

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA  
LA MOLINA**

**ESCUELA DE POSGRADO  
MAESTRÍA EN GESTIÓN INTEGRAL DE CUENCAS  
HIDROGRÁFICAS**



**“UMBRAL DE PRECIPITACIÓN PARA DESLIZAMIENTOS DE  
TIERRA EN LA CUENCA DEL RÍO RÍMAC”**

**Presentada por:**

**DIEGO ARTURO CASTRO GARRO**

**TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE MAESTRO  
MAGISTER SCIENTIAE EN GESTIÓN INTEGRAL DE CUENCAS  
HIDROGRÁFICAS**

**Lima - Perú**

**2022**

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA  
LA MOLINA**

**ESCUELA DE POSGRADO  
MAESTRÍA EN GESTIÓN INTEGRAL DE CUENCAS  
HIDROGRÁFICAS**

**“UMBRAL DE PRECIPITACIÓN PARA DESLIZAMIENTOS DE  
TIERRA EN LA CUENCA DEL RÍO RÍMAC”**

**TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE MAESTRO  
MAGISTER SCIENTIAE**

**Presentada por:**

**DIEGO ARTURO CASTRO GARRO**

**Sustentada y aprobada ante el siguiente jurado:**

Mg.Sc. Cayo Ramos Taipe  
**PRESIDENTE**

Dr. Abel Mejía Marcauczco  
**ASESOR**

Mg.Sc. Gonzalo Fano Miranda  
**MIEMBRO**

Mg.Sc. Sebastián Santayana Vela  
**MIEMBRO**

## **DICATORIA**

A mi madre, por presionarme todos los benditos días a terminar la tesis

## **AGRADECIMIENTOS**

Especial agradecimiento al Dr. Abel Mejía Marcacuzco por su gran apoyo, paciencia y aliento para realizar el presente trabajo.

Mi gratitud especial al Comité consejero, integrado por el Mg.Sc. Cayo Ramos Taipe, Mg.Sc. Gonzalo Fano Miranda y el Mg.Sc. Sebastián Santayana Vela que con su apoyo, observaciones y sugerencias contribuyeron en gran medida en la calidad y desarrollo del presente estudio.

A mi hermano Dante, quien me apoyó, enseñó y orientó en gran parte del procesamiento de la información del presente trabajo.

A mis padres, por su constante aliento y apoyo desde el inicio de mis estudios en la Maestría en Gestión Integral de Cuenca Hidrográficas.

Al personal administrativo de la EPG y de la Maestría GICH, por su apoyo y atención desde el desarrollo del proyecto de tesis hasta la sustentación del presente estudio.

## ÍNDICE GENERAL

<b>I.</b>	<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
<b>II.</b>	<b>REVISIÓN DE LITERATURA .....</b>	<b>3</b>
2.1	PRECIPITACIÓN .....	3
2.1.1	Formación de nubes.....	3
2.1.2	Formación de precipitación.....	4
2.2	DESLIZAMIENTOS DE TIERRA .....	5
2.2.1	Causas generales de los deslizamientos de tierra .....	6
2.2.2	Grados de actividad.....	8
2.2.3	Clasificación .....	8
2.3	UMBRALES DE PRECIPITACIÓN PARA EL INICIO DE DESLIZAMIENTOS DE TIERRA .....	13
2.4	ANTECEDENTES.....	18
<b>III.</b>	<b>MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>	<b>20</b>
3.1	DESCRIPCIÓN DE LA CUENCA DEL RÍO RÍMAC .....	20
3.1.1	Ubicación.....	20
3.1.2	Cobertura vegetal.....	20
3.1.3	Suelos.....	25
3.2	MATERIALES Y EQUIPOS .....	28
3.3	METODOLOGÍA .....	29
3.3.1	Identificación y selección de estaciones meteorológicas .....	29
3.3.2	Recopilación de información de deslizamientos de tierra.....	30
3.3.3	Procesamiento y caracterización de los deslizamientos de tierra .....	30
3.3.4	Determinación de eventos de precipitación responsables de deslizamientos de tierra .....	31
3.3.5	Catálogo de eventos de precipitación responsables de deslizamientos de tierra... 37	
3.3.6	Determinación de umbrales de precipitación para la cuenca del río Rímac .....	37
3.3.7	Calibración de umbrales de precipitación.....	38
3.3.8	Validación de umbrales de precipitación.....	40

<b>IV.</b>	<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>43</b>
4.1	ESTACIONES METEOROLÓGICAS .....	43
4.2	DESLIZAMIENTOS DE TIERRA .....	45
4.3	UMBRALES DE PRECIPITACIÓN .....	50
4.3.1	Catálogo de eventos de precipitación responsables de deslizamientos de tierra...	50
4.3.2	Umbral de precipitación para la cuenca del río Rímac .....	54
4.3.3	Validación de umbrales de precipitación.....	58
<b>V.</b>	<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>62</b>
<b>VI.</b>	<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>63</b>
<b>VII.</b>	<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>64</b>

## ÍNDICE TABLAS

Tabla 1	: Clasificación de los deslizamientos de tierra según material involucrado.....	14
Tabla 2	: Tipos de cobertura vegetal en la cuenca del río Rímac .....	25
Tabla 3	: Tipos de suelo en la cuenca del río Rímac .....	28
Tabla 4	: Fuentes de información geoespacial de la cuenca del río Rímac .....	29
Tabla 5	: Parámetros para determinar el tipo de cobertura vegetal y suelo de los deslizamientos de tierra .....	31
Tabla 6	: Parámetros del algoritmo para reconstrucción de eventos de precipitación .....	35
Tabla 7	: Umbrales de precipitación para diferentes regiones de Italia.....	39
Tabla 8	: Tabla de contingencia para un modelo de clasificador binario .....	41
Tabla 9	: Índices de puntuación para validación de umbrales .....	42
Tabla 10	: Estaciones meteorológicas e hidrológicas identificadas en el área de estudio.....	43
Tabla 11	: Características de los deslizamientos de tierra en el área de estudio .....	45
Tabla 12	: Distribución temporal de deslizamientos de tierra en el área de estudio .....	47
Tabla 13	: Ocurrencia de deslizamientos de tierra por tipo de cobertura vegetal .....	47
Tabla 14	: Ocurrencia de deslizamientos de tierra por tipo de suelo .....	49
Tabla 15	: Catálogo de eventos de precipitación responsables de deslizamientos de tierra .	51
Tabla 16	: Parámetros de umbrales de precipitación a diferentes niveles de probabilidad de excedencia .....	54
Tabla 17	: Variación de los parámetros e incertidumbres del modelo del umbral en función al número de eventos para $T_1$ y $T_5$ .....	56
Tabla 18	: Contingencias e índices de puntuación para umbrales a diferentes niveles de probabilidad de excedencia.....	59
Tabla 19	: Base de datos de estaciones meteorológicas en las cuencas del río Rímac, Lurín y Chillón.....	69
Tabla 20	: Base de datos deslizamientos de tierra en la cuenca del río Rímac .....	72
Tabla 21	: Eventos de precipitación responsables de deslizamientos de tierra en la cuenca del río Rímac .....	80

Tabla 22 : Umbrales de precipitación a diferentes niveles de probabilidad de excedencia para la cuenca del río Rímac.....	86
Tabla 23 : Índices de puntuación y contingencias de los umbrales de precipitación para la cuenca del río Rímac.....	88

## ÍNDICE FIGURAS

Figura 1 : Desprendimiento o caída .....	9
Figura 2 : Vuelco, desplome o derrumbe.....	10
Figura 3 : Deslizamiento rotacional y traslacional .....	11
Figura 4 : Expansión lateral.....	12
Figura 5 : Flujo de detritos .....	13
Figura 6 : Marco lógico del algoritmo para la reconstrucción objetiva de eventos y condiciones de precipitación responsables de deslizamientos de tierra. ....	32
Figura 7 : Espacio ROC, con el resultado del modelo hipotético .....	42
Figura 8 : Distribución espacial de las estaciones meteorológicas seleccionadas .....	44
Figura 9 : Ubicación espacial de los deslizamientos de tierra en la cuenca.....	46
Figura 10 : Umbrales de precipitación a 1 y 5 por ciento de probabilidad de excedencia .....	55
Figura 11 : Variación de los parámetros e incertidumbres del modelo de umbral en función al número de eventos para $T_1$ y $T_5$ .....	57
Figura 12 : Condiciones de precipitación para la validación de umbrales.....	58
Figura 13 : Curva ROC para los umbrales calculados.....	60
Figura 14 : Mapa de la cuenca del río Rímac .....	91
Figura 15 : Mapa de ubicación geográfica de estaciones meteorológicas .....	92
Figura 16 : Mapa de deslizamientos de tierra en la cuenca del río Rímac.....	93
Figura 17 : Mapa de cobertura vegetal de la cuenca del río Rímac .....	94
Figura 18 : Mapa de suelos de la cuenca del río Rímac .....	95

## ÍNDICE ANEXOS

ANEXO 1: TABLAS Y BASE DE DATOS.....	68
ANEXO 2: MAPAS TEMÁTICOS.....	90

## RESUMEN

Los deslizamientos de tierra son uno de los procesos geológicos más destructivos que afectan a los seres humanos, causando muertes y daños materiales en gran parte del mundo. De ahí la importancia del uso de umbrales de precipitación como herramientas útiles para pronosticar la ocurrencia de deslizamientos de tierra. El objetivo principal del presente estudio fue determinar umbrales de precipitación para deslizamientos de tierra en la cuenca del río Rímac, como objetivos específicos se plantearon (1) determinar los umbrales de precipitación para diferentes niveles de probabilidad de excedencia y, (2) validar los umbrales de precipitación obtenidos a diferentes niveles de probabilidad de excedencia. Para ello, se analizó un catálogo de 57 condiciones de precipitación que resultaron en, al menos, 110 deslizamientos de tierra en la cuenca del río Rímac para el periodo 2005-2017. Los umbrales fueron calibrados a diferentes niveles de probabilidad de excedencia (del 1 al 50 por ciento) y se determinaron las incertidumbres relativas ( $\Delta\alpha/\alpha$  y  $\Delta\gamma/\gamma$ ), asociadas a los parámetros ( $\alpha$  y  $\gamma$ ) del modelo ( $E = \alpha \cdot D^\gamma$ ), utilizando el método de remuestreo *bootstrap*. Luego, se realizó la validación de los umbrales usando 24 condiciones de precipitación que resultaron en 72 deslizamientos de tierra. Para la validación, se utilizaron tablas de contingencia, índices de puntuación y un análisis ROC para umbrales a diferentes niveles de probabilidad de excedencia. Como resultados, se obtuvieron umbrales para condiciones de lluvia de 1 a 180 horas de duración (D) y de 1,5 a 116,4 mm de precipitación acumulada (E), con  $\Delta\alpha/\alpha$ , que van de 29,4 a 50,0 por ciento; y,  $\Delta\gamma/\gamma$  de 15,4 por ciento. Basados en los resultados, se obtuvieron umbrales de precipitación para condiciones de lluvia promedio de 57,1 horas de duración (D) y 25,0 mm de precipitación acumulada (E).

**Palabras claves:** Eventos de precipitación, deslizamientos de tierra, precipitación acumulada, probabilidad de excedencia, validación de umbrales.

## ABSTRACT

Landslides are one of the most destructive geological processes that affect humans, causing death and property damage in the world. Hence the importance of the use of rainfall thresholds as useful tools for forecasting the occurrence of landslides. The main objective of the present study was to determine rainfall thresholds for landslides in the Rímac river basin, as specific objectives it was proposed (1) to determine rainfall thresholds for different levels of probability of exceedance and, (2) validate rainfall thresholds obtained at different levels of probability of exceedance. Therefore, a catalog of 57 rainfall conditions, that resulted in at least 110 landslides in the Rímac river basin for the 2005-2017 period, was analyzed. The thresholds were calibrated at different levels of probability of exceedance (from 1 to 50 percent) and the relative uncertainties ( $\Delta\alpha/\alpha$  and  $\Delta\gamma/\gamma$ ) associated with the parameters ( $\alpha$  and  $\gamma$ ) of the model ( $E = \alpha \cdot D^\gamma$ ), were determined using the bootstrap resampling method. Then, the validation of the thresholds was carried out using 24 rainfall conditions that resulted in 72 landslides. For the validation, contingency tables, score indexes, and a ROC analysis for thresholds at different levels of probability of exceedance were used. As a result, thresholds were obtained for rain conditions from 1 to 180 hours (D) and 1,5 to 116,4 mm of cumulated rainfall (E), with  $\Delta\alpha/\alpha$ , ranging from 50,0 to 29,4 percent; and  $\Delta\gamma/\gamma$  of 15,4 percent. Based on the results, rainfall thresholds were obtained for average rain conditions of 57,1 hours and 25,0 mm of cumulated rainfall.

**Keywords:** Rainfall events, landslides, cumulated rainfall, probability of exceedance, threshold validation.

## I. INTRODUCCIÓN

Suárez (1998) y Conde y Saldaña (2007) concuerdan en que los deslizamientos de tierra son uno de los procesos geológicos más destructivos que afectan a los seres humanos, causando muertes y daños materiales en gran parte del mundo, sin embargo, muy pocas personas son conscientes de su importancia y Ramos *et al.* (2015) agregan que estos procesos pueden ser detonados por factores, tanto naturales como antrópicos. Conde y Saldaña (2007) señalan que los efectos de los procesos de remoción en masa se han incrementado debido al aumento demográfico, el desarrollo de las ciudades en lugares con pendientes fuertes y la intensificación de la precipitación debido al cambio climático, consecuentemente, existe un continuo incremento del riesgo asociado a este tipo de eventos. Finalmente, Suárez (1998) señala que el 90 por ciento de las pérdidas causadas por los deslizamientos de tierra son evitables si el problema se identifica con anterioridad y se toman medidas preventivas y de control.

Kim *et al.* (2014) señalan que los modelos de pronósticos de deslizamientos de tierra más recientes están basados en parámetros topográficos, geotécnicos e hidrológicos. Cabe resaltar que estos modelos están constituidos de manera similar ya que combinan modelos de estabilidad de pendiente infinita y modelos hidrológicos, la principal diferencia es la metodología y los parámetros involucrados en cada uno de sus componentes. Por otro lado, Ramos *et al.* (2015) mencionan que para tener mayor conocimiento sobre la generación de los procesos de remoción en masa y los factores detonantes, es importante hacer una adecuada recopilación de información de los eventos producidos en un área determinada. Esto permite explorar la posibilidad de buscar relaciones entre algunas características geomorfológicas y climáticas con la ocurrencia de estos procesos. Estas relaciones pueden surgir del análisis de regresión entre series históricas de datos, de modelos basados en la física, de la experiencia de los expertos, de la formulación de modelos estocásticos o de observaciones de tipo experimental. Algunos trabajos basados en interpretaciones estadísticas de bases de datos presentan ecuaciones de umbrales obtenidas al relacionar eventos de precipitación con deslizamientos de tierra. Estas ecuaciones permiten decir si un evento de precipitación, que supere cierto nivel, puede o no activar un movimiento; este tipo de relación se hace a partir de

bases de datos de deslizamientos de tierra y registros de precipitación. Debido a esta relación, el pronóstico de lluvias responsables de deslizamientos de tierra depende, en gran medida, de la definición empírica de umbrales de precipitación.

En años recientes, se han desarrollado diversos estudios para la determinación o estimación de umbrales de precipitación para deslizamientos de tierra en diferentes países, unos con el objetivo de implementar sistemas de alerta temprana para eventos de alta precipitación o intensidad, otros en base a la simulación y corroboración de modelos hidrológicos y la influencia de las características físicas de la cuenca, también para determinar de manera estimada umbrales de precipitación o grados de saturación de suelos, etc. A todo esto, Ramos *et al.* (2015) destacan la importancia de contar con una buena información, ya que esta motiva el desarrollo de bases de datos de deslizamientos de tierra que permitan tener una información sistematizada y georreferenciada, todo esto para avanzar en el conocimiento de la intrincada relación de los procesos de remoción en masa con los eventos de lluvia.

