

Tabla de Contenido

| | |
|--|----|
| 1. Introducción | 1 |
| 1.1. Motivación y Formulación del Problema | 1 |
| 1.2. Hipótesis de Trabajo | 2 |
| 1.3. Objetivos | 2 |
| 1.3.1. Objetivo General | 2 |
| 1.3.2. Objetivos Específicos | 2 |
| 1.4. Metodología..... | 3 |
| 1.5. Resultados Esperados | 3 |
| 1.6. Zona de Estudio: Ubicación y Accesos | 4 |
| 2. Antecedentes..... | 5 |
| 2.1. Marco Geotectónico y Segmentación Morfoestructural | 5 |
| 2.2. Marco Geológico Local..... | 9 |
| 2.3. Geología Estructural..... | 14 |
| 2.4. Clima Regional y Local..... | 15 |
| 3. Catastro de flujos de detritos-barro activados durante el 25M | 17 |
| 3.1. Evento precipitaciones Marzo 2015 | 17 |
| 3.2. Caracterización de los depósitos ocurridos durante el 25M..... | 19 |
| 3.2.1. Flujos de Detritos | 20 |
| 3.2.2. Flujos de Barro | 21 |
| 3.3. Clasificación volumétrica de los depósitos | 22 |
| 4. Análisis de las subcuencas | 24 |
| 4.1. Parámetro Litológico | 24 |
| 4.2. Parámetros Morfométricos | 26 |
| 4.3. Parámetros Hidrográficos..... | 30 |
| 4.4. Análisis estadístico univariable | 32 |
| 4.5. Análisis Multivariable..... | 35 |
| 4.5.1. Matriz de Correlaciones | 35 |
| 4.5.2. Análisis Factorial | 36 |
| 5. Significancia estadística para activación de flujos en las subcuencas | 40 |
| 5.1. Validación de supuestos previos al análisis de varianza..... | 40 |
| 5.2. Discriminación de los parámetros en la actividad de las subcuencas | 41 |
| 5.3. Discriminación de parámetros para Clase y Tipo de depósitos..... | 44 |
| 6. Discusiones | 46 |
| 6.1. Actividad de subcuencas..... | 46 |
| 6.2. Magnitud y tipo de depósitos..... | 47 |

| | |
|--|----|
| 7. Conclusiones..... | 49 |
| 8. Bibliografía | 50 |
| ANEXOS | 54 |
| Anexo A. Clasificación de los abanicos aluviales generados durante el 25M. | 55 |
| Anexo B. Ubicación de las subcuencas estudiadas en el valle del Huasco.. | 56 |
| Anexo C. Superficie grupos geológicos (%) para cada subcuenca | 57 |
| Anexo D. Resumen parámetros morfométricos e hidrográficos de las subcuencas. | 59 |
| Anexo E. Teoría estadística básica | 59 |
| Anexo F. Resultado test ANOVA según factor clase volumétrica | 62 |
| Anexo G. Resultado test ANOVA según factor tipo de depósito generado. | 63 |

Índice de Tablas

| | |
|--|----|
| Tabla 2-1. Etapas y subetapas del Ciclo Andino (Jurásico Superior al presente). Modificado de Charrier et al. (2009)..... | 5 |
| Tabla 2-2. Resumen litoestratigráfico de las unidades, formaciones y depósitos presentes en la zona de estudio a partir de Salazar et al. (2013)..... | 11 |
| Tabla 2-3. Principales estructuras en el área de estudio. La extensión de las fallas corresponde a la extensión en planta y ha sido estimada dentro de la zona de estudio..... | 15 |
| Tabla 3-1. Estaciones de la DGA dentro del área de estudio. Se incluye la información de la precipitación media mensual para el temporal 25M y las precipitaciones medias mensuales para el período 1995-2015 en estas estaciones. | 18 |
| Tabla 3-2. Clasificación para flujos de detritos y barro según tamaño (Modificado de Jakob, 2005)..... | 23 |
| Tabla 4-1. Grupos geológicos construidos para estimar la influencia de la geología y meteorización en la producción de material superficial susceptible a ser movilizado. .. | 25 |
| Tabla 4-2. Resultados porcentaje y factor grupos geológicos para la subcuenca de la Qda. La Marquesa afluente al río El Carmen. | 25 |
| Tabla 4-3. Medidas estadísticas de tendencia central y de dispersión de datos para las 13 variables analizadas de las subcuencas. Valores no transformados. | 32 |
| Tabla 4-4. Matriz de correlaciones para variables analizadas en las subcuencas. Valores sombreados celestes indican correlación positiva (mayor a 0.5) y valores sombreados rosados indican correlación negativa (menor a 0.5). | 36 |
| Tabla 4-5. KMO y prueba de Bartlett para la totalidad de variables analizadas para las subcuencas. | 37 |
| Tabla 4-6. Tabla comunalidades..... | 37 |
| Tabla 4-7. Varianza total explicada..... | 38 |
| Tabla 4-8. Matriz de componentes rotadas, extracción de componentes principales. Método de rotación: Varimax..... | 38 |

