



UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA

La Universidad Católica de Loja

ÁREA TÉCNICA

TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

Diseño e implementación de una red geodésica de control horizontal y vertical para la población Chaquinal, cantón Pindal, provincia de Loja.

TRABAJO DE TITULACIÓN.

AUTORA: Bravo Paladines, Astrid Viviana

DIRECTOR: González Zúñiga, Julio Cesar, M.Sc.

LOJA – ECUADOR

2016



Esta versión digital, ha sido acreditada bajo la licencia Creative Commons 4.0, CC BY-NY-SA: Reconocimiento-No comercial-Compartir igual; la cual permite copiar, distribuir y comunicar públicamente la obra, mientras se reconozca la autoría original, no se utilice con fines comerciales y se permiten obras derivadas, siempre que mantenga la misma licencia al ser divulgada. <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/deed.es>

2016

APROBACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Magister.

Julio Cesar González Zúñiga.

DOCENTE DE LA TITULACIÓN

De mi consideración:

El presente trabajo de titulación: “Diseño e implementación de una red geodésica de control horizontal y vertical para la población Chaquinal, cantón Pindal, provincia de Loja” realizado por Bravo Paladines Astrid Viviana, ha sido orientado y revisado durante su ejecución, por cuanto se aprueba la presentación del mismo.

Loja, septiembre de 2016

f).....

DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS

“Yo Bravo Paladines Astrid Viviana declaro ser autor (a) del presente trabajo de titulación: Diseño e implementación de una red geodésica de control horizontal y vertical para la población Chaquinal, cantón Pindal, provincia de Loja, de la Titulación Ingeniería Civil, siendo Julio Cesar González Zúñiga director (a) del presente trabajo; y eximo expresamente a la Universidad Técnica Particular de Loja y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales. Además certifico que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de mi exclusiva responsabilidad.

Adicionalmente declaro conocer y aceptar la disposición del Art. 88 del Estatuto Orgánico de la Universidad Técnica Particular de Loja que en su parte pertinente textualmente dice: “Forman parte del patrimonio de la Universidad la propiedad intelectual de investigaciones, trabajos científicos o técnicos y tesis de grado o trabajos de titulación que se realicen con el apoyo financiero, académico o institucional (operativo) de la Universidad”

f.....

Autor: Bravo Paladines Astrid Viviana

Cédula: 1105532103

DEDICATORIA

Dedico este trabajo principalmente a Dios al creador de todas las cosas, por haberme permitido llegar hasta este momento tan importante de mi formación profesional.

A mis padres por su noble dedicación y amor, por ser mis amigos, mis consejeros, por haberme dado la oportunidad de tener una excelente educación y por ser las personas que me enseñaron a no desfallecer ni rendirme ante nada.

A mi hermano y hermanas que con su ejemplo y dedicación me han instruido para seguir adelante.

A mis sobrinos Eduardo, Mateo, Scarlett, Esthefany y Christopher, que con su dulzura, amor y cariño llenan de felicidad mi vida, a ellos que son la luz de mis ojos les dedico este trabajo.

A mis amigos por confiar en mí y haber hecho de mi etapa universitaria un trayecto de vivencias que nunca olvidare.

Astrid Viviana Bravo Paladines

AGRADECIMIENTO

Le agradezco a Dios por protegerme durante todo mi camino, por su infinita bondad, por darme fortaleza para superar obstáculos y por haber hecho realidad este sueño anhelado.

A mis padres Augusto Bravo e Isabel Paladines por el apoyo incondicional brindado a lo largo de mi vida, a ellos que me han demostrado su amor incondicional en todo momento, que son mi ejemplo de constancia, perseverancia y superación. Gracias Mamá y Papá por celebrar mis triunfos y corregir mis faltas, por su esfuerzo, sacrificio, paciencia y dedicación.

A mi hermano Edgar, que siempre me motivo a seguir adelante con sus valiosos consejos, y ejemplo de superación, a mis hermanas Yadira y Paulina, que estuvieron junto a mí dándome el aliento necesario para culminar con éxito mi objetivo propuesto.

A mi director de tesis M.Sc. Julio Cesar González Zúñiga mi más sincero agradecimiento por haber sido mi guía, por sus conocimientos y por la motivación brindada para la realización de mi trabajo de fin de titulación.

A la Universidad Técnica Particular de Loja, Titulación de Ingeniería Civil, a sus distinguidos docentes quienes con su profesionalismo, ética y conocimientos forman integralmente a cada uno de los estudiantes que acudimos a las aulas. Al M.Sc. Belizario Zarate y en especial al Dr. Andreas Fries por haberme brindado su ayuda desinteresada y guiarme durante todo este proceso.

A Alejandro Coronel por acompañarme durante este arduo camino, gracias por ser ese apoyo incondicional y por compartir conmigo alegrías y tristezas.

A mis amigos y a todas las personas que me han ayudado en la realización de este proyecto.

Astrid Viviana Bravo Paladines

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CARATULA	i
APROBACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN.....	ii
DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS.....	iii
DEDICATORIA	iv
AGRADECIMIENTO	v
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	vi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	x
ÍNDICE DE TABLAS.....	xi
RESUMEN.....	1
ABSTRACT	2
INTRODUCCIÓN.....	3
CAPITULO I.....	6
1. MARCO TEÓRICO.....	6
1.1. Movimientos de ladera.....	7
1.1.1. Clasificación de los movimientos de ladera	7
1.1.1.1. Según el tipo de movimiento.....	7
1.1.1.2. Según su actividad	9
1.1.1.3. Clasificación preliminar del territorio frente a potenciales movimientos de ladera.....	9
1.1.2. Factores influyentes en la inestabilidad de laderas.....	10
1.1.3. Consecuencias de un movimiento de ladera	11
1.1.4. Velocidad del movimiento en laderas inestables.....	11
1.2. Nociones básicas sobre geodesia	12
1.2.1. Generalidades	12
1.2.2. Redes geodésicas	13
1.3. Sistemas de coordenadas	13
1.3.1. Definición.....	13
1.3.2. Coordenadas geodésicas y geocéntricas	13

1.4.	Sistemas de referencia geodésicos	15
1.4.1.	Conceptos básicos	15
1.4.1.1.	Definición de un sistema de referencia geodésico	15
1.4.1.2.	Datum geodésico.....	15
1.4.1.3.	Marco de referencia geodésico.....	15
1.4.2.	Sistemas de referencia geodésicos más comunes	16
1.4.2.1.	Sistema de referencia geodésico WGS-84	16
1.4.2.2.	Sistema de referencia terrestre internacional (ITRS)	16
1.5.	Red geodésica local	17
1.5.1.	Red Nacional GPS del Ecuador (RENAGE)	17
1.5.2.	Red GNSS de monitoreo continuo del Ecuador (REGME).....	17
1.6.	Sistema de posicionamiento Global (GPS)	18
1.6.1.	Definición.....	18
1.6.2.	Componentes del sistema	18
1.6.2.1.	Segmento espacial	18
1.6.2.2.	Segmento de control.....	19
1.6.2.3.	Segmento de usuario.....	20
1.6.3.	Cómo funciona el sistema GPS	21
1.6.4.	Aplicaciones GPS.....	21
1.6.5.	Métodos de posicionamiento GPS.....	22
CAPITULO II.....		24
2.	ÁREA DE ESTUDIO	24
2.1.	Ubicación geográfica y límites	25
2.2.	Clima y vegetación	27
2.3.	Relieve	27
2.4.	Geología.....	28
2.5.	Deslizamiento existente en Chaquinal	30
2.5.1.	Antecedentes.....	30
2.5.2.	Naturaleza del problema.....	30

CAPITULO III.....	32
3. EQUIPOS Y MÉTODOS	32
3.1. Equipos	33
3.2. Materiales	35
3.2.1. Materiales de campo	35
3.2.2. Materiales de oficina.....	35
3.3. Descripción del método empleado.....	35
CAPITULO IV	39
4. METODOLOGÍA.....	39
4.1. Documentación y recopilación de información	40
4.2. Diseño y construcción de la red geodésica.....	40
4.2.1. Estudio Previo	40
4.2.2. Instalación de las estaciones de la red	40
4.3. Aplicación del método.....	42
4.4. Procesamiento de la información de campo	44
CAPITULO V	47
5. RESULTADOS Y ANÁLISIS	47
5.1. Mapa de pendientes	48
5.2. Diagnostico preliminar del movimiento de ladera.....	49
5.3. Análisis de resultados del monitoreo con DGPS.....	51
CONCLUSIONES	55
RECOMENDACIONES.....	57
BIBLIOGRAFÍA.....	59
ANEXOS.....	65
ANEXO 1	66
Fotografías de daños ocasionados por el deslizamiento en la población Chaquinal.....	66
ANEXO 2	69
Mapa de ubicación geográfica de la zona de estudio - Chaquinal	69
ANEXO 3	71

Mapa topográfico de la zona de estudio	71
ANEXO 4	73
Mapa de ubicación de la estación base GPS	73
ANEXO 5	75
Mapa de distribución de las estaciones de monitoreo de la red GPS	75
ANEXO 6	77
Mapa de pendientes - Chaquinal.....	77
ANEXO 7	79
Mapa de vectores de dirección y velocidad del movimiento - Chaquinal	79
ANEXO 8	81
Coordenadas georreferencias de las estaciones de monitoreo	81
ANEXO 9	84
Gráficas de las coordenadas georreferenciadas de las estaciones de monitoreo.....	84
ANEXO 10	88
Variación de las coordenadas en X de las campañas de monitoreo.....	88
ANEXO 11	93
Variación de las coordenadas en Y de las campañas de monitoreo.....	93
ANEXO 12	98
Variación de las coordenadas en Z de las campañas de monitoreo	98

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Coordenadas geodésicas	14
Figura 2. Coordenadas Geodésicas y Geocéntricas	15
Figura 3. Red GNSS del Ecuador.	18
Figura 4. Segmento espacial	19
Figura 5. Segmento de control.....	20
Figura 6. Segmento de usuario.....	20
Figura 7. Corrección en tiempo real.....	23
Figura 8. Corrección en post proceso	23
Figura 9. Mapa de ubicación geográfica de la zona de estudio - Chaquinal.....	26
Figura 10. Mapa topográfico de la zona de estudio.....	28
Figura 11. Mapa geológico parroquia Chaquinal.....	29
Figura 12. Controlador y receptor del equipo GPS Trimble R6	33
Figura 13. Trípode y base nivelante con plomada óptica.	34
Figura 14. Instalación de la primera marca	41
Figura 15. Construcción de la segunda marca.....	42
Figura 16. Estación de monitoreo y estación base de la red geodésica	43
Figura 17. Mapa de ubicación de la estación base GPS	43
Figura 18. Mapa de distribución de las estaciones de monitoreo de la red GPS	44
Figura 19. Mapa de pendientes - Chaquinal	48
Figura 20. Daños ocasionados en la Escuela José Miguel Zarate	50
Figura 21. Mapa de vectores de dirección y velocidad del movimiento - Chaquinal	54

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Tipos de movimientos de ladera.....	7
Tabla 2. Factores característicos para la identificación de movimientos de ladera.....	8
Tabla 3. Clasificación de deslizamientos según su actividad	9
Tabla 4. Clasificación preliminar del territorio frente a potenciales movimientos de ladera ..	10
Tabla 5. Escala de velocidad de los movimientos de ladera (Adaptada de Cruden y Varnes, 1996)	12
Tabla 6. Coordenadas que delimitan el área de estudio	25
Tabla 7. Especificaciones de posicionamiento	34
Tabla 8. Software utilizado para el desarrollo del proyecto	35
Tabla 9. Métodos y técnicas de medición para deslizamientos	36
Tabla 10. Características principales de los métodos FS y RTK, comparadas con el método estático (en base a Gili et al. 2000).....	38
Tabla 11. Monitoreos realizados en la red geodésica - Chaquinal	42
Tabla 12. Clasificación de categorías y rangos de pendientes.....	48
Tabla 13. Superficie y porcentaje de los rangos de pendiente	49
Tabla 14. Coordenadas de las estaciones de monitoreo y desplazamientos.	51
Tabla 15. Desplazamientos efectivos de las estaciones de monitoreo.....	51
Tabla 16. Velocidad del movimiento de las estaciones de monitoreo.....	52

RESUMEN

En la parroquia Chaquinal existe un deslizamiento activo del terreno que ha ocasionado múltiples daños a las obras de infraestructura. Este deslizamiento representa para la comunidad una serie de riesgos sociales y económicos porque ha provocado la reubicación de los pobladores del lugar y la consecuente pérdida de sus bienes. Con la finalidad de conocer la dinámica del fenómeno y determinar sus respectivos vectores de velocidad y desplazamiento, se instaló en la zona de estudio una red geodésica de control horizontal y vertical. La red fue monitoreada periódicamente desde el mes de marzo hasta julio del 2016. La monitorización de la red se basó en técnicas topográficas, usando un GPS diferencial Trimble R6 de doble frecuencia. Los vectores de dirección y velocidad se determinaron mediante un análisis estadístico de los datos georreferenciados.

Según los resultados obtenidos el movimiento existente en el sector Chaquinal se clasificó como lento de clase 3. Las estaciones de monitoreo 2ch y 8ch registraron los valores más altos de velocidad (8.67 y 10.37 cm/mes respectivamente). En general la velocidad del deslizamiento es variable, aunque la parte más activa y la más afectada es la zona céntrica de la parroquia.

PALABRAS CLAVES:

Deslizamiento de laderas, monitoreo DGPS, red geodésica, velocidad de deslizamiento.

ABSTRACT

In the community of Chaquinal there is an active landslide caused strong damages in the local infrastructure. The landslide represents for the community series of social and economic risks and provoked the relocation of the locals as well as, consequently, the loss of their properties. In order to understand the dynamics of this phenomenon and to determine its velocity and displacement vectors, a geodesic network of horizontal and vertical control was installed in the study area. The network was monitored periodically from March to July 2016. The monitoring is based on surveying techniques using a differential GPS from Trimble R6 with dual frequency. The direction vectors and velocity are determined by statistical analysis of the geo-referenced data.

According to the results, the existing movement in the community of Chaquinal can be classified as slow class 3. The 2ch and the 8ch monitoring stations recorded the highest speed values (8.67 and 10.37 cm / month respectively). Overall, the scrolling speed is variable, although the most active and the most affected part is the central area of the community.

KEYWORDS: Landslides, DGPS monitoring, geodetic network, sliding speed.

INTRODUCCIÓN

Los deslizamientos de tierra o movimientos de ladera son considerados, después de los terremotos e inundaciones, como el tercer riesgo natural por número de víctimas (Ayala-Carcedo, 2002). Las consecuencias de los movimientos de ladera son catastróficas y devastadoras y cada año causan la pérdida de vidas humanas, daños a las obras de infraestructura, pérdidas económicas muy cuantiosas y en casos extremos la reubicación de comunidades completas (Suarez, 2012). Los movimientos de ladera se ocasionan por la presencia de una serie de factores condicionantes a la inestabilidad. Estos factores se clasifican en: intrínsecos que dependen de las características propias de la ladera y desencadenantes o externos que pueden activar y acelerar los deslizamientos. Los factores externos más significativos son la presencia de actividad sísmica, lluvias intensas y prolongadas, acciones antrópicas y procesos erosivos (Copons y Tallada, 2009; González de Vallejo *et al.*, 2002).

Según registros sobre movimientos en masa, el país mayormente afectado es Japón con una pérdida aproximada de 4 mil millones de dólares anuales, seguido por Estados Unidos, India e Italia con pérdidas entre 1 a 2 mil millones de dólares cada año (Aristizábal *et al.*, 2010). En términos de pérdidas humanas, el continente asiático registra el mayor número de víctimas. Los países más afectados son Nepal, Japón y China con 186, 170 y 140-150 víctimas mortales por año respectivamente. A nivel latinoamericano, Brasil con un promedio de 88 personas fallecidas anualmente, ocupa el primer lugar (Sidle y Ochiai, 2006).

Conocer la velocidad del movimiento en laderas inestables, es un aspecto muy importante, porque permite identificar el grado de peligro de un deslizamiento. A mayor velocidad de movimiento mayor será su potencial destructivo (Alcántara *et al.*, 2001). Por esta razón es particularmente importante el desarrollo de sistemas de monitoreo, que permitan determinar las velocidades del movimiento como también su comportamiento a largo plazo. En base a ello se puede establecer medidas correctoras o mitigadoras a tiempo, para reducir el nivel de riesgo de la población y prevenir futuros desastres (Zarate, 2011).

Entre los diversos métodos para el control del movimiento en laderas, se pueden diferenciar los topográficos convencionales como la triangulación, nivelación geométrica, nivelación trigonométrica, poligonación, teodolito de precisión, medición electrónica de distancias, etc. Estos métodos convencionales son válidos, fiables y dan buenos resultados (Tomás *et al.*, 2005). Sin embargo, en la actualidad, con los adelantos tecnológicos se han implementado otros métodos al control de movimientos y deformaciones como: las estaciones robotizadas de topografía, GPS diferencial (DGPS) y la Telemetría de Láser por Scanner (Galán-Martín *et al.*, 2011; Tomás *et al.*, 2005).

La aplicación de la técnica DGPS se ha concentrado fundamentalmente en el control de movimientos en presas, puentes, torres, diques de control, rascacielos y deslizamientos de laderas (Galán-Martín *et al.*, 2011). Este sistema constituye un método práctico, porque únicamente se debe conocer las coordenadas de un punto en función del tiempo (Zarate, 2011). Las condiciones meteorológicas adversas no representan un obstáculo para el buen funcionamiento del sistema. El uso del GPS de posicionamiento relativo estático no requiere tener visibilidad entre estaciones, y puede lograr precisiones con una exactitud milimétrica (Zhou *et al.*, 2005).

En Ecuador los deslizamientos de tierra constituyen una amenaza latente, que afecta a una gran parte del territorio ecuatoriano. Especialmente en época invernal, los eventos intensos de lluvias provocan cambios en la morfología del terreno causando deslizamientos (Aristizábal *et al.*, 2010). Algunos ejemplos desastrosos de este tipo de fenómenos ocurrieron en las provincias de Chimborazo (comunidad Paccha en junio del 2004, Sector las Moras en 1985, Guasuntos en 2000) y Azuay (La Josefina en marzo de 1993). Todos estos deslizamientos provocaron víctimas mortales y pérdidas económicas muy cuantiosas para el país (González, 2011).

La provincia de Loja no está a salvo de estos eventos, y año tras año se ha visto afectada por deslizamientos debido a su orografía con ramales montañosos. La afectación directa se evidencia en los daños a las obras de infraestructura, zonas de cultivo y vías de comunicación que provocan pérdidas económicas notables para los pobladores (González Sisalima, 2011).

En la parroquia Chaquinal, cantón Pindal, provincia de Loja, existe un gran deslizamiento activo que se originó en el año 1997 causado por el fenómeno “El Niño 1997/98”. Este evento “El Niño” fue el evento más fuerte durante el siglo pasado y duro 19 meses aproximadamente (Corporación Andina de Fomento [CAF], 2000). La situación se agudizó en el mes de junio del 2013 debido a la reconstrucción de la vía principal Alamor – Pindal, cuando las explosiones realizadas para la reconfiguración de la calzada del eje vial Nro. 2, provocaron fuertes vibraciones del terreno. Desde ese momento 100 viviendas se encuentran afectadas por el agrietamiento paulatino de la superficie (Sánchez, 2013), que afecta un área de 50 hectáreas aproximadamente. El movimiento continuo del terreno es casi imperceptible a simple vista, pero se puede evidenciar debido a los múltiples daños en las obras de infraestructura pública y privada (p.ej. grietas en las vías y en las paredes de las casas) que cada vez aumentan. Este deslizamiento representa para la comunidad una serie de riesgos sociales y económicos porque ha provocado la reubicación de los pobladores del lugar y la consecuente pérdida de sus bienes. Por ello, es necesario implementar en esta zona un sistema de monitoreo continuo que permita conocer la dinámica del fenómeno existente.

El propósito fundamental de este proyecto es diseñar e implementar una red geodésica de control horizontal y vertical con la técnica DGPS para la población de la parroquia Chaquinal. Con las coordenadas georreferenciadas obtenidas de cada uno de los puntos de la red y su desplazamiento durante el tiempo se elaboran mapas vectoriales de velocidad y dirección del deslizamiento. La monitorización de la red se basó en técnicas topográficas, usando un GPS doble frecuencia Trimble R6. Los vectores de dirección y velocidad se determinaron mediante un análisis estadístico de los datos georreferenciados. Para la generación de los mapas de velocidad y desplazamiento se utilizó un SIG.

Este trabajo se limitará a la dinámica del deslizamiento, referente a las componentes del movimiento y su velocidad en el tiempo, durante el periodo del monitoreo que se realizó entre marzo y julio del 2016.

El proyecto investigativo consta de cinco capítulos: En el primer capítulo se presenta los fundamentos de la teoría, se detalla la clasificación de los movimientos de ladera, conceptos fundamentales de geodesia y del GPS. En el segundo capítulo se caracteriza el área de estudio incluyendo clima, vegetación, relieve, geología y los antecedentes del deslizamiento existente. En el tercer capítulo se describen los materiales y equipos utilizados en el proyecto, y los programas aplicados para el análisis y procesamiento de los datos. En el cuarto capítulo se presenta la metodología empleada detallando el proceso del diseño y la construcción de la red geodésica. Además, se explica cómo se realizó el monitoreo con el GPS diferencial y el post-procesamiento de la información obtenida. El capítulo quinto presenta los resultados y el análisis de los mismos. El trabajo finaliza con conclusiones y recomendaciones del proyecto.

CAPITULO I
MARCO TEÓRICO

1.1. Movimientos de ladera.

Cada año los deslizamientos de tierra o movimientos de ladera causan deterioros en las propiedades por billones de dólares y cobran miles de víctimas humanas. Por esta razón son considerados como uno de los procesos geológicos más destructivos (Brabb y Hrrrod, 1989). Según Cruden (1991) el termino deslizamientos o movimientos de ladera incluye todos los movimientos de una masa de tierra, roca o escombros sobre una pendiente.

1.1.1. Clasificación de los movimientos de ladera.

1.1.1.1. Según el tipo de movimiento.

La clasificación de los movimientos de ladera (Tabla 1) se basa en la distribución propuesta en el libro “Ingeniería Geológica” de González *et al.* (2002). Las definiciones de los tipos de movimientos se han extraído de Suarez (2012) y Alcántara *et al.* (2001).

Tabla 1. Tipos de movimientos de ladera.

TIPO	DESCRIPCIÓN
Caídos o derrumbes.	Es aquella caída y desprendimiento de materiales desde una pendiente pronunciada. La característica principal de este movimiento es que el material que se desprende puede rodar, rebotar, o fluir ladera abajo (Suarez, 2012).
Flujos	Se denomina Flujo al desplazamiento de materiales ladera abajo, en donde sus partículas presentan movimientos relativos dentro de la masa que se mueve sobre una superficie de ruptura. Este movimiento es similar al de un líquido viscoso (Alcántara <i>et al.</i> , 2001).
Deslizamientos	Deslizamientos rotacionales: Es un tipo de deslizamiento cuya superficie de ruptura es cóncava, su movimiento es transversal al deslizamiento y rotacional respecto al eje de la superficie. Presenta agrietamientos cóncavos y concéntricos en la dirección del movimiento. Deslizamientos de traslación: En este movimiento la masa se desliza, pendiente abajo, sobre una superficie suavemente ondulada o plana
Expansión lateral.	Este movimiento se da generalmente en taludes con una pendiente baja, cuyo desplazamiento se produce en forma lateral. Son causados por el fenómeno denominado licuación en el que los materiales limosos y arcillosos, como consecuencia de las vibraciones ocasionadas por un sismo, adquieren el comportamiento de un fluido (Alcántara <i>et al.</i> , 2001).
Movimiento complejo	Se conoce como movimiento complejo cuando el tipo de movimiento inicial se transforma en otro movimiento de talud a medida que se va deslizando ladera abajo.

Elaboración: La autora

En la Tabla 2 se presentan algunas características, propuestas por González de Vallejo *et al.* (2002), que facilitan la identificación de los tipos de movimientos de ladera.

Tabla 2. Factores característicos para la identificación de movimientos de ladera

Tipo de movimiento	Zona de cabecera y parte superior de la ladera	Zona baja de la ladera	Geometría
Desprendimientos	Laderas irregulares y rocosas escarpadas con material suelto o derrubios en la parte superior. Bloques independizados por discontinuidades o fracturas. Grietas tras el talud. Vegetación escasa.	Acumulación de bloques y fragmentos rocosos	Pendientes elevadas >50°.
Deslizamientos rotacionales	Grietas de tracción curvas cóncavas hacia la ladera. Escarpes curvos con estrías, que pueden ser verticales en la parte superior. Superficies basculadas con encharcamientos. Contrastes de vegetación. Malas condiciones de drenaje y encharcamientos en depresiones	Depósitos convexos, lobulados. Desvío de cauces.	Pendientes entre 20-40° D/L < 0,3 a 0,1.
Deslizamientos traslacionales en rocas o suelos	Grietas de tracción verticales paralelas al talud. Escarpes verticales poco profundos. Material en bloques con grietas entre ellos. Sin encharcamientos en cabecera. Drenaje desordenado o ausencia del mismo.	Desvío de cauces. En ocasiones acumulaciones de material con forma de lóbulos.	Pendientes uniformes D/L < 0,1.
Desplazamientos laterales	Bloques desplazados y basculados en varias direcciones. Pendientes suaves o muy suaves. Grandes grietas separando los bloques. Bloques con formas irregulares controladas por fracturas. Sistemas de drenaje interrumpidos, obstrucciones en cauces, valles asimétricos.	—	Pendientes suaves, incluso < 10°
Flujos de barro	Nichos cóncavos poco profundos. Pocas grietas. Contrastes en la vegetación con las zonas estables. Encharcamientos. Sin irregularidades importantes en el drenaje.	Lóbulos. Morfología irregular ondulada.	Pendientes 15-25° D/L = 0,05-0,01.
Flujos de tierra y derrubios	Concavidades y lóbulos en el área fuente. Varios escarpes. Depósitos con forma de corriente en valles. Ausencia de vegetación. Drenaje irregular y perturbado en la masa deslizada.	Lóbulos, depósitos convexos. Morfología irregular.	Pendientes >25° D/L muy pequeño.

Fuente: González de Vallejo *et al.* (2002)

1.1.1.2. Según su actividad.

En la Tabla 3 se detalla de forma resumida la clasificación de deslizamientos según la actividad de los procesos.

Tabla 3. Clasificación de deslizamientos según su actividad

Clasificación y edad estimada	Descripción	Rasgos característicos
Activo < 100 años	Se mueve actualmente. Puede corresponder a una reactivación.	Topografía irregular y lobulada. Escarpe principal bien definido y sin vegetación. Depresiones encharcadas. Arroyos en los flancos. Depósitos a pie de ladera. Desvío de cauces.
Inactivo 100-5000 años (Holoceno superior)	No presenta movimiento actualmente	Relieve lobulado, escarpes vegetados en parte. Depresiones drenadas o sin drenaje. Vegetación diferente de las zonas adyacentes. El pie puede estar cortado por corrientes actuales.
Fósil o antiguo 5.000-10.000 años (Holoceno inferior)	Inactivo desde hace miles de años. Se reconoce en el relieve.	Relieve y escarpe suaves. Con vegetación. Drenaje modificado. Vegetación diferente de las zonas adyacentes. Terrazas fluviales cubiertas por la masa deslizada. Cauces actuales sobre la masa deslizada. Llanuras de inundación más anchas aguas arriba.
Relicto > 10.000 años (Pleistoceno superior)	Inactivo desde hace miles de años. No se reconoce en el relieve	Topografía suave y ondulada. Sin escarpes. Terrazas excavadas en la masa deslizada. Llanura de inundación actual uniforme.

Fuente: González de Vallejo *et al.* (2002)

1.1.1.3. Clasificación preliminar del territorio frente a potenciales movimientos de ladera.

En la Tabla 4 se muestra una clasificación preliminar de las condiciones de estabilidad, combinando factores condicionantes (litologías susceptibles, grado de pendiente de las laderas) y otros factores como la presencia de masas deslizadas (González de Vallejo *et al.*, 2002).

Tabla 4. Clasificación preliminar del territorio frente a potenciales movimientos de ladera

Presencia de movimientos y tipos de materiales		Pendiente		
		Muy baja (<10 %)	Baja-media (10°-20°)	Media-alta (>20°)
Sin movimientos activos o antiguos	Sustrato estable	Estable	Estable	Moderadamente estable
	Depósitos superficiales no susceptibles		Generalmente estable	
Con movimientos antiguos	Sustrato estable	Estable	Moderadamente estable	
	Sustrato susceptible	Generalmente estable	Moderadamente inestable	
	Depósitos superficiales susceptibles		Moderadamente inestable	Inestable
Con movimientos actuales o activos		Inestable	Inestable	

Fuente: González de Vallejo *et al.* (2002)

1.1.2. Factores influyentes en la inestabilidad de laderas.

Los movimientos de ladera se ocasionan por la presencia de una serie de factores condicionantes a la inestabilidad. Estos factores se clasifican en: intrínsecos y desencadenantes o externos (Copons y Tallada, 2009; González de Vallejo *et al.*, 2002).

- **Factores Intrínsecos:** aquellos factores que dependen de las características propias de las laderas como:
 - Su composición y textura.
 - Estructura de los materiales.
 - Orientación de las fracturas o grietas en el suelo.
 - Forma y geometría del terreno.
 - Propiedades geo mecánicas de los materiales.
 - Meteorización.
- **Factores desencadenantes o externos:** aquellos que pueden activar y/o acelerar los deslizamientos. Estos factores son responsables de la velocidad y la magnitud del movimiento, los más significativos son:
 - Presencia de actividad sísmica que produce cambios bruscos en la pendiente y provoca inestabilidad en la misma.
 - Cambios en las condiciones hidrológicas, presencia de lluvias intensas, o periodos de lluvias prolongados.

