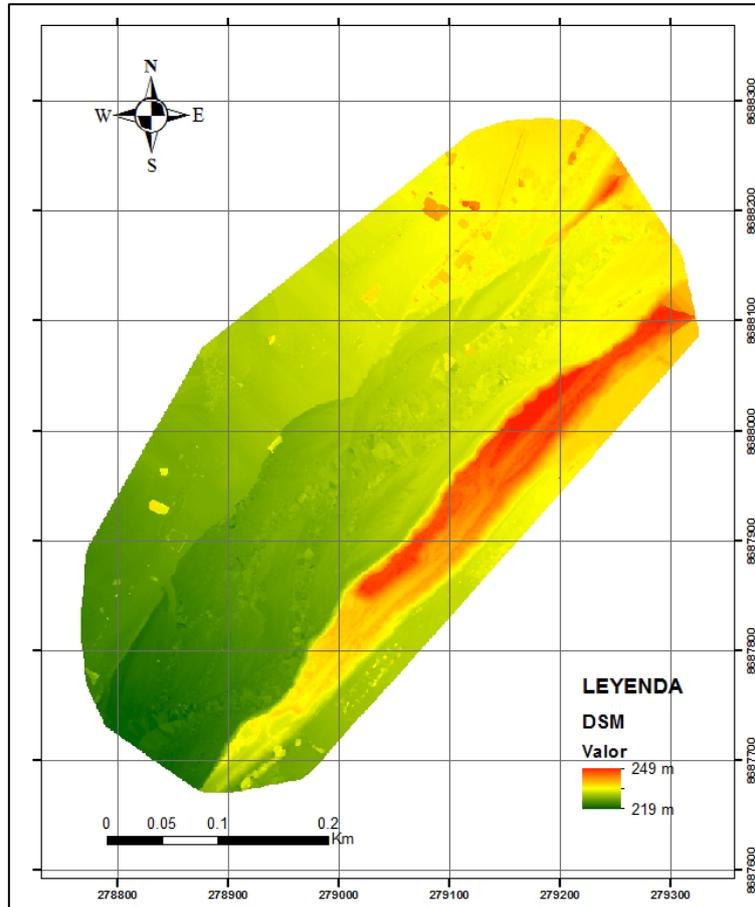


Figura 7. DSM de la Zona I: Urbanización La Rinconada.

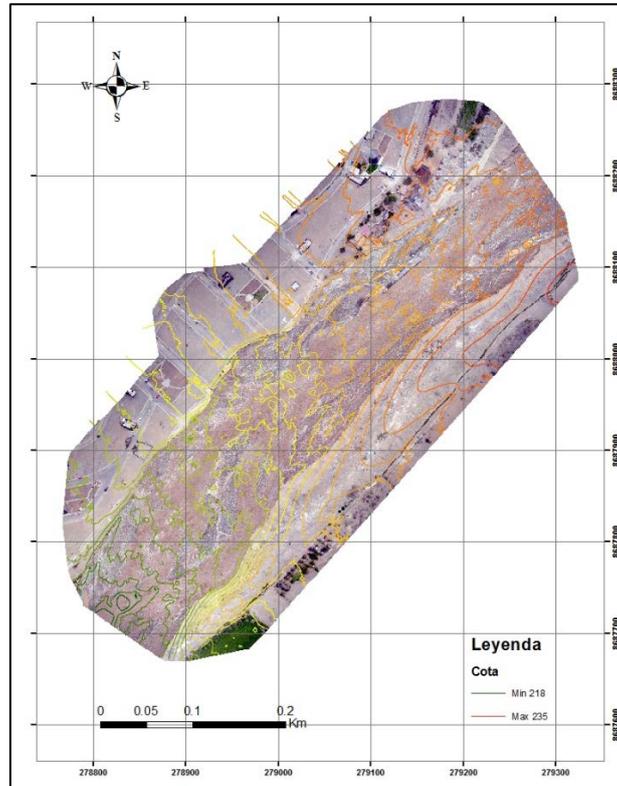


Figura 8. Curvas de Nivel generadas en ArcGIS con la herramienta Contour a partir del DEM de la Zona I: Urb. La Rinconada.

5.6. Perfiles Longitudinales y Secciones Transversales

A partir de los Modelos de Terreno Digital para cada zona de estudio, se ha obtenido un perfil longitudinal a lo largo del cauce del río Chillón además de 6 o 7 secciones transversales vistas en dirección aguas abajo, obtenidas a partir del DEM. La Figura 9 y Figura 10 muestran el perfil longitudinal y una sección transversal en la Zona I, respectivamente, mientras que en el [Anexo IV](#) se presentan todos los perfiles y secciones tomadas en las cuatro zonas. La ubicación de los cortes para el perfil longitudinal y sus respectivas secciones transversales se observan en los ortomosaicos presentados anteriormente en la Figura 4 y en el [Anexo I](#).

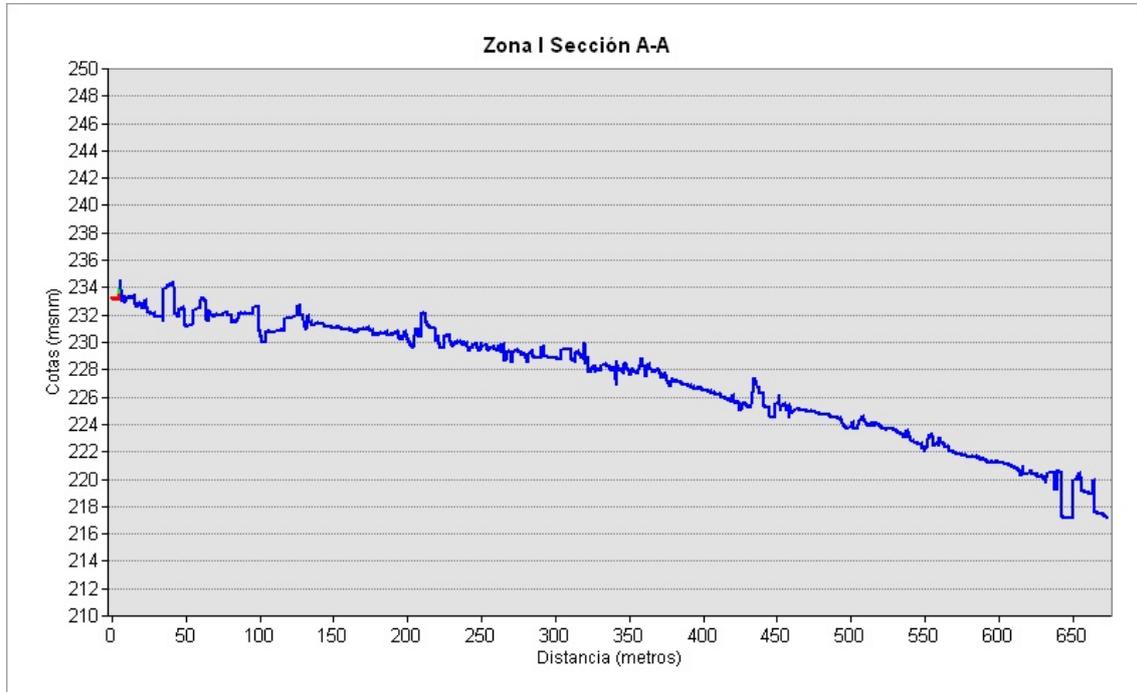


Figura 9. Perfil Longitudinal a lo largo del cauce del Río Chillón en la Zona I.

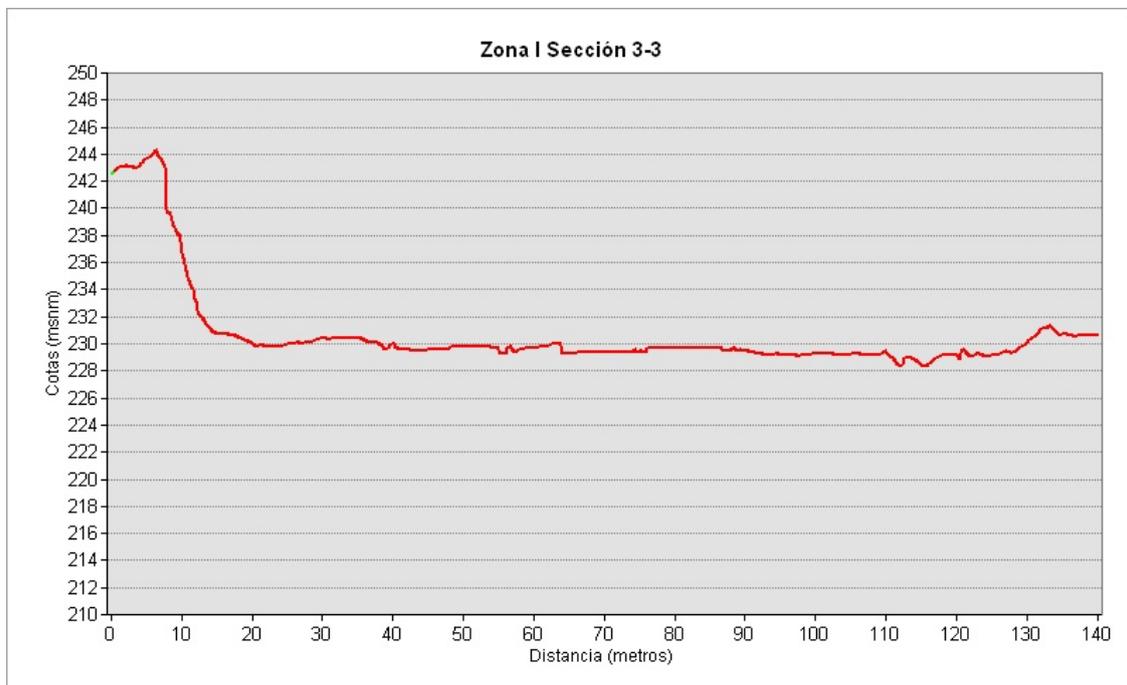


Figura 10. Sección Transversal 3-3 en la Zona I.



Se ha calculado la pendiente promedio del cauce del río para cada zona en base al análisis de los perfiles longitudinales (Tabla 3).

Tabla 3. Pendiente Promedio para cada tramo del río.

Perfil Longitudinal	Pendiente Promedio del Cauce
Zona I: Urb. La Rinconada	2.35%
Zona II: Puente San Martín	1.93%
Zona III: AA.HH. Fujimori Fujimori	2.06%
Zona IV: AA.HH. Los Gallinazos	3.55%

5.7. Comparación Multitemporal de Imágenes

Para la evaluación de las zonas afectadas por los desbordes del río Chillón, se realizó una comparación multitemporal de imágenes. La comparación se hace sobre poniendo los ortomosaicos generados a través del procesamiento de las fotografías tomadas con los UAVs, imágenes pos-evento, con las imágenes satelitales de catálogo que se pueden recopilar desde diferentes servicios Web, imagen pre-evento. A través de una inspección visual se han podido determinar claramente estas áreas de afectación en las márgenes del río Chillón, pudiéndose observar daños en zonas agrícolas y urbanas. Un ejemplo de esta comparación multitemporal se presenta la Figura 11, la Comparación multitemporal para las zonas evaluadas se presenta en el [Anexo V](#). Las imágenes de registro o catálogo aunque no presentan una fecha exacta de adquisición de todas maneras constituyen una muy fuente de información para este tipo de análisis.



Figura 11. Comparación multitemporal de imágenes para la ZONA I – Urbanización La Rinconada. Izquierda, imagen satelital de catálogo obtenida en la plataforma ESRI. Derecha, superposición del ortomosaico sobre la imagen satelital.

6. Evaluación Geológica y Geotécnica

6.1. Equipo Profesional

Ing. Jimmy Vásquez Navarro
Dr. Ing. Diana Calderón Cahuana

6.2. Sector P.E-1: Urbanización La Rinconada de Carabaylo.

En este sector el cauce del río es de unos 100m de ancho aproximadamente. En el margen izquierdo se tienen zonas de cultivo y asentamientos humanos, sobre la ladera de este margen se ha colocado un relleno de desmonte de 20m de altura aproximadamente, lo cual evita posibles desbordes del río. En el margen derecha se encuentra la Urb. La Rinconada, donde existen algunas viviendas construidas con material de albañilería (Figura 12). Esta urbanización ha sido habilitada recientemente, es por esa razón que hay pocas casas construidas y habitadas. La urbanización está localizada sobre una terraza fluvial, la cual está constituida por una grava arenosa (Figura 13).



El aumento del caudal el río Chillón originó la erosión de la ladera hacia la margen izquierda (Figura 14), y el desborde de sus aguas hacia su margen derecha, inundando y erosionando parte de la terraza fluvial (75m. de longitud aproximadamente) destruyendo calles, veredas, casas y postes de alumbrado público (Figura 15 y Figura 16).

Los peligros geológicos identificados en esta zona son:

- Margen derecho: Inundación y erosión fluvial
- Margen Izquierdo: Erosión de laderas y erosión fluvial



Figura 12. Ubicación del punto de Evaluación P.E-1, localizado en la Urb. La Rinconada.



Figura 13. Terraza fluvial del margen derecho del río Chillón. Material constituido de grava arenosa.



Figura 14. Ladera del margen izquierdo del río Chillón, constituido por material de relleno, de 20m aprox. En la figura puede observarse una polvareda generada por el deslizamiento de material de la ladera, el cual es originado por la fuerza del agua de río que erosiona del pie de la ladera (erosión fluvial).



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

Facultad de Ingeniería Civil
Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas
y Mitigación de Desastres
Instituto para la Mitigación de los Efectos del
Fenómeno El Niño



Figura 15. Margen derecha del río Chillón, el cual ha sido inundada y erosionada por las aguas del río.



Figura 16. Vivienda de 2 pisos colapsada por la erosión de la terraza sobre la cual estaba construida.



6.3. Sector P.E-2: Puente San Martín

En el punto de evaluación P.E-2 se ubica el puente vehicular San Martín, de dos vías y de 120m de longitud aproximadamente (Figura 17). Desde este lugar se tiene una vista panorámica del cauce del río Chillón (Figura 18). El aumento de caudal del río no ha afectado la estructura del puente.

Cercano al puente, en dirección aguas arriba, las márgenes del río se encuentran protegidas por un enrocado, el cual ha sufrido daños debido al incremento del caudal del río Chillón. En la margen derecha un tramo del enrocado ha sido removido (Figura 19) y hacia la margen izquierda el enrocado ha sido erosionado, dejando expuesto el geotextil colocado por debajo de este (Figura 20 y Figura 21).



Figura 17. Ubicación del punto de evaluación P.E-2 localizado sobre el Puente San Martín.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

Facultad de Ingeniería Civil
Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas
y Mitigación de Desastres
Instituto para la Mitigación de los Efectos del
Fenómeno El Niño



Figura 18. Vista panorámica del cauce del río en dirección aguas arriba.



Figura 19. Ladera derecha del río Chillón protegida con un enrocado. Se puede observar que parte del enrocado ha sido removido dejándolo inestable y expuesto a la erosión fluvial.



Figura 20. Ladera izquierda del río Chillón protegida por un enrocado.



Figura 21. Ladera izquierda del río Chillón, cuya parte lateral del enrocado está siendo erosionado.



6.4. Sector P.E-3: A.H. Fujimori Fujimori

El A.H. Fujimori Fujimori se localiza en la margen izquierda del río Chillón, sobre un material de relleno de desmonte y basura. (Figura 22).

El aumento del caudal del río Chillón ha ocasionado la erosión de la ladera, trayendo como consecuencia el colapso de viviendas, en su mayoría de madera, construidas en la parte superior (Figura 23). Por lo observado en la zona, el río ha ampliado su cauce en unos 30m de longitud hacia la margen izquierda. En la zona aún se pueden observar algunas grietas en el suelo, lo que evidencia su inestabilidad (Figura 24); los pobladores han colocado sacos con arena al pie de la ladera para evitar su erosión por parte de las aguas del río (Figura 23).

El peligro geológico en este sector es de erosión fluvial y erosión de ladera.

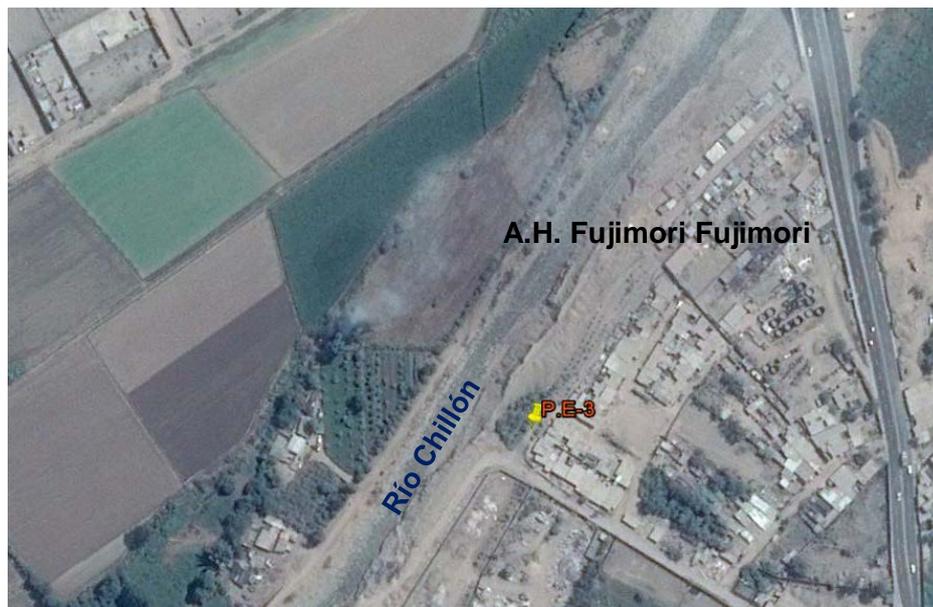


Figura 22. Punto de evaluación P.E-3 localizado en el A.H. Fujimori Fujimori, a la margen izquierda del río Chillón.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

Facultad de Ingeniería Civil
Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas
y Mitigación de Desastres
Instituto para la Mitigación de los Efectos del
Fenómeno El Niño



Figura 23. A.H. Fujimori Fujimori ubicado en la margen izquierda del río Chillón y cuyo suelo es un material de relleno. En la parte inferior de la ladera se observan costales con arena colocados por los pobladores para evitar la erosión de la ladera.



Figura 24. Grieta en el suelo, lo que evidencia la inestabilidad de la ladera.



6.5. Sector P.E-4: Urb. Los Álamos

Este sector está ubicado en la margen derecha del río Chillón, aquí se ubica la urbanización Los Álamos. Esta urbanización ha sido habilitada recientemente, por tal motivo aún hay pocas edificaciones construidas. Al lado de esta urbanización se tienen zonas de cultivo (Figura 25).

La urbanización está localizada sobre una plataforma fluvial, la cual está constituida de suelo limoso y una grava arenosa (Figura 26). El río en este sector se ha desbordado por el aumento de su caudal, inundando y erosionando la plataforma fluvial (Figura 27 Figura 28). La longitud erosionada es de 40m aproximadamente. Esta erosión ha destruido veredas, parques y zonas de cultivo; no se tiene viviendas afectadas.

El peligro geológico en esta zona es de inundación y erosión fluvial.



Figura 25. Ubicación del punto de evaluación P.E-4, localizado en la margen derecha del río Chillón, en la Urbanización Los Álamos.



Figura 26. Terraza fluvial de la margen derecha del río Chillón. La clasificación del suelo es: Limo con un poco de arcilla, de color marrón, con nula plasticidad, consistencia blanda, humedad baja, presencia de raíces (prof.: 0.00-0.20m) y Grava arenosa, con partículas de forma redondeada y sub-redondeada, color gris clara, de baja compactación, humedad baja (prof.: 0.20-1.00m).



Figura 27. Margen derecha del río Chillón erosionado.



Figura 28. Parques y veredas de la urbanización Los Álamos, afectadas por la inundación del río.

