

## UMBRAL DE PRECIPITACIÓN DE PROCESOS DE REMOCIÓN EN MASA, EN LA PROVINCIA DE CONCEPCION

*Carla Bravo M.<sup>1</sup>, Ph. D. Diego Caamaño A.<sup>2</sup> y Ph. D. Robert W. King.<sup>3</sup>*

### RESUMEN:

El presente estudio identifica un umbral de precipitación por medio de un análisis realizado sobre la base de 99 eventos de remoción en masa, ocurridos entre los años 1960 y 2015, en la provincia de Concepción, Región del Biobío, Chile. La mayor cantidad de los registros recopilados representan eventos ocurridos en laderas con pendientes entre 12° y 43°, y con diversas orientaciones. Del total de eventos 34 fueron reportados en la comuna de Talcahuano, concentrando la mayor cantidad de ellos. El análisis realizado indica que precipitaciones acumuladas mayores a 100mm en un periodo de hasta 10 días gatillan eventos de remoción en masa, siendo éste independiente de la orientación de la ladera o de la pendiente de la misma. Cabe notar que se identifica un patrón de precipitaciones relacionado con la pendiente de la ladera y que obedece a eventos con mayor precipitación para laderas con menor pendiente y menores para aquellas más pronunciadas, sin embargo, todas sobre el valor del umbral definido. Eventos que ocurren para precipitaciones acumuladas menores a 100mm presentan, en los días anteriores, intensidades de precipitación mayores a las promedio e identificadas como umbrales por otros autores. Se considera entonces que la intensidad de los eventos también debe considerarse como un efecto detonador de deslizamientos, sin embargo, la cantidad de datos analizados en este estudio no permitió encontrar una relación clara para este valor de intensidad sino que se concentró en la acumulación de precipitación.

**PALABRAS CLAVES:** Remoción en masa; umbral de precipitación; precipitación acumulada.

### ABSTRACT:

This study identifies a precipitation threshold through a data assessment performed on 99 registered landslide events that occurred during 1960 and 2015, in Concepción Province, Chile. The largest number of records collected represent events occurring on steep slopes between 12 ° and 43 °, and with different orientations. Of the total of events 34 were reported in the commune of Talcahuano, concentrating most of them. The analysis indicates that accumulated rainfall greater than 100 mm in a period of up to 10 days trigger mass removal events, which is independent of the orientation of the slope or slope of the same. It should be noted that a precipitation pattern related to the slope of the slope is identified and due to events with greater precipitation for slopes with lower slopes and lower ones for steeper slopes, all of them above the value of the defined threshold. Events that occur for accumulated rainfall less than 100 mm present in the previous days, precipitation intensities above average and identified as thresholds by other authors. It is considered that the intensity of the events should also be considered as a detonating effect of landslides, however the amount of data analyzed in this study did not allow to find a clear relation for this intensity value but concentrated in the accumulation of precipitation.

**KEYWORDS:** Landslides; precipitation threshold; accumulated precipitation.

---

<sup>1</sup> Estudiante, Carrera de Ingeniería Civil, Universidad Católica de la Santísima Concepción, CHILE, [cebravo@ing.ucsc.cl](mailto:cebravo@ing.ucsc.cl)

<sup>2</sup> Profesor Asistente, Departamento de Ingeniería Civil, Universidad Católica de la Santísima Concepción, CHILE, [dcaamano@ucsc.cl](mailto:dcaamano@ucsc.cl)

<sup>3</sup> Profesor Informante, Departamento de Ingeniería Civil, Universidad Católica de la Santísima Concepción, CHILE, [rking@ucsc.cl](mailto:rking@ucsc.cl)

## 1. INTRODUCCIÓN

Los procesos de remoción en masa han ocasionado pérdidas de vidas humanas y materiales en gran parte del mundo. Estos efectos se han incrementado en el último tiempo debido al aumento demográfico, el desarrollo de las ciudades en lugares con pendientes fuertes y la intensificación de las precipitaciones debido al cambio climático (Conde y Saldaña, 2007). Consecuentemente, existe un continuo incremento del riesgo asociado a este tipo de eventos.

En Chile estos fenómenos son frecuentes, debido al relieve accidentado y montañoso. Muestra de esto es lo ocurrido en la región del Biobío, entre los días 26 y 27 de junio de 2005, donde un sistema frontal de gran intensidad causó en diversos sectores de la región procesos de remoción en masa, dejando como consecuencia 5 personas fallecidas, 1.514 albergadas, 6.902 damnificadas, 758 viviendas destruidas, 781 viviendas con daños mayores y 9.792 viviendas con daños menores (Naranjo *et al.*, 2005). Siendo estos los motivos que dan origen al objetivo de este estudio, el que corresponde a cuantificar la relación entre los procesos de remoción en masa y las precipitaciones, considerando paralelamente la pendiente y la orientación de las laderas.