La importancia de la investigación surge de la necesidad de contar con un sistema de alerta temprana para deslizamientos de tierra en función a pronósticos de precipitación a nivel de la costa peruana. Esto debido a que la mayor concentración de la población, en el Perú, se da en las ciudades costeras y las principales actividades económicas se desarrollan en los valles de los ríos de la vertiente del Pacífico, por lo que es importante establecer alertas tempranas para evitar y/o mitigar los daños (sociales y económicos) que traen consigo estos eventos. La zona de estudio es la cuenca del río Rímac ya que es una zona con alta densidad poblacional y posee mayor documentación sobre deslizamientos de tierra; además, cuenta con estaciones meteorológicas con registros de precipitación horaria. Disponer de información histórica es de gran importancia para poder correlacionar la precipitación con los deslizamientos de tierra y así poder determinar umbrales.

El objetivo principal de la investigación es determinar los umbrales de precipitación para deslizamientos de tierra en la cuenca del río Rímac.

Como objetivos específicos se planteó (1) determinar los umbrales de precipitación para diferentes niveles de probabilidad de excedencia y, (2) validar los umbrales de precipitación obtenidos a diferentes niveles de probabilidad de excedencia.

## **II. REVISIÓN DE LITERATURA**

### **2.1 PRECIPITACIÓN**

Villar (2019), citando al IPCC (2007), menciona que la precipitación son las lluvias, nevadas y otras formas de agua líquida o congelada que desciende de las nubes; esta es irregular y depende, fundamentalmente, de las condiciones del tiempo y la temperatura. También, señala que en la medida en que cambia el clima, se ven alteradas la cantidad, intensidad, frecuencia y tipo de precipitación.

#### **2.1.1 Formación de nubes**

Haverkamp (2013), citando a Bierkens *et al.* (2008), menciona que para que ocurra el proceso de formación de la precipitación, es necesario contar con nubes con suficiente contenido de humedad. La humedad del aire cuya temperatura se encuentre bajo su punto de rocío causará que parte del vapor de agua existente se condense, por lo que la formación de nubes dependerá de la humedad disponible. Adicionalmente, es necesario contar con núcleos de condensación de nubes (NCN). Si se tiene una baja densidad o no se tienen NCN, no se podrá dar lugar a la condensación. Para nucleaciones homogéneas (condensación en ausencia de NCN), se requiere de una supersaturación sobre el 200 por ciento. De acuerdo con lo señalado, la nucleación homogénea juega un rol muy importante en la formación de nubes.

Sumner (1988), citado por Haverkamp (2013), menciona que a fin de que la temperatura del punto de rocío sea alcanzada, la humedad del aire tiene que ser enfriada. El enfriamiento mayormente es causado debido al ascenso de las masas de aire, que puede ser resultado de cuatro procesos. El primero, está relacionado a las masas de aire que ganan energía y se calientan, por ejemplo, debido a la temperatura de la superficie de la Tierra con las que están en contacto, permitiendo así que su densidad sea menor que las masas de aire que se encuentran por encima, por lo que el aire caliente comenzara a ascender. Mientras que el aire ascendente es más caliente que su entorno, este seguirá ascendiendo (formación potencial de nubes convectivas). Otra manera de forzar que el aire más cálido y menos denso se eleve es debido a, por ejemplo, la presencia de una montaña (formación potencial de nubes orográficas) o

cuando el aire ligeramente más frío y más denso fuerza que el aire más cálido y menos denso se eleve sobre la primera (formación potencial de nubes estratiformes). La última forma es cuando el aire pasa por encima de una superficie relativamente rugosa y el flujo se vuelve turbulento. Esto causa turbulencia en la parte más baja de la atmósfera y, de esta manera, se puede dar lugar a un intercambio entre el aire frío y caliente. Los cuatro procesos son una forma de convección que se define como movimiento físico de las moléculas en estado líquido o gas, en este caso en la dirección vertical.

### **2.1.2 Formación de precipitación**

Haverkamp (2013) menciona que las gotas de agua en una nube se pueden fácilmente mantener suspendidas por corrientes de aire, así como evaporarse en el aire no saturado por debajo de la nube antes de llegar al suelo. Debido a esto, las gotas de lluvia deben de ser lo suficientemente grandes con el fin de superar las corrientes ascendentes y la evaporación debajo de la nube.

Haverkamp (2013), citando a Sumner (1988), menciona que las nubes contienen una amplia gama de tamaños de gota que van de 5 a 30 micras de diámetro. Los tamaños más grandes y escasos son los más propensos a superar las corrientes de aire de la absorción, así como acelerar más rápidamente a altas velocidades terminales en comparación con los pequeños. Estas diferencias en las velocidades aumentan las probabilidades de colisión entre gotas de diferentes tamaños. Las colisiones se pueden dividir en tres tipos que podrían influir en el tipo de precipitación resultante: coalescencia (colisiones de líquido con líquido, produciendo la lluvia o llovizna), agregación (sólido con sólido, produciendo nieve) y de acrecer (líquido en sólido, produciendo hielo o granizo). Observando los tipos de colisiones, se puede definir dos tipos de nubes. La primera de ellas corresponde a nubes que presentan temperaturas superiores a 0 °C y solo contiene gotas de agua. La segunda corresponde a nubes frías con temperaturas inferiores a 0 °C y que consiste en hielo o gotas de agua enfriadas con temperaturas de hasta -40 °C. Aunque las colisiones son importantes para el crecimiento de las gotas de lluvia, el proceso de Bergeron-Findeisen es considerado como el más importante en la formación de la precipitación. Como se aplican diferentes presiones de vapor de saturación para el agua y el hielo, el supuesto que se puede hacer es que el aire de la nube está en estado no saturado con respecto al agua y saturado con respecto al hielo. Debido a esto, la gota de agua se evaporará hasta que se encuentre en equilibrio con su entorno y el medio ambiente, y a su vez llegará a

estar en estado de sobresaturación con respecto al hielo. El vapor de agua se condensará sobre la partícula de hielo hasta que el aire se satura de nuevo con respecto al hielo. La caída de agua en las nubes ahora está fuera de equilibrio con el entorno. El proceso continúa hasta que la gota de agua se evapore totalmente. Aunque el proceso es posible entre  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$  y  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ , es probable que sea más eficaz en un intervalo de temperatura de  $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$  y  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$  donde la cantidad más alta de las dos partículas de hielo y de agua están presentes. La mayoría de las nubes convectivas con una extensión vertical suficientemente grande tendrán partes en este rango efectivo. En los casos en los que existen varias capas estratiformes, al igual que en los sistemas frontales, las capas superiores frías constituirán la base de partículas de hielo en las capas más bajas que a su vez van a usar el hielo para formar grandes gotas de agua. Una gota de agua se denomina gota de lluvia cuando tiene un diámetro mayor que 0,5 mm.

## **2.2 DESLIZAMIENTOS DE TIERRA**

Alcántara (2000) menciona que el término deslizamiento de tierra puede referirse a procesos de ladera, gravitacionales o de remoción en masa. Así mismo, hace una distinción entre la remoción en masa y transporte de una masa refiriéndose al primero como movimientos originados bajo la influencia de la gravedad, sin empleo de transporte alguno; mientras que, en el segundo, se considera que el material es transportado por agentes como el agua, el aire y el hielo. Además, recomienda el uso de los términos movimiento de terreno o proceso de remoción en masa como una traducción más precisa del término *landslide*. Para efectos del presente estudio se utilizó el término deslizamientos de tierra.

Complementariamente, Highland y Bobrowsky (2008) mencionan que geólogos, ingenieros y otros profesionales a menudo dependen de una única y ligeramente diferente definición de deslizamiento de tierra. Esta diversidad de definiciones refleja la compleja naturaleza de las diferentes disciplinas asociadas con el estudio de este fenómeno. El deslizamiento de tierra es un término general usado para describir el movimiento de suelo, rocas y materiales orgánicos bajo los efectos de la gravedad y la forma de relieve que resulta de tal movimiento. Además, mencionan que hay otras definiciones que se pueden usar indistintamente con el término deslizamiento de tierra tales como: movimiento de masas, derrumbe de taludes, etc.

### **2.2.1 Causas generales de los deslizamientos de tierra**

Highland y Brobowsky (2008) mencionan que los deslizamientos de tierra pueden ocurrir virtualmente en cualquier parte del planeta. El punto de vista tradicional de que estos procesos están restringidos solamente a pendientes muy fuertes y terrenos inhóspitos no refleja con precisión la verdadera naturaleza del problema. La razón de tan amplia cobertura geográfica tiene mucho que ver con los diversos mecanismos desencadenantes de estos movimientos. La excesiva precipitación, terremotos, volcanes, incendios forestales y, más recientemente, ciertas actividades humanas son algunas de las causas principales que pueden desencadenar los deslizamientos de tierra. Los torrentes de escombros o detritos requieren de canales y quebradas para que se produzcan, mientras que los desprendimientos y caídas de roca solo se producen en lugares escarpados donde hay roca expuesta.

Terzaghi (1950) y Selby (1993), citados por Alcántara (2000), mencionan que los procesos de remoción en masa o movimiento del terreno ocurren debido a causas externas e internas. Las causas externas son todas las que producen un incremento en la tensión o esfuerzos sin afectar la resistencia de los materiales, mientras que las internas disminuyen la resistencia de los materiales sin cambiar la tensión o esfuerzos. De esta manera, se puede decir que, los deslizamientos de tierra son aquellos movimientos de masas de suelo, detritos y rocas que ocurren en una ladera como resultado de la influencia directa de la gravedad, y que pueden ser desencadenados por factores internos o externos, o bien, en términos más sencillos, que estos procesos ocurren cuando una porción de la ladera se vuelve muy débil para soportar su propio peso.

Alcántara (2000) menciona que entre los cambios de tipo externo más importantes se encuentran los cambios geométricos o de peso que sufren las laderas (como resultado de erosión, socavamiento, incisión de un río, excavaciones artificiales, etc.), las tensiones transitorias naturales y artificiales a las que son expuestas (sismos, vibraciones por explosiones o uso de maquinaria pesada) y los cambios en el régimen hidrológico (la intensidad y duración de la precipitación, etc.). Los principales cambios de tipo internos se relacionan con la transformación de los materiales a través de movimientos progresivos (por expansiones laterales, fisura, etc.), procesos de intemperismo y erosión. Los deslizamientos de tierra ocurren gracias a la combinación de este tipo de factores, ya que todos ellos contribuyen en diferente grado a su inestabilidad. Sin embargo, según ciertas circunstancias, algunos de estos

elementos pueden ser considerados como factores desencadenantes decisivos como, por ejemplo, la presencia de lluvias extraordinarias en materiales permeable, razón por la cual no sólo es importante conocer los mecanismos y tipos de movimientos, sino también los factores que causan y controlan este tipo de procesos en espacios definidos.

Por otro lado, Highland y Brobowsky (2008) usan dos categorías para clasificar las causas de los deslizamientos de tierra, pero a diferencia de Alcántara (2000), determinan que estas son causas naturales y humanas. Además, mencionan que los deslizamientos de tierra son causados, o empeorados, por la combinación de estos dos factores.

Conforme a lo descrito por Highland y Brobowsky (2008), las causas naturales tienen tres desencadenantes principales:

- Agua, donde la saturación de la pendiente es la causa principal del deslizamiento de tierra. Esta saturación puede ocurrir debido a precipitación intensa, derretimiento de nieve, cambios en los niveles de agua en el suelo, y cambios en los niveles del agua superficial a lo largo de costas, represas y orillas de lagos, embalses, canales y ríos.
- Actividad sísmica, los terremotos en zonas escarpadas propensas a estos fenómenos aumentan en gran medida la probabilidad de que se produzcan deslizamientos de tierra, pudiendo ser originados por el mismo temblor, la licuefacción de los sedimentos susceptibles o agitación causada por la dilatación de los materiales del suelo, lo que permite una rápida infiltración de agua.
- Actividad volcánica, representa uno de los tipos de falla más devastadores. La lava volcánica puede derretir la nieve rápidamente, lo que puede formar una avalancha de roca, tierra, ceniza y agua que acelera rápidamente en las laderas empinadas de los volcanes, devastando todo a su paso.

En cuanto a las causas humanas, Highland y Brobowsky (2008) señalan que la expansión urbana hacia nuevas tierras es la manera como los humanos contribuyen a la ocurrencia de los deslizamientos de tierra. La alteración de los patrones de drenaje, desestabilización de pendientes y remoción de la vegetación son factores inducidos por el hombre que pueden iniciar los deslizamientos de tierra.

### **2.2.2 Grados de actividad**

Con respecto a los grados de actividad de los deslizamientos de tierra, o movimiento del terreno, Alcántara (2000) los clasifica de la siguiente manera:

- Movimiento activo, se refiere a los deslizamientos de tierra que tiene movimiento actual.
- Movimiento en suspenso o suspendido, se refiere a cuando el deslizamiento de tierra ha tenido lugar en los últimos 12 meses, pero no es un movimiento activo.
- Movimiento reactivado, se refiere a cuando el deslizamiento de tierra que ha estado inactivo en la actualidad es activo.
- Cuando un deslizamiento de tierra no ha tenido actividad en los últimos 12 meses se considera un movimiento inactivo y se puede clasificar como apagado, abandonado, estabilizado o reliquia. Será apagado, cuando el movimiento puede ser reactivado por los actores que lo originaron o por otros; abandonado, cuando el movimiento no es afectado por los factores que lo originaron; estabilizado, cuando el movimiento ha sido protegido de los factores que le dieron origen a través de ciertas medidas; y reliquia, cuando el movimiento se desarrolló bajo condiciones climáticas o geomorfológicas, totalmente diferentes a sus condiciones actuales.

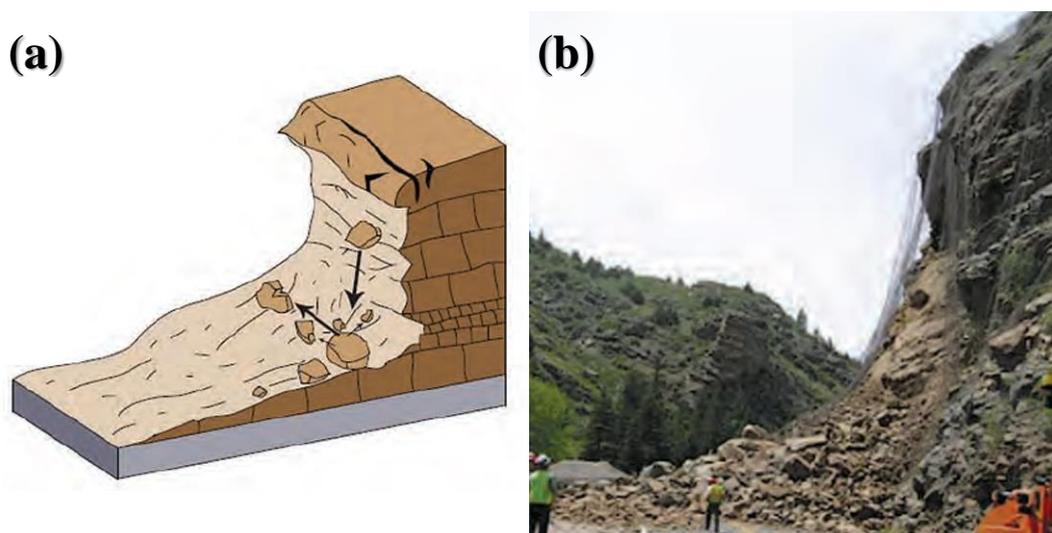
La evaluación de los estados de actividad de un movimiento está en función de la recolonización de la cubierta vegetal y de la dinámica de la topografía, aunque cabe señalar que estos cambios no ocurren a un ritmo uniforme en todas las regiones, razón por la cual es necesario considerar las condiciones climáticas y de vegetación locales. Sin embargo, se puede generalizar que cuando hay una recolonización de la vegetación en el escarpe principal y existe un patrón de drenaje sin discontinuidades en el cuerpo del movimiento, se trata de un movimiento inactivo.