| | |
|--|----|
| Tabla 5-1. Tabla comunalidades..... | 40 |
| Tabla 5-2. Test ANOVA para las variables de las subcuencas estudiadas. Variables significativas en la activación de las cuencas se presentan en celdas sombreadas y en negrita. gl: grados de libertad, F: estadístico de Fisher..... | 41 |
| Tabla 5-3. Test ANOVA de los grupos geológicos para discriminar la actividad en subcuencas del 25M..... | 42 |
| Tabla 5-4. Resumen estadístico univariable de los parámetros influyentes en la actividad de subcuencas para el 25M... .. | 42 |
| Tabla 5-5. Estadística univariable de los parámetros significativos en la discriminación por clases de depósitos..... | 45 |
| Tabla 5-6. Estadística univariable de los parámetros significativos en la discriminación por tipo de depósitos... .. | 45 |

Índice de Ilustraciones

| | |
|---|----|
| Figura 1-1. Ejemplo de flujo de detritos en el sector Los Perales generado durante el evento 25M en la confluencia entre el río El Tránsito y su tributario. | 2 |
| Figura 1-2. Mapa ubicación zona de estudio. La estrella morada indica la zona de estudio en el mapa de Chile. Mapa de rutas de acceso, modificado de Infraestructura de datos Geoespaciales de Chile (IDE). | 4 |
| Figura 2-1. Configuración tectónica durante: (A) Cretácico Inferior tardío; (B) Cretácico Superior a Mioceno tardío, (C) Mioceno tardío al presente. El gráfico (D) muestra la tasa de convergencia durante el Cenozoico de las placas Farallon y Nazca con respecto a la placa Sudamericana. (Charrier et al., 2007)..... | 7 |
| Figura 2-2. Zona de subducción plana ('Flat-Slab') asociada a la dorsal de Juan Fernández, zona carente de volcanismo. Las líneas segmentadas corresponden a contornos de profundidad de la zona de Wadati – Benioff. La estrella morada indica la zona de este estudio. CC: Cordillera de la Costa; CF: Cordillera Frontal; DC: Depresión Central; CD: Cordillera de Domeyko; Pc: Precordillera; CP: Cordillera Principal; SP: Sierras Pampeanas; DS: Depresión Subandina; AP: Altiplano – Puna. Modificado de Charrier et al. (2007). | 8 |
| Figura 2-3. Mapa Geológico de la zona de estudio basado en la carta geológica de SERNAGEOMIN: "Geología del Área El Tránsito-Lagunillas" (Salazar et al. 2013) sobreimpuesto en relieve sombreado del modelo de elevación digital..... | 10 |
| Figura 3-1. En la imagen (A) se observa el esquema de actividad normal de los sistemas de presiones, el ASPS consiste en un anticiclón de alta presión 'H' ubicado por sobre los 30°S mientras que en el sur (~40°S) el sistema de bajas presiones 'L' genera precipitaciones en el sur del país. La imagen (B) ilustra el posicionamiento inusual del sistema de bajas presiones en el norte de Chile, rodeado por sistemas de alta presión que se formaron posteriormente (Imágenes NOAA)..... | 17 |
| Figura 3-2. (A) Precipitación diaria registrada entre el 22 y 28 de Marzo de 2015 cuando ocurrió el temporal 25M en seis estaciones de la DGA que están dentro del área de estudio. (B) Precipitación media mensual según registro de estaciones de la DGA | |

dentro del área de estudio para los últimos 20 años (1995-2015) según el resumen de datos de la Tabla 3-1..... 19