- Deforestación de los bosques.
- Erosión ocasionada por la naturaleza o por la actividad humana.
- Los cortes que se realizan para la construcción de carreteras, edificios, casas o para abrir canteras.
- Construcción de obras civiles en laderas con pendientes pronunciadas.
- Descarga descontrolada de aguas negras y lluvias.
- Vibraciones producidas por explosiones.
- Incendios forestales.

1.1.3. Consecuencias de un movimiento de ladera.

Entre las principales consecuencias generadas por un movimiento de ladera se pueden mencionar las siguientes:

- Pérdidas de vidas humanas
- Perdidas económicas
- Carreteras cortadas, que dejan pueblos incomunicados e imposibilita el inmediato acceso a la atención médica.
- Perdidas de cosechas presentes y futuras. Degradación de la fertilidad de los suelos.
- Disminución de la actividad económica a causa de la interrupción de las comunicaciones.
- Daños a las obras de infraestructura.
- Cañerías de agua y alcantarillas averiadas.
- Inundaciones por el desbordamiento de ríos y lagos
- Reubicación de la población.

1.1.4. Velocidad del movimiento en laderas inestables.

Conocer la velocidad del movimiento en laderas inestables es un aspecto muy importante, porque permite identificar el grado de peligro de un deslizamiento. A mayor velocidad de movimiento mayor será su potencial destructivo (Alcántara *et al.*, 2001).

Los movimientos extremadamente lentos constituyen un riesgo mínimo de pérdidas humanas y son casi imperceptibles sin la ayuda de equipos e instrumentos especializados, mientras que por el contrario los movimientos extremadamente rápidos pueden provocar catástrofes

de gran magnitud, incluyendo pérdidas de vidas humanas y la destrucción de pueblos completos (Suarez, 1998).

A continuación, se muestra la escala de velocidad de los movimientos de ladera adaptada de Cruden y Varnes (1996) y tomada de González de Vallejo et al. (2002) (Tabla5).

Tabla 5. Escala de velocidad de los movimientos de ladera (Adaptada de Cruden y Varnes, 1996)

Clase	Descripción	Velocidad (mm/seg)	Valores típicos	Daños probables
7	Extremadamente rápido			Violento y catastrófico. Destrucción de edificios por impacto de la masa deslizada. Número elevado de muertos.
		5×10^3	5 m/s	
6	Muy rápido			Es difícil escapar. Algunos muertos. Destrucción de edificios y estructuras.
		5×10^1	3 m/min	
5	Rápido			Es posible escapar. Destrucción de edificios y estructuras.
		5×10^{-1}	1.8 m/h	
4	Moderado			Algunas estructuras pueden mantenerse temporalmente
		5×10^{-3}	13 m/mes	
3	Lento			Pueden aplicarse medidas correctoras. Las estructuras y edificios pueden mantenerse.
		5×10^{-5}	1.6 m/año	
2	Muy lento			Las estructuras permanentes no resultan dañadas en general
		5×10^{-7}	16 mm/año	
1	Extremadamente lento			Imperceptible si no es con instrumentación. Es posible la construcción con precauciones.

Fuente: González de Vallejo *et al.* (2002)

1.2. Nociones básicas sobre geodesia.

1.2.1. Generalidades.

La geodesia es una ciencia que se encarga del estudio de las dimensiones, la forma y el campo gravitatorio de la Tierra. Esta ciencia constituye la base de la Cartografía y la Topografía. Desde el punto de vista práctico se puede establecer la siguiente división de la geodesia (García *et al.*, 2005):

- **Geodesia global:** se encarga de la determinación del tamaño, la forma y el campo gravitatorio de la Tierra, para lo cual se establecen redes geodésicas globales.

- **Geodesia regional:** abarca todas aquellas operaciones relacionadas con la obtención de coordenadas y del campo gravitatorio en una región determinada, dando lugar a las redes geodésicas continentales y nacionales.
- **Levantamientos topográficos:** en estos levantamientos se obtienen las coordenadas de puntos a partir de las redes nacionales, despreciando los efectos del campo gravitatorio.

Una de las mayores utilidades de la Geodesia es que mediante sus técnicas es posible representar extensos territorios cartográficamente. Este objetivo se logra mediante el establecimiento de una red de puntos de control ubicados por toda la superficie terrestre, de los cuales se obtendrán sus coordenadas y su elevación sobre el nivel del mar con una muy buena precisión (Rey, 1999). Con el establecimiento de esta red de puntos de control (vértices geodésicos) se cuenta con una estructura precisa, sobre la que podrán apoyarse futuros levantamientos.

1.2.2. Redes geodésicas.

Se denomina red geodésica al conjunto de puntos materializados sobre la superficie terrestre, entre los que se han efectuado observaciones de tipo geodésico, con la finalidad de conocer las coordenadas, su precisión y fiabilidad en términos relativos y absolutos respecto a un sistema de referencia previamente establecido (Aguilera Ureña, 2001). Las redes geodésicas pueden ser:

- **Redes planimetrías:** cuya finalidad es determinar coordenadas (x, y) de latitud y longitud.
- **Redes altimétricas:** con la finalidad de establecer la coordenada (z), es decir la altura sobre la superficie del geoide.
- **Redes tridimensionales:** este tipo de redes determinan de manera conjunta la altimetría y la planimetría.

1.3. Sistemas de coordenadas.

1.3.1. Definición.

Se conoce como sistema de coordenadas a la serie de reglas matemáticas que especifican o asignan la posición de un punto dentro de un marco de referencia.

1.3.2. Coordenadas geodésicas y geocéntricas.

Según Furones (2010), las coordenadas geodésicas son (Ver Figuras 1 y 2):

- **Longitud geodésica (λ):** es el ángulo medido entre el meridiano geodésico origen (Greenwich) y el meridiano geodésico del punto medido en el ecuador

- **Latitud geodésica (ϕ):** es aquel ángulo formado por el plano ecuador geodésico y la vertical geodésica del punto medido en el plano del meridiano local.
- **Vertical geodésica (h):** en un punto, es la línea perpendicular al elipsoide de revolución que pasa por ese punto.

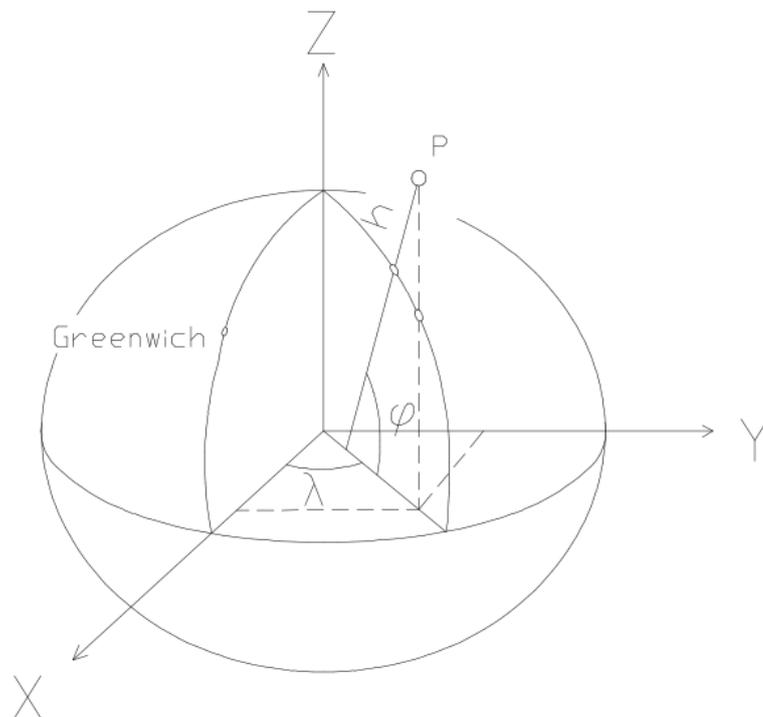


Figura 1. Coordenadas geodésicas
Fuente: García *et al.* (2005)

Las coordenadas geocéntricas, según Yagüe García (2010) se definen de la siguiente manera (Figura 2):

- **El Origen** es el núcleo de la Tierra que coincide con el centro de masas (geocentro).
- **El Eje Z**, es perpendicular al plano de los ejes (X, Y) y coincide con el eje de rotación
- **El Eje Y**, es el vector sobre el ecuador y en dirección al meridiano de referencia (Greenwich/ Inglaterra).
- **El Eje X**, es el vector sobre el ecuador, perpendicular a los ejes (Z, Y) y con sentido tal que forma una terna dextrógira.

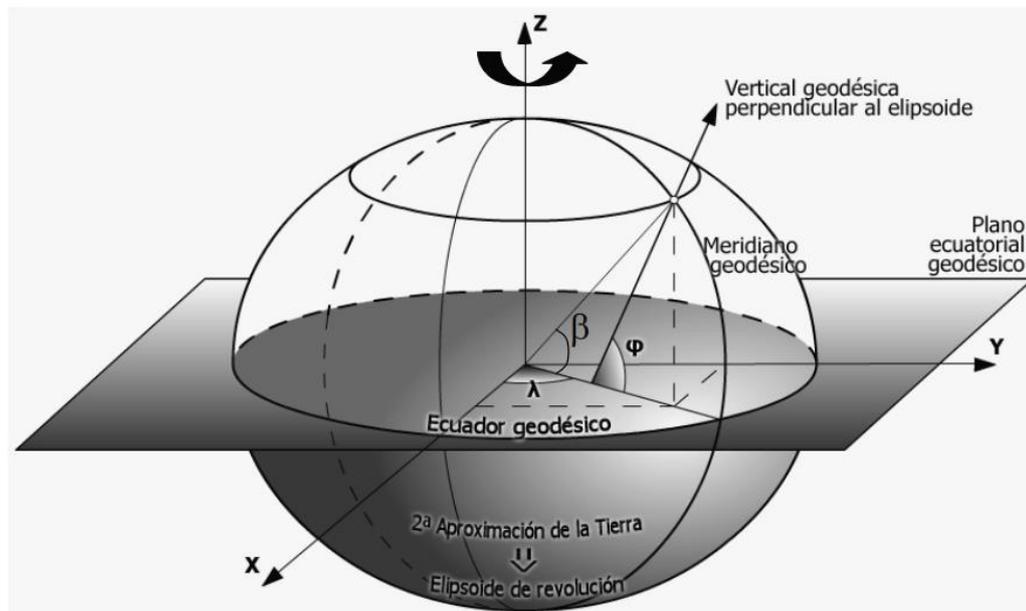


Figura 2. Coordenadas Geodésicas y Geocéntricas
Fuente: Furones (2010).

1.4. Sistemas de referencia geodésicos.

1.4.1. Conceptos básicos.

1.4.1.1. Definición de un sistema de referencia geodésico.

A partir de la posición de puntos conocidos en la red geodésica y sus cantidades geométricas (distancias y ángulos), se puede calcular las coordenadas de puntos desconocidos. Esto solo es posible si se especifica un sistema de referencia que incluya diversas constantes físicas, que permitan obtener valores geométricos mediante la transformación de las cantidades físicas medidas. En resumen, un sistema de referencia geodésico está conformado por una serie de parámetros que permiten asignar posición espacial a puntos a partir de unas coordenadas referidas al mismo, junto con una serie de constantes físicas que describen el modelo funcional de las observaciones (García *et al.*, 2005).

1.4.1.2. Datum geodésico.

Se denomina “datum geodésico” al conjunto de parámetros que permiten definir las constantes físicas, la orientación y la situación de un sistema de referencia geodésico (García *et al.*, 2005).

1.4.1.3. Marco de referencia geodésico.

Marco de referencia geodésico es un conjunto de puntos materializados y dotados de coordenadas respecto a un determinado sistema de referencia geodésico.

1.4.2. Sistemas de referencia geodésicos más comunes.

1.4.2.1. Sistema de referencia geodésico WGS-84.

El sistema WGS-84 (World Geodetic System 1984), es el Sistema de Referencia Geodésico utilizado para determinar las orbitas de los satélites de GPS y fue establecido por DMA (US Defense Mapping Agency). En el año 1957, con el lanzamiento de los primeros satélites, surgió la necesidad de establecer marcos y sistemas de referencia geodésicos globales para establecer sus orbitas. El primer Sistema de Referencia Geodésico Mundial fue el WGS-60 (World Geodetic System 1960), el cual fue modificado y mejorado gradualmente durante los años, estableciendo nuevos sistemas como el WGS-66, el WGS-72, y el WGS-84 que se utiliza en la actualidad.

El WGS-84 se estableció utilizando observaciones Doppler al sistema de satélites de navegación NNSS o Transit, de tal forma que se adaptara lo mejor posible a toda la Tierra.

García *et al.* (2005) caracterizan el sistema WGS-84 mediante los siguientes parámetros:

- **Origen:** es el núcleo de la Tierra, es decir el centro de masas.
- **El eje Z:** es paralelo a la dirección del polo CTP (Conventional Terrestrial Pole).
- **El eje X:** es la intersección del meridiano origen (Greenwich/ Inglaterra), y el plano del ecuador referido al CTP
- **El eje Y:** es el vector direccionado desde el núcleo y perpendicular a ejes X y Z formando una terna dextrógira.

1.4.2.2. Sistema de referencia terrestre internacional (ITRS).

El marco de referencia más preciso utilizado en la actualidad es el Marco de Referencia Terrestre Internacional (ITRF, de International Terrestrial Reference Frame). Este sistema fue establecido por el Servicio Internacional de la Rotación Terrestre (IERS, por sus siglas en inglés). El ITRF es la materialización o marco de referencia del Sistema de Referencia Terrestre Internacional (ITRS, de International Terrestrial Reference System), y se basa en 180 puntos los cuales se encuentran distribuidos uniformemente sobre la Tierra.

Según García *et al.* (2005) el ITRS está definido por:

- El origen coincide con el centro de masa de la Tierra (núcleo)
- La escala ligada a la unidad de medida en el SI (Sistema Internacional), es el metro
- La orientación de sus ejes fue establecida en el año 1984, por el BIH (Bureau International de L'Heure)

Las técnicas: VLBI (Interferometría de muy larga base), SLR (Medida láser a satélites), LLR (Medida láser a la luna), GPS (Sistema de Posicionamiento Global), Doris (Medidas Doppler Orbitales y Posicionamiento por Radio a Satélites), son técnicas de medición utilizadas para determinar las coordenadas de los puntos que conforman el ITRF (García *et al.*, 2005).

1.5. Red geodésica local.

1.5.1. Red Nacional GPS del Ecuador (RENAGE).

La Red Nacional GPS del Ecuador (RENAGE) constituye la densificación del Marco Geocéntrico de Referencia Nacional, a través de 135 estaciones pasivas, materializadas a nivel nacional por mojones de concreto con una referencia física en el centro establecida por medio de una placa de aluminio (referencia a la cual fueron calculadas las coordenadas oficiales) y su correspondiente descripción. Todas las actividades relacionadas al desarrollo nacional en el campo de cartografía, geodesia, topografía, geofísica, demarcación, prospección minera y petrolera, obras de ingeniería, entre otros, se basan en esta red y su infraestructura. Sin embargo, con el desarrollo tanto urbanístico como vial se han perdido o destruido algunos puntos de control fijo (puntos pasivos). Esto reduce significativamente la cantidad de puntos ajustados y acorta las posibilidades de obtener un punto de control cercano al área de trabajo (GeoPortal del Instituto Geográfico Militar-Ecuador, s.f).

1.5.2. Red GNSS de monitoreo continuo del Ecuador (REGME).

La Red GNSS de monitoreo continuo del Ecuador (REGME) constituye una gran infraestructura geoespacial. Esta red fue establecida en el año 2008 gracias al apoyo de instituciones privadas y públicas. Su instalación y configuración se desarrolló bajo estándares nacionales e internacionales definidos por el Instituto Geográfico Militar (IGM).

Las estaciones permanentes se encuentran enlazadas a la red RENAGE y reciben datos GNSS (GPS+GLONASS) las 24 horas del día, los 7 días a la semana y los 365 días del año, proporcionando información necesaria para realizar el procesamiento diferencial de información GNSS. En la actualidad la REGME está compuesta por 33 estaciones permanentes (Figura 3) distribuidas a nivel nacional.

La REGME genera archivos diarios en formato RINEX 2.11 (O y N), con un intervalo de grabación de 30 segundos de cada estación y sus correspondientes coordenadas (SIRGAS 95, ITRF 94) contenidas en las fichas técnicas. Esta información se encuentra a la disposición de todas las empresas e instituciones Públicas y Privadas del país (GeoPortal del Instituto Geográfico Militar-Ecuador, s.f).

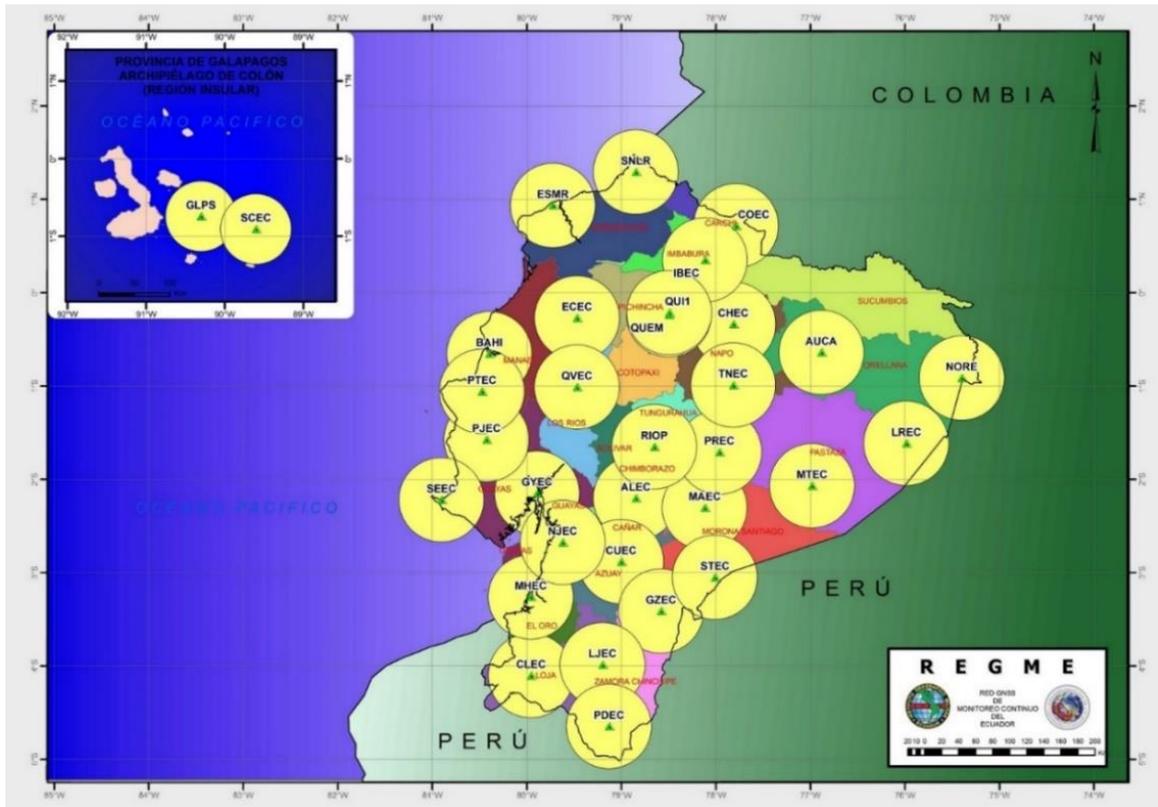


Figura 3. Red GNSS del Ecuador.
 Fuente: GeoPortal del Instituto Geográfico Militar-Ecuador (s.f.)

1.6. Sistema de posicionamiento Global (GPS).

1.6.1. Definición.

El GPS (Sistema de Posicionamiento Global) constituye un sistema de localización por satélites, utiliza conjuntamente una constelación de 24 satélites y una red de ordenadores para determinar por triangulación las coordenadas precisas de un punto sobre la superficie de la Tierra. El GPS fue desarrollado por el Departamento de Defensa de los Estados Unidos y diseñado para proporcionar estimaciones precisas de tiempo, velocidad y posición con fines militares (Ayala y Hasbun, 2012).

El GPS está compuesto por tres segmentos, el segmento espacial o constelación NAVSTAR, el segmento de control y el segmento de usuario.

1.6.2. Componentes del sistema.

1.6.2.1. Segmento espacial.

El segmento espacial está formado por 24 satélites operativos que orbitan la Tierra a 20,200 km de altitud. Estos satélites están distribuidos en seis planos orbitales de cuatro satélites cada uno. Dos de las orbitas forman un ángulo de 55° con el Ecuador, una se encuentra a nivel del Ecuador, y tres orbitas son polares y equidistantes entre sí. Debido a esta distribución, es posible recibir la señal de al menos cuatro satélites desde cualquier punto en

la superficie terrestre. Para su funcionamiento adquiere la energía eléctrica de dos paneles solares, de 7.25 m² de superficie, que se encuentran adosados a sus costados. El ciclo orbital es de aproximadamente 12 horas (Ayala y Hasbun, 2012).

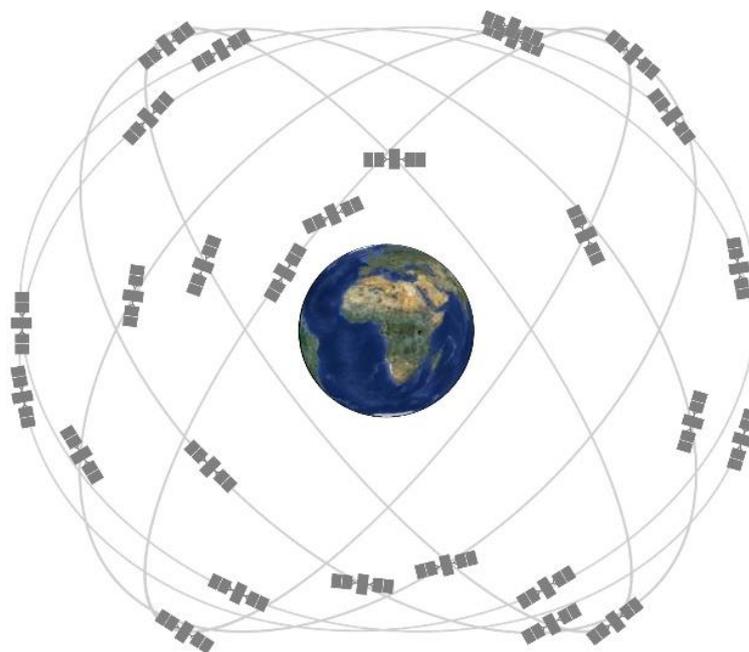


Figura 4. Segmento espacial
Fuente: GPS.gov (s.f.)

Los satélites transmiten información en dos ondas portadoras en la banda L (utilizada para transmisiones de radio) con una frecuencia de 10.23 Mhz. La portadora L1 es modulada por dos códigos: el Código de Adquisición Gruesa (C/A) y el Código de Precisión (P). La portadora L2 es modulada únicamente por el Código de Precisión (P) (Wolf y Ghilani, 2009). También llevan relojes atómicos a bordo para definir exactamente el tiempo. Eso es necesario para determinar la hora precisa cuando los satélites se encuentran sobre cierto punto de la Tierra.

1.6.2.2. Segmento de control.

El Segmento de Control es el encargado de la operatividad y funcionamiento del GPS y está formado por cinco estaciones. La estación principal está ubicada en Colorado Springs y las estaciones secundarias en Ascensión, Hawaii, Diego García y Kwajalein (Figura 5)

Las cinco estaciones están dotadas de receptores doble frecuencia (L1 y L2) realizan un seguimiento de todas las señales GPS con el objeto principal de controlar las órbitas de dichos satélites y predecir sus efemérides. Las posiciones geodésicas de estas estaciones son conocidas con un grado de precisión elevado. La estación principal es responsable de posibles maniobras orbitales o sustitución de los satélites GPS (Berrocoso *et al.*, 2003).

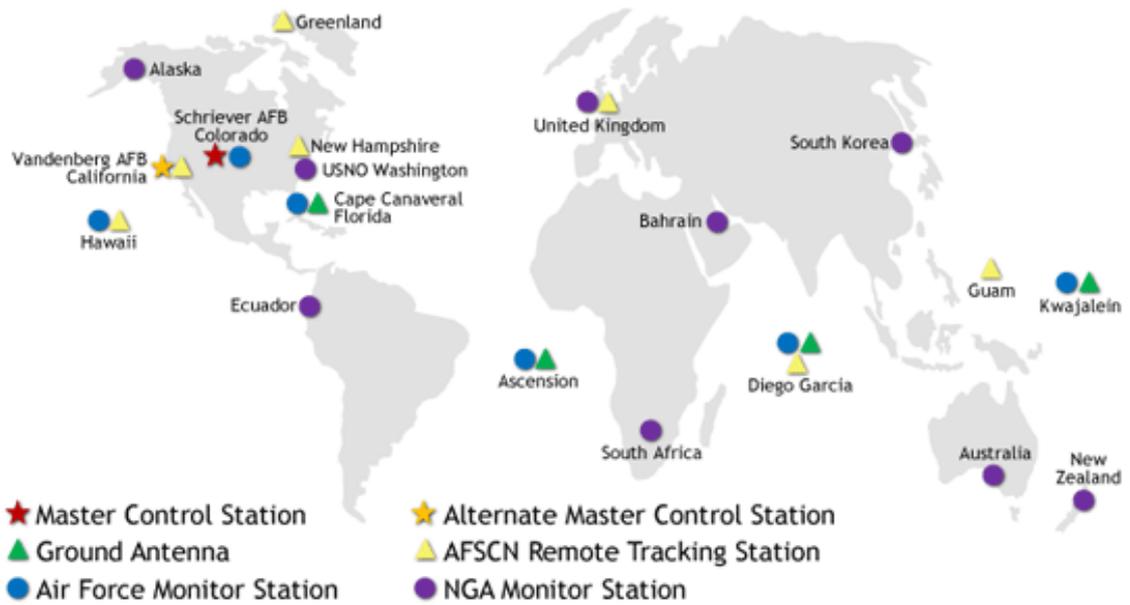


Figura 5. Segmento de control
 Fuente: GPS.gov (s.f.)

1.6.2.3. Segmento de usuario.

El segmento de usuario está conformado por todos los equipos receptores de las señales GPS (Figura 6). El diseño de los equipos receptores es diferente según la aplicación requerida (geodesia, geofísica, navegación terrestre, marítima, aérea y espacial).

Un equipo receptor GPS está diseñado para recibir y procesar señales de satélites de la constelación NAVSTAR, de manera secuencial o simultánea, para calcular la hora precisa y la posición en tres dimensiones de un punto sobre la Tierra. Un receptor GPS consta de una antena con preamplificador, dispositivos de almacenamiento de datos, un procesador de la señal recibida con el software correspondiente, oscilador atómico interno o externo y sensores meteorológicos (Berrocoso *et al.*, 2003).



Figura 6. Segmento de usuario
 Fuente: Yasel (2015).

1.6.3. Cómo funciona el sistema GPS.

Para calcular la posición en la que se encuentra un punto en la superficie terrestre, es necesario determinar la distancia a un conjunto de satélites cuya posición es conocida. Los requisitos para obtener la posición de un punto usando los satélites de la constelación NAVSTAR se detallan a continuación (Olmedillas, 2012):

- Contar con un conjunto de satélites (mínimo cuatro), a los cuales se les medirá la distancia desde el punto materializado en la superficie terrestre.
- Conocer, en cualquier instante de tiempo, la posición de cada satélite.
- Determinar un sistema de coordenadas, en el que se establecerán las posiciones del receptor y de los satélites.
- Contar con un sistema preciso que permita calcular las distancias de los satélites al receptor, para lo cual se utilizan señales de radio que son transmitidas por los satélites hacia la superficie terrestre.

1.6.4. Aplicaciones GPS.

En un inicio las aplicaciones del Sistema de Posicionamiento Global eran únicamente militares, posteriormente en vista de su gran utilidad el senado de los Estados Unidos autorizó el uso del sistema para la navegación civil.

El GPS constituye un sistema de navegación gratuito y fiable, que ha permitido la creación de diversas aplicaciones. En la actualidad se utiliza el GPS aparte de la navegación terrestre, aérea, y marítima, para la sincronización cronométrica del tiempo en sectores como: la construcción, la agricultura, la topografía, la minería, la entrega de paquetes, sistemas bancarios, mercados financieros, y redes de energía. En actividades relacionadas con la cartografía, geodesia, topografía y geodinámica es indispensable el uso del GPS, porque esta tecnología aumenta la productividad y genera datos mucho más fiables y precisos. Además, los organismos de socorro y emergencia utilizan el GPS para salvar vidas coordinando la hora y la localización exacta para la entrega de material de ayuda en casos de desastres. Este sistema también contribuye a la comunidad científica porque permite el monitoreo de terremotos, la predicción del tiempo y protección del medio ambiente (GPS.gov, s.f).

Las aplicaciones militares se concentran básicamente en la aviación, operaciones navales, fuerzas terrestres, y lanzamiento de armas (misiles auto guiados). En fin, el uso de la tecnología GPS permite trabajar de forma más segura, eficiente y precisa en casi todos los aspectos y actividades relacionadas con la vida moderna.

1.6.5. Métodos de posicionamiento GPS.

Los métodos para determinar la posición, empleando un GPS, se pueden clasificar en función de la precisión requerida y el propósito de la medición (Gili *et al.*, 2000; Farjas Abadía, 2010):

Según el número de receptores utilizados:

- Autónomo: también es conocido como posicionamiento absoluto y constituye la técnica de posicionamiento más sencilla utilizada por los receptores GPS. Este sistema opera únicamente con un receptor simple basado en medidas de código y la precisión que se obtiene es de 30 a 40 m (Leica, s.f).
- Relativo o diferencial: Este procedimiento es conocido como DGPS (Differential GPS), y requiere la operación simultánea de dos o más receptores basados en código. Un receptor de referencia ocupa una estación base cuyas coordenadas son conocidas y el otro receptor o receptores móviles son instalados en estaciones, cuyas coordenadas son desconocidas (Gili *et al.*, 2000; Wolf y Ghilani, 2009). Como el receptor de referencia, se encuentra ubicado en un sitio con coordenadas conocidas, se pueden determinar los errores de las pseudo-distancias. Debido a que los receptores base y móvil se encuentran relativamente cerca los errores de las pseudo-distancias de ambos tendrán casi la misma magnitud. Las correcciones calculadas para cada uno de los satélites visibles en el receptor de referencia, permiten reducir o eliminar la mayoría de los errores producidos en las observaciones con receptores móviles (Wolf y Ghilani, 2009). Este método es utilizado en todas las aplicaciones que requieran una alta precisión (Gili *et al.*, 2000).