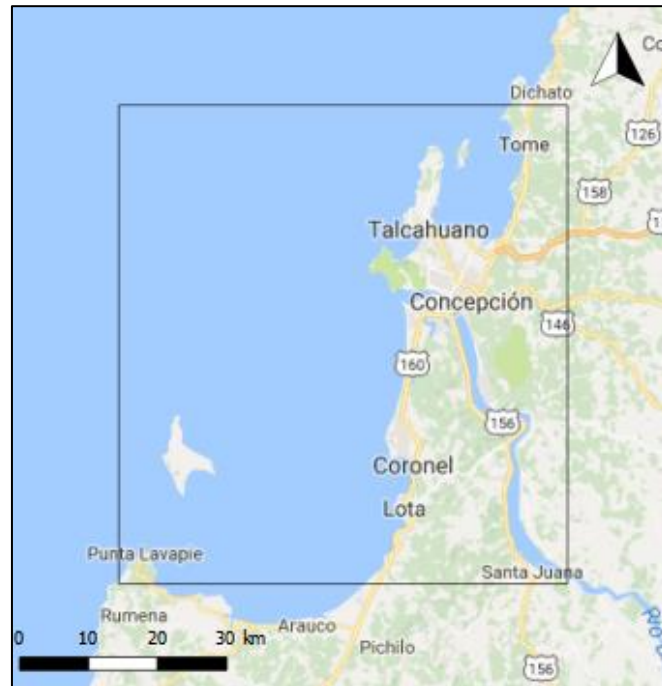
La mayoría de los estudios realizados en la región del Biobío, consisten en la determinación de umbrales de precipitación considerando sólo como factor desencadenante las precipitaciones. La presente investigación también está basada en encontrar un umbral, pero además se fundamenta en el análisis de la pendiente y orientación de cada ladera en estudio. También es primordial destacar que la investigación se realizó en zonas urbanizadas, debido a los considerables daños que sufre la población cuando suceden este tipo de procesos. Con esta investigación se desea aportar al desarrollo de sistemas de alerta temprana para la población, y los consecuentes planos de riesgo.

## 2. DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

El área de estudio corresponde a la provincia de Concepción, Región del Biobío. Las coordenadas de esta zona se pueden apreciar en la tabla 1 y se extiende desde Tomé hasta la localidad de Punta Lavapie (Figura 1).

**Tabla 1:** Coordenadas en grados decimales del área de estudio.

<b>Latitud [grados decimales]</b>	<b>Longitud [grados decimales]</b>
-36,56214	-73,62470
-36,56214	-72,88853
-37,19161	-73,62470
-37,19161	-72,88853



**Figura 1:** Zona de estudio.

El clima está caracterizado por un régimen templado mediterráneo, con una estación invernal lluviosa, una estación estival seca y cálida, y una fuerte variación interanual de la intensidad de las precipitaciones (Romero, 1985, citado en Mardones *et al.*, 2004).

Desde el punto de vista geomorfológico está conformada por fosas y bloques levantados por la tectónica de falla, con alturas máximas cercanas a los 240 m.s.n.m. El relieve ha sido modelado desde su origen por la acción del mar, el viento, la corrosión salina y la humedad del aire. También se caracteriza por la presencia de laderas con pendientes entre los  $11^\circ$  y  $39^\circ$  en el valle, y entre  $31^\circ$  y más de  $40^\circ$  en acantilados (Mardones *et al.*, 1994). Mientras que la cobertura vegetal que predomina es de especies esclerófilas de tipo arbustivo que se distribuyen a través de las vertientes y que se ve limitada por el asentamiento humano (Jaque, 2010, citado en López, 2015).

### 3. MÉTODOS

El análisis del umbral de precipitación se generó por medio de una base de datos de 99 eventos de procesos de remoción en masa, ocurridos entre los años 1960 y 2015. Esta información se obtuvo en gran medida por medio de la recopilación realizada por Alarcón (1995), quien desarrolló un exhaustivo trabajo registrando todos los eventos publicados por el diario El Sur durante los años 1960 y 1990. Mientras que, entre los años 1991 y 2015, se obtuvieron de distintas fuentes de comunicación e informes generados por el gobierno. Estos datos fueron referenciados espacialmente obteniendo las coordenadas de cada uno de ellos. De forma paralela se buscaron en la Dirección General de Aguas (DGA) las estaciones meteorológicas cercanas a los eventos registrados, y una vez identificadas se obtuvo la estadística de precipitaciones diarias de cada estación y sus correspondientes áreas de influencia.

Conocida la ubicación de los datos, y utilizando el software Qgis, se crearon y combinaron las capas respectivas para los eventos de remoción en masa registrados y los datos de precipitación. Se establecieron áreas de influencia sobre los procesos de remoción en masa sobre la base del método de los polígonos de Thiessen (Thiessen y Alter, 1911, citado en Rosi *et al.*, 2012).

Para el análisis de los datos de precipitación se consideraron los 11 días anteriores a un evento de remoción en masa, sobre la suposición de que en dicho periodo el suelo mantiene la humedad entre tormentas. Estos se obtuvieron de la estadística de precipitaciones diarias de cada estación y se utilizó el método de regresión lineal

para el cálculo de los datos faltantes. Este método permite construir modelos para representar la relación entre la variable independiente (X), y la variable dependiente calculada (Y). Para una mejor visualización se graficó el diagrama de dispersión y se calculó el coeficiente de correlación (r) mediante la fórmula (1). Este coeficiente puede variar entre -1 y 1, mientras más cercano a cero el valor es un indicador que no existe ninguna correlación entre variables (Lind *et al.*, 2004, citado en Carrera *et al.*, 2016).

$$r = \frac{n \sum XY - \sum X \sum Y}{\sqrt{[n \sum X^2 - (\sum X)^2][n \sum Y^2 - (\sum Y)^2]}} \quad (1)$$

Donde:

n: Número de observaciones.

Las pendientes se obtuvieron por medio de Modelos de Elevación Digital (DEM) obtenidos de Google Earth, desde los cuales se generaron perfiles longitudinales característicos de cada uno de los 99 eventos de remoción en masa obteniendo la pendiente. Mientras que para la orientación se utilizó un DEM obtenido del consorcio de información espacial (CGIAR-CSI, 2004), que en su formato vectorial permitió clasificar las laderas según el criterio indicado en tabla 2. Cabe considerar que en la orientación norte, noreste y noroeste la precipitación causa más erosión, mientras que en la orientación sur es donde produce menos (López, 2013).