Figura 3-3. Ubicación y delimitación de las 126 subcuencas del presente estudio categorizadas según su actividad y tipo de flujo durante el 25M. Los rombos amarillos señalan estaciones meteorológicas de la DGA. Los círculos azules corresponden a depósitos de flujos de detritos y los círculos rojos a depósitos de flujos de barro, en ambos casos el tamaño de los círculos indica el rango del volumen del depósito..... 20

Figura 3-4. (A) Diagrama de flujo de detritos (Ilustración modificada del Departamento de Geología de la Universidad de Wyoming. (B) Ejemplo depósito de flujos de detritos ('debris flow'; círculo amarillo) y subcuenca asociada (polígono amarillo) en subcuenca del río El Carmen (Imagen satelital de Google Earth). (C) Fotografía del mismo depósito de flujos de detritos tomada por Aguilar el 16 de Abril 2015. 21

Figura 3-5. (A) Diagrama flujo de barro, las flechas indican dirección del deslizamiento (Ilustración modificada de Geografía BBC). (B) Ejemplo depósito de flujo de barro (círculo amarillo) y subcuenca asociada (polígono amarillo), ocurrido en la subcuenca oeste del río El Carmen en el sector de La Retama. Imagen satelital de Google Earth, fotografía del depósito tomada por Aguilar el 16 de Abril 2015. 22

Figura 3-6. Fotografías tomadas por Aguilar et al. (2015) el 16 de Abril de 2015 en la zona de estudio. (A) Flujo de detritos Clase-3 en subcuenca afluente al río El Carmen con destrucción de vehículos; (B) Flujo de barro Clase-3 en subcuenca afluente río El Carmen con destrucción de viñedos; (C) Flujo de detritos Clase-5 en subcuenca afluente río El Tránsito con destrucción y movilización de puente; (D) Flujo de barro Clase-4 en subcuenca afluente río Carmen con destrucción de viviendas. 23

Figura 4-1. Mapa rango de valores de variable GEO ponderada dentro de cada subcuenca de la zona de estudio. 26

Figura 4-2. (A) Mapa rango de áreas de las subcuencas analizadas. (B) Mapa rango de pendientes medias para cada subcuenca. (C) Mapa rango índice de Gravelius. (D) Mapa rango valores de razón de Melton dentro de cada subcuenca. Todos los mapas fueron construidos sobre el modelo de elevación digital sombreado. La activación de las subcuencas se refiere al evento del 25M. 29

Figura 4-3. Red de drenaje fina construida a partir de área drenada mínima de 50 celdas para cada subcuenca. La discriminación de activación de las subcuencas está referida al evento 25M..... 31

Figura 4-4. La Imagen (A) muestra un diagrama de red de drenaje jerarquizada según orden de Strahler (Strahler, 1952). La Imagen (B) ilustra la red de drenaje y su orden de Strahler correspondiente para la subcuenca de la Quebrada El Carrizo en la zona de estudio, en este caso el orden mayor es 5. 31

Figura 4-5. Histogramas de frecuencias para las variables estudiadas: (A) Geo; (B) Area; (C) Largo; (D) Perimetro; (E) Zave; (F) Pendiente; (G) Relieve; (H) I_{GRAV} ; (I) MRATIO; (J) RRATIO; (K) HRATIO; (L) Densidad; (M) Orden. La curva en cada histograma corresponde a la curva de distribución normal o logaritmo normal (para el área, largo y perímetro). Mean: Media, Std. Dev.: Desviación estándar, N: número de subcuencas. 35

Figura 4-6. Gráfico de componentes principales. Círculos celestes indican variables pertenecientes al Factor-1, amarillos al Factor-2 y morados al Factor-3..... 39

Figura 5-1. Gráfico de susceptibilidad de generación de flujos de subcuencas y actividad durante el 25M. La zona de susceptibilidad está enmarcada por valores por sobre 2,2 en Factor de Escala (Factor 1), y por debajo de 27,3 en el Factor de Retención (Factor 2). 43

Figura 5-2. Mapa de susceptibilidad de generación de flujos de las subcuencas en la zona de estudio y correlación con la actividad generada durante el 25M. Leyenda en figura 44

Figura 6-1. Porcentaje de área superficial media de los distintos grupos geológicos en las 49 subcuencas clasificadas según su tipo de depósito asociado. 48

Figura 6-2. Mapa grupos geológicos y su factor litológico asociado dentro del área de estudio. Construido sobre modelo de elevación digital sombreado 48