6.1. Sector P.E-5: A.H. Los Gallinazos

Este sector corresponde al límite entre los distritos de Comas y Puente Piedra, donde se ubica el A.H. Los Gallinazos (Figura 29).

En la zona se tiene un puente peatonal, el cual tiene tres pilares de concreto y 1 de madera. Por efecto del aumento del caudal y el arrastre de material de considerables dimensiones, uno de los pilares de concreto se encuentra fuertemente afectado e inestable (Figura 30). En la margen izquierda el suelo está compuesto por un relleno constituido de desmonte y basura, sobre el cual se tienen viviendas construidas de madera. Por el aumento del caudal del río, la ladera de dicha margen ha sido erosionada ocasionando el colapso de varias viviendas y dejando otras inhabitables (Figura 31).

Aguas abajo respecto al puente peatonal, la ladera de la margen izquierda se encuentra protegida por una geomembrana y gaviones (20m. de longitud) de unos 3m aprox. de altura (Figura 32).

La margen derecha aguas arriba respecto al puente peatonal, se tienen zonas de cultivos los cuales muestran evidencia de haber sido inundados. El sector cercano



al puente, la ladera, se encuentra protegida por una geomembrana y gaviones (30m. de longitud) de unos 3m aprox. de altura (Figura 33).

En este sector los peligros geológicos son:

- Margen derecho: Inundaciones y erosión fluvial.
- Margen izquierdo: Erosión de laderas, erosión fluvial e inundaciones.



Figura 29. Ubicación del punto de evaluación P.E-5 localizado en la margen derecha del río Chillón, A.H. Los Gallinazos.



Figura 30. Puente peatonal en el A.H. Los Gallinazos. Se observa un pilar de concreto inestable y un soporte de madera.



Figura 31. Viviendas colapsadas e inhabitables debido a la erosión de la ladera de la margen izquierda del río Chillón en el P.E-5.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

Facultad de Ingeniería Civil
Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas
y Mitigación de Desastres
Instituto para la Mitigación de los Efectos del
Fenómeno El Niño



Figura 32. Ladera de la margen izquierda del río Chillón protegida por una geomembrana y gaviones.



Figura 33. Ladera de la margen derecha del río Chillón, protegida con geomembrana y gaviones.



7. Evaluación Hidráulica

7.1. Equipo Profesional

Ing. Roger Hidalgo García

Ing. Edwin Trebejo Ortiz

Bach. Ing. Diego Cornejo Tejada

7.2. Evaluación

En todos los sectores visitados, desde el punto de vista hidráulico, los problemas encontrados, en general, son los mismos e incluso se han estado presentando en otras cuencas del territorio nacional afectados también por las crecidas de caudales. Entre los principales problemas que se presentan en el cauce del río Chillón y que van sumando a que se incremente los daños por las avenidas, se pueden describir:

- Invasión y pérdida de las llanuras de inundación del río por el progresivo arrojamiento de desmonte y relleno en áreas y volúmenes importantes, observándose su presencia en todos los tramos visitados. Esto ha generado la reducción y estrechamiento del río solo a su cauce principal y reduciendo la capacidad hidráulica.
- Las habilitaciones urbanas que invaden las márgenes y el cauce del río. Las áreas han sido lotizadas sin tomar en cuenta los estudios hidrológicos e hidráulicos, afectando al río con la reducción de la capacidad hidráulica.
- Invasión de asentamientos humanos sobre las áreas de desmonte y relleno, que tiene alto riesgo de erosión por la composición del material suelto que presentan.
- Transporte y deposición del material de arrastre producto de las crecidas del río y los aportes de las quebradas que se activan en forma de huaycos, con la consiguiente reducción del área hidráulica del curso principal y esta recupere el área de la llanura de inundación que le pertenece.

Como consecuencia del incremento de los caudales y la alteración de la capacidad hidráulica del río a niveles muy inferiores y críticos, los principales efectos y daños se describen:

- Erosión de las márgenes de ríos, que busca recuperar el terreno perdido de su llanura de inundación. Como consecuencia de ello, se genera la destrucción de tierras de cultivo, destrucción de instalaciones de los servicios básicos, destrucción de pistas y veredas, destrucción de viviendas, entre otros.
- Socavación de apoyos de puente peatonal sector Los Gallinazos, lo que ha producido el asentamiento y falla del apoyo central.



- Desbordes que han obligado a los pobladores afectados, a recurrir a defensas ribereñas de urgencia temporales con sacos de arena o acumulación del material de lecho, los mismos que pueden ser destruidos ante la ocurrencia de nuevas avenidas.
- Aislamiento de obras de encauce aguas arriba del puente vehicular La Rinconada con riesgos de destrucción del enrocado en el extremo inicial de ambos márgenes, los cuales debe ser adecuado o modificado en su totalidad a las nuevas condiciones topográficas generadas por la erosión del río en la proximidad del puente.

Teniendo en cuenta la magnitud de daños presentados y para cuya reconstrucción corresponderán profundizar con los estudios respectivos a nivel multidisciplinario, desde la parte hidráulica y a un nivel preliminar se puede plantear algunas soluciones que serán definidos en el estudio integral respectivo de la especialidad.

- Como medida de emergencia inmediata ante la ocurrencia de nuevas crecidas, evacuar a las poblaciones fuera de las franjas marginales del río, con el fin de recuperar los anchos mínimos del río. Complementar con defensas ribereñas temporales con adecuada fundación que minimicen los daños hasta el término del presente periodo de lluvias, los cuales serán reemplazados con la solución definitiva.
- Estudio integral de la cuenca.
- Estudio hidráulico, considerando el monitoreo del perfil y secciones hidráulicas y estudio de transporte de sedimentos y material de arrastre.
- Diseñar estructuras que atiendan los requerimientos hidráulicos contra los efectos de socavación y erosión, de igual forma para las obras de protección.

Sector P.E-1: Urb. La Rinconada



Figura 34. Recuperación natural de cauce del río, vista hacia aguas arriba.



Figura 35. Vista hacia aguas abajo de la erosión de la margen derecha del río Chillón. La diferencia de nivel del fondo de río y el terreno adyacente es en promedio 1.4 m.

Sector P.E-2: Puente San Martín



Figura 36. Vista aguas arriba del puente La Rinconada, es viajada con respecto a flujo en un ángulo estimado de 45°. Los enrocados de encauzamiento han sido construidos alineándose al terreno existente antes de la ocurrencia de las avenidas.



Figura 37. Vista aguas arriba del puente La Rinconada. Cambio de las características del cauce, el material de relleno han sido erosionados y los empotramientos del encauzamiento quedaron descubiertos con riesgos a destrucción de los enrocados.



Figura 38. Ampliación del extremo de empotramiento del enrocado de la margen izquierda. Con la pérdida del material de relleno, la defensa expone su sección transversal y parte del geotextil.

Sector P.E-3: A.H. Fujimori Fujimori



Figura 39. Vista aguas arriba. El río ha erosionado el material de relleno de la margen izquierda, sobre las cuales se han asentado varias viviendas que han sido destruidas. La protección temporal con sacos de arena no garantiza el progresivo avance del río de presentarse nuevas avenidas.



Figura 40. Margen derecha de río con alto riesgo de desborde. El río ha recuperado su cauce en la proximidad del área urbanizada, destruyendo terrenos agrícolas. La diferencia del nivel de fondo con respecto al terreno en algunos tramos es inferior a 1 m.

Sector P.E-4: Urb. Los Álamos



Figura 41. Vista aguas arriba. La protección con acumulación de material propio de lecho de río, corre el riesgo de nuevamente ser transportado por el paso de nuevas avenidas.



Figura 42. Otra vista de la margen derecha de río, con las protecciones con material de lecho, parte de la urbanización que ha ocupado el cauce ha sido destruida.

Sector P.E-5: A.H. Los Gallinazos



Figura 43. Similar características de problemas encontrados en las zonas urbanas visitadas. Reducción del ancho de río por acumulación de rellenos y con construcciones sobre estas, sin las mínimas condiciones hidráulicas. Vista aguas arriba.



Figura 44. Falla por socavación del apoyo central del puente peatonal. En este tramo el río ha sido estrechado a un ancho aproximado de 40 m, incrementando las velocidades erosivas.



Figura 45. Vista hacia aguas abajo del río. Por evitar la reubicación de las casas, las dimensiones de las secciones de las protecciones de gaviones reducen aún más el ancho del río.



8. Conclusiones

Un equipo de profesionales del CISMID e IMEFEN, de las especialidades de geomática, geología, geotecnia e hidráulica, realizaron una visita técnica en los tramos del río Chillón más afectados. La evaluación técnica permitió establecer las siguientes conclusiones:

- Se realizaron vuelos de reconocimiento usando vehículos aéreos no tripulados (UAV) sobre áreas afectadas por los desbordes del río Chillón, en los distritos de Carabaylo y Puente Piedra.
- Se obtuvieron varios productos a través del procesamiento de las imágenes, tales como: ortomosaicos, modelos digitales de superficie, modelos de elevación digital y curvas de nivel. Adicionalmente se pudieron extraer perfiles longitudinales a lo largo del cauce del río y secciones transversales, las cuales muestran en detalle las características topográficas de las zonas evaluadas. Tanto en las secciones transversales como en las longitudinales las cotas que se muestran toman en consideración la superficie del agua.
- A través de la superposición de las imágenes adquiridas sobre imágenes satelitales se pudo identificar claramente las áreas afectadas en las zonas de evaluación.
- Las urbanizaciones afectadas se encuentran sobre terrazas fluviales conformadas por grava sub-redondeada con arena y limo de baja compacidad, mientras que los asentamientos humanos se encuentran sobre depósitos de rellenos.
- Los peligros geológicos identificados en las zonas son de inundación, erosión fluvial, y erosión de laderas.
- En todos los sectores visitados, desde el punto de vista hidráulico, los problemas encontrados son los mismos en general y que incluso se han estado presentando en otras cuencas del territorio nacional afectados también por las crecidas de caudales.
- Entre los principales problemas que se presentan en el cauce del río y que van sumando a que se incremente los daños por las avenidas, se tiene la pérdida de las llanuras de inundación del río por el progresivo arrojamiento de desmonte y relleno en áreas y volúmenes importantes, observándose su presencia en todos los tramos visitados.
- Otro problema es la invasión de las habilitaciones urbanas en los márgenes y cauce del río, reduciendo su capacidad hidráulica. Así como, la invasión de asentamientos humanos sobre las áreas de desmonte y relleno, que tienen alto riesgo de erosión por la composición del material suelto que presentan.
- También existe el problema del transporte y deposición del material de arrastre producto de las crecidas del río y los aportes de las quebradas que se activan en forma de huaycos, con la consiguiente reducción del área



hidráulica del curso principal y esta recupere el área de la llanura de inundación que le pertenece.

Como consecuencia del incremento de los caudales y la alteración de la capacidad hidráulica del río a niveles muy inferiores y críticos, los principales efectos y daños se describen:

- Erosión de las márgenes de ríos, que busca recuperar el terreno perdido de su llanura de inundación. Como consecuencia de ello, se genera la destrucción de tierras de cultivo, destrucción de instalaciones de los servicios básicos, destrucción de pistas y veredas, destrucción de viviendas, entre otros.
- Socavación de apoyos de puente peatonal sector Los Gallinazos, lo que ha producido el asentamiento y falla del apoyo central.
- Desbordes que han obligado a los pobladores afectados, a recurrir a defensas ribereñas de urgencia temporales con sacos de arena o acumulación del material de lecho, los mismos que pueden ser destruidos ante la ocurrencia de nuevas avenidas.
- Aislamiento de obras de encauce aguas arriba del puente vehicular La Rinconada con riesgos de destrucción del enrocado en el extremo inicial de ambas márgenes, los cuales debe ser adecuado o modificado en su totalidad a las nuevas condiciones topográficas generadas por la erosión del río en la proximidad del puente.

Teniendo en cuenta la magnitud de daños presentados y para cuya reconstrucción corresponderán profundizar con los estudios respectivos a nivel multidisciplinario, desde la parte hidráulica y a un nivel preliminar se puede plantear algunas soluciones que serán definidos en el estudio integral respectivo de la especialidad.

- Como medida de emergencia inmediata ante la ocurrencia de nuevas crecidas, evacuar a las poblaciones fuera de las franjas marginales del río, con el fin de recuperar los anchos mínimos del río. Complementar con defensas ribereñas temporales con adecuada fundación que minimicen los daños hasta el término del presente periodo de lluvias, los cuales serán reemplazados con la solución definitiva.
- Estudio integral de la cuenca.
- Estudio hidráulico, considerando el monitoreo del perfil y secciones hidráulicas y estudio de transporte de sedimentos y material de arrastre.
- Diseñar estructuras que atiendan los requerimientos hidráulicos contra los efectos de socavación y erosión, de igual forma para las obras de protección.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

**Facultad de Ingeniería Civil
Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas
y Mitigación de Desastres
Instituto para la Mitigación de los Efectos del
Fenómeno El Niño**



ANEXOS

ANEXO – I

ORTOMOSAICOS Y UBICACIÓN DE LAS SECCIONES TRANSVERSALES Y
PERFILES LONGITUDINALES

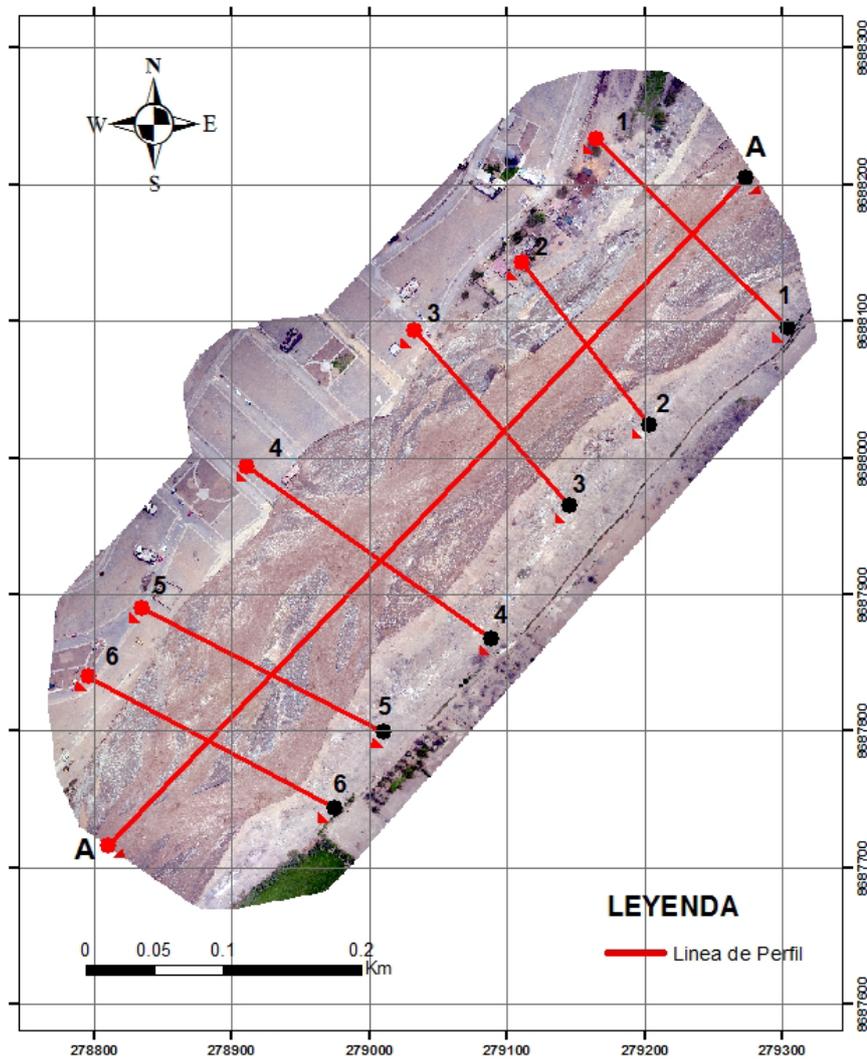


Figura 1. Ortomosaico de la Zona I: Urbanización La Rinconada, y ubicación de las secciones transversales y longitudinales

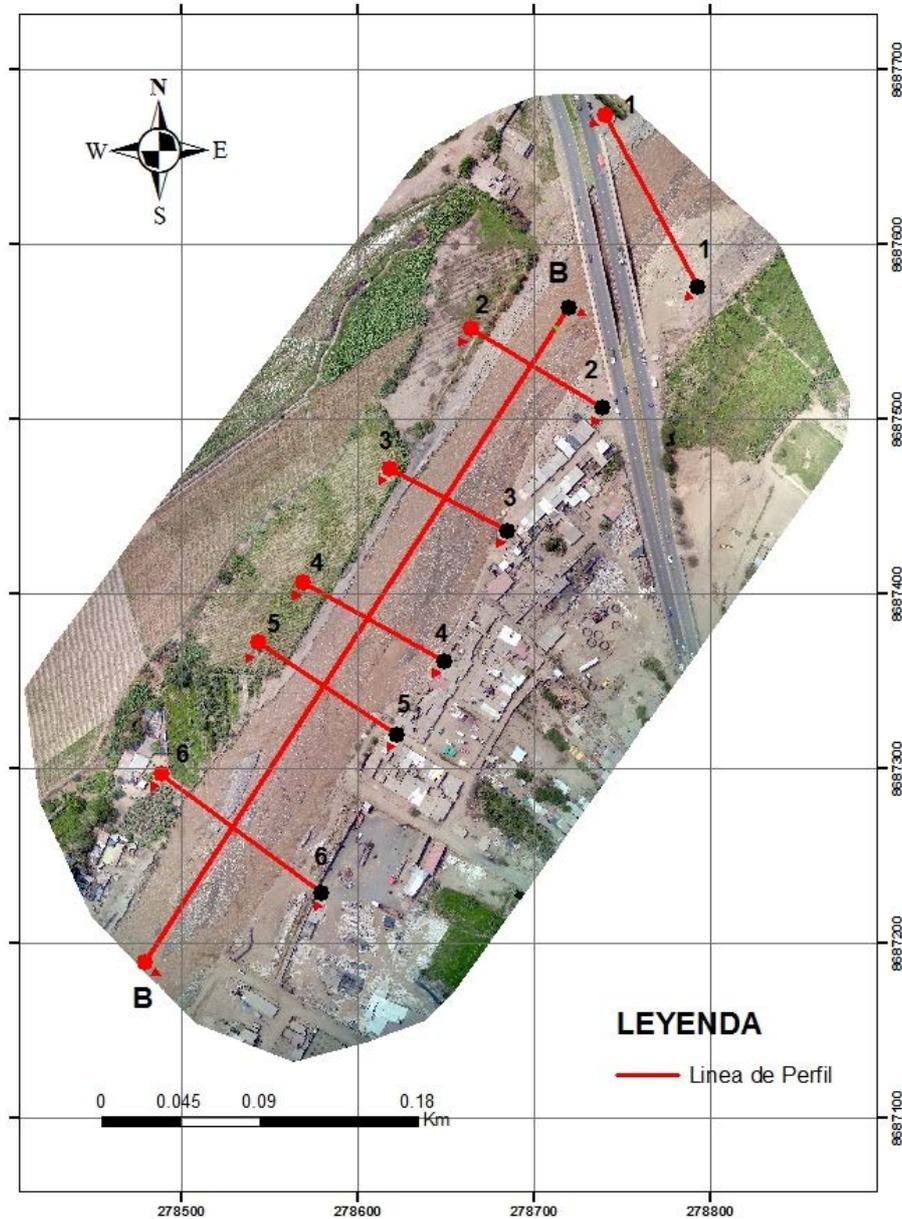


Figura 2. Ortomosaico de la Zona II: Puente San Martín, y ubicación de las secciones transversales y longitudinales