**Tabla 2:** Clasificación según orientación.

Orientación	Categoría
S	Bajo
E-SE-W-SW	Moderado
N-NE-NW	Fuerte

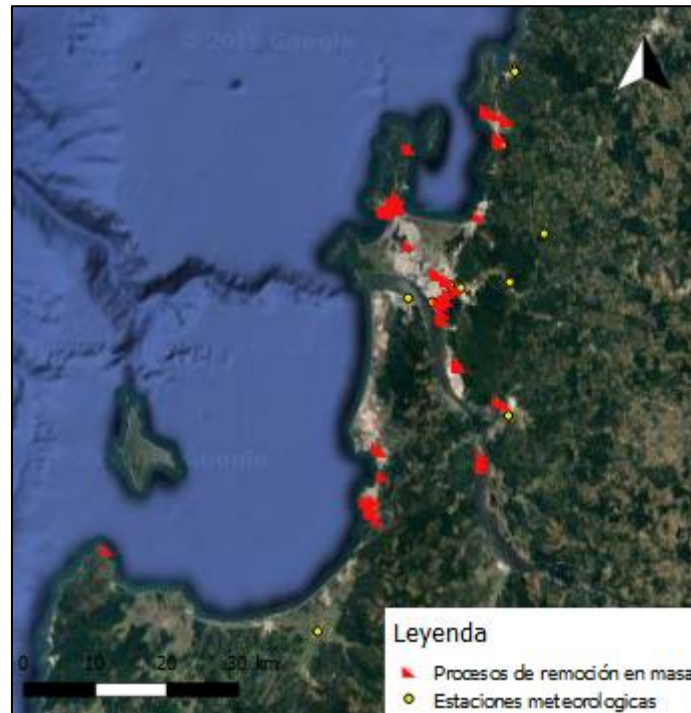
Los resultados fueron organizados en una planilla de cálculo, donde se obtuvieron las precipitaciones acumuladas de cada evento. Finalmente se crearon 4 áreas: Concepción, Lota, Talcahuano y Tomé, con la finalidad de agrupar espacialmente los proceso de remoción en masa tomando en consideración la geología característica de cada una de ellas, además se subdividieron por orientación y clasificaron según las pendientes de la ladera. Finalmente se analizan los resultados de las precipitaciones acumuladas gráficamente para los días 1 al 11 para cada una de las pendientes definidas.

#### 4. RESULTADOS

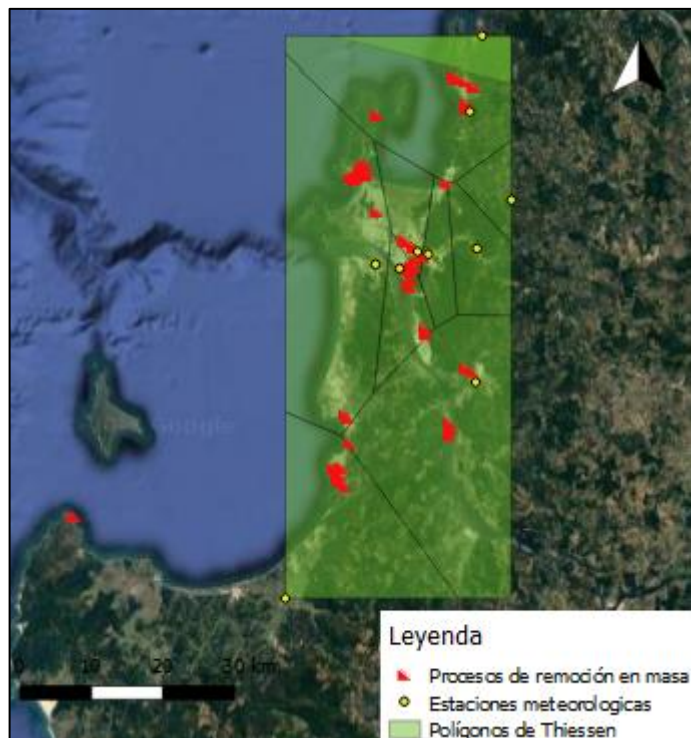
Las estaciones meteorológicas utilizadas para este estudio se identifican en la tabla 3. Éstas, junto a los eventos de remoción en masa, fueron ingresadas al software Qgis (Figura 2), con el fin de determinar las áreas de influencia de las estaciones meteorológicas (Figura 3) y a su vez definir la estadística hidrológica de precipitación asociada a cada evento.

**Tabla 3:** Estaciones meteorológicas.

Estaciones meteorológicas	Inicio observaciones	Fin observaciones
Concepción DGA.	01-01-1996	31-12-2015
Concepción Edif. MOP	01-07-2000	30-04-2006
Estero Nonguén frente U. Del Biobío	01-05-2009	31-12-2015
Rio Biobío en desembocadura	01-04-2001	31-12-2015
Estero Bellavista en Tomé	01-06-2009	31-12-2015
Estero Hualqui en desembocadura	01-05-2009	31-12-2015
Carampangue	01-01-2001	31-12-2015



**Figura 2:** Procesos de remoción en masas y estaciones meteorológicas, representadas en Qgis.



**Figura 3:** Áreas de influencia de las estaciones meteorológicas sobre los procesos de remoción en masas.

Para el relleno de datos se utilizó el método de regresión lineal, utilizando para ello los datos estaciones meteorológicas individualizadas en la tabla 4, y por medio de las ecuaciones obtenidas de las gráficas de dispersión (Tabla 5). Desde 1960 hasta 1979 se ocupó la estación seleccionada en color verde oscuro en la tabla 5, sin embargo, desde 1980 se ocupó la estación seleccionada en color verde claro. La justificación de lo realizado se debe a que la estación con mejor coeficiente de correlación no contaba con observaciones desde



el año 1960. Con la única estación que no se realizó este procedimiento fue con Carampangue debido a los bajos coeficientes de correlación resultantes, esto ocasionó que no fuese posible obtener precipitaciones para dos eventos de remoción en masa, bajando el número de registro a 97 eventos.

