

U n i v e r s i d a d d e l B í o - B í o

Facultad de Ingeniería

Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental

Profesor Patrocinante: Ing. Carmen González Labbé

**Profesores Comisión: Ph.D. Patricio Álvarez Mendoza
Dr. Álvaro Suazo Schwencke**

**UMBRAL EMPÍRICO DE DESLIZAMIENTO
POR PRECIPITACIÓN, PARA LA PROVINCIA
DE CONCEPCIÓN.**

Proyecto de Título presentado en conformidad a los requisitos para para optar al título de
Ingeniero Civil

MARCELA ALEJANDRA PRADENAS GONZÁLEZ

A mi madre, apoyo incondicional, quien cree en mí todos los días.

NOMENCLATURA

D.G.A :	Dirección General de Aguas.
Erosión :	Degradación del suelo o roca.
Esfuerzo efectivo :	Es la diferencia entre el esfuerzo total del suelo y la presión de poros en los vacíos de éste.
Infiltración :	Proceso por el cual el agua penetra en el suelo, a través de la superficie de la tierra.
Km :	Kilómetro
L.A. :	Lluvia acumulada o lluvia de corto plazo.
L.A.A :	Lluvia acumulada antecedente o lluvia de largo plazo.
mm :	Milímetros.
Presión de poros :	Presión que ejerce el agua subterránea atrapada en los intersticios de la masa de suelo.
S.I.A.T.A :	Sistema de alerta temprana de Medellín.
TIGO :	Observatorio Geodésico Integrado.
U.S.C.S :	Sistema unificado de clasificación de suelos.
U.S.G.S :	United States Geological Survey .

ÍNDICE GENERAL

NOMENCLATURA.....	iii
1.- INTRODUCCIÓN	3
1.1.- Antecedentes Generales.	3
1.2.- Justificación del tema.....	4
1.3.- Alcances de la Investigación.....	4
1.4.- Objetivos de la investigación.	4
1.4.1.- Objetivo general	4
1.4.2.- Objetivos específicos.....	4
2.- REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	5
2.1.- Precipitaciones como factor detonante de deslizamientos de terreno.....	5
2.2.- Umbral crítico de precipitación.....	6
2.3.- Estudios previos en el mundo.	6
2.4.- Investigaciones previas en el área de estudio.....	9
2.4.1 Estudio ruta CH-152.....	9
2.4.2 Estudio ruta CH-156.....	10
3.- METODOLOGIA	12
3.1.- Área de estudio.....	14
3.2.- Base de datos de precipitación	14
Tabla 1. Ubicación estaciones pluviométricas, según red hidrométrica de la DGA.	14
3.3.- Base de datos de deslizamiento.....	15
4.- RESULTADOS Y ANÁLISIS.....	16
4.1.- Definición umbral empírico para la Ruta CH-152, Autopista del Itata.	16
5.- CONCLUSIONES	22
5.2- Recomendaciones y comentarios	23
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	24

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Curva de lluvia crítica. Aboschi, 1979.....	7
Figura 2. Relación lluvia antecedente 25 días y lluvia diaria. Terlien, 1997.....	8
Figura 3. Umbrales de precipitación de 3 v/s 15 días de lluvia antecedente. Astorga 2011.....	10
Figura 4. Umbrales de precipitación de 5 LA v/s 5, 10, 15, 30, 60 y 90 días de LAAA, para la ruta CH-156. Torres 2013.....	11
Figura 5. Esquema General metodológico.....	13
Figura 6. Esquema determinación de umbrales críticos ruta CH-152.....	13
Figura 7. Distribución de tramos y estaciones pluviométricas de la ruta CH-15.....	15
Figura 8. Lluvia acumulada (LA) de 1 día versus combinaciones de lluvia acumulada antecedente (LAA) de 5, 10, 15, 30, 60 y 90 días.....	17
Figura 9. Lluvia acumulada (LA) de 3 días versus combinaciones de lluvia acumulada antecedente (LAA) de 5, 10, 15, 30, 60 y 90 días.....	17
Figura 10. Lluvia acumulada (LA) de 5 días versus combinaciones de lluvia acumulada antecedente (LAA) de 5, 10, 15, 30, 60 y 90 días.....	18
Figura 11. Lluvia acumulada (LA) de 7 días versus combinaciones de lluvia acumulada antecedente (LAA) de 5, 10, 15, 30, 60 y 90 días.....	18

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Ubicación de estaciones pluviométricas, según red hidrométrica de la DGA.....	14
Tabla 2. Resumen lluvia acumulada y lluvia acumulada antecedente, para umbrales críticos, de la ruta del Itata CH-152. Torres 2013.....	22
Tabla 3. Valores de LA y LAA, para umbrales críticos de la ruta de la Madera CH-156.....	23
Tabla 4. Valores de LA y LAA, para umbrales críticos de la provincia de Concepción.....	23

“UMBRAL EMPÍRICO DE DESLIZAMIENTO POR PRECIPITACIÓN, PARA LA PROVINCIA DE CONCEPCIÓN”

Autor: Marcela Alejandra Pradenas González.

Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, Universidad del Bío Bío

Correo Electrónico: marprade@alumno.ubiobio.cl

Profesor Patrocinante: Carmen González Labbé

Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, Universidad del Bío Bío

Correo Electrónico: cgonzal@ubiobio.cl

RESUMEN

Los deslizamientos de terreno, son procesos frecuentes en Chile y en el mundo, provocados por diferentes factores, tales como procesos geológicos, geomorfológicos y estímulos externos como la lluvia. La posibilidad de ocurrencia de un deslizamiento comienza desde el mismo momento en que se forma una ladera natural o se construye un talud artificial. Lo anterior ha conducido a numerosos estudios en el mundo, sobre el tema de las amenazas por deslizamiento, y estabilidad de taludes, mediante la determinación de umbrales críticos que relacionan las precipitaciones con los deslizamientos. En Chile son escasos los estudios sobre umbrales, sin embargo en la provincia de Concepción existen dos investigaciones desarrolladas por diferentes autores, en la ruta del Itata CH-152 y ruta de la Madera CH-156. En base a los estudios antes mencionados y con la finalidad de contribuir a esta línea de investigación, el presente estudio utiliza el método empírico para determinación de umbrales críticos de deslizamiento por lluvias, a través del uso de la información obtenida de las estaciones meteorológicas y rutas concesionadas, construyendo bases de datos de deslizamientos y precipitación, arrojando resultados del orden de los 44 mm en 30 días para la ocurrencia del 90% de los deslizamientos en ambas rutas.

Palabras claves: Deslizamiento, Precipitación, Umbral.

“RAINFALL BASED LANDSLIDE EMPIRICAL THRESHOLD FOR THE PROVINCE OF
CONCEPCION”

Author: Marcela Alejandra Pradenas González.

Department of Civil and Environmental Engineering, University of the Bío-Bío

Email: marprade@alumno.ubiobio.cl

Teacher Guide: Carmen González Labbé

Department of Civil and Environmental Engineering, University of the Bío-Bío

Email: cgonzal@ubiobio.cl

ABSTRACT

The landslides are common processes in Chile and in the world, they are caused by different factors, such as geological, geomorphologic and external causes like rainfall. The possibility of occurrence of a landslide begins at the very moment a natural slope is formed or an artificial slope is constructed. This has led to numerous studies in the world, on the subject of threats by sliding, and slope stability by determining critical rainfall thresholds that relate to landslides. In Chile the thresholds are few studies, however, in the province of Concepción there are two investigations carried out by different authors, on the Itata route CH- 152 and wood route CH- 156. Based on the above studies and in order to contribute to this line of research, this study uses an empirical method for determining critical rainfall thresholds for sliding through the use of information obtained from weather stations and the route operator, building databases landslides and rain, producing results in the order of 44 mm in 30 days for 90% occurrence of landslides on both routes.

Keywords: slide, rainfall, threshold.

1.- INTRODUCCIÓN

Partiendo de la premisa que el mayor agente desencadenante de los deslizamientos es la lluvia, en el presente estudio se realiza un análisis de la relación existente entre la lluvia y la ocurrencia de deslizamientos en la Provincia de Concepción. En el desarrollo de esta investigación se construyó el marco teórico ligado a la temática de la lluvia como detonante de deslizamientos, en el cual se consignaron definiciones básicas y se analizaron algunos antecedentes de investigación, entre los que es importante destacar los estudios de Astorga (2011) y Torres (2013) en el que establecen una metodología para la definición de un umbral de lluvia en las rutas de la provincia de Concepción CH-152 y CH-156, respectivamente. Posteriormente y en cumplimiento a los objetivos propuestos se confeccionaron bases de datos de precipitación y deslizamiento, para encontrar un umbral empírico de precipitación representativo para la provincia de Concepción, en base a los estudios anteriormente mencionados.

Éste primer capítulo pretende contextualizar, describir y presentar el problema a abordar, además explicar algunos antecedentes que son importantes para el posterior desarrollo del tema central.

1.1.- Antecedentes Generales.

En el mundo y en gran parte del país han ocurrido deslizamientos de terreno, estos eventos han demostrado ampliamente a través de la historia su capacidad destructora, ocasionando considerables pérdidas humanas y económicas. Los deslizamientos o movimientos en masa son procesos esencialmente gravitatorios, por los cuales una parte de la masa del terreno se desplaza a una cota inferior de la original. La mayoría de los deslizamientos son causados por fuerzas o eventos naturales, como lluvias intensas, actividad sísmica, y propiedades del terreno. En general, dicho proceso se asocia a períodos de lluvias torrenciales, las que son detonantes y/o precursoras de los movimientos en masa, ya que aumentan las fuerzas desestabilizadoras y reducen la resistencia del suelo al deslizamiento.

La lluvia como factor desencadenante en la ocurrencia de movimientos en masa ha sido estudiada por numerosos autores, algunos de estos estudios han abordado esta problemática utilizando datos históricos, definiendo umbrales críticos empíricos, que relacionan intensidad, duración de precipitaciones y eventos por movimientos en masa. Un umbral crítico es el nivel mínimo o máximo de alguna cantidad a partir de la cual un proceso ocurre. Aunque los umbrales críticos de lluvia para el pronóstico de deslizamientos han sido ampliamente incorporados en los principales sistemas de alerta temprana por movimientos en masa que operan en el mundo, en Chile, pocos estudios se han realizado referentes a la influencia de la lluvia como factor detonante de

movimientos en masa. Es por esto que el presente proyecto de título pretende aportar a esta línea de investigación, en base a dos estudios previos, realizados en la Ruta CH-156, Ruta de la Madera y CH-152, Autopista del Itata, analizando dichos estudios se pretende determinar un umbral empírico de precipitación para la Provincia de Concepción.

1.2.- Justificación del tema

Los deslizamientos de terreno tienen efectos importantes sobre el hombre, sus bienes materiales y sus actividades en el país. En la Provincia de Concepción, importantes caminos, como lo son la Ruta CH-156, Ruta de la madera y CH-152, Autopista del Itata, están expuestas en toda su longitud a potenciales deslizamientos de taludes, lo que podría terminar con resultados fatales para los usuarios. Por esta razón estudios de éste tipo, cobran importancia, pues permiten llegar a establecer pautas de manejo de las regiones naturales en que se integran las características de un medio ambiente difícil y cambiante, y las labores del hombre con un cierto margen de seguridad para su bienestar, y progreso, a modo de aproximarse a una predicción de deslizamientos que conlleven a mecanismos de prevención o mitigación de este tipo de eventos.

1.3.- Alcances de la Investigación.

La investigación propuesta en este estudio se enfoca en la determinación de umbrales empíricos, basados en datos históricos de precipitación y deslizamiento, si bien existen otros factores desencadenantes de los fenómenos de deslizamiento, como litología, morfología y características de los suelos que controlan la activación de los movimientos en masa, estos están asociados a umbrales físicos, los cuales no forman parte de este estudio. La investigación se llevará a cabo en las rutas de la provincia Concepción, que poseen registros de sus deslizamientos de talud, estas son, Ruta del Itata CH-152 y Ruta de la Madera CH-156.

1.4.- Objetivos de la investigación.

1.4.1.- Objetivo general

- Determinar un umbral empírico de precipitación, para la Provincia de Concepción, en base a estudios previos en la zona.

1.4.2.- Objetivos específicos

- Analizar criterios utilizados para la propuesta de cada umbral.
- Identificar y analizar diferencias y similitudes entre los umbrales estudiados.
- Determinar un umbral empírico para las rutas CH-152, Autopista del Itata y CH-156, Ruta de la Madera.

2.- REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

En el presente capítulo, se entrega información relevante sobre el tema en desarrollo. Se realiza una revisión de estudios previos asociados a la presente investigación, recogiendo todas aquellas citas que aporten información relevante acerca del objeto de estudio y supongan una aportación importante.

2.1.- Precipitaciones como factor detonante de deslizamientos de terreno.

La relación entre las lluvias fuertes y los deslizamientos es una realidad muy frecuente y estudiada. Sin embargo, el análisis es complejo en lo relacionado a los volúmenes e intensidades de lluvias que se requieren para generar un deslizamiento de gran magnitud o una gran cantidad de deslizamientos. El agua se encuentra íntimamente asociado a la estabilidad y deslizamientos de tierra, la infiltración y el movimiento del agua dentro del suelo del talud aumenta el contenido de humedad, lo cual produce un considerable aumento en el peso unitario total de la masa de suelo. Este incremento en peso es apreciable, especialmente en combinación con otros efectos que acompañan el aumento en el contenido de agua (Duncan y Wright, 2005). El agua infiltrada ocasiona un aumento en las presiones del agua presente en los poros del suelo lo que reduce los esfuerzos efectivos entre las partículas, esto equivale a una reducción de resistencia al corte, y con ello una baja en la estabilidad y un eventual fenómeno de deslizamiento de material. Todos los suelos se afectan al aumentar la presión de poros. El tiempo requerido para que se produzcan cambios en la presión de poros depende de la permeabilidad del suelo. En suelos con permeabilidades altas, los cambios pueden ocurrir rápidamente y en pocos minutos, las presiones de poros pueden ascender en forma sustancial durante una lluvia de gran intensidad, mientras que en suelos arcillosos con permeabilidades bajas los cambios son más lentos pero igualmente dañinos. Por otra parte las precipitaciones aumentan la escorrentía superficial sobre el talud generando erosión, desprendimiento, transporte y depósito de partículas o masas pequeñas de suelo o roca, por acción de las fuerzas generadas por el movimiento del agua. Además existe la erosión interna del talud, debido al flujo del agua que provoca pequeñas cárcavas las cuales pueden inducir la falla. Para más detalles sobre los efectos de la lluvia sobre los taludes, ver (anexo C).

2.2.- Umbral crítico de precipitación.

En general un umbral es el punto en el cual existe un cambio brusco, en una cualidad, propiedad o fenómeno. (Reichenbach et al., 1998) definieron el término umbral crítico de lluvia como el mínimo o máximo nivel crítico de alguna cantidad necesaria, en este caso lluvia, a partir de la cual un proceso ocurre. Normalmente, distintas zonas necesitan lluvias cuya intensidad, duración o una combinación de ellas superen un umbral característico para que generen deslizamientos. Los umbrales críticos de precipitación pueden ser empíricos o de bases físicas. Los primeros, se establecen en la identificación de áreas donde ha ocurrido o no un deslizamiento, relacionado con un evento de precipitación, mientras que los umbrales físicos, se basan en modelos numéricos que toman en cuenta la relación entre la precipitación, la presión de poros (Aleotti, 2004; Wang y Sassa, 2006) y la estabilidad de taludes (Aleotti, 2004) entre otras variables definidas a partir de modelos físicos numéricos, de mayor complejidad en su definición y aplicación ya que integran factores geomorfológicos, hidráulicos, geológicos y antrópicos, mientras que el umbral empírico de lluvia está basado en registros históricos de precipitación y deslizamientos que relacionan la ocurrencia del evento con algunos parámetros investigados como la intensidad de la lluvia, la duración de la lluvia, la lluvia acumulada (LA), lluvia acumulada antecedente (LAA), o la combinación de estos (Guzzetti et al., 2005). La LA representa la lluvia caída en los días inmediatamente previos al deslizamiento, incluyendo el día del evento, mientras que la LAA corresponde a la cantidad de lluvia caída los días precedentes a los considerados en la lluvia acumulada. Para los umbrales empíricos resulta necesario disponer de una base de datos de calidad, tanto del inventario de movimientos en masa, como del historial de lluvias, si esta información es escasa o no existe, son recomendables los umbrales físicos. Los inventarios más fiables son los basados en observaciones directas o en la recopilación sistemática de sucesos de deslizamiento por servicios técnicos como el de mantenimiento de carreteras (Hungr et al., 1999) Los umbrales empíricos se obtienen a través de límites trazados sobre coordenadas cartesianas, visualmente, es decir sin ninguna rigurosidad matemática, estadística o criterio físico. (Guzzetti et al., 2010).

2.3.- Estudios previos en el mundo.

Las primeras discusiones acerca de umbrales críticos de lluvia como detonantes de deslizamientos de suelo, fueron presentadas por Caine en 1980, fue el primero en utilizar relaciones empíricas entre la ocurrencia de movimientos en masa y las características de

precipitaciones, llevó a cabo un estudio donde recopiló cerca de 73 curvas de intensidad – duración que desencadenaron deslizamientos superficiales a nivel mundial; a raíz de estos determinó un umbral general a partir del cual se pueden originar deslizamientos de este tipo. Igualmente, en la literatura diferentes autores han tratado de establecer alguna relación entre la lluvia acumulada y los deslizamientos profundos; estableciendo principalmente algunas correlaciones entre inventarios de deslizamiento y la lluvia acumulada. Otro importante número de trabajos se han realizado en este sentido con el fin de asociar algún tipo de lluvia determinada con diferentes tipos de deslizamientos y generar pronósticos de ocurrencia de movimientos en diferentes partes del mundo (Reichenbach et al., 1998; Crozier, 1999; Glade et al., 2000; Jakob & Weatherly, 2003; Gabet et al., 2004; Guzzetti et al., 2005; Cannon, 2005; Godt et al., 2006; Giannecchini, 2006). Aboshi, 1979 estableció una metodología donde grafica la lluvia antecedente de dos semanas previa al día del evento versus la lluvia del día del evento, como se muestra en la figura 1.

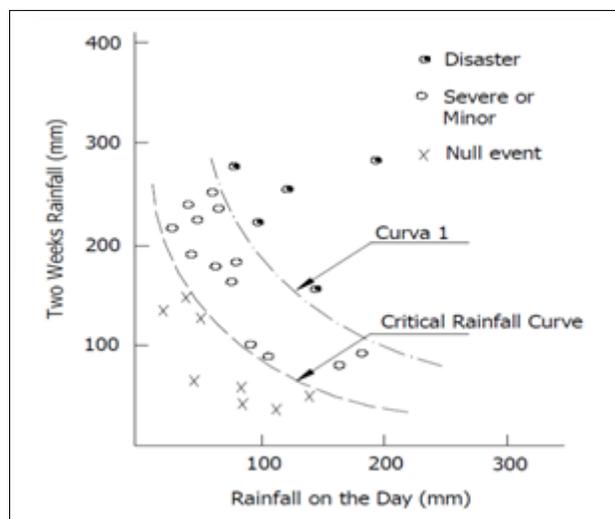


Figura 1. Curva de lluvia crítica. Fuente: Aboschi, 1979.

Con base en esto se trazan algunos umbrales para la ocurrencia de varios deslizamientos de diferente magnitud a partir de los cuales se determina un umbral de lluvia crítica. Terlien (1997), realizó un estudio en la ciudad de Manizales (Colombia) para establecer la dependencia de los deslizamientos a partir de la lluvia acumulada de 25 días y la del día del evento, generando un umbral donde se discriminan los deslizamientos profundos de los superficiales, como se muestra en la figura 2.

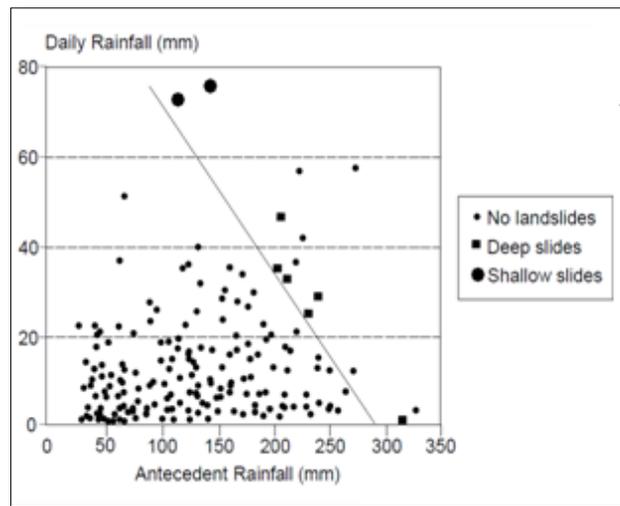


Figura 2. Relación lluvia antecedente 25 días y lluvia diaria asociada a deslizamientos. Fuente: Terlien, 1997.

Los parámetros utilizados en la metodología son, la lluvia diaria, la lluvia acumulada de 25 días y el inventario de deslizamientos. Posteriormente, en 1998 Terlien ensayó combinaciones de lluvia diaria y lluvia acumulada antecedente de 2, 5, 15 y 25 días, propuso que 15 días de lluvia acumulada antecedente son suficientes para favorecer la ocurrencia de los eventos. Estudios más recientes en ciudades como Medellín, Colombia, que han sufrido de numerosos eventos a causa de los deslizamientos, Echeverri y Valencia (2004) se propusieron generar un mapa de amenazas por deslizamientos a través de la proporción de un umbral de precipitaciones entre 3 y 15 días precedentes como indicador de susceptibilidad de deslizamiento. Mayorga (2003) encuentra para Colombia que la lluvia más significativa en la formación de deslizamientos es la acumulada durante un período de 30 días. Chleborad (2000) analiza datos de precipitación asociados con eventos históricos en Seattle para identificar umbrales de precipitación por movimientos en masa. El umbral definido, considerando solamente periodos en que se han presentado tres o más movimientos de masa, se establece a partir de la cantidad de lluvia antecedente de los 3 días anteriores al movimiento contra la cantidad de lluvia acumulada de los 15 días anteriores a los 3 días considerados. Chleborad (2003) confirma dicho umbral con datos del periodo 2000-2003 en esa área, ver anexo D. El United States Geological Survey (USGS) tiene en operación una red de pluviómetros en tiempo real, la cual, según los umbrales definidos por Chleborad combinados con umbrales físicos, indica aquellos periodos más propensos a la ocurrencia de movimientos en masa de forma continua. Moreno et al. (2006), basados en la metodología desarrollada por Chleborad, estudian la relación entre la ocurrencia de movimientos en masa y la lluvia

antecedente de 3 y 15 días para el departamento de Antioquia, proponiendo 4 regiones representativas de lluvias antecedentes, con umbrales críticos de 150 mm para la lluvia acumulada de los 15 días precedentes y 70 mm para la lluvia acumulada antecedente de los 3 días, resultados que ahora se utilizan para la definición de niveles de alerta amarilla y naranja en el municipio de Medellín por el Sistema de Alerta Temprana (SIATA), ver anexo E.

2.4.- Investigaciones previas en el área de estudio

Para determinar el objetivo principal de esta investigación, se requiere establecer un método homogéneo en las Ruta del Itata CH-152 y Ruta de la Madera CH-156, que permita obtener un umbral empírico, para esto se analizarán dos estudios realizados en las rutas antes nombradas, se compararán los criterios y umbrales planteados por ambos autores, para finalmente adoptar la propuesta que resulte más factible y así definir un único umbral para la provincia de Concepción, dichos estudios se exponen a continuación.

2.4.1 Estudio ruta CH-152.

Astorga elige como área de estudio el tramo que comprende la ruta CH-152, Autopista del Itata, recopilando registros de lluvias diarias en el período comprendido entre los años 2002 hasta 2010, estos datos fueron obtenidos desde cuatro estaciones cercanas a la ruta, tres de estas corresponden a la Dirección General de Aguas (DGA) y una al Observatorio Geodésico Integrado Transportable (TIGO) de la Universidad de Concepción que actualmente no posee datos disponibles. En cuanto al inventario de deslizamientos, fueron utilizados los registros diarios totales de retiro de rodados de la concesionaria Autopista del Itata S.A. en el mismo periodo de tiempo dispuesto para los registros de precipitación. El autor se basa exclusivamente en la metodología aplicada por Chleborad, considerando una única combinación, lluvia acumulada de 3 días, incluido el día del evento, versus lluvias de 15 días antecedentes a los 3 días calculados. Además analiza y depura datos según los siguientes criterios:

- No considera deslizamientos del año 2010, debido a que estos podrían verse afectados por el terremoto del 27 de febrero de ese año. Finalmente utiliza datos entre 2002 y 2009.
- Para la lluvia de 3 días considera solo aquellas superiores a 20 milímetros (mm)
- Para las lluvias de 15 días considera solo aquellas superiores a 100 mm

En definitiva Astorga determina visualmente 4 rectas que podría delimitar umbrales mínimos para cada estación, sin embargo no llega a valores de precipitación, La figura 3 presenta los resultados obtenidos con datos de las estaciones TIGO, Las Pataguas, Nueva Aldea y Chillancito de la ruta 152, por Astorga (2011).