Según el movimiento del receptor:

- Los monitoreos pueden ser cinemáticos, estáticos o una combinación de ambos.

Según el momento de la obtención de coordenadas:

- Tiempo real: se obtiene la posición del punto directamente en el campo (Ver figura 7).

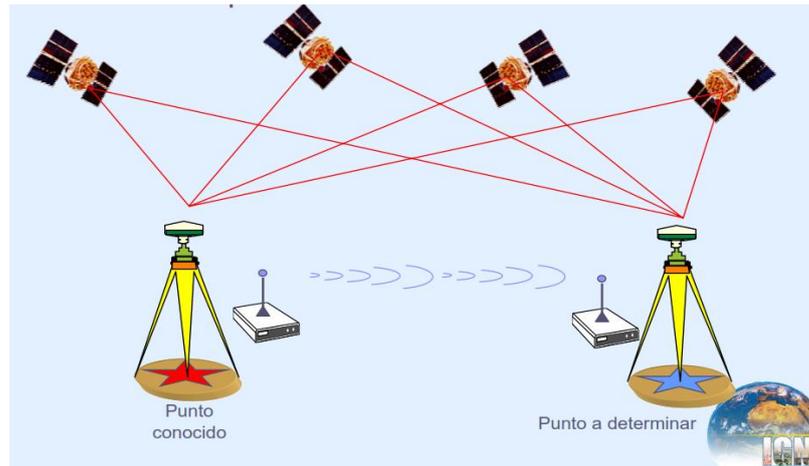


Figura 7. Corrección en tiempo real
 Fuente: Sánchez Sobrino (2010)

- Post proceso: se obtiene la posición del punto mediante la aplicación de un software especial (con algoritmos apropiados de promedio de tiempo, filtros y ajustes de red) para determinar las coordenadas con la más alta exactitud (Gili *et al.*, 2000). Este procedimiento es utilizado en trabajos de alta precisión (Figura 8).

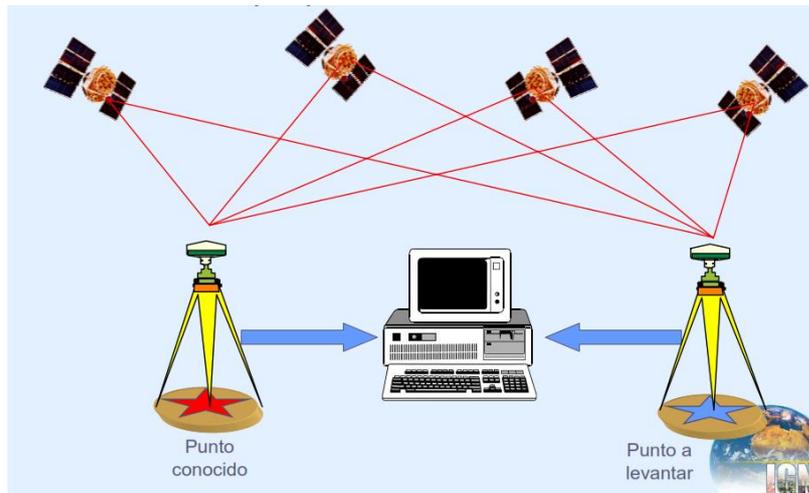


Figura 8. Corrección en post proceso
 Fuente: Sánchez Sobrino (2010)

CAPITULO II
ÁREA DE ESTUDIO

2.1. Ubicación geográfica y límites.

La Parroquia Chaquinal está ubicada en las estribaciones de la cordillera de los Andes, al suroeste de la república del Ecuador, en la provincia de Loja, cantón Pindal, junto a la vía primaria E-25 tramo Alamor – Pindal (Figura 9). El nombre de la parroquia se le atribuye, según sus pobladores, a una planta de nombre Chaquino traída por migrantes peruanos.

Administrativamente la parroquia Chaquinal limita al Norte con la parroquia Alamor (del cantón Puyango), al Sur con la parroquia San Juan de Pózul y la parroquia Celica (del Cantón Celica), al Este con las parroquias Celica y Alamor, y al Oeste con las parroquias 12 de Diciembre y Alamor.

La zona de estudio comprende la cabecera parroquial de Chaquinal y cubre un área de 50 hectáreas aproximadamente. El acceso se lo realiza desde la ciudad de Loja tomando la vía Troncal de la Sierra E-35, en dirección este-oeste hasta llegar al sector El Empalme. En este sitio se gira levemente a la derecha con dirección a la vía colectora E-68 (El Empalme-Celica-Alamor), al llegar a la ciudad de Alamor se encuentra la Y de Balsones que bifurca el camino hacia Pindal y hacia Arenillas, se toma la vía Troncal de la Costa E-25, tramo Alamor-Pindal, y se continua unos 4.6 km hasta llegar a la parroquia Chaquinal, que se encuentra a la izquierda de la vía.

Para acceder a la zona de estudio desde la ciudad de Zapotillo se toma la vía primaria E-25 tramo Zapotillo-Alamor y se continúa hacia el norte unos 61.7 km hasta llegar a la parroquia Chaquinal.

En la Tabla 6 se muestra la ubicación de las coordenadas que delimitan el área de estudio, mismas que están referenciadas en el datum UTM WGS-84 Zona 17S.

Tabla 6. Coordenadas que delimitan el área de estudio

N°	COORDENADAS		
	X	Y	Z
P1	607237.260	9553199.930	771.426
P2	606563.752	9552785.462	797.695
P3	606735.609	9552506.191	864.701
P4	607409.120	9552920.660	832.409

ELABORACIÓN: La autora

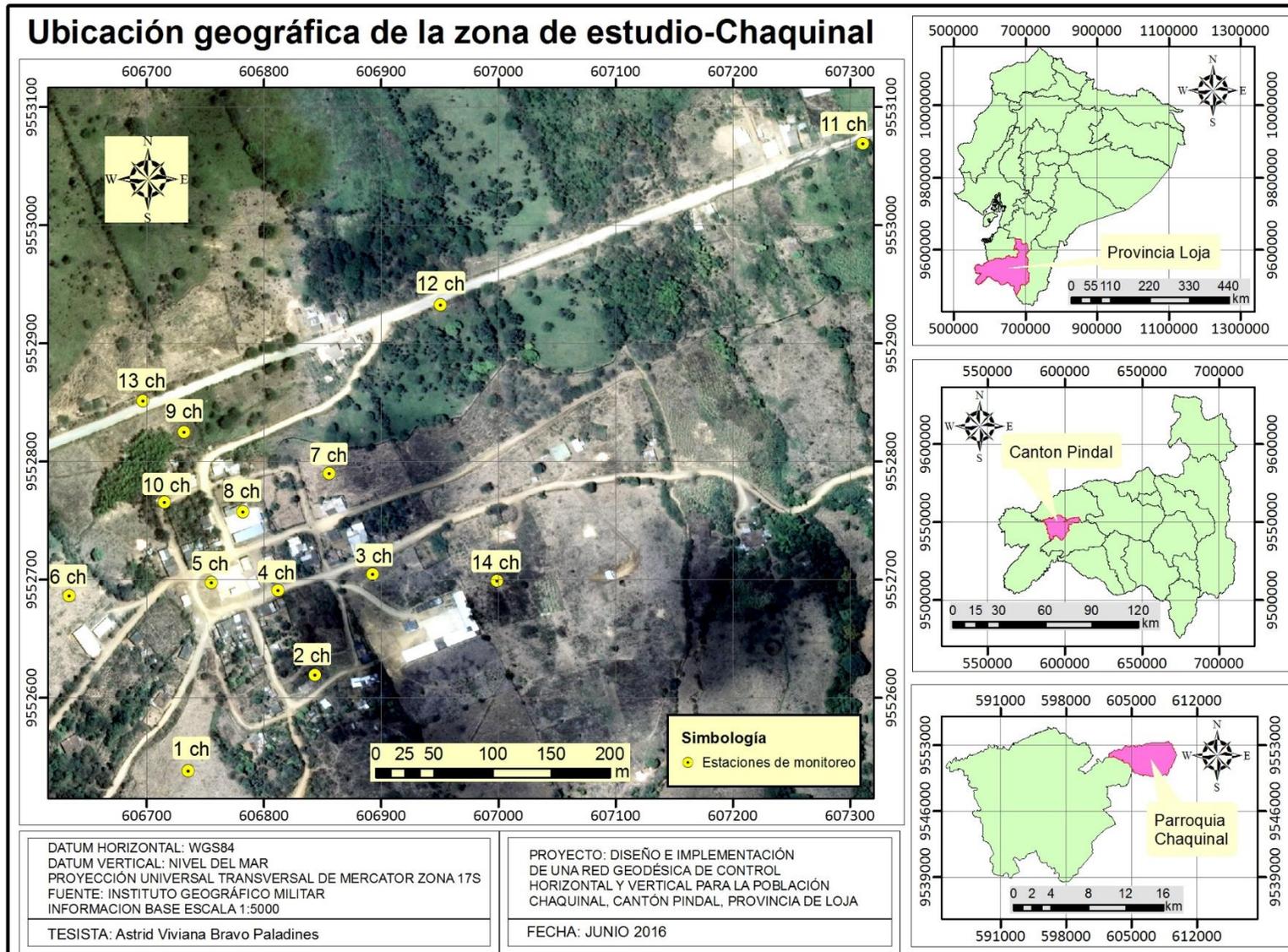


Figura 9. Mapa de ubicación geográfica de la zona de estudio - Chaquinal
 Elaboración: La autora

2.2. Clima y vegetación.

Los elementos meteorológicos más relev.antes para caracterizar el clima son la precipitación, la temperatura y la humedad atmosférica. Factores como el relieve, la altitud y latitud también afectan las condiciones climáticas.

La estación Pluviométrica del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI) **M0435 Alamor** constituye la estación representativa de la zona de estudio, ubicada en las coordenadas UTM 17S N 9°555.751, E 607.925, a una altura de 1250 m.s.n.m. Esta estación ha registrado datos de precipitación desde el año 1964 hasta la actualidad. Según los registros existe una sola temporada lluviosa entre los meses de diciembre y mayo, con una concentración del 90% de la lluvia anual entre los meses de diciembre y abril. La precipitación media anual es de 1360 mm y la temperatura media anual del sector es de 24° C. Estas condiciones clasifican el clima del área de estudio como tropical húmedo megatérmico (Secretaria de Gestion de Riesgos, 2013).

La vegetación de la parroquia Chaquinal muestra una fuerte influencia antropogénica. Predominan en esta zona pastizales, matorrales, bosque intervenido, vegetación herbácea y arbustiva, cultivos de ciclo corto (p. ej. guineo, frejol, camote, zarandaja, zapallo, yuca, naranja, mandarina, aguacate, papaya), cultivos anuales (p. ej. maíz, caña de azúcar y café), cultivo de hortalizas (p. ej. lechuga, acelga, perejil, col), y plantas medicinales (p.ej. manzanilla, hierva luisa, menta).

2.3. Relieve.

El aspecto más importante del relieve en la región es una pequeña cadena montañosa nombrada “Contrafuerte Cabeza de Toro” que forma la cabecera de los principales sistemas hidrográficos de la zona. Esta cadena montañosa alcanza los 3100 m.s.n.m., al noreste de la ciudad de Célica, denominada localmente “Cordillera de Guachanamá” (Secretaria de Gestion de Riesgos, 2013).

Las condiciones locales de la topografía se determinan en base al mapa topográfico elaborado por la constructora IPHC CONASTIAM en el año 2015, el cual contiene curvas de nivel a cada metro (Figure 10). En el área del estudio la altura del terreno varía ligeramente entre 739 m.s.n.m. y 874 m.s.n.m.

Las pendientes de las laderas son moderadas (15-25%) por lo que se clasifica como terreno ondulado. Los lugares relativamente planos se utilizan para actividades agrícolas, específicamente para cultivos de maíz, frejol y caña de azúcar, mientras que los lugares más altos son utilizados para actividades ganaderas.

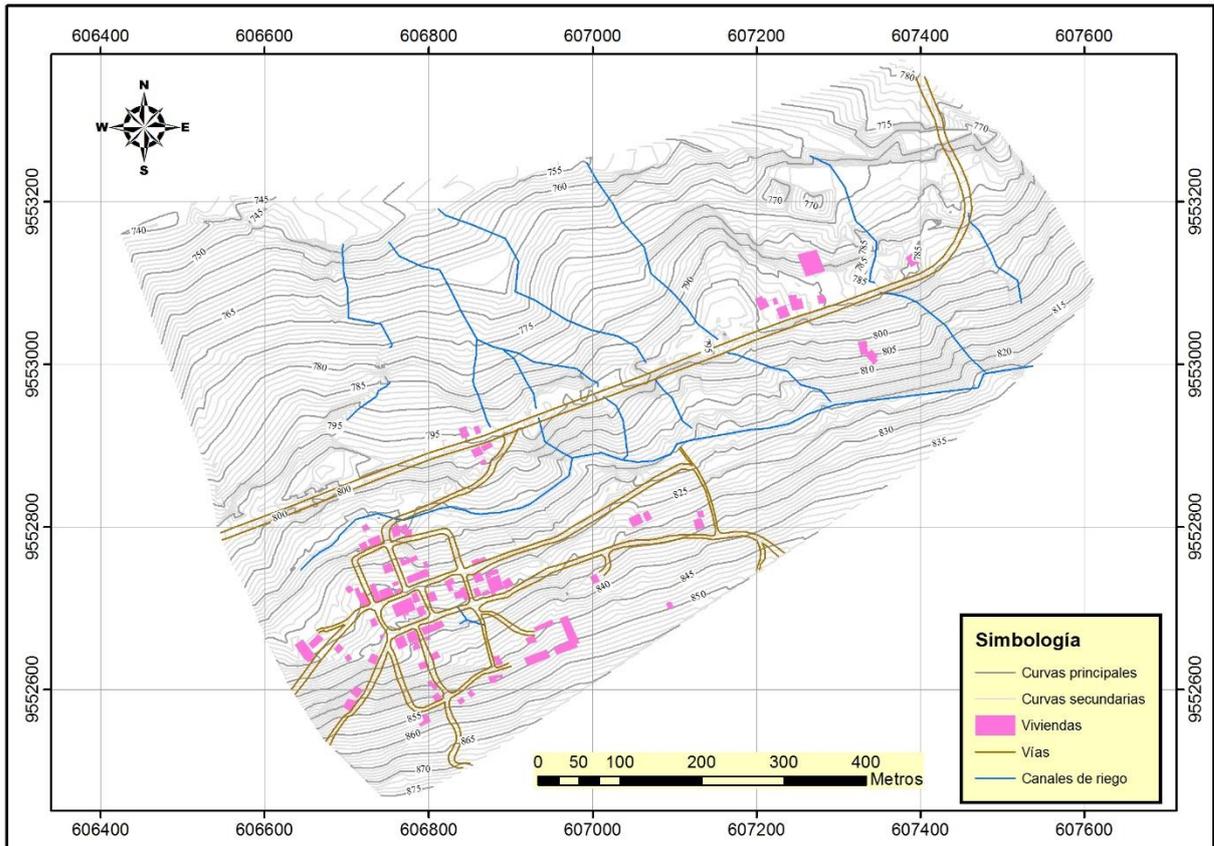


Figura 10. Mapa topográfico de la zona de estudio
Fuente: IPHC CONASTIAM (2015).

2.4. Geología.

La parroquial Chaquinal se localiza en una zona geológica conocida como Cuenca Cretácica de Lancones-Celica o Alamor-Lancones que continua hacia el Norte del Perú. La cuenca de origen marino epicontinental de edad cretácica contiene rocas sedimentarias del Grupo Alamor (conformado por las formaciones Piñon, Zapotillo-Alamor, Ciano-Alamor) que se encuentra sobre una base de rocas volcánicas-clásticas de la formación Celica (Secretaría de Gestión de Riesgos, 2013) (Figura 11).

El área de estudio esta principalmente conformada por las rocas sedimentarias con rocas volcánicas intercaladas (Figura 11). La textura de los sedimentos es de material fino laminado como lutitas, limolitas, limos. Las rocas volcánicas consisten en lavas andesíticas y piroclastos (tobas, conteniendo fragmentos líticos, vítrios y cristales de diámetros métricos) las cuales representan una gran parte del material materno, los suelos residuales, en esta zona (Benavides, 2013).

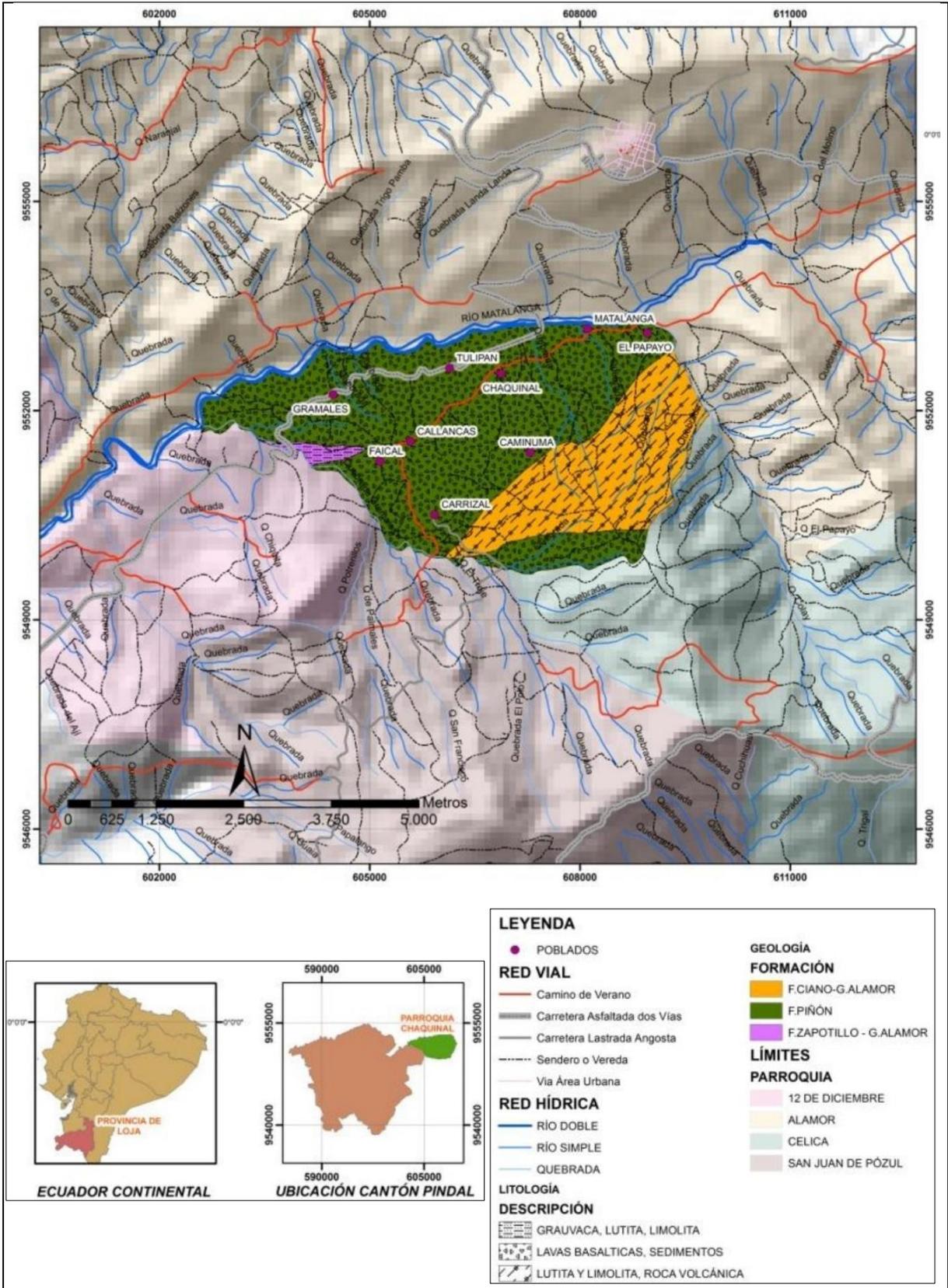


Figura 11. Mapa geológico parroquia Chaquinal
 Fuente: Gobierno Autónomo Descentralizado de la Parroquia Chaquinal [GAD Chaquinal] (2015).

2.5. Deslizamiento existente en Chaquinal.

2.5.1. Antecedentes.

Con la finalidad de constatar los daños ocasionados por el deslizamiento del terreno y plantear alternativas de solución al problema, se han realizado las siguientes inspecciones técnicas en la parroquia Chaquinal (Benavides, 2013):

- Febrero de 1998, informe de la comisión a los cantones Puyango y Pindal. Suscrito por el Ing. Fernando Torres Duran, Ing. Hildo Napoleón Ordoñez, Ing. Ángel Paredes y voluntarios EDAN.
- Mayo 1998, informe de la comisión a Celica y Chaquinal. Suscrito por el Ing. Fernando Torres Duran. Subcomisión Ecuatoriana PREDESUR.
- Mayo 1998, informe sobre la visita de reconocimiento geológico a la zona de Chaquinal, cantón Pindal, provincia de Loja. Suscrito por el Ing. Eduardo Aguilar Ortiz. Escuela Politécnica del Ejército.
- Febrero de 2010, informe de comisión a la Parroquia Chaquinal. Elaborado por el Ing. Mario Benavides Rojas. Técnico UPGR-L.

Ordoñez (1998) señala que el área de estudio está seriamente afectada por múltiples agrietamientos que han colapsado y afectado a varias viviendas, el jardín de infantes, la casa parroquial, la iglesia, la plaza central, etc. Estos problemas posiblemente se deben a la falta de estudios para realizar la apertura de la nueva vía Pindal-Alamor-Arenillas. Además, no se consideró el potencial deslizamiento sobre el cual se encuentra la población de Chaquinal y se debilitó su base con la detonación de un bloque de grandes dimensiones, ubicado en el tramo de vía que pasa al pie de Chaquinal. Además el proceso de construcción del sistema de alcantarillado del I. Municipio de Pindal acentuó las fallas, puesto que la construcción no tuvo continuidad y los procesos constructivos no fueron los aceptables, dejándose zanjas abiertas y rellenos mal compactados. Adicionalmente la acumulación de aguas superficiales producto de la gran pluviosidad, contribuyó para que las grietas por efectos de la infiltración del agua, se dilaten más.

2.5.2. Naturaleza del problema.

La parroquia Chaquinal se ha desarrollado en una zona de pendientes inestables originadas por la propia naturaleza geológica que está constituida por suelos residuales. Una de las características particulares de este tipo de suelos es su tendencia a absorber grandes volúmenes de agua, en cuyo caso se presenta una sensible disminución de sus propiedades resistentes, generando de esta manera la formación de capas de deslizamiento que se desplazan en sentido de la pendiente (Aguilera, 1998).

Según Benavides (2013) los factores que contribuyeron a la desestabilización del terreno sobre el que se encuentra la población de Chaquinal son los siguientes:

- Las cargas externas originadas por las filtraciones de lluvias intensas relacionadas con el fenómeno “El Niño 1997/98”.
- Los trabajos realizados en la apertura de la nueva vía Pindal-Alamor-Arenillas, utilizando explosivos para los cortes de los taludes.
- El empleo de una gran cantidad de explosivos para la construcción del sistema de alcantarillado de la parroquia.
- En Junio del año 2013, se utilizaron explosivos al realizar la excavación para la reconfiguración de la calzada del eje vial Nro. 2 tramo Y de Alamor-Pindal. Esta técnica ha provocado que el movimiento en masa se reactive por las siguientes consideraciones:

Los explosivos utilizados generaron una onda expansiva muy amplia, provocando agrietamiento en la zona y desestabilización del macizo rocoso. Al realizar los cortes para la reconfiguración de la calzada necesariamente se dejan esfuerzos libres de la ladera, lo cual unido al peso del terreno, peso de la humedad y peso de las viviendas, por efectos de la fuerza de gravedad se deslizará, provocando perjuicios a la población ubicada en la parte alta.

CAPITULO III
EQUIPOS Y MÉTODOS

3.1. Equipos.

Existen dos tipos de receptores GPS (Sistema de Posicionamiento Global): los receptores de doble frecuencia que registran las frecuencias L1 y L2, y los receptores mono-frecuencia que registran únicamente la frecuencia L1. Los receptores de doble frecuencia se prefieren porque permiten la recolección de datos de una manera más rápida y eliminan los errores producidos por la refracción ionosférica. Además, pueden medir líneas base de hasta 150 km con una buena exactitud (Wolf y Ghilani, 2009). Estos receptores pueden alcanzar precisiones elevadas de $5\text{mm} + 1\text{ ppm}$, a diferencia de los receptores mono-frecuencia, cuya precisión es de $1\text{ cm} + 2\text{ ppm}$ (Farjas Abadía, 2010). El GPS de doble frecuencia trabaja en post procesamiento o en tiempo real y es utilizado generalmente en trabajos topográficos, geodésicos, redes de control fotogramétrico y control de desplazamientos.

Para monitorizar las estaciones de la red geodésica, se empleó un GPS Trimble R6 de doble frecuencia que consta de un controlador y dos receptores (Ver figura 12). Los receptores Trimble R6 proporcionan 72 canales para seguimiento por satélite, y soporte de registro de las observaciones a un controlador para aplicaciones de post procesamiento (Trimble Navigation Limited Engineering and Construction group, 2009).



Figura 12. Controlador y receptor del equipo GPS Trimble R6
Elaboración: La autora

Las anomalías debidas a errores por obstrucciones, condiciones atmosféricas, trayectoria múltiple y geometría de los satélites, limitan de cierta forma la confiabilidad y precisión del equipo. Por ello se recomienda instalar los equipos en una zona amplia y despejada, para

disminuir los errores provocados por interferencias electromagnéticas o por trayectoria múltiple (Trimble Navigation Limited Engineering and Construction group, 2009). En la Tabla 7 se describen las especificaciones de posicionamiento del equipo GPS Trimble R6.

Tabla 7. Especificaciones de posicionamiento

Característica	Especificación
Posicionamiento diferencial GPS de código	
Horizontal	$\pm 0.25 \text{ m} + 1 \text{ ppm}^1$
Vertical	$\pm 0.50 \text{ m} + 1 \text{ ppm}$
Medición GPS Static y FastStatic	
Horizontal	$\pm 5 \text{ mm} + 0.5 \text{ ppm}$
Vertical	$\pm 5 \text{ mm} + 1 \text{ ppm}$
Medición cinemática	
Horizontal	$\pm 10 \text{ mm} + 1 \text{ ppm}$
Vertical	$\pm 20 \text{ mm} + 1 \text{ ppm}$

Fuente: Trimble Navigation Limited Engineering and Construction group (2009).

Adicionalmente se utilizó una base nivelante con plomada óptica y un trípode, para garantizar la verticalidad del receptor instalado en la estación base.

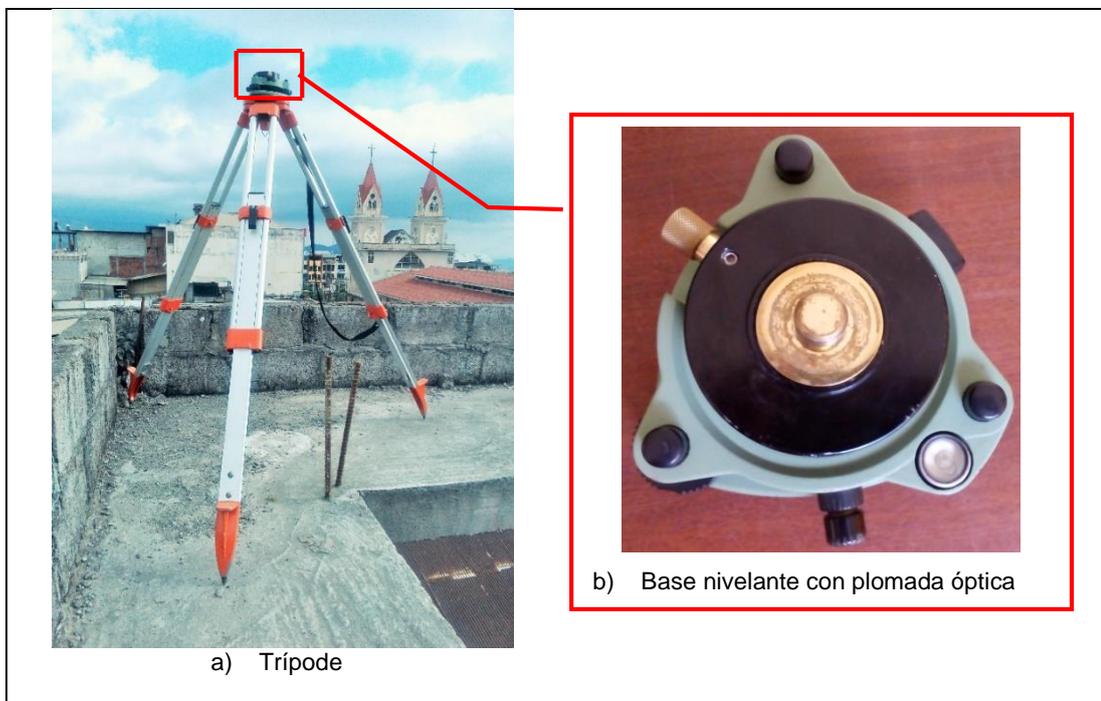


Figura 13. Trípode y base nivelante con plomada óptica.
Elaboración: La autora.

¹ 1 ppm: significa una parte por millón, es decir un milímetro adicional por kilómetro de base línea

3.2. Materiales.

3.2.1. Materiales de campo.

Para la monumentación de las estaciones de la red geodésica sobre el terreno, se utilizaron dos tipos de marcas. La primera marca consistió en la instalación de un tornillo acondicionado sobre construcciones existentes tales como aceras, bordillos, casas y canchas de uso múltiple; la segunda marca fue la construcción in situ de mojonos de hormigón.