### **2.2.3 Clasificación**

Los deslizamientos de tierra se clasifican de la siguiente manera:

### a. Desprendimientos o caídas (*fall*)

Alcántara (2000) y Highland y Brobowsky (2008) mencionan que son movimientos en caída libre que se originan con el desprendimiento de rocas, detritos o suelos, desde una pendiente o superficie inclinada, los cuales pueden rebotar, rodar, deslizarse o fluir ladera abajo. Los autores también mencionan que la velocidad de estos movimientos puede ser rápida o extremadamente rápida. En la Figura 1 se presenta (a) gráfico esquemático y, (b) caída/deslizamiento de roca en Clear Creek Canyon, Colorado, Estados Unidos.

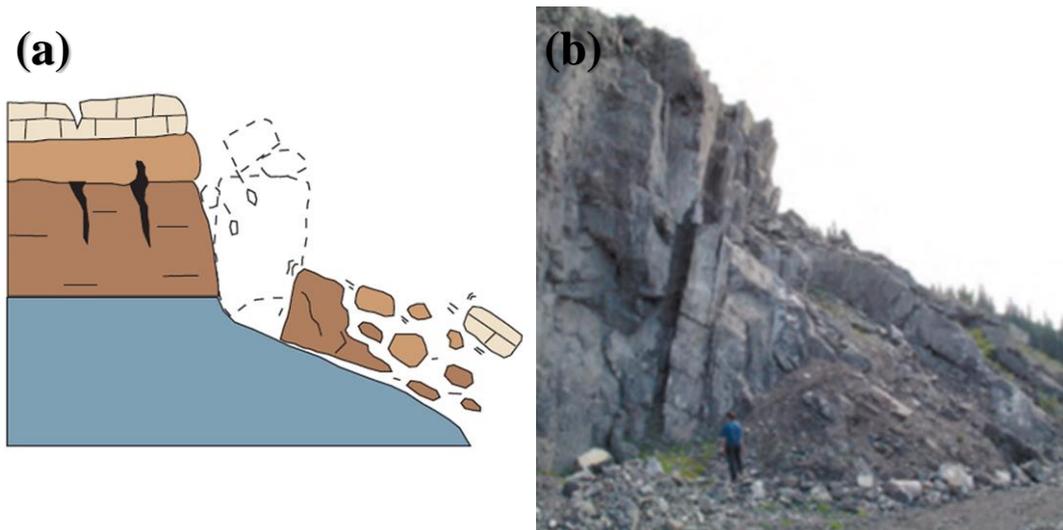


**Figura 1 : Desprendimiento o caída**

FUENTE: Highland y Brobowsky (2008)

### b. Vuelco, desplome o derrumbe (*topple*)

Alcántara (2000) y Highland y Brobowsky (2008) mencionan que el vuelco consiste en la rotación de una masa de suelo (material de grano fino), detritos (material grueso) o roca en torno a un eje o pivote determinado por su centro de gravedad. Su movimiento es hacia adelante o hacia la parte externa, por lo cual involucra la inclinación o basculamiento, pero no implica colapsamiento. Frecuentemente, ocurren en una o más superficies, en materiales que poseen un sistema de discontinuidades como diaclasas, grietas en tensión o superficies columnares. Highland y Brobowsky (2008) agregan que, a veces, la ocurrencia de los vuelcos se debe al agua o hielo en las grietas de la masa y, también, mencionan que la velocidad puede ser desde extremadamente lenta hasta extremadamente rápida. En la Figura 2 se presenta (a) gráfico esquemático y, (b) derrumbe ocurrido en Fort St. John, Columbia Británica, Canadá.



**Figura 2 : Vuelco, desplome o derrumbe**

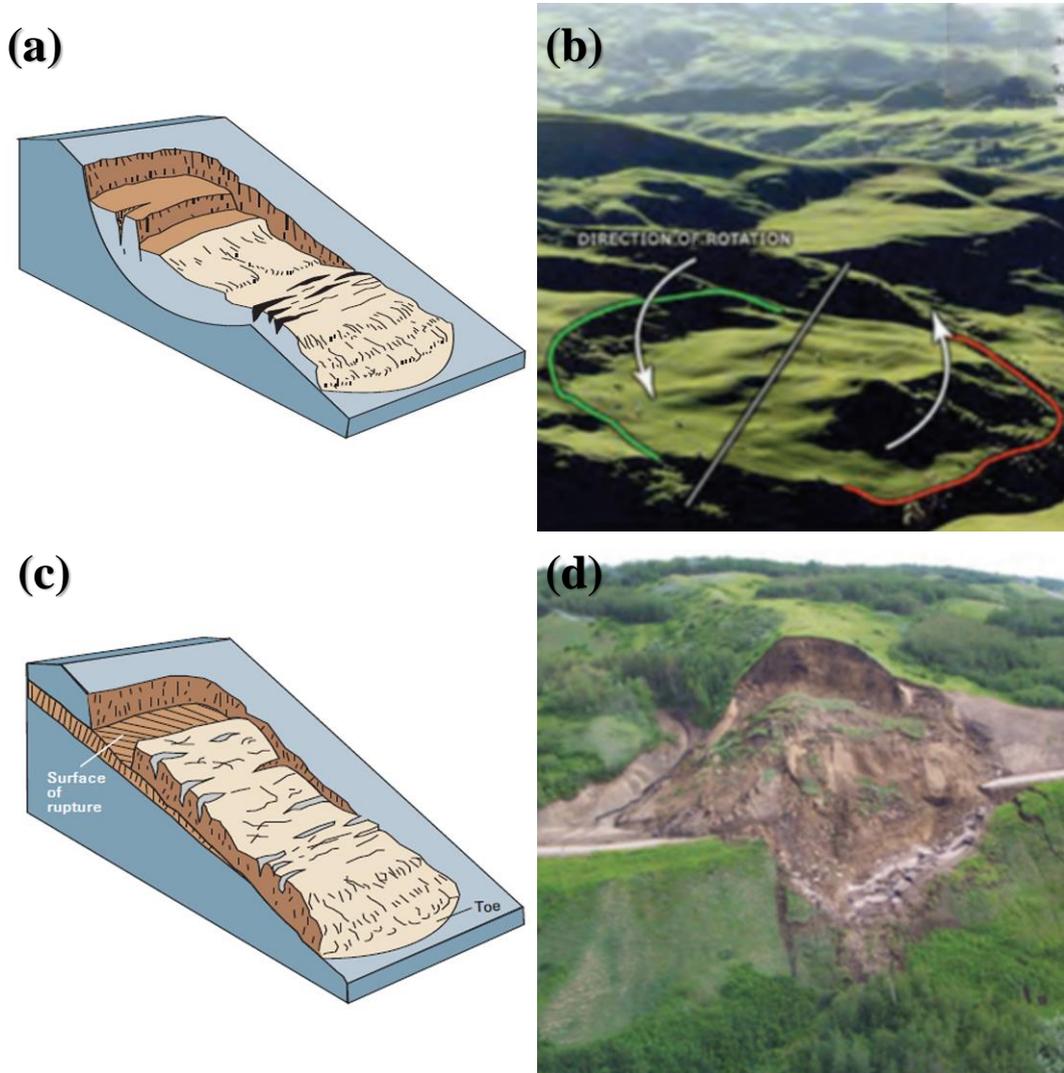
FUENTE: Highland y Brobowsky (2008)

### c. Deslizamientos (*slides*)

Alcántara (2000) y Highland y Brobowsky (2008) mencionan que los deslizamientos son movimientos ladera abajo de una masa de suelo, detritos o roca, la cual ocurre sobre una superficie reconocible de ruptura o en zonas relativamente delgadas de intensa tensión de corte. Con frecuencia, la formación de grietas transversales son la primera señal de ocurrencia de este tipo de movimiento.

Highland y Brobowsky (2008) describen que, inicialmente, el movimiento no ocurre simultáneamente sobre todo lo que eventualmente se convierte en la superficie de ruptura; el volumen de desplazamiento de material se agranda desde un área de falla local. La superficie de ruptura define el tipo de deslizamiento, por lo que las superficies curvas, cóncavas o en forma de cuchara se asocian a deslizamientos rotacionales; las superficies de ruptura semiplanas u onduladas a los movimientos traslacionales y, Alcántara (2000) agrega que, las superficies planas están asociados a los deslizamientos planos. La extensión de este tipo de movimiento es muy variable, los movimientos traslacionales son menos profundos que los rotacionales y al igual que los planos, involucran un movimiento paralelo a la superficie. Highland y Brobowsky (2008) agregan que la velocidad de los deslizamientos rotacionales van de extremadamente lentos (menos de 30 cm en 5 años) a moderadamente rápidos (1,5 m por mes); mientras que, para los deslizamientos traslacionales la velocidad puede ser lenta en un inicio (1,5 m por mes) pero, en muchos casos, llegan a ser moderados en velocidad (1,5 m por día), llegando a extremadamente rápidos. En la Figura 3 se presenta (a) gráfico

esquemático rotacional, (b) deslizamiento rotacional ocurrido en Nueva Zelanda, (c) gráfico esquemático traslacional y, (d) deslizamiento traslacional ocurrido en Beatton River Valley, Columbia Británica, Canadá.



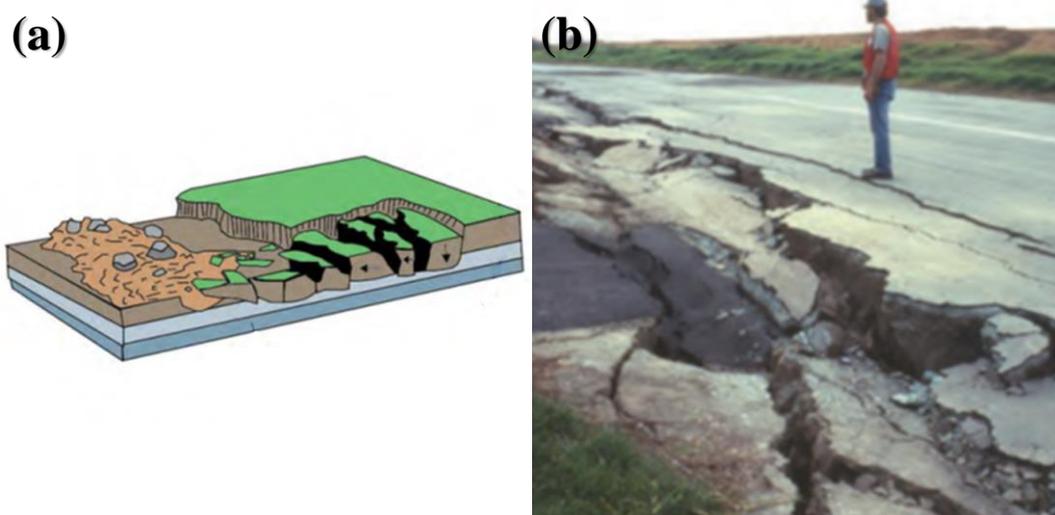
**Figura 3 : Deslizamiento rotacional y traslacional**

FUENTE: Highland y Brobowsky (2008)

**d. Expansiones laterales (*spreads*)**

Alcántara (2000) y Highland y Brobowsky (2008) mencionan que son resultado de la fracturación y expansión de suelos o masas de roca compactos, debido a la licuefacción o fluidización del material subyacente más suave. Ocurren cuando los materiales gruesos, tales como fragmentos de roca, grava, etc., están inmersos en una matriz de material más fino o contienen arcillas. La superficie de corte o cizallamiento no está bien definida, la masa involucrada se mueve rápida y retrogresivamente, y puede tener una duración hasta de algunos

minutos. Este tipo de movimientos ocurre principalmente en ambientes lacustres y marinos de poca profundidad, los cuales se localizan en las márgenes de los antiguos casquetes de hielo. Estos procesos pueden ser desencadenados por movimientos rotacionales o por efectos sísmicos. En la Figura 4 se presenta (a) gráfico esquemático y, (b) daño de expansión lateral en una carretera en Loma Prieta, California, Estados Unidos.



**Figura 4 : Expansión lateral**

FUENTE: Highland y Brobowsky (2008)

#### **e. Flujos (*flow*)**

Alcántara (2000) y Highland y Brobowsky (2008) mencionan que son movimientos espacialmente continuos, en los que las superficies de corte o cizallamiento son muy próximas, de poca duración, generalmente no se conserva y, por consiguiente, son difíciles de observar. El movimiento de los flujos es muy parecido al de fluido viscoso, razón por la que la distribución de velocidades no es homogénea y origina la formación de lóbulos a partir del predominio del movimiento intergranular, sin embargo, por lo general, la velocidad va de rápida a extremadamente rápida (56 km/h). A menudo, hay una graduación del cambio de deslizamientos a flujos, dependiendo del contenido de agua, la movilidad y la evolución del movimiento.

El INGEMMET (2005) menciona que en el Perú se utiliza el término “huayco” para referirse a flujos de detritos, movimientos rápidos de rocas, escombros y suelos saturados de agua, que ocurren en laderas (no canalizado) y cauces de quebradas (canalizado) cuando ocurren lluvias intensas y prolongadas. La consistencia es similar a la del concreto húmedo y se mueven a

velocidades superiores a los 50 km/h. En la Figura 5 se presenta (a) gráfico esquemático y, (b) daño de flujo de detritos ocurrido en la base de la Cordillera de la Costa, Venezuela.



**Figura 5 : Flujo de detritos**

FUENTE: Highland y Brobowsky (2008)

Conforme a lo mencionado por Highland y Brobowsky (2008), la definición de los deslizamientos de tierra varía ligeramente en función al campo en el que se utilice; sin embargo, de la revisión de literatura se puede observar que varios coinciden en cuanto a la clasificación ya que está relacionada al tipo de material involucrado. En años recientes, la clasificación toma en cuenta solo a las rocas y el suelo (el cual incluye los detritos), como la usada por Highland y Brobowsky (2008) y Hungr *et al.* (2014), mientras que las más antiguas consideraban también a los detritos, como la usada por Alcántara (2000). En la Tabla 1 se presenta la clasificación de los deslizamientos de tierra empleada por estos autores.

### **2.3 UMBRALES DE PRECIPITACIÓN PARA EL INICIO DE DESLIZAMIENTOS DE TIERRA**

Reichenbach *et al.* (1998) mencionan que los umbrales son el mínimo o máximo nivel crítico de alguna cantidad necesaria para que un proceso ocurra. Un umbral mínimo define el nivel por debajo del cual no ocurre un proceso, mientras que un umbral máximo representa el nivel por encima del cual siempre ocurre un proceso.