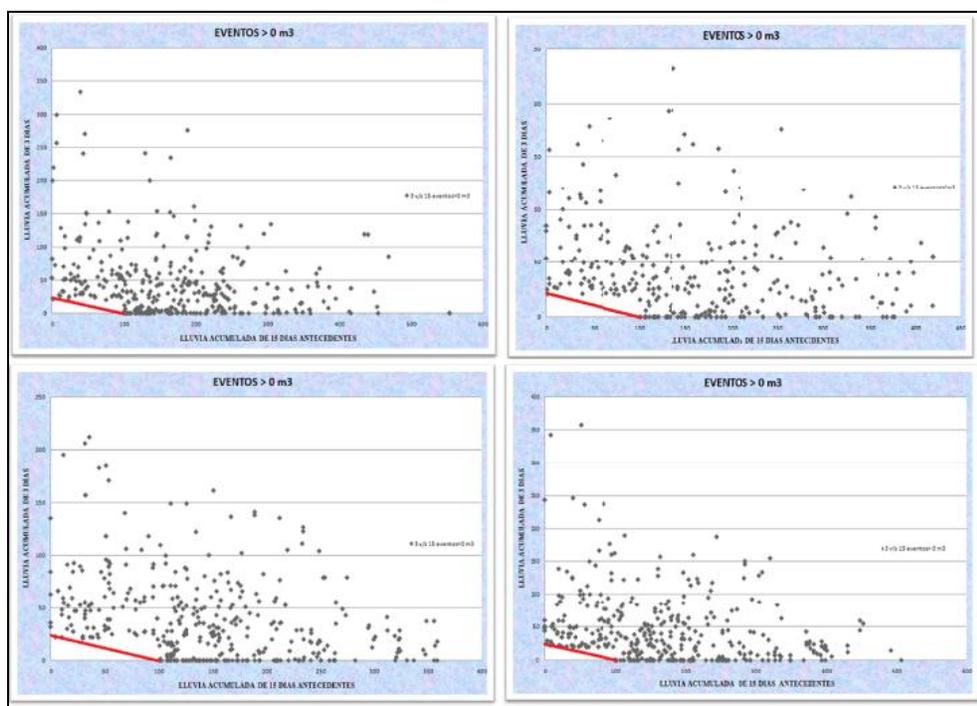


Figura 3. Umbrales de precipitación de 3 v/s 15 días de lluvia antecedentes para cada estación, Astorga (2011).

2.4.2 Estudio ruta CH-156.

La investigación presentada por Torres (2013) se lleva a cabo en la ruta CH-156, ruta de la Madera. Basándose en otros autores como Terlien (1997) y Moreno et al (2006). Torres utiliza parámetros de lluvia acumulada (LA) de 1, 3,5 y 7 días y de lluvia acumulada antecedente (LAA) de 5, 10, 15, 30,60 y 90 días .Así construye una base de datos de deslizamientos aportados por la “Concesión del camino de la Madera S.A.” y una de precipitaciones a partir de los registros obtenidos por 4 estaciones de la DGA, utilizando datos exclusivamente según los siguientes criterios:

- Eventos ocurridos entre los años 2004 y 2012
- Eventos en los cuales aparece como posible causa asociada la precipitación, y no a trabajos propios de la ruta.
- Eventos con información espacial precisa de inicio y final del tramo de deslizamiento

Finalmente los datos son expresados en gráficos cartesianos y se obtienen umbrales para las diferentes combinaciones de lluvia. El autor concluye que la combinación más representativa, y

por ende el umbral característico de la ruta CH-156 se representa por los tres últimos gráficos de la figura 4, que muestran la combinación de 5 días de LA vs LAA de 30, 60 y 90 días.

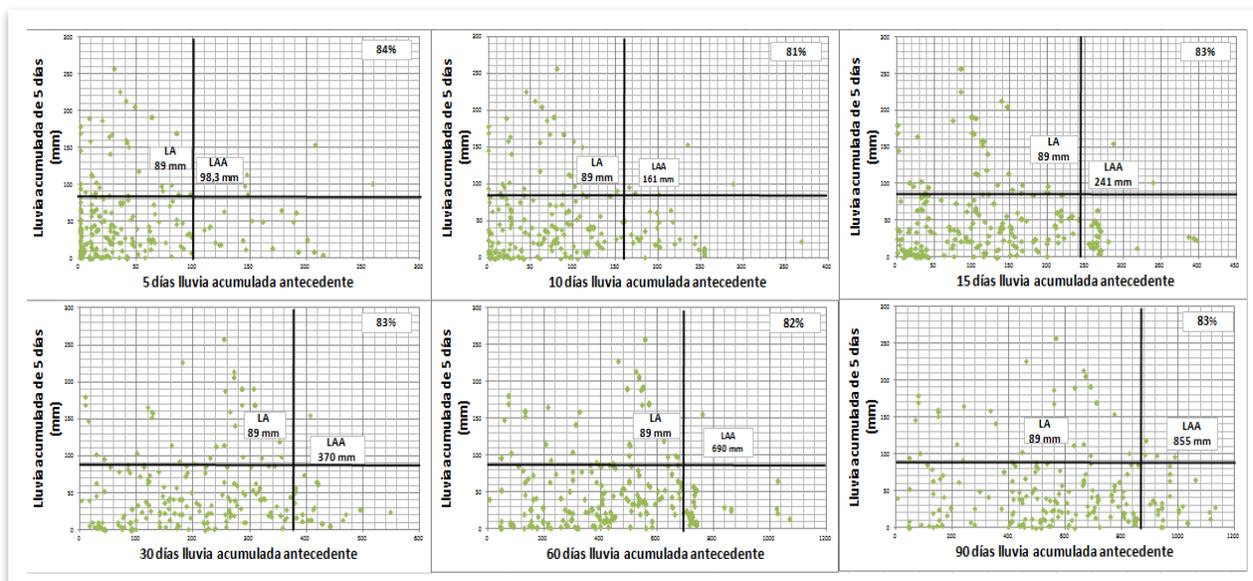


Figura 4. Umbrales de precipitación de 5 LA v/s 5, 10 15, 30, 60 y 90 días de LAA, para la ruta CH-156. Torres (2013).

3.- METODOLOGIA

A continuación, se detalla el camino para cumplir los objetivos planteados, en los capítulos uno y dos se expusieron la problemática, metodologías de análisis, y revisión tanto en el ámbito nacional como internacional. A partir del análisis de los estudios previos realizados en la provincia, se requiere la recopilación y construcción de una nueva base de datos para la ruta CH-152, Autopista del Itata, dado que no se encuentran disponibles los datos utilizados por Astorga (2011) y este no concluye con valores de precipitación, se escoge entonces la metodología utilizada por Torres (2013), pues resulta la más factible, y rigurosa utilizando diferentes combinaciones de lluvias.

Para desarrollar el estudio, es necesario calcular empíricamente los umbrales críticos de la ruta CH-152, Autopista del Itata, para luego comparar los resultados con el umbral encontrado por Torres (2013) en la ruta CH-156, Ruta de la madera, de manera tal que sea posible proponer un sólo umbral crítico para la provincia en base a estas dos rutas concesionadas. La determinación del umbral empírico de deslizamiento por precipitación para la ruta CH-152, Autopista del Itata, se realizó mediante la construcción de una base de datos de deslizamiento y se usó una base de datos de precipitación con registros de estaciones pluviométricas de la DGA, las que miden cantidad de agua caída diariamente ; posteriormente a cada movimiento en masa se le asignó una serie de precipitación histórica correspondiente a la estación de lluvia que comprendiera el área de influencia del lugar donde ocurrió el evento, finalmente se calcularon la lluvia acumulada 1, 3, 5 y 7 días y la lluvia acumulada antecedente 5, 10, 15, 30, 60 y 90 días para cada deslizamiento.

La figura 5 expresa el esquema metodológico general para cumplir los objetivos propuestos en ésta investigación, luego la figura 6 muestra el esquema utilizado para encontrar los umbrales críticos de la ruta CH-152, Autopista del Itata, en el muestra los insumos necesarios como la base de datos de deslizamientos y la base de datos de precipitación, con los parámetros utilizados de 1, 3, 5 y 7 días de lluvia acumulada y 5, 10, 15, 30, 60 y 90 días de lluvia acumulada antecedente.

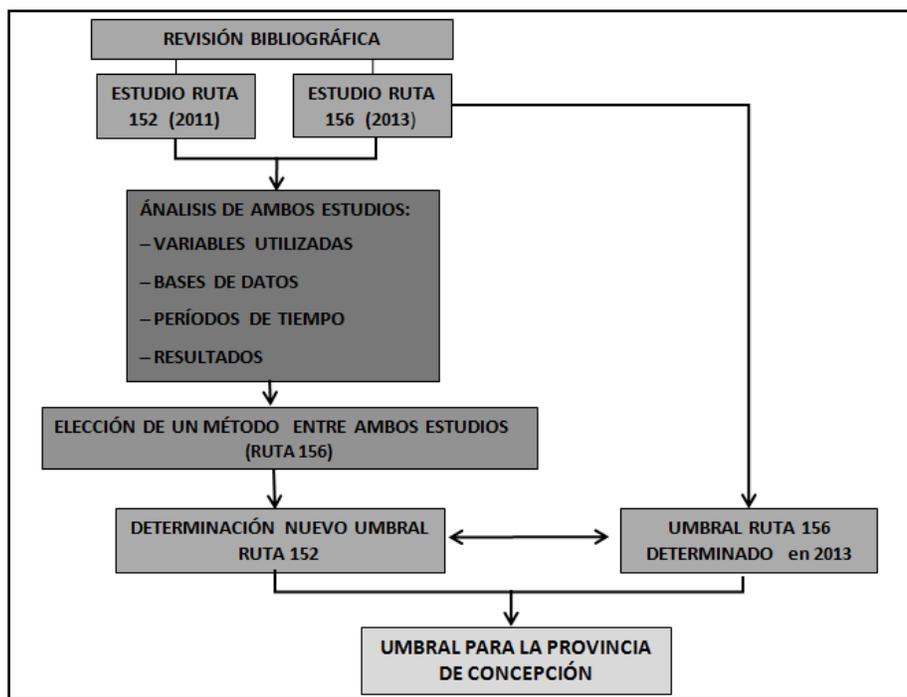


Figura 5. Esquema general metodología.

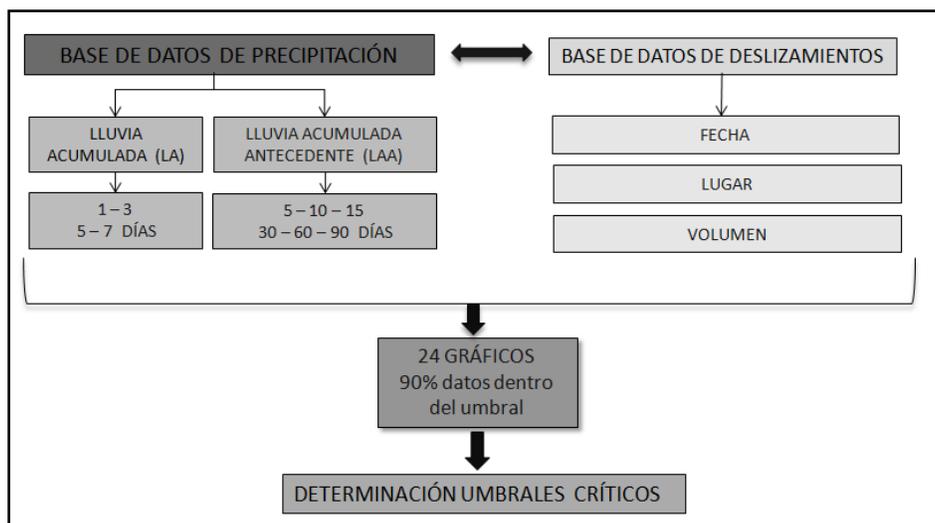


Figura 6. Esquema determinación de umbrales críticos ruta CH-152, Autopista del Itata.

3.1.- Área de estudio

El área de estudio corresponde a la ruta CH-152, proyecto desarrollado por Sociedad Concesionaria Autopista del Itata S.A. es una carretera de doble calzada con estándar de autopista que se construyó por un trazado totalmente nuevo, para dar cumplimiento al contrato de concesión, la inversión fue destinada a la construcción de innumerables obras, destacando la implementación de, 6 enlaces, un puente mayor sobre el río Itata de 240 metros de longitud, 82 pasos desnivelados y 255 obras de arte.

La figura 7 muestra la ruta que comprende 75 kilómetros en doble calzada desde el punto A correspondiente a enlace Penco, coordenadas 36°39'16.64" latitud sur y 72°13'57.51" longitud oeste, hasta el punto B conexión ruta 5 Sur, coordenadas 36°45'16.96" latitud sur y 73°0'4.45" longitud oeste, más el ramal colector bidireccional San Rafael de 14 Km de longitud.

3.2.- Base de datos de precipitación

Los datos de lluvia son obtenidos desde los registros de cuatro estaciones pluviométricas pertenecientes a la DGA cercanas a la ruta, cada estación está asociada a una zona de la autopista, dado que la ruta no es una cuenca y las estaciones están situadas en línea y a pocos kilómetros entre sí, bordeando la ruta, ésta se subdivide y a cada tramo se le asigna un pluviómetro, en donde se considerará una distribución de lluvia homogénea dentro de cada tramo. Como muestra la figura 7, el primer tramo considera lluvias entregadas por la estación Chillancito, para el segundo tramo se utilizan desde la estación Nueva Aldea, para el tercer tramo se obtienen desde la estación Cancha los Litres y el cuarto tramo queda asociado a las lluvias registradas por la estación Pataguas. A continuación, en la tabla 1, se indica la ubicación de cada estación pluviométrica:

Tabla 1. Ubicación estaciones pluviométricas, según red hidrométrica de la DGA.

Nombre Estación	Latitud Sur	Longitud Oeste
Chillancito	36° 45' 44"	72° 25' 26"
Nueva Aldea	36° 39' 03"	72° 27' 15"
Cancha los litros	36° 42' 28"	72° 34' 46"
Pataguas	36° 45' 06"	72° 53' 05"

3.3.- Base de datos de deslizamiento.

Se elabora según los registros de retiro de rodados proporcionados por la Sociedad Concesionaria Autopista del Itata S.A. , se encontraron 720 datos desde el año 2004 a 2012 con fecha, volumen, y Km de la ruta en donde ocurrió el evento, este último dato ayuda a dividir la ruta en cuatro tramos y asociar dicho deslizamiento con la estación de precipitación correspondiente, así la ruta queda dividida en un primer tramo de 21 km y luego en tres tramos de 18 km respectivamente, como muestra la figura 7. Una vez tabulada las bases de datos, se calculan los parámetros de LA y LAA asociados a cada uno de los deslizamientos, lo cual se expresará finalmente en un gráfico cartesiano.

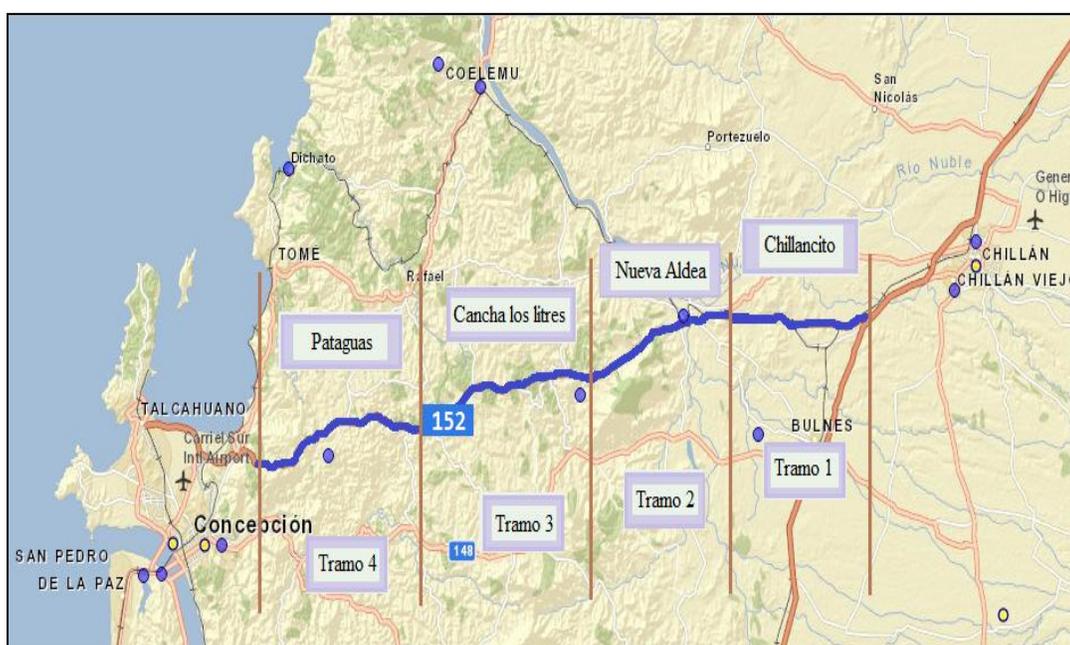


Figura 7. Distribución de tramos y estaciones pluviométricas de la Ruta CH-152, Autopista del Itata.

4.- RESULTADOS Y ANÁLISIS

Los resultados presentados en este capítulo, corresponden a los umbrales críticos de precipitación para diferentes combinaciones de lluvia, los cuales fueron determinados de acuerdo a la metodología especificada en el capítulo 3.

Las figuras 8, 9, 10 y 11 presentan las posibles combinaciones de lluvia acumulada de 1, 3, 5 y 7 días contra la lluvia acumulada antecedente de 5,10, 15, 30, 60 y 90 días, evaluadas para cada uno de los 720 movimientos en masa, ocurridos en la ruta CH-152, Autopista del Itata. La lluvia de corto plazo o lluvia acumulada (LA), representa la cantidad de lluvia caída en los días inmediatamente previos a la ocurrencia del evento, incluyendo las 24 horas del día de su ocurrencia, mientras que la lluvia del largo plazo o lluvia acumulada antecedente (LAA), corresponde a la cantidad de lluvia caída en los días precedentes a los que se consideraron en la lluvia de corto plazo.

En cada gráfico de dispersión mostrada a continuación, se encuentran trazados visualmente los umbrales críticos correspondientes a cada combinación de lluvia, las líneas continuas indican el umbral máximo bajo el cual ya han ocurrido la mayoría de los eventos, mientras que la línea segmentada muestra el umbral mínimo por sobre el cual comienzan a ocurrir la mayoría de los eventos. En la esquina superior derecha de cada gráfico se observa el porcentaje de eventos que se encuentran dentro del umbral máximo.

Finalmente los resultados obtenidos en la Autopista del Itata CH-152, son comparados con los obtenidos por Torres (2013) en la Ruta de la Madera CH-156, para establecer un umbral empírico en la Provincia.

4.1.- Definición umbral empírico para la Ruta CH-152, Autopista del Itata.

La lluvia a corto plazo de 1 día presenta un umbral máximo de 40 mm para todas las combinaciones de LAA. En tanto que la LAA presenta una variación que se incrementa desde los 90 mm para la LAA de 5 días, hasta 800 mm para la LAA de 90 días. Sólo a partir de la LAA de 30 días se logra diferenciar un umbral mínimo alrededor de los 20 mm, bajo el cual unos pocos movimientos en masa ocurren, e incrementa a 40 mm para la LAA de 60 días y llega hasta los 80 mm para la LAA de 90 días.

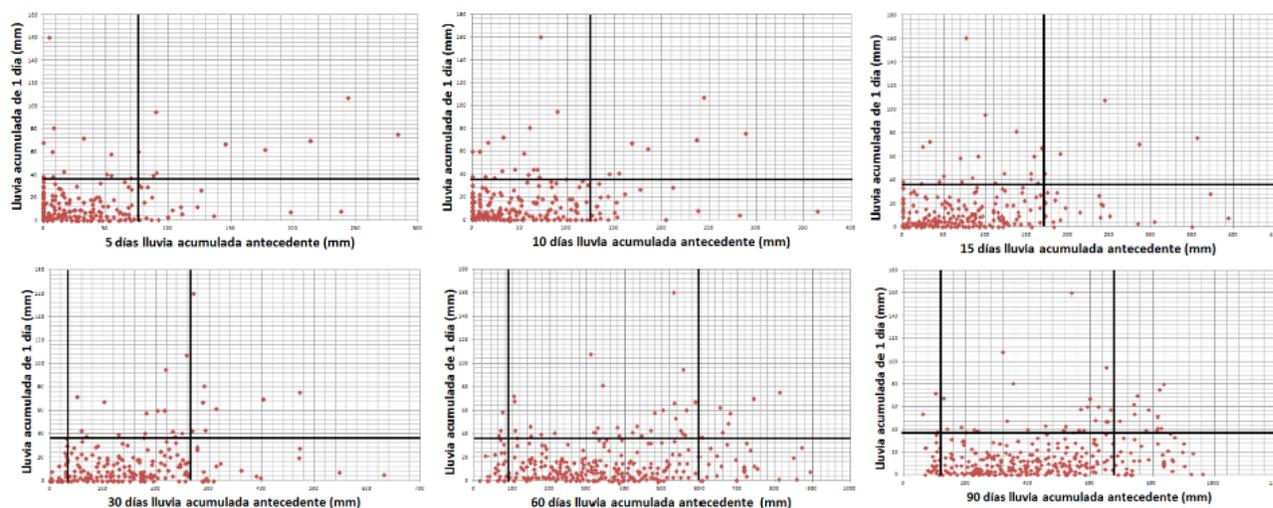


Figura 8. Lluvia acumulada (LA) de 1 día versus combinaciones de lluvia acumulada antecedente (LAA) de 5, 10, 15, 30, 60 y 90 días

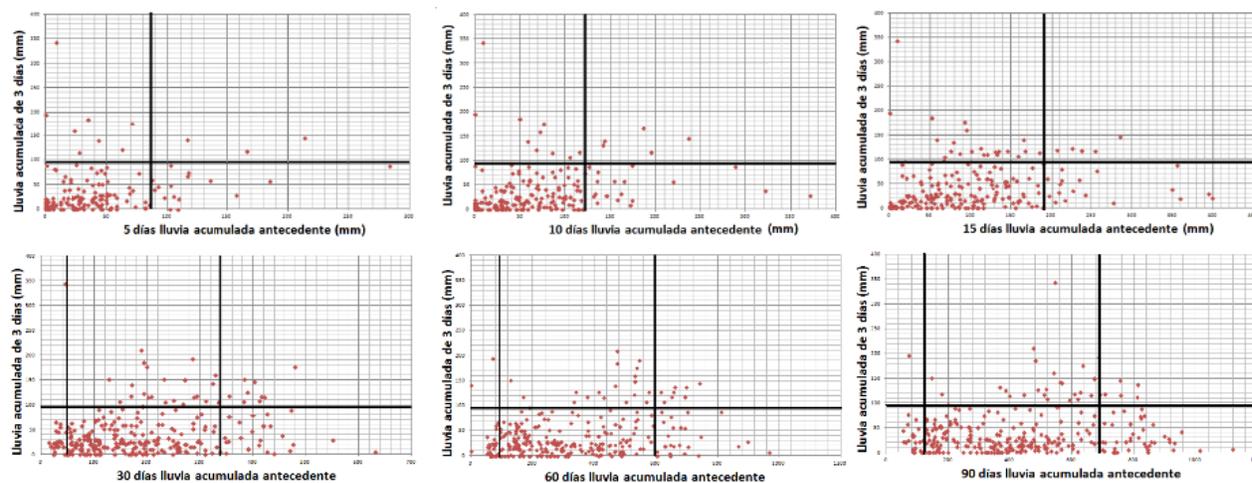


Figura 9. Lluvia acumulada (LA) de 3 días versus combinaciones de lluvia acumulada antecedente (LAA) de 5, 10, 15, 30, 60 y 90 días

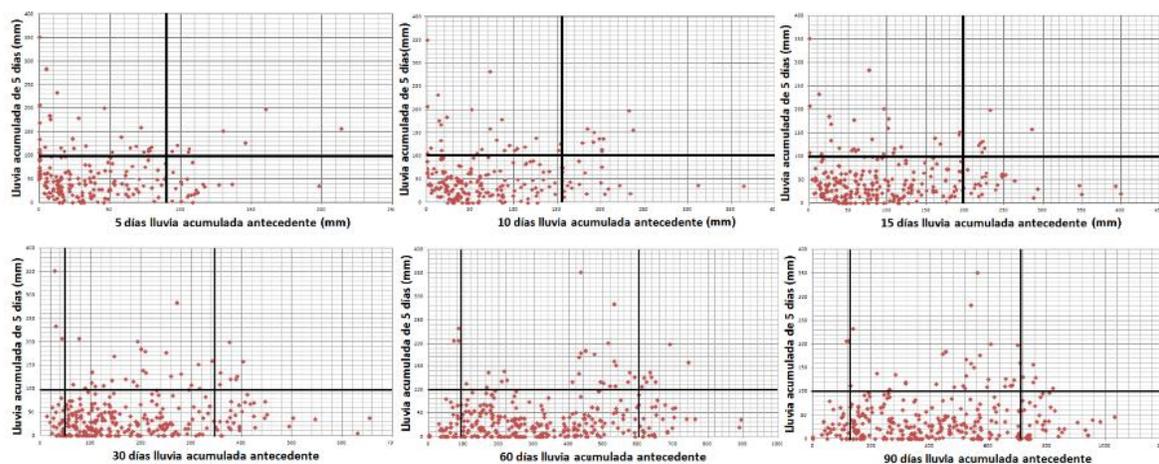


Figura 10. Lluvia acumulada (LA) de 5 días versus combinaciones de lluvia acumulada antecedente (LAA) de 5, 10, 15, 30, 60 y 90 días

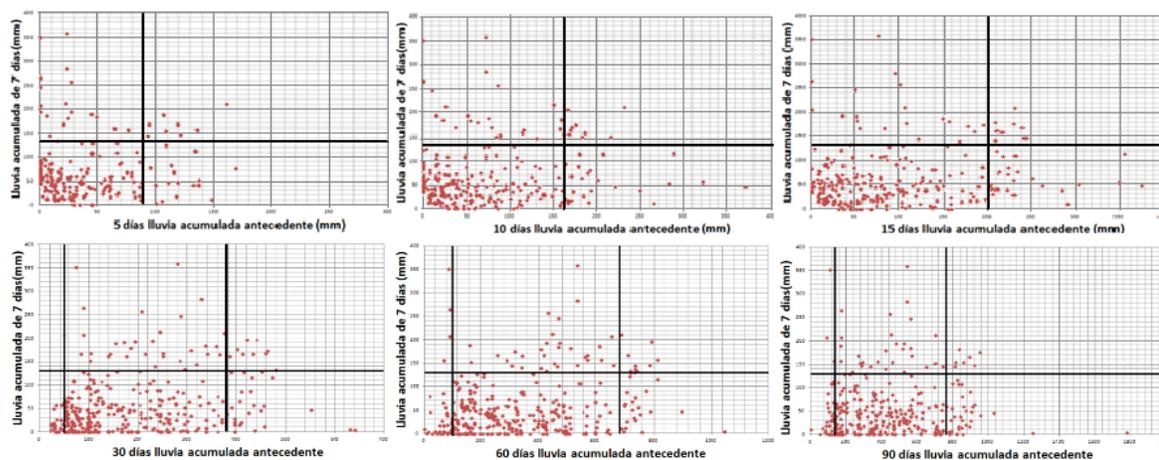


Figura 11. Lluvia acumulada (LA) de 7 días versus combinaciones de lluvia acumulada antecedente (LAA) de 5, 10, 15, 30, 60 y 90 días .