- Los materiales que se utilizaron para la instalación de la primera marca fueron: un taladro portátil, un tornillo, cemento y arena fina.
- Para la construcción de la segunda marca se utilizaron: hormigón de 24 Mpa y una varilla de acero inoxidable de 12 mm de diámetro y 80 cm de longitud. La varilla tiene una perforación en el centro de 2 mm de diámetro, para que se pueda acoplar el bastón del receptor GPS.

3.2.2. Materiales de oficina.

En la Tabla 8 se describe el software que se ha utilizado para el desarrollo del presente proyecto, de acuerdo a la finalidad del trabajo.

Tabla 8. Software utilizado para el desarrollo del proyecto

SOFTWARE UTILIZADO	FINALIDAD
Trimble Business Center Version 2.2	Procesar los datos GPS, para obtener las coordenadas georreferenciadas de los puntos de la red geodésica.
Microsoft Office Excel	Realizar el análisis estadístico de los datos georreferenciados para obtener los vectores de dirección y velocidad del movimiento.
ArcGIS 9.3	Generar el mapa de ubicación, el mapa de pendientes y el mapa de velocidad y dirección del movimiento.
Microsoft Office Word	Elaborar la redacción del proyecto de tesis.

Elaboración: La autora.

3.3. Descripción del método empleado.

Determinar los movimientos superficiales ocurridos en un deslizamiento permite analizar la cinemática del evento y su evolución a través del tiempo (Gili *et al.*, 2000). En el pasado, una serie de métodos topográficos convencionales se han utilizado para el control de movimientos superficiales de zonas inestables como la triangulación, nivelación geométrica, nivelación trigonométrica, poligonación, teodolito de precisión, medición electrónica de distancias, etc. Estos métodos convencionales son válidos, fiables y dan buenos resultados (Tomás *et al.*,

2005). Sin embargo en la actualidad, con los adelantos tecnológicos se han implementado otros métodos al control de movimientos y deformaciones como las estaciones robotizadas de topografía, GPS diferencial (DGPS) y la Telemetría de Láser por Scanner (SLR) (Galán-Martín *et al.*, 2011; Tomás *et al.*, 2005). Un resumen de los principales métodos y técnicas de medición para deslizamientos se detalla en la Tabla 9.

Tabla 9. Métodos y técnicas de medición para deslizamientos

Método/Técnica	Resultados	Rango Típico	Precisión Típica
Cinta de precisión	Cambio de distancia	< 30 m	0,5 mm/30 m
Extensómetro de cable fijo	Cambio de distancia	< 10-80 m	0,3 mm/30 m
Varilla para la apertura de grietas	Cambio de distancia	< 5 m	0,5 mm
Desplazamiento desde el inicio	Diferencia de coordenadas (2D)	< 100 m	0,5-3 mm
Triangulación	Diferencia de coordenadas (2D)	< 300-1000 m	5-10 mm
Oblicuo/polígono	Diferencia de coordenadas (2D)	Variable, usualmente < 100 m	5-10 mm
Nivelación	Cambio de altura	Variable, usualmente < 100 m	2-5 mm km^{-1}
Precisión de nivelación	Cambio de altura	Variable, usualmente < 50 m	0,2-1,0 mm km^{-1}
EDM (Medición electrónica de distancia)	Cambio de distancia	Variable, usualmente 1-14 km	1-5 mm + 1-5 ppm
Fotogrametría terrestre	Diferencia de coordenadas (3D)	Idealmente < 100 m	20 mm desde 100 m
Fotogrametría aérea	Diferencia de coordenadas (3D)	H volado < 500 m	10 cm
Clinómetro	Cambio de ángulo	$\pm 10^\circ$	$\pm 0,01-0,1^\circ$
Teodolito de precisión	Cambio de ángulo	Variable	$\pm 10^\circ$
Monitoreo con GPS	Diferencia de coordenadas (3D)	Variable	2-5 mm + 1-2 ppm

Fuente: Zarate (2011)

Para el estudio del deslizamiento existente en Chaquinal, se empleó el método de monitoreo con GPS. El GPS constituye un sistema autónomo de radionavegación y localización por satélites. El procedimiento se basa en la determinación de distancias, coordenadas (X, Y, Z), y ángulos de una serie de estaciones a partir de puntos fijos tomados como referencia (Gili *et al.*, 2000). En los métodos convencionales para obtener mediciones precisas, se requiere condiciones climáticas ideales como una adecuada iluminación y ausencia de niebla o lluvia, además es necesario establecer líneas visuales entre los puntos de referencia y los puntos a medir (Gili *et al.*, 2000). El GPS a diferencia de los métodos convencionales no requiere visibilidad entre estaciones y puede operar en cualquier tipo de condiciones meteorológicas (Zhou *et al.*, 2005). La ventaja del GPS sobre los métodos convencionales es que emplea menos tiempo y personal para completar la misma cantidad de trabajo. Este método es aplicable tanto para monitoreo de deslizamientos de ladera así como para monitoreos geotécnicos y estructurales (Cornejo, 2004).

Para el estudio de deslizamientos se requiere obtener una precisión del orden de milímetros, para controlar incluso los desplazamientos de tierra de magnitudes muy pequeñas (Abidin *et al.*, 2004). Para aplicaciones que requieran una alta precisión es necesario utilizar el método de posicionamiento GPS diferencial (DGPS, por sus siglas en inglés). Este método puede lograr precisiones con exactitud milimétrica (Zhou *et al.*, 2005) a diferencia del método de posicionamiento absoluto (GPS) que obtiene precisiones de 30 a 40 m (Leica, s.f).

El sistema DGPS puede reducir o eliminar la mayoría de errores que se producen en las observaciones con GPS. El DGPS involucra la operación simultánea de dos o más receptores basados en código (Gili *et al.*, 2000). Un receptor fijo está asignado como punto de referencia, ubicado en una estación base cuyas coordenadas son conocidas exactamente. Otro receptor o receptores móviles se ubican en los puntos del terreno que se desea monitorear, cuyas posiciones son desconocidas (Gili *et al.*, 2000; Wolf y Ghilani, 2009). El sistema relaciona las observaciones de la estación base con las observaciones simultáneas en las estaciones móviles (Cornejo, 2004). Posteriormente se realiza un post-procesamiento de los datos para precisar las posiciones relativas de las estaciones de monitoreo, en base a la estación de referencia.

Las coordenadas precisas de cada estación se determinan periódicamente (en un intervalo semanal, mensual, o anual) a través de monitoreo con DGPS (Abidin *et al.*, 2004). Esta técnica analiza la variación de las coordenadas de cada estación matemáticamente en función del tiempo. La diferencia entre la última y la primera campaña de monitoreo, indica los desplazamientos relativos de las estaciones de control (Zarate, 2011).

Los procedimientos de campo que emplean técnicas DGPS son los métodos: cinemático, pseudocinemático, cinemático en tiempo real, estático y estático rápido (Wolf y Ghilani, 2009). Según Gili *et al.* (2000) los métodos más productivos para la medición de puntos son el estático rápido (FS, Fast Static) y el cinemático en tiempo real (RTK). La Tabla 10 describe las características principales de estos métodos.

Tabla 10. Características principales de los métodos FS y RTK, comparadas con el método estático (en base a Gili *et al.* 2000)

Método	Tiempo de observación en cada estación	Post proceso	Resistencia contra la pérdida de señal	Longitud máx. De línea base (km)	Precisión relativa típica
Estático	Una o varias horas	Si	Fuerte	50 – 100	5-1 mm+1-0.1 ppm
FS	8 – 20 min	Si	Fuerte	15 – 20	5 mm+1ppm
RTK	1 – 10 s	No	Sensible	10	10 mm+2ppm

Fuente: Gili *et al.* (2000)

Para el monitoreo de las estaciones de la red geodésica de Chaquinal se utilizó el método estático rápido (FS). Este método es sencillo, preciso e incluye algoritmos mejorados para la resolución de las ambigüedades que permiten disminuir el tiempo de registro en cada estación (Gili *et al.*, 2000; Sánchez, 2010). El tiempo de medición puede variar entre 8 y 20 min, dependiendo de la longitud de línea base y del número de satélites disponibles durante la observación (Ver Tabla 10). El método FS realiza un post-procesamiento de los datos registrados en el campo y es menos sensible a la pérdida esporádica de la señal, debido a que la observación es estática y los datos son grabados en intervalos de 15 s (Gili *et al.*, 2000; Wolf y Ghilani, 2009). Por otra parte el método RTK calcula las posiciones en tiempo real a través del seguimiento continuo de los satélites. Este método requiere una línea de vista casi directa entre la estación base y el móvil. Además, es muy sensible a la pérdida de recepción de la señal debido a que se mantiene en movimiento constante (Gili *et al.*, 2000). Con la aplicación del método FS se pueden obtener precisiones de 5mm + 1ppm, a diferencia del RTK que da presiones de 10 mm+2ppm.

CAPITULO IV
METODOLOGÍA

4.1. Documentación y recopilación de información.

El primer paso de la investigación fue la recopilación de información bibliográfica de publicaciones referentes al tema, incluyendo diversos informes técnicos realizados en la zona de estudio.

Además, se consiguió las cartas topográficas del IGM (Instituto Geográfico Militar) a escala 1:50000, fotografías aéreas, y ortofotos a escala 1:5000 generadas por la entidad SIGTIERRAS. La topografía base con la que se trabajó en este proyecto, fue elaborada por la constructora IPHC CONASTIAM en el año 2015.

4.2. Diseño y construcción de la red geodésica.

4.2.1. Estudio Previo.

Con la información cartográfica y topográfica del sector, se realizó una aproximación preliminar de la morfología de la red geodésica y del coste que supondrá su instalación (Rastrejo, 2014). Posteriormente se inspeccionó la parroquia Chaquinal con el objetivo de elegir los lugares idóneos para la instalación de las estaciones de monitoreo.

Para la selección de los lugares se tomó en cuenta los criterios siguientes:

- El lugar seleccionado para la implantación de los puntos de control debe ser de:
 - Fácil acceso
 - Despejado y lo suficientemente amplio (sin obstáculos sobre el horizonte en un ángulo de 10°)
- Evitar la presencia de:
 - Árboles, antenas transmisoras, techos metálicos, construcciones de mampostería, edificios y cualquier tipo de obstáculo natural o artificial que pueda ocasionar perturbaciones en la señal GPS.
 - Interferencias producidas por las redes de alta tensión, amplificadores de radio o torres de telefonía.
 - Superficies reflectoras

4.2.2. Instalación de las estaciones de la red.

En base a estos criterios se establecieron: **1 estación base** y **14 estaciones de monitoreo** que conforman la red geodésica de control horizontal y vertical. Para la instalación de las estaciones sobre el terreno, se utilizaron los dos tipos de marcas descritos en la sección 3.2.1.

Los pasos para la instalación de la primera marca son los siguientes (Figura 14):

- a) Se realizó una perforación de 5 cm de profundidad con un taladro portátil.
- b) Se colocó un tornillo en el orificio. Para dar al tornillo estabilidad y fijarlo en el lugar se aplicó una pasta de cemento y arena fina.
- c) Se limpiaron los bordes del tornillo, tratando de sellar cualquier abertura que pueda existir para garantizar la permanencia y el buen estado del punto de control.



Figura 14. Instalación de la primera marca

Elaboración: La autora

Para la construcción de la segunda marca se procedió de la siguiente manera (Figura 15):

- a) Se realizaron perforaciones en el terreno con un área de 25cm x 25cm, y una profundidad de 60 cm.
- b) Se instaló la varilla de acero corrugado de 12 mm de diámetro en el centro.
- c) Se fundió el cuerpo del mojón lentamente manteniendo la verticalidad de la varilla.



Figura 15. Construcción de la segunda marca

Elaboración: La autora

4.3. Aplicación del método.

El periodo de monitoreo de la red geodésica utilizando el procedimiento DGPS inició el 31 de Marzo del 2016 y finalizó el 1 de Julio del mismo año. Durante este tiempo se realizaron monitoreos con un intervalo mensual (Ver tabla 11).

Tabla 11. Monitoreos realizados en la red geodésica - Chaquinal

Monitoreo	Fecha de observación	Estaciones GPS observadas
1	31 de Marzo 2016	
2	28 de Abril 2016	Base, 1ch, 2ch, 3ch, 4ch, 5ch, 6ch, 7ch, 8ch, 9ch, 10ch,
3	19 de Mayo 2016	11ch, 12ch, 13ch, 14ch.
4	16 de Junio 2016	
5	1 de Julio 2016	13 ch, 14 ch.

Elaboración: La autora

La estación base se instaló en la parroquia Alamor en la terraza de un edificio de 5 pisos (Figura 16a). Esta ubicación es estable y segura para garantizar la permanencia del mojón, de fácil acceso, despejado y lo suficientemente amplio para evitar perturbaciones en las mediciones. En la Figura 17 se ilustra la ubicación exacta de la estación base.

Las estaciones de monitoreo se implantaron en zonas estratégicas (Figura 16b) donde se evidencian movimientos del terreno y presencia de grietas. La distancia entre la estación base y las estaciones de monitoreo varía entre 3.25 y 4.03 kilómetros. La configuración de las estaciones de monitoreo de la red geodésica se muestra en la Figura 18.

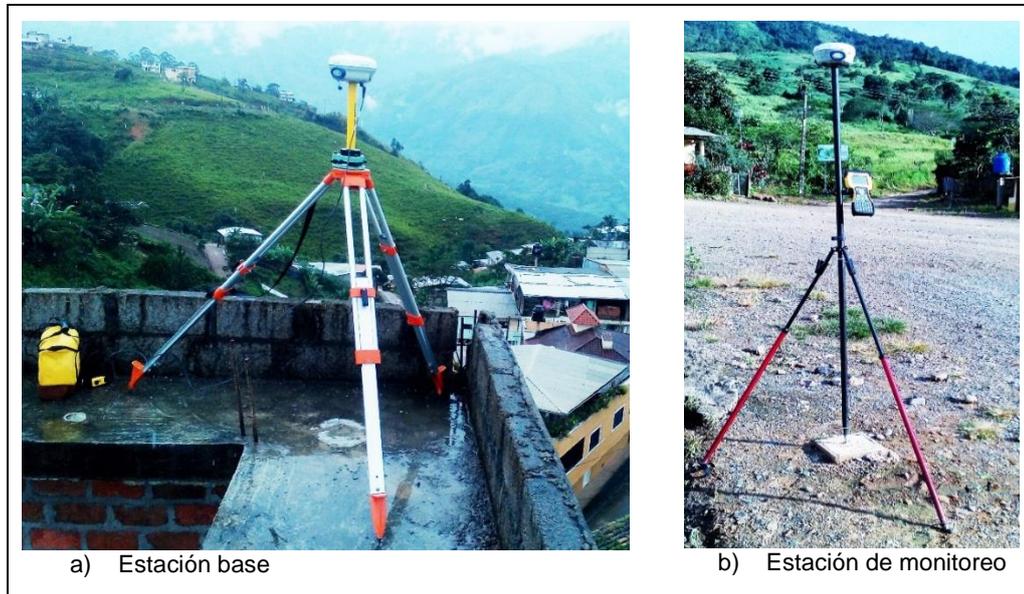


Figura 16. Estación de monitoreo y estación base de la red geodésica
Elaboración: La autora.

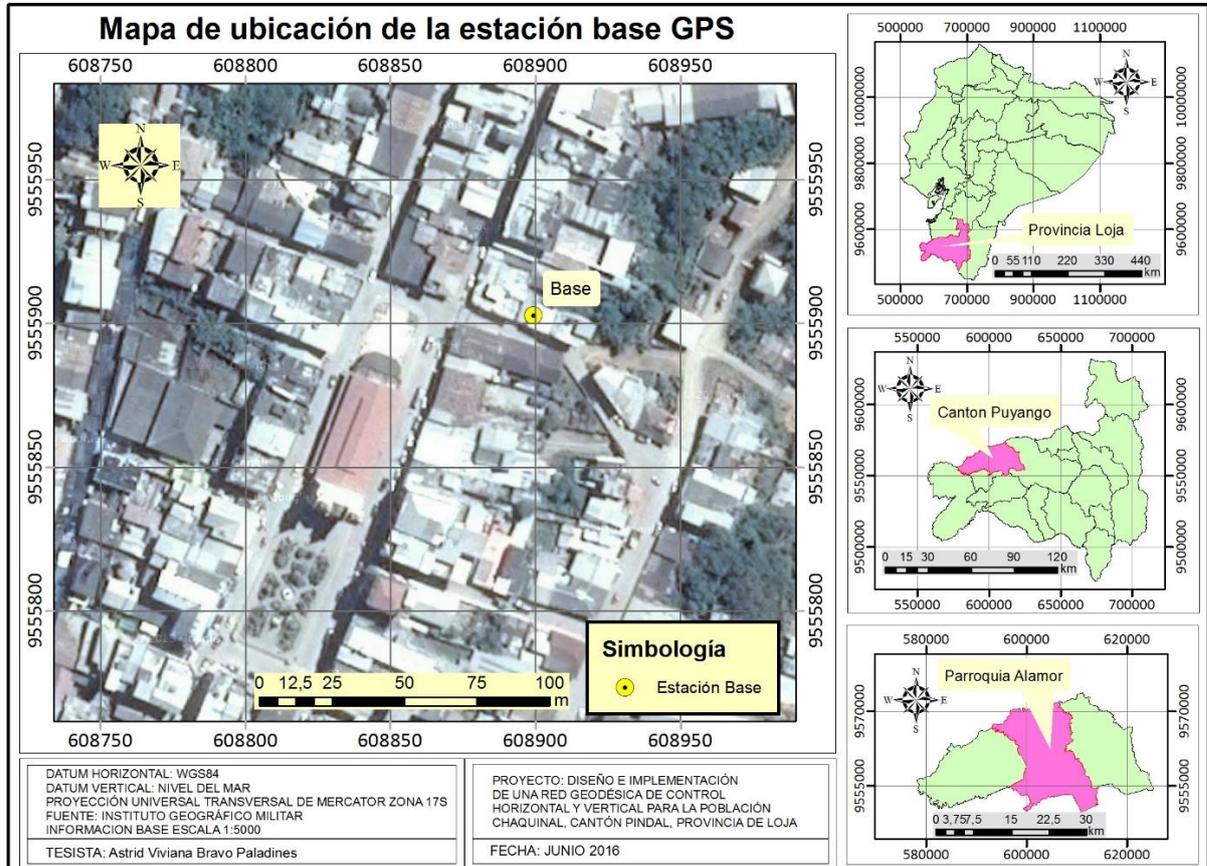


Figura 17. Mapa de ubicación de la estación base GPS
Elaboración: La autora

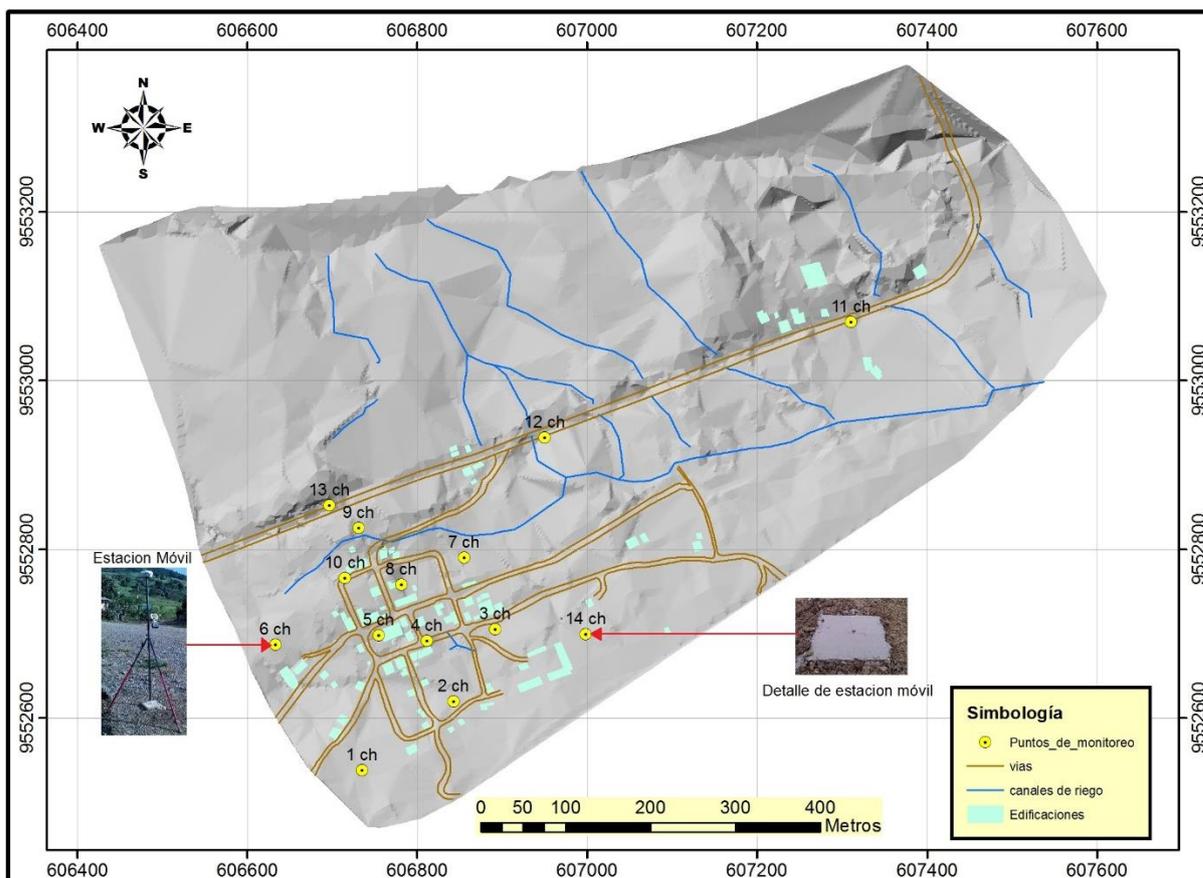


Figura 18. Mapa de distribución de las estaciones de monitoreo de la red GPS
Elaboración: La autora

Como se indicó anteriormente, para la recolección de los datos GPS se utilizaron dos receptores Trimble R6 doble frecuencia, a los cuales se los configuró en modo Fast Static. Las sesiones de observación en cada estación de monitoreo duraron 15 min. Se calibró el equipo con una máscara de elevación de 10° y las medidas fueron almacenadas con un intervalo de 15 segundos.

4.4. Procesamiento de la información de campo.

El **post procesamiento** de los datos almacenados en los equipos GPS se realizó mediante el Software Trimble Business Centre Versión 2.2 (Zarate, 2011). Los parámetros de ubicación para el post procesamiento son:

- Sistema de coordenadas UTM
- Datum WGS 1984
- Zona 17 Sur

Para la validación de los datos se consideró un indicador de $0.005\text{m} \pm 0.5 \text{ ppm}$ y para rechazar la precisión $0.015 \pm 0.5 \text{ ppm}$.

Con el post procesamiento de los datos, se obtuvieron las coordenadas georreferenciadas precisas de cada punto. Luego se calculó la diferencia entre las coordenadas (X, Y, Z)

registradas en la última y la primera campaña de medición. Esta operación genera valores positivos o negativos lo cual indica la dirección del desplazamiento (Este, Oeste, Norte o Sur).

Para el análisis de los desplazamientos en el plano horizontal (δ_{E-N}) se calculó el vector resultante con las componentes Δ_X y Δ_Y (Zarate, 2011) utilizando la siguiente ecuación:

$$\delta_{E-N} = \sqrt{\Delta_X^2 + \Delta_Y^2} \quad (1)$$

En donde:

δ_{E-N} : es el vector resultante de las componentes Este y Norte.

Δ_X y Δ_Y : es la variación entre coordenadas Este (X) y Norte (Y) respectivamente.

Con el fin de **comprobar estadísticamente** los desplazamientos de cada estación de monitoreo, se realizó la prueba de congruencia para cada vector resultante (δ_{E-N}) (Abidin *et al.*, 2004). La prueba también se la efectuó a δ_Z , que es la variación de elevaciones entre la última y la primera campaña de monitoreo (Zarate, 2011).

Para la comprobación se aplicó el método de estimación por intervalos (Zarate, 2011). Este método consiste en determinar un rango de valores, dentro del cual se encontrará el verdadero valor del parámetro a estimar con una probabilidad establecida previamente (Sarabia y Pascual, 2005). La probabilidad de que el rango determinado incluya al valor del parámetro se denomina **nivel de confianza** y se representa por **(1- α)**. El valor α es el **nivel de significación** y corresponde a la probabilidad de fallo en la estimación (Vivanco, 2005). El valor crítico ($Z_{\alpha/2}$) en una distribución, es el valor de la abscisa que deja a su derecha un área de $\alpha/2$. Los parámetros considerados para la aplicación de este método son los siguientes (Zarate, 2011):

- Nivel de confianza (1- α): 99%
- Nivel de significación (α): 0.01
- Valor crítico ($Z_{\alpha/2}$): ± 2.576

Los parámetros indicados anteriormente servirán para calcular el vector de desplazamiento máximo horizontal (Δ_{maxE-N}) y vertical (Δ_{maxZ}) con un nivel de confianza del 99%. Para ello se utilizaron las siguientes ecuaciones (Zarate, 2011):

$$\Delta_{maxE-N} = Z_{\alpha/2} \sqrt{E^2_E + E^2_N} \quad (2)$$

$$\Delta_{maxZ} = Z_{\alpha/2} \sqrt{E^2_Z + E^2_Z} \quad (3)$$

Donde

E_E, E_N , es el error estándar para deformaciones Este-Norte que para estudios de movimientos de ladera se considera 1.5 mm y E_Z es el error estándar para la deformación vertical cuyo valor considerado es de 2 mm (Zarate, 2011). Resolviendo las ecuaciones (2) y (3) se determina que Δ_{maxE-N} es 0.005 m y Δ_{maxZ} es 0.007 m.

Para comprobar si existe movimiento o no, se considera las siguientes condiciones para cada estación de monitoreo:

Si, $\delta_{E-N} > \Delta_{maxE-N}$, entonces existe movimiento

Si, $\delta_Z < \Delta_{maxZ}$, entonces no existe movimiento

El verdadero desplazamiento que experimenta una estación de monitoreo se denomina **deformación efectiva**, cuyo valor es el resultado de la diferencia entre el vector resultante (δ_{E-N} y δ_Z) y el vector de desplazamiento máximo con un nivel de confianza de 99% de confianza (Δ_{maxE-N} y Δ_{maxZ}) (Zarate, 2011). Finalmente se determina la velocidad del movimiento de ladera mediante la relación entre la deformación efectiva y el tiempo transcurrido entre la primera y la última campaña de monitoreo.

$$Velocidad = \frac{Deformacion\ efectiva}{Tiempo\ de\ monitoreo} \quad (4)$$

CAPITULO V
RESULTADOS Y ANÁLISIS

5.1. Mapa de pendientes.

El mapa de pendientes de la zona de estudio (Figura 19), se generó a partir del Modelo de Elevación Digital (DEM, por sus siglas en inglés). La base del DEM fue el mapa topográfico elaborado por la constructora IPHC CONASTIAM en el año 2015. Las pendientes se agruparon en 6 categorías según la clasificación de pendientes propuesta por el programa MAG-PRONAREG-ORSTOM, 1983 (MAGAP y PRAT, 2008; Tabla 12).

Tabla 12. Clasificación de categorías y rangos de pendientes.

CLASE	RANGOS DE PENDIENTE (%)	DESCRIPCIÓN DE PENDIENTE
1	0 - 5	Débil, plano o casi plano
2	5 - 12	Inclinación regular, suave o ligeramente ondulada
3	12 - 25	Irregular, ondulación moderada
4	25 - 50	Fuertes, colinado
5	50 - 70	Muy Fuertes, escarpado
6	>70	Abruptas, montañoso

Fuente: MAGAP y PRAT (2008); MAGAP y CGSIN (2012).

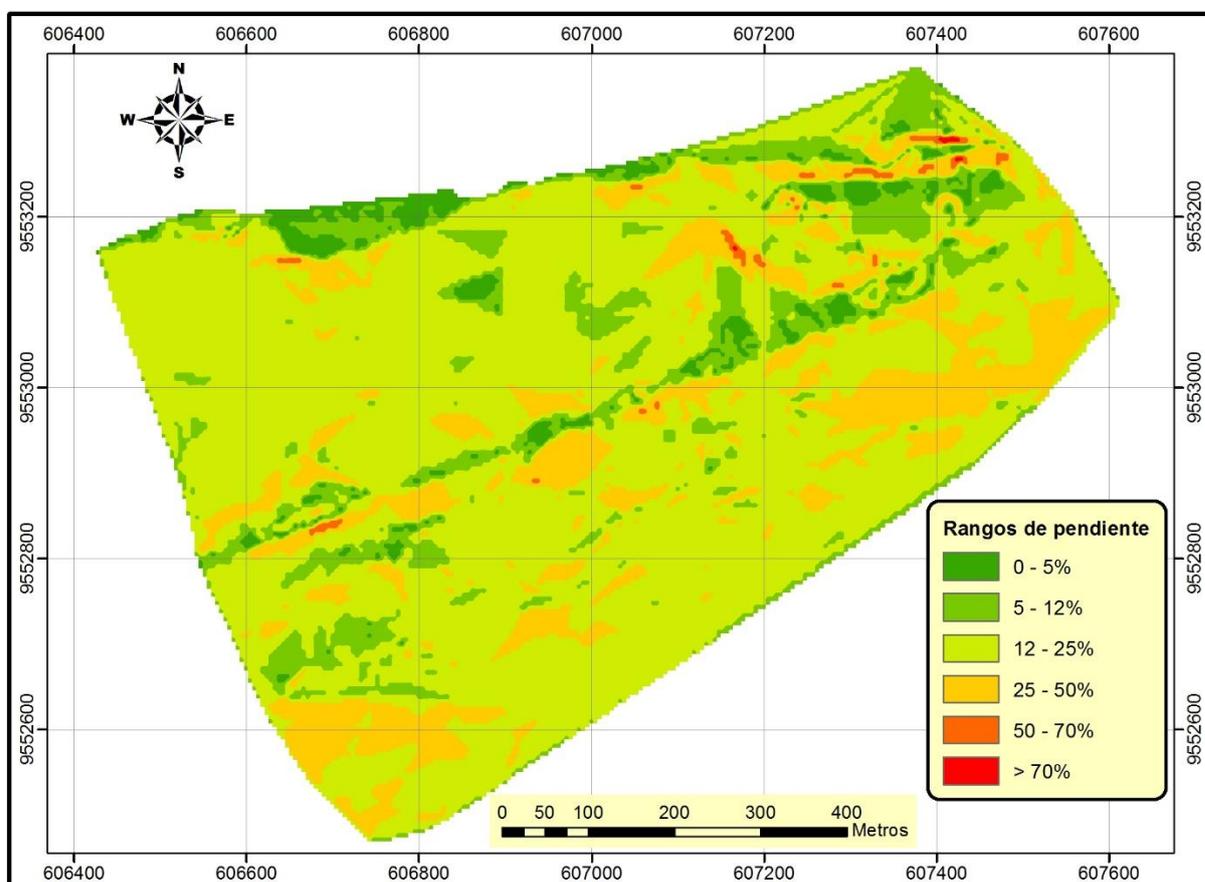


Figura 19. Mapa de pendientes - Chaquinal
Elaboración: La autora.