**Tabla 1 : Clasificación de los deslizamientos de tierra según material involucrado**

Mecanismo de movimiento	Tipo de material involucrado	Alcántara (2000)	Highland y Brobowsky (2008)	Hungr <i>et al.</i> (2014)
Desprendimientos o caída ( <i>Fall</i> )	Roca ( <i>Rock</i> )	<i>Rockfall</i>	<i>Rockfall</i>	<i>Rock/ice fall</i>
	Detrito ( <i>Debris</i> )	<i>Debris fall</i>		<i>Boulder/debris/silt fall</i>
	Suelo ( <i>Soil</i> )	<i>Soil fall</i>		
Vuelco, desplome o derrumbe ( <i>Topple</i> )	Roca ( <i>Rock</i> )	<i>Rock topple</i>	<i>Topple</i>	<i>Rock block topple</i>
	Detrito ( <i>Debris</i> )	<i>Debris topple</i>		<i>Rock flexural topple</i>
	Suelo ( <i>Soil</i> )	<i>Soil topple</i>		<i>Gravel/sand/silt topple</i>
Deslizamientos ( <i>Slide</i> )	Roca ( <i>Rock</i> )	<i>Rotational slide simple</i>	<i>Rotational slide</i> <i>Translational slide</i>	<i>Rock rotational slide</i>
		<i>Rotational slide multiple</i>		<i>Rock planar slide</i>
		<i>Rotational slide successive</i>		<i>Rock wedge slide</i>
	<i>Block slide (Translational slide)</i>	<i>Rock compound slide</i>		
	<i>Rock slide</i>	<i>Rock irregular slide</i>		
	<i>Rotational slide simple</i>			
Detrito ( <i>Debris</i> )	<i>Rotational slide multiple</i>		<i>Clay/silt rotational slide</i>	
	<i>Rotational slide successive</i>		<i>Clay/silt planar slide</i>	
	<i>Block slide (Translational slide)</i>		<i>Gravel/sand/debris slide</i>	
Suelo ( <i>Soil</i> )	<i>Debris slide</i>		<i>Clay/silt compound slide</i>	
	<i>Rotational slide simple</i>			
	<i>Rotational slide multiple</i>			
	<i>Rotational slide successive</i>			
Expansión lateral ( <i>Spreads</i> )	Roca ( <i>Rock</i> )	<i>Rock spreading</i>	<i>Lateral spreads</i>	<i>Rock slope spread</i>
	Detrito ( <i>Debris</i> )	<i>Debris spread</i>		<i>Sand/silt liquefaction spread</i>
	Suelo ( <i>Soil</i> )	<i>Soil spreading</i>		<i>Sensitive clay spread</i>

«Continuación»

Mecanismo de movimiento	Tipo de material involucrado	Alcántara (2000)	Highland y Brobowski (2008)	Hungr <i>et al.</i> (2014)
Flujos (Flow)	Roca ( <i>Rock</i> )	<i>Rock flow</i>		<i>Rock/ice avalanche</i>
	Detrito ( <i>Debris</i> )	<i>Debris flow</i>	<i>Debris flow</i>	<i>Sand/silt/debris dry flow</i>
			<i>Lahars (volcanic debris flows)</i>	<i>Sand/silt/debris flowslide</i>
Suelo ( <i>Soil</i> )	<i>Soil flow</i>	<i>Debris avalanche</i>	<i>Debris flow</i>	<i>Mud flow</i>
Complejo (Complex)			<i>Earthflow</i>	<i>Debris flood</i>
	Roca ( <i>Rock</i> )	<i>Rock avalanche</i>	<i>Slow earthflow (Creep)</i>	<i>Debris avalanche</i>
	Detrito ( <i>Debris</i> )	<i>Flow slide</i>	<i>Flows in permafrost</i>	<i>Earthflow</i>
<i>Slope deformation</i>	Suelo ( <i>Soil</i> )	<i>Slump-earthflow</i>		<i>Peat flow</i>
	Roca ( <i>Rock</i> )			<i>Mountain slope deformation</i>
	Suelo ( <i>Soil</i> )			<i>Rock slope deformation</i>
				<i>Soil slope deform</i>
				<i>Soil creep</i>
				<i>Solifluction</i>

Gariano *et al.* (2015) describen que el pronóstico de los deslizamientos de tierra inducidos por la precipitación depende de umbrales empíricos obtenidos del análisis de lluvias que han resultado en fallas de pendiente. Los umbrales de precipitación empíricos son las relaciones que unen los eventos de precipitación con la ocurrencia, o ausencia, de deslizamientos de tierra. También, indican que estos umbrales normalmente relacionan la duración del evento de precipitación (D) con la intensidad media de la precipitación (I) o al evento acumulado de precipitaciones (E) de eventos de lluvia que han originado deslizamientos.

Así mismo, Ramos *et al.* (2015) y la Pontificia Universidad Javeriana (2017) realizaron una revisión de bibliografía de umbrales de precipitación y encontraron que la mayoría de estos son determinados en función a la intensidad media de la precipitación y la duración de la lluvia (ID), esto se explica dado que estas variables representan una relación sencilla de análisis y es ampliamente usada en hidrología. Además, el segundo parámetro más usado es la precipitación acumulada antecedente de varios días, esto se debe a que es un parámetro conveniente de usar cuando la escala de medición de precipitación, en las estaciones, no es horaria o subhoraria. Finalmente, otros parámetros que se toman en cuenta son la precipitación del día del evento y la energía cinética generada por la lluvia.

Gariano *et al.* (2015) concluyen que, independientemente del método utilizado, los umbrales de precipitación empíricos están representados por curvas en los planos de D-I o D-E que separan condiciones de lluvia que pueden desencadenar deslizamientos de tierra, por encima de las líneas del umbral, de condiciones que no se espera que desencadenen inestabilidad de los taludes, por debajo de los umbrales.

Cepeda *et al.* (2009) mencionan que fue el investigador N. Caine quien propuso, por primera vez, la ampliamente utilizada ecuación de ley de potencia para establecer umbrales de precipitación que desencadenan deslizamientos de tierra. La función es definida como  $I = \alpha \cdot D^\beta$ , donde I y D son la intensidad media y la duración de la precipitación, y  $\alpha$  y  $\beta$  son los parámetros estimados para una curva límite inferior de la mayoría o todas las observaciones positivas. Esta función no tiene en cuenta el efecto de la precipitación antecedente como un factor condicionante para la inestabilidad de la pendiente, un enfoque que puede ser adecuado para umbrales globales o regionales que incluyen deslizamientos de tierra en geologías de superficie con una amplia gama de condiciones de drenaje subterráneo y respuestas de presión de poro a lluvia sostenida; sin embargo, en una escala local y en entornos geológicos

dominados por un rango estrecho de condiciones de drenaje y comportamientos de respuesta a la presión de poro, la inclusión de precipitación antecedente en la definición de umbrales se hace necesaria para asegurar su rendimiento óptimo, especialmente cuando se usa como parte de un sistema de alerta temprana.

Gariano *et al.* (2015) realizan una inspección de literatura donde revelan que la mayoría de los umbrales de precipitación empíricos disponibles fueron definidos usando métodos no objetivos y pobremente reproducibles. Como resultado, Guzzetti *et al.* (2007) y Brunetti *et al.* (2010) señalan que los umbrales existentes y nuevos son difíciles, o imposibles, de comparar y evaluar cuantitativamente. Esto dificulta el uso de umbrales en los sistemas operativos de alerta de deslizamientos de tierra. Para superar el problema, los investigadores han propuesto nuevos métodos y procedimientos para la definición objetiva y reproducible de umbrales de precipitación para la posible ocurrencia de deslizamientos de tierra.

Guzzetti *et al.* (2007), citados por Gariano *et al.* (2015), utilizaron un enfoque bayesiano para obtener umbrales de precipitación reproducibles a partir de un catálogo de condiciones de lluvia (D, I) que han dado lugar a deslizamientos de tierra en el sur de Europa. Gariano *et al.* (2015) mencionan que Brunetti *et al.* (2010) propusieron un método basado en un análisis estadístico frecuencial de condiciones de lluvia (D, I) que ha dado lugar a deslizamientos de tierra en Italia. Así mismo, mencionan que Peruccacci *et al.* (2012) han ampliado el método para (1) examinar las condiciones de lluvia (D, E), (2) determinar la incertidumbre asociada a los umbrales empíricos y (3) evaluar el número mínimo de datos empíricos necesarios para determinar umbrales confiables.

Gariano *et al.* (2015) mencionan el trabajo desarrollado por Berti *et al.* (2012) quienes aplicaron un enfoque estadístico bayesiano para un catálogo de condiciones de lluvia (D, I) en la región de Emilia-Romagna, Italia central, que han y no han dado lugar a deslizamientos de tierra, y así determinar los umbrales regionales en función a la intensidad media de la precipitación y la duración de la lluvia (ID). Además, señalan que Staley *et al.* (2013) trabajaron en dos áreas pequeñas en el sur de California, donde se propuso un método para la definición objetiva de umbrales de precipitación (ID) para la iniciación de los flujos de escombros después de un incendio. Teniendo en cuenta las condiciones de lluvia que han y no han dado lugar a flujos de escombros, obtuvieron umbrales teniendo en cuenta el número de predicciones correctas e incorrectas.

## 2.4 ANTECEDENTES

Ramos *et al.* (2015) trabajaron sobre 2208 deslizamientos de tierra ocurridos en Bogotá entre 1996 y 2013. Para esto recopilaron, de forma sistemática, variables como el tipo de suelo, tipo de movimiento, posible detonante, cobertura del suelo, pendiente promedio del lugar de la inestabilidad y el volumen de material deslizado, esto con el fin de condensar la mayor cantidad de información posible. Concluyeron que los eventos ocurrían en su mayoría en pendientes mayores a 40° y que la lluvia es uno de los principales factores detonantes de estos movimientos. La influencia de la precipitación sobre los procesos de remoción en masa depende fuertemente de las dimensiones y del tipo de deslizamiento de tierra. Se reconoce que los movimientos superficiales (flujo de lodos o flujos de detritos) son asociados a lluvias intensas de corta duración, mientras que los profundos se relacionan, principalmente, con precipitación acumulada en largos periodos. Conforme a lo descrito, señalan que no existe un único parámetro derivado de precipitación que sirva como determinador universal para la generación de cualquier proceso de remoción en masa.

Por otro lado, Bravo *et al.* (2016) trabajaron sobre 99 eventos de remoción en masa, entre 1960 y 2015, en la provincia de Concepción, Región de Biobío, Chile. Los eventos ocurridos se daban en laderas con pendientes entre 12° y 43° de diversas orientaciones. Se encontró que precipitaciones acumuladas mayores a 100 mm en un periodo de hasta 10 días son los que desencadenaban los deslizamientos de tierra. Por otro lado, los eventos que se dan por debajo a los 100 mm de precipitación acumulada están relacionados a precipitaciones con intensidades mayores al promedio. El estudio que realizaron está basado en determinar umbrales en función a la pendiente, orientación de la ladera y la precipitación acumulada.

A nivel nacional, Damián y Huamán (2017) proponen una metodología basada en la utilización de sistemas de información geográfica (SIG) para la obtención automática de parámetros hidrológicos, como la duración y precipitación acumulada, para un sistema de alerta temprana de deslizamientos de laderas. Trabajaron en el distrito de Cuenca, en la región de Huancavelica, para el periodo 2010-2015; logrando identificar 87 series de precipitación acumulada que les permitió establecer un umbral crítico de precipitación de 100,3 mm para una duración de 16 días.

En la cuenca del río Rímac no se han determinado umbrales de precipitación para deslizamientos de tierra. Sin embargo, Ordoñez (2019) realizó un estudio a nivel nacional

sobre la relación entre los movimientos de masa y las lluvias intensas. Dentro de las principales conclusiones determinó que los mayores impactos por deslizamientos se dieron el 2017; la relación entre los impactos generados por las lluvias intensas y los deslizamientos están caracterizadas mediante una expresión algebraica de tipo polinómica de segundo grado; y, Lima presenta una de las mayores incidencias y recurrencias de impactos relacionados con deslizamientos, huaycos y lluvias intensas.

### **III. MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **3.1 DESCRIPCIÓN DE LA CUENCA DEL RÍO RÍMAC**

##### **3.1.1 Ubicación**

La ANA (2010) menciona que la cuenca del río Rímac se encuentra localizada en la región central y occidental del territorio peruano, entre las coordenadas geográficas 11°36'52" y 12°05'47" de latitud sur y entre 76°11'05" y 77°04'36" de longitud oeste. Hidrográficamente, pertenece a la vertiente del Pacífico. El río Rímac nace en la Cordillera Central de los Andes y desemboca en el Océano Pacífico. La cuenca posee una extensión de 3503,95 km<sup>2</sup>, con una longitud de 127,02 km; la zona húmeda es de aproximadamente 2303,10 km<sup>2</sup>, que representa el 65,7 por ciento, y corresponde a la parte alta de la cuenca.

El escurrimiento natural del río Rímac se origina como consecuencia de las precipitaciones estacionales que ocurren en la parte alta de la cuenca. En época de estiaje (junio a noviembre), el río Rímac baja notoriamente su caudal, de acuerdo con los registros de la estación Chosica.

La severidad de su estiaje se debe a las características fisiográficas y de cobertura que presenta; sin embargo, la presencia de nevados contribuye con sus deshielos a elevar el caudal de estiaje. Las características generales del régimen de descargas del río Rímac son similares a las que presentan la mayoría de los ríos de la costa del Perú, con descargas irregulares, torrentosas y marcadas diferencias entre sus parámetros extremos.

Según el XI Censo Nacional de Población y VI de Vivienda del 2007, la población que se encuentra dentro del área de la cuenca del río Rímac es de aproximadamente 6 488 221 habitantes.

##### **3.1.2 Cobertura vegetal**

Según el mapa nacional de cobertura vegetal elaborado por el MINAM (2015), en la cuenca del río Rímac se identificaron los siguientes tipos.

#### **a. Agricultura costera y andina (Agri)**

Corresponde a todas las áreas donde se realiza actividad agropecuaria, actualmente activas y en descanso, ubicadas en todos los valles que atraviesan al extenso desierto costero y los que ascienden a la vertiente occidental andina hasta el límite con el pajonal altoandino; asimismo, los fondos y laderas de los valles interandinos hasta el límite del pajonal altoandino.

Comprenden los cultivos bajo riego y en seco, tanto anuales como permanentes. También, se incluye en esta cobertura la vegetación natural ribereña que se extienden como angostas e interrumpidas franjas a lo largo de los cauces de los ríos y quebradas.

#### **b. Bofedal (Bo)**

Constituye un ecosistema hidromórfico distribuido en la región altoandina, a partir de los 3800 m.s.n.m., principalmente, en las zonas sur y central del país. Los bofedales se encuentran ubicados en los fondos de valles fluvio-glaciales, conos volcánicos, planicies lacustres, piedemonte y terrazas fluviales. Se alimentan del agua proveniente del deshielo de los glaciares, del afloramiento de agua subterránea (puquial) y de la precipitación pluvial. Los suelos permanecen inundados permanentemente con ligeras oscilaciones durante el periodo seco y se han formado a partir de materiales parentales de origen fluvio-glacial, glacial, aluvial y coluvio-aluvial localizados en las depresiones de las superficies planas y ligeramente inclinadas.

La poca disponibilidad de oxígeno, debido al drenaje pobre, favorece la acumulación de un grueso colchón orgánico proveniente de raíces muertas de las plantas y la materia orgánica en el suelo, provoca un escaso drenaje de este, ayudando así al mantenimiento de la humedad. La vegetación herbácea hidrófila es siempre verde, compacta y de porte almohadillado o en cojín.

#### **c. Bosque relicto altoandino (Br-al)**

Se encuentra distribuido entre los 3500 y 4900 m.s.n.m., a manera de pequeños parches en la región altoandina del país, sobre terrenos montañosos con pendientes empinadas hasta escarpadas, casi inaccesibles y excepcionalmente formado parte de la vegetación ribereña de ciertos ríos y quebradas.