Como se observa en los gráficos, en todas las combinaciones de lluvia para periodos cortos de LAA se tiene una mayor cantidad de deslizamientos agrupados en el origen o cercanos a él, esto puede explicarse puesto que no precisamente el día o los días inmediatamente previos al evento precipitó, es común para todas las combinaciones de lluvia que la dispersión tiende a incrementarse en el largo plazo, trasladándose la concentración de puntos en sentido positivo del eje de las abscisas, resulta lógico ya que al aumentar los días de lluvia acumulada antecedente, aumenta también la cantidad de lluvia caída sobre el talud.

En términos generales, el umbral máximo de Lluvia Acumulada (LA) o lluvia del corto plazo varía entre 40 mm cuando se considera 1 día y 130 mm cuando se consideran 7 días, aumentando gradualmente a partir de 3 días, del día 1 al día 3 se observa un incremento mayor a 50 mm. Sin embargo, no se logra establecer en ninguna de las combinaciones un umbral mínimo de LA; se presentan movimientos en masa desde valores de LA cercanos a los cero mm, este hecho aparentemente indica una mayor influencia de la LAA. Es decir, la lluvia de los días inmediatamente previos a la ocurrencia de un deslizamiento, parece no ser determinante en la ocurrencia de los eventos. El elemento fundamental en la ocurrencia de los desplazamientos de suelo, está controlado por la lluvia estacional, antecedente al evento en 30, 60 y 90 días. Por lo anterior y puesto que combinaciones de lluvia que consideran días de LAA inferiores a 15 días no logran establecer umbrales mínimos de precipitación, las lluvia a corto plazo, no son representativas, pues tienden a agrupar los eventos en el origen.

El umbral máximo de Lluvia Acumulada Antecedente (LAA) o lluvia del largo plazo varía desde 90 mm, cuando se consideran 5 días, hasta 880 mm cuando se consideran 90 días, como se observa en la tabla 2 éste último valor se repite para una LA de 3, 5 y 7 días, indicando una tendencia a estacionar la dispersión, es importante destacar, que sobre los umbrales máximos ocurren los eventos con mayor tonelaje, lo que parece indicar que corresponden a movimientos profundos causados por situaciones de lluvia más intensa y de mayor duración. Por otra parte, sólo cuando se consideran periodos mayores, a partir de 30 días, se diferencia un umbral mínimo similar para todas las combinaciones de lluvia; 50 mm cuando se consideran 30 días de LAA, entre 90 y 100 mm si se toman en cuenta 60 días de LAA, y 130 mm cuando se consideran 90 días de LAA.

Luego de analizar exhaustivamente las diferentes combinaciones de precipitación utilizadas en el presente estudio, como en investigaciones anteriores a ésta, aquella combinación de lluvia más acertada y representativa para la Autopista del Itata CH-152, corresponde a aquella que presenta

umbrales mínimos y máximos, y en donde los valores de umbrales comienzan a estacionarse, así se deduce que aquella combinación que cumple con lo antes expresado corresponde a la de LA de 5 días para periodos de LAA superiores a 30 días, sus valores de precipitación están destacados en la tabla 2 en donde los resultados expuestos anteriormente, pueden resumirse para su mejor comprensión y análisis.

Tabla 2. Resumen lluvia acumulada y lluvia acumulada antecedente para umbrales críticos, de la Ruta del Itata CH- 152.

Gráfico		Umbral mínimo	Umbral máximo	
LA (días)	LAA(días)	LAA (mm)	LA (mm)	LAA (mm)
1	5	–	36	77
	10	–	36	124
	15	–	36	170
	30	35	36	265
	60	90	36	600
	90	120	36	680
3	5	–	95	86
	10	–	95	120
	15	–	95	190
	30	50	95	340
	60	90	95	600
	90	120	95	698
5	5	–	100	90
	10	–	100	155
	15	–	100	198
	30	50	100	348
	60	96	100	600
	90	130	100	710
7	5	–	130	90
	10	–	130	160
	15	–	130	200
	30	50	130	380
	60	100	130	680
	90	130	130	760

4.2.- Definición umbral empírico, para la provincia de Concepción.

Una vez definido el umbral representativo de la ruta del Itata CH-152, se procede a comparar dicho umbral con el obtenido por Torres (2013), en la ruta de la madera CH-156, ver tabla 3, para lograr establecer un umbral único en la provincia, a partir de ambas rutas.

Tabla 3. Valores de LA y LAA para umbrales críticos, de la Ruta de la Madera CH- 156, Torres (2013)

Gráfico		Umbral mínimo	Umbral máximo	
LA (días)	LAA(días)	LAA (mm)	LA (mm)	LAA (mm)
5	30	37	89	370
	60	72	89	690
	90	95	89	855

Al observar y comparar la tabla 2 y 3, se aprecian valores similares, esto puede explicarse dado que, si bien ambas rutas se encuentran alejadas, ambas están en la provincia bajo un mismo clima, y comparten una formación geológica común, denominado como batolito costero, en donde en general predomina el tipo de suelo conocido usualmente como maicillo, que según clasificación USCS corresponde a Arena Limosa (SM), en mayor o menor porcentaje de cada componente u otros dependiendo del sector, mayores detalles podrían ser aportados por umbrales físicos, sin embargo escapa de los alcances de esta investigación.

Para determinar un umbral mínimo se utilizan los valores promedios entre ambas rutas, puesto que los deslizamientos bajo ese valor son el peor escenario para un pronóstico, ya que corresponde a eventos que ocurren sin alcanzar aún el umbral de lluvia crítico.. A continuación, en la tabla 4 se muestra el Umbral característico para la provincia.

Tabla 4. Valores de LA y LAA para umbrales críticos, de la Provincia de Concepción.

Gráfico		Umbral mínimo	Umbral máximo	
LA (días)	LAA(días)	LAA (mm)	LA (mm)	LAA (mm)
5	30	44	95	359

5.- CONCLUSIONES

De acuerdo a los resultados y análisis comparativos presentados en el capítulo anterior y basándose en los objetivos propuestos dentro del marco investigativo de este proyecto, se obtienen las siguientes conclusiones.

- ❖ Luego de analizar investigaciones previas realizadas en las rutas concesionadas de la provincia, y optar por ajustarse a la metodología utilizada en el estudio previo en la Ruta CH-156, Ruta de la Madera, se obtienen umbrales críticos para la Autopista del Itata CH-152. El umbral mínimo queda definido por lluvias a largo plazo, superiores a 50 mm para 30 días, 960 mm para 60 días y 130 mm para 90 días. Mientras que su umbral máximo queda definido para 100 mm de lluvia a corto plazo, y hasta 710 mm para lluvias de 90 días.
- ❖ Por lo demás, en base a las dos rutas antes mencionadas en esta investigación, finalmente, el umbral característico de la provincia de Concepción es condicionado por las lluvias a largo plazo, específicamente para aquellas superiores a 44 mm en 30 días, para este valor la probabilidad de ocurrencia de deslizamiento, se incrementa drásticamente, siendo éste su umbral mínimo. En cuanto a los umbrales máximos para lluvias de corto plazo de 100 mm, gran parte de eventos habrán ocurrido.
- ❖ Los umbrales máximos son de poca utilidad como medida de prevención, ya que sólo indican el umbral por debajo del cual ya ha ocurrido el gran porcentaje de deslizamientos de suelo. La situación es diferente para los umbrales mínimos, los cuales son determinantes para anticiparse a los deslizamientos, ya que estos indican la cantidad de lluvia por encima de la cual se incrementan de modo drástico las probabilidades de que ocurran deslizamientos de suelo. Sin embargo ambos datos resultan útiles, al ser complementados con umbrales físicos que asocien tipo de suelo y sus propiedades permeables, para el desarrollo de medidas de mitigación y cálculo de estabilidad de taludes
- ❖ De acuerdo con el modelo de precipitación como factor detonante, los deslizamientos se producen por dos efectos, lluvia acumulada durante varios días antes de la ocurrencia del evento, la cual aumenta la saturación del suelo, la lubricación de contacto entre las superficies y el peso del talud, y la del día de ocurrencia del mismo o lluvia evento, que finalmente rompe el equilibrio relativo ; es decir, la lluvia detonante de un deslizamiento, es la resultante de los efectos de ambas, predominando sin embargo las lluvias anteriores al evento.

5.2- Recomendaciones y comentarios

Según lo desarrollado en esta investigación, se plantean las siguientes recomendaciones con la finalidad de abordar temáticas que contribuyan a complementar el desarrollo de este estudio.

Aunque se realizó un trabajo exhaustivo en la depuración de la información de deslizamientos de suelo y precipitación, existen limitaciones importantes que deben ser consideradas para interpretar y valorar los resultados.

- ❖ Entre estas limitaciones sobresalen las incertidumbres asociadas a la calidad de los datos de deslizamientos, puesto que no se tiene certeza en los eventos de menor magnitud si son registrados inmediatamente o se espera una acumulación importante de material, para ser retirado y posteriormente registrado.
- ❖ En cuanto a los datos de lluvia, para predecir deslizamientos sería necesario poseer estos datos en tiempo real, sin embargo los registros de agua caída son recogidos cada 24 horas.
- ❖ La subjetividad de los métodos empíricos utilizados, es un aspecto no menos relevante, puesto que los umbrales son determinados visualmente en las gráficas, sin rigurosidad matemática, se sugiere innovar en la metodología de los umbrales empíricos y utilizar software que aporten una mayor precisión.
- ❖ Por otro lado, estos valores de umbrales empíricos, por sí solos, no pueden ser utilizados como el factor determinante para causar deslizamientos, ya que a medida que aumenta la precipitación varía la conductividad hidráulica, la permeabilidad de suelo y otras propiedades de resistencia, el peso de los materiales, entre otros factores, relativos a umbrales físicos. Por lo tanto, el uso de umbrales empíricos de precipitación, pueden ser considerado como una simplificación de la relación entre las precipitaciones y la ocurrencia de deslizamientos, que debe ser complementado con un umbral físico.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. Aboschi, H. (1979). Failure of granite slopes in chugoku district under heavy rain; shearing strength at failure. *Natural disaster science*, 1.
2. Aleotti, P. (2004). Warning or rainfall-induced shallow failures. *Engineering Geology*, vol. 73.
3. Astorga Cerpa, Claudio A. (2011). Determinación de un umbral empírico de deslizamientos por precipitación para la autopista del Itata. Proyecto de título ingeniería civil. Universidad del Biobío, Depto. de Ingeniería civil. Concepción, Chile.
4. Brunetti, M. T., Peruccacci, S., Rossi, M., Luciani, S., Valigi, D., & Guzzetti, F. (2010). Rainfall thresholds for the possible occurrence of landslides in Italy. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 10.
5. Caine, N. (1980). The rainfall intensity-duration control of shallow landslides and debris flows. *Geografiska Annaler* 62 A.
6. Cannon, S.H. (2005). A NOAA-USGS Demonstration flash-flood and debris-flow early warning system: U.S. Geological Survey fact Sheet 2005-3104.
7. Crozier, M. (1999). Prediction of rainfall-triggering landslides: a test of the antecedent water status model. *Earth surface processes and landforms* 24.
8. Chleborad A.F. (2000). Preliminary method for anticipating the occurrence of precipitation-induced landslides in Seattle, Washington. U.S. Geological Survey.
9. Chleborad, A.F. (2004): Preliminary evaluation of a precipitation threshold for anticipating the occurrence of landslides in the Seattle, Washington, area. USGS science for a changing world. U.S. Geological Survey.
10. Duncan J. M., Wright S. G. (2005). *Soil Strength and Slope Stability*.
11. Echeverri, O., & Valencia, Y. (2004). Análisis de los deslizamientos en la cuenca de la quebrada La Iguaná de la ciudad de Medellín a partir de la interacción lluvia-pendiente-formación geológica. *Dyna*, 71.
12. Gabet, E., Burmank, D., Putkonen, J., Pratt-Sitaula, B., Ojha, T. (2004). Rainfall thresholds for landsliding in the Himalayas of Nepal. *Geomorphology* 63.
13. Giannecchini, R. (2006). Relationship between rainfall and shallow landslides in the southern Apuan Alps (Italy). *Natural Hazard Earth System Science* 6.

14. Glade T., M.J. Crozier, P. Smith. (2000). Applying probability determination to refine landslide triggering rainfall thresholds using an empirical “Antecedent Daily Rainfall Model”. *Pure and Applied Geophysics* 157.
15. Godt J.W., R.L. Baum, A.F. Chleborad. (2006). Rainfall characteristics for shallow landsliding in Seattle, Washington, USA *Earth Surface Processes and Landforms Earth Surf, Process, Landforms*, 31
16. Guzzetti, F.; Peruccacci, S. and Rossi, M. (2005). Definition of critical threshold for different scenarios. RISK-Advance Weather forecast system to advice on Risk Events an management.
17. Guzzetti, F., Peruccacci, S., Rossi, M. y Stark, C.P. (2007). “Rainfall thresholds for the initiation of landslides in central and southern Europe”, *Meteorology and Atmospheric Physics*, Vol. 98
18. Hungr, O., Evans, S.G., Hazzard, J., (1999). Magnitude and frequency of rock falls and rock slides along the main transportation corridors of south-western British Columbia. *Canadian Geotechnical Journal* 36.
19. Jakob, M., Weatherly, H. (2003). A hydroclimatic threshold for landslide initiation on the North Shore Mountains of Vancouver, British Columbia. *Geomorphology* 54.
20. Lumb P (1975) Slope failure in Hong Kong. *Q J Eng Geol* 8:31–65.
21. Mayorga, M. R., (2003). Determinación de umbrales de lluvia detonante de deslizamientos en Colombia. Tesis de Maestría, Universidad Nacional de Colombia.
22. Moreno, H., A., Vélez, M., V., Montoya, J., D., Rhenals, R., L.(2006). La lluvia y los deslizamientos de tierra en Antioquia: análisis de su ocurrencia en las escalas interanual, intranual y diaria. *Revista Escuela de Ingeniería de Antioquia*, No 5.
23. Reichenbach, P., Cardinalli, M., De Vita, P., Guzzetti, F. (1998). Regional hydrological thresholds for landslides and floods in the Tiber River Basin (Central Italy). *Environmental Geology* 35.
24. Terlien, M. T. (1997). Hydrological landslide triggering in ash-covered slopes of Manizales (Columbia). *Geomorphology*, 20.
25. Torres Guzmán, Felipe H. (2013). Umbrales empíricos de lluvia para el pronóstico de movimientos en masa para la ruta ch-156. Proyecto de título ingeniería civil .Universidad del Biobío, Depto. de Ingeniería civil. Concepción, Chile.
26. Wang H., B. Sassa. (2006). Rainfall-induced landslide hazard assessment using artificial neural networks. *Earth Surface Processes and Landforms*. 31.

ANEXOS

ÍNDICE GENERAL ANEXOS

ANEXO A: DESLIZAMIENTOS DE SUELO.....	32
1. Tipos de deslizamiento.....	34
1.1Deslizamiento Rotacional.....	34
1.2Deslizamiento Traslacional.....	35
ANEXO B: PRECIPITACIÓN.....	39
1. Tipos de deslizamiento.....	40
2. Distribución espacial de la precipitación.....	43
3. Intensidad de la precipitación.....	44
4. Medida de la precipitación.....	46
5. Aparatos de medida y registro.....	48
ANEXO C: EFECTOS DE LA LLUVIA EN EL SUELO.....	56
1. Incremento en la presión de poros.....	58
2. Lluvia acumulada.....	59
3. Erosión.....	59
ANEXO D: UMBRALES PROPUESTOS POR OTROS AUTORES.....	62
1. Umbrales empíricos en el mundo.....	63
2. Umbrales empíricos en el área de estudio.....	66
ANEXO E: SISTEMA DE ALERTA TEMPRANA POR DESLIZAMIENTO.....	74
1. Sistema de monitoreo, alerta temprana y procedimientos de evacuación en Guatemala.....	78
ANEXO F: Gráfico deslizamientos por tramo.....	85

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura A1. Deslizamiento Rotacional.....	35
Figura A1. Deslizamiento Traslacional.....	36
Figura B1: Frente frío.....	41
FiguraB2: Frente cálido.....	41
Figura B3: Desarrollo de una precipitación de tipo convectivo	42
Figura B4: Precipitación orografica.....	42
Figura B5: Climograma región del Bío Bío.....	44
Figura B6: Curva de intensidad de la lluvia de un aguacero.....	45
Figura B7: Pluviómetro ordinario.....	49
Figura B8: Pluviómetro tipo norteamericano.....	51
Figura B9: Pluviómetro tipo <i>Hellmann</i>	51
Figura B10: Nivímetro.....	52
Figura B11: Totalizador de montaña.....	53
Figura B12: Tipos fundamentales de pluviografos.....	54
Figura C1: Presión de poros sobre una superficie de falla potencial.....	58
Figura C2: Erosión en surcos.....	60
Figura C3: Erosión en cárcavas.....	61
Figura D1: Gráfico umbrales en Hong Kong por Lumb (1975).....	63
Figura D2: Gráfico umbrales en Campania, Italia, por De Vita (2000).....	64
Figura D3: Grafico umbrales en Seattle por Chleborad (2000).....	65
Figura D4: Gráfico umbral para la estación TIGO, Ruta CH-152, Astorga (2011).....	66
Figura D5: Gráfico umbral para la estación, Las Pataguas, Ruta CH-152, Astorga (2011).....	67
Figura D6: Gráfico umbral para la estación, Nueva Aldea, Ruta CH-152, Astorga (2011).....	68
Figura D7: Gráfico umbral para la estación, Chillancito, Ruta CH-152, Astorga (2011).....	69

Figura D8: Gráfico 1 día LA vs 5, 10, 15, 30,60 y 90 días LAA para la ruta CH-156, por Torres 2011	70
Figura D9: Gráfico 3 días LA vs 5, 10, 15, 30,60 y 90 días LAA para la ruta CH-156, por Torres 2011.....	71
Figura D10: Gráfico 5 días LA vs 5, 10, 15, 30,60 y 90 días LAA para la ruta CH-156, por Torres 2011.....	72
Figura D11: Gráfico 7 días LA vs 5, 10, 15, 30,60 y 90 días LAA para la ruta CH-156, por Torres 2011.....	73
Figura E1: Ejemplo Hoja registro mensual de lluvias diarias, en Guatemala.....	78
Figura E2: Estación satelital. Guatemala.....	80
Figura E3: Diagrama sistema de alerta en Guatemala.....	82
Figura F1: Gráfico deslizamientos por tramo de la ruta CH-152.....	85

ANEXO A: DESLIZAMIENTOS DE SUELO

Los deslizamientos de suelo son procesos esencialmente gravitatorios, por los cuales una parte de la masa del terreno se desplaza a una cota inferior de la original sin que medie ostensiblemente medio de transporte alguno, siendo tan solo necesario que las fuerzas estabilizadoras sean superadas por las desestabilizadoras. Este tipo de procesos gravitatorios se interrelacionan mutuamente con las precipitaciones altas, de tal forma que frecuentemente las lluvias torrenciales son causantes y/o precursoras de los movimientos en masa, ya que aumentan las fuerzas desestabilizadoras y reducen la resistencia del suelo al deslizamiento (Gray y Sotir, 1996; Tragsa Y Tragsatec, 1994).

Así se produce bruscamente deslizamiento de material sólido cuesta abajo, a lo largo de una pendiente cuyo plano acumula de manera parcial el mismo material, auto limitando su transporte. Los deslizamientos ocurren como resultado de cambios repentinos o graduales en la composición, estructura, hidrología o vegetación en un terreno en declive o pendiente.

Estos cambios pueden desencadenarse por:

- ❖ Vibraciones como las ocasionadas por los sismos, explosiones, maquinaria, tráfico.
- ❖ Remoción del soporte lateral por la erosión, fallas geológicas existentes en las pendientes, excavaciones, construcciones, deforestación y pérdida de la vegetación.
- ❖ Sobrecarga del terreno producida por el peso del agua, del hielo, nieve o granizo, acumulación de rocas o material volcánico. También basura o desechos, la carga de los edificios y estructuras, así como de la vegetación misma.
- ❖ Fuertes lluvias, aumento de los niveles por el concepto de precipitaciones o de saturaciones de agua.

Efectos adversos:

- ❖ Los efectos adversos son en general, similares a los descritos para los sismos; sin embargo, su impacto se limita a un área específica.
- ❖ Lesión a las personas.
- ❖ Problemas con la comunidad por afectar la calidad del agua.
- ❖ Corte parcial o total de camino en uso.
- ❖ Daño a la propiedad privada o pública.
- ❖ Impacto público.
- ❖ En algunos casos el movimiento de tierra puede generar inundaciones secundarias en caso de ríos, quebradas o canales bloqueados por escombros o deslizamientos, pudiendo afectar cultivos, situación no muy frecuente.

1. Tipos de deslizamientos

La distinción entre deslizamientos rotacionales y translacionales es importante en lo que se refiere a los análisis de estabilidad y el diseño de medidas de control y estabilización. Este tipo de movimientos es el que dispone de métodos de análisis y modelización más desarrollados.

Deslizamientos Rotacionales

La rotura se produce a lo largo de una superficie curvilínea y cóncava. El terreno experimenta un giro según un eje situado por encima del centro de gravedad de la masa deslizada. El material de cabecera efectúa una inclinación contra ladera, generando depresiones donde se acumula el agua e induce nuevas reactivaciones. Este tipo de mecanismo es característico de suelos cohesivos homogéneos y de macizos rocosos intensamente fracturados. En materiales arcillosos, especialmente si hay presencia de agua, el pie puede evolucionar hacia un deslizamiento de tierras o colada de tierras. Los deslizamientos rotacionales, una vez producidos, son susceptibles de reactivación. El movimiento tiende a estabilizarse por disminución del momento de giro y aumento del momento estabilizador, no obstante, cualquier cambio en las condiciones piezométricas o la remoción del pie pueden dar lugar a una nueva inestabilidad. Un diagnóstico equivocado de la geometría puede llevar a la adopción de medidas de estabilización ineficaces e incluso contraproducentes. Este tipo de deslizamiento es generalmente profundo, afecta a grandes volúmenes. En este caso presenta un perfil cóncavo que imprime a la masa, en el deslizamiento, un movimiento de rotación. En la figura A.1 se muestra un deslizamiento del tipo rotacional.