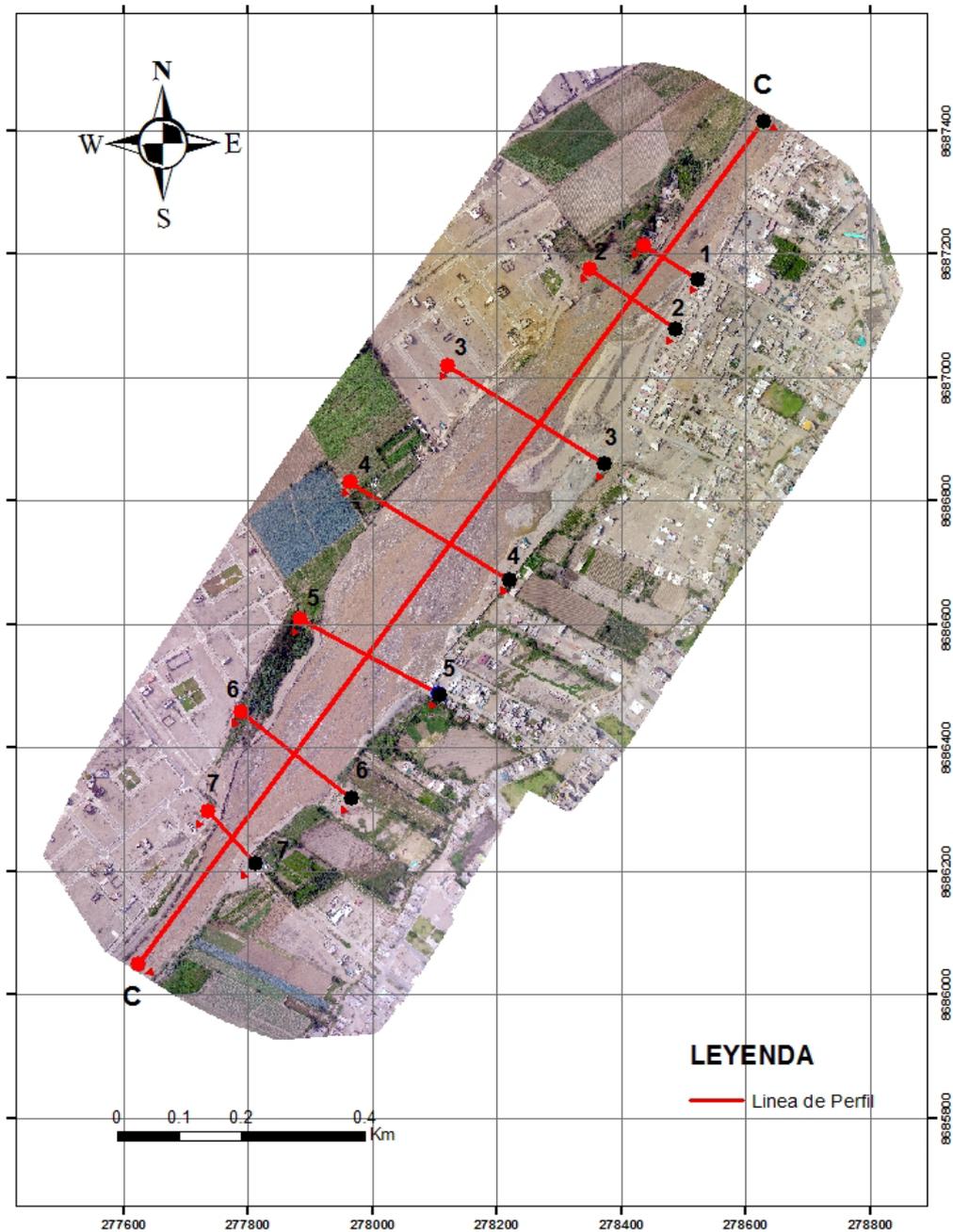


Figura 3. Ortomosaico de la Zona III: AA.HH. Fujimori Fujimori y Urb. Los Álamos, y ubicación de las secciones transversales y longitudinales

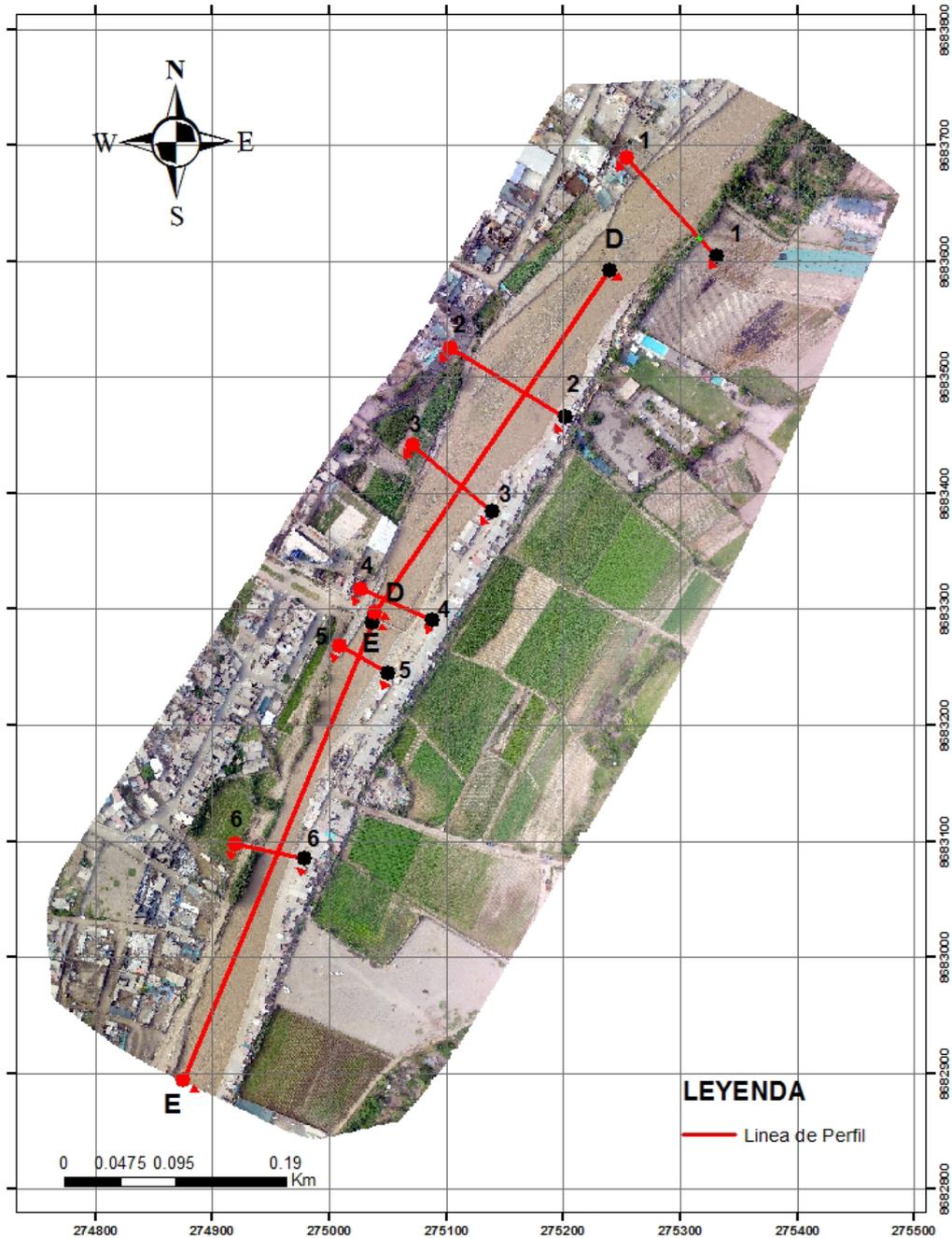


Figura 4. Ortomosaico de la Zona IV: AA.HH. Los Gallinazos, y ubicación de las secciones transversales y longitudinales



ANEXO II
MODELOS DIGITALES DE SUPERFICIE (DSM)

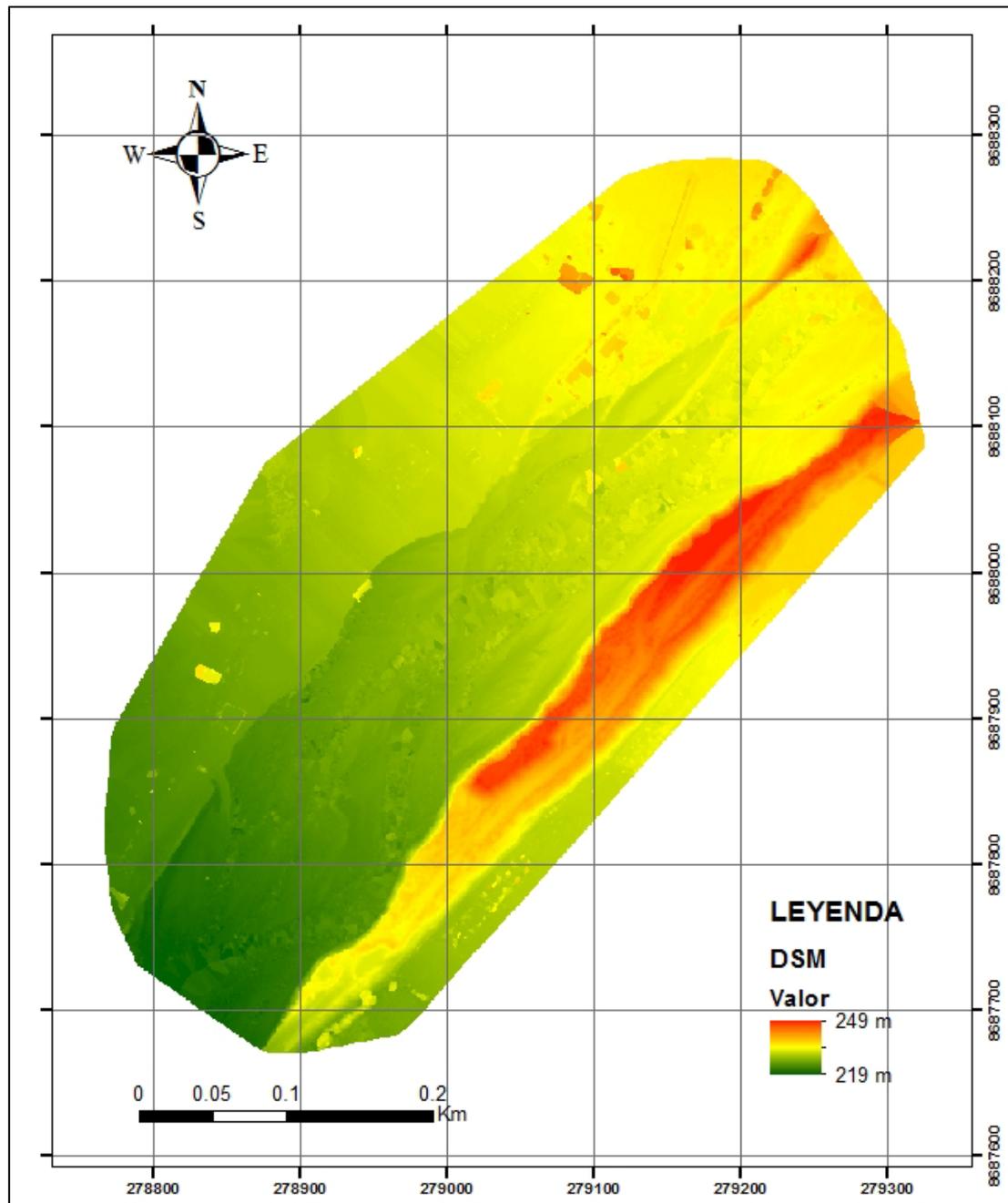


Figura 1. DSM de la Zona I: Urbanización La Rinconada.

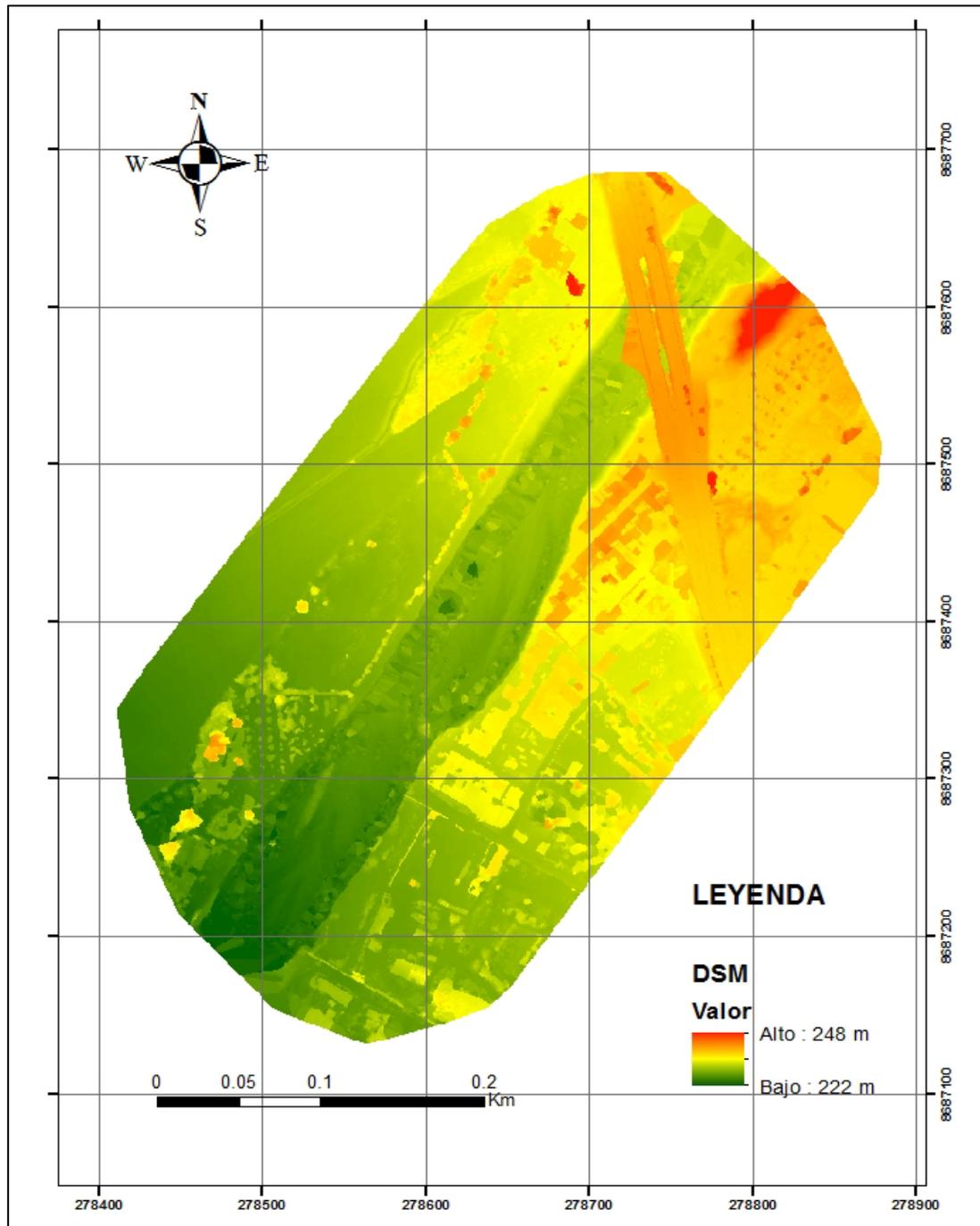


Figura 2. DSM de la Zona II: Puente San Martín.

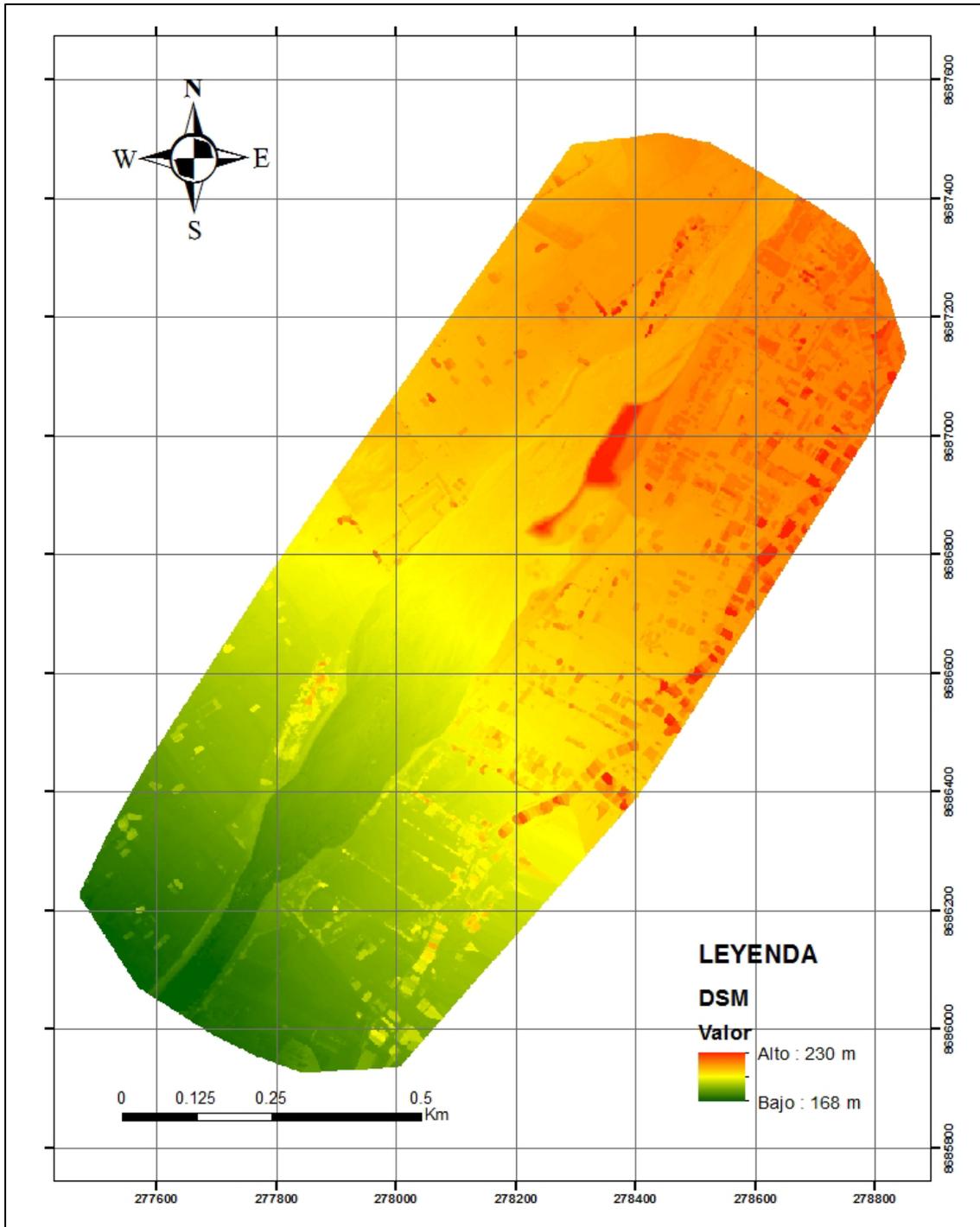


Figura 3. DSM de la Zona III: Asentamiento Humano Fujimori Fujimori y Urb. Los Álamos.