Este bosque es considerado como “relictos” debido a su baja representatividad (reducida superficie), alta fragmentación y poca accesibilidad; los árboles son de porte bajo y achaparrado, con alturas que van desde los 2,5 m (zonas secas) hasta los 10 m (zonas húmedas) y que son limitadas por la humedad. En el estrato inferior del bosque se desarrolla un tapiz herbáceo típico de la vegetación de puna, donde son comunes algunas poáceas.

**d. Bosque relictos mesoandino (Br-me)**

Se encuentra distribuido de manera fraccionada en algunas zonas puntuales y distantes de la región mesoandina, es decir, en las laderas montañosas casi inaccesibles comprendidas entre 3000 y 3800 m.s.n.m., a manera de pequeños parches. El bosque se caracteriza por su porte bajo o achaparrado, con árboles dispersos y con alturas máximas que oscilan entre 3 y 9 m.

**e. Cardonal (Ca)**

Se extiende en una larga y angosta franja que recorre la porción inferior de la vertiente occidental andina, desde La Libertad hasta Tacna, en el norte del Perú desde los 1800 hasta los 2700 m.s.n.m. y al sur se encuentra desde 1500 hasta 2500 m.s.n.m. Limita en su parte inferior con el desierto costero y en su parte superior con el matorral arbustivo.

Esta unidad de cobertura vegetal es influenciada por las condiciones de aridez, predominan comunidades de suculentas de la familia Cactaceae, las cuales se distribuyen de manera dispersa sobre las laderas colinosas y montañosas; también, se puede encontrar especies arbustales o subarbustos, muchas de ellas espinosas, asimismo, se observa la presencia rala de hierbas menores, principalmente anuales y bulbíferas, que completan todo su ciclo vegetativo durante el corto periodo de lluvia veraniega.

**f. Loma (Lo)**

Se localiza en las estribaciones andinas cercanas al mar, en el gran desierto costero desde Lima hasta Tacna. La Loma se forma por la baja temperatura de las aguas marinas continentales (corriente peruana de Humboldt), que recorre paralelamente a la costa, produciendo capas densas de neblina durante el invierno austral (junio-setiembre), que al ponerse en contacto con los primeros contrafuertes andinos genera un tipo de especial de vegetación que puede empezar desde casi a la orilla del mar hasta aproximadamente los

1000 m.s.n.m. Existen lomas con diferentes coberturas basadas en la predominancia de una determinada formación vegetal como, por ejemplo, lomas arbóreas y arbustivas, lomas arbustivas y lomas herbáceas (estacionales).

#### **g. Matorral arbustivo (Ma)**

Se encuentra ampliamente distribuido en la región andina, desde aproximadamente 1500 hasta 3800 m.s.n.m. en la zona sur y centro del país, y desde 1000 hasta los 3000 m.s.n.m. en la zona norte del país, es decir, en ambos casos, hasta el límite de los pajonales naturales. Se distinguen tres subtipos (inferior, medio y alto) que están influenciados, principalmente, por las condiciones climáticas.

El subtipo matorral del piso inferior, es influenciado por la condición de humedad del suelo, en este caso áridas y semiáridas. Se ubica a partir de 1500 m.s.n.m. En este subtipo, las comunidades arbustivas pierden su follaje durante el período seco del año y están mezcladas con suculentas y herbáceas de vida efímera. Además, se desarrolla un tapiz herbáceo ralo de carácter estacional, dominado mayormente por gramíneas.

El subtipo matorral del piso medio y alto, está comprendido entre los 2500 y 3800 m.s.n.m., y está dominado por las condiciones subhúmedas. La vegetación está conformada por comunidades arbustivas tanto de carácter caducifolio como de carácter perennifolio, mostrando una mayor diversidad florística que el subtipo matorral del piso inferior.

#### **h. Pajonal andino (Pj)**

Está conformado, mayormente, por herbazales y se ubica en la porción superior de la Cordillera de los Andes, aproximadamente entre los 3800 y 4800 m.s.n.m. Se desarrolla sobre terrenos que van desde casi planos, como en las altiplanicies, hasta empinados o escarpado, en las depresiones y fondo de valles glaciares.

En el pajonal andino se pueden identificar tres subunidades, fisonómica y florísticamente diferentes:

- Pajonal, conformado por hierbas en forma de manojos de hasta 80 cm de alto.
- Césped, conformado por hierbas de porte bajo hasta de 15 cm de alto.

- Tolar, conformado por arbustos de hasta 1,20 m de alto.

En el nivel altitudinal superior, por encima de los 4500 m.s.n.m., las herbáceas pierden cobertura debido a las condiciones extremas del clima, dejando áreas con suelos desnudos o afloramientos rocosos. Se hacen presente especies de porte rastrero o almohadillado.

De manera general, se afirma que el pajonal andino constituye una fuente de forraje importante para la actividad ganadera a base de camélidos sudamericanos y ganado ovino. Sin embargo, muchas áreas se encuentran en proceso de degradación debido al sobrepastoreo y la quema periódica; asimismo, la ampliación de la frontera agrícola está restando áreas de pastizales.

#### **i. Otras coberturas**

Son áreas que no cuentan con cobertura vegetal y, en la cuenca de río Rímac, se puede encontrar:

- Área altoandina con escasa y sin vegetación (Esv)
- Área urbana (U)
- Centro minero (Mi)
- Desierto costero (Dc)
- Glaciar (Gla)
- Lagunas, lagos y cochas (L/Co)
- Río (R)

En la Tabla 2 se presenta la superficie que de cada tipo de cobertura vegetal en la cuenca del río Rímac. En la Figura 17, del Anexo 2, se presenta el mapa de coberturas vegetales de la cuenca del río Rímac.

**Tabla 2: Tipos de cobertura vegetal en la cuenca del río Rímac**

Nombre	Código	Área (km <sup>2</sup> )	(%)
Agricultura costera y andina	Agri	95.39	2.72
Bofedal	Bo	12.32	0.35
Bosque relicto altoandino	Br-al	7.18	0.20
Bosque relicto mesoandino	Br-me	15.29	0.44
Cardonal	Car	409.60	11.69
Loma	Lo	10.13	0.29
Matorral arbustivo	Ma	617.26	17.62
Pajonal andino	Pj	861.83	24.60
<b>Otras coberturas</b>			
Área altoandina con escasa y sin vegetación	Esv	513.36	14.65
Área urbana	U	351.22	10.02
Centro minero	Mi	0.91	0.03
Desierto costero	Dc	582.54	16.63
Glaciar	Gla	13.10	0.37
Lagunas, lagos y cochas	L/Co	13.61	0.39
Río	R	0.21	0.01

### 3.1.3 Suelos

Según la taxonomía descrita por USDA (2014), la cuenca del río Rímac posee los siguientes grupos de suelo.

#### a. Hydric Cryofibrists (CFHISTh)

Son suelos histosoles que tienen un régimen de temperatura cryico y una capa de agua dentro de la sección control, debajo de la franja superficial.

#### b. Typic Haplocryands (HCANT)

Son suelos andisoles que tienen un régimen de temperatura cryico. Además, el MINAM (2011) menciona que, se desarrollan a partir de rocas volcánicas, así como de depósitos detríticos gruesos derivados de estas mismas rocas. Son suelos superficiales, de texturas medias, drenaje bueno a excesivo, de alta capacidad de retención de humedad, de reacción fuertemente ácida, ubicados en pendientes empinadas, pedregosas y con erosión moderada a severa.

#### c. Lithic Cryorthents (COI)

Son suelos entisoles que tienen un régimen de temperatura cryico y tienen contacto lítico dentro de los 50 cm de la superficie del suelo mineral.

**d. Lithic Ustorthents (UOI)**

Son suelos entisoles que tienen régimen de humedad ústico y tienen contacto lítico dentro de los 50 cm de la superficie del suelo mineral. Además, el MINAM (2011) menciona que, se desarrollan en pendientes del 3 por ciento, en relieve plano, cuentan con una pedregosidad superficial del 65 por ciento y tienen un drenaje natural excesivo.

**e. Typic Ustorthents (UOt)**

Son suelos entisoles que tienen régimen de humedad ústico.

**f. Lithic Torriorthents (TOI)**

Son suelos entisoles que tienen un régimen de humedad arídico (o tórrido) y tienen contacto lítico dentro de los 50 cm de la superficie del suelo mineral.

**g. Typic Torrripsamments (TPSENTt)**

Son suelos entisoles que tienen menos del 35 por ciento (por volumen) de fragmentos rocosos y una clase textural de arena francosa fina o más gruesa, además, tienen régimen de humedad arídico (o tórrido).

**h. Typic Ustifluvents (UFt)**

Son suelos entisoles que no tienen un contacto dénsico, lítico o paralítico dentro de los 25 cm de la superficie del suelo mineral, además, tienen régimen de humedad ústico. Además, el MINAM (2011) menciona que, se ubican en pendientes planas a ligeramente inclinadas, en un relieve ligeramente ondulado y con un drenaje natural algo excesivo.

Según el mapa de suelos del Perú elaborado por el MINAM (2011), en la cuenca del río Rímac se identificaron los siguientes tipos.

**a. Suelos Hydric Cryofibrists - Lithic Cryorthents**

Esta categoría está conformada por suelos Hydric Cryofibrists y Lithic Cryorthents, en una proporción de 70-30 por ciento.

**b. Suelos Lithic Cryorthents - Typic Haplocryands - Misceláneo (afloramiento lítico)**

Esta categoría está conformada por suelos Lithic Cryorthents, Typic Haplocryands y por el misceláneo afloramiento lítico, en una proporción de 40-30-30 por ciento.

**c. Suelos Lithic Cryorthents - Misceláneo (afloramiento lítico)**

Esta categoría está conformada por suelos Lithic Cryorthents y por el misceláneo afloramiento lítico, en una proporción de 60-40 por ciento.

**d. Suelos Lithic Torriorthents - Misceláneo (afloramiento lítico)**

Esta categoría está conformada por suelos Lithic Torriorthents y por el misceláneo afloramiento lítico, en una proporción de 60-40 por ciento.

**e. Suelos Typic Torripsamments - Misceláneo (afloramiento lítico)**

Esta categoría está conformada por suelos Typic Torripsamments y por el misceláneo afloramiento lítico, en una proporción de 70-30 por ciento.

**f. Suelos Typic Ustifluvents - Typic Ustorthents**

Esta categoría está conformada por suelos Typic Ustifluvents y Typic Ustorthents, en una proporción de 70-30 por ciento.

**g. Suelos Lithic Ustorthents - Misceláneo (afloramiento lítico)**

Esta categoría está conformada por suelos Lithic Ustorthents y por el misceláneo afloramiento lítico, en una proporción de 60-40 por ciento.

**h. Suelos Lithic Ustorthents - Typic Ustorthents**

Esta categoría está conformada por suelos Lithic Ustorthents y Typic Ustorthents, en una proporción de 60-40 por ciento.

**i. Suelos Lithic Ustorthents - Typic Ustorthents - Misceláneo (afloramiento lítico)**

Esta categoría está conformada por suelos Lithic Ustorthents, Typic Ustorthents y por el misceláneo afloramiento lítico, en una proporción de 40-30-30 por ciento.

## j. Suelos Misceláneo (nival) - Misceláneo (afloramiento lítico)

Esta categoría está conformada por el misceláneo nival y afloramiento lítico.

En la Tabla 3 se presenta la superficie que de cada tipo de suelo en la cuenca del río Rímac.

En la Figura 18, del Anexo 2, se presenta el mapa de suelos de la cuenca del río Rímac.

**Tabla 3: Tipos de suelo en la cuenca del río Rímac**

Nombre	Código	Área (km <sup>2</sup> )	(%)
Hydric Cryofibrists - Lithic Cryorthents	CFHISTh-COI	8.07	0.23
Lithic Cryorthents - Typic Haplocryands - M(r)	COI-HCANt-M(r)	1399.14	39.93
Lithic Cryorthents - M(r)	COI-M(r)	4.46	0.13
Lithic Torriorthents - M(r)	TOI-M(r)	946.97	27.03
Typic Torripsamments - M(r)	TPSENTt-M(r)	331.69	9.47
Typic Ustifluvents - Typic Ustorthents	UFt-UOt	72.87	2.08
Lithic Ustorthents - M(r)	UOI-M(r)	0.08	0.00
Lithic Ustorthents - Typic Ustorthents	UOI-UOt	58.46	1.67
Lithic Ustorthents - Typic Ustorthents - M(r)	UOI-UOt-M(r)	426.07	12.16
Misceláneo (nival) - M(r)	M(n)-M(r)	10.72	0.31
Área urbana	U	245.42	7.00

## 3.2 MATERIALES Y EQUIPOS

En el desarrollo de la presente investigación se empleó:

- Información cartográfica y geoespacial de la cuenca obtenida de los geoservidores de diferentes fuentes (Tabla 4). La información fue adquirida en formato *shapefile*.
- Información de precipitación del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENMAHI).
- Información de deslizamientos de tierra de las fichas de emergencias de la plataforma del Sistema Nacional de Información para la Prevención y Atención de Desastres del Instituto Nacional de Defensa Civil (SINPAD-INDECI).

Además, se emplearon los siguientes *softwares* y equipos para el procesamiento de la información:

- ArcMap 10.6.
- Google Earth Pro.

- Lenguaje de programación R.
- Microsoft Office 365.
- Equipo personal de cómputo Windows 10 - Procesador Intel Core i7.

**Tabla 4: Fuentes de información geoespacial de la cuenca del río Rímac**

N°	Descripción	Fuente
1	Cuenca del río Rímac	ANA
2	Microcuencas del río Rímac	ANA
3	Cobertura vegetal	MINAM
4	Información de ríos y quebradas	MINEDU
5	Información de curvas de nivel 50 m	MINAM
6	Información de suelos	MINAM
7	Centros poblados	MINAM
8	Relieve (ASTER GDEM)	MINAM
9	Limite departamental, provincial y distrital	MINAM

### 3.3 METODOLOGÍA

#### 3.3.1 Identificación y selección de estaciones meteorológicas

Se realizó el registro de todas las estaciones meteorológicas e hidrológicas ubicadas en la cuenca del río Rímac, así como, de las cuencas del río Chillón y Lurín. Se consignó el código de la estación meteorológica, el tipo, las variables registradas, años y/o periodo de registro, frecuencia de toma de datos, coordenadas geográfica y altitud.

Luego, se procedió a recopilar la información de precipitación para el periodo 2005 al 2017. Durante esta fase, se identificaron dos frecuencias de toma de datos, para la variable de precipitación, que correspondían a registros cada 1 y 12 horas.

Posteriormente, se procedió a la selección de estaciones con las que se trabajó en la determinación de los umbrales, para esto se establecieron los siguientes criterios:

- Contar con registros de precipitación dentro del periodo de estudio.
- Contar con, por lo menos, 6 meses continuos de información de precipitación.

### **3.3.2 Recopilación de información de deslizamientos de tierra**

Se registraron los deslizamientos de tierra ocurridos en la cuenca del río Rímac durante el periodo 2005 al 2017, la recopilación de la información fue a través de la búsqueda de artículos, reportes, periódicos y fichas de emergencias de la plataforma SINPAD-INDECI.

La información básica recolectada comprendió: fecha y hora, tipo y/o descripción del evento y la ubicación geográfica. En el caso de la ubicación geográfica, la mayoría de los deslizamientos tenía una ubicación referencial mas no coordenadas geográficas, por lo que con ayuda del programa *Google Earth* se procedió a determinar la ubicación aproximada de cada evento asignándole la precisión geográfica correspondiente.

### **3.3.3 Procesamiento y caracterización de los deslizamientos de tierra**

Es importante mencionar que la calidad de la información es determinante para obtener umbrales confiables, por esta razón, se determinaron dos tipos de precisión para los deslizamientos de tierra en la cuenca, una temporal (T) y otra geográfica (G).