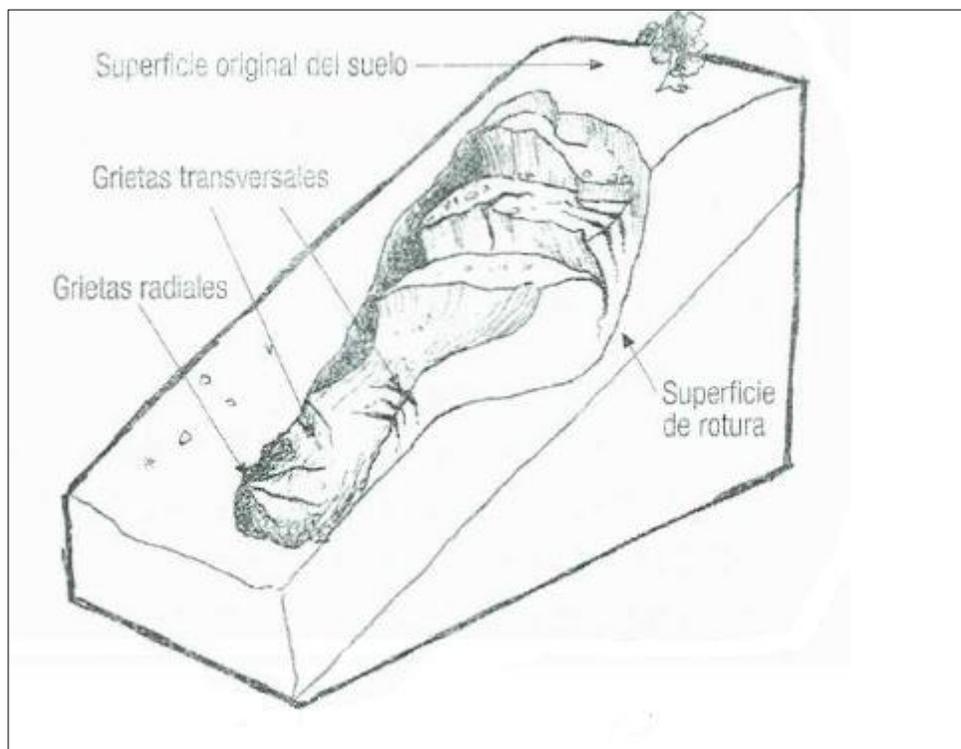


Figura A.1. Deslizamiento Rotacional

Deslizamientos Traslacionales.

Tiene lugar a lo largo de una superficie de rotura plana o ondulada. La masa deslizada puede proseguir por la ladera. Los componentes de la masa desplazada se mueven a la misma velocidad y siguen trayectorias paralelas. A medida que un deslizamiento traslacional progresa puede romperse, en particular si aumenta la velocidad. Entonces, la masa disgregada deviene un flujo.

Deslizamientos traslacionales de bloques de suelo o roca sin apenas trocearse, sobre superficies únicas en macizos rocosos se han denominado resbalamientos (García Yagüe, 1966) o deslizamientos planos (Hoek y Bray, 1981). Cuando la superficie de rotura está formada por dos planos que obligan a la masa rocosa contenida a desplazarse según la línea de intersección, se forma un deslizamiento en cuña. Las roturas de cuñas no suelen alcanzar grandes dimensiones debido a que la intersección de planos de gran penetración en el macizo rocoso es infrecuente.

Deslizamientos en los que la masa desplazada se trocea en su movimiento descendente y resulta una acumulación caótica de bloques al pie de la ladera, se denominan corrimientos (García Yagüe, 1966). Cuando la rotura por cizalla tiene lugar en suelos no cohesivos constituidos por partículas gruesas, se denominan deslizamientos de derrubios (debris slides).

Mientras que la rotación tiende a restablecer el equilibrio en la masa desplazada, el deslizamiento traslacional puede mantenerse indefinidamente si la superficie de rotura es lo suficientemente inclinada y continua. Este tipo de deslizamiento por lo general afecta poco volumen de suelo, por lo que está asociado a deslizamientos superficiales. Para una mayor comprensión de lo antes descrito a continuación la figura A.2 muestra un deslizamiento del tipo traslacional.

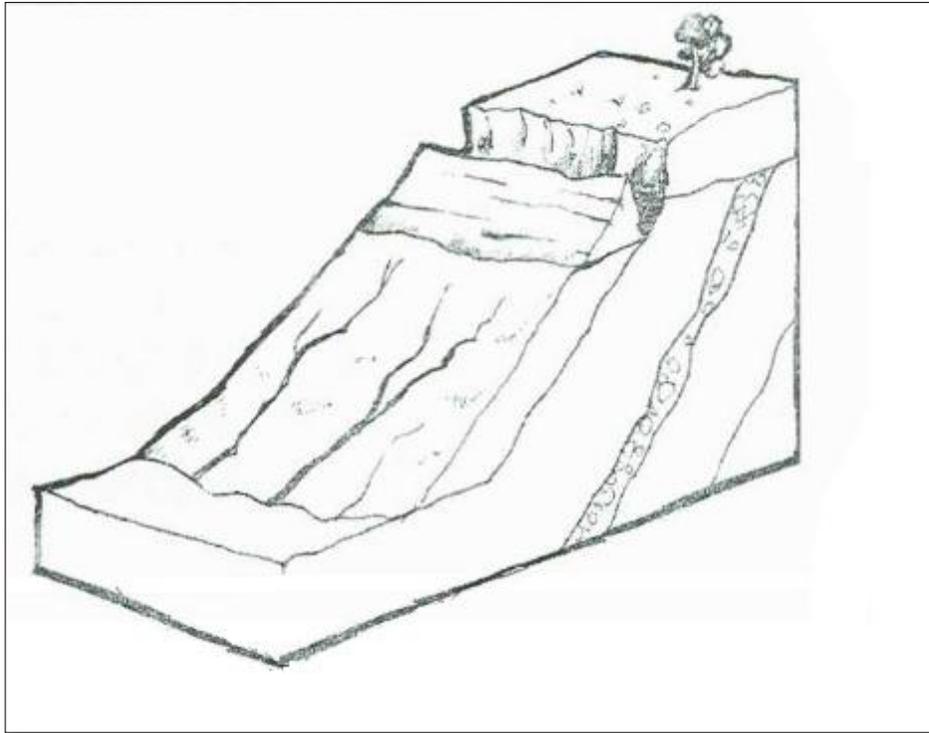


Figura A.2. Deslizamiento Traslacional.

Los deslizamientos de suelo, están gobernados por la Ecuación de Esfuerzo o Resistencia al Cortante Tangencial. Para el estudio de la estabilidad de una ladera contra los deslizamientos, se requiere estimar la resistencia del suelo ante la acción de esfuerzos de cortante tangencial, la cual consiste en la modelación física del fenómeno del deslizamiento y que permite establecer la resistencia máxima del suelo al movimiento de sus partículas; es decir: la fuerza que se opone al deslizamiento o resbalamiento del suelo sobre si mismo, la cual es impartida por las fuerzas cohesivas entre partículas y por la resistencia friccional entre estas cuando son forzadas a deslizarse (Gray y Sotir, 1996; Suárez, 1998). Consecuentemente, el esfuerzo cortante es importante en la capacidad de los fluidos (agua o viento) para causar erosión. La resistencia al cortante tangencial de los suelos tiene su efecto en el arranque de las partículas del suelo, erosión por cárcavas y en las orillas de los ríos y deslizamientos (Lal,1990).

La teoría de Charles Auguste de Coulomb propuesta en 1773, establece que un material falla cuando el esfuerzo cortante en una dirección iguala la resistencia al cortante en la misma dirección, lo cual depende de la cohesión y la fricción interna entre los granos del suelo, y está dada por la ecuación de Mohr-Coulomb:

El esfuerzo cortante, es definido por la siguiente ecuación, llamada la Ley de Coulomb

$$S = C + (s_n \times \tan F)$$

Donde

S : es el esfuerzo cortante o resistencia al cortante tangencial,

C : es la cohesión del suelo, s_n es el esfuerzo normal sobre un plano crítico,

$\tan F$: es el coeficiente de fricción y F es el ángulo de fricción interna del suelo

Terzaghi (1925) citado por Lal (1990), reportó la importancia de la presión de los poros con agua sobre el esfuerzo cortante. Existe una forma modificada de esta ecuación, llamada ecuación de esfuerzo cortante de Coulomb-Hvorslev (Hvorslev, 1937 citados por Lal, 1990).

$$S = C' + (s' \times \tan F')$$

Donde:

C' : es la cohesión efectiva del suelo (o efecto de la atracción entre partículas)

s' : es el esfuerzo normal efectivo

F' es el ángulo efectivo de la fricción normal.

El esfuerzo efectivo es dado por:

$$s' = s - U$$

Donde s' es el esfuerzo efectivo o intergranular, s es el esfuerzo total y U es la presión intersticial.

Lo anterior indica, que los deslizamientos en zonas de ladera, están muy influenciados además de la fuerza de gravedad, por la cohesión del suelo, la cual puede ser incrementada con la vegetación; por el ángulo de fricción interna, el cual depende de la mineralogía del suelo; y de la regulación del contenido de humedad del mismo.

ANEXO B: PRECIPITACIÓN

Se entiende por precipitación la caída de partículas líquidas o sólidas de agua. La precipitación es la fase del ciclo hidrológico que da origen a todas las corrientes superficiales y profundas, debido a lo cual su evaluación y el conocimiento de su distribución, tanto en el tiempo como en el espacio, son problemas básicos en hidrología

1. Tipos de precipitación

En general, las nubes se forman por el enfriamiento del aire por debajo de su punto de saturación. Este enfriamiento puede tener lugar por varios procesos que conducen al ascenso adiabático con el consiguiente descenso de presión y descenso de temperatura. La intensidad y cantidad de precipitación dependerán del contenido de humedad del aire y de la velocidad vertical del mismo. De estos procesos se derivan los diferentes tipos de precipitación:

1. *Precipitación ciclónica*. Es la que está asociada al paso de una perturbación ciclónica.

Se presentan dos casos: frontal y no frontal.

La precipitación frontal puede ocurrir en cualquier depresión barométrica, resultando el ascenso debido a la convergencia de masas de aire que tienden a rellenar la zona de baja presión. La precipitación frontal se asocia a un frente frío o a un frente cálido. En los frentes fríos el aire cálido es desplazado violentamente hacia arriba por el aire frío, dando lugar a nubosidad de gran desarrollo vertical acompañada de chubascos que a veces son muy intensos, así como de tormentas y granizo. La precipitación del frente frío es generalmente de tipo tormentoso, extendiéndose poco hacia delante del frente (Figura B.1).

En los frentes cálidos el aire caliente asciende con relativa suavidad sobre la cuña fría, en general de escasa pendiente, dando lugar a una nubosidad más estratiforme que en el frente frío y, por lo tanto, a lluvias y lloviznas más continuas y prolongadas, pero de menor intensidad instantánea (Figura B.2).

2. *Precipitación convectiva*. Tiene su origen en la inestabilidad de una masa de aire más caliente que las circundantes. La masa de aire caliente asciende, se enfría, se condensa y se forma la nubosidad de tipo cumuliforme, origen de las precipitaciones en forma de chubascos o tormentas. El ascenso de la masa de aire se debe, generalmente, a un mayor calentamiento en superficie (Figura B.3).

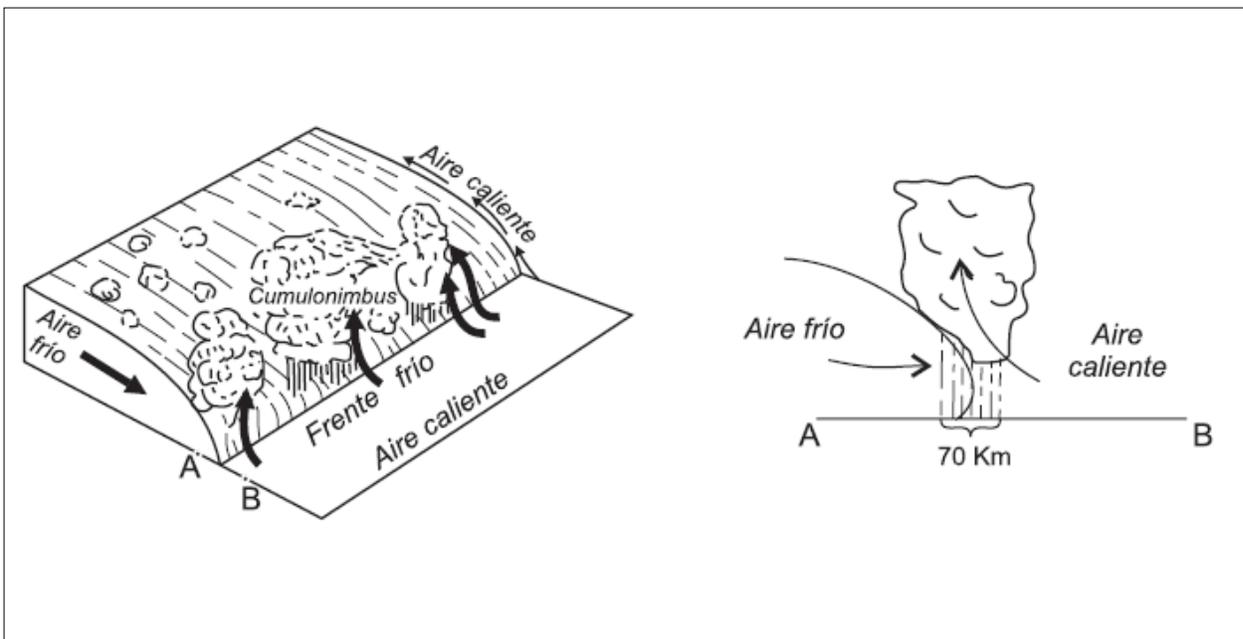


Figura B.1. Frente frío.

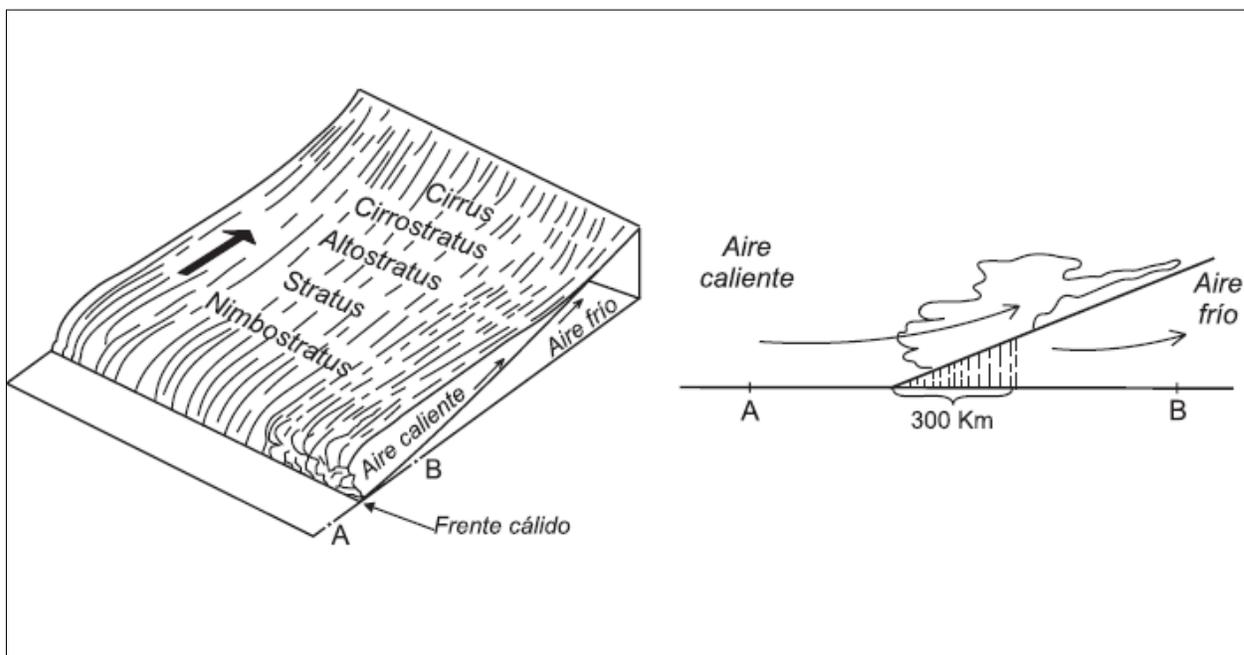


Figura B.2. Frente cálido.

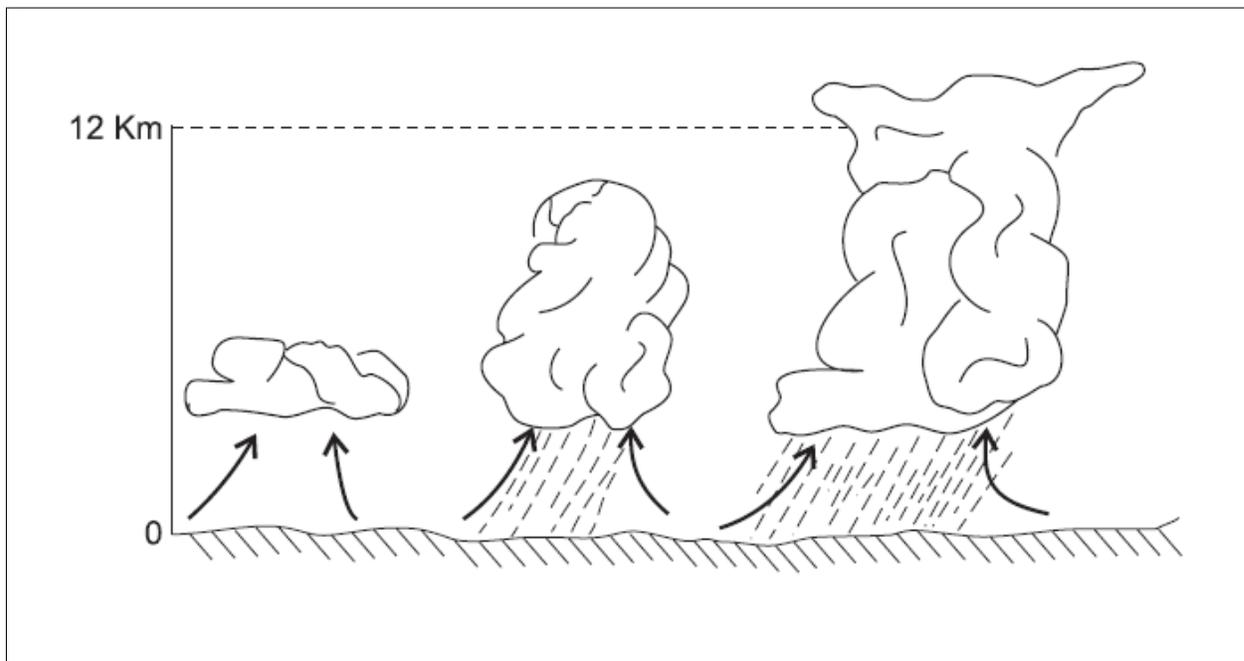


Figura B.3. Desarrollo de una precipitación de tipo convectivo.

3. *Precipitación orográfica.* Es aquella que tiene su origen en el ascenso de una masa de aire, forzado por una barrera montañosa (Figura B.4).

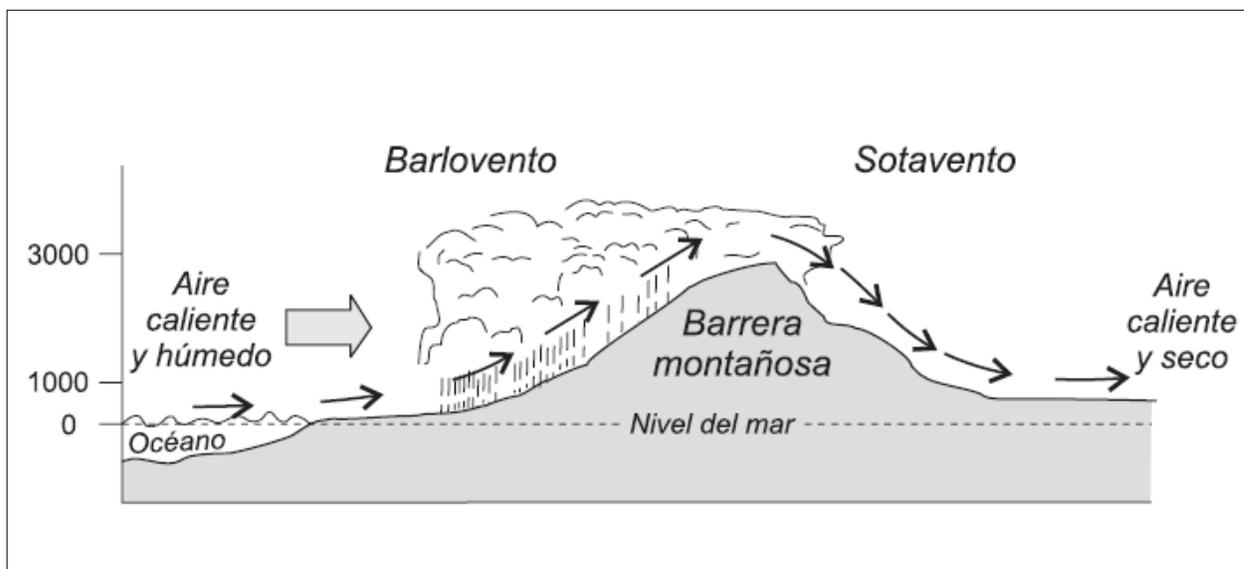


Figura B.4. Precipitación orográfica.

A veces, en caso de una masa de aire inestable, el efecto orográfico no supone más que el mecanismo de disparo de la inestabilidad convectiva. La precipitación es mayor a barlovento, disminuyendo rápidamente a sotavento. En las cadenas montañosas importantes, el máximo de precipitación se produce antes de la divisoria o parte aguas. A veces, con menores altitudes, el máximo se produce pasada ésta, debido a que el aire continúa en ascenso.

2. Distribución espacial de la precipitación

La precipitación se registra normalmente como profundidades o alturas de lluvia alcanzadas por unidad de superficie (mm o l/m²) en una diversidad de pluviómetros o pluviógrafos diseminados por la cuenca en estudio. A partir de esta información puntual, el hidrólogo ha de estimar cómo se ha producido la lluvia a lo largo y ancho de la cuenca, en posición y magnitud. Es decir, se ha de estimar su *distribución espacial*, una superficie representativa de lluvia caída sobre la cuenca en cada intervalo de tiempo. Este esquema de trabajo es el más habitual para el hidrólogo, aunque también se utilizan otras técnicas como el manejo de información procedente de radar y satélite que, con ciertos ajustes función de datos pluviométricos, permiten obtener directamente esa distribución espacial.

2.1 Modelos hidrológicos agregados:

Son aquellos que para describir el fenómeno hidrológico consideran a la cuenca como una entidad única y por lo tanto, dentro de cada intervalo de tiempo manejan un único valor medio para toda la cuenca de parámetros y variables como la lluvia.

2.2 Modelos hidrológicos distribuidos:

Tienen como finalidad trabajar con la variabilidad espacial de variables y parámetros por lo que dividen la cuenca en áreas más pequeñas, por ejemplo según mallado de celdas, en cada una de las cuales ocurren procesos con diferentes intensidades según sus características fisiográficas y las relaciones de vecindad que se impongan unas celdas a otras.

2.3 Régimen De Lluvias.

Cada región posee un sistema de lluvias que se repite en forma similar cada año. En la ciudad de Concepción, por ejemplo, las precipitaciones se presentan todo el año, siendo el periodo Mayo-Septiembre el de mayor agua caída. Es importante encontrar el régimen de lluvias exacto de la zona en donde se encuentran los taludes, debido a que éstos varían de acuerdo a las condiciones del relieve.

El climograma es un gráfico en el que se presentan las precipitaciones y temperaturas de una zona o región durante de un año. En el eje horizontal se incluyen los meses del año, mientras que en el vertical las precipitaciones y temperaturas mensuales. En la siguiente figura se muestra el climograma de la Región del Bío Bío.