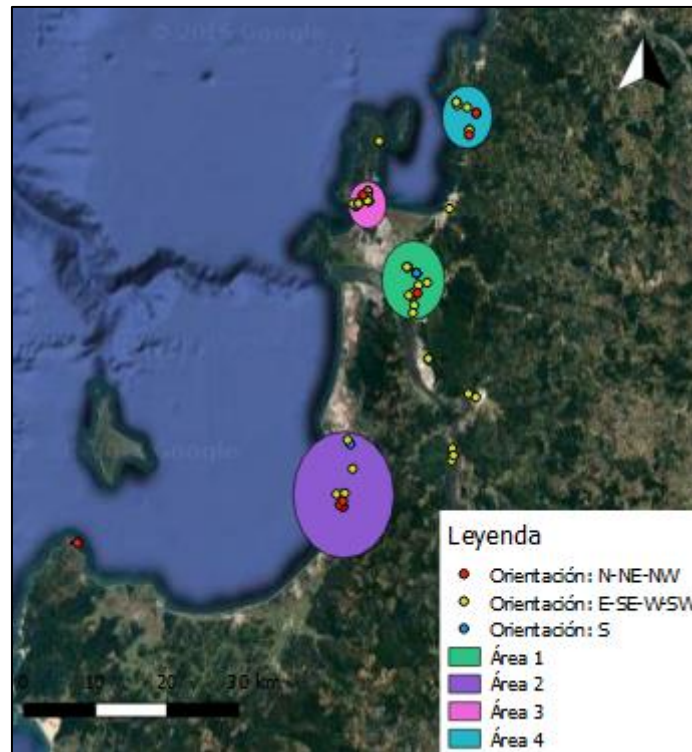
**Tabla 4:** Estaciones meteorológicas utilizadas para el relleno de datos.

Estaciones meteorológicas	Inicio observaciones	Fin observaciones
Dichato	01-06-1980	31-12-2015
Laja	01-11-1961	31-12-2015
Chillancito	01-07-1954	31-12-2015
Nueva Aldea	01-09-1956	31-12-2015

**Tabla 5:** Proceso de cálculo por regresión línea.

Estaciones meteorológicas	Ecuación	r	
Concepción DGA.	Dichato	$Y=1,0413X$	0,749
	Laja	$Y=0,8318X$	0,641
	Chillancito	$Y=0,812X$	0,701
	Nueva Aldea	$Y=0,8918X$	0,690
Concepción edif. MOP	Dichato	$Y=1,1352X$	0,722
	Laja	$Y=0,81X$	0,586
	Chillancito	$Y=0,8223X$	0,642
	Nueva Aldea	$Y=0,9128X$	0,677
Estero Nonguén frente U. Del Biobío	Dichato	$Y=1,0241X$	0,821
	Laja	$Y=0,7567X$	0,574
	Chillancito	$Y=0,8269X$	0,688
	Nueva Aldea	$Y=0,7894X$	0,655
Rio Biobío en desembocadura	Dichato	$Y=0,8704X$	0,726
	Laja	$Y=0,6323X$	0,540
	Chillancito	$Y=0,6405X$	0,646
	Nueva Aldea	$Y=0,7078X$	0,665
Estero Bellavista en Tomé	Dichato	$Y=0,8737X$	0,808
	Laja	$Y=0,6374X$	0,558
	Chillancito	$Y=0,731X$	0,707
	Nueva Aldea	$Y=0,7133X$	0,687
Estero Hualqui en desembocadura	Dichato	$Y=0,9981X$	0,755
	Laja	$Y=0,7639X$	0,526
	Chillancito	$Y=0,8407X$	0,697
	Nueva Aldea	$Y=0,8463X$	0,691
Carampangue	Dichato	$Y=0,7951X$	0,243
	Laja	$Y=0,6899X$	0,146
	Chillancito	$Y=0,6207X$	0,355
	Nueva Aldea	$Y=0,6566X$	0,446

Luego se obtuvo la orientación de los eventos y se clasificaron según el área donde ocurrieron (Figura 4), simultáneamente se determinaron las pendientes de las ladera en cada uno de los lugares en los que se registraron eventos de remoción en masa.