Posteriormente se calculó el área que cubre cada rango para conocer la superficie y el porcentaje respectivo de los diversos tipos de pendientes. Estos valores se pueden apreciar en la Tabla 13.

Tabla 13. Superficie y porcentaje de los rangos de pendiente

TIPO DE PENDIENTE	RANGO (%)	Área (ha)	Porcentaje (%)
Débil, plano o casi plano	0 - 5	2.067	3.37
Inclinación regular, suave o ligeramente ondulada	5 - 12	7.435	12.13
Irregular, ondulación moderada	12 - 25	41.161	67.17
Fuertes, colinado	25 - 50	10.379	16.94
Muy Fuertes, escarpado	50 - 70	0.221	0.36
Abruptas, montañoso	>70	0.020	0.03
TOTAL		61.284	100

Elaboración: La autora.

Por lo anterior, se puede determinar que en la zona de estudio predominan las pendientes con ondulación moderada, las cuales están distribuidas prácticamente por todo el sector y representan un 67.17% del área total, seguidas por las pendientes fuertes (16.94%) y pendientes suaves o ligeramente onduladas (12.13%). La categoría de pendiente débil, plana o casi plana (de 0 a 5%) solo cubre un área de 3.37%, mientras que las pendiente muy fuerte y abrupta representan un porcentaje mínimo (0.36 y 0.03% respectivamente) del área de estudio.

5.2. Diagnostico preliminar del movimiento de ladera.

En el informe técnico emitido el año 2013 por la Secretaria Nacional de Gestión de Riesgos, y suscrito por el Ing. Mario Benavides Rojas, se indica que el deslizamiento existente en la parroquia Chaquinal es de tipo rotacional. Su superficie de ruptura es cóncava y su movimiento es transversal al deslizamiento y rotacional respecto al eje de la superficie. El deslizamiento visto en planta presenta agrietamientos cóncavos y concéntricos en la dirección del movimiento (Sur-Norte).

En algunos sectores de Chaquinal, por ejemplo en la Escuela José María Zárate (Figura 20), se puede observar un área inferior de deslizamiento y otra superior de hundimiento, formando una superficie en forma de "cuchara" (cóncava), lo cual genera flujos de materiales situados por debajo del pie del movimiento (Benavides, 2013; Suarez, 1998). En general la superficie de ruptura es curva, pero no precisamente circular. Esta característica superficial es muy común en los suelos residuales (Suarez, 2012).



Figura 20. Daños ocasionados en la Escuela José Miguel Zárate
Elaboración: La autora.

El movimiento continuo del terreno es a simple vista casi imperceptible, pero se puede evidenciar debido a los múltiples daños en las obras de infraestructura pública y privada que cada vez aumentan (Ver anexo 1).

Teniendo en cuenta los rangos característicos para la evaluación de la actividad de los deslizamientos (descritos en la Tabla 3) se puede clasificar el **deslizamiento del sector Chaquinal en activo y con una edad estimada mayor a 100 años**. En base a la Tabla 4, considerando un movimiento actual o activo y una pendiente del terreno baja a media se determina que el deslizamiento es **potencialmente inestable**.

5.3. Análisis de resultados del monitoreo con DGPS.

Los desplazamientos de cada estación de monitoreo, la deformación efectiva y los vectores de velocidad del movimiento se determinaron tal como se explica en la sección 4.4.

En base a las coordenadas obtenidas de la última y la primera campaña de monitoreo se calcularon los desplazamientos (ΔX , ΔY y ΔZ) de las estaciones de monitoreo. Los resultados de cada punto están resumidos en la Tabla 14.

Tabla 14. Coordenadas de las estaciones de monitoreo y desplazamientos.

ESTACIÓN	Coordenadas iniciales			Coordenadas finales			Desplazamiento (m)		
	X (m)	Y (m)	Z (m)	X (m)	Y (m)	Z (m)	ΔX	ΔY	ΔZ
Base	608899.359	9555902.961	1366.583	608899.359	9555902.961	1366.583	0.000	0.000	0.000
1 ch	606735.285	9552538.048	869.175	606735.274	9552538.010	869.093	-0.011	-0.038	-0.082
2 ch	606843.043	9552619.452	865.133	606842.953	9552619.665	865.071	-0.090	0.213	-0.062
3 ch	606892.453	9552704.845	853.319	606892.401	9552704.846	853.300	-0.052	0.001	-0.019
4 ch	606811.612	9552691.209	850.190	606811.544	9552691.404	850.133	-0.068	0.195	-0.057
5 ch	606754.720	9552697.934	847.388	606754.643	9552698.070	847.406	-0.077	0.136	0.018
6 ch	606633.732	9552686.691	836.984	606633.732	9552686.659	836.986	0.000	-0.032	0.002
7 ch	606855.633	9552789.901	834.358	606855.569	9552789.898	834.347	-0.064	-0.003	-0.011
8 ch	606781.845	9552757.825	840.949	606781.726	9552758.073	840.921	-0.119	0.248	-0.028
9 ch	606731.528	9552825.279	828.799	606731.472	9552825.479	828.767	-0.056	0.200	-0.032
10 ch	606714.997	9552765.540	834.465	606714.855	9552765.672	834.406	-0.142	0.132	-0.059
11 ch	607310.860	9553069.199	810.400	607310.881	9553069.168	810.419	0.021	-0.031	0.019
12 ch	606950.472	9552932.546	814.261	606950.520	9552932.513	814.258	0.048	-0.033	-0.003
13 ch	606696.670	9552851.669	820.101	606696.612	9552851.716	820.108	-0.058	0.047	0.007
14 ch	606998.614	9552699.247	863.045	606998.626	9552699.225	863.026	0.012	-0.022	-0.019

Elaboración: La autora

Con los vectores determinados tanto horizontal (δ_{E-N}) como vertical (δ_Z) se verificaron en cada punto de monitoreo, las condiciones que determinan si existe movimiento o no. La Tabla 15 detalla la comprobación de las condiciones de movimiento y el resultado de la deformación efectiva.

Tabla 15. Desplazamientos efectivos de las estaciones de monitoreo

ESTACIÓN	Desplazamiento (m)		Vector (m)		Análisis		Deformación efectiva (m)	
	ΔX	ΔY	δ_{E-N}	$\delta_Z = \Delta Z$	Deformación horizontal	Deformación vertical	Vector E-N	Vector Z
Base	0.000	0.000	0.000	0.000	No hay deformación	No hay deformación	0.000	0.000
1 ch	-0.011	-0.038	0.040	-0.082	Deformación	Deformación	0.035	-0.075
2 ch	-0.090	0.213	0.231	-0.062	Deformación	Deformación	0.226	-0.055
3 ch	-0.052	0.001	0.052	-0.019	Deformación	Deformación	0.047	-0.012
4 ch	-0.068	0.195	0.207	-0.057	Deformación	Deformación	0.202	-0.050
5 ch	-0.077	0.136	0.156	0.018	Deformación	Deformación	0.151	0.011
6 ch	0.000	-0.032	0.032	0.002	Deformación	No hay deformación	0.027	-0.005
7 ch	-0.064	-0.003	0.064	-0.011	Deformación	Deformación	0.059	-0.004
8 ch	-0.119	0.248	0.275	-0.028	Deformación	Deformación	0.270	-0.021
9 ch	-0.056	0.200	0.208	-0.032	Deformación	Deformación	0.203	-0.025
10 ch	-0.142	0.132	0.194	-0.059	Deformación	Deformación	0.189	-0.052
11 ch	0.021	-0.031	0.037	0.019	Deformación	Deformación	0.032	0.012
12 ch	0.048	-0.033	0.058	-0.003	Deformación	No hay deformación	0.053	0.004
13 ch	-0.058	0.047	0.075	0.007	Deformación	No hay deformación	0.070	0.000
14 ch	0.012	-0.022	0.025	-0.019	Deformación	Deformación	0.020	-0.012

Elaboración: La autora

Según estos resultados, la estación base no registra desplazamiento horizontal ni vertical, debido a que está localizada en una zona estable. En el plano horizontal todos los puntos de monitoreo presentan movimientos perceptibles. Mientras que en el plano vertical existen desplazamientos mínimos en casi todas las estaciones, excepto en los puntos 6ch, 12ch y 13ch en los cuales no hay ninguna evidencia clara de movimientos verticales.

En la Tabla 16 se describe la velocidad del movimiento para cada estación de monitoreo, obtenida mediante la ecuación (4). Su respectiva clasificación se realizó en base a la escala de velocidad propuesta en la Tabla 5.

Tabla 16. Velocidad del movimiento de las estaciones de monitoreo

ESTACIÓN	Deformación efectiva (Vector E-N)	Periodo de monitoreo		Velocidad		Clase	Descripción
		Días	Meses	(mm/seg)	(cm/mes)		
Base	0.000	78	2.6	0	0.00	-	-
1 ch	0.035	78	2.6	5.1E-06	1.33	3	Lenta
2 ch	0.226	78	2.6	3.3E-05	8.67	3	Lenta
3 ch	0.047	78	2.6	6.9E-06	1.79	3	Lenta
4 ch	0.202	78	2.6	3.0E-05	7.75	3	Lenta
5 ch	0.151	78	2.6	2.2E-05	5.79	3	Lenta
6 ch	0.027	78	2.6	3.9E-06	1.02	3	Lenta
7 ch	0.059	78	2.6	8.7E-06	2.25	3	Lenta
8 ch	0.270	78	2.6	4.0E-05	10.37	3	Lenta
9 ch	0.203	78	2.6	3.0E-05	7.79	3	Lenta
10 ch	0.189	78	2.6	2.8E-05	7.25	3	Lenta
11 ch	0.032	78	2.6	4.7E-06	1.21	3	Lenta
12 ch	0.053	78	2.6	7.8E-06	2.02	3	Lenta
13 ch	0.070	93	3.1	8.6E-06	2.24	3	Lenta
14 ch	0.020	93	3.1	2.4E-06	0.63	3	Lenta

Elaboración: La autora

El periodo de monitoreo entre la primera campaña de medición (31 de Marzo 2016) y la cuarta (16 de Junio 2016) es de 2.6 meses. Este periodo de tiempo se aplicó solo para las estaciones 1ch, 2ch, 3ch, 4ch, 5ch, 6ch, 7ch, 8ch, 9ch, 10ch, 11ch y 12ch, porque las coordenadas registradas de las estaciones 13ch y 14ch indicaron valores de desplazamiento exagerado en el mes de junio del 2016. En el quinto y último monitoreo (1 de Julio 2016) se registraron los datos únicamente de estas dos estaciones para comprobar si efectivamente hubo un error en la medición anterior. Analizando la información del movimiento en las estaciones 13ch y 14ch se descartaron estos datos contradictorios de la cuarta campaña de medición y se amplió su tiempo de monitoreo a 3.1 meses.

Los resultados de velocidad en las estaciones 1ch, 3ch, 6ch, 7ch, 11ch, 12ch, 13ch y 14ch indicaron una velocidad de desplazamiento entre 0.63 y 2.25 cm/mes. Estos valores fueron más bajos comparados con las estaciones 4ch, 5ch, 9ch y 10ch que presentan velocidades entre 5.79 y 7.79 cm/mes. Las estaciones 2ch y 8ch registraron las velocidades más altas (8.67 y 10.37 cm/mes respectivamente). Estos resultados indican que el deslizamiento es más

activo en el centro de la parroquia Chaquinal (Figura 21) en donde se puede observar a simple vista algunos indicadores potenciales (p. ej grietas, escarpes, fisuras en las edificaciones) que dan una muestra clara de la actividad del deslizamiento (Zarate, 2011).

En cuanto a la dirección del desplazamiento, se puede apreciar que el movimiento está desplazándose en sentido noroeste (a favor de la pendiente). Sin embargo, también existen movimientos con tendencia sureste (estaciones 11ch, 12ch, 14ch) y suroeste (estaciones 1ch, 7ch), estas direcciones posiblemente se dan por ser lugares relativamente planos con la presencia de movimientos de tipo traslacional.

El análisis es visualizado en un mapa de vectores de velocidad y desplazamiento realizado mediante un SIG (Figura 21). En resumen, la velocidad del deslizamiento es variable aunque la parte más activa y la más afectada es la zona céntrica de la parroquia Chaquinal.

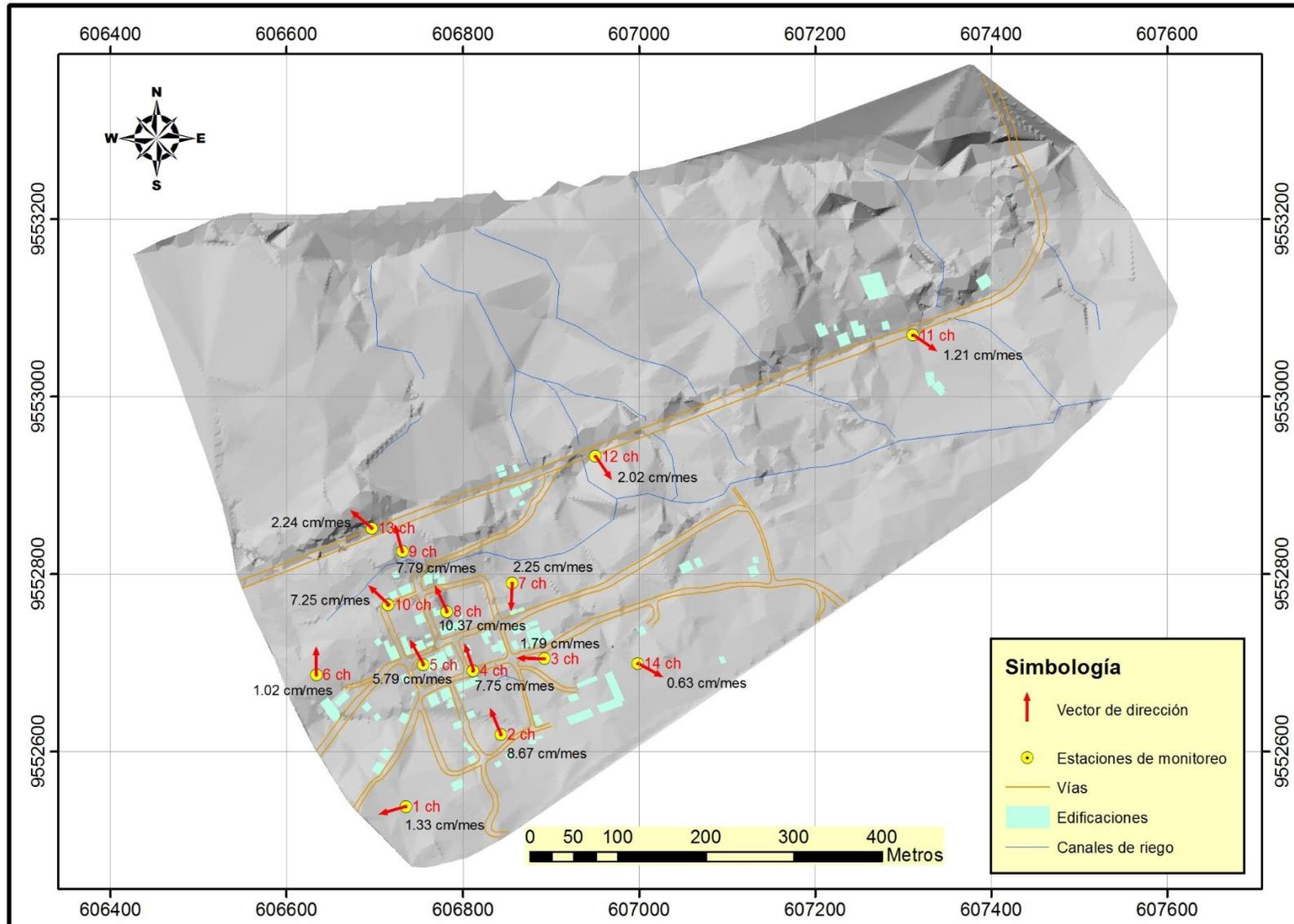


Figura 21. Mapa de vectores de dirección y velocidad del movimiento - Chaquinal
 Elaboración: La autora.

CONCLUSIONES

- El empleo de receptores GPS doble frecuencia configurados en modo Fast Static, durante sesiones de registro de 15 min en cada estación de monitoreo, proporcionó la precisión suficientemente para analizar el movimiento del deslizamiento relativamente lento.
- El comportamiento del deslizamiento puede variar durante las diferentes estaciones anuales. Sin embargo, los resultados del monitoreo con DGPS confirman que la velocidad del deslizamiento es variable, y que existen diferentes zonas de actividad. La zona céntrica de la parroquia es la parte más activa y la más afectada por el fenómeno. Este estudio del deslizamiento existente en Chaquinal, no permite realizar un análisis detallado del fenómeno y/o presentar soluciones de mitigación o remediación en base a características hidrogeológicas, geomorfológicas, geológicas y ambientales, porque el tiempo de monitoreo de 3 meses no permite obtener conclusiones para el comportamiento del movimiento durante todo el año.
- Las estaciones de monitoreo 2ch y 8ch ubicadas en el centro de la parroquia, registraron los valores más altos de velocidad del movimiento (8.67 y 10.37 cm/mes respectivamente). Además, estas estaciones presentan una disminución en su cota (62 y 28 mm respectivamente). Estos resultados indican que el terreno se mueve generalmente en dirección a la base del deslizamiento.
- Tomando como referencia el promedio de las estaciones de monitoreo que presentan una mayor velocidad de movimiento entre 5.79 y 10.37 cm/mes, se determina que la velocidad del movimiento de ladera existente en la parroquia Chaquinal es de 7.94 cm/mes.
- Según los resultados de velocidad obtenidos para cada una de las estaciones de monitoreo, se puede clasificar al movimiento existente en el sector Chaquinal como lento de clase 3.
- Debido a que el movimiento de ladera es lento se puede suponer que no existe la posibilidad de que el deslizamiento se active en forma violenta, causando un colapso total de la infraestructura y pérdidas de vidas humanas.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda que el monitoreo con GPS se continúe desarrollando en la parroquia Chaquinal, por lo menos durante un año para dar soluciones de mitigación en base a características hidrogeológicas, geomorfológicas, geológicas y ambientales. El periodo de un año para recolectar datos permite realizar un análisis más detallado de la dinámica del fenómeno existente.
- Debido a que la parroquia Chaquinal está asentada en una zona potencialmente inestable, se recomienda no construir obras de infraestructura en el lugar.
- Se recomienda utilizar el método de monitoreo DGPS, empleado en este proyecto para el estudio y control de deslizamientos similares, debido a que es un método fiable y permite obtener niveles de precisión milimétricos.
- Se deben colocar las estaciones de monitoreo en lugares adecuados, despejados y lo suficientemente amplios, para evitar cualquier tipo de obstáculo natural o artificial que pueda ocasionar perturbaciones al momento de capturar la señal de los satélites.
- Importante es, garantizar la verticalidad de los receptores base y móvil, para evitar errores de tipo personal que se puedan producir en las mediciones con GPS.
- Para garantizar una alta productividad se debe utilizar mínimo dos receptores GPS.

BIBLIOGRAFÍA

- Abidin, H. Z., Andreas, H., Gamal, M., Surono, & Hendrasto, M. (2004). Studying Landslide Displacements in Megamendung (Indonesia) Using GPS Survey Method. *Proceedings ITB Engineering Science*, 36 B(2), 109-123.
- Aguilera Ortiz, E. (1998). *Informe sobre la visita de reconocimiento geológico a la zona de Chaquinal, Cantón Pindal, Provincia de Loja*. Informe Técnico, Escuela Politécnica del Ejército, Sangolqui.
- Aguilera Ureña, M. (2001). *Desarrollo de una metodología de cálculo de redes geodésicas observadas mediante GPS. Análisis de la influencia de los métodos de cálculo en la precisión*. Tesis Doctoral, Universidad de Córdoba, Departamento de Ingeniería Gráfica e Ingeniería y Sistemas de Información Cartográfica, Córdoba.
- Alcántara, I., Echavarría, A., Gutiérrez, C., Domínguez, L., & Noriega, I. (2001). Inestabilidad de laderas. (T. Sánchez, Ed.) *Fascículos*, 3-36.
- Aristizábal, E., Martínez, H., & Vélez, J. (2010). Una revisión sobre el estudio de movimientos en masa detonados por lluvias. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, físicas y Naturales*, 34(131), 209-227.
- Ayala Ramírez, A., & Hasbun Bardales, M. M. (2012). *Aplicaciones y uso de la tecnología de GPS Diferencial de doble frecuencia con precisión centimétrica en el área de levantamiento topográfico y replanteo topográfico georeferenciado*. Tesis de Pregrado, Universidad de el Salvador, Escuela de Ingeniería Civil, San Salvador.
- Ayala-Carcedo, F. J. (2002). Análisis de riesgos por movimientos de ladera. *Riesgos naturales*, 379-407.
- Benavides, M. (2013). *Informe de la comisión de la parroquia Chaquinal*. Informe Técnico, Secretaria Nacional de Gestión de Riesgos.
- Berrocoso, M., Ramírez, M. E., Pérez-Peña, A., Enríquez-Salamanca, J. M., Fernández, A., & Torrecillas, C. (2003). *El Sistema de Posicionamiento Global*. Universidad de Cádiz, Laboratorio de Astronomía y Geodesia. Departamento de Matemáticas. Facultad de Ciencias, Puerto Real.
- Brabb, E., & Hrod, B. (1989). *Landslides: Extent and economic significance*. A.A. Balkema Publisher, Rotterdam.
- Copons, R., & Tallada, A. (2009). Movimientos de ladera. *Enseñanzas de las Ciencias de la Tierra*, 284-294.

- Cornejo Salazar, D. A. (2004). Sistema de monitoreo remoto para el control de deslizamientos. *Compendio de Trabajos de Investigación CNDG-Biblioteca*, 5, 173-182.
- Corporación Andina de Fomento [CAF]. (2000). *Las lecciones de El Niño. Ecuador*. Obtenido de <http://scioteca.caf.com/handle/123456789/675#sthash.nJkqLyB3.dpuf>
- Cruden, D. (1991). A simple definition of a landslide. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 43(1), 27-29.
- Farjas Abadía, M. (2010). *Aplicaciones Topográficas del G.P.S.* OpenCourseWare de la Universidad Politécnica de Madrid. Obtenido de OCW UPM: http://ocw.upm.es/ingenieria-cartografica-geodesica-y-fotogrametria/topografia-ii/Teoria_GPS_Tema_12.pdf
- Furones, Á. (2010). *Sistema y Marco de Referencia Terrestre. Sistemas de Coordenadas*. Universidad Politécnica de Valencia, Departamento de Ingeniería Cartográfica, Geodesia y fotogrametría, Valencia.
- Galán-Martín, D., Martínez-Marín, R., Marchamalo-Sacristán, M., & Sánchez-Sobrino, J. A. (2011). Control de movimientos en presas mediante DGPS: Aplicación a la presa de La Aceña, España. *Tecnología y ciencias del agua*, II(3), 159-176.
- García, L., Villamayor, A., & Hernández, D. (2005). *Geodesia*. Universidad Politécnica de Valencia, Universidad de Salamanca. ETSI Geodesia y Cartografía Universidad Politécnica de Valencia. Obtenido de http://sitopcar.es/modulos/descargas/manuales/Geodesia_Redес_Cart_Matematica.pdf
- GeoPortal del Instituto Geográfico Militar-Ecuador. (s.f). *Evolución de la Geodesía en el Ecuador*. Instituto Geográfico Militar. Recuperado el 5 de Enero de 2016, de <http://www.geoportaligm.gob.ec/portal/index.php/datos-geodesicos/>
- Gili, J. A., Corominas, J., & Rius, J. (2000). Using Global Positioning System techniques in landslide monitoring. *Engineering Geology*, 55(3), 167-192.
- Gobierno Autónomo Descentralizado de la Parroquia Chaquinal [GAD Chaquinal]. (15 de Mayo de 2015). *Sistema Nacional de Información*. Recuperado el 24 de 10 de 2015, de Sistema Nacional de Información: http://app.sni.gob.ec/visorseguimiento/DescargaGAD/data/sigadplusdiagnostico/1160026040001_Diagn%C3%B3stico%20PDYOTCHAQUINAL_15-05-2015_22-27-13.pdf
- González de Vallejo, L., Ferrer, M., Ortuño, L., & Oteo, C. (2002). *Ingeniería Geológica*. Madrid: PEARSON EDUCACIÓN.

- González Sisalima, F. A. (2011). *Análisis de Peligro de deslizamientos. Estudio de caso: Sur de la ciudad de Loja, Provincia de Loja-Ecuador*. Tesis de maestría, Universidad de la Habana, Facultad de Geografía, La Habana.
- GPS.gov. (s.f). Obtenido de <http://www.gps.gov/systems/gps/>
- IPHC CONASTIAM. (2015). *Informe definitivo de fiscalización de obra del proyecto. Construcción de la vía E-25 TRAMO: Alamor-Pindal-Zapotillo-Lalamor con una longitud total de 87.0 km. Ubicado en la provincia de Loja*.
- Leica. (s.f). *Introducción al Sistema GPS (Sistema de Posicionamiento Global)*. Obtenido de <http://www.pdfmanuales.com/manuals/651929/leica-geosystems-gps-basics.html>
- MAGAP (Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca); PRAT (Programa de Regularización y Administración de Tierras Rurales). (2008). *Metodología de valoración de tierras rurales: propuesta*. Quito.
- MAGAP, (Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca); CGSIN, (Coordinación General del Sistema de Información Nacional). (2012). Provincia de Loja-Mapa de suelos (Variable tipo de pendientes). Ecuador. Obtenido de http://geoportal.agricultura.gob.ec/mapas/loja/mapa_suelos_pendientes_loja.pdf
- Olmedillas, J. C. (2012). *Introducción a los sistemas de navegación por satélite*. Barcelona: UOC.
- Ordoñez, N. (1998). Memorando DPROG-063-MIDUVI-98, Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda [MIDUVI], División de Programación, Loja.
- Rastrejo Seijas, J. (2014). *Metodología de Implantación y Mantenimiento de una Red Geodésica Local*. Trabajo de Fin de Master, Universidad de Oviedo, Departamento de Exploración y Prospección de Minas.
- Rey, J. F. (1999). *Nociones de Topografía, Geodesia y Cartografía* (Primera ed.). Universidad de Extremadura. Servicio de Publicaciones.
- Sánchez Alvarado, X. (21 de Julio de 2013). Chaquinal, donde la tierra se mueve y el riesgo es extremo. *El Universo*. Obtenido de <http://www.eluniverso.com/noticias/2013/07/21/nota/1187846/chaquinal-donde-tierra-se-mueve-riesgo-es-extremo>
- Sánchez Sobrino, J. (2010). Métodos de observación. *X Curso de GPS en Geodesia y Cartografía - Montevideo, Mayo 2010*. Dirección General del Instituto Geográfico Nacional-España.

- Sarabia Alegría, J. M., & Pascual Sáez, M. (2005). *Curso Básico de Estadística para Economía y Administración de Empresas*. Santander: Servicio de Publicaciones de la Universidad de Cantabria.
- Sdao, F., Pascale, S., & Rutigliano, P. (2005). Geomorphological features and monitoring of a large and complex landslide near Avigliano urban area (South Italy). *Advances in Geosciences*, 2, 97-101.
- Secretaria de Gestion de Riesgos. (2013). *Estudio Hidrogeológico-Geotécnico del area de 12 Ha para reasentamiento de la parroquia Chaquinal, perteneciente al cantón Pindal, provincia de Loja*. Informe técnico.
- Sidle , R. C., & Ochiai, H. (2006). Landslides: processes, prediction, and land use. *American Geophysical Union*.
- Suarez Diaz, J. (1998). *Deslizamientos y Estabilidad de Taludes en Zonas Tropicales*. Bucaramanga, Colombia: Instituto de Investigaciones sobre Erosión y Deslizamientos.
- Suarez, J. (2012). *Deslizamientos: Análisis Geotécnico* (Vol. I). Obtenido de <http://www.erosion.com.co/deslizamientos-tomo-i-analisis-geotecnico.html>
- Tomás, R., Delgado, J., & López-Sánchez, J. (2005). Técnicas de Ingeniería Cartográfica empleadas en el estudio de subsidencia y movimientos de ladera: principales características y análisis comparativo. *Actas del congreso: de la tradición al futuro / Congreso Internacional Conjunto XVII Ingegraf - XV ADM Sevilla, 1, 2 y 3 de junio de 2005*. Sevilla: Universidad de Sevilla. Obtenido de <http://hdl.handle.net/10045/21684>
- Trimble Navigation Limited Engineering and Construction group. (2009). *Trimble R8 GNSS Receiver, Trimble R6 and R4 GPS Receivers, Trimble 5800 Model 3 GPS Receiver. User guide*.
- Vivanco, M. (2005). *Muestreo Estadístico Diseño y Aplicaciones*. Santiago de Chile: Editorial Universitaria, S.A.
- Wolf, P., & Ghilani, C. (2009). *Topografía* (Undécima ed.). Alfaomega Grupo Editor, S.A. de C.V., México.
- Yagüe Garcia, S. (2010). *Medición y Cálculo de una Red Geodésica en el PARC Mediterráneo de la Tecnología*. Universitat Politècnica de Catalunya , Departament d'Enginyeria Agroalimentària i Biotecnologia .