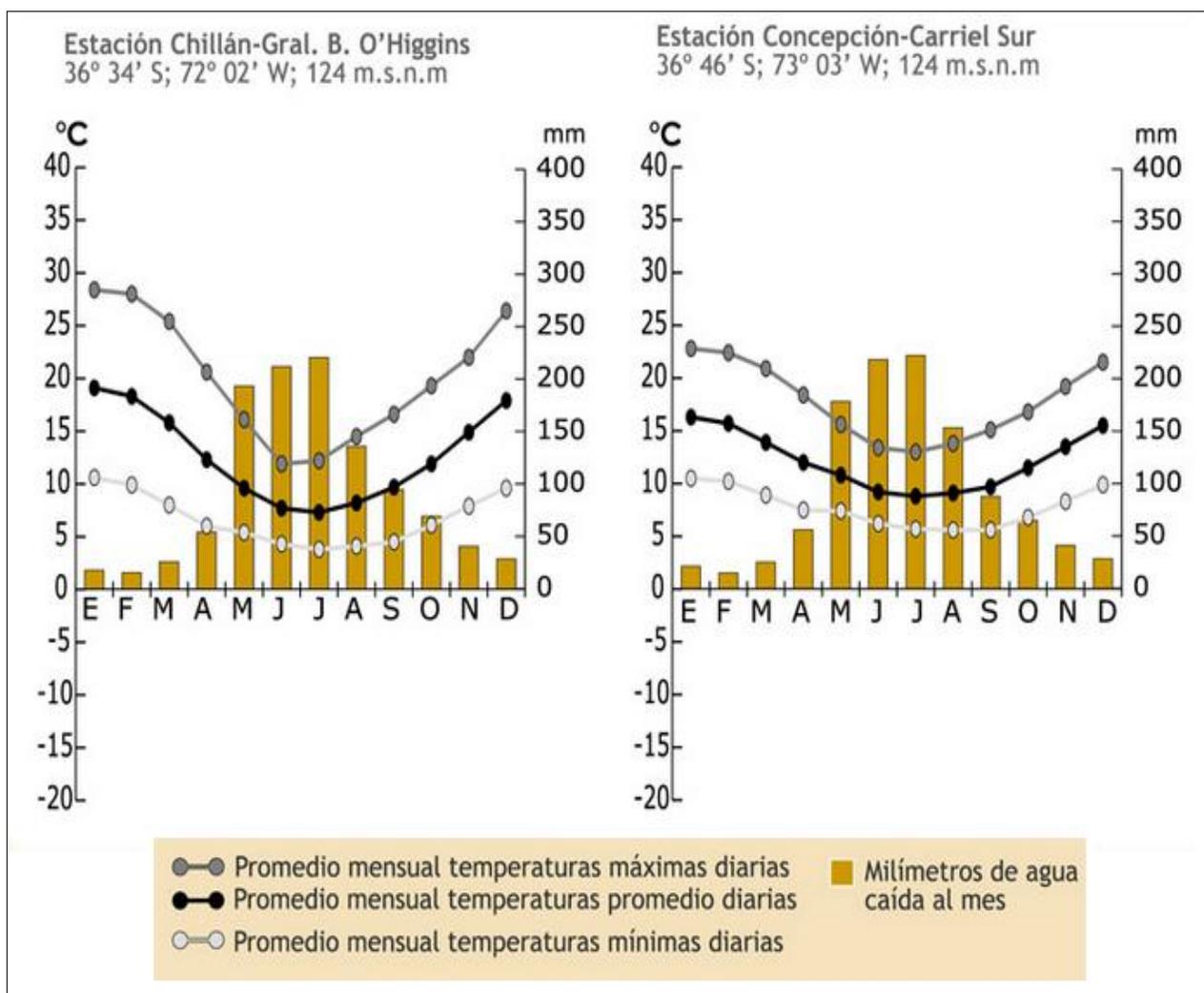


Figura B.5. Climograma región del Bío Bío

3. Intensidad de la precipitación

La intensidad de la precipitación suele medirse en milímetros por hora, es decir, precipitación por unidad de tiempo. Cuando se trata de precipitaciones muy intensas se pueden medir en milímetros por minuto. Los valores más altos de precipitación registrados en el mundo han superado los 1000 mm en un día, y se ubicaron en Baguío, Filipinas, con 1168 mm y en Teherrapundji, India, con 1036 mm en 24 horas consecutivas.

Estos casos corresponden a un ciclón tropical y a una lluvia monzónica, respectivamente.

Si se analizan todos los aguaceros que ha habido en un período suficientemente largo, resulta que los de mayor intensidad son los más breves, las mayores intensidades sólo se dan durante un período de tiempo muy corto, a medida que el tiempo va siendo mayor, la intensidad media del aguacero va disminuyendo

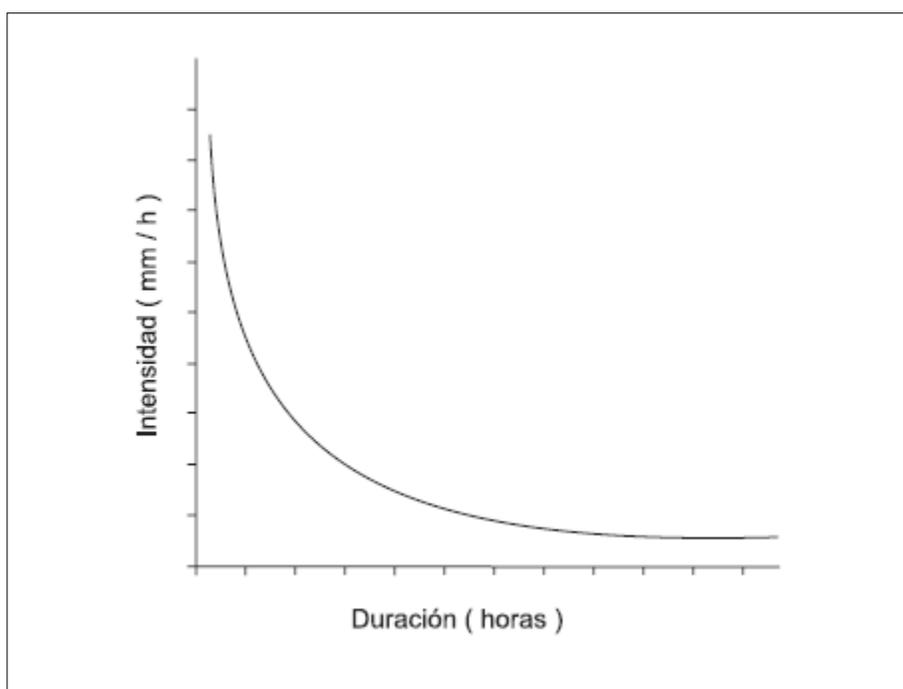


Figura B.6. Curva de intensidad de la lluvia de un aguacero

Acerca de la variación de la intensidad en las precipitaciones en el curso del día, se comprueba que en las precipitaciones debidas a efectos convectivos, representativas de situaciones de inestabilidad, juega un papel importante la hora del día. En las regiones continentales interiores la hora en que se da el máximo de precipitación coincide casi siempre con el máximo de temperatura, si bien con algún retraso; en cambio, en las zonas costeras las precipitaciones más intensas son generalmente en la noche.

4. Medida de la precipitación

Las técnicas de valoración y medida de la precipitación del agua se agrupan bajo el nombre de pluviometría. El objeto de éstas es obtener datos de gran valor en el balance de intercambio del agua entre la Tierra y la atmósfera.

Para efectuar la pluviometría es necesario recordar:

1. La forma en que llega la precipitación a la superficie terrestre.

A) Precipitación propiamente dicha

a) el agua cae sobre la superficie terrestre en forma líquida (lluvia, llovizna, chubasco);

b) en forma sólida amorfa (granizo);

c) en forma sólida cristalizada (nieve);

d) en formas intermedias (nieve granulada, aguanieve, etc.).

B) Precipitación oculta

a) llega por condensación (rocío);

b) llega por sublimación (escarcha).

Y también conviene precisar que, en sentido inverso, el agua de la precipitación se evapora en la misma masa de aire atravesada por la lluvia, lo cual dará diferentes valores al medir simultáneamente precipitaciones a distintos niveles sobre una misma vertical, aunque lo que importa en realidad es la precipitación que llega a la superficie.

2. Las unidades en que se mide la precipitación.

A) La precipitación se mide por la altura en milímetros que alcanzaría sobre una superficie plana y horizontal donde no se perdiera por infiltración o evaporación, y tal altura se da en milímetros.

Un milímetro de precipitación equivale a un litro de agua por metro cuadrado.

B) Las precipitaciones de nieve se miden:

a) Por la altura que alcanzaría la nieve sobre una superficie plana y horizontal donde no se fundiera, se evaporara ni se infiltrara.

Sobre superficies inclinadas esta medida se realiza siempre que se tome la altura sobre una vertical desde el suelo y no el grosor de la capa de nieve.

b) Por la altura que alcanza el agua resultante de la fusión de la nieve sobre una superficie plana y horizontal donde no se evapora ni se infiltra. Esta altura es aproximadamente 1/10 de la medida en estado sólido, aunque tal estimación puede ser errónea por distintas causas, como la compresión de los estratos inferiores en grandes nevadas, heladas intermedias, presencia de nieve granulada, aguanieve, etcétera.

3. Las dificultades de las medidas de precipitación.

Estas dificultades se basan en los siguientes hechos que conviene resaltar:

A) Las superficies receptoras de los aparatos que miden la precipitación son muy pequeñas en relación con aquéllas para las que se hace la estimación. Por ejemplo, en el caso de un pluviómetro Hellman, por cada 50 km² aproximadamente, caso muy frecuente en las redes pluviométricas, la superficie de la boca del pluviómetro es 200 cm² y la relación es:

$$200/(50 \times 106 \times 104) = 2/(5000 \times 106) = 1/(2500 \times 106)$$

Como se advierte, la superficie receptora es 2 500 millones de veces más pequeña que aquélla para la que se hace la estimación. Aun así, se observa bastante homogeneidad en los datos correspondientes a terrenos llanos o de relieve muy suave, especialmente con lluvias de tipo frontal. Sin embargo esto no ocurre en los terrenos montañosos o de relieve accidentado.

B) Las lecturas de la precipitación a distintas alturas de una misma ladera son muy divergentes. En distintas laderas de una misma cuenca lo son más aún por la diversidad del efecto orográfico sobre las precipitaciones, pues en igualdad de condiciones de altitud, las precipitaciones son mucho más cuantiosas en las laderas de barlovento que en las de sotavento (Figura II.4). Prescindiendo de este efecto y teniendo únicamente en cuenta el de la altitud, la precipitación recogida aumenta con ella notablemente, hasta el punto de que estimar con un pluviómetro cada 50 km² la lluvia caída en un terreno accidentado, tiene casi tanto error relativo como determinar el agua que contendría un lago cuyo fondo tuviera un relieve inverso al del terreno, haciendo sólo un sondeo de profundidad por cada 50 km². Los métodos de obtención de acopio de lluvias en una zona, de totalización de lluvias en una cuenca, etc., en las regiones de relieve complicado, son interpolaciones aceptables únicamente si existe suficiente densidad de pluviómetros, si están bien instalados y son bien leídos, y aun así, quien utilice esos datos, por ejemplo para el trazado de isoyetas, debe ser un experto que, además de conocer con cierto detalle el relieve de la región, considere los tipos de precipitación registrados, los efectos orográficos sobre cada uno, las características de los vientos, etc., a fin de que la estimación que resulte tenga garantías de veracidad.

4. Las comparaciones entre lecturas de diversos pluviómetros.

Las comparaciones efectuadas entre diversos pluviómetros indican que las diferencias en las lecturas llegan hasta el 10% sobre las sumas anuales.

A) Para dos pluviómetros del mismo tipo los totales diarios de precipitación difieren en mayor porcentaje mientras menor es su cantidad, pueden variar del 15 al 25% cuando son inferiores a 1 mm, del 3 al 4% para totales entre 1 y 5 mm y del 1 al 2% para totales del orden de 20 mm. En

todo caso, la cantidad de agua recogida suele resultar menor que la que debería de recoger. Por la propia construcción de los pluviómetros, no se capta siempre toda el agua que pasa a través de lo que se llama superficie de recepción, bien por salpicadura en la boca y en el embudo cuando éste no es profundo y es demasiado plano, o bien por el excesivo mojado y la consecuente evaporación en las paredes, independientemente de los efectos dinámicos debidos al viento, defectos de instalación, etcétera.

B) Sin que se puedan establecer cifras o porcentajes más o menos exactos, las medidas de los pluviómetros son siempre ligeramente erróneas por defecto, y el error aumenta con la velocidad del viento. El efecto del viento es tan notable que para eliminarlo, o por lo menos para atenuarlo, se han hecho intentos orientados en dos sentidos:

1º Conseguir un dispositivo que permita mantener la superficie receptora siempre normal, es decir, perpendicular a la dirección de caída de las gotas de lluvia.

2º Un medidor que indique tanto la inclinación media con la que cae la lluvia, como la cantidad que corresponde a una superficie receptora horizontal.

5. Aparatos de medida y registro

Para la medida y registro de las precipitaciones se emplea un material de observación básico muy sencillo, pero de cierta diversidad y dificultad en cuanto a instalación, normas de empleo e interpretación de sus medidas.

1. Aparatos

A. Para medir cantidades de precipitación:

a) Pluviómetros

b) Nivómetros

c) Totalizadores

B. Para registrar distribuciones de lluvia en el tiempo:

d) Pluviógrafos

C. Para medir la precipitación a distancia:

e) Radar meteorológico

Descripción de los aparatos:

a) Pluviómetros: El aparato que tradicionalmente sirve para medir la precipitación propiamente dicha es el pluviómetro. Este aparato tiene cerca de tres centurias de antigüedad y a pesar de lo rudimentario que es, aún no ha sido reemplazado y es de esperar que utilice todavía por largo tiempo. En esencia, consiste en un cilindro recto, de sección conocida, con un borde agudo horizontal (boca) y un dispositivo para recoger el agua (colector) ver figura B.7. A continuación se describen las partes que lo conforman:

Cilindro: cuya boca receptora tiene un área de 200 cm^2 , delimitado por un anillo de bronce con borde biselado.

Receptor(A y B): Se ubica en la parte superior unido al borde biselado y cuyo fondo tiene forma de embudo y ocupa aproximadamente la mitad del cilindro.

Colector(C): El agua recogida va a través del embudo a una probeta de vidrio o de plástico graduado con una escala de milímetros o pulgadas.

Aislador Térmico (D): Para evitar la evaporación por calentamiento, la probeta está aislada del cilindro exterior por el aislador térmico.



Figura B.7. Pluviómetro ordinario.

Existen muy diversos tipos de pluviómetros: norteamericano, español, alemán, francés, belga, inglés, canadiense, etc. En principio, todos éstos son un mismo pluviómetro, lo que varía es la altura de la boca del aparato sobre el suelo, la situación del colector sobre tierra o bajo tierra, la forma de hacer la lectura, etcétera

Tipo norteamericano. Es un pluviómetro común y corriente. La altura de la boca sobre el suelo es de 762 mm. La medición se hace con una regla fina de acero que se introduce por la boca del pluviómetro, en el depósito colector, el cual a su vez tiene una sección que es 1/10 de la sección de la boca del colector o superficie receptora. El embudo se encuentra a 1/4 de diámetro de la boca (Ver Figura B.8). El colector tiene su base prácticamente al nivel del suelo del pluviómetro. Cuando se desborda el colector, si la cantidad de precipitación es superior a su capacidad, el agua desbordada queda en la armadura del pluviómetro. Se mide vertiéndola en el colector y tomando en éste la altura con la regla. La armadura está montada sobre un trípode de hierro.

Tipo español y alemán (Hellmann). La superficie receptora es de 200 cm^2 , de manera que a 1 mm de lluvia corresponden 20 cm^3 de agua recogida:

$$200 \text{ cm}^2 \times 1 \text{ mm}$$

$$200 \text{ cm}^2 \times 0.1 \text{ cm} = 20 \text{ cm}^3$$

Las características más importantes respecto a su instalación son: la boca del pluviómetro se encuentra a 1.50 m del suelo, que va sujeto por un soporte lateral a un poste cuyo extremo superior está cortado en bisel y que es fácilmente desmontable del soporte para hacer la lectura, como muestra la figura B.9

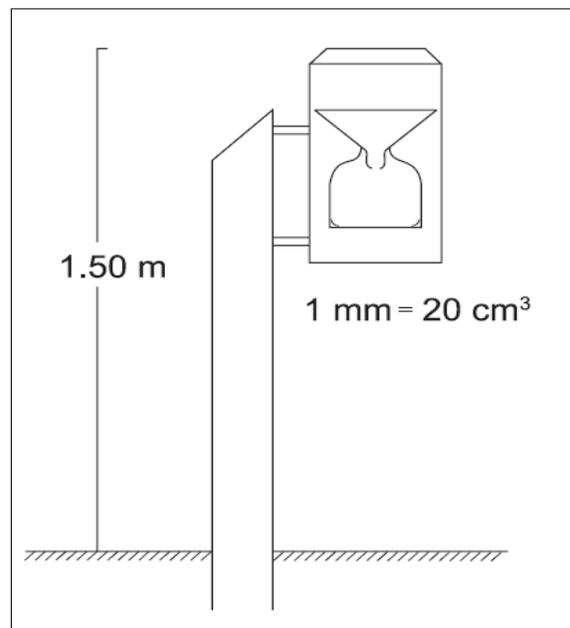
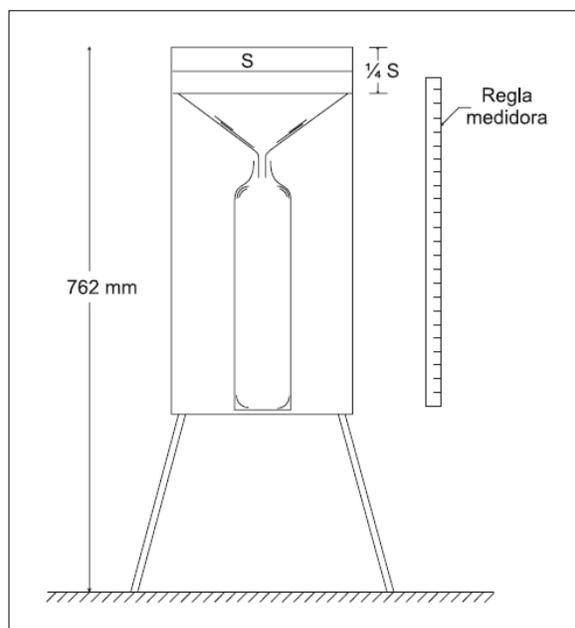


Figura B.8 Pluviómetro tipo norteamericano. Figura B.9 Pluviómetro tipo *Hellmann*.

b) Nivómetros

Con los nivómetros se mide la nieve precipitada. Son necesarios cuando la cantidad de nieve es considerable y su fusión es más difícil. Son los mismos pluviómetros anteriores con algunas modificaciones. La más común es la supresión del embudo para aumentar su capacidad, y la colocación en el interior de dos tabiques verticales que se cortan normalmente a lo largo del eje del cilindro, esto evita que los remolinos del viento saquen la nieve recogida. Para facilitar la fusión de la nieve dentro del cilindro se pone cloruro de calcio anhídrido, también se puede fundir añadiendo agua caliente. En ambos casos se descuenta de la cantidad de agua medida la substancia utilizada para fundir la nieve. Otra técnica para medir la altura de la nieve consiste en emplear un cilindro hueco que se introduce verticalmente en ésta y después se cierra por debajo, sacándolo y fundiendo la nieve recogida. También se puede introducir verticalmente en la nieve una regla graduada y dividir entre diez la altura nevada, dando así los milímetros de agua equivalente. Para ambos procedimientos hay que escoger un lugar donde no se hayan producido acumulaciones o merma, ya sea por el viento o por deslizamiento. Un método particularmente útil en las montañas inaccesibles para conocer las reservas de nieve que hay antes de iniciarse su fusión, consiste en colocar barras graduadas fijas en el suelo en sitios horizontales convenientemente protegidos del viento. Estas barras son bastante altas y con marcas que semejan peldaños de escalera de caracol que se pueden fotografiar desde un avión para conocer

así el espesor de la nieve. Cuando se han hecho medidas en diversos lugares se saca la media aritmética. El hecho de que haya dos o más capas de nieve superpuestas y el que ésta se hiele dificulta las mediciones. Existen nivómetros radiactivos, basados en el amortiguamiento que experimenta la intensidad de la radiación de un foco emisor al atravesar un cierto espesor de substancia, en este caso nieve, amortiguamiento que es proporcional a dicho espesor. El foco emisor suele estar constituido por una pequeña cantidad de material radiactivo encerrado en una cápsula de plomo de gruesas paredes con una abertura en su porción superior.

Dicha cápsula queda alojada en el suelo y sobre su vertical, en el eje del haz de radiación, a suficiente distancia va un contador *Geiger-Miller* que registra la intensidad de radiación que llega hasta él, y puede emitir a su vez este registro.

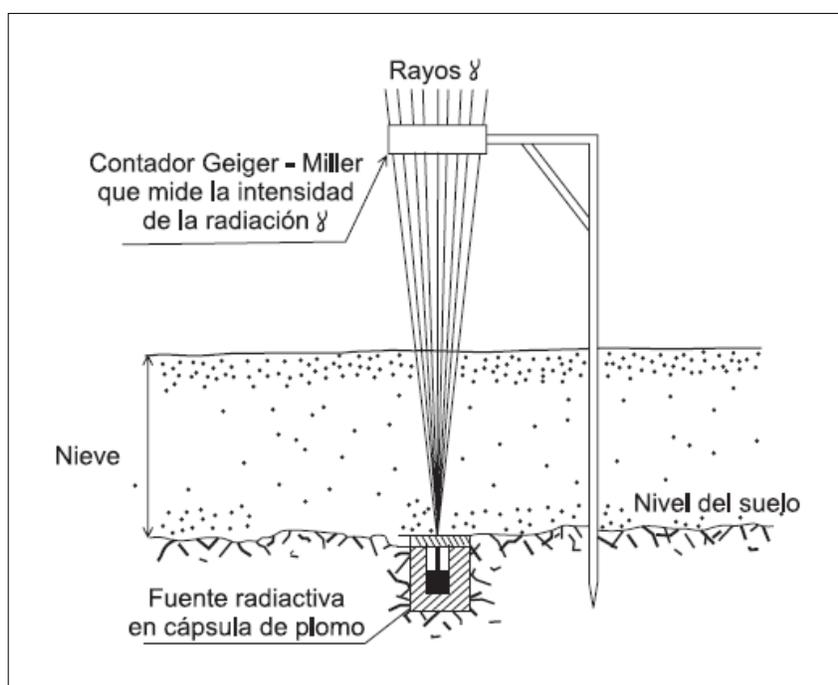


Figura B.10 Nivómetro radiactivo.

c) Totalizadores

Tienen por objeto obtener en una sola medida la precipitación total caída en un cierto punto durante un largo período (un año hidrológico, un verano, un período de lluvias, etc.); existen diversos modelos que comúnmente coinciden en sus detalles generales de construcción y funcionamiento. Se instalan en lugares que sólo pueden visitarse con escasa frecuencia, normalmente una vez al año. Uno de los variados tipos de totalizadores consta de un depósito de zinc de aproximadamente 150 litros de capacidad con boca de 200 cm² de sección, para recoger precipitaciones hasta de 7 500 mm. La boca está provista de un aro de latón de borde cortante. En

el fondo lleva un tapón de rosca o un grifo. El depósito va metido en otro de chapa galvanizada que cumple las siguientes funciones: *a)* soportar el depósito interior, *b)* el espacio entre ambos actúa como cámara de aire, evitando el enfriamiento o calentamiento exagerado del interior, y *c)* sirve a éste de protección. El fondo del depósito exterior se cierra con un tapón de rosca similar al del depósito interior o con una tapa que se puede fijar con un candado. El peso del totalizador descansa sobre unas barras que van enterradas en el suelo. La boca se sitúa a 2.50 m sobre el suelo. En el interior se coloca aceite líquido de vaselina o parafina que al flotar sobre el agua evita la evaporación, y cloruro de calcio anhídrido para fundir la nieve (Figura B.11). El aceite se puede recuperar por decantación y el cloruro de calcio por evaporación del agua.

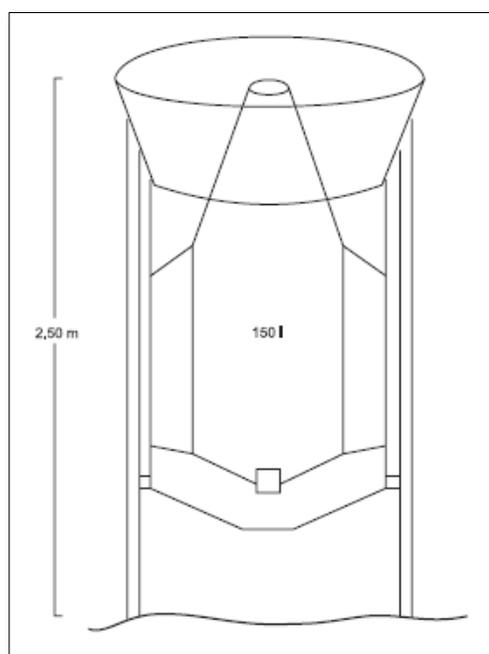


Figura B.11 Totalizador de montaña.

***d)* Pluviógrafos**

Son los instrumentos destinados a medir la distribución de la lluvia en el tiempo en un determinado lugar. Con ellos se conoce la cantidad de lluvia a través del tiempo y también su intensidad. Como muestra la figura B.12 existen cinco clases o tipos fundamentales:

- a)* de flotador sin sifón automático,
- b)* de flotador con sifón automático,
- c)* de balanza,
- d)* de oscilación,

e) combinación de balanza y oscilación.