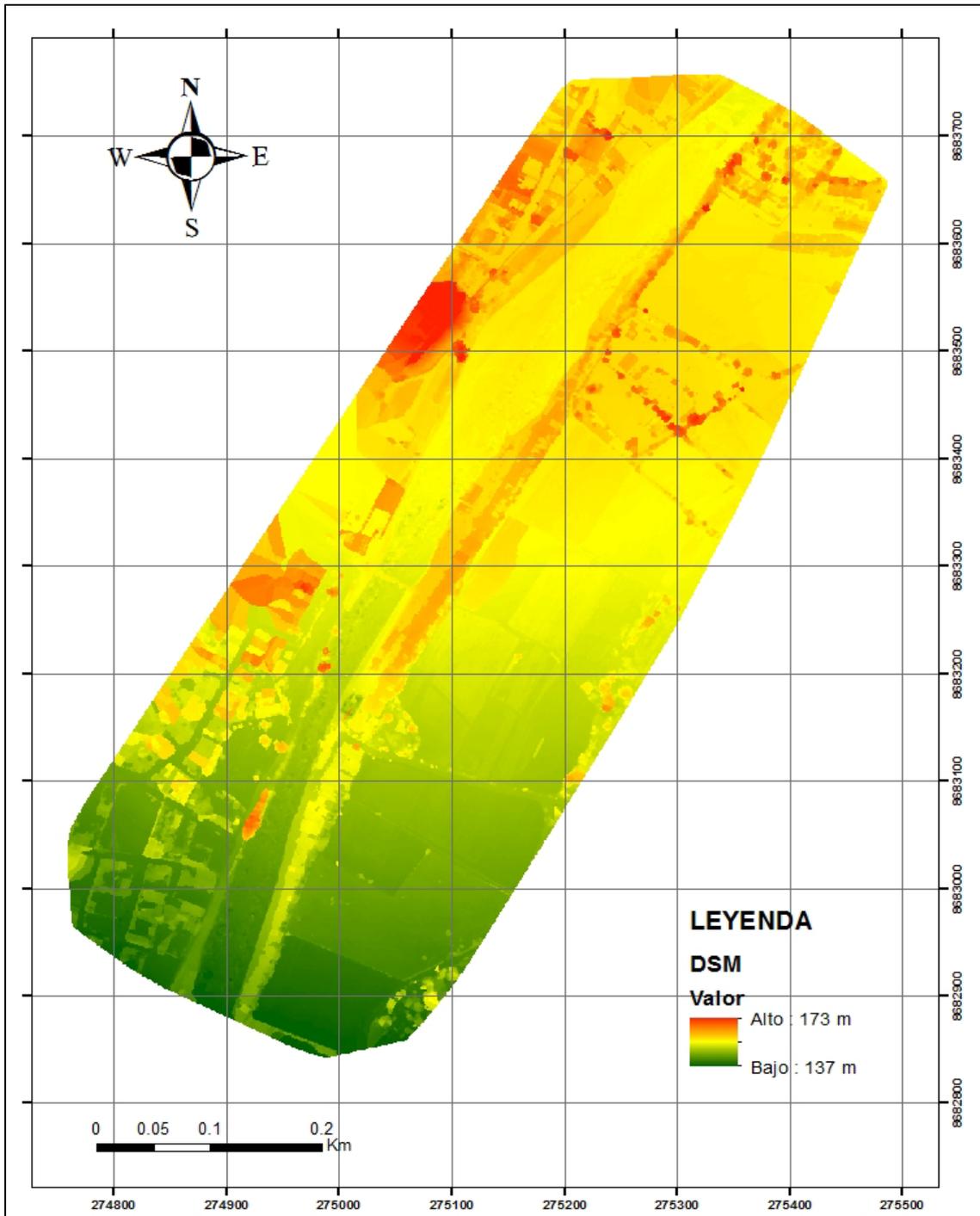


Figura 4. DSM de la Zona IV: Asentamiento Humano Los Gallinazos.



ANEXO III
CURVAS DE NIVEL

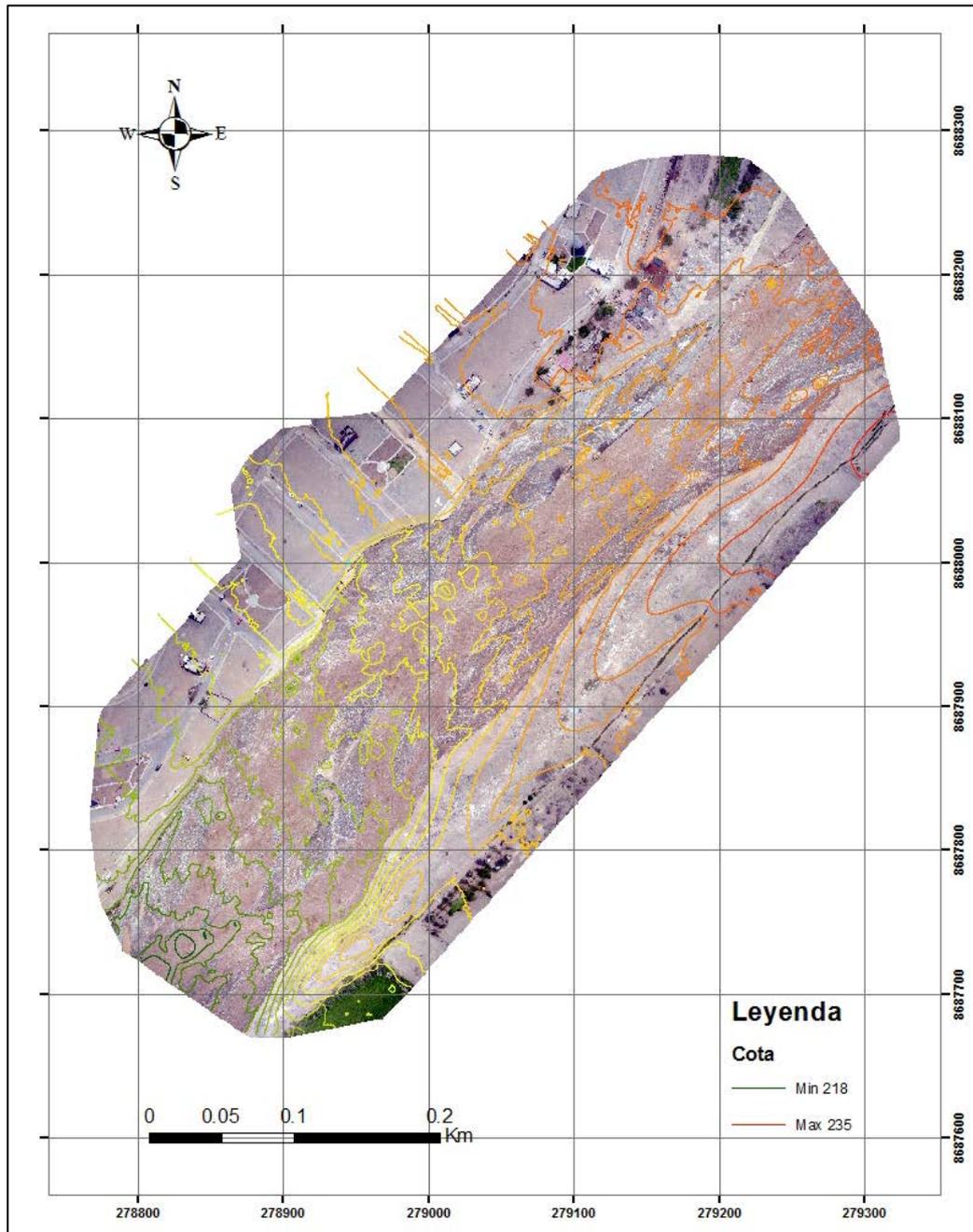


Figura 1. Curvas de Nivel generadas en ArcGIS a partir del DEM de la Zona I: Urb. La Rinconada.

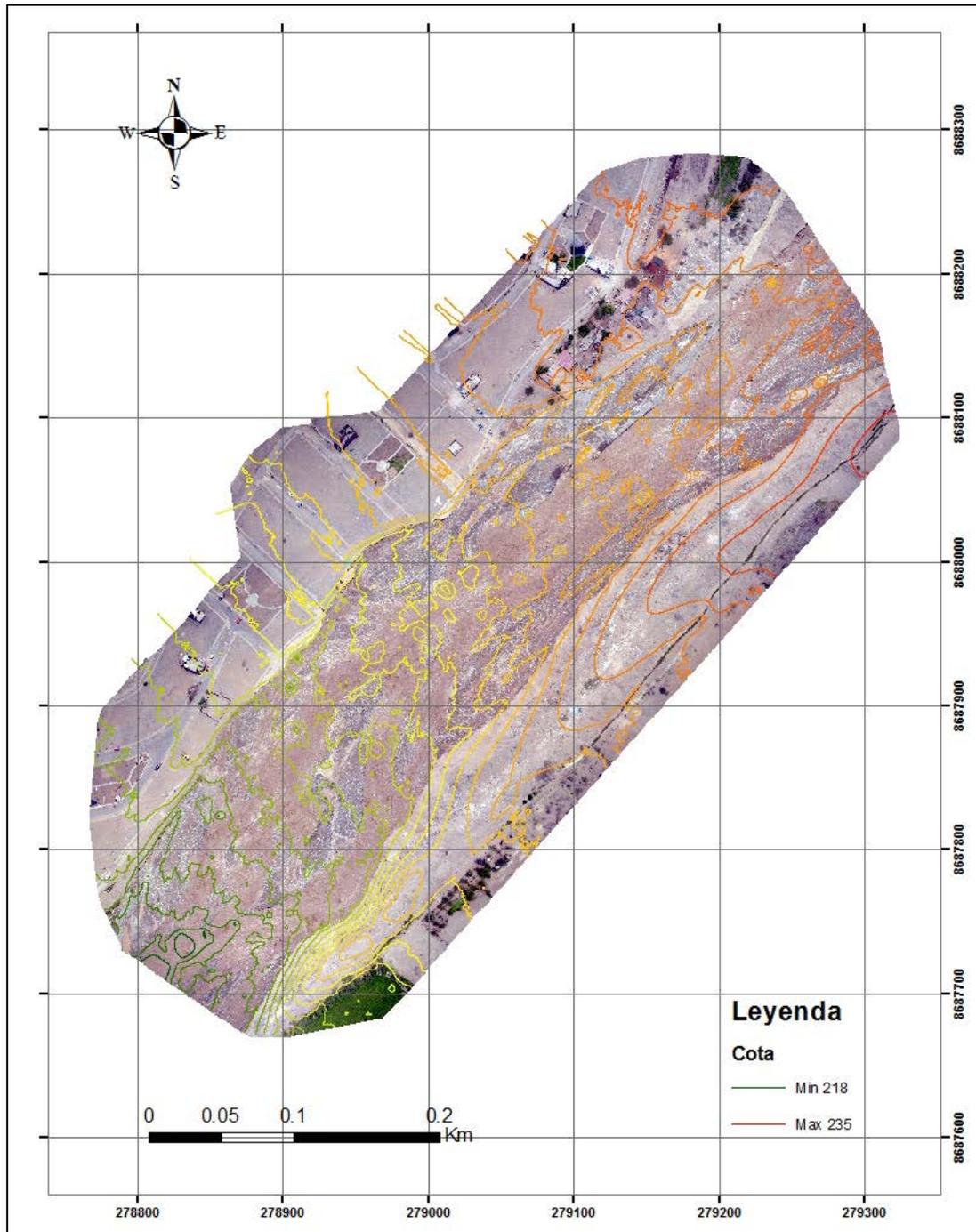


Figura 2. Curvas de Nivel generadas en ArcGIS a partir del DEM de la Zona II: Puente San Martín.

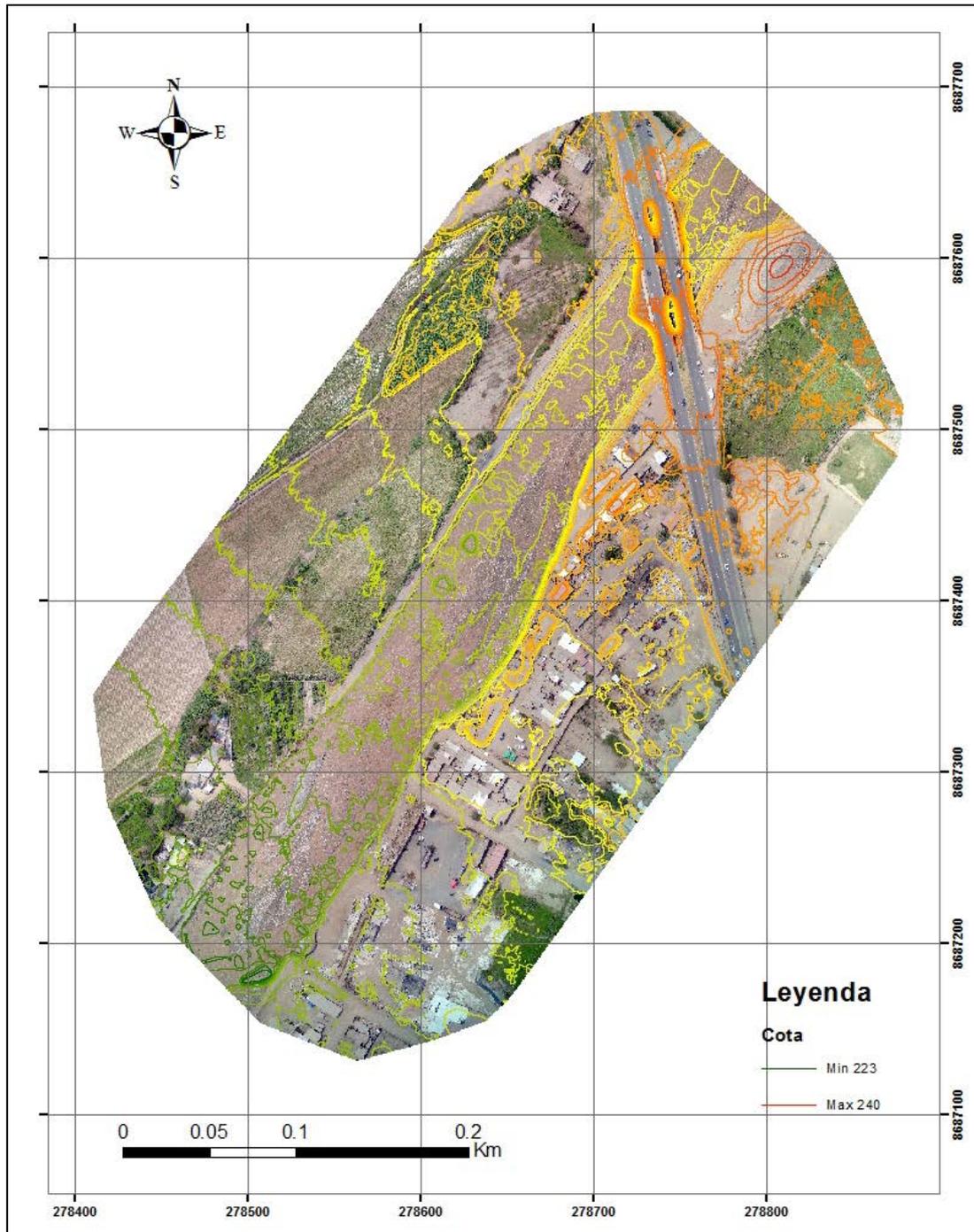


Figura 3. Curvas de Nivel generadas en ArcGIS a partir del DEM de la Zona III: Asentamiento Humano Fujimori Fujimori y Urb. Los Álamos.

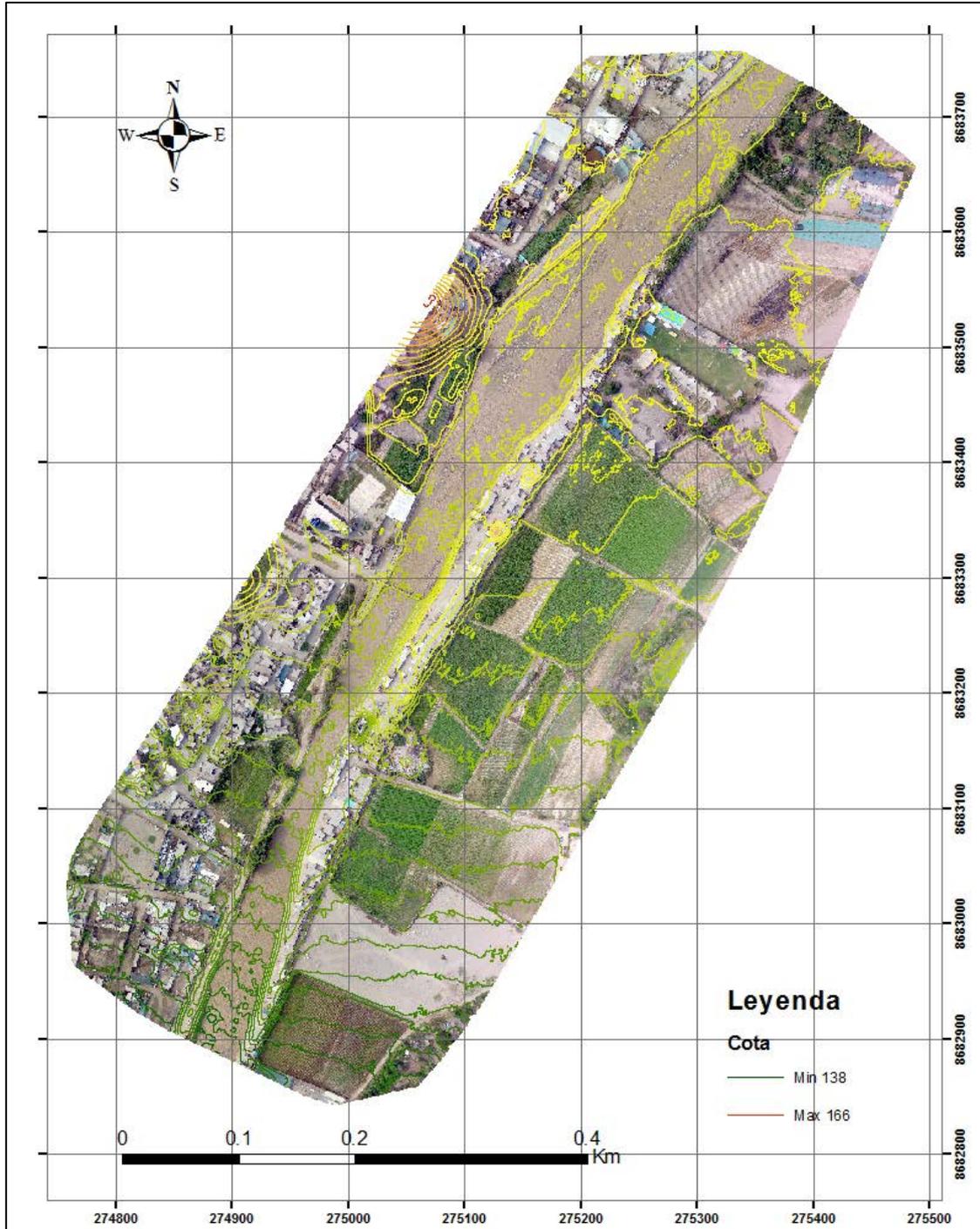


Figura 4. Curvas de Nivel generadas en ArcGIS a partir del DEM de la Zona IV: Asentamiento Humano Los Gallinazos.