El primer tipo de precisión contó con tres clases, la primera (T<sub>1</sub>) incluye deslizamientos de tierra para los cuales se conoció la hora exacta de ocurrencia, la segunda y la tercera clase fueron atribuidas a deslizamientos de tierra para los cuales se infirió la parte del día (T<sub>2</sub>) o el día de ocurrencia (T<sub>3</sub>), respectivamente. Los valores de las clases fueron adoptados de la metodología utilizada por Gariano *et al.* (2015).

Para la precisión geográfica se determinaron cuatro clases, la primera (G<sub>1</sub>) se les atribuyó a los deslizamientos de tierra con una precisión geográfica menor o igual a 1 km<sup>2</sup>, la segunda (G<sub>10</sub>) a aquellos con una precisión menor a 10 km<sup>2</sup>, la tercera (G<sub>100</sub>) y cuarta (G<sub>300</sub>) a eventos que fueron ubicados con una precisión menor a 100 km<sup>2</sup> o 300 km<sup>2</sup>, respectivamente. Los valores de las clases fueron adoptados de la metodología empleada por Peruccacci *et al.* (2012).

Ubicados los deslizamientos de tierra se determinó el tipo de cobertura vegetal y de suelo asociado a cada evento, esto se logró mediante el uso de sistemas de información geográfica (SIG). Conforme lo menciona Peruccacci *et al.* (2012), los deslizamientos de tierra son ubicados de manera puntual, por lo que la selección de un tipo de cobertura vegetal o de suelo puede verse afectado por los diferentes niveles de precisión de mapeo. Por lo tanto,

cada deslizamiento de tierra fue representado por un círculo con un área (A) en función a la precisión geográfica (G). En la Tabla 5 se presenta el área del círculo asignado para cada categoría de precisión geográfica.

**Tabla 5 : Parámetros para determinar el tipo de cobertura vegetal y suelo de los deslizamientos de tierra**

<b>Etiqueta</b>	<b>Precisión geográfica (km<sup>2</sup>)</b>	<b>Área circular (km<sup>2</sup>)</b>
G <sub>1</sub>	1	0.5
G <sub>10</sub>	10	5.0
G <sub>100</sub>	100	50.0
G <sub>300</sub>	300	150.0

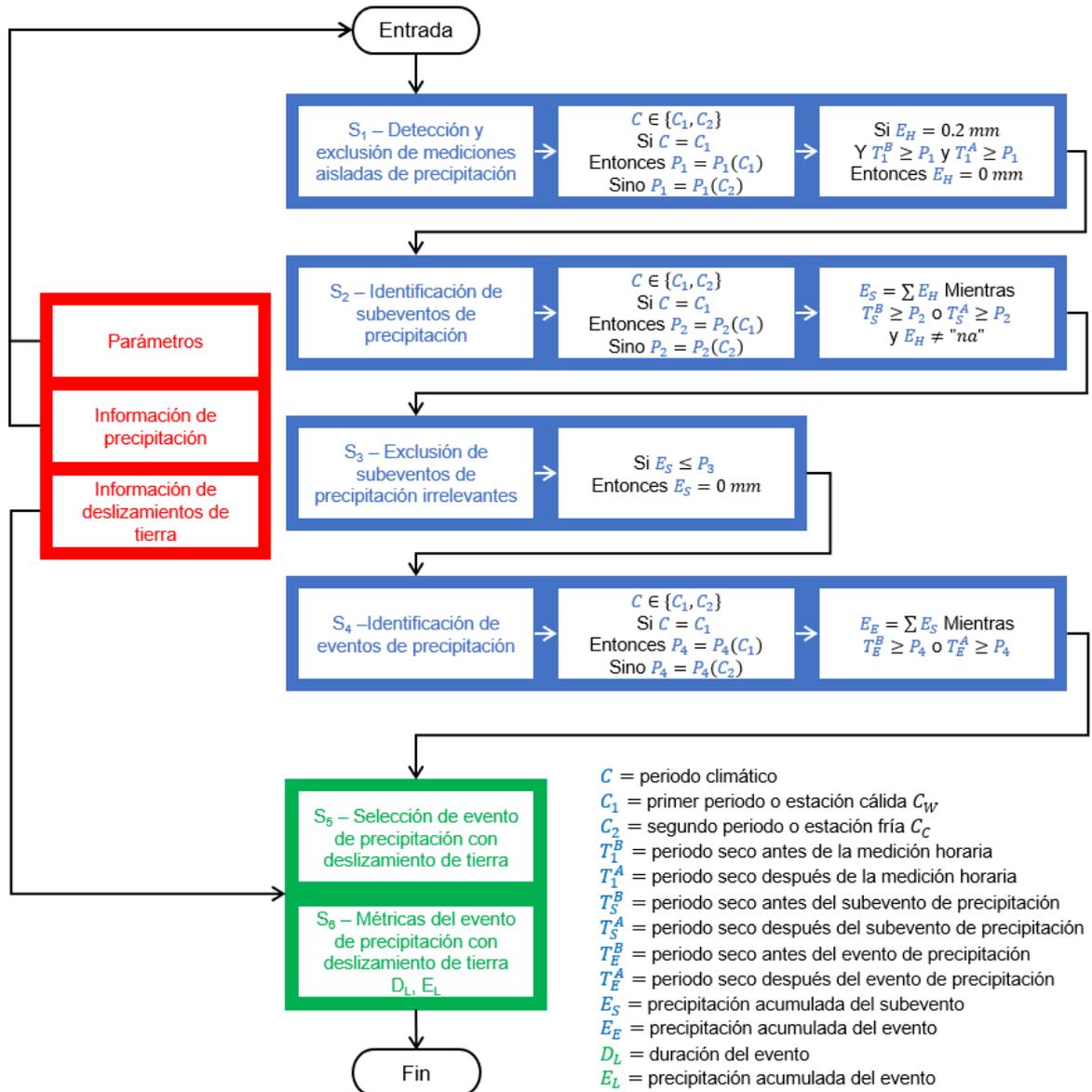
FUENTE: Peruccacci *et al.* (2012)

Estas áreas circulares fueron interceptadas con los *shapefiles*, de información física de la cuenca, relacionados a cobertura vegetal y suelo. Para cada caso, se calcularon las áreas correspondientes para las diferentes clases de vegetación y suelo, ya que un evento podría contener dentro de su área circular (A) una o más categorías distintas. Para determinar la clase de cada evento, se seleccionó aquella que tuviera un área superior al 50 por ciento del área total del círculo.

Finalmente, se organizó la información en una base de datos de deslizamientos de tierra, en la cual se consignó información como: código, fecha, hora, tipo, coordenadas geográficas, precisión geográfica y temporal, tipo de cobertura vegetal y suelo.

### **3.3.4 Determinación de eventos de precipitación responsables de deslizamientos de tierra**

Los eventos de precipitación se determinaron empleando y adaptando la metodología descrita por Melillo *et al.* (2015), la cual utiliza un algoritmo que (1) detecta el evento de precipitación desde un registro estándar de mediciones de precipitación, (2) calcula la duración (D<sub>E</sub>) y cantidad acumulada (E<sub>E</sub>) del evento, (3) asocia la información de los deslizamientos de tierra (o la falta de estos) al evento de precipitación y, finalmente, (4) mide la duración (D<sub>L</sub>) y precipitación acumulada (E<sub>L</sub>) responsable de estos. Los autores mencionan que este algoritmo procesa la información en dos bloques lógicos principales. En la Figura 6 se presenta el marco lógico del funcionamiento del algoritmo.



**Figura 6 : Marco lógico del algoritmo para la reconstrucción objetiva de eventos y condiciones de precipitación responsables de deslizamientos de tierra.**

FUENTE: Melillo *et al.* (2015)

El primer bloque realiza una reconstrucción automática del evento de precipitación y el segundo selecciona el evento que ha resultado en deslizamientos de tierra y determina la duración ( $D_L$ ) y la precipitación acumulada ( $E_L$ ) responsable de la ocurrencia de este.

Un evento de precipitación es un periodo o conjunto cronológico de periodos de precipitación continua, separados entre sí por periodos secos sin lluvia. La duración de los

períodos secos puede variar dependiendo, por ejemplo, de condiciones estacionales, meteorológicas o climáticas.

La metodología descrita a continuación es adaptada de Melillo *et al.* (2015), quienes desarrollaron el algoritmo para el hemisferio norte, por lo que es importante mencionar que se tomaron en cuenta las consideraciones necesarias para aplicarla a las condiciones del hemisferio sur.

#### **a. Reconstrucción de eventos de precipitación**

Consta de la reconstrucción individual de eventos de precipitación obtenidos de un registro de lluvias. Este bloque consta de cinco pasos sucesivos, incluyendo un paso de preprocesamiento.

- **Paso 0: Preprocesamiento de información de precipitación ( $S_0$ )**

Trabaja sobre un registro continuo de mediciones de precipitación, obtenidos de un pluviómetro, para un periodo determinado. Los registros de precipitación son típicamente discontinuos (o incompletos), con pocas o muchas mediciones ausentes debido a problemas técnicos u operacionales. Los vacíos pueden ir desde un mínimo de una hora hasta varios días o semanas, es así como el algoritmo revisa la continuidad de la información y detecta estos vacíos, o mediciones no disponibles, y los reemplaza por valores nulos (de ahora en adelante NA).

Adicionalmente, el registro de lluvias puede contener mediciones horarias ( $E_H$ ) que son inferiores a la sensibilidad del instrumento de toma de datos ( $G_S$ ). Estas mediciones son consideradas como ruido, por lo que el algoritmo establece su valor como 0,0 mm. Es importante tener en cuenta que NA significa ausencia de información en el registro, mientras que 0,0 mm significa que la información ha sido registrada, pero se considera como ruido.

- **Paso 1: Detección y exclusión de mediciones aisladas de precipitación ( $S_1$ )**

Empieza identificando mediciones aisladas de precipitación horaria, esta es definida como una medición horaria, separada de una precipitación inmediata anterior y posterior por un periodo seco que exceda un valor determinado ( $P_1$ ). La duración del periodo seco depende

de las condiciones climáticas estacionales y locales (C). Para el presente estudio, se establecieron dos periodos estacionales, uno correspondiente a una estación cálida ( $C_w$ ), de diciembre a abril; y otro a una fría ( $C_c$ ), de mayo a noviembre.

Para la estación cálida, el intervalo o periodo seco que separa mediciones de precipitación aislada ( $P_1$ ) es de tres horas, mientras que, para el periodo frío, es de seis horas. Una vez identificada la medición aislada de precipitación horaria, se evalúa su relevancia individual para la reconstrucción de la condición de precipitación responsable de la posible ocurrencia de deslizamientos de tierra. Para esto se consideró que una precipitación ( $E_H$ ) es relevante cuando excede un valor ( $E_R$ ) de 0,2 mm e irrelevante cuando es igual a este.

- **Paso 2: Identificación de subeventos de precipitación ( $S_2$ )**

Realiza la búsqueda de subeventos individuales de precipitación, el cual se define como el periodo de precipitación continua, separada de un subevento inmediato anterior y posterior por periodos secos. De igual manera que en el paso anterior, la duración del periodo seco ( $P_2$ ) puede variar dependiendo de las condiciones climáticas estacionales y locales. Para este caso, se consideró un periodo seco de seis horas para la estación cálida ( $C_w$ ) y de 12 horas para la fría ( $C_c$ ).

Al reconstruir el subevento de precipitación, el algoritmo toma en cuenta la continuidad del registro de precipitación. Si se encuentran una o varias mediciones NA en el registro de precipitación del subevento, este se excluye del análisis. Si no se encuentran valores NA, el subevento es definido y las métricas de la precipitación son calculadas, estas incluyen (1) la duración ( $D_s$ ), calculada mediante la suma del número de horas en el subevento, y (2) la precipitación total del subevento ( $E_s$ ), calculada mediante la suma de las precipitaciones horarias en el subevento ( $\Sigma E_H$ ).

- **Paso 3: Exclusión de subeventos de precipitación irrelevantes ( $S_3$ )**

Busca subeventos que puedan ser considerados irrelevantes para la reconstrucción del evento de precipitación responsable de deslizamientos de tierra. Un subevento es considerado irrelevante si su precipitación (total) acumulada ( $E_s$ ) es menor a un umbral dado ( $P_3$ ), independiente de la duración del subevento. Para este caso, se consideró un valor  $P_3$  igual a 1 mm.

- **Paso 4: Identificación de eventos de precipitación (S<sub>4</sub>)**

Agrupar uno o varios subeventos para obtener un evento de precipitación, el cual se define como un periodo de precipitación continua, o un conjunto de precipitaciones continuas, separada del evento inmediato anterior y posterior por periodos secos. De igual manera que en pasos anteriores, la duración mínima del periodo seco (P<sub>4</sub>) puede variar dependiendo de las condiciones climáticas estacionales y locales. Se consideró un periodo seco de 48 horas para la estación cálida (C<sub>w</sub>) y de 96 horas para la estación fría (C<sub>c</sub>).

Una vez que todos los eventos de precipitación son definidos, el algoritmo calcula las métricas para cada evento de precipitación detectado, estas incluyen (1) la duración del evento (D<sub>E</sub>), calculada mediante la suma del número de horas en el evento de precipitación, incluyendo aquellas donde E<sub>H</sub> es igual a cero; y (2) la precipitación acumulada total del evento (E<sub>E</sub>), calculada mediante la suma de las precipitaciones de los subeventos ( $\Sigma E_S$ ).

**Tabla 6: Parámetros del algoritmo para reconstrucción de eventos de precipitación**

Paso	Parámetros	Valor de los parámetros		Unidad
		P(C <sub>w</sub> )	P(C <sub>c</sub> )	
S <sub>0</sub>	G <sub>S</sub>	0.2	0.2	mm
S <sub>1</sub>	E <sub>R</sub>	0.2	0.2	mm
S <sub>1</sub>	P <sub>1</sub>	3.0	6.0	h
S <sub>2</sub>	P <sub>2</sub>	6.0	12.0	h
S <sub>3</sub>	P <sub>3</sub>	1.0	1.0	mm
S <sub>4</sub>	P <sub>4</sub>	48.0	96.0	h

FUENTE: Melillo *et al.* (2015)

En la Tabla 6 se observa los parámetros usados para la reconstrucción de los eventos de precipitación.

**b. Selección de eventos de precipitación responsables de deslizamientos de tierra**

Obtenidos los eventos de precipitación y sus métricas, se procede a combinarlos con la información de los deslizamientos de tierra. Este bloque consta de dos pasos adicionales.

- **Paso 5: Selección del evento de precipitación con deslizamiento de tierra**

Selecciona los eventos de precipitación para los cuales se cuenta con información de ocurrencia de deslizamientos de tierra. Luego, se asigna una estación meteorológica (pluviómetro) representativa a cada deslizamiento de tierra. Los criterios para la selección de la estación representativa fueron adoptados de la metodología descrita por Brunetti *et al.*

(2010) y Peruccacci *et al.* (2012), quienes establecen tres criterios: (1) la distancia geográfica entre el pluviómetro y el deslizamiento de tierra no debe exceder los 15 km, (2) la elevación del pluviómetro debe ser similar o comparable con el evento evaluado y, (3) la ubicación del pluviómetro, con respecto a las características topográficas y morfológicas locales, debe encontrarse en pendientes orientadas en la misma dirección, en el mismo valle o en valles con condiciones similares.

El algoritmo compara las fechas de inicio y fin del evento de precipitación, identificado en el primer bloque lógico, con un registro de fechas (día y hora) de ocurrencia de deslizamientos de tierra, el que luego es asociado con un solo evento de precipitación.