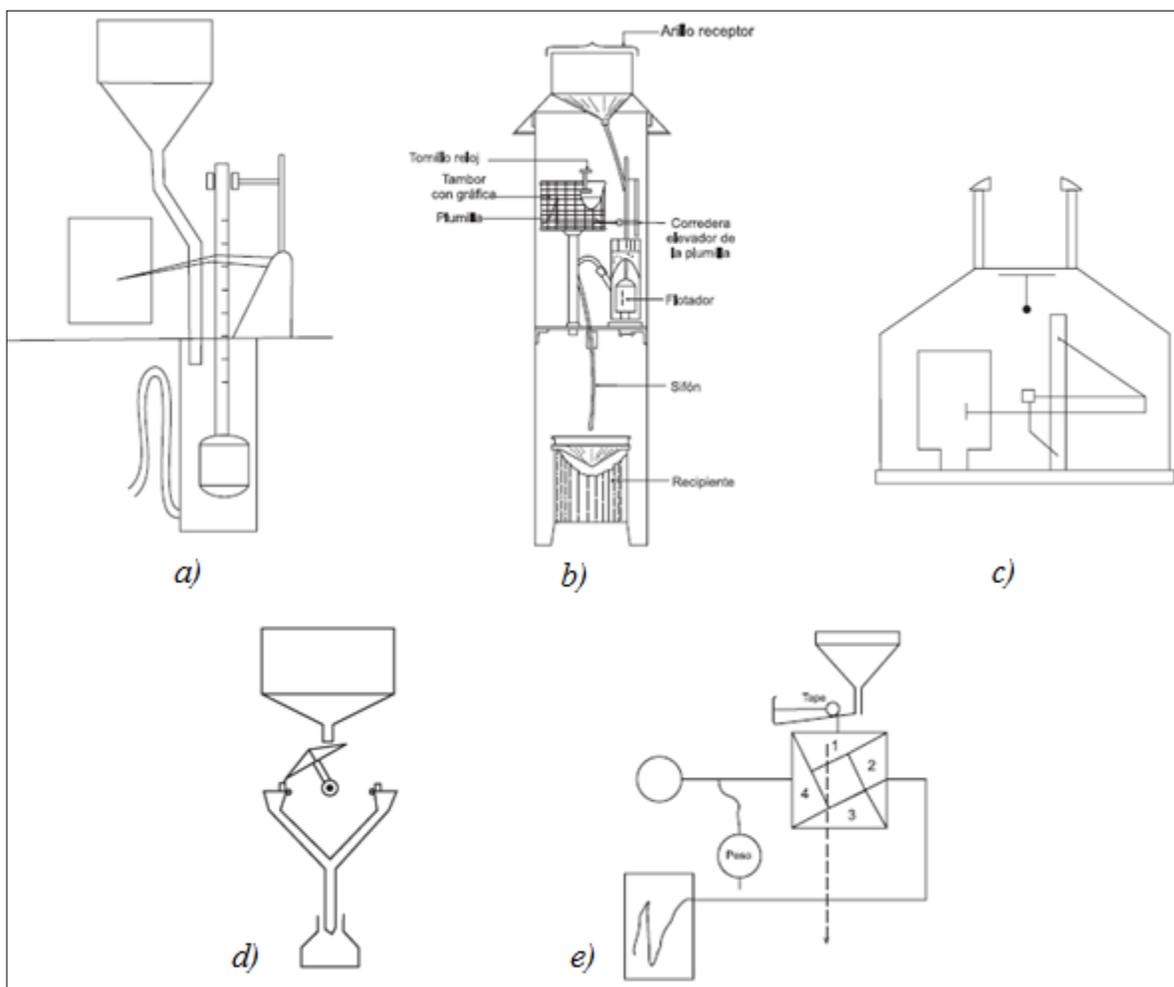


Figura B.12 Tipos fundamentales de fluviógrafos

e) Radar meteorológico

Las medidas de la precipitación mediante el radar se abocan a la altura y a la intensidad de la precipitación. Por lo que respecta a la altura de la precipitación, se toman fotografías que proyectan el área del temporal que la produce; en éstas aparecen zonas luminosas de mayor o menor intensidad, de acuerdo con la variación

de las intensidades del eco que se correlacionan con las precipitaciones acumuladas, de conformidad con las informaciones recibidas de las estaciones sinópticas. Con esta información se pueden trazar rápidamente las isoyetas. En lo referente a la intensidad de la precipitación, en las pantallas del radar meteorológico el eco de las gotas de lluvia es distinto del producido por otros obstáculos y gotitas de las nubes, por lo que éste puede ser interpretado como intensidad de la lluvia. Los datos generados por el radar son de gran utilidad para el manejo de situaciones ocasionadas por fuertes precipitaciones. Por otro lado, representa un medio para efectuar medidas de precipitación en zonas inaccesibles.

ANEXO C: EFECTOS DE LA LLUVIA EN EL SUELO

Para hablar de la relación lluvia- deslizamiento es necesario considerar todos aquellos factores que se presentan como variables en el momento en que la lluvia logra el inesperado deslizamiento. La respuesta aún no logra dilucidarse con claridad, pero se hace necesario estudiar de qué forma influye en el talud modificando sus propiedades para concretar de una manera u otra el esperado deslizamiento. Hasta el momento los investigadores conocen como el suelo cambia sus propiedades a medida que la saturación de sus partículas comienza. Estas juegan a favor y en contra de la estabilidad del suelo.

De esta manera, cuando las lluvias son torrenciales, el impacto físico de las gotas de agua ataca energicamente el suelo y provoca la disgregación y movilización de las partículas superficiales, que son arrastradas por el agua. A su vez, la cantidad de lluvia caída en tan poco tiempo, excede la capacidad de infiltración en el terreno, por lo que se produce una escorrentía superficial que intensifica el efecto erosivo del agua sobre las laderas durante el transporte del sedimento y forma depósitos característicos al pie de las pendientes. Si, por el contrario, el agua de lluvia se infiltra lentamente, se produce un mayor grado de saturación del terreno, que puede llegar a formar un nivel de agua subterránea. En general existe una buena correlación entre la frecuencia de deslizamientos y la estación del año, correspondiendo un mayor número de aquéllos a los meses más lluviosos. Este fenómeno se incrementa en zonas muy húmedas y durante los periodos con lluvias más extensas e intensas aumenta también la magnitud de los movimientos, ya que el terreno presenta un elevado grado de saturación como consecuencia de lluvias anteriores. Por lo que respecta a las temperaturas, parámetro de menor importancia, cuanto más altas y más extremas sean, mayor será su influencia sobre los ciclos de humedad-sequedad del suelo. Los cambios de temperatura originarán procesos de expansión y contracción de los poros del terreno, con los consiguientes efectos sobre su grado de esponjamiento y saturación.

El agua es el agente que contribuye con mayor peso a la modificación de las condiciones de estabilidad de una ladera. Por una parte, provoca la disgregación física de la estructura de las partículas del suelo, así como su alteración química mediante procesos de disolución, oxidación, etc. Todo ello genera cambios mineralógicos, composicionales y texturales, lo que da como resultado, en ambos casos, una disminución de sus parámetros resistivos. Por otra parte, cuando el agua se infiltra y percola en el subsuelo a través de poros y fisuras, puede formarse un nivel de saturación variable, con un drenaje y un flujo determinado. A nivel intuitivo, puede pensarse entonces, que el papel desestabilizador del agua procede del efecto lubricante que ésta produce sobre las partículas y discontinuidades del terreno. Sin embargo, su acción desestabilizadora proviene tanto de la sobrecarga proporcionada por el peso del agua al ocupar poros y fisuras antes

vacíos, como de las presiones intersticiales. Al tener un suelo saturado, constituido por partículas sólidas y agua, los esfuerzos son absorbidos en diferente proporción por ambos elementos. Como el agua no puede soportar esfuerzos cortantes, se disminuyen las tensiones efectivas del terreno, y se incrementa el esfuerzo de corte, lo que afecta, por tanto, a la estabilidad. Esto es de gran importancia cuando el terreno está compuesto por una alternancia de capas permeables e impermeables, ya que las primeras son capaces de desarrollar presiones intersticiales considerables.

Los efectos del flujo del agua en los taludes pueden ser:

1. Incremento en la presión de poros

La presión de poros es la presión interna del agua de saturación. Esta depende de la localización de los niveles freáticos, presiones internas de los acuíferos y las características geológicas del sitio. La presión de poros varía de acuerdo a las fluctuaciones del régimen de aguas subterráneas. Los incrementos de presión pueden ocurrir rápidamente en el momento de una lluvia, dependiendo de la intensidad, de la duración o de la infiltración. El aumento en las presiones del suelo debido a precipitaciones conducirá a la disminución de los esfuerzos efectivos y, por tanto, disminución de la resistencia al esfuerzo cortante disponible del suelo lo que equivale a una reducción de la estabilidad.

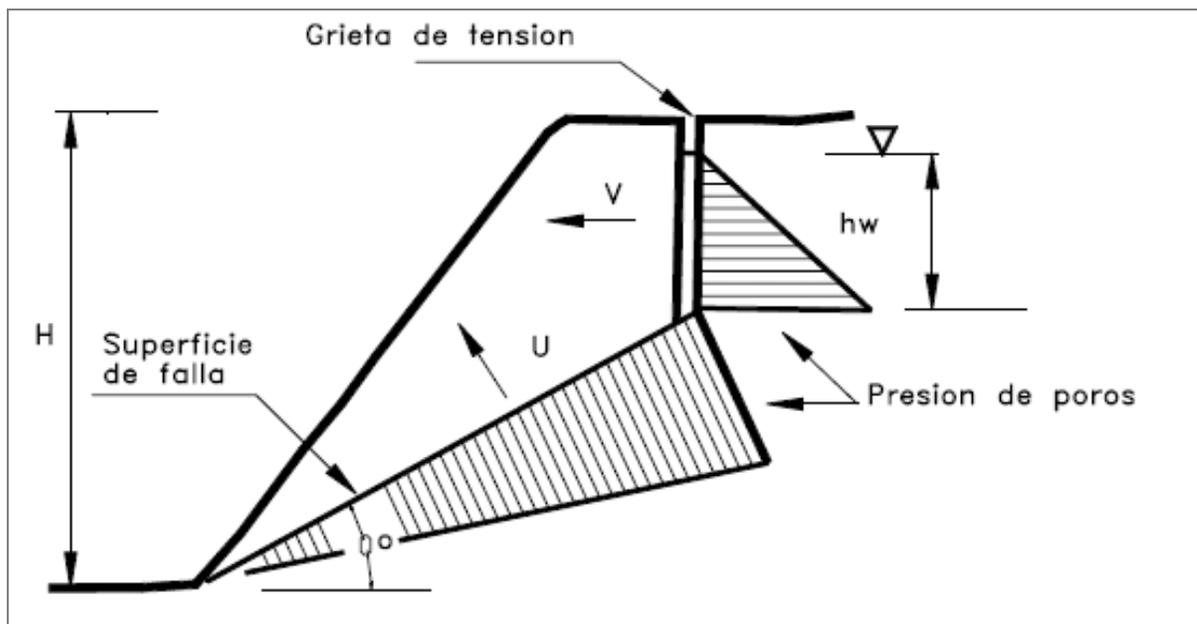


Figura C.1: Presión de poros sobre una superficie de falla potencial Fuente Suárez, 2009

Para medir las presiones de poros se utilizan distintos tipos de piezómetros. Si no hay flujo de agua las presiones son hidrostáticas. En cambio si en el talud hay un flujo de agua las presiones de poros deben medirse usando redes de flujos.

2. Lluvias Acumuladas.

La ocurrencia de lluvias, durante varios días consecutivos o con pocos días de diferencia, puede producir fenómenos de acumulación de aguas subterráneas, debido a que el talud no alcanza a drenar el agua infiltrada antes de que llegue la próxima lluvia produciendo un fenómeno de acumulación progresiva y de ascenso del nivel freático

3. Erosión

La erosión hídrica es un fenómeno ocasionado por acción de fuerzas hidráulicas, las cuales actúan sobre las partículas de suelo produciendo su desprendimiento y posterior transporte. La erosión comprende el desprendimiento, transporte y posterior depósito de materiales de suelo o roca por acción de la fuerza del agua en movimiento. El proceso puede ser analizado iniciando por el despegue de las partículas de suelo, debido al impacto de las gotas de lluvia. Adicionalmente, ocurre el proceso de flujo superficial en el cual las partículas removidas son incorporadas a la corriente y transportadas talud abajo. Si la “velocidad” de escorrentía es superior a la velocidad máxima erosionante, se produce erosión superficial. La velocidad de escorrentía depende de la pendiente, la intensidad de la lluvia, la cantidad de agua presente y la rugosidad de la superficie del terreno. Si el gradiente hidráulico interno es alto se puede producir transporte intenso de partículas, produciéndose pequeños conductos que al ampliarse desestabilizan el talud. Esto es muy común en suelos de carácter dispersivo o salino. El agua al salir a la superficie, si posee un gradiente hidráulico alto y/o si el suelo superficial es erosionable, puede desprender las partículas de suelo, formando cavernas que posteriormente producen aumento de la pendiente del talud y descargue del mismo, produciéndose deslizamientos de masa. La erosión por golpeo de la lluvia (Splash erosion) ocurre por el impacto de las gotas de agua sobre una superficie desprotegida, el cual produce el desprendimiento y remoción de capas delgadas de suelo. El tamaño de las partículas de lluvia varía de 0.5 a 5 mm de diámetro, de acuerdo a la intensidad de la lluvia. La velocidad de las gotas varía de 3 a 10 metros por segundo. Al caer una gota de lluvia levanta partículas de suelo y las reparte en un área de aproximadamente un metro cuadrado. En un suelo sin protección vegetal, en áreas de montaña

tropical, se calculan hasta cincuenta metros cúbicos de suelo removido por hectárea, en una lluvia fuerte de una hora de duración.

Erosión en Surcos

La acción de golpeo de la lluvia y el flujo de agua generado en la dirección principal de la pendiente, forma inicialmente microsurcos de erosión (rills) y a medida que la longitud de flujo es mayor, los surcos se hacen más profundos y de menor densidad por una unidad de área. Los surcos paralelos forman una red de drenaje en la cual los surcos más profundos rompen la divisoria de los surcos más pequeños, llevando el agua al punto más bajo. La capacidad erosiva de los surcos es tal, que si la cobertura vegetal y de raíces no es muy fuerte, puede romper la vegetación, y los surcos en ocasiones pasan por debajo de las raíces.



Figura C.2. Erosión en surcos

Erosión en cárcavas

Éste proceso, es generalmente un desarrollo erosivo interno, producto de la infiltración de agua, la que genera agujeros dentro del talud, los que van aumentando su sección al capturar la cárcava más próxima, pueden también originarse al profundizar y ampliarse los surcos de erosión se convierten en cárcavas.



Figura C.3. Erosión en cárcavas.

ANEXO D: UMBRALES PROPUESTOS POR OTROS AUTORES

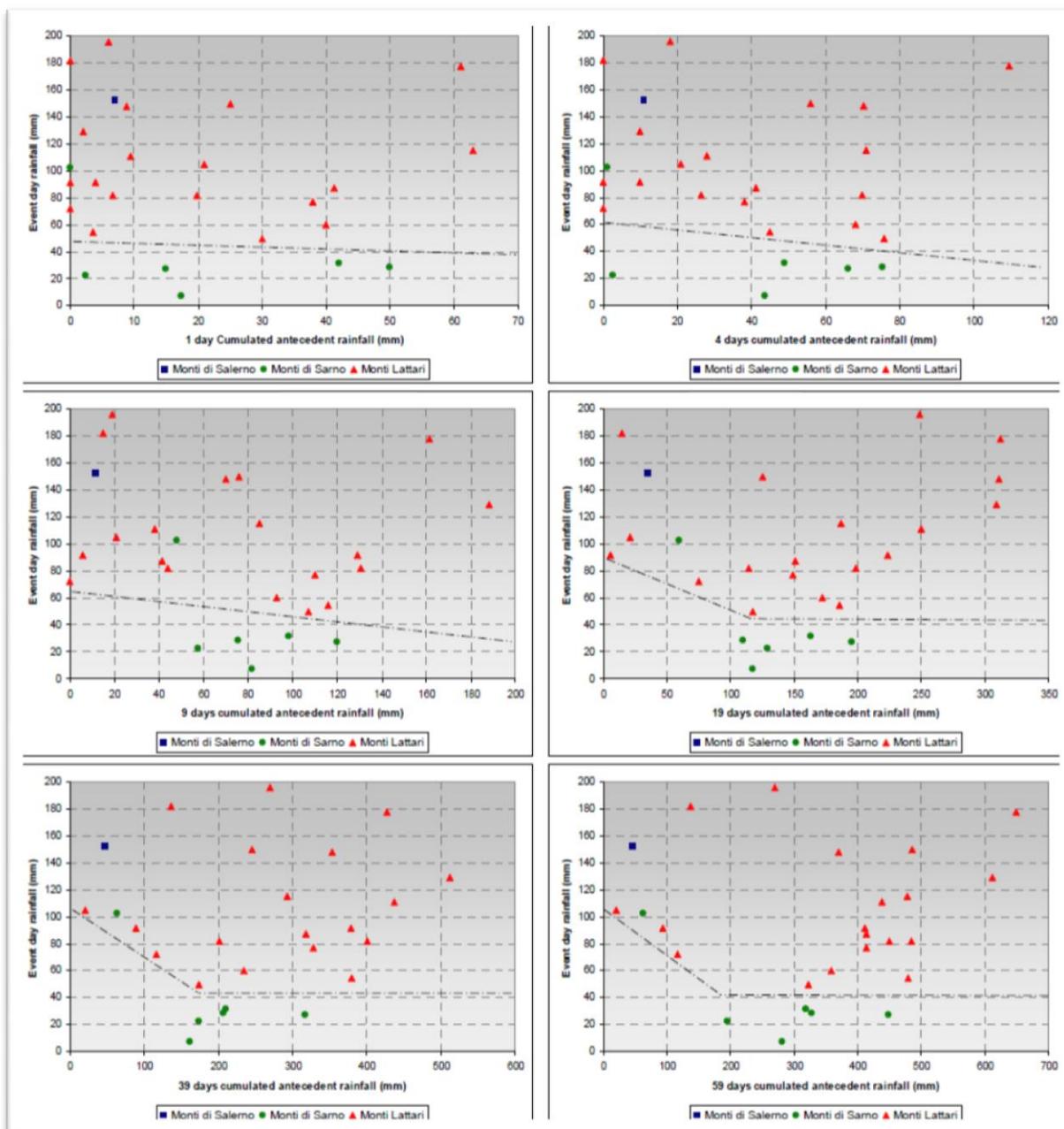


Figura D.2: Umbral de precipitación antecedente que considera precipitación acumulada para distintas cantidades de días asociadas a deslizamientos en Campania, Italia, por De Vita (2000)

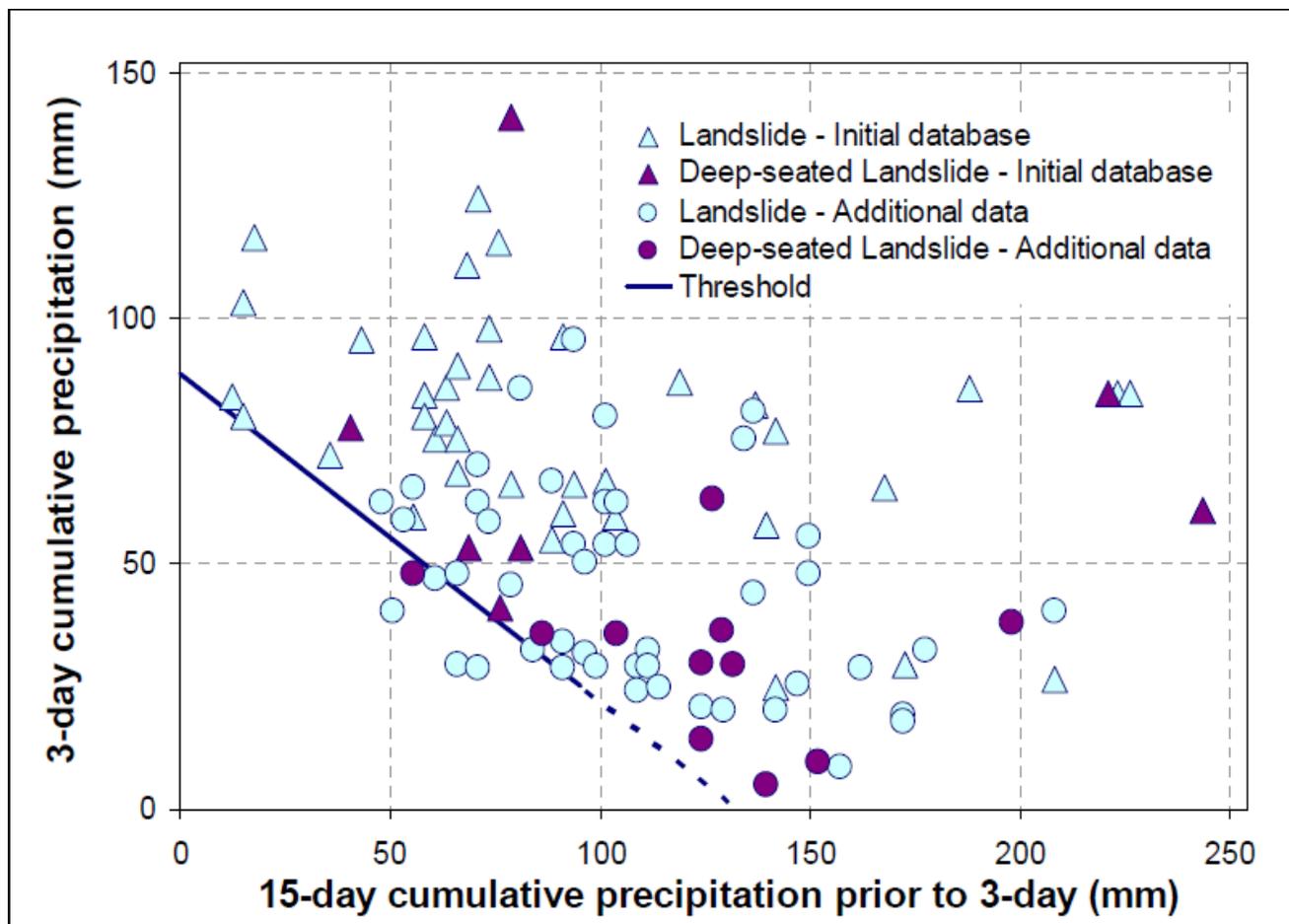


Figura D.3: Umbral de precipitación antecedente que considera precipitación acumulada de 3 días y 15 días asociadas a deslizamientos, en Seattle por Chleborad (2000).