- Yasell, A. (2015). Las mejores aplicaciones GPS sin necesidad de conexión a Internet. *GizTab*. Obtenido de <http://www.giztab.com/las-mejores-aplicaciones-gps-sin-necesidad-de-conexion-a-internet/>
- Zarate Torres, B. (2011). Monitoreo de movimientos de ladera en el sector de San Pedro de Vilcabamba mediante procedimientos GPS. *MASKANA*, *II*(2), 17-25.
- Zhou, P., Zhou , B., Guo, J., Li, D., Ding , Z., & Feng , Y. (2005). A Demonstrative GPS-aided automatic landslide monitoring System in Sichuan province. *Journal of Global Positioning Systems*, *IV*(1-2), 184-191.

ANEXOS

ANEXO 1
Fotografías de daños ocasionados por el deslizamiento en la población
Chaquinal.

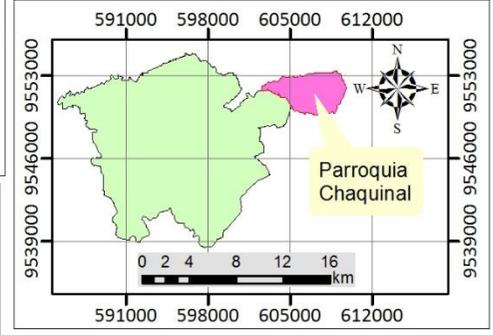
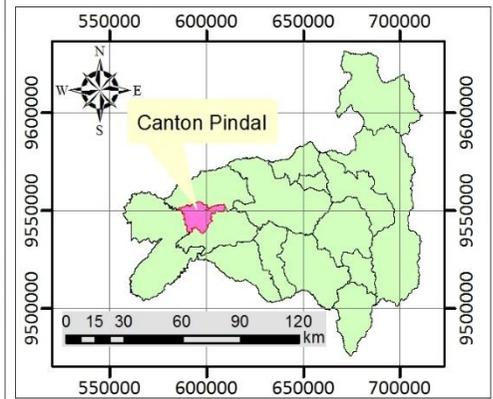
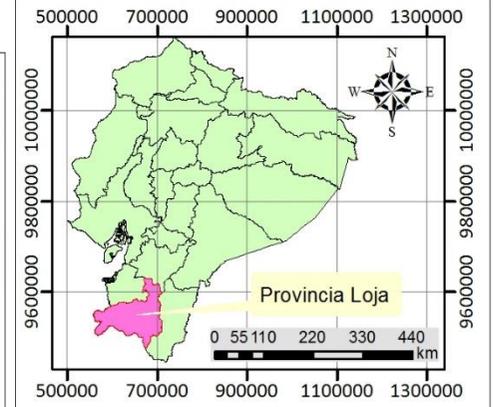
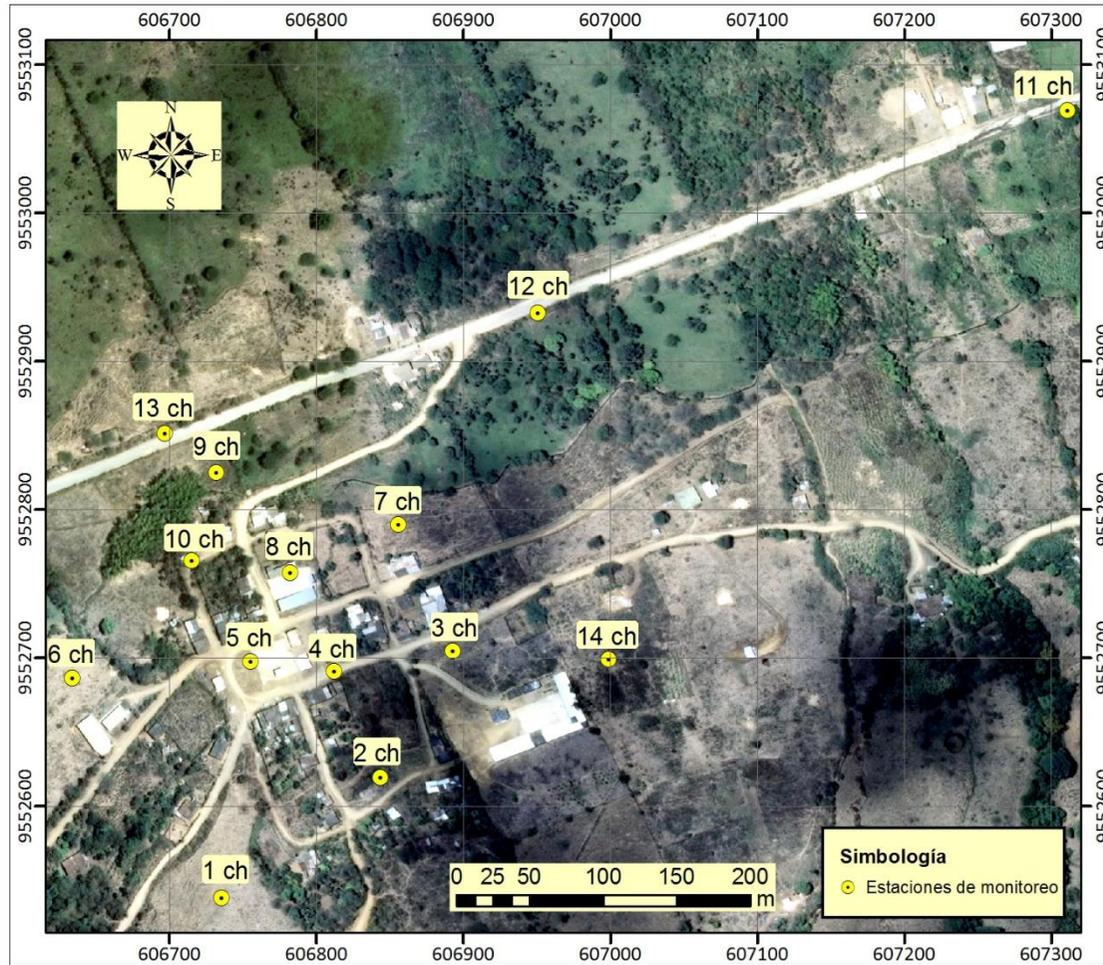




ANEXO 2

Mapa de ubicación geográfica de la zona de estudio – Chaquinal.

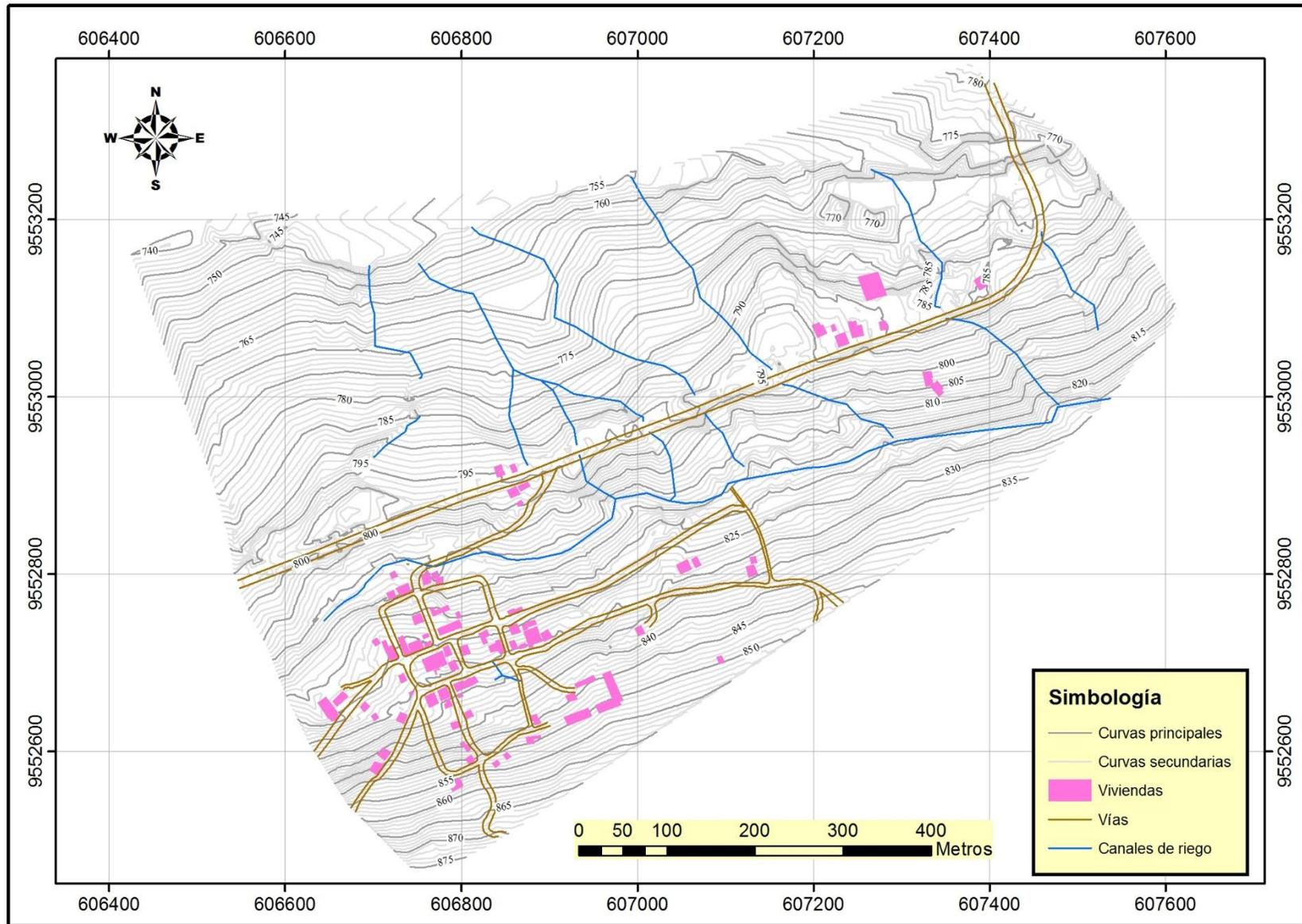
Ubicación geográfica de la zona de estudio-Chaquinal



DATUM HORIZONTAL: WGS84
 DATUM VERTICAL: NIVEL DEL MAR
 PROYECCIÓN UNIVERSAL TRANSVERSAL DE MERCATOR ZONA 17S
 FUENTE: INSTITUTO GEOGRÁFICO MILITAR
 INFORMACION BASE ESCALA 1:5000
 TESISTA: Astrid Viviana Bravo Paladines

PROYECTO: DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN
 DE UNA RED GEODÉSICA DE CONTROL
 HORIZONTAL Y VERTICAL PARA LA POBLACIÓN
 CHAQUINAL, CANTÓN PINDAL, PROVINCIA DE LOJA
 FECHA: JUNIO 2016

ANEXO 3
Mapa topográfico de la zona de estudio.



Fuente: IPHC CONASTIAM (2015).

ANEXO 4
Mapa de ubicación de la estación base GPS.

Mapa de ubicación de la estación base GPS

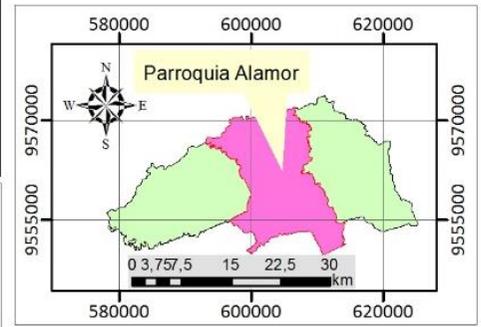
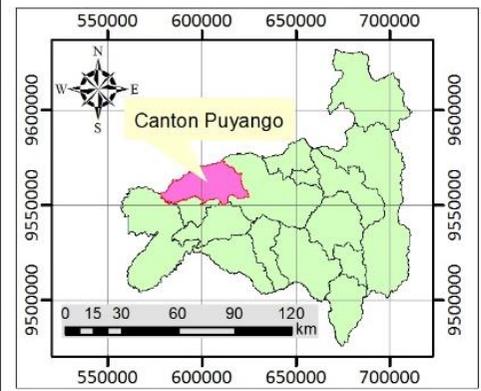
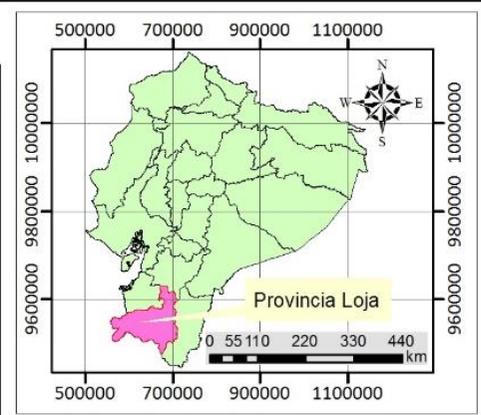


Simbología

- Estación Base

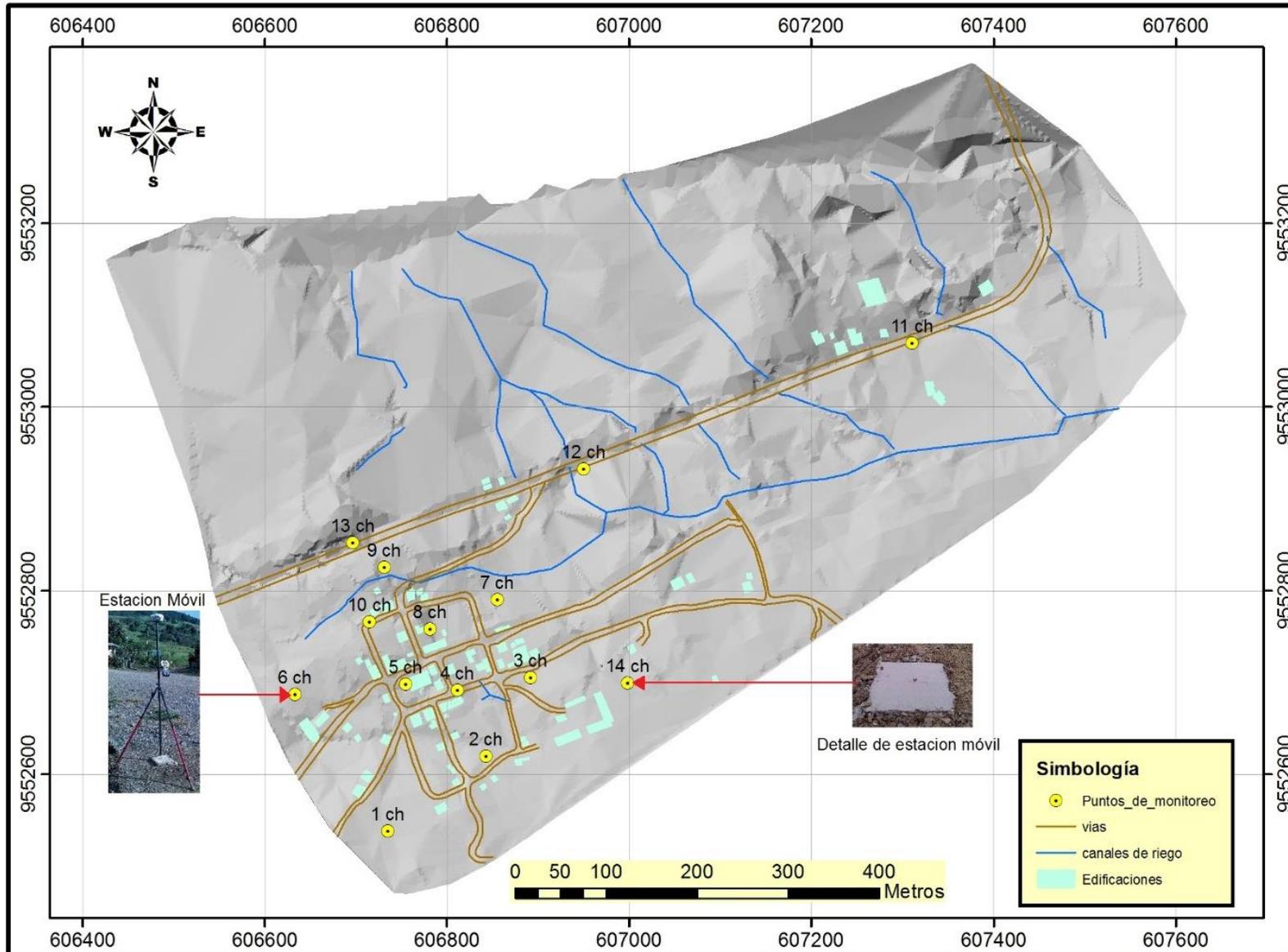
DATUM HORIZONTAL: WGS84
 DATUM VERTICAL: NIVEL DEL MAR
 PROYECCIÓN UNIVERSAL TRANSVERSAL DE MERCATOR ZONA 17S
 FUENTE: INSTITUTO GEOGRÁFICO MILITAR
 INFORMACION BASE ESCALA 1:5000
 TESISTA: Astrid Viviana Bravo Paladines

PROYECTO: DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA RED GEODÉSICA DE CONTROL HORIZONTAL Y VERTICAL PARA LA POBLACIÓN CHAQUINAL, CANTÓN PINDAL, PROVINCIA DE LOJA
 FECHA: JUNIO 2016

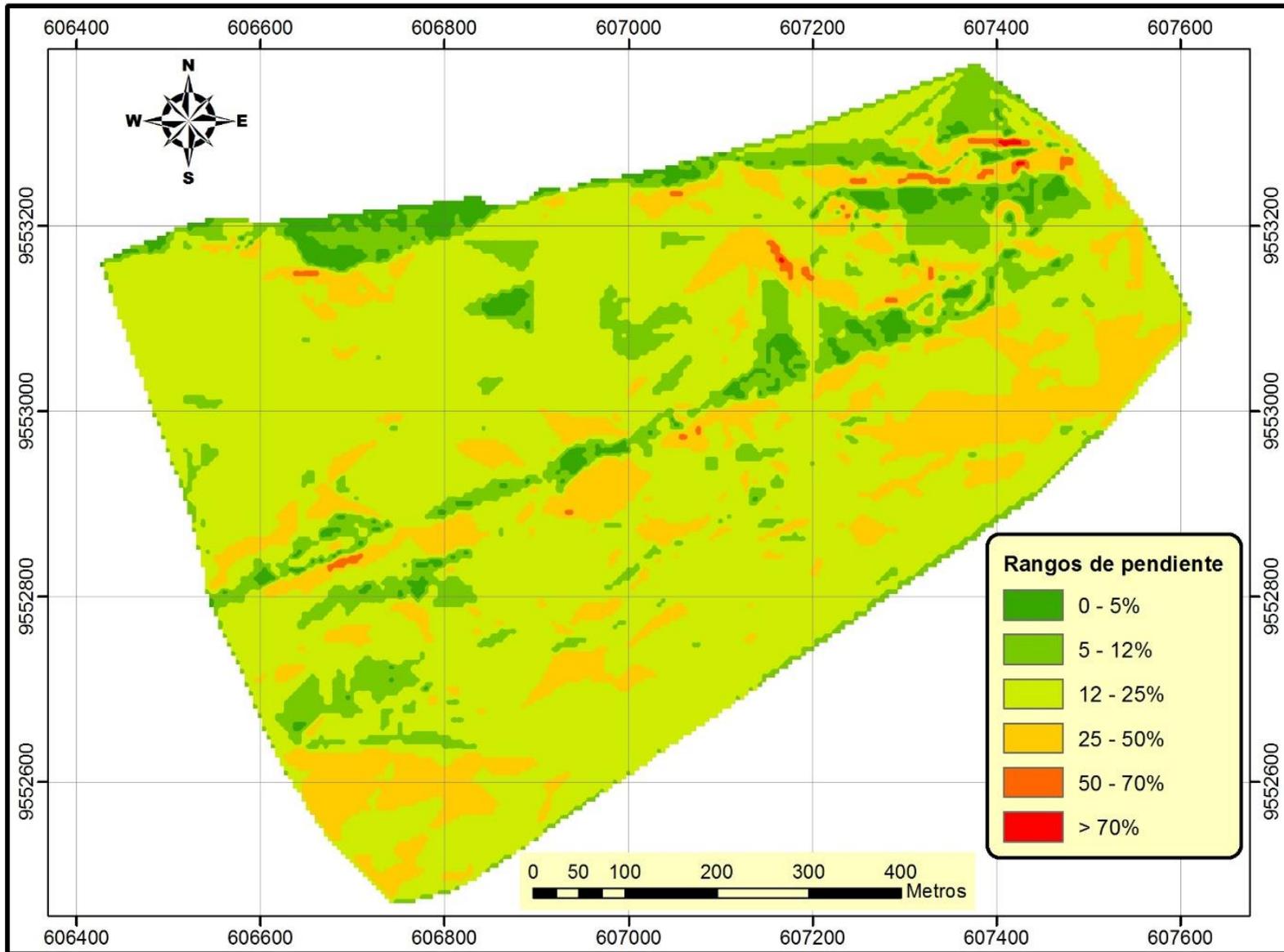


ANEXO 5

Mapa de distribución de las estaciones de monitoreo de la red GPS.

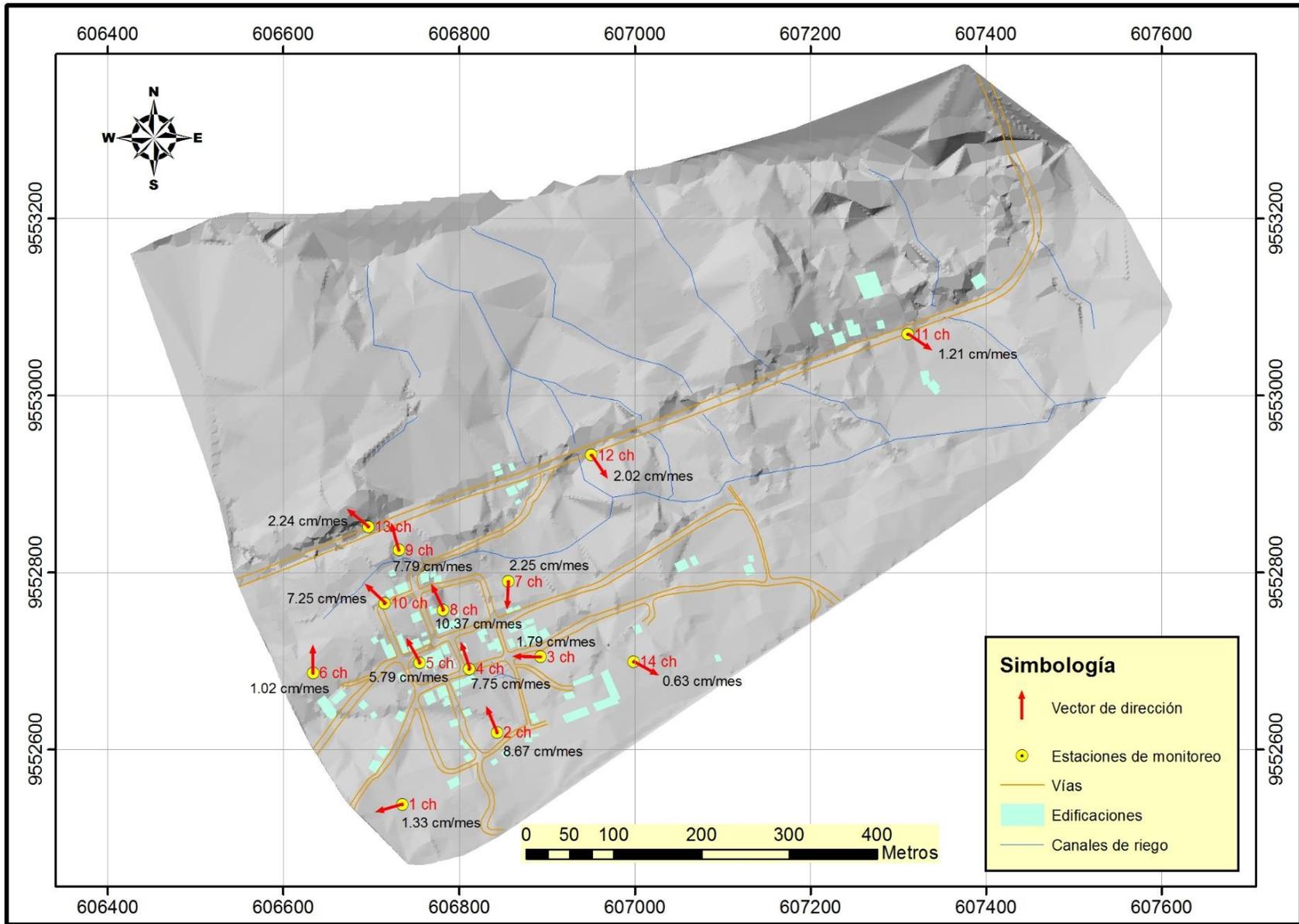


ANEXO 6
Mapa de pendientes - Chaquinal.



ANEXO 7

Mapa de vectores de dirección y velocidad del movimiento – Chaquinal.



ANEXO 8

Coordenadas georreferencias de las estaciones de monitoreo.

ANEXO 8.1. Coordenadas georreferenciadas de las estaciones de monitoreo correspondientes a los meses de marzo y abril del 2016.

ESTACION	MONITOREO 31 DE MARZO 2016			MONITOREO 28 DE ABRIL 2016		
	X (m)	Y (m)	Z (m)	X (m)	Y (m)	Z (m)
BASE	608899.359	9555902.961	1366.583	608899.359	9555902.961	1366.583
1 ch	606735.285	9552538.048	869.175	606735.301	9552538.041	869.133
2 ch	606843.043	9552619.452	865.133	606842.976	9552619.603	865.11
3 ch	606892.453	9552704.845	853.319	606892.417	9552704.872	853.301
4 ch	606811.612	9552691.209	850.19	606811.613	9552691.342	850.138
5 ch	606754.72	9552697.934	847.388	606754.756	9552697.983	847.397
6 ch	606633.732	9552686.691	836.984	606633.748	9552686.671	836.994
7 ch	606855.633	9552789.901	834.358	606855.596	9552789.878	834.353
8 ch	606781.845	9552757.825	840.949	606781.796	9552757.932	840.935
9 ch	606731.528	9552825.279	828.799	606731.542	9552825.402	828.772
10 ch	606714.997	9552765.54	834.465	606714.919	9552765.619	834.451
11 ch	607310.86	9553069.199	810.4	607310.909	9553069.201	810.389
12 ch	606950.472	9552932.546	814.261	606950.497	9552932.534	814.273
13 ch	606696.67	9552851.669	820.101	606696.662	9552851.686	820.135
14 ch	606998.614	9552699.247	863.045	606998.646	9552699.223	863.033

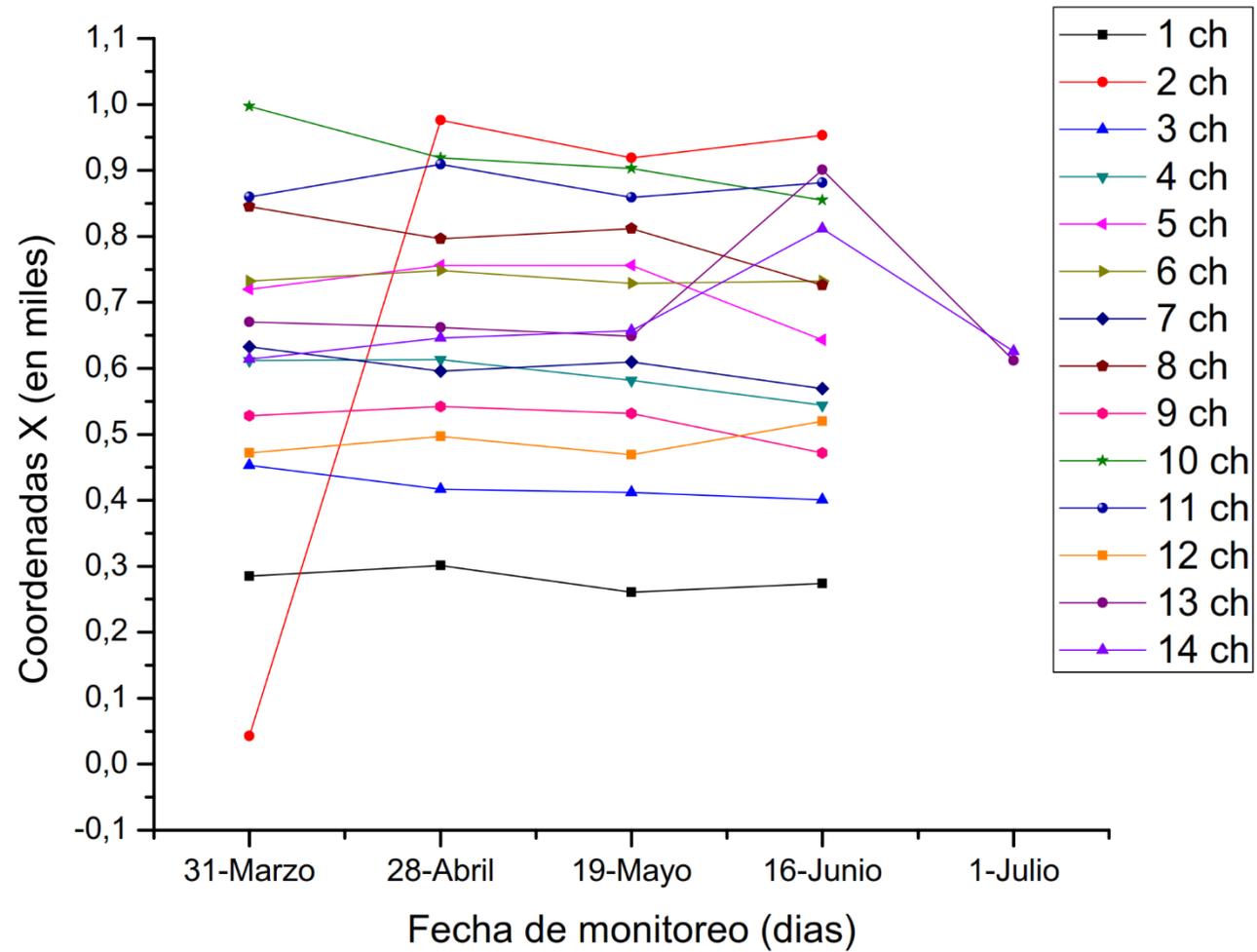
ANEXO 8.2. Coordenadas georreferenciadas de las estaciones de monitoreo correspondientes a los monitoreos de mayo, junio y julio del 2016