- **Paso 6: Mediciones de precipitación para eventos con deslizamientos de tierra**

Para cada evento de precipitación con deslizamiento de tierra, el algoritmo calcula las métricas de la precipitación responsable de la falla, esta corresponde a (1) la duración ( $D_L$ ) y (2) la precipitación acumulada ( $E_L$ ). Se debe tener en cuenta que la duración y precipitación acumulada ( $D_L$  y  $E_L$ ) responsables de la ocurrencia de deslizamientos de tierra no es, necesariamente, igual a la duración y precipitación acumulada del evento de precipitación ( $D_E$  y  $E_E$ ). Normalmente, los deslizamientos de tierra ocurren antes o al final del periodo de precipitación, por lo que las lluvias posteriores al deslizamiento no pueden considerarse relevantes para el inicio de estos.

Ocasionalmente, los deslizamientos de tierra pueden ocurrir después del fin del evento de precipitación, en este caso, la precipitación acumulada responsable de la falla corresponde a la del evento de precipitación, lo mismo con la duración.

Debido a que un evento de precipitación puede estar conformado por uno o varios subeventos, el algoritmo reconstruye múltiples combinaciones de subeventos (y sus métricas) que puedan ser responsables de activar los deslizamientos de tierra. Si no hay información adicional, todos los subeventos, de un evento de precipitación con deslizamiento de tierra, identificados por el algoritmo tienen la misma probabilidad de haber causado la falla.

Los criterios para la elección del subevento responsable del deslizamiento de tierra tomó en cuenta (1) la intensidad de la precipitación y (2) el cambio en la pendiente de la precipitación acumulada.

### **3.3.5 Catálogo de eventos de precipitación responsables de deslizamientos de tierra**

Con la información obtenida del algoritmo usado para la determinación de eventos de precipitación responsables de deslizamientos, se elaboró un catálogo donde se compiló las condiciones de duración (D) y precipitación acumulada (E) que resultaron en deslizamientos de tierra en la cuenca del río Rímac para un periodo de 12 años, entre enero del 2005 y diciembre del 2017.

El catálogo fue dividido en dos grupos, uno de calibración y otro de validación. El primer grupo contiene el 70 por ciento del total de eventos, para el periodo de estudio, mientras que el grupo de validación el 30 por ciento restante, los eventos fueron seleccionados de manera aleatoria.

El catálogo fue elaborado a partir de una base de datos (Tabla 21, del Anexo 1) que cuenta con la siguiente información:

- Identificador único del evento de precipitación (REL).
- Código de estación meteorológica.
- Código del deslizamiento de tierra.
- Fecha de ocurrencia del deslizamiento de tierra (día, mes, año, hora).
- Inicio y fin del evento de precipitación responsable.
- Métricas de los eventos de precipitación responsables de deslizamientos de tierra (duración (h), precipitación acumulada (mm), intensidad (mm/h)).
- Grupo de evaluación.

### **3.3.6 Determinación de umbrales de precipitación para la cuenca del río Rímac**

Se utilizó la metodología descrita por Gariano *et al.* (2015), la cual adopta el enfoque propuesto por Brunetti *et al.* (2010) y modificado por Peruccacci *et al.* (2012). El enfoque utilizado por los autores es frecuentista, el cual es usado para determinar la intercepta ( $\alpha$ ) y el parámetro de forma ( $\gamma$ ) de la curva de la ley de potencia; este método está basado en un análisis de frecuencias de las condiciones empíricas de precipitación que han resultado en

deslizamientos de tierra. La modificación realizada por Peruccacci *et al.* (2012), asume que la curva del umbral es una relación de ley de potencia (Ecuación 1) que vincula la precipitación acumulada del evento (E), en mm, con la duración (D), en horas.

$$E = \alpha \cdot D^\gamma \dots (1)$$

Como lo menciona Peruccacci *et al.* (2012), cuando nuevos eventos de precipitación con deslizamientos de tierra son registrados en el área de estudio, la población de datos cambia y, en consecuencia, el umbral debe ser recalculado. La nueva curva puede diferir del umbral anterior, especialmente si la población inicial de datos es pequeña. Entonces, para conocer la significancia y extensión de estas diferencias, se toman en cuenta las incertidumbres asociadas a los parámetros  $\alpha$  y  $\gamma$  (las que también pueden decidir si uno o más umbrales son estadísticamente diferentes), tal y como se muestra en la Ecuación 2.

$$E = (\alpha \pm \Delta\alpha) \cdot D^{(\gamma \pm \Delta\gamma)} \dots (2)$$

Donde,  $\alpha$  es la constante de escalamiento (intercepta),  $\gamma$  es el parámetro de forma (que controla la pendiente de la curva del umbral),  $\Delta\alpha$  y  $\Delta\gamma$  representan las incertidumbres de  $\alpha$  y  $\gamma$ , respectivamente.

### 3.3.7 Calibración de umbrales de precipitación

A partir del catálogo de eventos de precipitación con deslizamientos de tierra, se utilizó el grupo de datos (D, E) de calibración para determinar los umbrales de precipitación. Siguiendo lo propuesto por Peruccacci *et al.* (2012), se realizó una transformación logarítmica de los datos empíricos E y D; la distribución de las condiciones de precipitación ( $\log(E)$  vs  $\log(D)$ ) que resultaron en deslizamientos de tierra fueron ajustados por el método de mínimos cuadrados a una ecuación lineal del tipo  $\log(E) = \log(\alpha) + \gamma \log(D)$ , la cual es equivalente a la ley de potencia en coordenadas lineales.

Para cada punto DE, se calculó la diferencia entre E y el ajuste calculado. Utilizando la estimación de la densidad Kernel (KDE), técnica no paramétrica para estimar la función de densidad de probabilidad (PDF) de una variable aleatoria, se determinó la densidad de la probabilidad de las diferencias la cual fue modelada usando una función gaussiana (Ecuación 3), mediante la cual se definieron los umbrales para diferentes niveles de probabilidad de excedencia.

$$f(x) = a \times \exp\left(-\frac{(x-b)^2}{2c^2}\right) \dots (3)$$

Los valores medios de  $\alpha$  (intercepta) y  $\gamma$  (pendiente), y las incertidumbres asociadas  $\Delta\alpha$  y  $\Delta\gamma$  fueron estimadas adoptando la técnica estadística *bootstrap*, la cual consiste en una técnica no paramétrica para evaluar la distribución media de muestras de una población a partir de un conjunto empírico de datos. Esta genera una serie de repeticiones (k) de una selección aleatoria de eventos (m) de una población de data empírica (n), que para el presente estudio correspondió al grupo de calibración. Para determinar los valores medios de  $\alpha$  y  $\gamma$ , y las incertidumbres asociadas, a diferentes niveles de probabilidad de excedencia, se utilizó  $k = 5000$  y  $m = n$ .

En la Tabla 7 se observa umbrales de precipitación, al 5 por ciento de probabilidad de excedencia, calculados con la metodología utilizada por Peruccacci *et al.* (2012). Estos umbrales fueron determinados para 3 regiones de Italia, cada uno con su propio número de eventos de precipitación responsables de deslizamientos de tierra (REL); Peruccacci *et al.* (2012) trabajaron sobre Abruzzo, Marche y Umbria (superficie 28 950 km<sup>2</sup>), zona central de Italia, mientras que Vennari *et al.* (2014) trabajaron en Calabria (superficie 15 080 km<sup>2</sup>) y Gariano *et al.* (2015) en Sicilia (superficie 25 711 km<sup>2</sup>).

**Tabla 7: Umbrales de precipitación para diferentes regiones de Italia**

REL	Periodo de estudio	Ecuación	$\Delta\alpha/\alpha$ (%)	$\Delta\gamma/\gamma$ (%)	Autor
442	2002-2010	$E = (7.4 \pm 0.5) \cdot D^{0.38 \pm 0.02}$	6.8	5.3	Peruccacci <i>et al.</i> (2012)
186	1996-2011	$E = (8.6 \pm 1.1) \cdot D^{0.41 \pm 0.03}$	13.8	7.3	Vennari <i>et al.</i> (2014)
200	2002-2011	$E = (10.4 \pm 1.0) \cdot D^{0.27 \pm 0.03}$	13.5	11.1	Gariano <i>et al.</i> (2015)

Al igual que lo desarrollado en el Acápite 3.3.3, se procedió a determinar los tipos de cobertura vegetal y suelo para cada evento de precipitación responsable de deslizamientos de tierra. Para este caso, se estableció el área AT, la cual corresponde a la sumatoria de las áreas parciales (A) de los deslizamientos de tierra que ocurrieron con un mismo evento de precipitación. Para elegir el tipo de cobertura vegetal y suelo, se seleccionó la categoría que tuviera una superficie mayor o igual al 70 por ciento del área AT.

Peruccacci *et al.* (2012) mencionan que la confiabilidad de un umbral está relacionado a la incertidumbre relativa  $\Delta\alpha/\alpha$  y  $\Delta\gamma/\gamma$ ; además, proponen que esta debe ser menor o igual al 10 por ciento. Conforme a lo descrito, se evaluó el número de eventos de precipitación

responsables de deslizamientos de tierra, necesarios para obtener umbrales confiables, esto se realizó mediante el análisis de la dependencia de los parámetros del modelo ( $\alpha$ ,  $\gamma$ ,  $\Delta\alpha$  y  $\Delta\gamma$ ). De esta manera, se establece que el número mínimo de eventos de precipitación es aquel cuya incertidumbre relativa  $\Delta\alpha/\alpha$  y  $\Delta\gamma/\gamma$  se aproxime, o sea menor, a 10 por ciento.

### **3.3.8 Validación de umbrales de precipitación**

Determinados los umbrales y la incertidumbre asociada, se procedió a validar el desempeño los mismos. Se adoptó la metodología descrita por Gariano *et al.* (2015), quienes mencionan que para propósitos de validación, un umbral de precipitación puede ser considerado como un clasificador binario de las condiciones de precipitación que son probables (y no probables) de resultar en deslizamientos de tierra.

Se utilizaron los datos del grupo de validación y los eventos de precipitación reconstruidos usando el algoritmo de Melillo *et al.* (2015); de esta manera se logró contar con un mayor número de eventos en la validación de los umbrales. Es importante mencionar que solo se utilizaron los eventos reconstruidos para los años del grupo de validación y no de todo el periodo de estudio.

El uso de los eventos de precipitación reconstruidos responde a que la documentación sobre deslizamientos de tierra es inherentemente incompleta, lo que significa que el número eventos documentados es un subgrupo del total de eventos que ocurrieron en la cuenca para el periodo evaluado.

Esto quiere decir que los deslizamientos de tierra pueden haber ocurrido, pero no reportados, o reportados, pero no incluidos en el catálogo porque (1) tenían una pobre o imprecisa ubicación geográfica, (2) no se determinó un pluviómetro representativo, o (3) se contaba con pluviómetro, pero no con un registro de precipitación.

El clasificador binario, adoptado de Gariano *et al.* (2015), determina cuatro posibles resultados o contingencias. Un verdadero positivo (TP) como un dato empírico (condición de precipitación) ubicado por encima del umbral que ha resultado en al menos un deslizamiento de tierra, mientras que, un verdadero negativo (TN) es un dato empírico debajo del umbral que no ha resultado en deslizamientos de tierra. Los falsos positivos (FP) ocurren cuando las condiciones de precipitación exceden al umbral, pero el deslizamiento de tierra no ocurre (o no es reportado) mientras que, los falsos negativos (FN) se dan cuando

las condiciones de precipitación se encuentran por debajo del umbral y ocurren deslizamientos de tierra. Los FP, también, se conocen como falsas alarmas y los FN como alarmas perdidas. En la Tabla 8 se presenta la tabla de contingencia del clasificador binario.

**Tabla 8: Tabla de contingencia para un modelo de clasificador binario**

Evento pronosticado	Evento observado		Total
	Si	No	
Si	TP	FP	(TP+FP)
No	FN	TN	(FN+TN)
Total	(TP+FN)	(FP+TN)	

FUENTE: Gariano *et al.* (2015)

En función a las cuatro contingencias se calcularon los siguientes índices de puntuación (*skill scores*):

- POD (Probabilidad de detección), también conocido como tasa de acierto, que es la proporción de eventos que fueron predichos correctamente.
- POFD (Probabilidad de falsa detección), también conocido como tasa de falsa alarma, que es la proporción de predicciones correctas cuando el evento no ocurre.
- POFA (Probabilidad de falsa alarma), también conocido como la proporción de falsa alarma, es la relación entre el número de falsas alarmas y el número total de pronósticos correctos.
- Puntuación de Hanssen y Kuipers (HK), que mide la precisión de la predicción para eventos con y sin deslizamientos de tierra. El HK depende linealmente de POD y POFD ( $HK=POD-POFD$ ).

Complementariamente, en la Tabla 9 se presenta la fórmula y valor óptimo de los índices de puntuación utilizados en la validación de los umbrales.

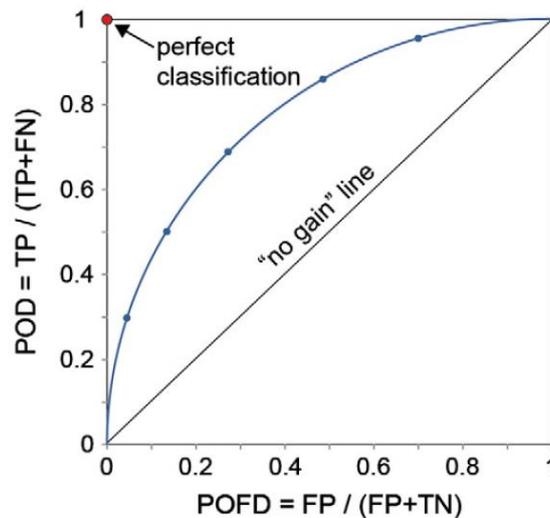
La capacidad predictiva de los umbrales de precipitación, para diferentes niveles de probabilidad de excedencia, fue evaluada a través de un análisis ROC (*Receiver Operating Characteristic*), el cual consiste en la construcción de una trama que muestra POD con respecto a POFD y donde cada punto representa la capacidad de predicción de un único umbral de precipitación.

**Tabla 9 : Índices de puntuación para validación de umbrales**

Índice de puntuación	Formula	Rango	Valor óptimo
Probabilidad de detección	$POD = \frac{TP}{TP + FN}$	[0, 1]	1
Probabilidad de falsa detección	$POFD = \frac{FP}{FP + TN}$	[0, 1]	0
Probabilidad de falsa alarma	$POFA = \frac{FP}{TP + FP}$	[0, 1]	0
Puntuación de Hanssen y Kuipers	$HK = \left(\frac{TP}{TP + FN}\right) - \left(\frac{FP}{FP + TN}\right)$	[-1, 1]	1

FUENTE: Gariano *et al.* (2015)

Luego, se determinó la distancia euclidiana ( $\delta$ ) de cada punto, correspondiente a cada umbral de precipitación, con respecto a la clasificación perfecta. El mejor desempeño de pronóstico corresponde a la esquina superior izquierda del ROC (clasificación perfecta, punto rojo en la Figura 7). Cuanto más cerca se esté de la clasificación perfecta, mejor será la habilidad de predicción del modelo.



**Figura 7 : Espacio ROC, con el resultado del modelo hipotético**

FUENTE: Gariano *et al.* (2015)

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1 ESTACIONES METEOROLÓGICAS

Los resultados de la identificación y selección de estaciones meteorológicas se muestran en la Tabla 10.