**Figura 4:** Clasificación de los procesos de remoción en masa según orientación y cercanía.

Con los datos ordenados y clasificados se procede a obtener los gráficos de precipitación acumulada v/s la pendiente para cada orientación, obteniendo los siguientes resultados:

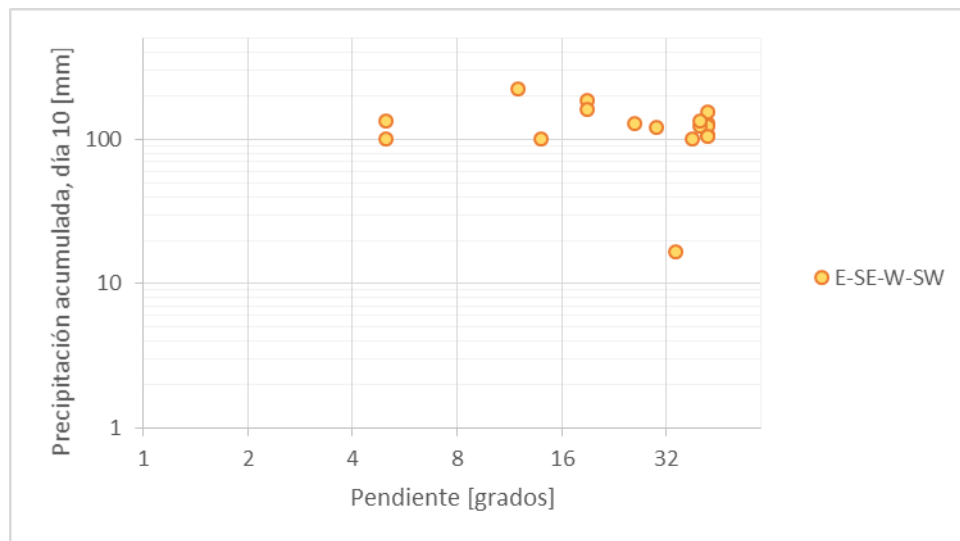
### Área 1

#### Orientación N-NE-NW

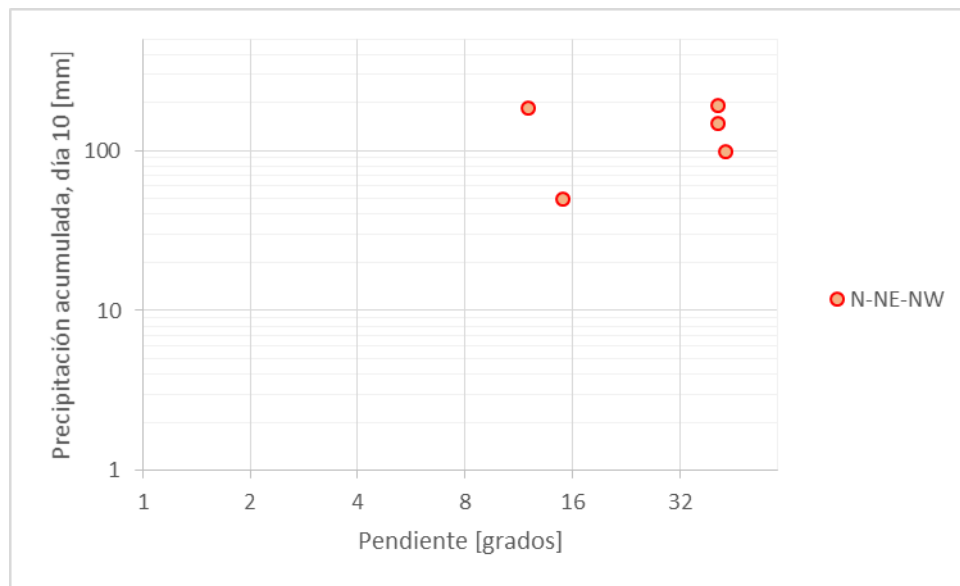
No se pudo obtener gráfico debido a que sólo existía registro de un evento, considerado como insuficiente para poder encontrar alguna relación. Sin perjuicio de aquello se puede concluir que este evento ocurre producto de la intensidad, dado que el día en que ocurre la remoción en masa existe una precipitación registrada de 158,2mm.

#### Orientación E-SE-W-SW

Esta orientación registra 17 procesos de remoción en masa, concentrándose 14 de ellos sobre los 100mm de precipitación acumulada y con pendientes entre los 12° y 43°. En la figura 5 además se puede apreciar la relación de la precipitación acumulada con la pendiente de la ladera. Según lo observado en menores pendientes la precipitación requerida para gatillar el evento es mayor que aquellos eventos registrados en pendientes mayores. También es importante mencionar que cuando la pendiente supera los 42° deja de existir esta relación, y cualquier precipitación acumulada sobre 100mm generaría un evento de remoción en masa.