ANEXO IV
PERFILES LONGITUDINALES Y SECCIONES TRANSVERSALES

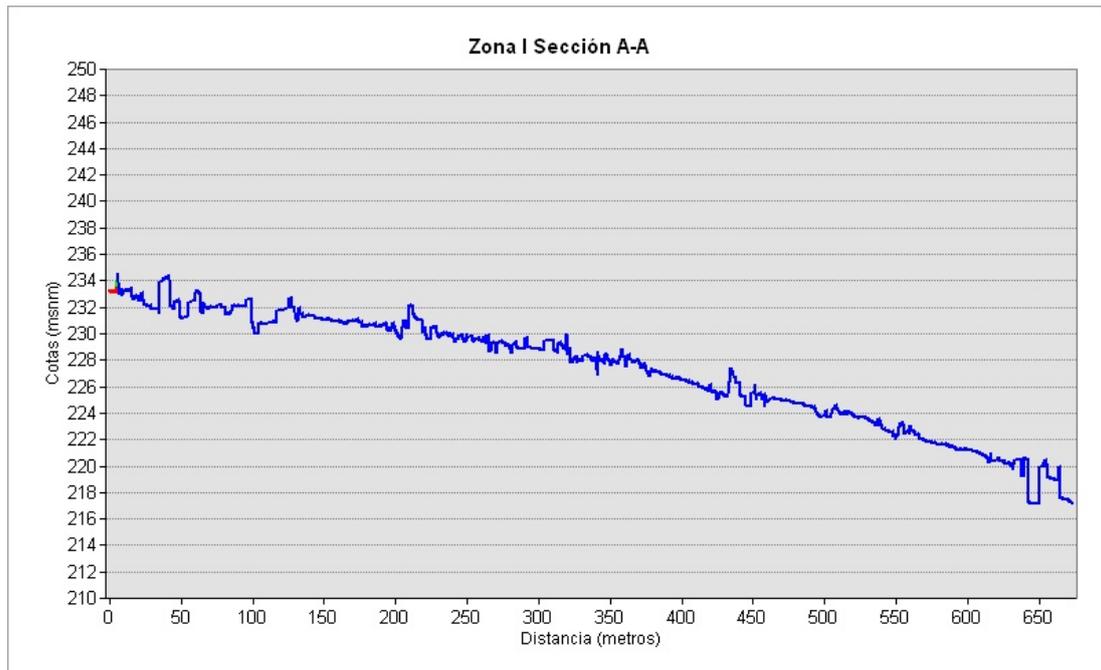


Figura 1. Perfil Longitudinal A-A en la Zona I.

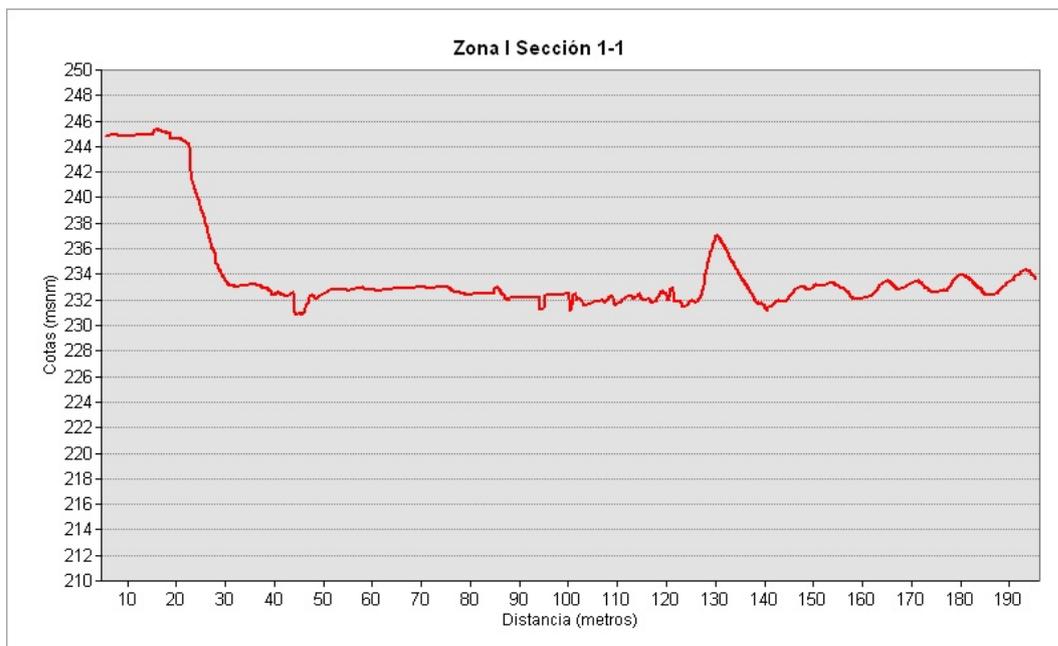


Figura 2. Sección Transversal 1-1 en la Zona I.

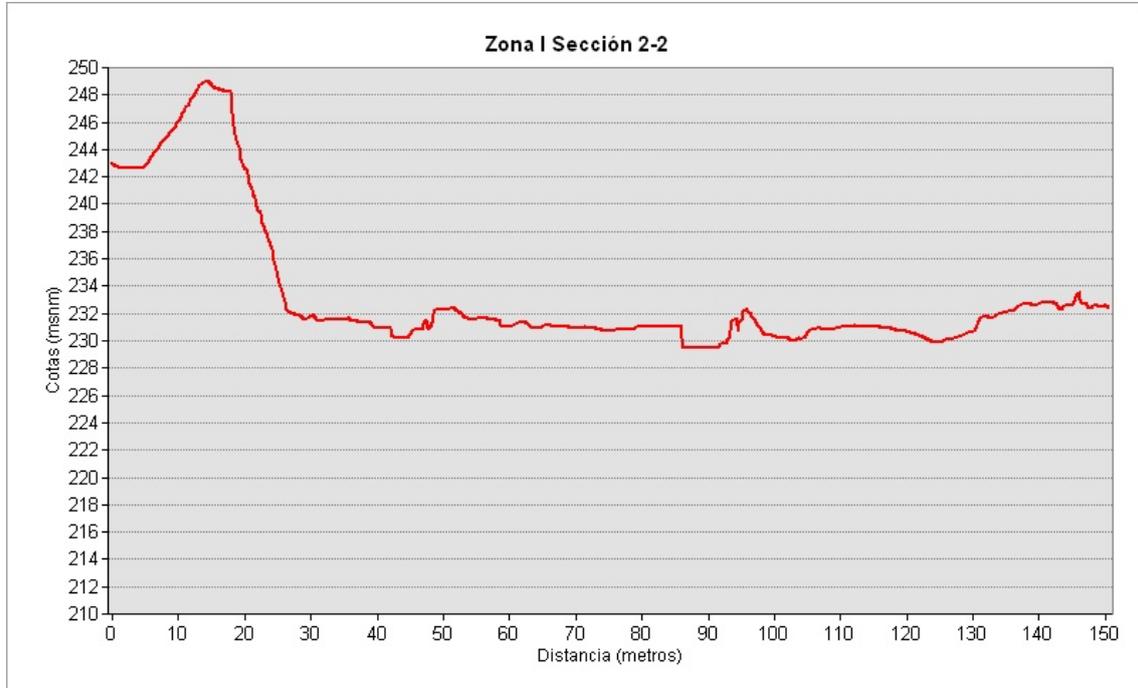


Figura 3. Sección Transversal 2-2 en la Zona I.

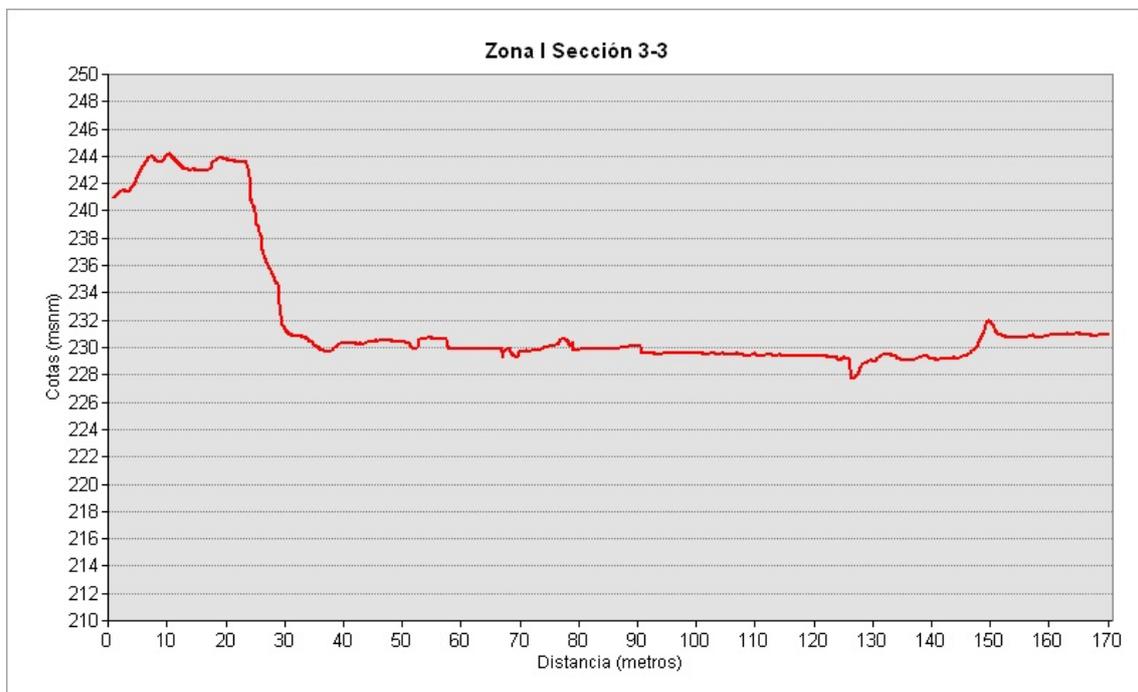


Figura 4. Sección Transversal 3-3 en la Zona I.

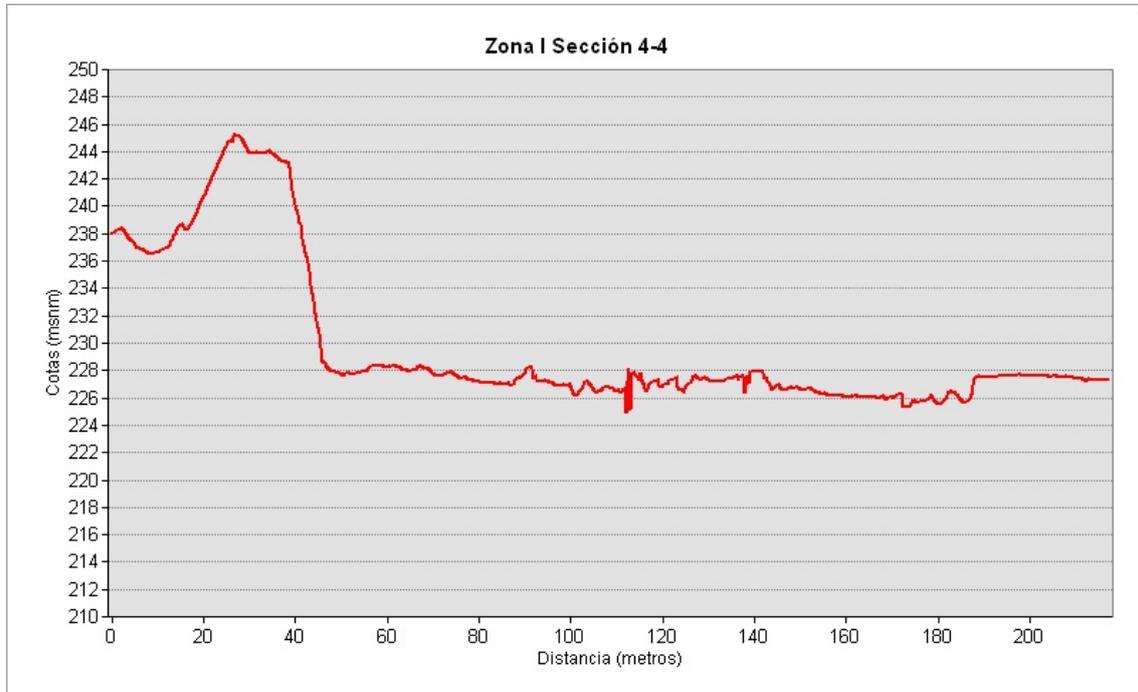


Figura 5. Sección Transversal 4-4 en la Zona I.

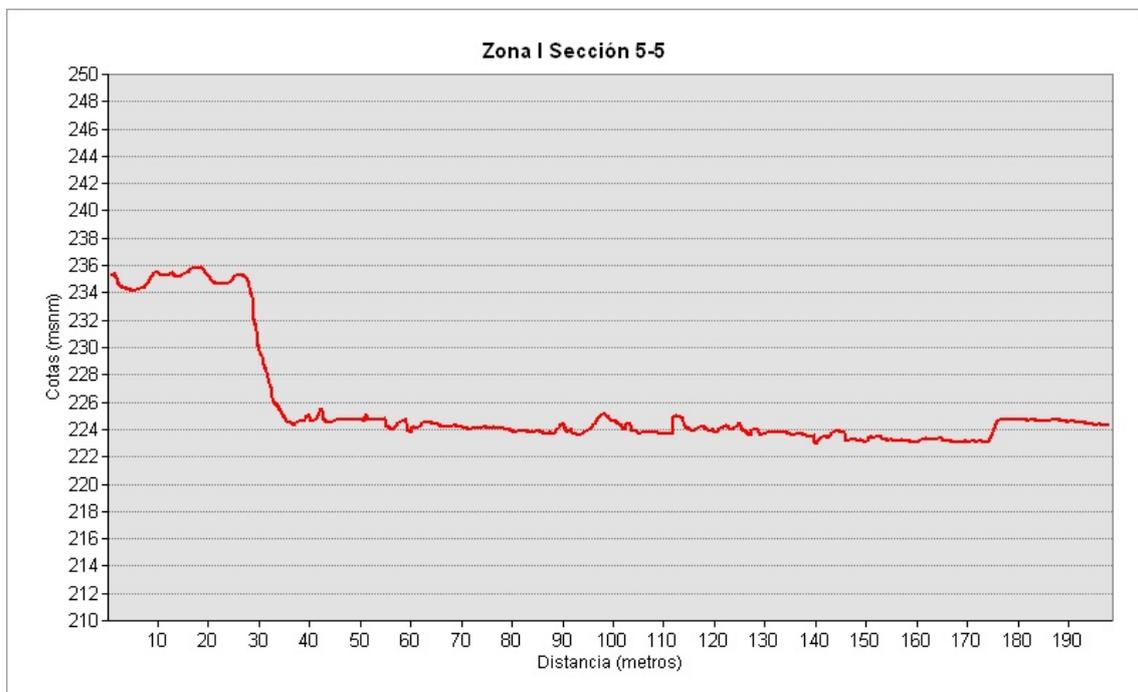


Figura 6. Sección Transversal 5-5 en la Zona I.

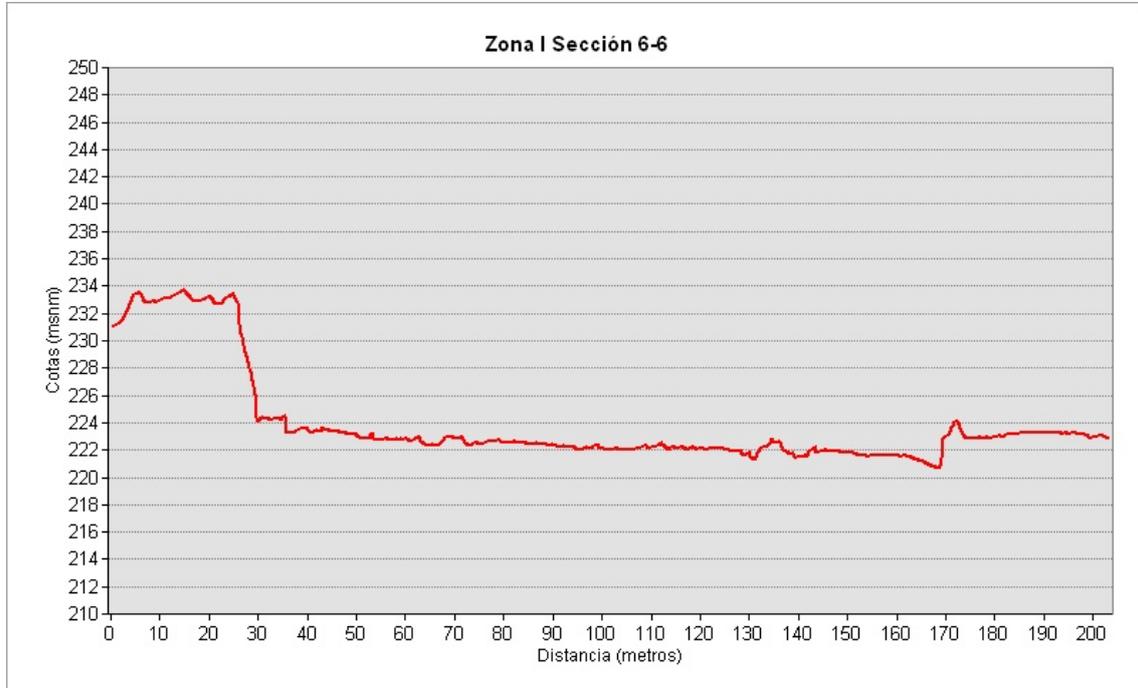


Figura 7. Sección Transversal 6-6 en la Zona I.

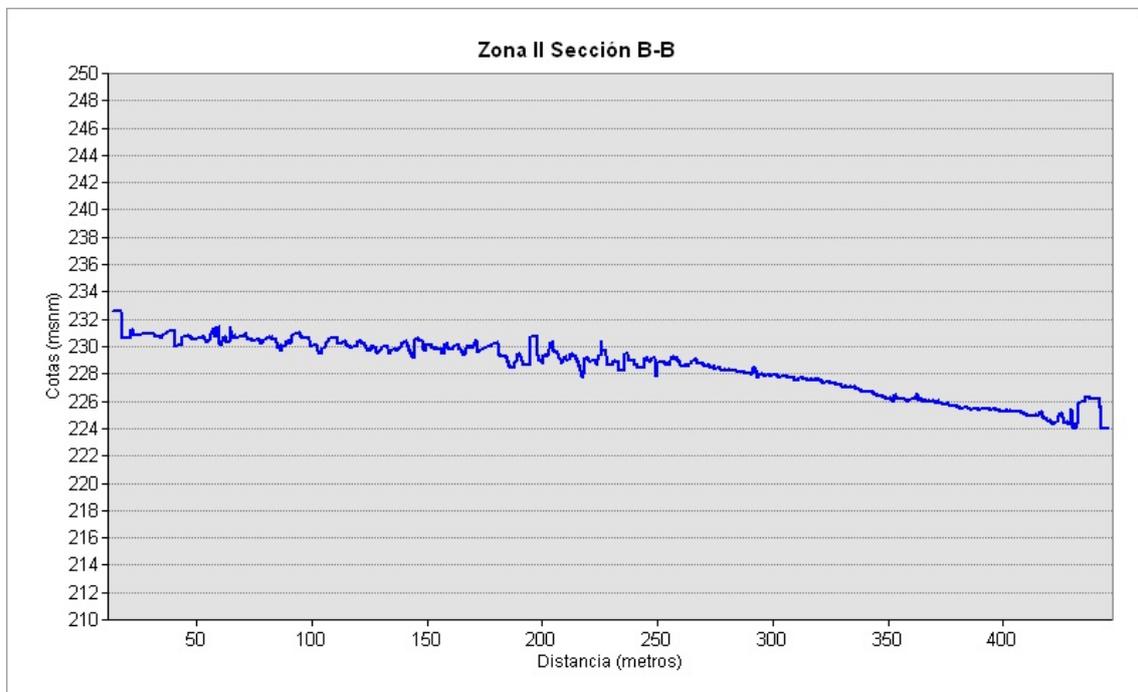


Figura 8. Perfil Longitudinal B-B en la Zona II.