2 UMBRALES EMPÍRICOS DE DESLIZAMIENTO EN EL AREA DE ESTUDIO

2.1 Umbrales propuestos en la ruta CH-152, Provincia de Concepción, por Astorga (2011)

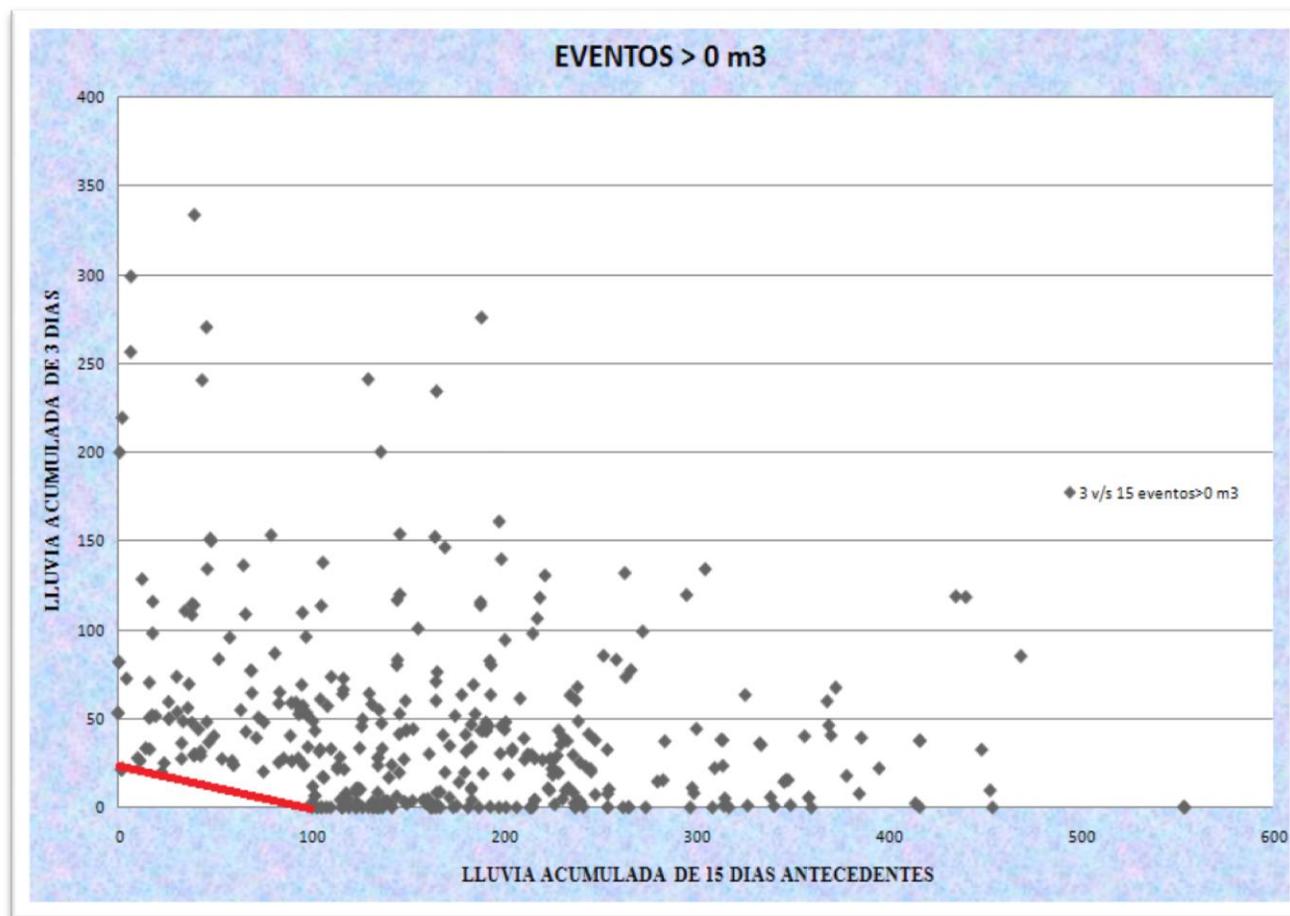


Figura D.4: Umbral de precipitación de 3 v/s 15 días antecedentes para la estación TIGO, Ruta CH-152, Astorga (2011)

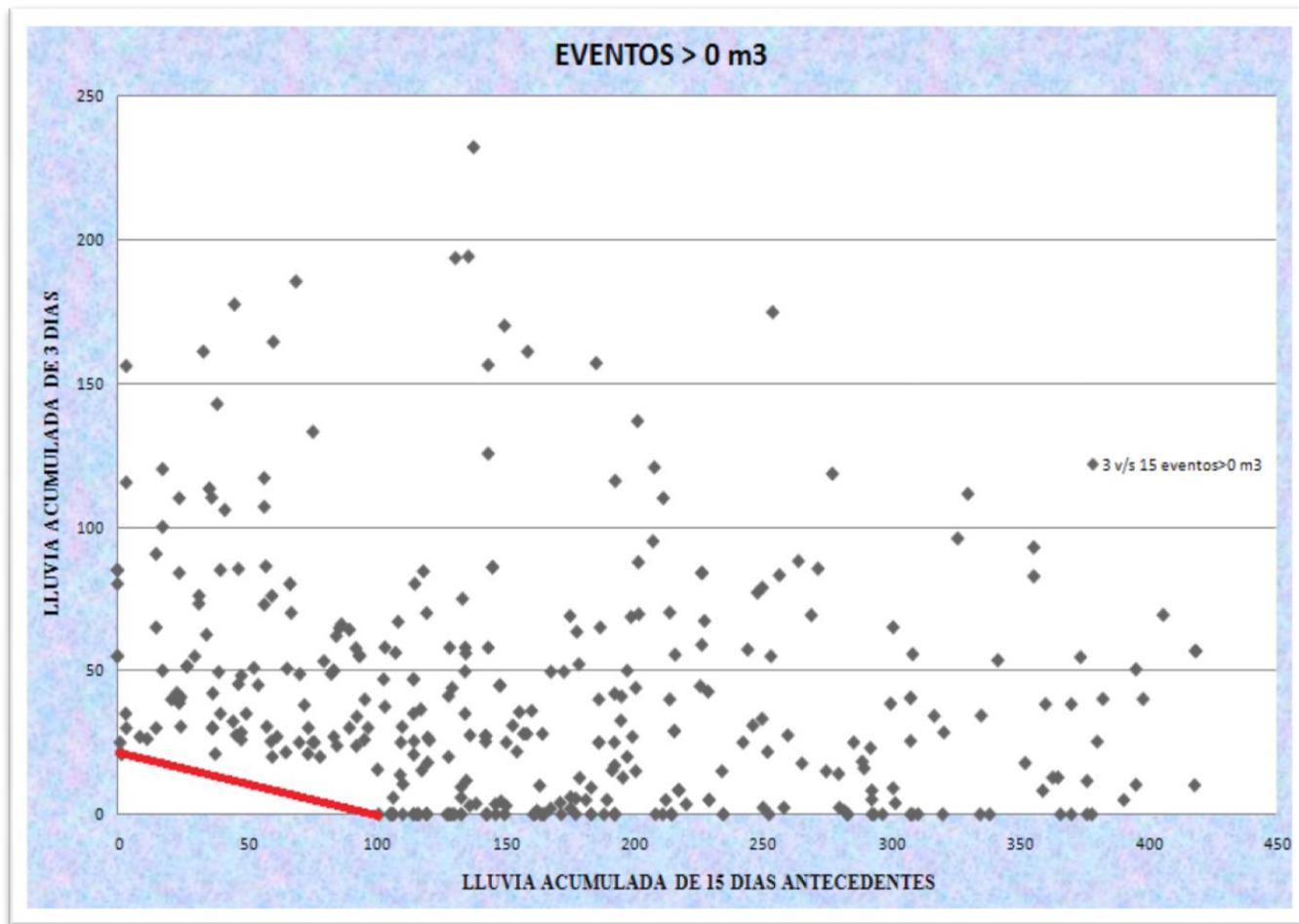


Figura D.5: Umbral de precipitación de 3 v/s 15 días antecedentes para la estación Las Pataguas, Ruta CH-152, Astorga (2011)

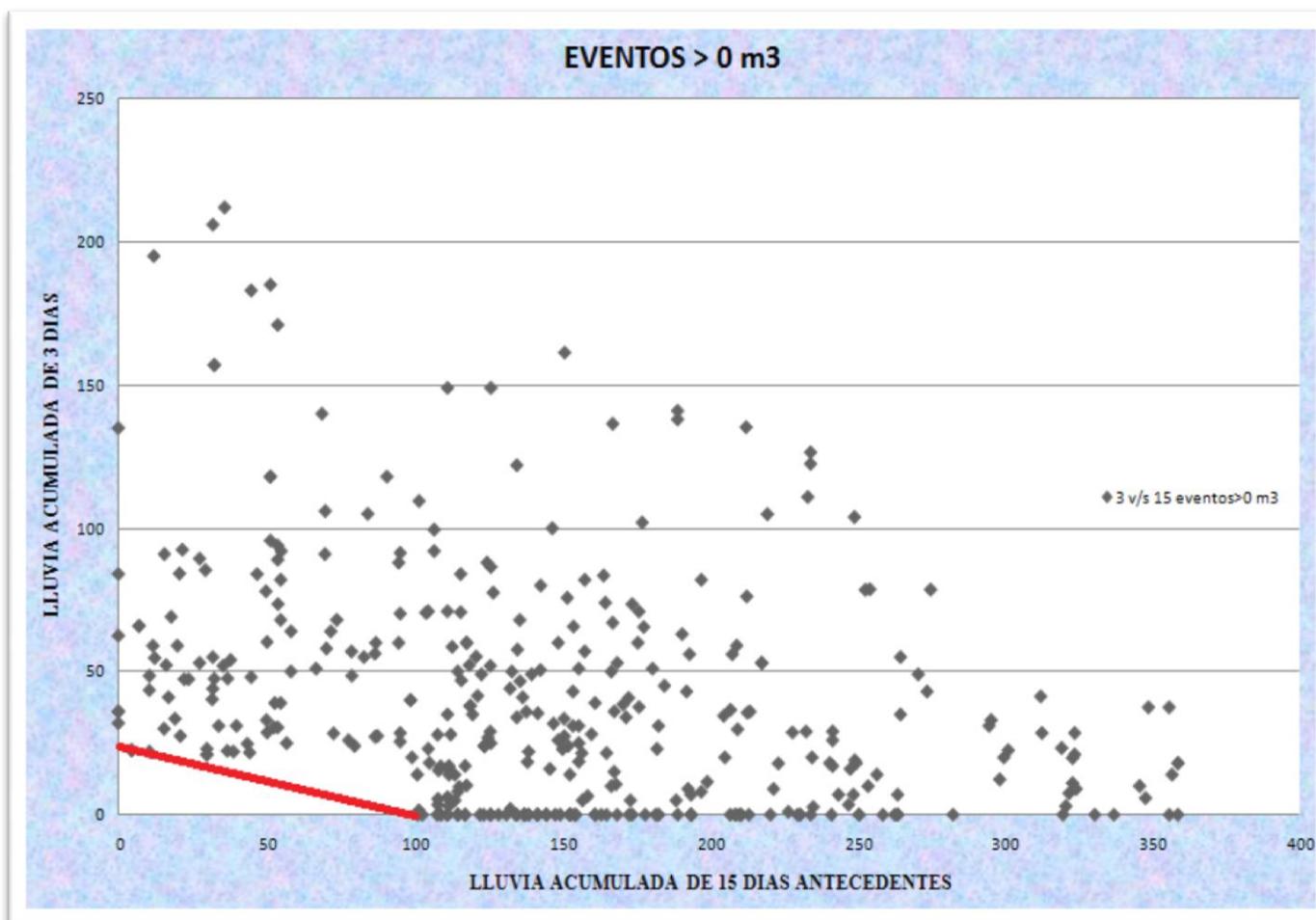


Figura D.6: Umbral de precipitación de 3 v/s 15 días antecedentes para la estación Nueva Aldea, Ruta CH-152, Astorga (2011)

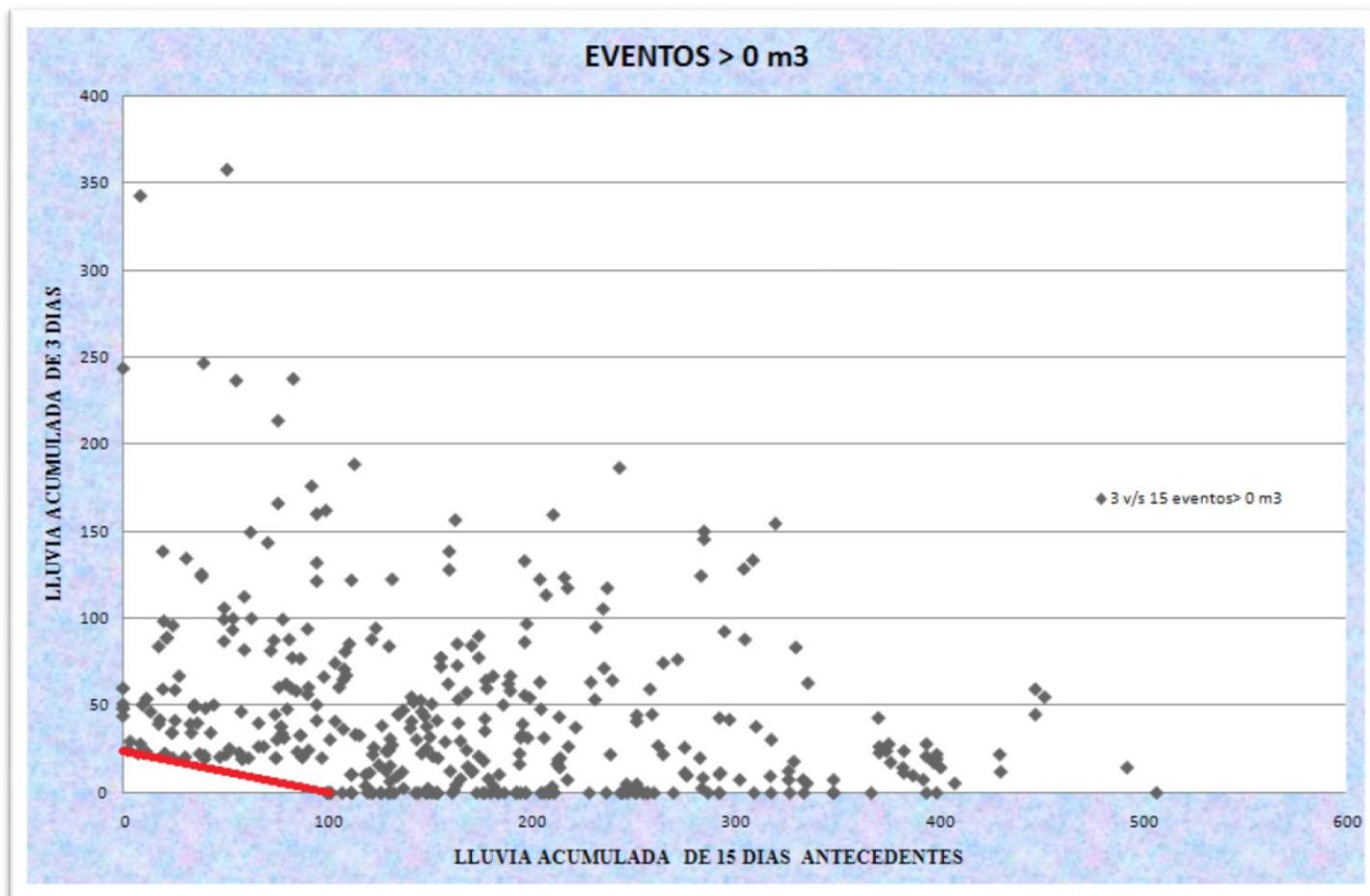


Figura D.7: Umbral de precipitación de 3 v/s 15 días antecedentes para la estación Chillancito, Ruta CH-152, Astorga (2011)

2.2 Umbrales propuestos en la ruta CH-156, Provincia de Concepción, por Torres (2013)

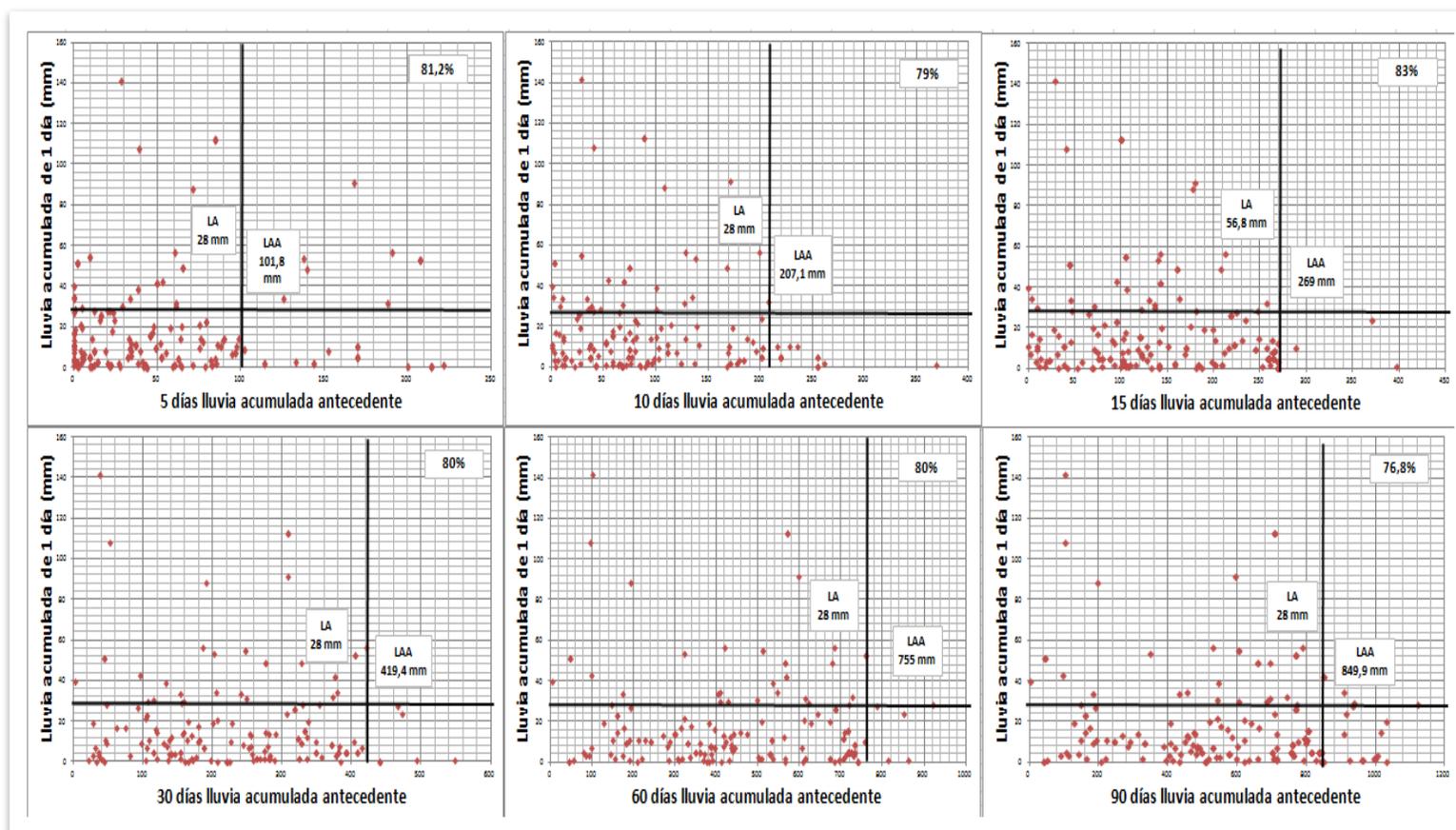


Figura D.8: Lluvia Acumulada (LA) de 1 día contra la Lluvia Acumulada Antecedente (LAA) de 5, 10, 15, 30, 60 y 90 días

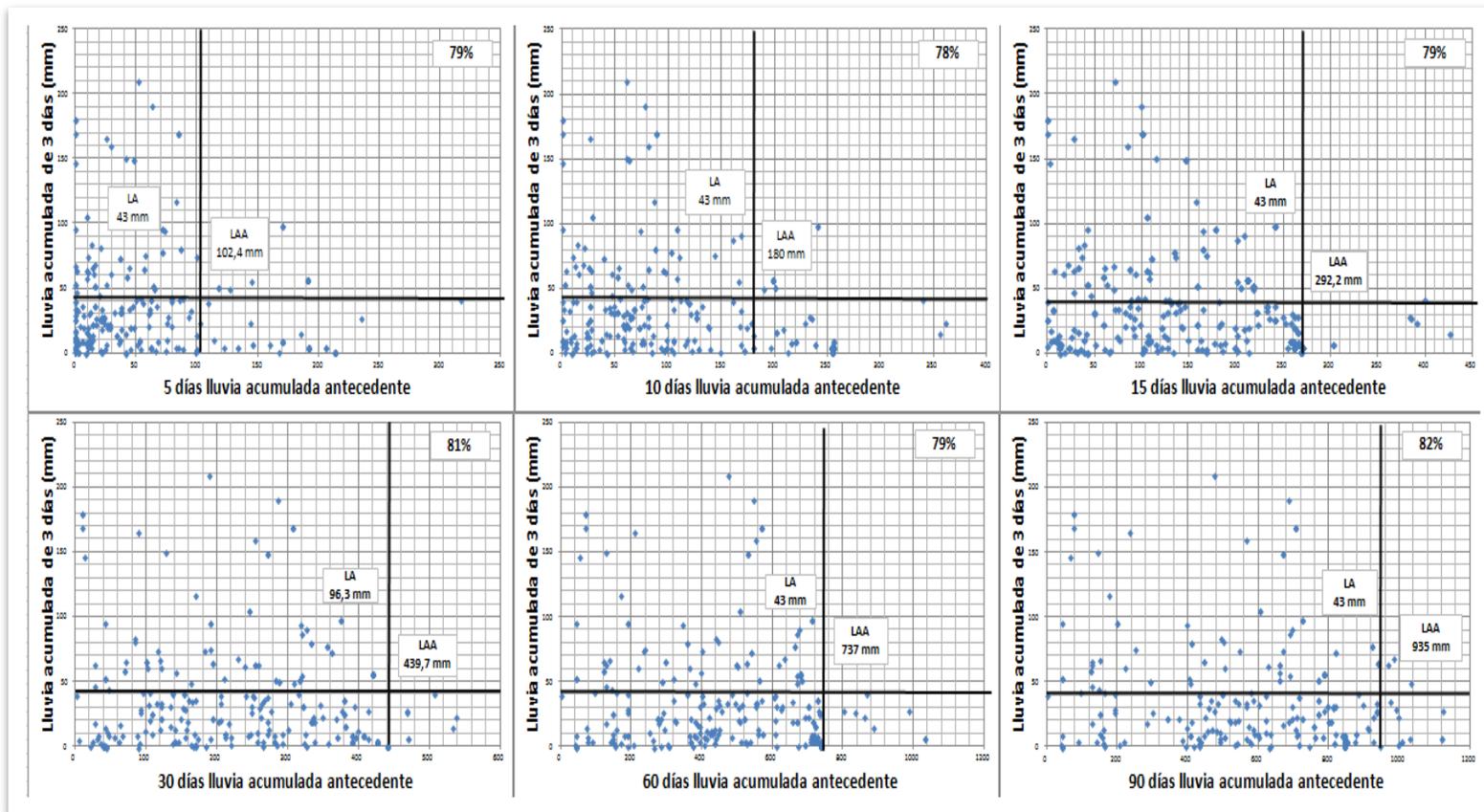


Figura D.9: Lluvia Acumulada (LA) de 3 días contra la Lluvia Acumulada Antecedente (LAA) de 5, 10, 15, 30, 60 y 90 días.

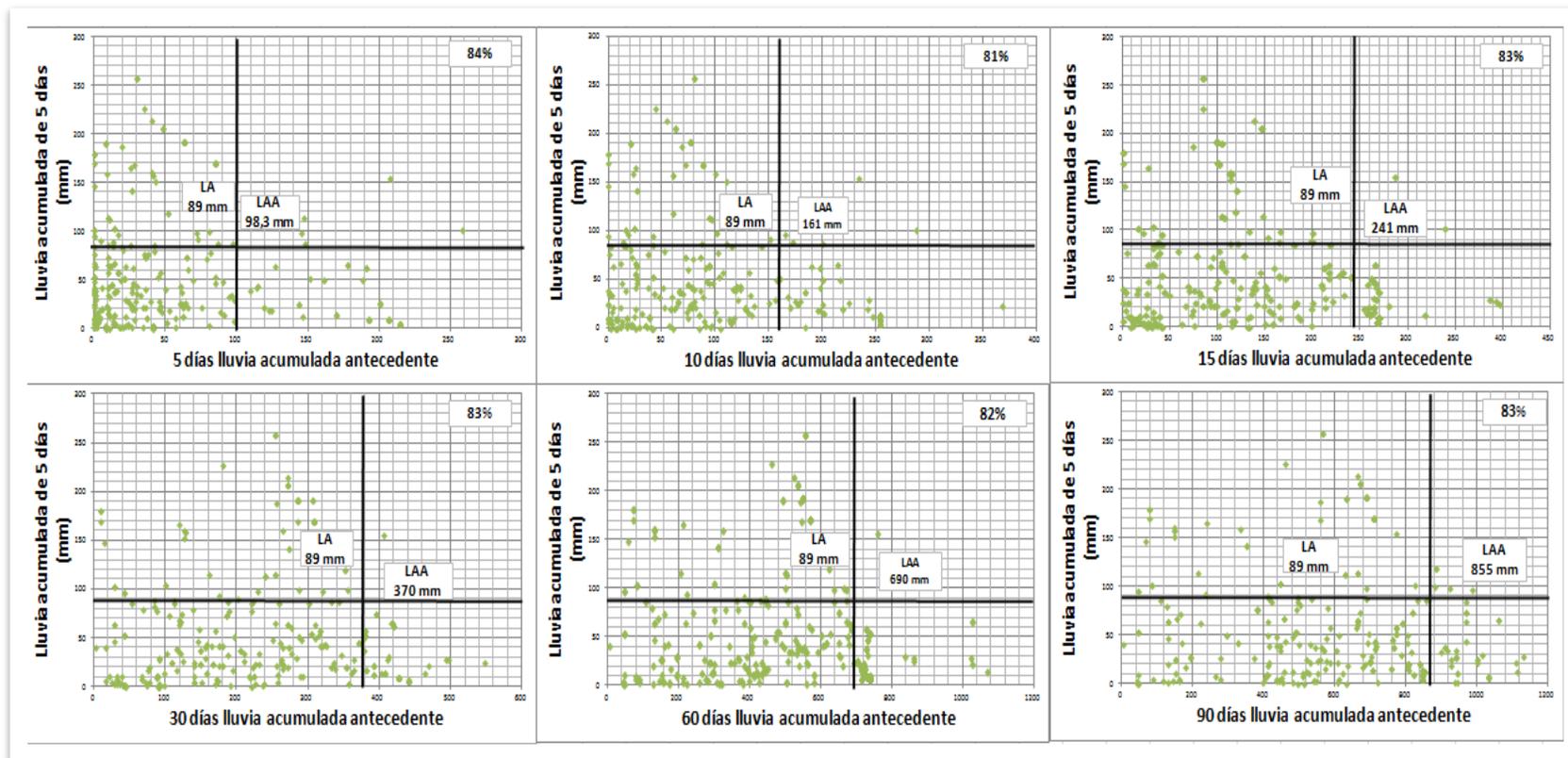


Figura D.10: Lluvia Acumulada (LA) de 5 días contra la Lluvia Acumulada Antecedente (LAA) de 5, 10, 15, 30, 60 y 90 días