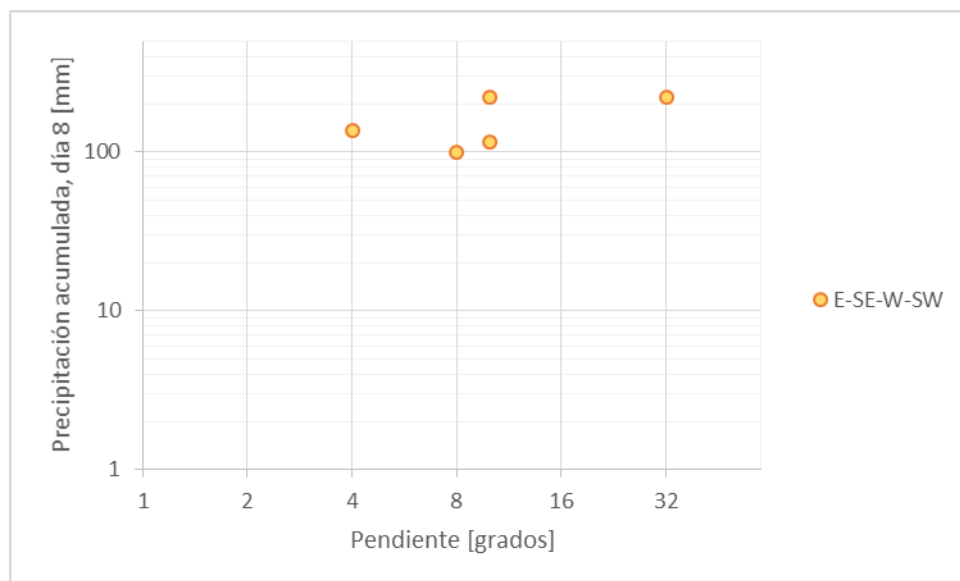




**Figura 7:** Precipitación acumulada, día 10 v/s pendiente.

#### Orientación E-SE-W-SW

La siguiente orientación registra 5 procesos de remoción en masa, los cuales necesitan un máximo de 8 días de precipitación acumulada sobre los 100mm para que todos los procesos registrados ocurran, las pendientes varían entre los 4° y 32° (Figura 8).



**Figura 8:** Precipitación acumulada, día 8 v/s pendiente.

#### Orientación S

En lo que respecta a esta orientación no se pudo graficar debido a la existencia de sólo un evento en esta zona. Es importante mencionar que en el tercer día de precipitación acumulada registró un valor sobre 100mm, sugiriendo que la intensidad podría ser el causante del evento.

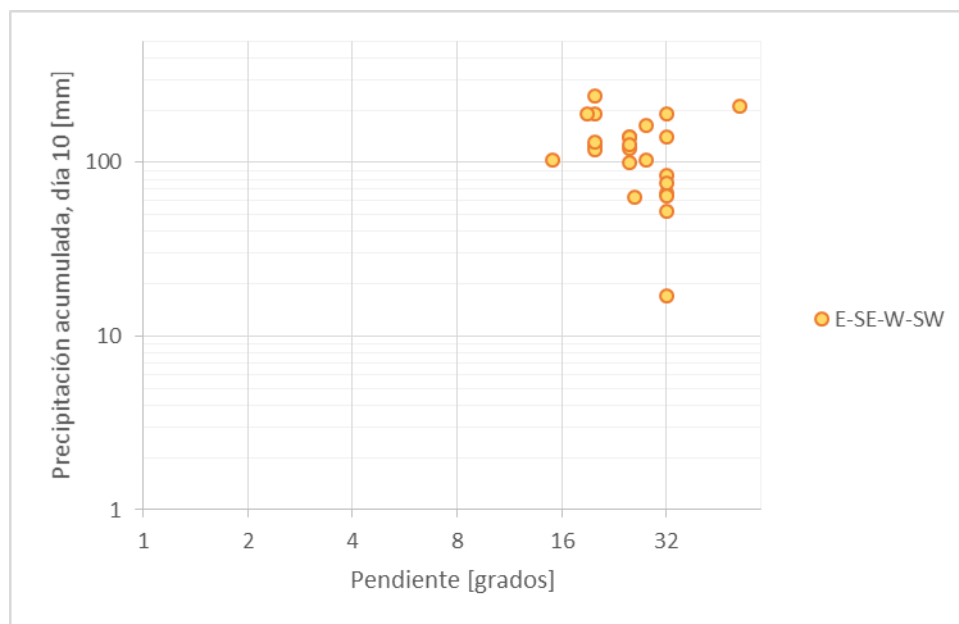
### Área 3

#### Orientación N-NE-NW

Al igual que en la orientación anterior, no fue posible graficar debido a la existencia de un sólo evento identificado en esta zona. Cabe destacar que en el quinto día de precipitación acumulada registrada fue mayor a los 100mm.

#### Orientación E-SE-W-SW

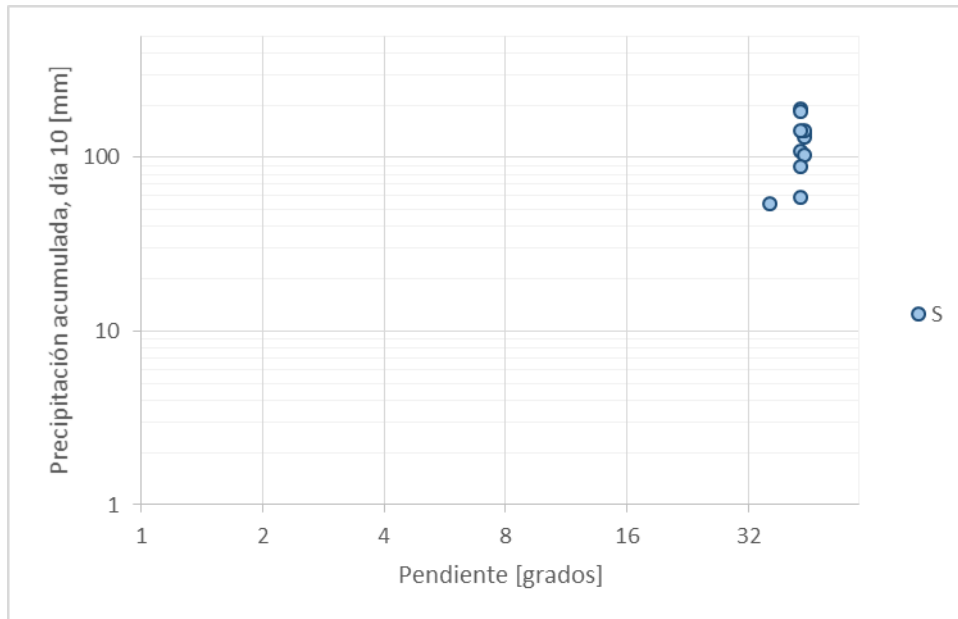
Esta orientación registra 24 procesos de remoción en masa, los cuales 17 se concentran en precipitaciones sobre los 100mm y pendientes varían entre los 20° y 32° (Figura 9).