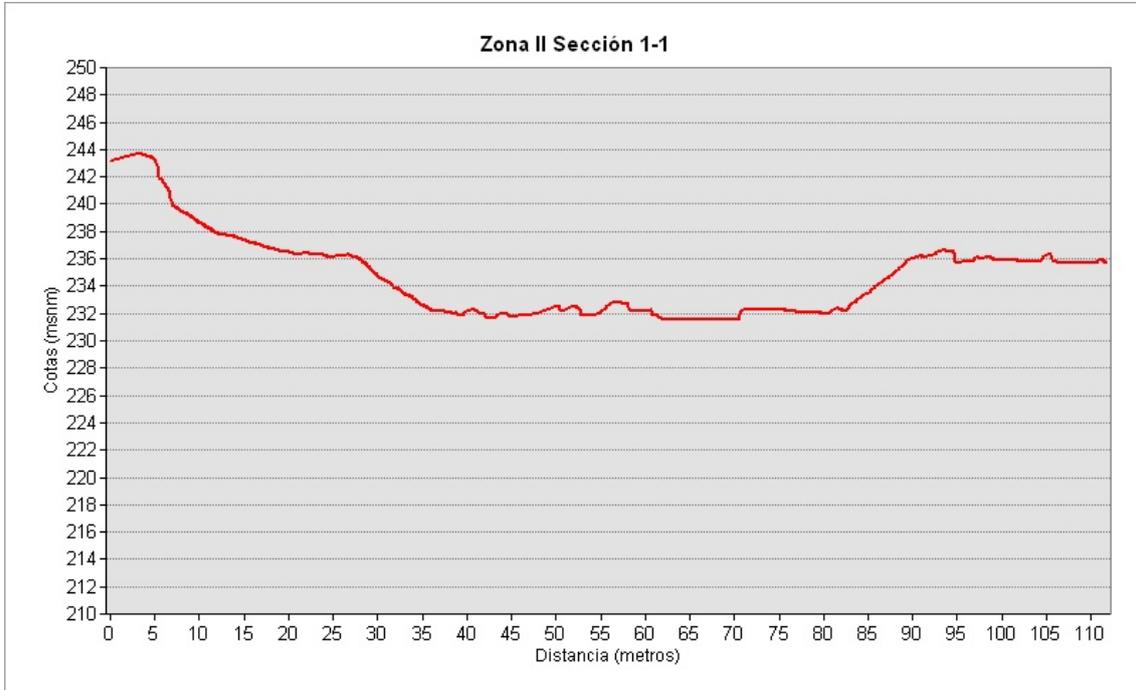


Figura 9. Sección Transversal 1-1 en la Zona II.

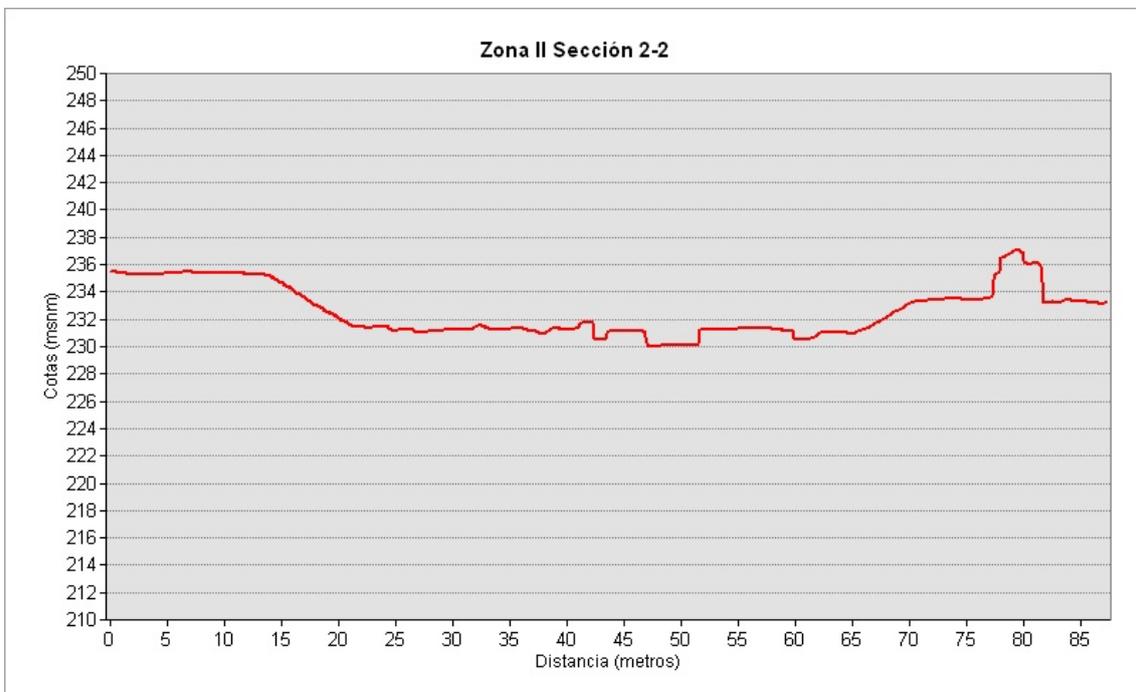


Figura 10. Sección Transversal 2-2 en la Zona II.

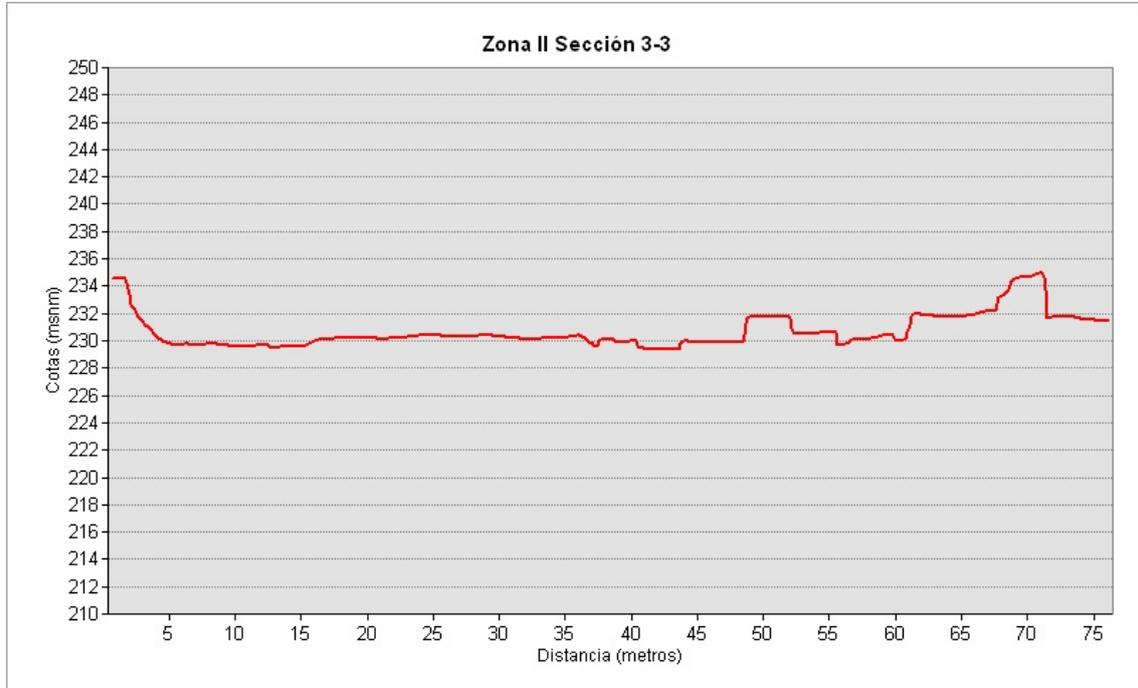


Figura 11. Sección Transversal 3-3 en la Zona II.

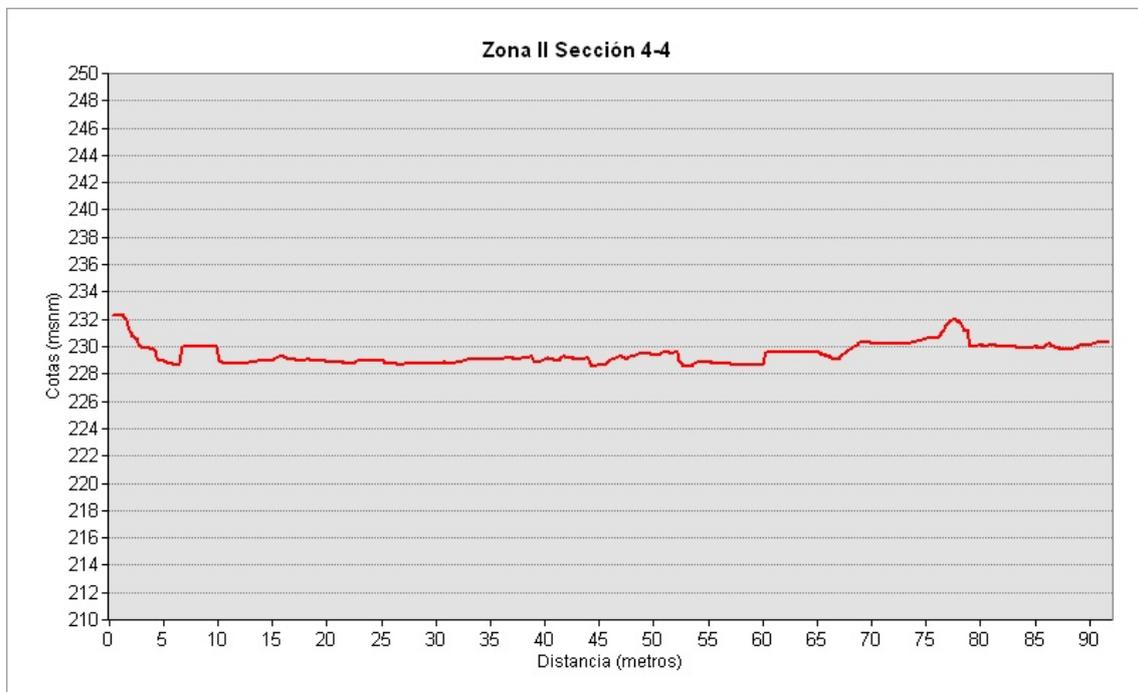


Figura 12. Sección Transversal 4-4 en la Zona II.

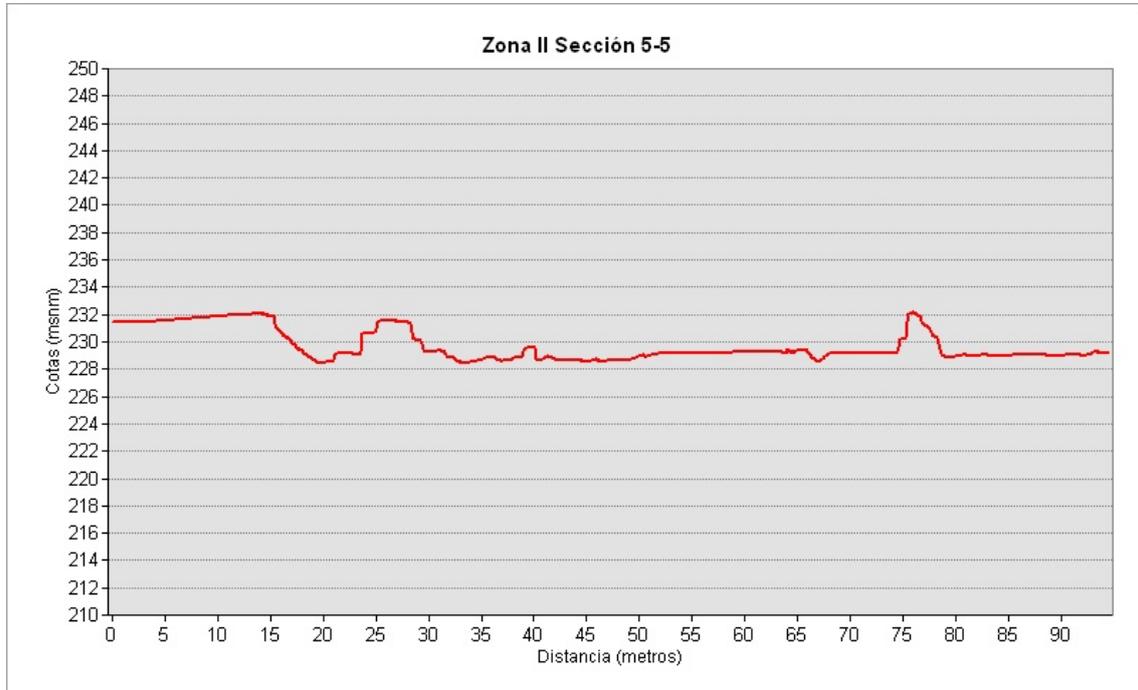


Figura 13. Sección Transversal 5-5 en la Zona II.

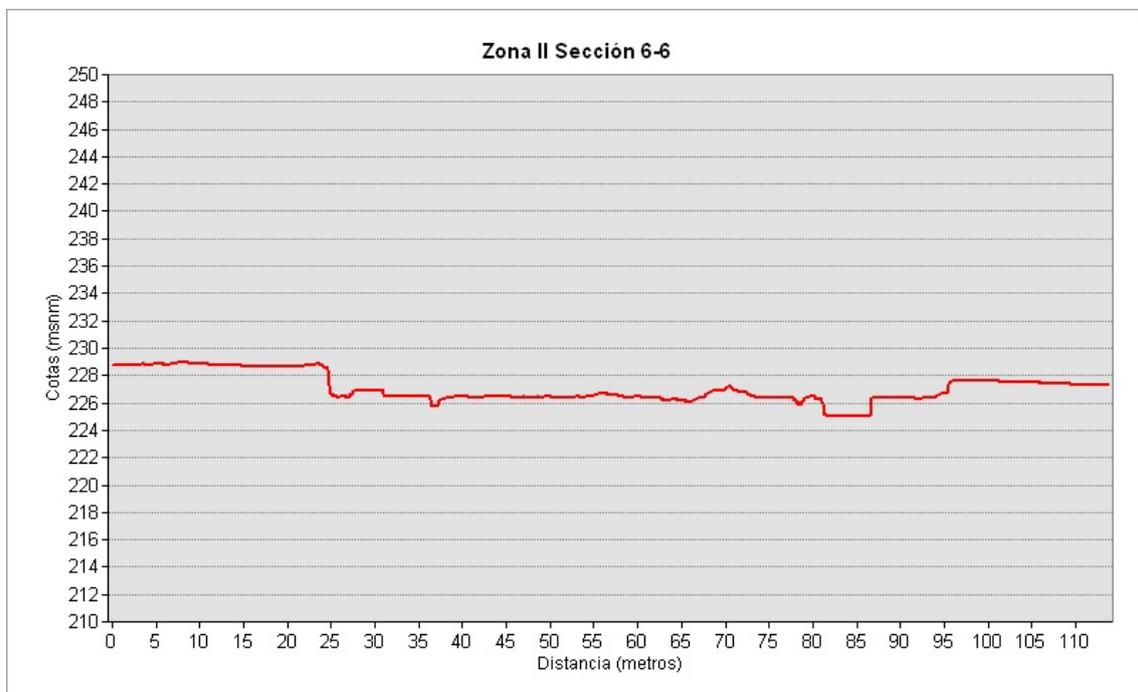


Figura 14. Sección Transversal 6-6 en la Zona II.

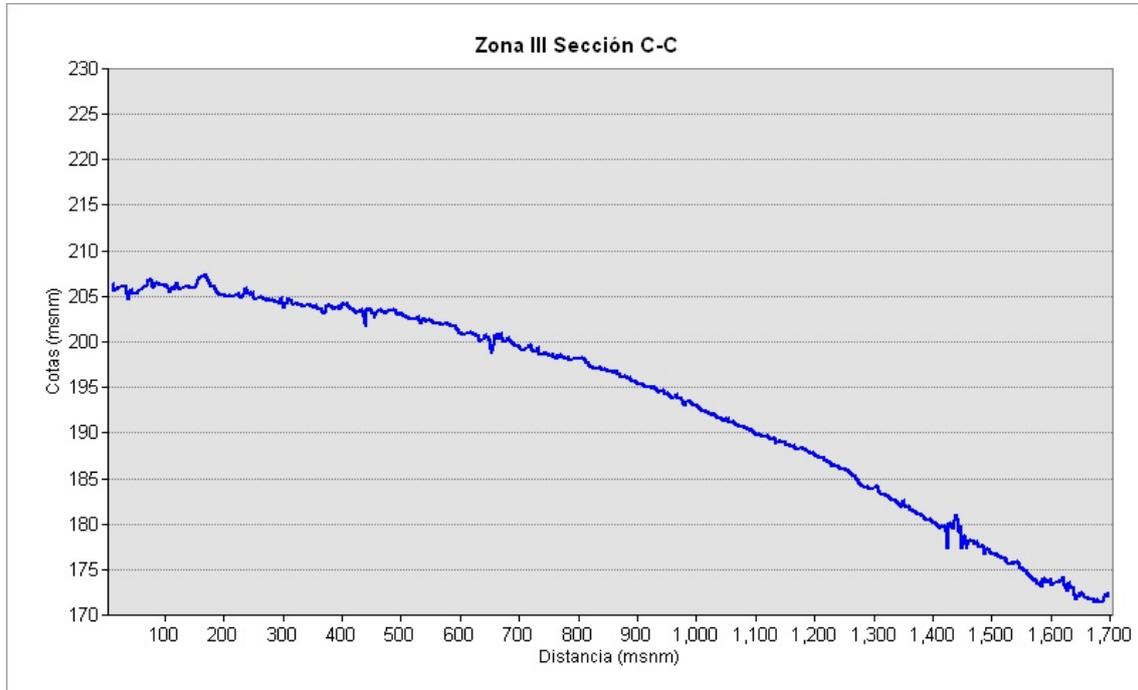


Figura 15. Perfil Longitudinal C-C en la Zona III.

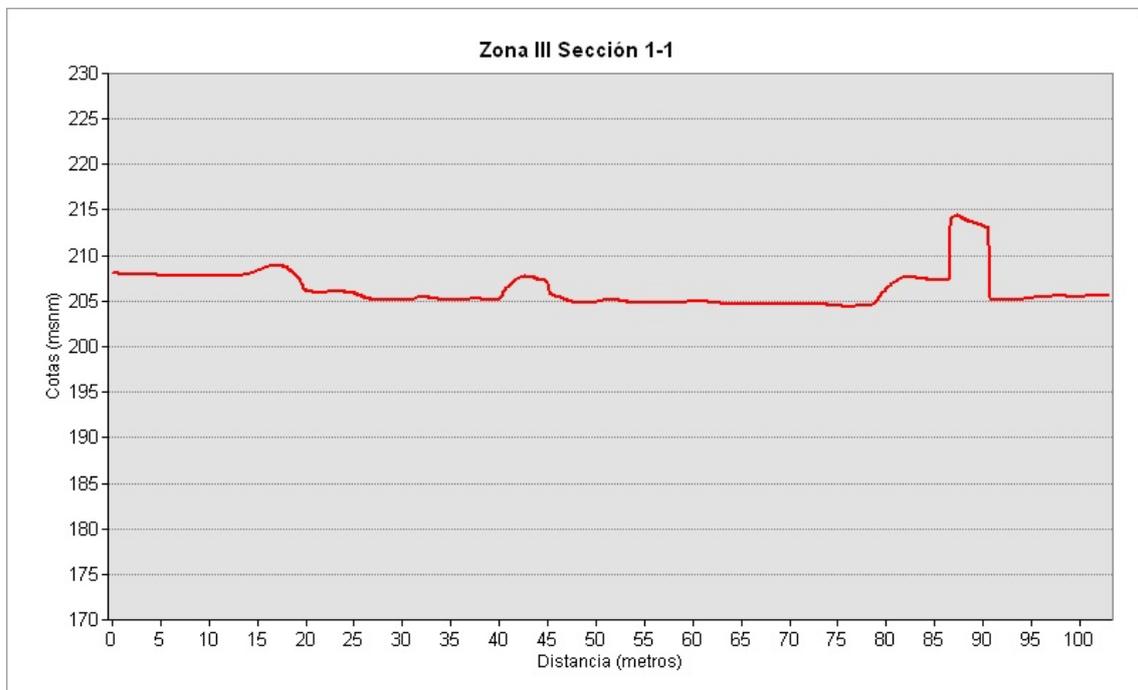


Figura 16. Sección Transversal 1-1 en la Zona III.