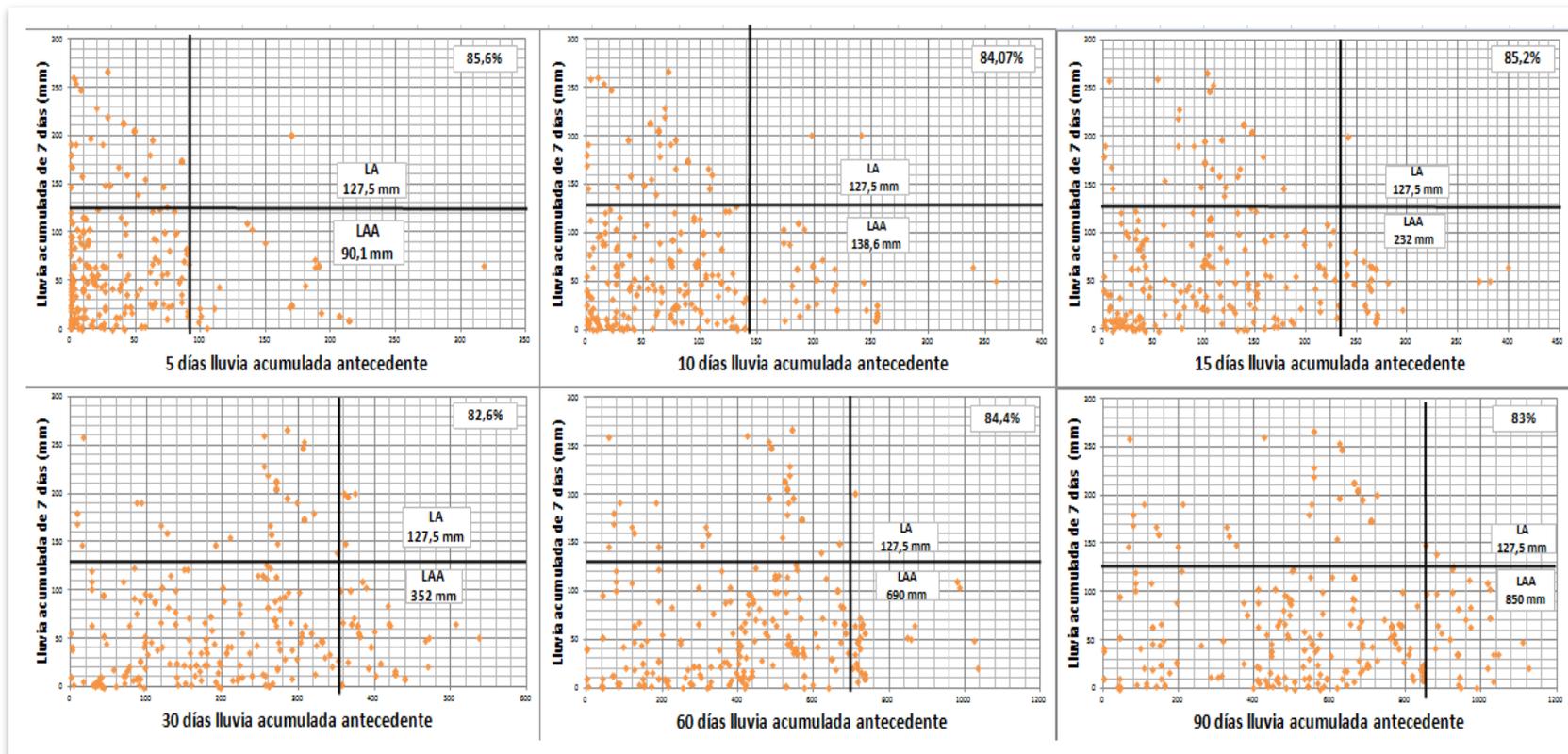


Figura D.11: Lluvia Acumulada (LA) de 7 días contra la Lluvia Acumulada Antecedente (LAA) de 5, 10, 15, 30, 60 y 90 días

**ANEXO E: SISTEMAS DE ALERTA TEMPRANA
POR DESLIZAMIENTOS.**

Los sistemas de alerta temprana por deslizamiento de terreno proporcionan un rápido medio para comunicar y monitorizar información sobre las amenazas a una comunidad vulnerable. Tales sistemas señalan con anticipación la posibilidad de ocurrencia de un deslizamiento que permite notificar y evacuar a las personas para proteger sus vidas (Larsen, 2008).

Un sistema de alerta temprana considera los siguientes aspectos:

a) Un sistema de información que permite:

- ❖ Participación y organización comunitaria
- ❖ Capacitación y planes de emergencia
- ❖ Instrumentación y estaciones en red para vigilar los deslizamientos

Consideran los conceptos de SAT como:

b) Instalación de sistemas o instrumentos en superficie para detectar deslizamientos o medir determinados parámetros.

En general un sistema de alerta temprana tiene como objetivo detectar en forma oportuna la ocurrencia inminente de fenómenos peligrosos que podrían causar daños a las poblaciones vulnerables, basado en vigilancia de indicadores y generar alertas que se comunican a las poblaciones en riesgo, activar sus mecanismos de alarma para orientar la evacuación de las poblaciones expuestas hacia los lugares o zonas seguras.

El análisis de la recurrencia temporal de las catástrofes naturales ha demostrado que los daños generados presentan una frecuencia mayor que la capacidad de recuperación que tienen la sociedad y la economía, por lo que los nuevos enfoques se han centrado en el desarrollo e implementación de sistemas de alerta temprana y regulación de suelos que minimicen la pérdida de vidas humanas e infraestructura (IEWP, 2005; Guzzetti, Peruccacci y Rossi, 2005). Arattano y Marchi (2008) clasifican los sistemas de alerta temprana en dos clases principales: sistemas de alertas anticipadas y sistemas de alertas del evento. Los sistemas de alerta anticipada predicen un evento antes de su ocurrencia, monitorizando las condiciones precedentes. En tanto que los sistemas de alerta del evento detectan el evento cuando ya ha ocurrido y generan una alarma.

Usualmente, un sistema de alerta temprana lo componen tres elementos básicos:

- ❖ Sensores de lluvia y telemetría
- ❖ Umbrales críticos de lluvia definidos por modelos físicos o empíricos
- ❖ Medios para la comunicación de las alertas a las autoridades y comunidad

En cuanto a los sensores de lluvia y telemetría, en forma general, existen dos métodos: estimación de precipitación cuantitativa (QPE por sus siglas en inglés) y pronóstico de precipitación cuantitativa (QPF por sus siglas en inglés) (NOAA-USGS, 2005).

Basados en estos dos métodos existen estaciones que miden la lluvia cuantitativamente, como los pluviómetros, e instrumentos que pueden estimar y pronosticar espacial y temporalmente la lluvia, como los radares.

Sólo en algunos lugares del mundo se han utilizado sistemas de alerta basados en umbrales críticos de lluvia. Uno de los primeros sistemas de alerta fue desarrollado por la NOAA y USGS en el área de la bahía de San Francisco en el periodo 1986-1995 como parte de un programa exploratorio. Este sistema se basó en pronósticos cuantitativos de lluvia (QPF) y umbrales críticos de precipitación empíricos, y se soportó en una red con más de 40 estaciones de lluvia en tiempo real. Algunos otros sistemas similares han sido desarrollados desde entonces en Japón, China, Brasil, Nueva Zelanda y Hong Kong (Aleotti, 2004; Guzzetti, Peruccacci y Rossi, 2005; Cannon, 2005). En Japón se desarrolló un sistema para la alerta y evacuación basado en el proceso de infiltración y el flujo superficial. Fueron definidas cantidades de lluvia estándares determinadas como acumulaciones críticas de lluvia dentro de ciertos periodos de concentración, combinadas con modelos de estabilidad estáticos. Para mejorar la precisión de las predicciones combinaron estaciones de lluvia en tierra con mediciones de radares y telemetría en tiempo real (Guzzetti, Peruccacci y Rossi, 2005). En el área del Yangtsé en China fue desarrollado un sistema en 1991 para monitorizar movimientos en masa utilizando más de 70 estaciones y 300 profesionales. Esta red protege una población de más de 300.000 personas y para el año 2005 había pronosticado más de 217 deslizamientos evitando pérdidas económicas estimadas en 27 millones de dólares (IEWP, 2005). En Río de Janeiro, la oficina de ingeniería geotécnica de Río de Janeiro, diseñó en 1996 un sistema conformado por una red de 30 estaciones de lluvia en tiempo real y radares meteorológicos, denominado Sistema de Alerta Río. Este sistema genera pronósticos y alertas para movimientos en masa e inundaciones rápidas a las agencias gubernamentales y la comunidad durante tormentas intensas (NOAA-USGS, 2005).

En Nueva Zelanda se desarrolló un sistema para predecir en tiempo real la ocurrencia de deslizamientos superficiales desencadenados por lluvias, de acuerdo con pronósticos de clima generados por modelos globales y regionales. Los modelos globales de la United Kingdom Meteorological Office (UKMO) se combinan con modelos atmosféricos regionales (New Zeland Limited Area Model, NZLAM). Después a escalas más detalladas se utilizan modelos hidrológicos de estado estático para estimar la humedad del suelo a escala local y se aplican modelos de estabilidad infinita para determinar los umbrales de agua en el suelo que desatan los movimientos. Este sistema genera entonces pronósticos probabilísticos espacio-temporales para la ocurrencia de deslizamientos en diferentes regiones de Nueva Zelanda (Schmidt *et al.*, 2007).

En Hong Kong, una de las regiones con mayores afectaciones por la ocurrencia de movimientos en masa, la Oficina de Ingeniería Geotécnica (GEO por sus siglas en inglés), desarrolló un sistema computacional automático denominado Landslip Warning System (LWS), el cual constituye el primero de su tipo en el mundo que funciona las 24 horas los 7 días de la semana. Este sistema está basado en pronósticos de lluvias para tiempos cortos y lo componen 86 estaciones de lluvia. Adicionalmente es alimentado por radares e imágenes de satélite para monitorizar las variaciones y movimientos de las celdas de lluvia. El LWS está programado para que, cuando se superen los umbrales definidos, se generen alertas al público por los medios nacionales y locales como radio y televisión (Aleotti, 2004). Otros sistemas de alerta temprana se están implantando en Alemania y Malasia (Bell et al., 2009; Peng et al., 2008).

Métodos aplicados para la observación de deslizamientos

- ❖ Medición diaria: Definir Responsables: Observadores de lluvias y deslizamientos
- ❖ Registros de datos: Información registro dada a líderes comunales y autoridades locales a través de red de radiocomunicación.
- ❖ Análisis y el pronóstico de información: Asegurar las vidas humanas a través de alertas preventivas. Garantía de seguridad y validez de la información para no generar falsas alarmas.

Tipos de instrumentos básicos de medición – vigilancia

- ❖ Pluviómetro:
- ❖ Estación para registro de variables meteorológicas: registros de datos sobre el estado del clima como, temperatura, humedad, velocidad y dirección del viento, cantidad de lluvia y el acumulado en días.
- ❖ Imágenes satelitales de la NOAA

1. SISTEMA DE MONITOREO, ALERTA TEMPRANA Y PROCEDIMIENTOS DE EVACUACIÓN, EN GUATEMALA.

En la zona metropolitana de Guatemala para el monitoreo de lluvias se ha implementado una red de pluviómetros y de estaciones meteorológicas a tres diferentes niveles:

Pluviómetros a nivel comunitario: Estos pluviómetros son operados por miembros de la brigada de alerta y evacuación de cada Coordinadora Local para la Reducción de Desastres (COLRED) Cada día, a las 8 de la mañana, se lee y anota la cantidad de lluvia de las últimas 24 horas, en la hoja de registro mensual, en donde también se lleva un control de la cantidad de lluvia acumulada en los últimos tres días. En la siguiente figura se muestra un ejemplo del formato de la hoja de registro mensual y su forma de llenado

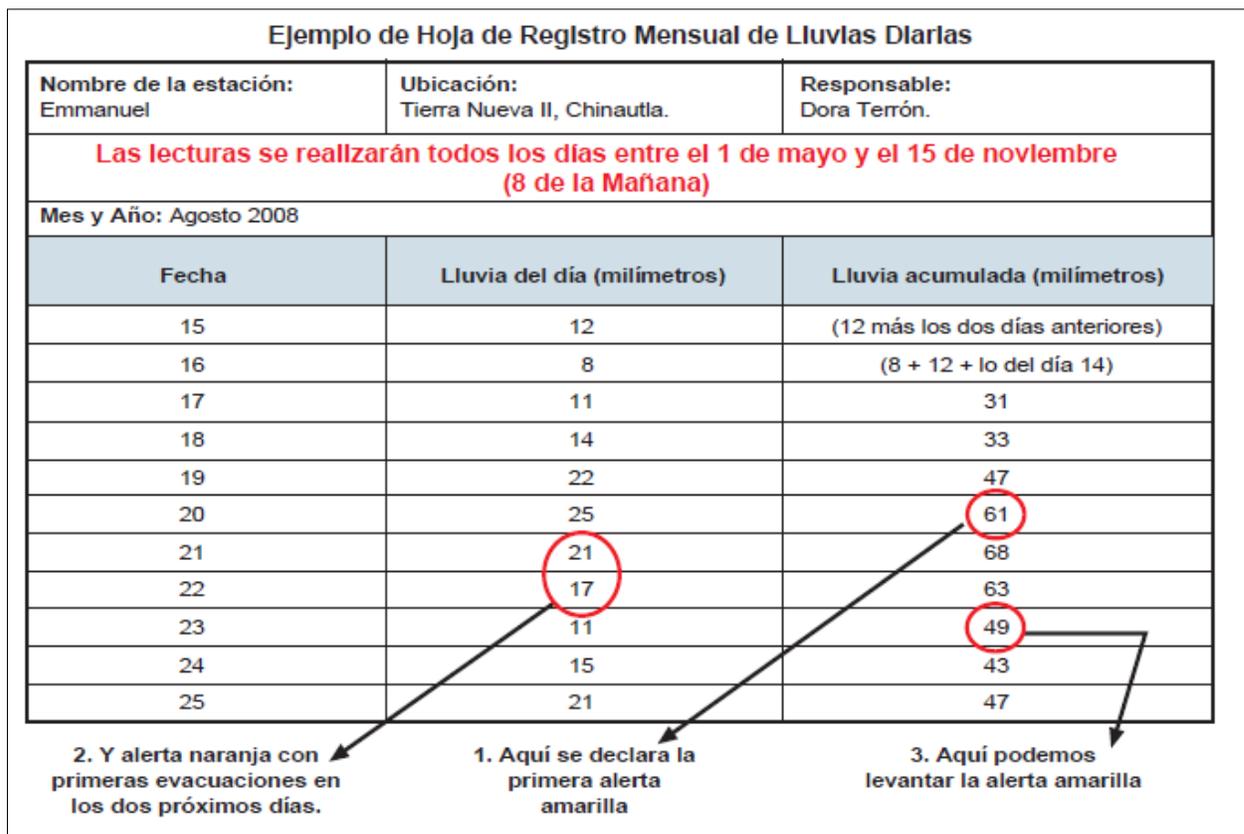


Figura E.1: Ejemplo Hoja registro mensual de lluvias diarias, en Guatemala.

Cada coordinador de brigada de alerta y evacuación posee una unidad portátil de radio-comunicación con el propósito de mantener informados al resto de coordinadores en la COLRED y también para la difusión de las alarmas ante situaciones de lluvia crítica.

Estaciones meteorológicas electrónicas a nivel municipal: Se instalaron éstas estaciones en dos compañías de Bomberos, los oficiales de turno en cada cuerpo de Bomberos son responsables del uso de estas estaciones anotando los valores de lluvia diaria y de cada tres días en la hoja de registro (ver Anexo 1). Las estaciones fueron configuradas para emitir un sonido (pitido o zumbido) cuando se alcancen los niveles críticos de lluvia que puedan generar deslizamientos. Los oficiales de radio-comunicación en los cuerpos de bomberos son los responsables de propagar la información sobre niveles críticos de lluvia a las instituciones de apoyo en emergencias y a los coordinadores de cada COLRED.

Estaciones meteorológicas satelitales a nivel metropolitano: Se instalaron estaciones en el salón comunal de la Alcaldía, éstas estaciones funcionan en forma automática y autónoma ya que están equipadas con panel solar, batería y antena de transmisión satelital. La información de lluvia diaria se puede consultar directamente en una página Web ya sea en forma tabular (cantidades) o en forma gráfica. Cada estación fue configurada para que envíe automáticamente mensajes de alerta a celulares, beepers y correos electrónicos cuando se alcancen niveles de lluvia críticos que puedan ocasionar deslizamientos. Entre los receptores de estos mensajes se encontrarán Alcaldes Auxiliares, alguaciles, coordinadores municipales, coordinadores de COLRED, delegados y jefes de servicio de la Coordinadora Nacional para la Reducción de Desastres (CONRED). La comunicación entre operadores de pluviómetros en las comunidades, los oficiales de Bomberos, autoridades municipales y delegados metropolitanos de la CONRED únicamente podrá realizarse a través de las bases de radio del sistema CONRED.



Figura E.2: Estación satelital en salón de la alcaldía auxiliar zona 21 14.55049° Latitud Norte / 90.55118 Longitud Oeste. Guatemala.

De acuerdo con los estudios y análisis de lluvia histórica, las declaratorias de alertas y emisión de alarmas responden a los siguientes criterios:

Cuando se tenga una lluvia normal de mucha intensidad aunque de poca duración

Denominan lluvias "normales" a aquellas que se relacionan con el invierno común pero que al ser de mucha intensidad (aunque de poca duración) pueden disparar deslizamientos catastróficos. En este caso es muy importante la lluvia acumulada de los últimos tres días ya que dependiendo del nivel de saturación del terreno será menor la cantidad de lluvia de disparo que se necesita para provocar los deslizamientos. El procedimiento de alerta se inicia cuando:

- a) La hoja de registro mensual indica que se han alcanzado al menos los 60 milímetros de lluvia acumulada en los últimos tres días (se sugiere alerta amarilla) .
- b) En ese caso, solamente se necesitarán alrededor de 20 milímetros de lluvia adicional (20 a 30 minutos de aguacero fuerte) para provocar los deslizamientos en el cuarto día. Se declara entonces la alerta naranja e inicia la evacuación según los procedimientos del Plan de Emergencia.

c) Si las decisiones fueron correctas y comienzan a ocurrir deslizamientos de tamaño mediano o catastrófico se declarará la alerta roja y se continuará el procedimiento de evacuación de familias en alto riesgo de acuerdo a la ubicación de los eventos en particular.

Cuando se tenga una lluvia anormal de mucha intensidad.

Lluvias "anormales" son aquellas que igualmente se relacionan con el invierno común pero son conocidas como "temporales". Así también denominan lluvias anormales a las relacionadas con algún evento meteorológico excepcional como las tormentas tropicales o los huracanes. En ambos casos, los 60 milímetros de lluvia del primer umbral crítico podrían alcanzarse en menos de tres días. Si esta fuera la situación, se recomienda implementar inmediatamente la alerta naranja e iniciar los procedimientos de evacuación de las viviendas ubicadas en más alto riesgo ante deslizamientos.

En casos de lluvias anormales, las brigadas de Alerta y Evacuación mantienen monitoreo permanente de las noticias y están atentos a la emisión de alertas por parte del sistema CONRED. En todos los casos, las brigadas de Alerta y Evacuación mantendrán comunicación constante con la Junta de Toma de Decisiones de la COLRED quienes son los responsables de emitir las alarmas que se consideren convenientes y activar el Plan de Emergencia a continuación se muestra un diagrama que resume las diferentes situaciones en las que las brigadas de Alerta y Evacuación y las Juntas de Toma de Decisiones se activan para resguardar la vida de las familias ubicadas en las zonas de mayor riesgo a deslizamientos.

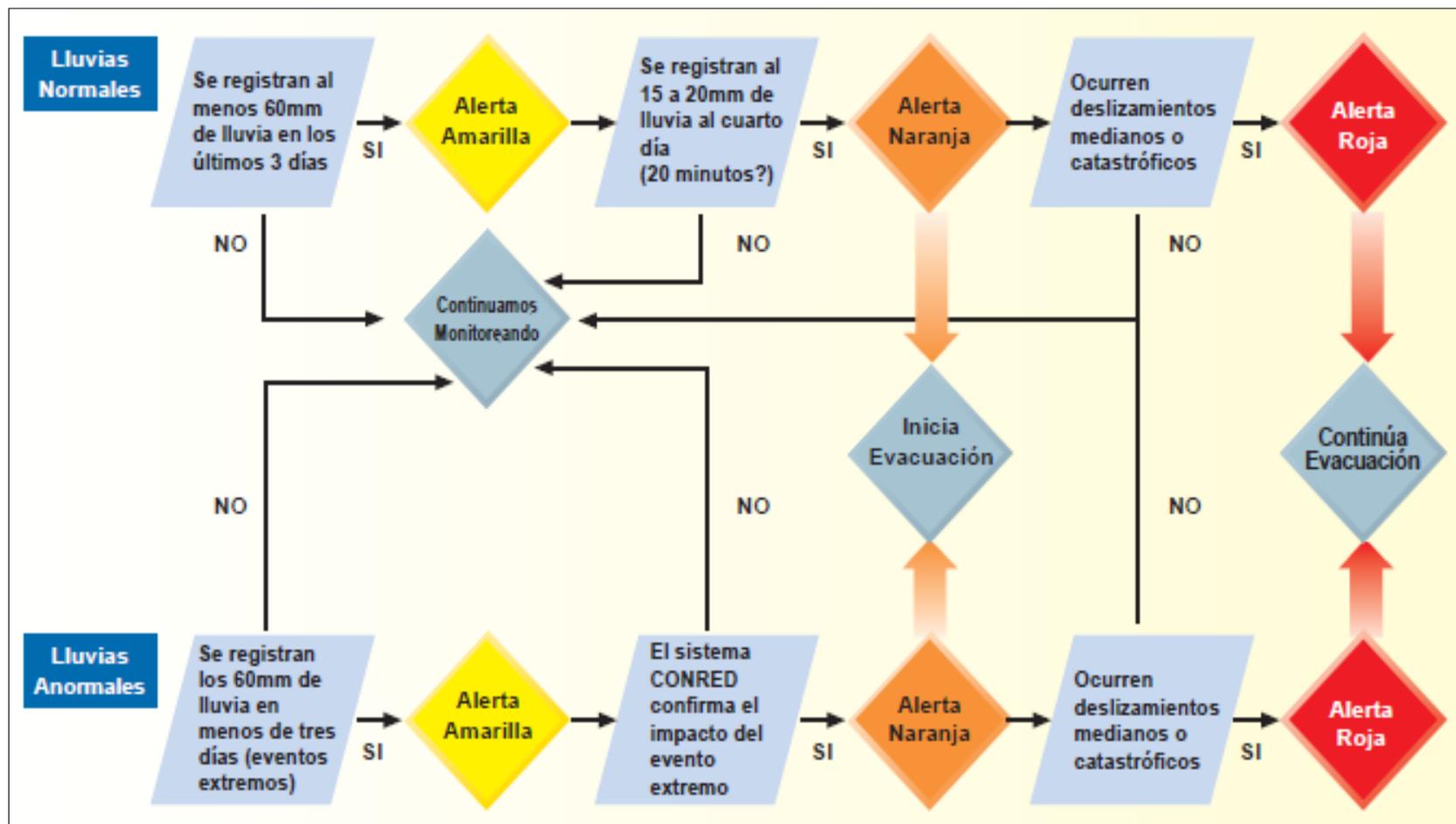


Figura E.3: Diagrama sistema de alerta en Guatemala.

PROCEDIMIENTOS DE EVACUACIÓN

Los diferentes niveles de alerta son definidos por la Junta de Toma de Decisiones con base a la información obtenida de los pluviómetros a nivel local, de las estaciones meteorológicas a nivel municipal y metropolitano y/o a la información del sistema CONRED. La difusión de las alarmas y los procedimientos de evacuación son responsabilidad de la Brigada de Alerta y Evacuación en estrecha coordinación con la Brigada de Albergues. En caso de evacuación extrema por ocurrencia de deslizamientos medianos o catastróficos se recomienda la activación inmediata de la COLRED y todas sus brigadas. Los procedimientos de evacuación, en congruencia con lo establecido en los Planes de Emergencia, tomarán en cuenta las rutas de evacuación pre-establecido y señalizada. En cualquier procedimiento de evacuación las brigadas deberán utilizar su equipo mínimo de alerta y seguridad: megáfonos, linternas (si la evacuación fuera de noche), lazos, etc. En cualquiera de los casos, la población evacuada será ubicada en los lugares previamente definidos como seguros o serán trasladados directamente a los albergues comunitarios en donde la Brigada de Albergues deberá haber activado los respectivos procedimientos: conteo de personas y familias, ubicación por familia o por sexo (según lo amerite la ocasión), manejo y suministro de alimentos, colchonetas, frazadas, etc. La Junta de Toma de Decisiones es responsable de informar sobre lo actuado a las autoridades: Alcaldía Auxiliar y Sistema CONRED.