**Figura 9:** Precipitación acumulada, día 10 v/s pendiente.

#### Orientación S

En lo que respecta a esta orientación, se registran 11 procesos de remoción en masa, de los cuales 8 se concentran en precipitaciones acumuladas sobre 100mm y pendiente entre los 43° y 44°. Esto se debe a que la mayoría de los eventos han sido registrados en el mismo lugar, pero no existe relación con la fecha de los sucesos que sean concluyentes y den certeza de que los primeros procesos de remoción en masa necesitaron más precipitación que los últimos, debido al desequilibrio que pudieron haber causado los primeros (Figura 10).



**Figura 10:** Precipitación acumulada, día 10 v/s pendiente.

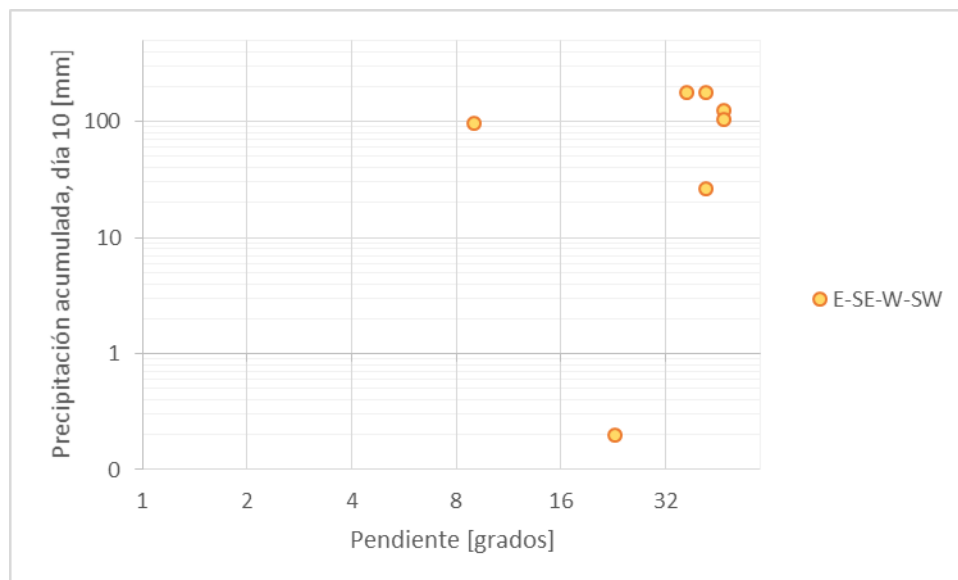
#### Área 4

Orientación N-NE-NW

No fue posible graficar debido a la inexistencia de registros.

Orientación E-SE-W-SW

Esta orientación registra 7 procesos de remoción en masa, 4 se concentran sobre los 100mm y en pendientes entre los 37° y 47° (Figura 11).



**Figura 11:** Precipitación acumulada, día 10 v/s pendiente.

Orientación S

No fue posible obtener conclusiones esto debido a que solo se contaba con 4 registros, los cuales fueron insuficientes.

## 5. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

El resultado de la propuesta metodológica para los eventos de procesos de remoción en masa registrados, indico que para precipitaciones acumuladas sobre los 100mm en un periodo de hasta 10 días serán consideradas como generadoras potenciales de este tipo de eventos en pendientes entre los 12 y 43°, sin importar el área de estudio. Los eventos que se encuentran fuera de estas condiciones en los gráficos precipitación acumulada v/s pendiente, se concluyó que existen otros factores involucrados en estos eventos, los cuales no forman parte de este estudio como por ejemplo el tipo de suelo, la vegetación o factores antrópicos.

Este estudio busca verificar, que tal como se ha trabajado con la intensidad como factor gatillante de remociones en masa, la precipitación acumulada también constituye una variable de importancia y debiese ser considerada para futuros estudios de riesgo. Por ejemplo, Mardones (1994) considera 2 días de precipitaciones acumuladas sobre los 100mm como factor causal de eventos para la localidad de Talcahuano; sin embargo, López (2015) estima, también para Talcahuano, precipitaciones umbrales con intensidades entre 84,8 y los 85,1 mm en 24 horas; por otra parte la propuesta por Peña, Tavares y Mardones (1993), indica como forzante de eventos de remoción precipitaciones con intensidades de 80 mm en 24 horas. Consecuentemente, indicando altas intensidades como las causales de los eventos de remoción en masa. Este estudio revela que la precipitación acumulada también debería considerarse como variable en el análisis de procesos de remoción, puesto que se registran eventos asociados a precipitaciones con intensidades menores a las definidas por los autores antes mencionados. De esta manera, y al igual que Mardones (1994), los datos registrados en este estudio dan cuenta que este tipo de procesos está también relacionado a precipitaciones acumuladas.

En cuanto a la distribución por área, cobra relevancia que el mayor número de eventos de remoción en masa se encuentra registrado en la comuna de Talcahuano, seguida por la comuna de Concepción. Cabe mencionar que existe la incertidumbre si la comuna de Tomé y Lota, poseen la misma cobertura al momento de registrar este tipo de procesos o se debe a otro factor no considerado en este estudio (i.e. falta de cobertura periódica), dado a que dichas localidades presentan una menor cantidad de eventos.