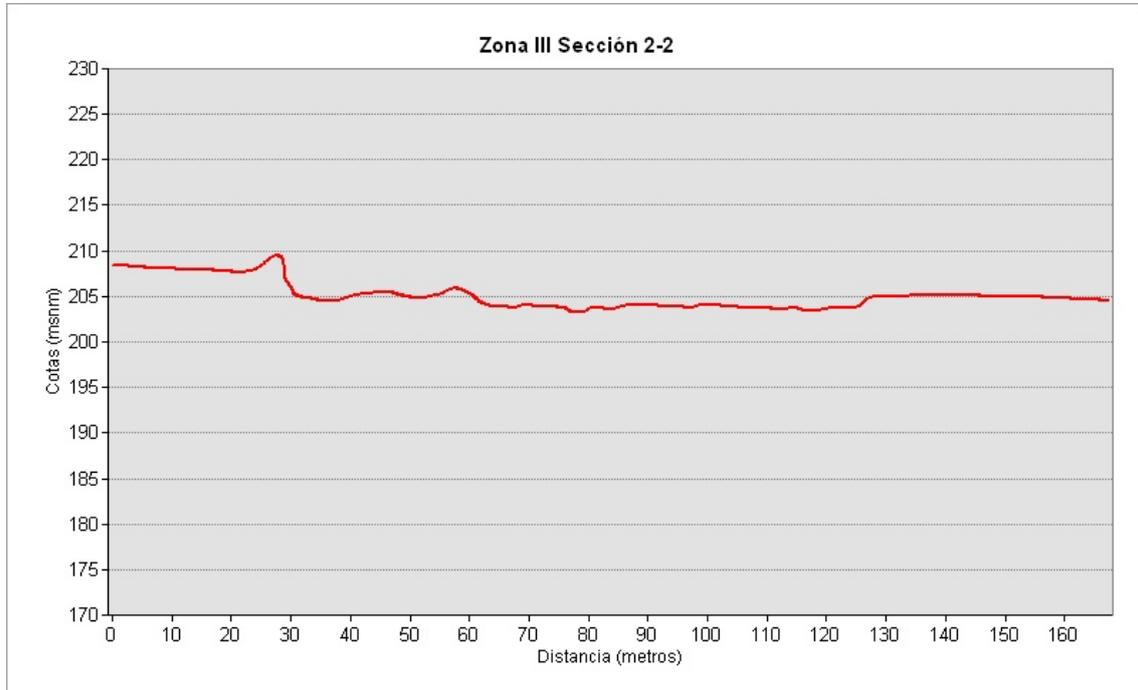


Figura 17. Sección Transversal 2-2 en la Zona III.

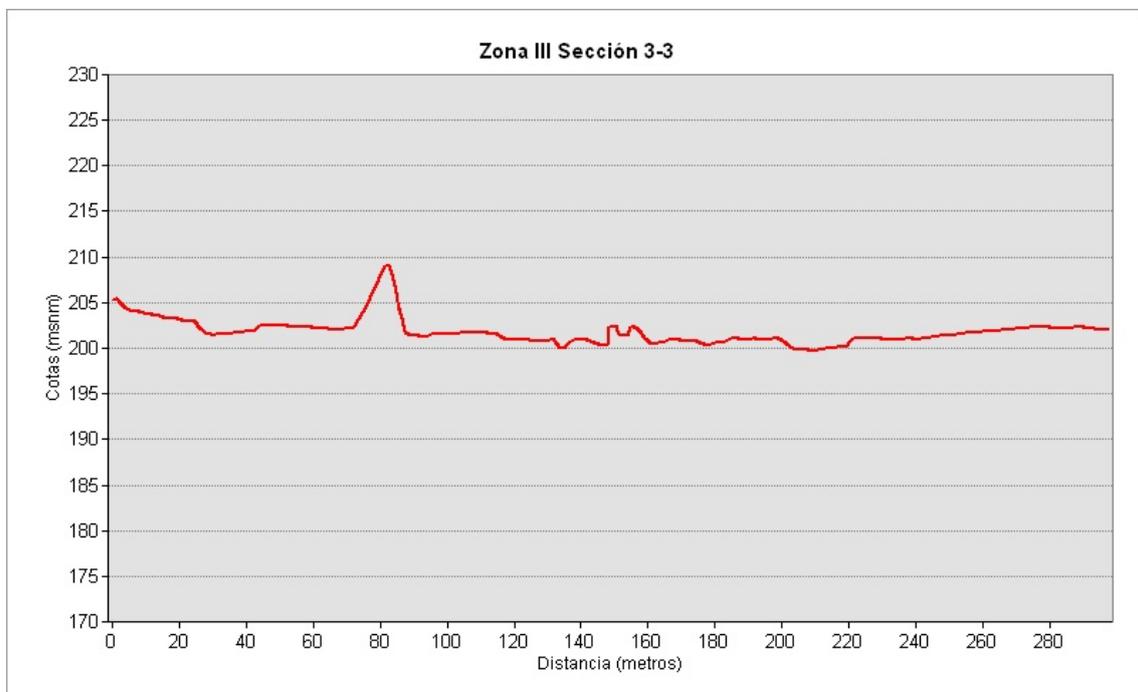


Figura 18. Sección Transversal 3-3 en la Zona III.

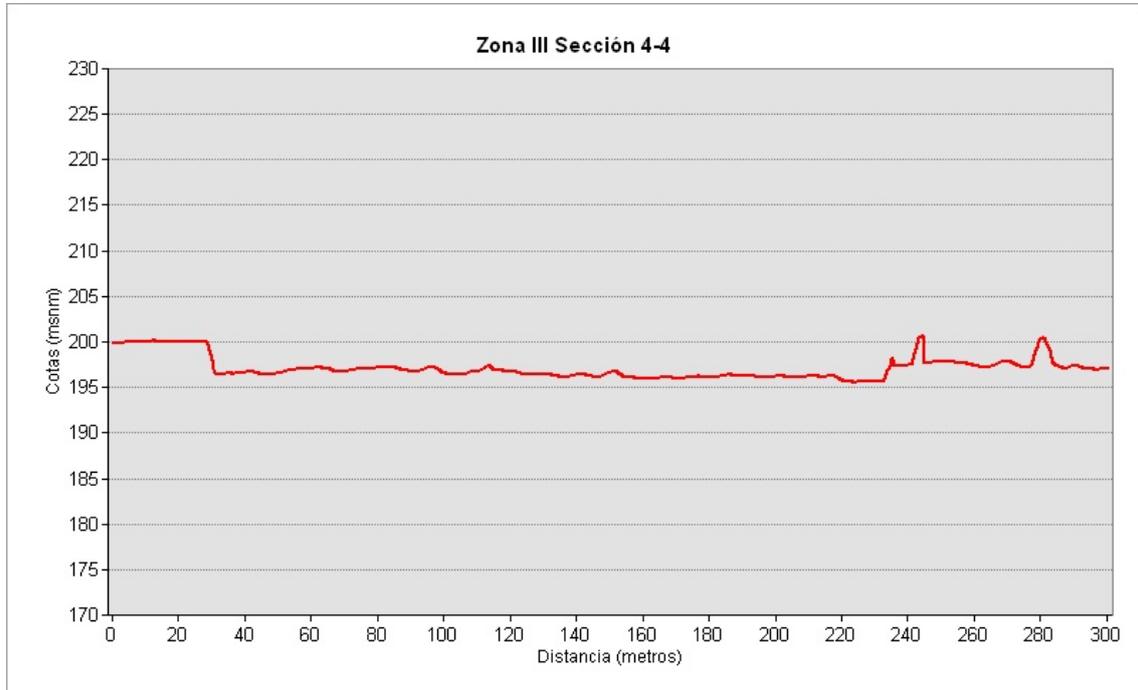


Figura 19. Sección Transversal 4-4 en la Zona III.

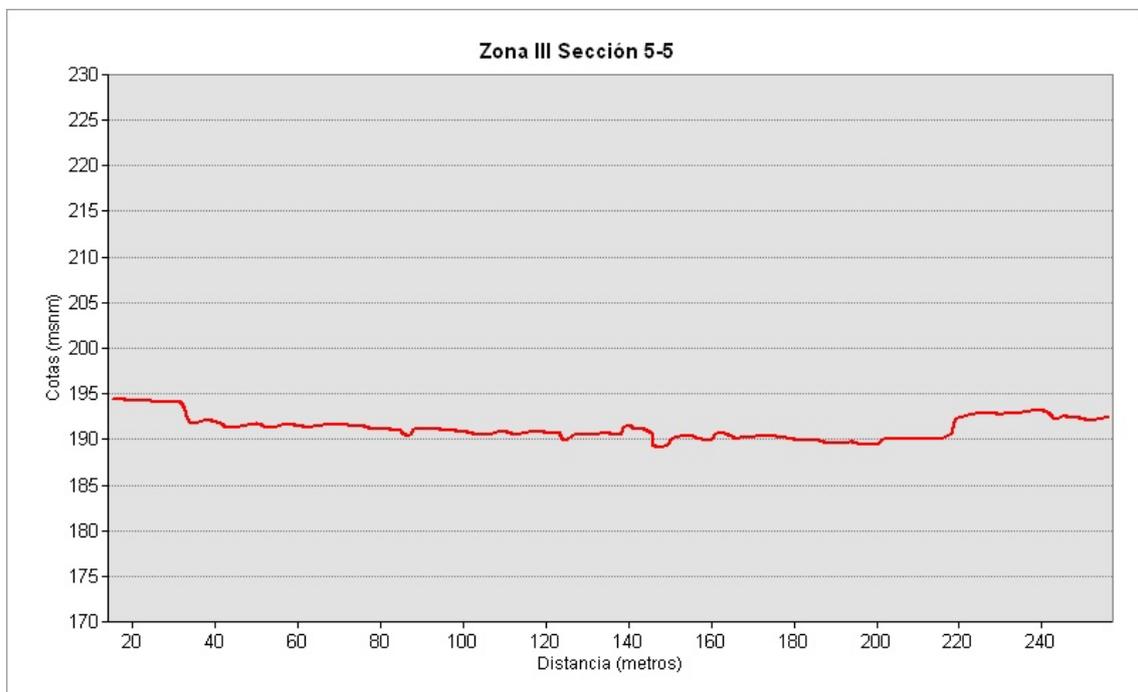


Figura 20. Sección Transversal 4-4 en la Zona III.

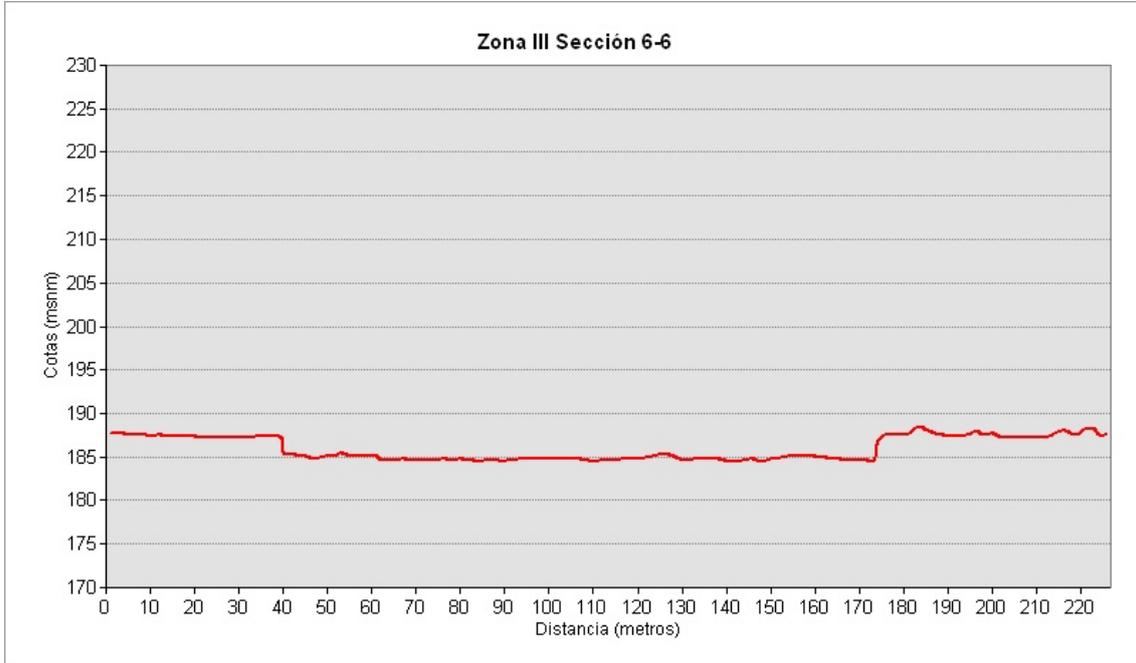


Figura 21. Sección Transversal 6-6 en la Zona III.

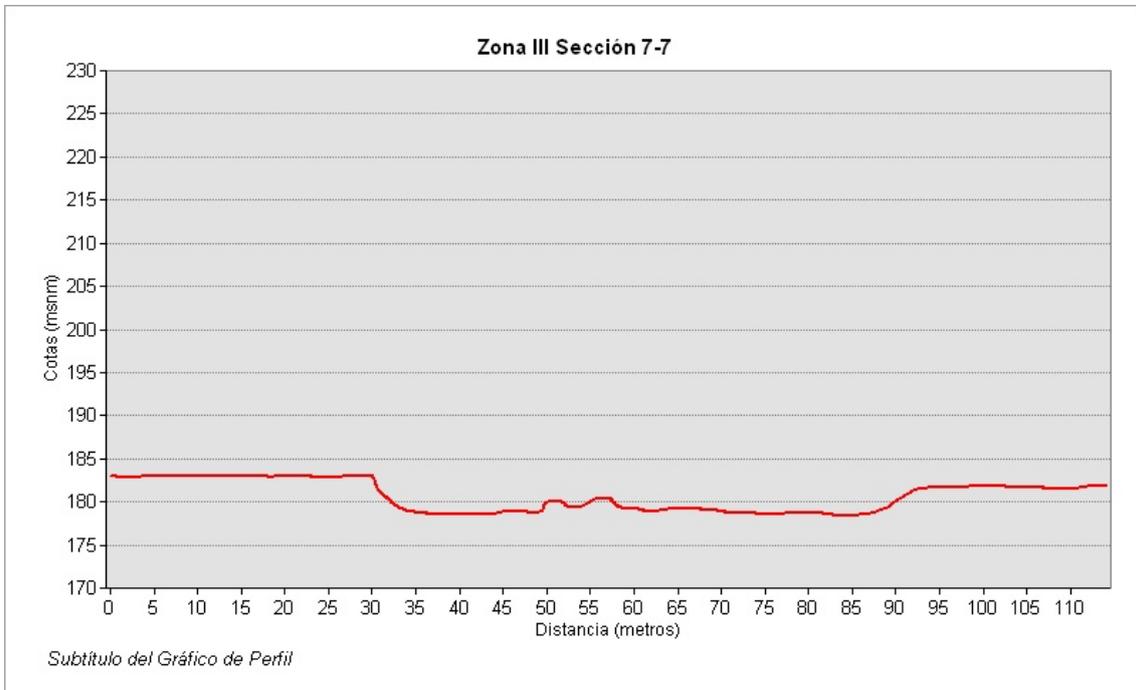


Figura 22. Sección Transversal 7-7 en la Zona III.

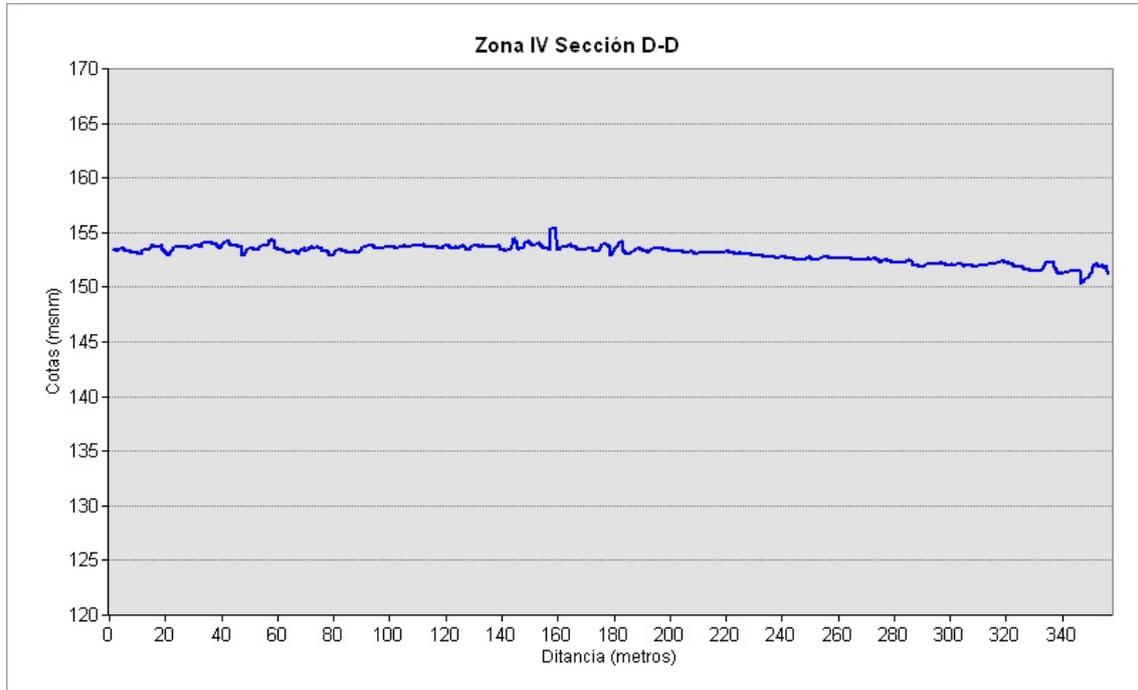


Figura 23. Perfil Longitudinal D-D en la Zona IV.

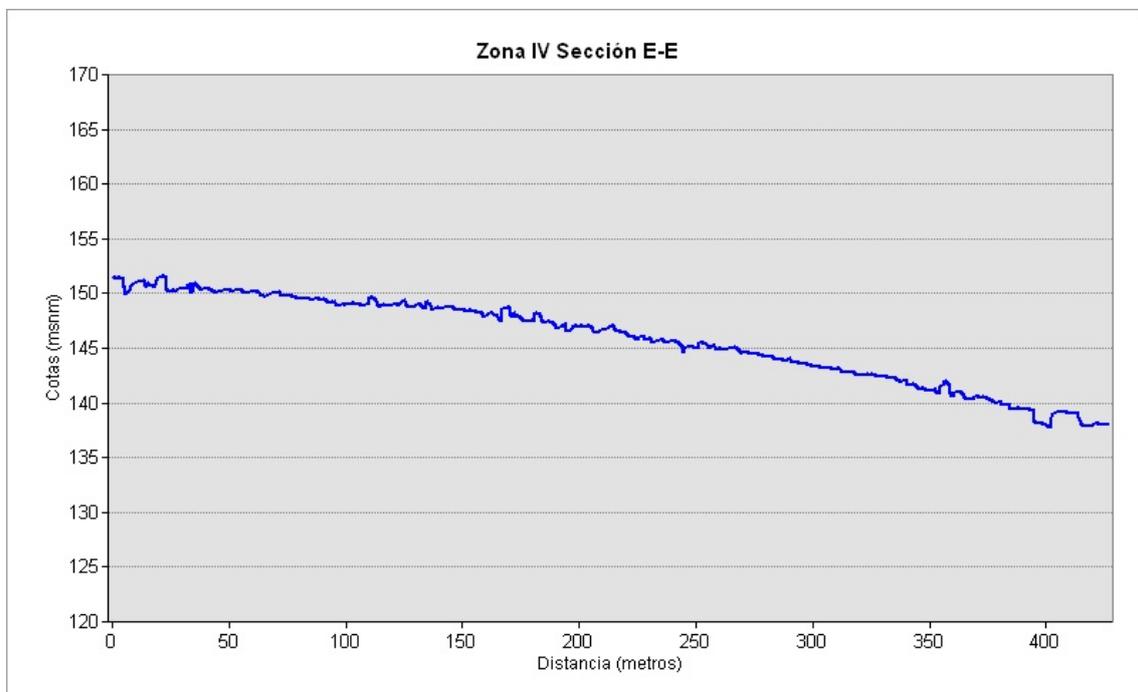


Figura 24. Perfil Longitudinal E-E en la Zona IV.