ESTACION	MONITOREO 19 DE MAYO 2016			MONITOREO 16 DE JUNIO 2016			MONITOREO 1 DE JULIO 2016		
	X (m)	Y (m)	Z (m)	X (m)	Y (m)	Z (m)	X (m)	Y (m)	Z (m)
BASE	608899.359	9555902.961	1366.583	608899.359	9555902.961	1366.583			
1 ch	606735.261	9552538.015	869.158	606735.274	9552538.01	869.093			
2 ch	606842.919	9552619.656	865.119	606842.953	9552619.665	865.071			
3 ch	606892.412	9552704.88	853.312	606892.401	9552704.846	853.3			
4 ch	606811.582	9552691.374	850.123	606811.544	9552691.404	850.133			
5 ch	606754.756	9552697.963	847.374	606754.643	9552698.07	847.406			
6 ch	606633.729	9552686.649	836.936	606633.732	9552686.659	836.986			
7 ch	606855.61	9552789.922	834.316	606855.569	9552789.898	834.347			
8 ch	606781.812	9552757.982	840.903	606781.726	9552758.073	840.921			
9 ch	606731.532	9552825.435	828.753	606731.472	9552825.479	828.767			
10 ch	606714.903	9552765.675	834.388	606714.855	9552765.672	834.406			
11 ch	607310.859	9553069.175	810.384	607310.881	9553069.168	810.419			
12 ch	606950.469	9552932.527	814.266	606950.52	9552932.513	814.258			
13 ch	606696.649	9552851.709	820.132	606697.901	9552850.922	821.314	606696.612	9552851.716	820.108
14 ch	606998.657	9552699.244	863.028	607000.812	9552698.617	862.759	606998.626	9552699.225	863.026

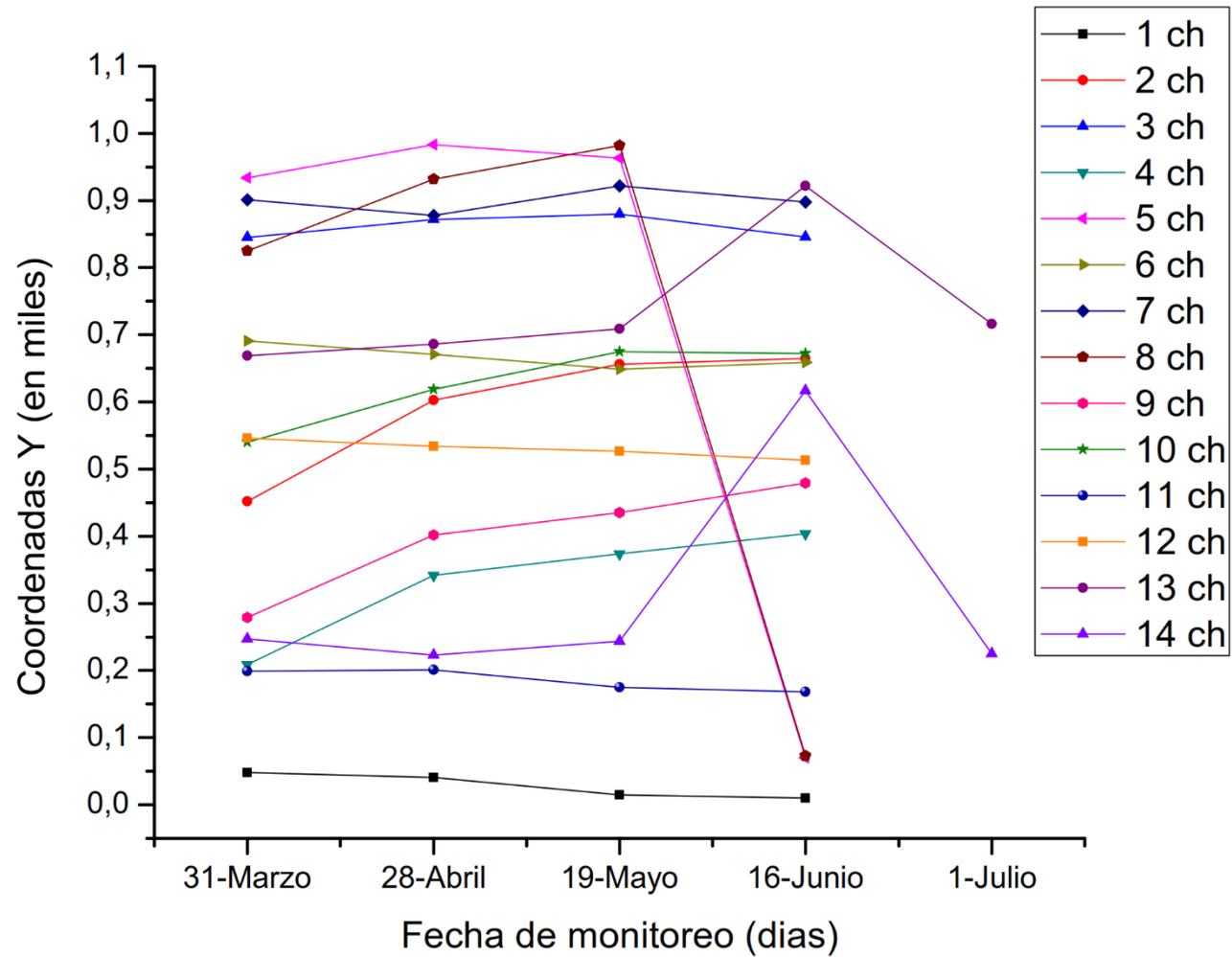
ANEXO 9

Gráficas de las coordenadas georreferenciadas de las estaciones de monitoreo.

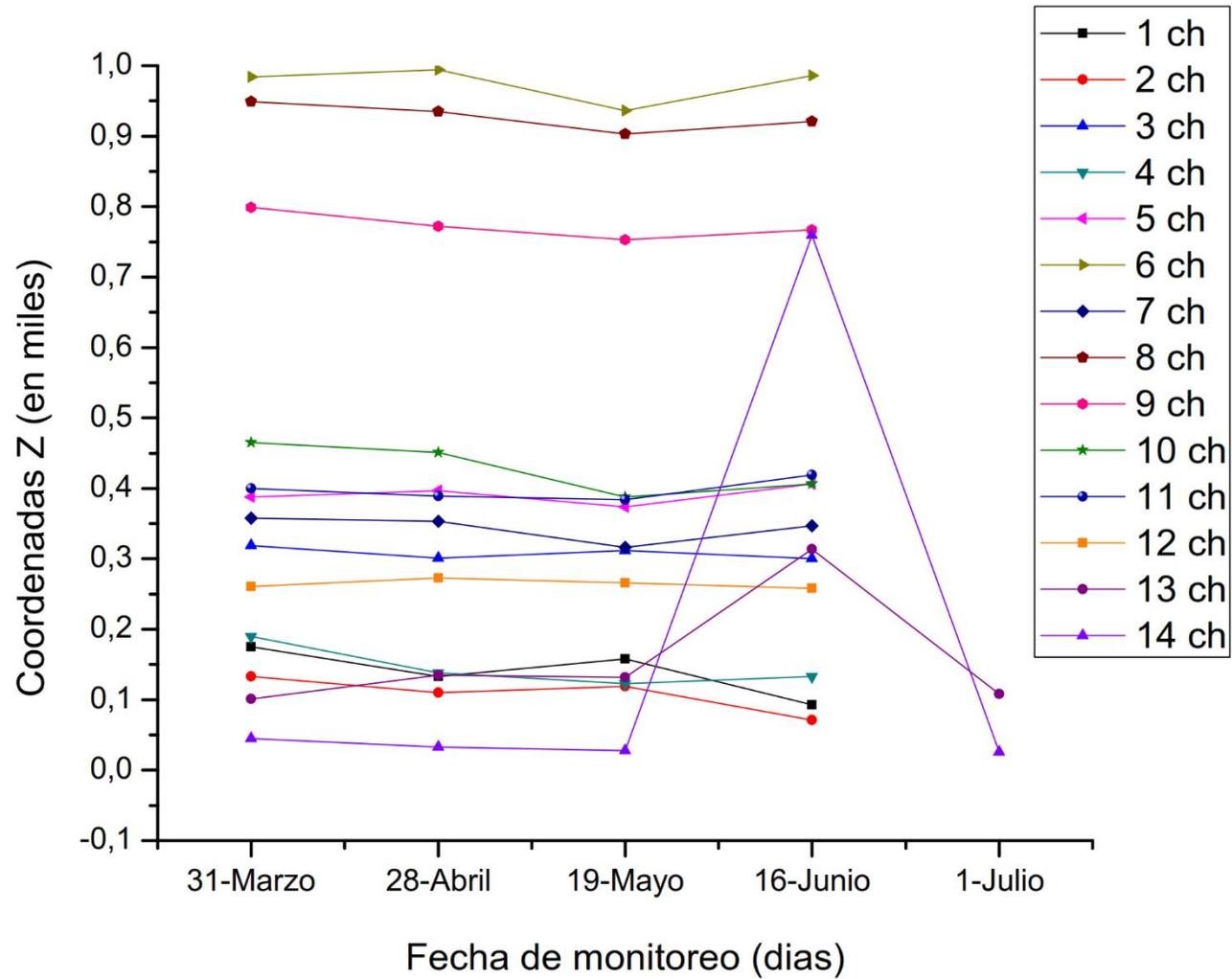
ANEXO 9.1. Coordenadas en X de las 14 estaciones de monitoreo



ANEXO 9.2. Coordenadas en Y de las 14 estaciones de monitoreo



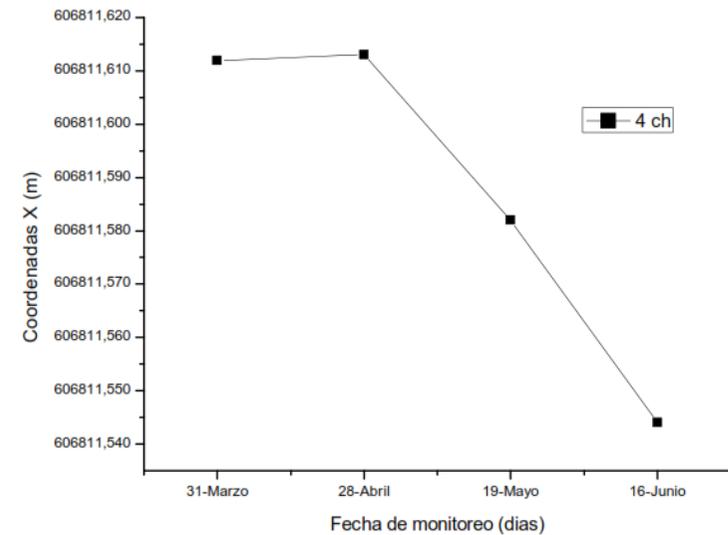
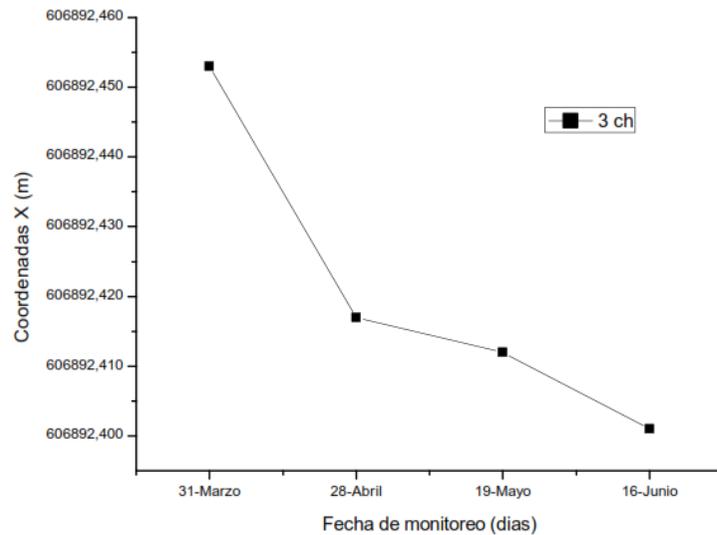
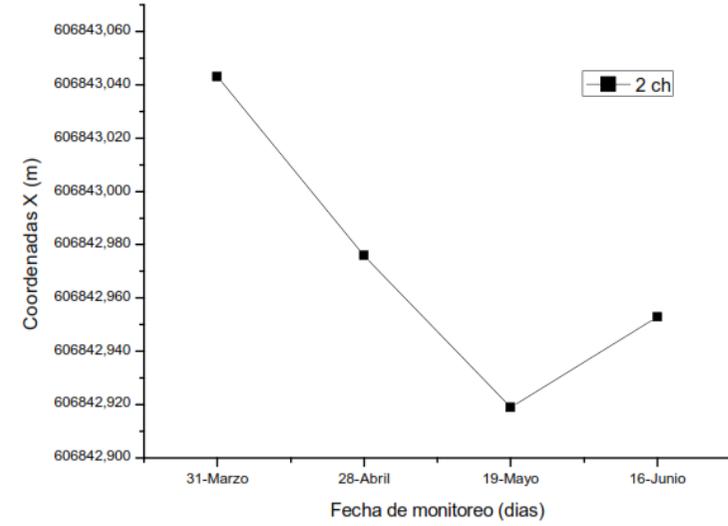
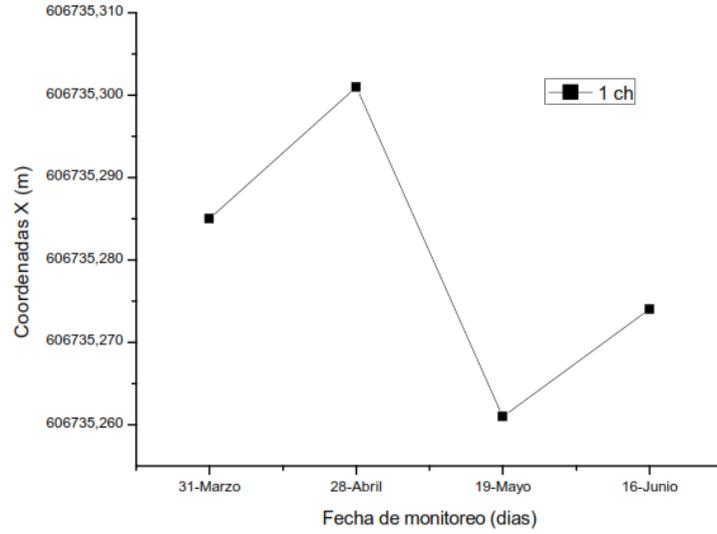
ANEXO 9.3. Coordenadas en Z de las 14 estaciones de monitoreo.



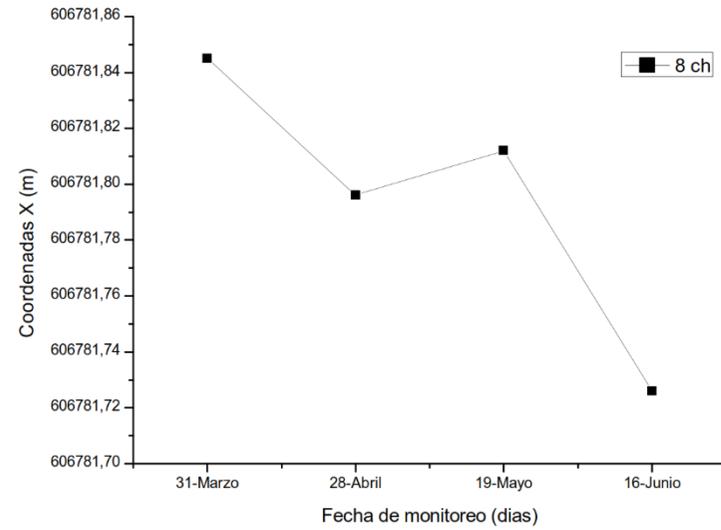
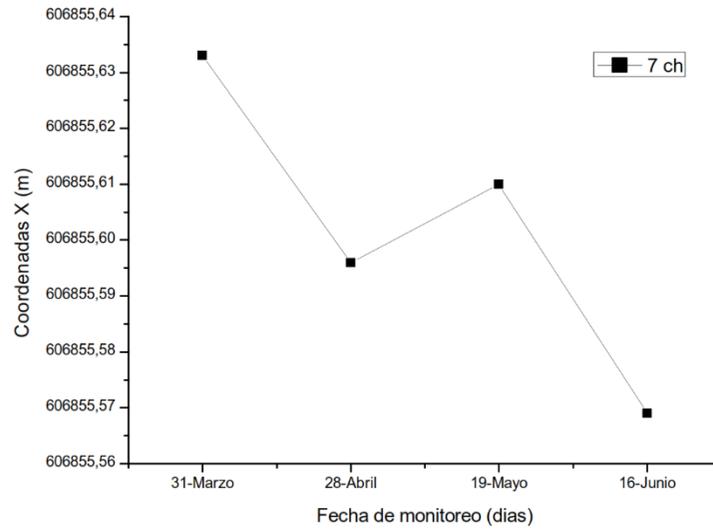
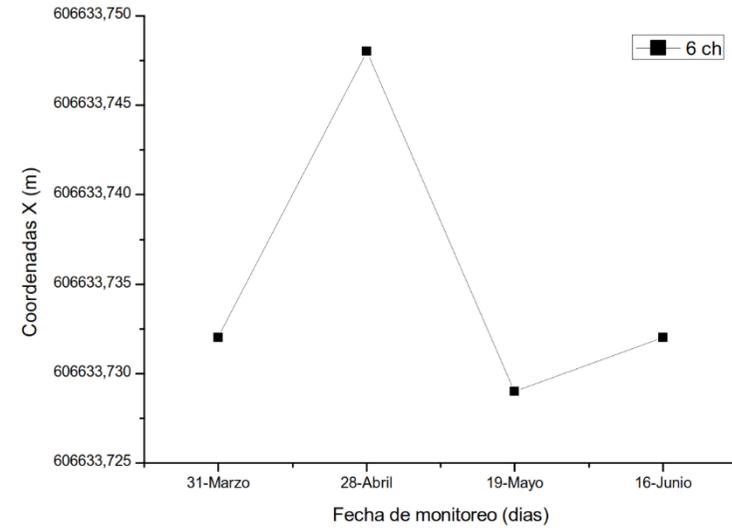
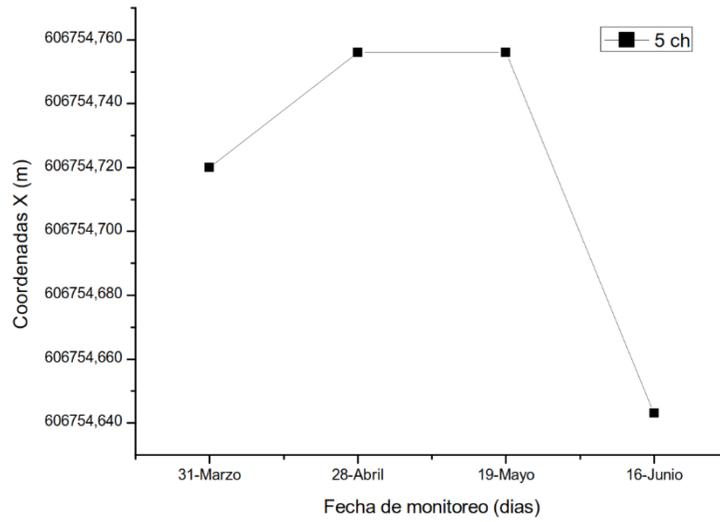
ANEXO 10

Variación de las coordenadas en X de las campañas de monitoreo.

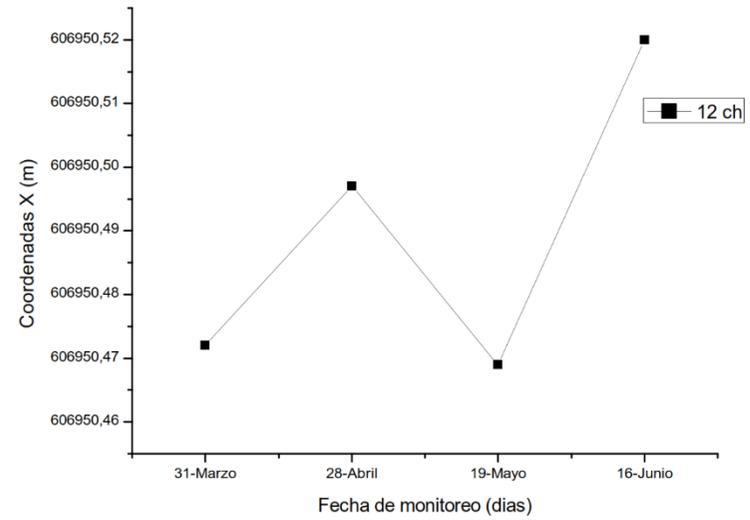
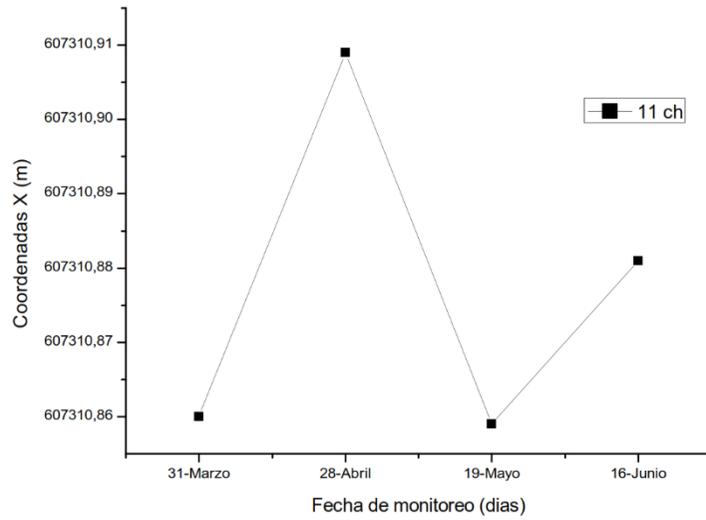
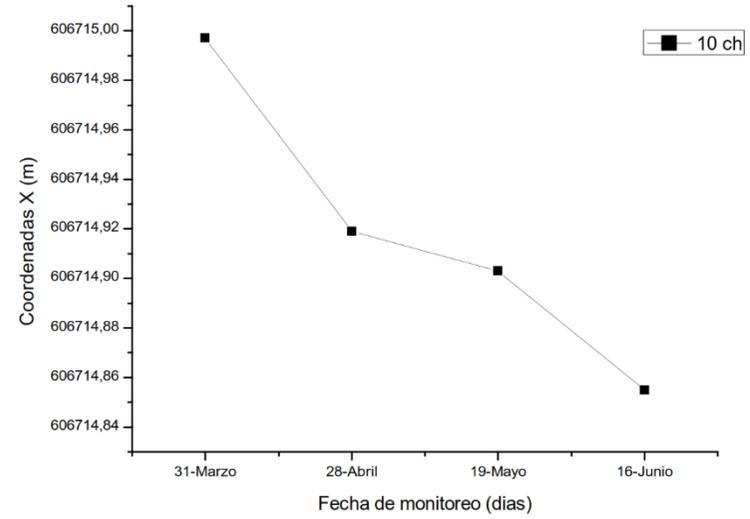
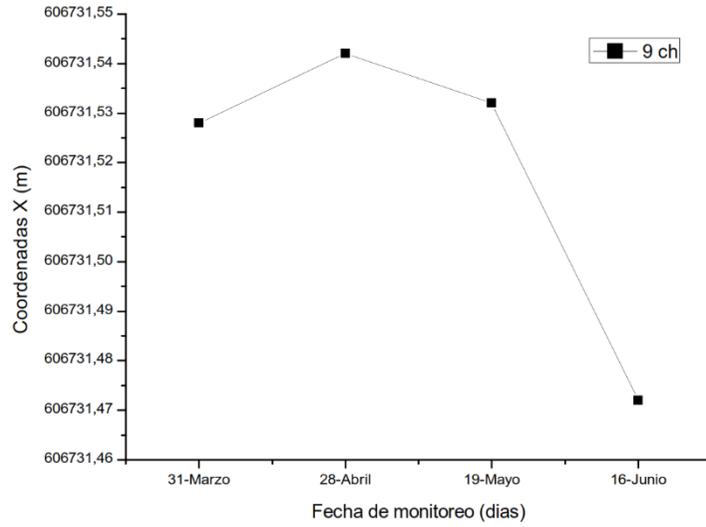
ANEXO 10.1. Variación de coordenadas en X correspondientes a las estaciones 1ch, 2ch, 3ch y 4ch



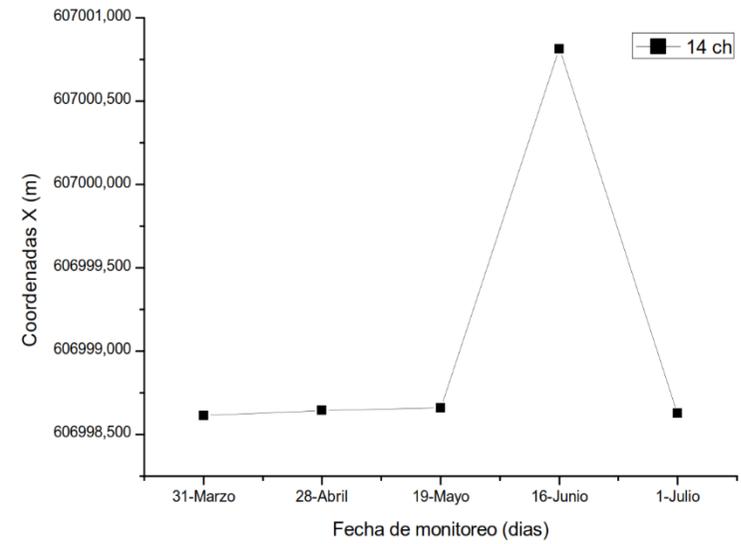
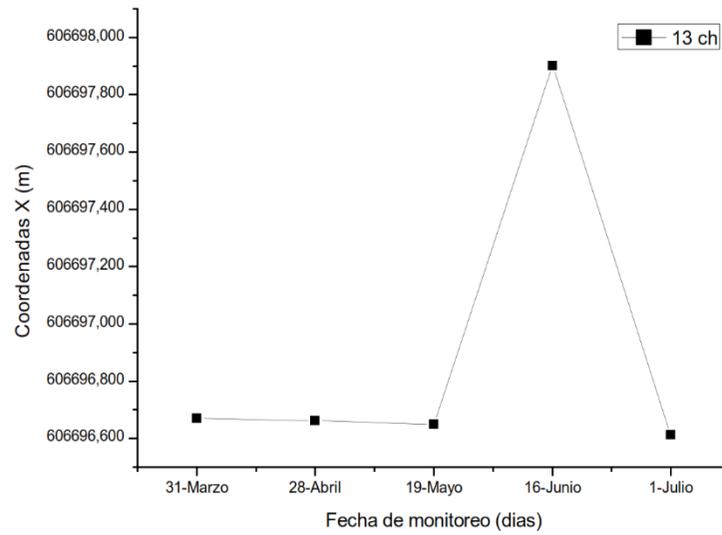
ANEXO 10.2. Variación de coordenadas en X correspondientes a las estaciones 5ch, 6ch, 7ch y 8ch



ANEXO 10.3. Variación de coordenadas en X correspondientes a las estaciones 9ch, 10ch, 11ch y 12ch