López (2013) concluye que la orientación N-NE-NW concentra el mayor número de procesos de remoción en masa debido a que se encuentra más expuesta a la erosión de la precipitación. Consecuentemente, la intensidad de la lluvia correspondería al factor que causa los eventos de remoción en masa, sin embargo, considerando que la cordillera de la costa es de baja altura, podría entenderse que las tormentas de mayor intensidad se desplazan a alturas por sobre las cimas y consecuentemente erosionando de manera similar en todas las orientaciones.

En cuanto a las pendientes de las laderas, se obtiene como resultado que la mayor cantidad de eventos registrados se concentró entre los 12° y 43°, y que estos corresponden a una variedad de intensidades que presentan una correlación del tipo lineal e inversa entre la pendiente y la precipitación acumulada. Por otro lado, pendientes mayores a 40° presentan eventos de remoción para diversas precipitaciones acumuladas no registrándose ningún nivel de correlación y sugiriendo que el factor más significativo en estas ubicaciones corresponde a la pendiente del suelo.

## 6. REFERENCIAS

**Alarcón, F.** (1995). “Los riesgos naturales en el área metropolitana de Concepción a través de la información del diario EL SUR, 1960-1990”. *Memoria para optar al título de Profesor de Historio y Geografía*. Depto. de Historia, Universidad de Concepción.

**Alarcón, G. Mardones, M.** (1995). “Evaluación de los riesgos naturales en el área metropolitana de Concepción, a través de la información de diario El Sur”. Depto. De Ciencias Históricas y Sociales, Universidad de Concepción.

**Aristizábal, E., González, T., Montoya, J. D., Vélez, J. I., Martínez, H., y Guerra, A.** (2013). “Análisis de umbrales empíricos de lluvia para el pronóstico de movimientos en masa en el valle de Aburrá, Colombia”. *Revista EIA*.

- Carrera D., Guevara, P., Tamayo L., Balarezo, A., Narváez C., y Morocho D.** (2016). “Relleno de series anuales de datos meteorológicos mediante métodos estadísticos en la zona costera e interandina del Ecuador, y cálculo de la precipitación media”. *Revista IDESIA*, Arica.
- Conde Álvarez, C., y Saldaña Zorrilla, S.** (2007). “Cambio climático en América Latina y el Caribe: impactos, vulnerabilidad y adaptación”. Ambiente y desarrollo.
- Consortium for Spatial Information CGIAR-CSI** (2004). Digital Elevation Models. Recuperado de: <http://srtm.csi.cgiar.org/SELECTION/inputCoord.asp>
- Díaz Labbé, F.** (2006). “Informe sistema frontal 10 al 13 de julio 2006. Concepción”, Chile.
- Filun, P. A. L.** (2013). “Evaluación de peligrosidad por procesos de remoción en masa de los cerros La Unión y Zaror. Comuna de Talcahuano”. Universidad de Concepción.
- González, P., y Alejandra, M.** (2014). “Umbral empírico de deslizamiento por precipitación, para la Provincia de Concepción”.
- Guzzetti, F., Peruccacci, S., Rossi, M., and Stark, C. P.** (2007). “Rainfall thresholds for the initiation of landslides in central and southern Europe”. *Meteorology and atmospheric physics*.
- López Filun, P. A.** (2015). “Análisis de umbrales de precipitación de procesos de remoción en masa, en laderas urbanizadas de la costa de Chile centro-sur”. *Revista Colombiana de Geografía*.
- López, Pablo.** (2013). “Evaluación de la peligrosidad por procesos de remoción en masa en los cerros La Unión y Zaror: comuna de Talcahuano, región del Biobío (Chile)”. *Revista Geográfica del Sur* 4.
- Ma, Tuhua, Li Changjiang, Lu Zhiming and Baoxin Wang.** (2014). “An Effective Antecedent Precipitation Model Derived from the Power-law Relationship between Landslide Occurrence and Rainfall Level”. *Geomorphology*.
- Mardones, M., Echeverría, F., y Jara, C.** (2004). “Una contribución al estudio de los desastres naturales en Chile Centro Sur: efectos ambientales de las precipitaciones del 26 de junio del 2005 en el área Metropolitana de Concepción”. *Investigaciones Geográficas*.
- Mardones, M., Rodríguez A., y Soto J.** (1994). “Los riesgos naturales en la comuna de Talcahuano”. *Actas del 7º Congreso Geológico Chileno, vol. 1, 653-656*. Concepción, Universidad de Concepción.
- Medina C., Z., y Cepeda, R. J. M.** (2012). “Clasificación probabilística de umbrales de lluvia para predecir deslizamientos de tierra”.
- Naranjo, J. A., Ramírez, P., Clavero, J., y Hauser, A.** (2005). “Remociones en masa causadas por lluvias torrenciales, junio 26–27, 2005 Concepción”.
- Pereira, S., Zêzere, J. L., Quaresma, I. D., and Bateira, C.** (2014). “Landslide incidence in the North of Portugal: Analysis of a historical landslide database based on press releases and technical reports”. *Geomorphology*.
- Rosi, A., Segoni, S., Catani, F., and Casagli, N.** (2012). “Statistical and environmental analyses for the definition of a regional rainfall threshold system for landslide triggering in Tuscany (Italy)”. *Journal of Geographical Sciences*.
- Servicio Nacional de Geología y Minería.** (2016). “Registro de los principales desastres de origen geológico en Chile y efectos sobre la población y bienes públicos y privados desde 1980”. Santiago.
- Torres F.** (2013). “Umbrales empíricos de lluvia para el pronóstico de movimientos en masa para la ruta ch-156”. Concepción, Universidad del Biobío.