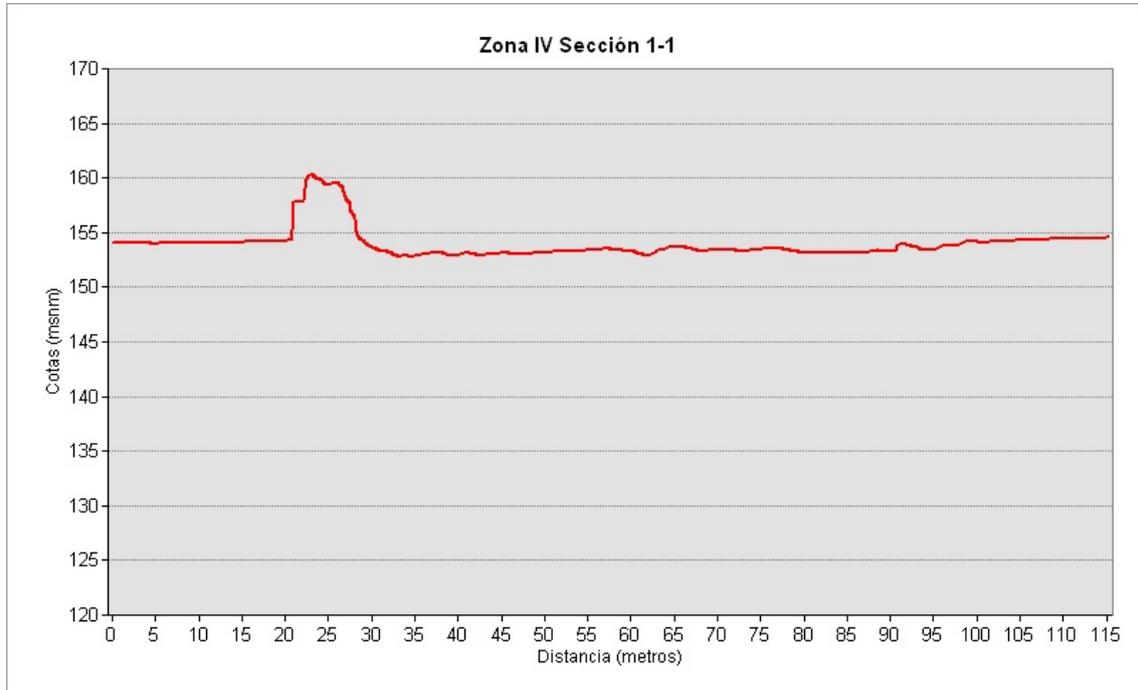


Figura 25. Sección Transversal 1-1 en la Zona IV.

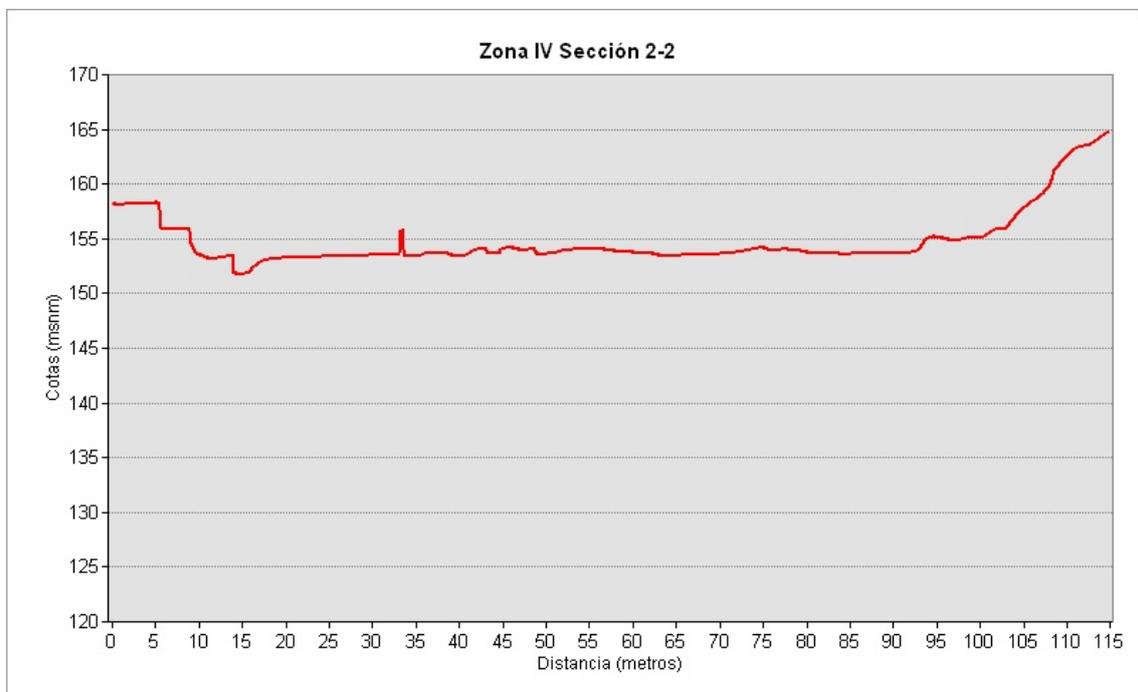


Figura 26. Sección Transversal 2-2 en la Zona IV.

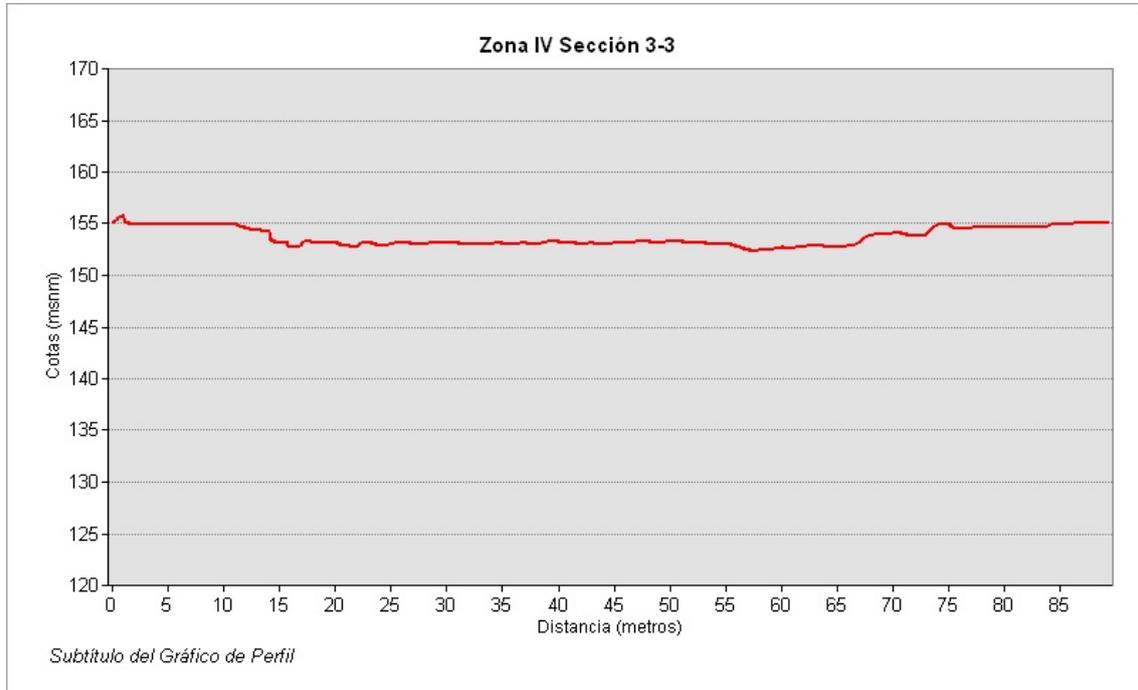


Figura 27. Sección Transversal 3-3 en la Zona IV.

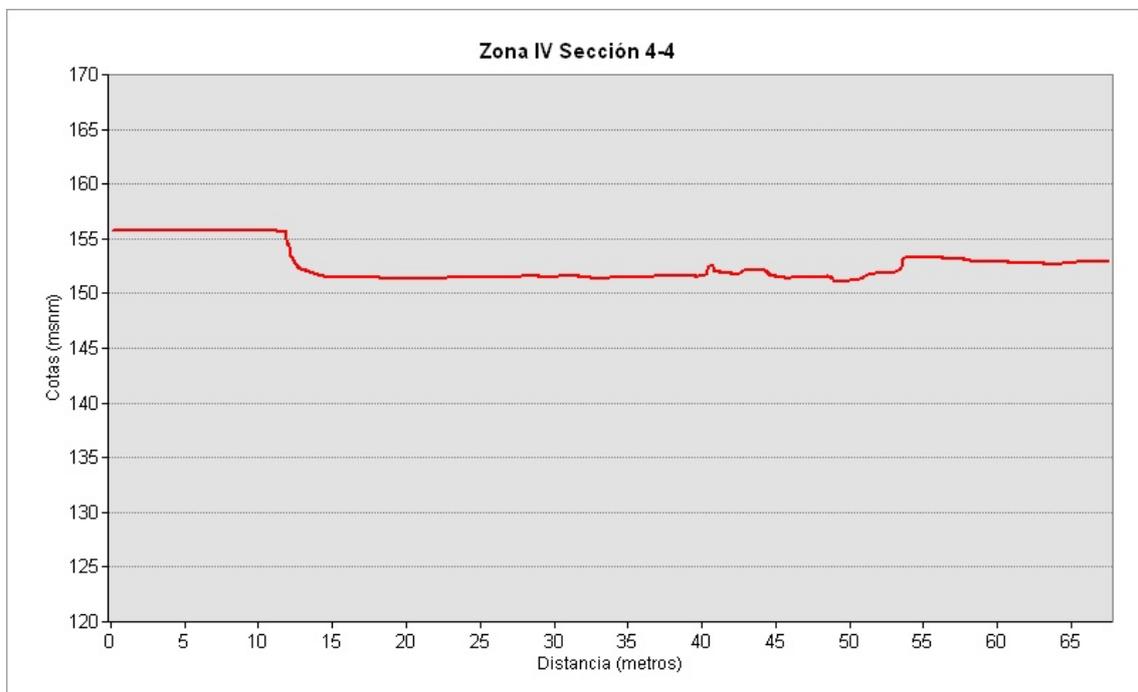


Figura 28. Sección Transversal 4-4 en la Zona IV.

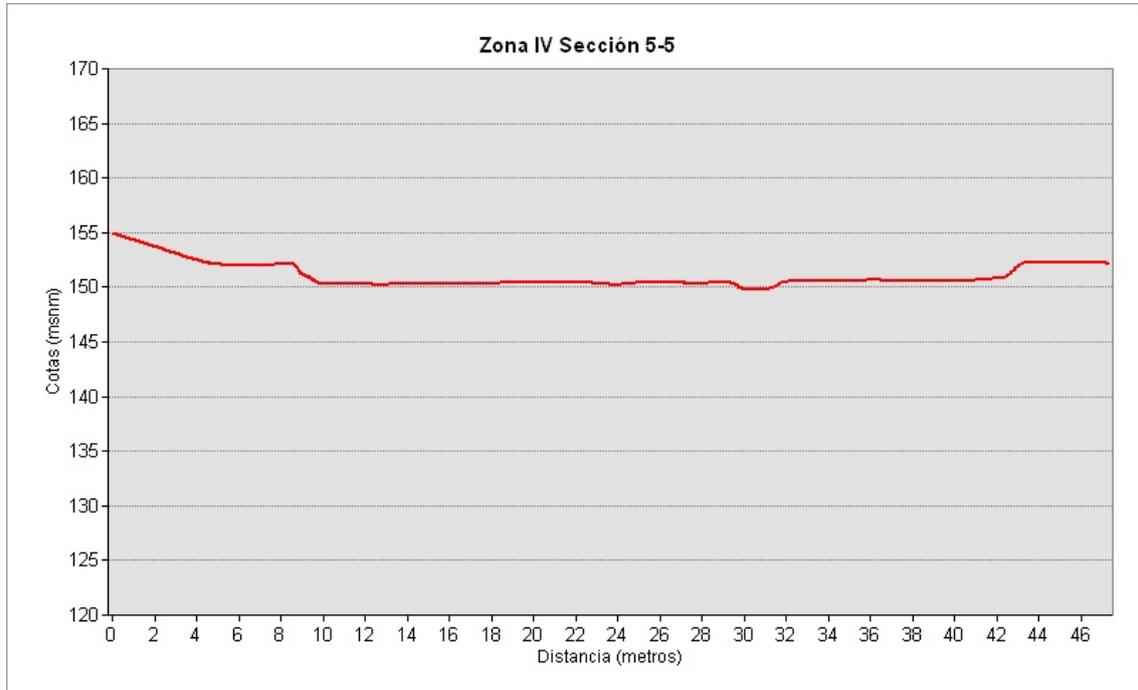


Figura 29. Sección Transversal 5-5 en la Zona IV.

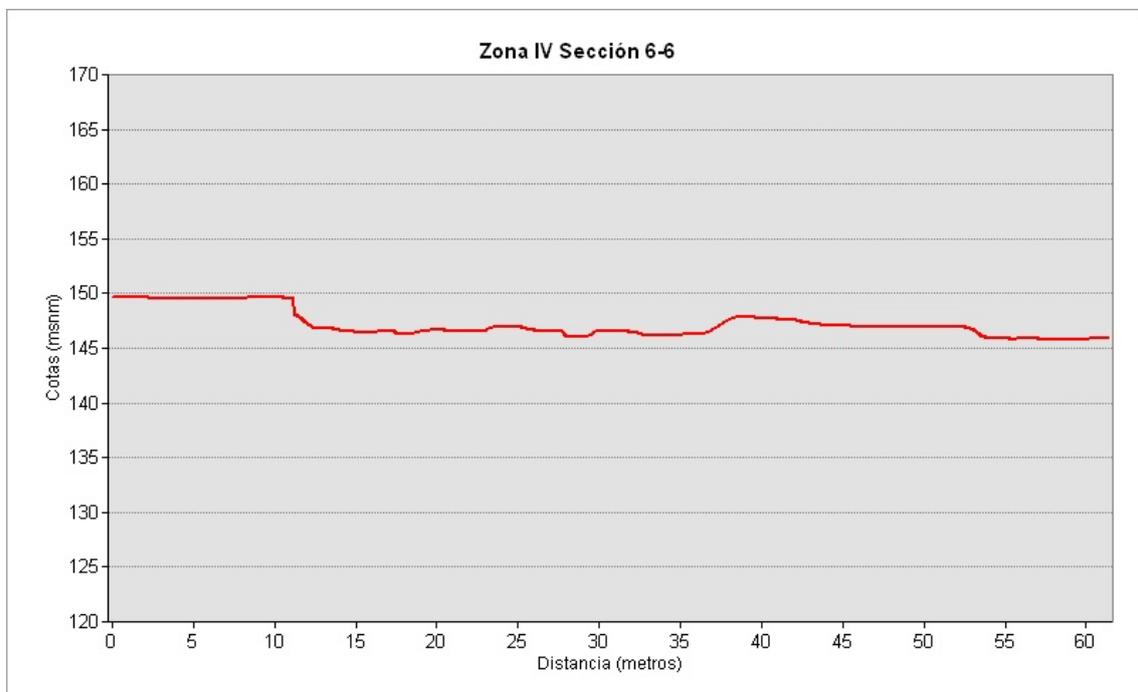


Figura 30. Sección Transversal 6-6 en la Zona IV.



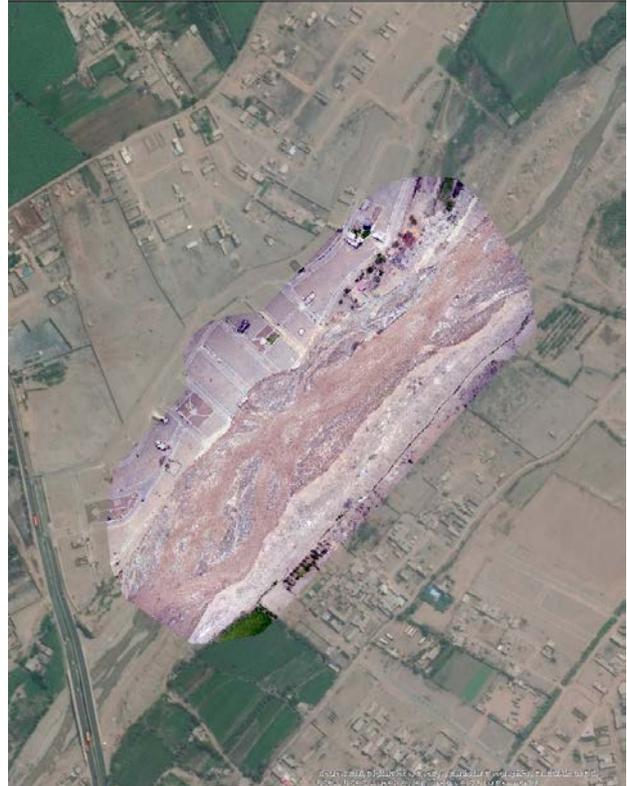
UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

Facultad de Ingeniería Civil
Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas
y Mitigación de Desastres
Instituto para la Mitigación de los Efectos del
Fenómeno El Niño



**ANEXO V
COMPARACIÓN MULTITEMPORAL DE IMÁGENES**

ZONA I – URBANIZACIÓN LA RINCONADA



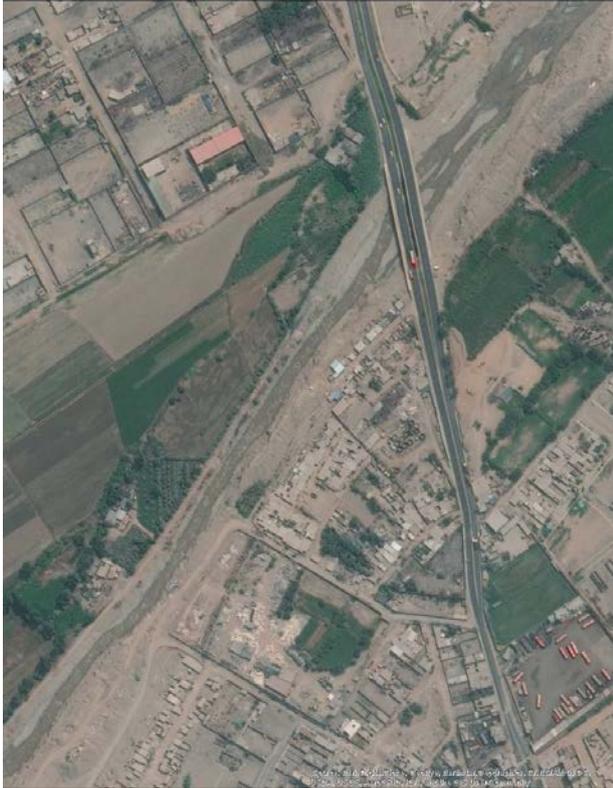


UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

Facultad de Ingeniería Civil
Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas
y Mitigación de Desastres
Instituto para la Mitigación de los Efectos del
Fenómeno El Niño



ZONA II – PUENTE SAN MARTÍN





UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

Facultad de Ingeniería Civil
Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas
y Mitigación de Desastres
Instituto para la Mitigación de los Efectos del
Fenómeno El Niño



ZONA III – A.H. FUJIMORI FUJIMORI Y URB. LOS ÁLAMOS





UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

Facultad de Ingeniería Civil
Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas
y Mitigación de Desastres
Instituto para la Mitigación de los Efectos del
Fenómeno El Niño



ZONA IV – A.H. LOS GALLINAZOS