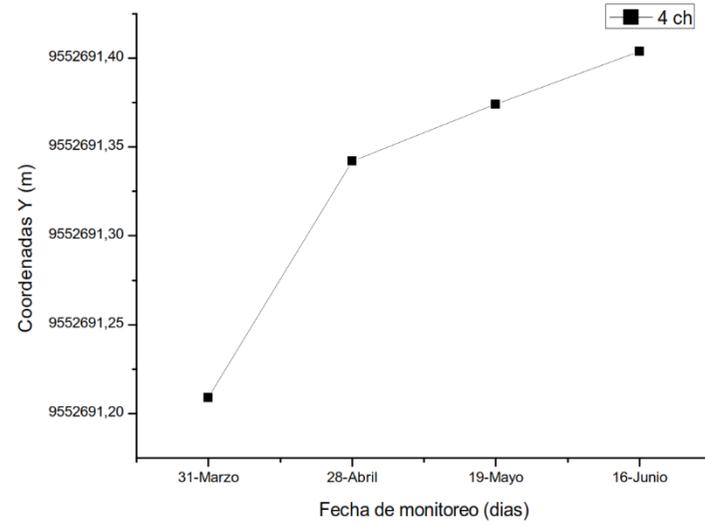
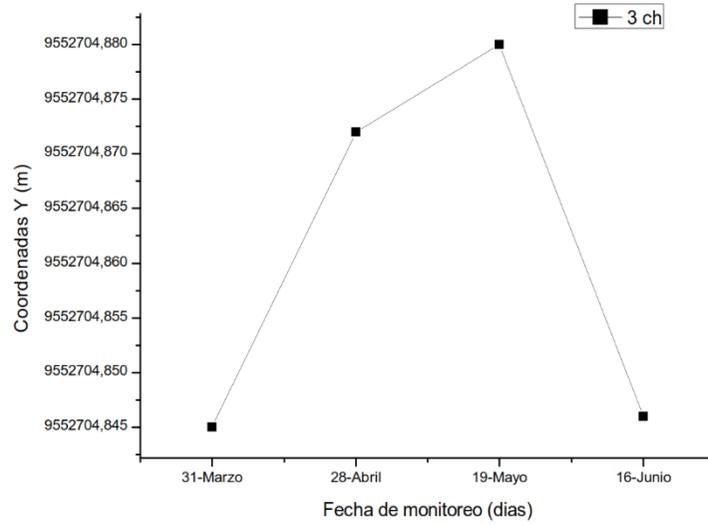
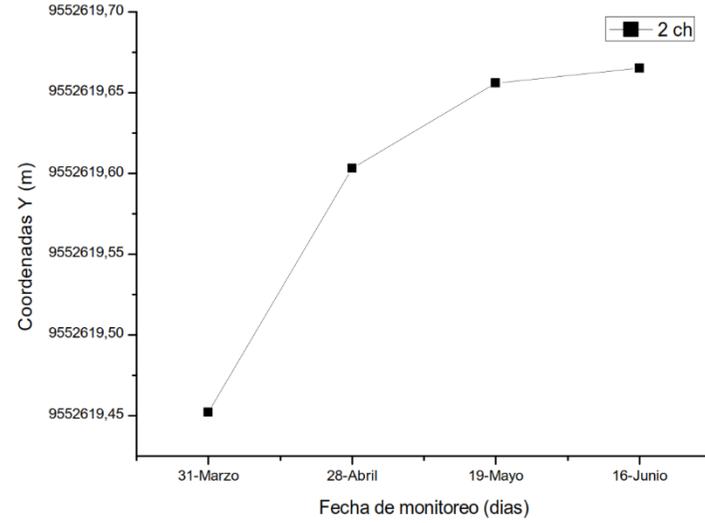
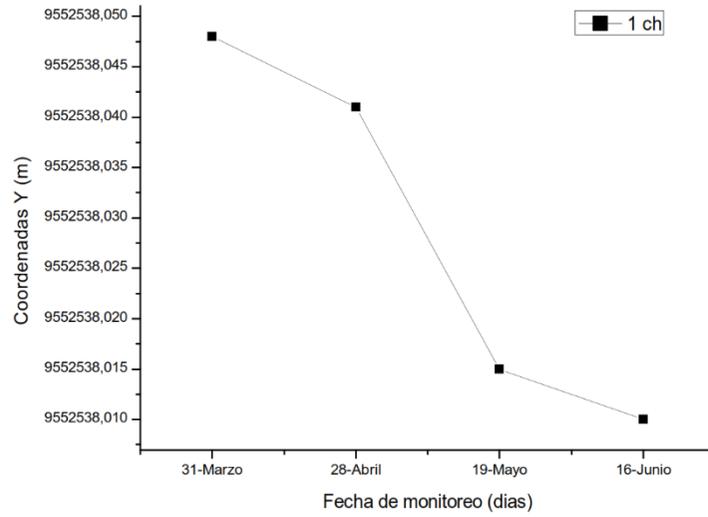
ANEXO 10.4. Variación de coordenadas en X correspondientes a las estaciones 13ch y 14ch



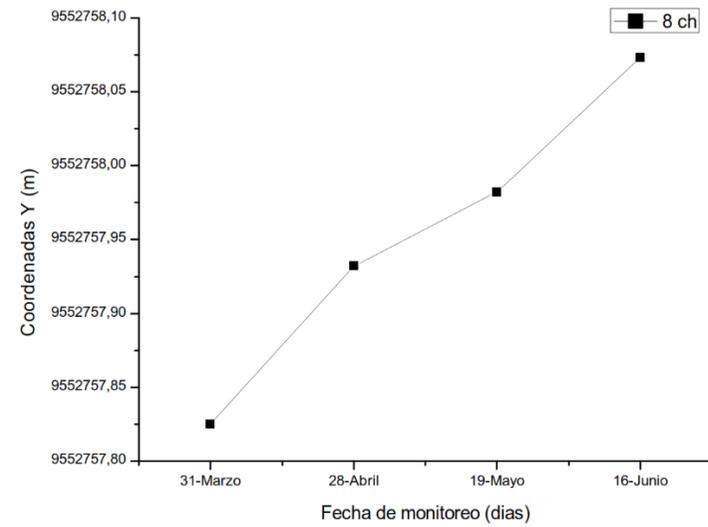
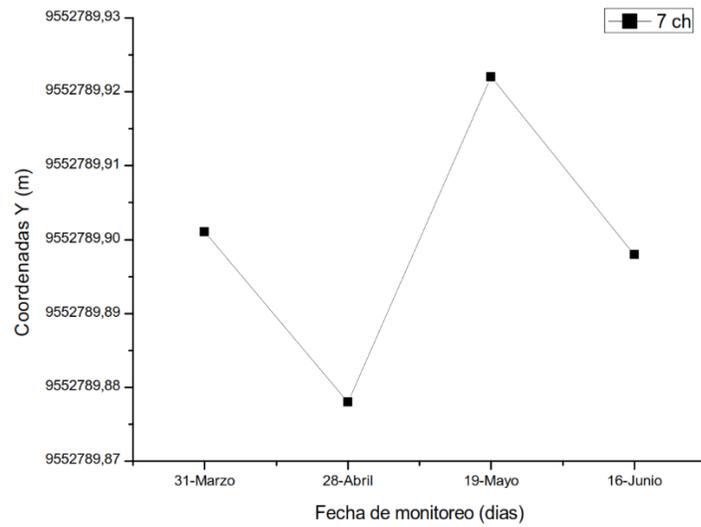
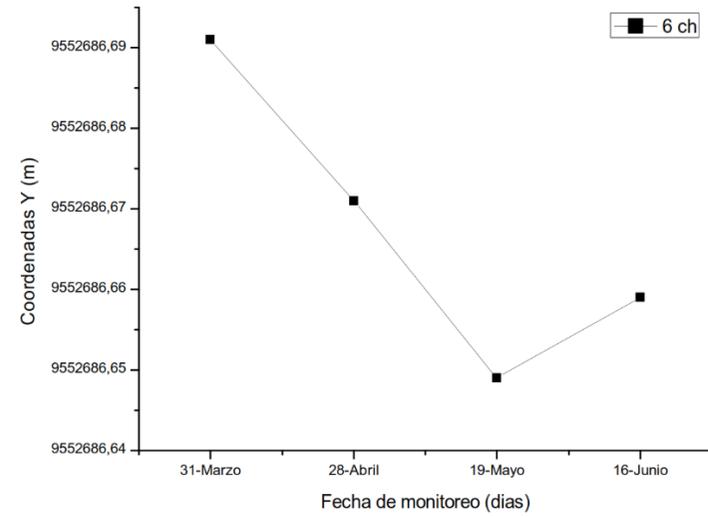
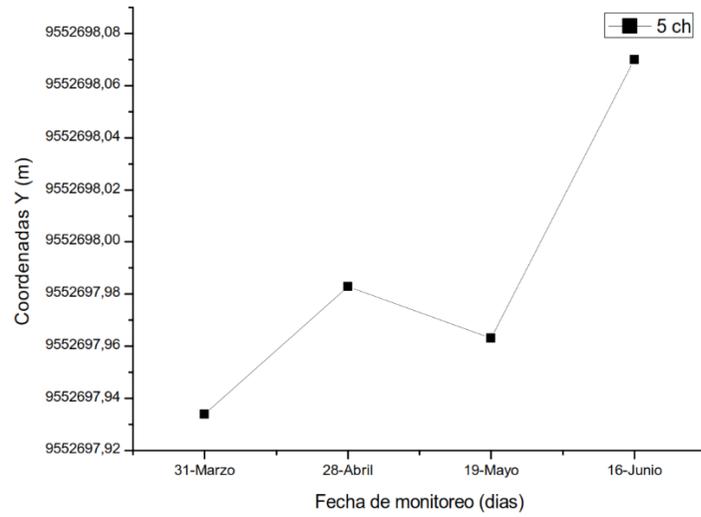
ANEXO 11

Variación de las coordenadas en Y de las campañas de monitoreo.

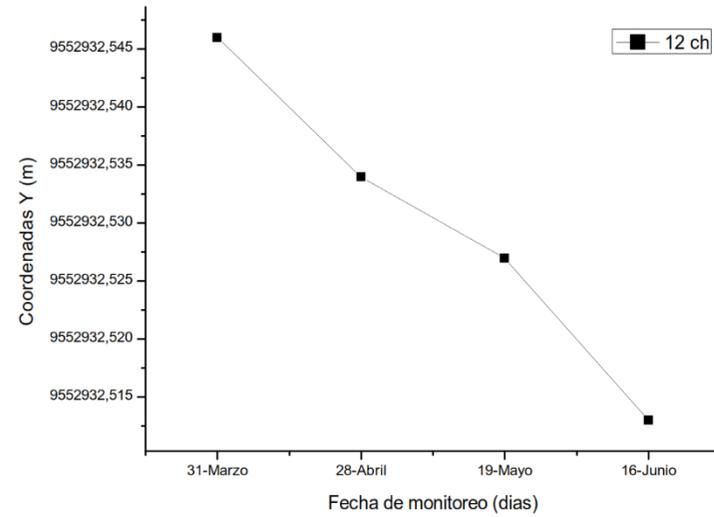
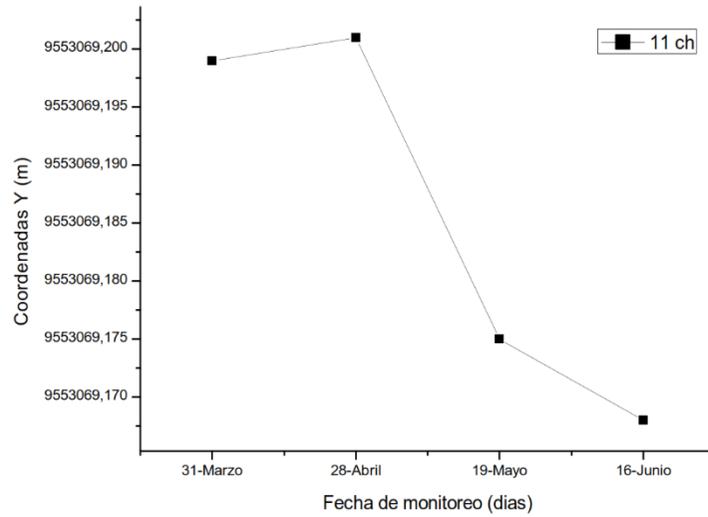
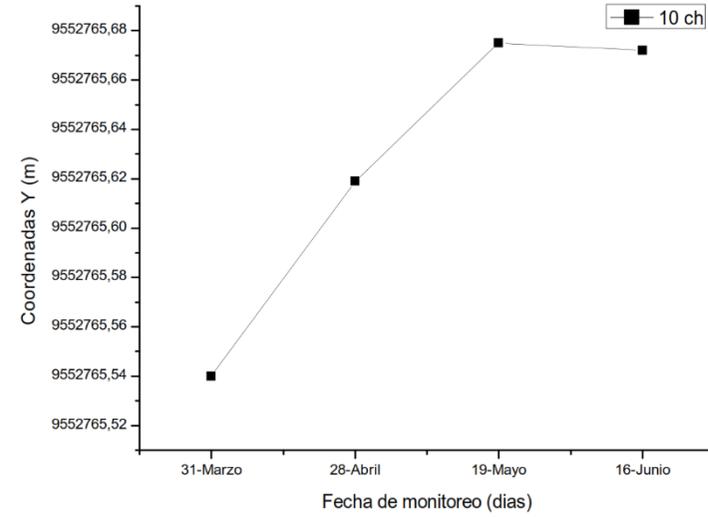
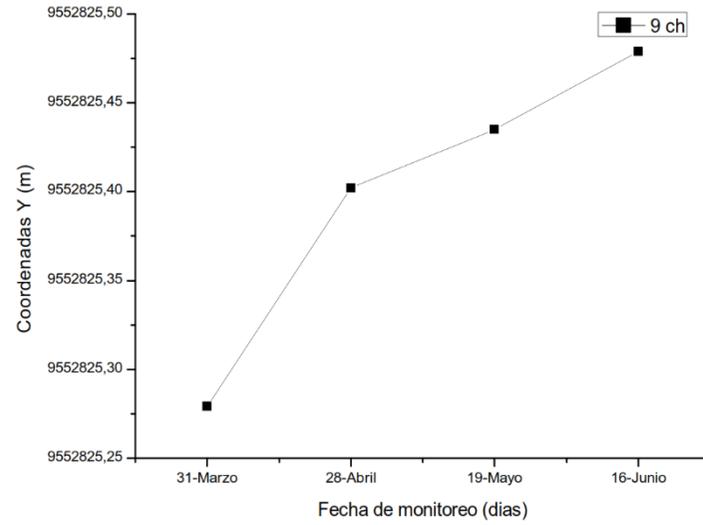
ANEXO 11.1. Variación de coordenadas en Y correspondientes a las estaciones 1ch, 2ch, 3ch y 4ch.



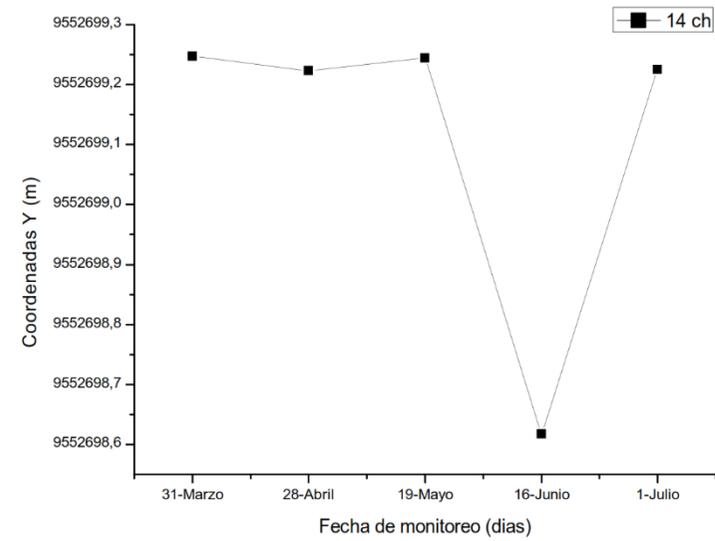
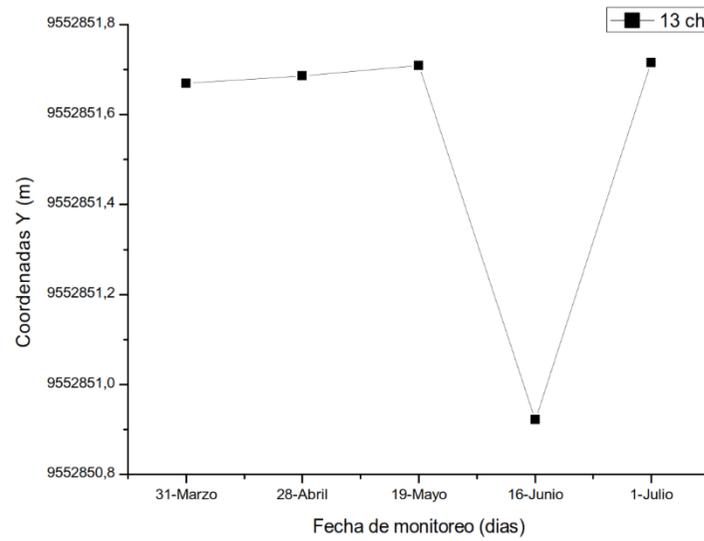
ANEXO 11.2. Variación de coordenadas en Y correspondientes a las estaciones 5ch, 6ch, 7ch y 8ch.



ANEXO 11.3. Variación de coordenadas en Y correspondientes a las estaciones 9ch, 10ch, 11ch y 12ch.



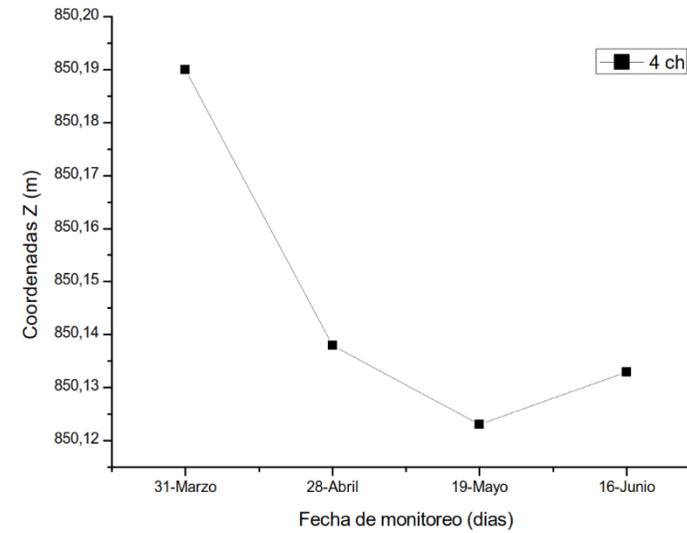
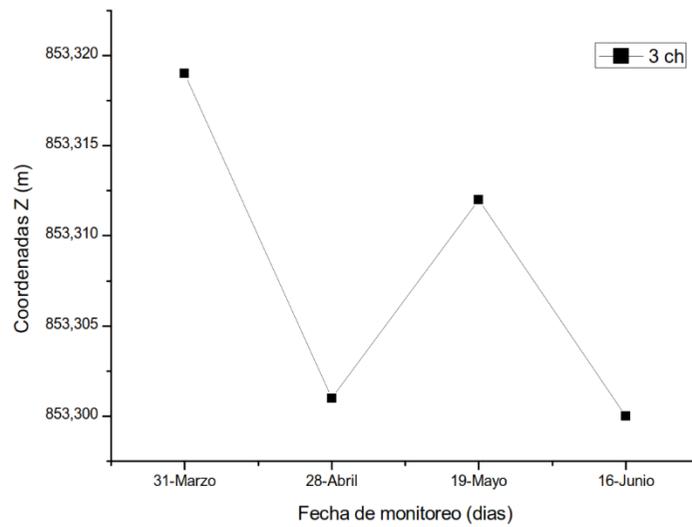
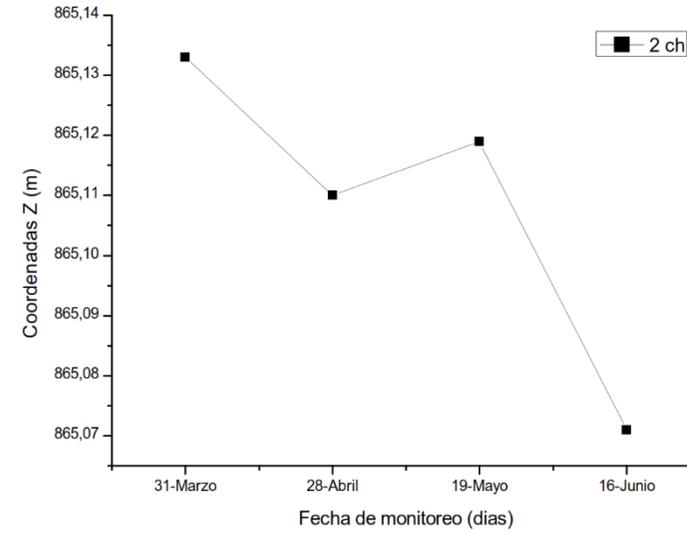
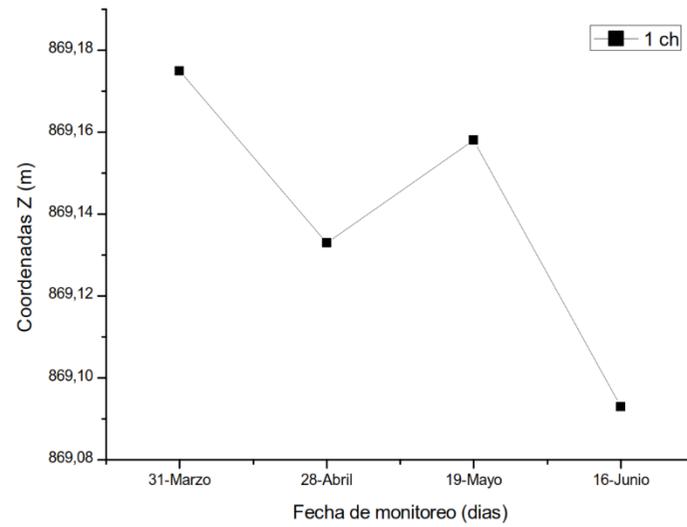
ANEXO 11.4. Variación de coordenadas en Y correspondientes a las estaciones 13ch y 14ch.



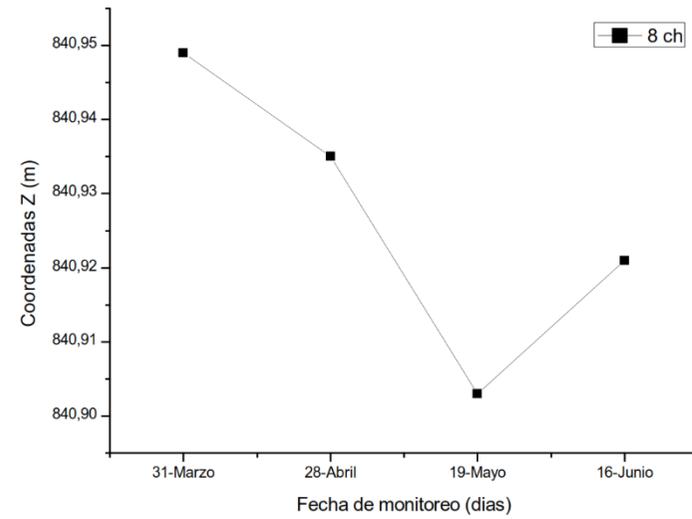
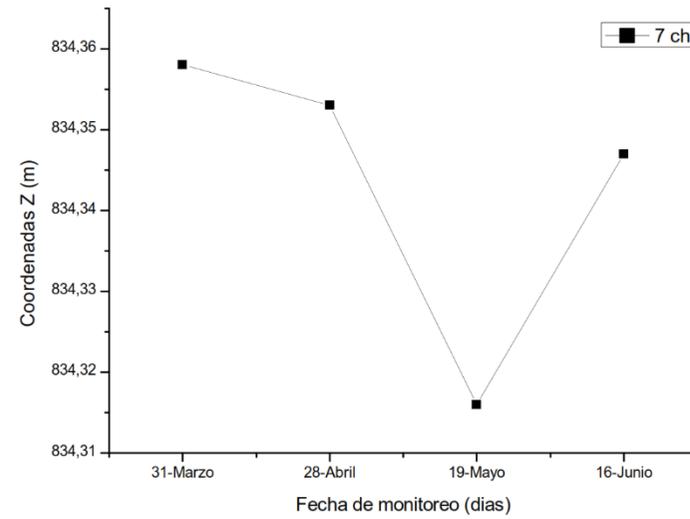
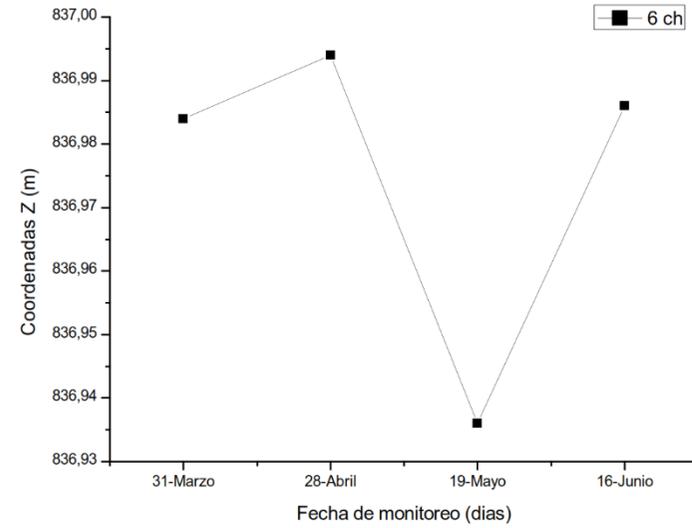
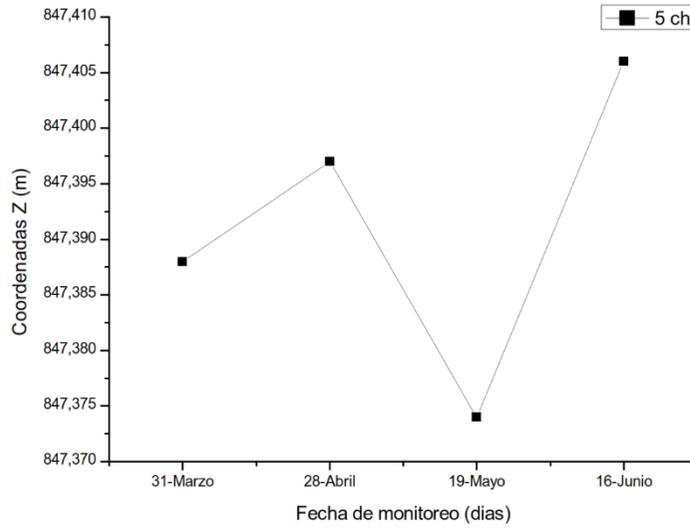
ANEXO 12

Variación de las coordenadas en Z de las campañas de monitoreo.

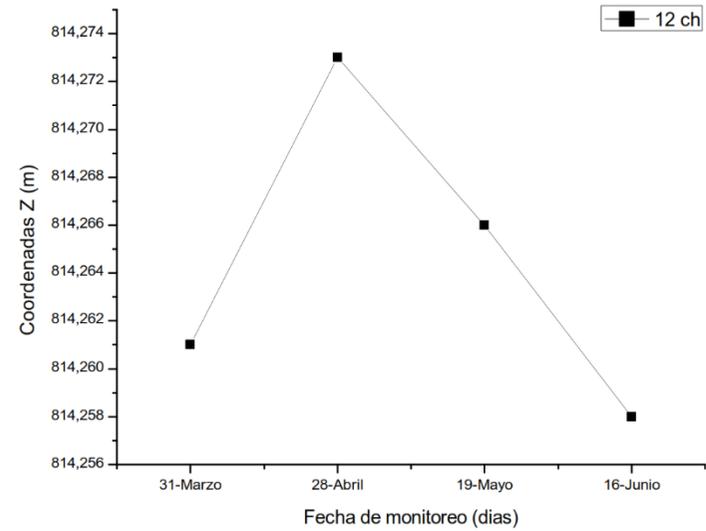
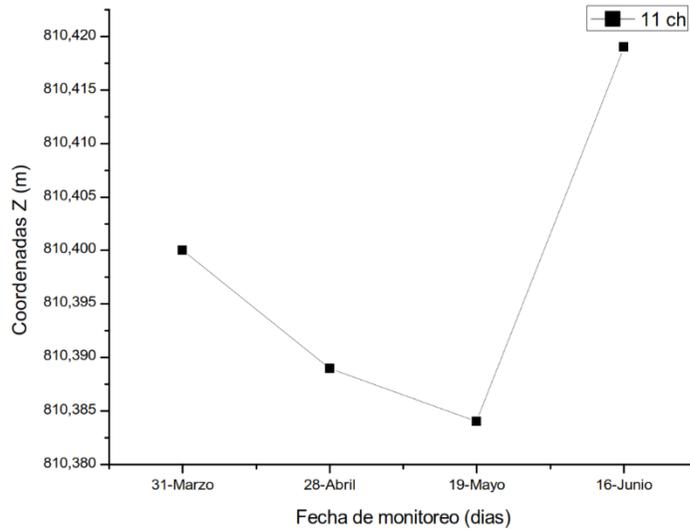
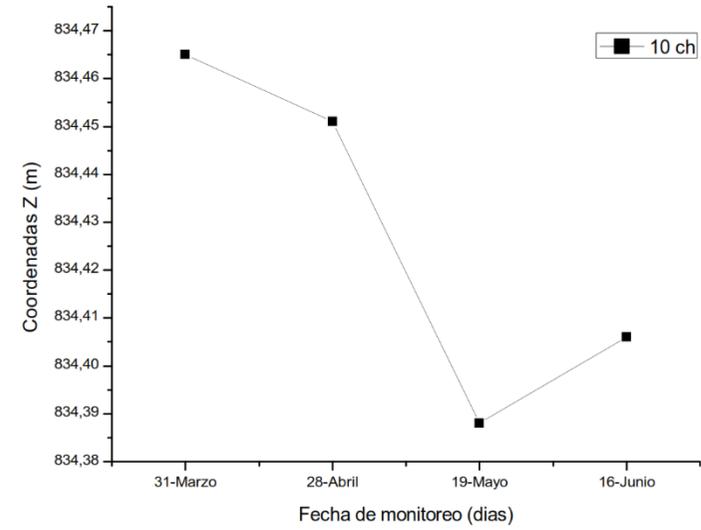
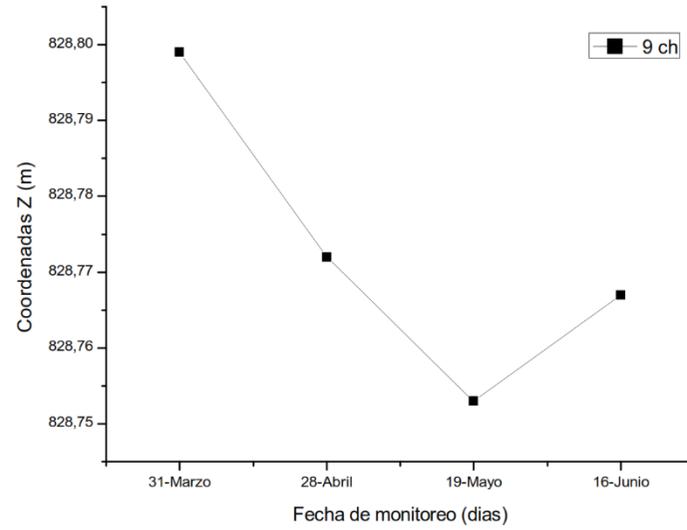
ANEXO 12.1. Variación de coordenadas en Z correspondientes a las estaciones 1ch, 2ch, 3ch y 4ch



ANEXO 12.2. Variación de coordenadas en Z correspondientes a las estaciones 5ch, 6ch, 7ch y 8ch.



ANEXO 12.3. Variación de coordenadas en Z correspondientes a las estaciones 9ch, 10ch, 11ch y 12ch.



ANEXO 12.4. Variación de coordenadas en Z correspondientes a las estaciones 13ch y 14ch.