**Tabla 10: Estaciones meteorológicas e hidrológicas identificadas en el área de estudio**

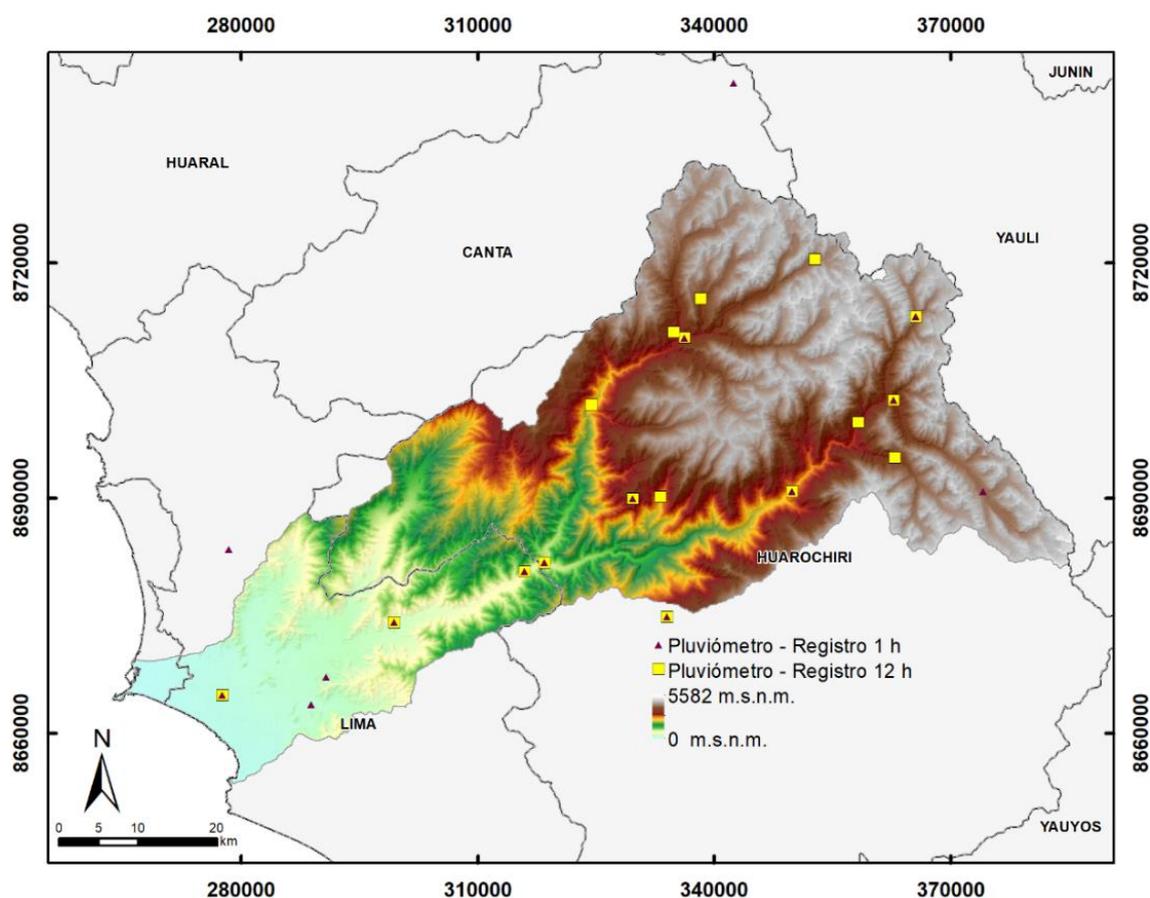
	Total	Cuenca		
		Rímac	Chillón	Lurín
Estaciones meteorológicas	67	54	8	5
Estaciones hidrológicas	12	12	0	0
<b>Estaciones seleccionadas</b>	<b>32</b>			
Frecuencia de registro – 1 hora	15	12	2	1
Frecuencia de registro – 12 horas	17	16	0	1
<b>Periodo datos</b>				
Hasta 5 años	10	7	2	1
Hasta 10 años	2	2	0	0
Hasta 15 años	19	18	0	1
Más de 15 años	1	1	0	0
<b>Provincias y distritos</b>				
Canta	1	0	1	0
Huaros	1	0	1	0
Huarocharí	22	20	0	2
Carampoma	3	3	0	0
Chicla	4	4	0	0
Huanza	2	2	0	0
Matucana	2	2	0	0
San Antonio	1	1	0	0
San Mateo	3	3	0	0
San Mateo de Otao	3	3	0	0
Santa Eulalia	2	2	0	0
Santiago de Tuna	2	0	0	2
Lima	9	8	1	0
Ate	1	1	0	0
Carabayllo	1	0	1	0
Jesús María	2	2	0	0
La Molina	1	1	0	0
Lurigancho	4	4	0	0

En la Tabla 10 se observa que, de las 79 estaciones meteorológicas e hidrológicas identificadas en la cuenca de estudio y cuencas vecinas, aproximadamente, el 40,5 por ciento fue seleccionado ya que contaban con información de precipitación. De las 32 estaciones

seleccionadas, el 87,5 por ciento pertenecen a la cuenca del río Rímac; el 46,9 por ciento cuenta con registros horarios y el 53,1 por ciento con registros cada 12 horas.

Con respecto al periodo de registro de datos, el 59,4 por ciento cuenta con información de precipitación de hasta 15 años, el 31,3 por ciento hasta 5 años, el 6,3 por ciento hasta 10 años y, el 3,1 por ciento con registros mayores a 15 años.

También, se observa que la provincia de Huarochirí es la que cuenta con mayor número de estaciones seleccionadas, llegando a un aproximado del 68,8 por ciento, seguida por la provincia de Lima, con el 28,1 por ciento; y, finalmente, la provincia de Canta con el 3,1 por ciento.



**Figura 8 : Distribución espacial de las estaciones meteorológicas seleccionadas**

Considerando las estaciones meteorológicas seleccionadas ubicadas dentro de la cuenca del río Rímac, se determinó una densidad promedio de un pluviómetro cada 125,14 km<sup>2</sup>. Además, en la Figura 8 se observa que las estaciones seleccionadas se ubican, principalmente, a lo largo de los valles de la cuenca y no presentan una distribución uniforme. Así mismo, 9 estaciones

comparten la misma ubicación geográfica, por lo tanto, teniendo en cuenta esta distribución, la densidad promedio de pluviómetros es de uno cada 184,42 km<sup>2</sup>. En la Figura 15, del Anexo 2, se presenta mayor detalle sobre la distribución de las estaciones meteorológicas.

Conforme a estudios realizados en Italia con información de precipitación horaria, Peruccacci *et al.* (2012) trabajaron con densidades de un pluviómetro cada 430 km<sup>2</sup>, 120 km<sup>2</sup> y 180 km<sup>2</sup> para las regiones de Abruzzo, Marche y Umbria, respectivamente. Mientras que, Vennari *et al.* (2014) y Gariano *et al.* (2015) con densidades de uno cada 130 km<sup>2</sup> y 150 km<sup>2</sup>, respectivamente. Considerando sólo las estaciones con registros horarios en la cuenca, la densidad estimada es de un pluviómetro horario cada 292 km<sup>2</sup>, densidad relativamente baja en comparación con los estudios realizados por los autores (con excepción de la región de Umbria).

## 4.2 DESLIZAMIENTOS DE TIERRA

De la información recopilada sobre los deslizamientos de tierra en la cuenca del río Rímac para el periodo de estudio, en la Tabla 11 se presenta los principales resultados referentes a la precisión espacial, temporal y el tipo de evento.

**Tabla 11: Características de los deslizamientos de tierra en el área de estudio**

	#R	#LS	Precisión geográfica				Precisión temporal			Tipo de evento			
			G <sub>1</sub>	G <sub>10</sub>	G <sub>100</sub>	G <sub>300</sub>	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	Dr	Ds	Hc	Mx
Total registrado	180	272	213	19	35	5	265	1	6	30	50	191	1

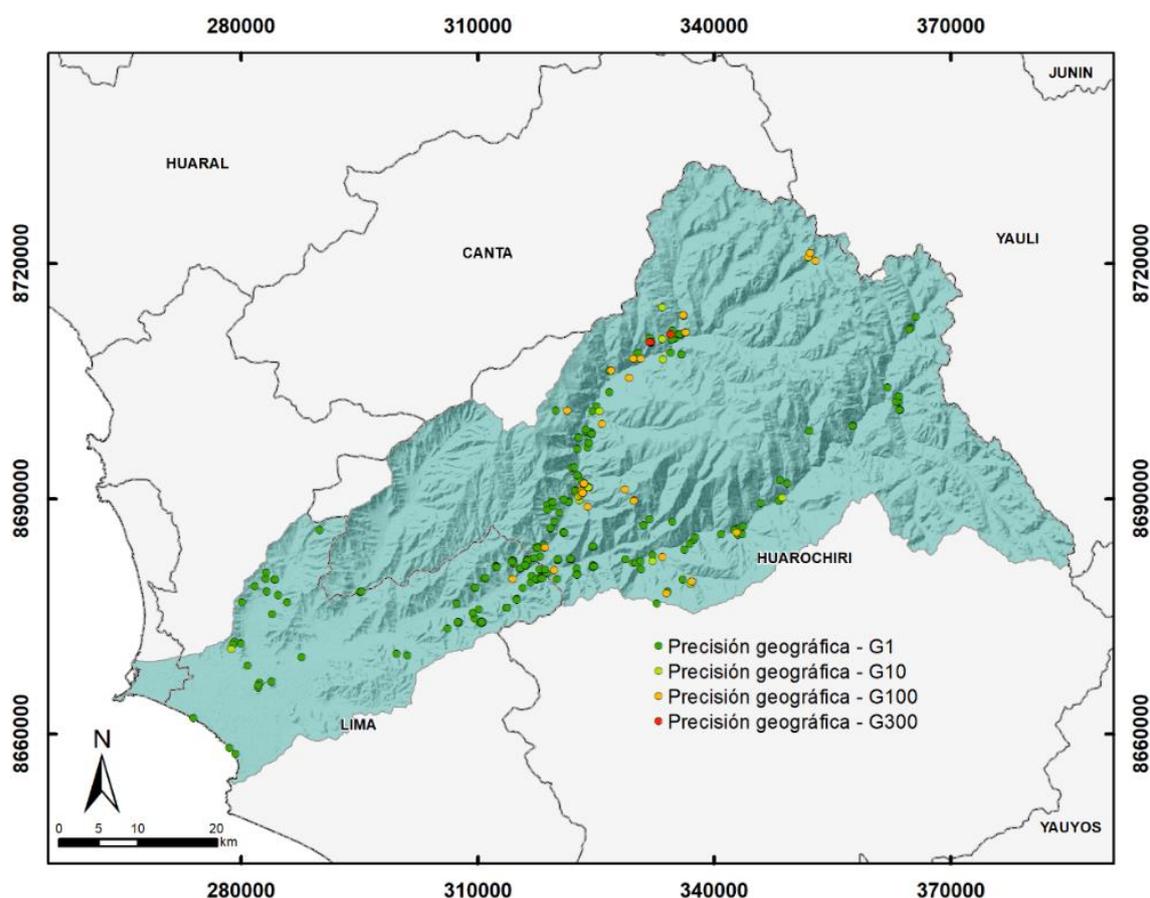
#R. Número de registros, #LS. Número de deslizamientos de tierra, Dr. Derrumbes, Ds. Deslizamientos, Hc. Flujos y Mx. evento mixto.

Aproximadamente, el 78,3 por ciento de los deslizamientos de tierra fueron registrados con una precisión geográfica de 1 km<sup>2</sup> (G<sub>1</sub>); 12,9 por ciento, con 100 km<sup>2</sup> (G<sub>100</sub>); 7,0 por ciento, con 10 km<sup>2</sup> (G<sub>10</sub>); y, solo el 1,8 por ciento con una precisión de 300 km<sup>2</sup> (G<sub>300</sub>). Con respecto a la precisión temporal, para el 97,4 por ciento se pudo determinar la hora exacta (T<sub>1</sub>), para 2,2 por ciento sólo se supo el día (T<sub>3</sub>) y para el 0,4 por ciento se pudo estimar la hora o parte del día de ocurrencia del deslizamiento de tierra (T<sub>2</sub>).

Es importante mencionar que los 272 deslizamientos de tierra provienen de 180 fichas y/o reportes individuales, esto quiere decir que un solo registro pudo haber contenido uno o más eventos y, por lo tanto, compartir la misma información en cuanto a la hora de ocurrencia, tipo de evento y ubicación geográfica. Esto puede generar una pérdida de la calidad de información ya que los deslizamientos de tierra no necesariamente ocurren exactamente a la misma hora y,

si ocurrieran, estos no se dan sobre el mismo espacio geográfico ni bajo las mismas condiciones meteorológicas.

Con respecto al tipo de evento, se observa que, aproximadamente, el 70,2 por ciento corresponde a flujos, el 18,4 por ciento a deslizamientos, el 11,0 por ciento fueron derrumbes y el 0,4 por ciento son eventos mixtos (flujos, deslizamiento, derrumbe, etc.).



**Figura 9 : Ubicación espacial de los deslizamientos de tierra en la cuenca**

Tomando en cuenta la superficie de la cuenca y la cantidad de deslizamientos de tierra que ocurrieron en el periodo de estudio, se determinó una densidad aproximada de 77,6 eventos por cada 1000 km<sup>2</sup>, sin embargo, es importante mencionar que la distribución de estos se da de manera concentrada en los valles de la cuenca y tiende a disminuir en las partes más altas y alejadas, tal y como se observa en la Figura 9. En la Figura 16, del Anexo 2, se presenta mayor detalle sobre la distribución de los deslizamientos de tierra.

**Tabla 12: Distribución temporal de deslizamientos de tierra en el área de estudio**

Año	Deslizamientos de tierra	Periodo estacional	
		Cálido	Frío
2005	2	0	2
2006	4	4	0
2007	0	0	0
2008	2	2	0
2009	19	17	2
2010	12	8	4
2011	4	0	4
2012	13	12	1
2013	2	1	1
2014	4	2	2
2015	23	23	0
2016	7	7	0
2017	180	177	3
<b>TOTAL</b>	<b>272</b>	<b>253</b>	<b>19</b>

En la Tabla 12 se observa que, aproximadamente, el 66,2 por ciento de los deslizamientos de tierra, registrados en la cuenca para el periodo de estudio, corresponden al 2017, en segundo lugar, al 2015 con el 8,5 por ciento; seguido del 2009, con el 7,0 por ciento; y, el resto de años con valores menores a 5,0 por ciento; siendo el 2007 el año que no presenta ningún reporte. Se debe señalar que hubo un evento del fenómeno El Niño Costero entre diciembre del 2016 y mayo del 2017, este fenómeno influyó en la cantidad de eventos que se dieron en la cuenca, ya que la ocurrencia de estos está estrechamente relacionada a la precipitación.

Con respecto al periodo estacional, se puede observar que los deslizamientos de tierra ocurridos en el periodo estacional cálido, entre diciembre y abril, representan el 93,0 por ciento y, solo el 7 por ciento corresponden al periodo frío, entre mayo y noviembre.

**Tabla 13: Ocurrencia de deslizamientos de tierra por tipo de cobertura vegetal**

Cobertura vegetal	#LS	Tipo de evento			
		Dr	Ds	Hc	Mx
Agricultura costera y andina	27	0	11	16	0
Cardonal	63	0	8	55	0
Desierto costero	97	4	2	91	0
Área altoandina con escasa y sin vegetación	3	0	0	3	0
Matorral arbustivo	53	14	19	19	1
Pajonal	5	1	3	1	0
Área urbana	24	11	7	6	0

En la Tabla 13 se observa que, aproximadamente, el 35,7 por ciento de los deslizamientos de tierra ocurrieron en el desierto costero; el 23,2 por ciento, en el cardonal; y, el 19,5 por ciento ocurrió en el matorral arbustivo; estos tres tipos de cobertura vegetal comprenden más del 75

por ciento del total de eventos. La principal característica de estas tres zonas, según lo señala el MINAM (2015), es que no cuentan con vegetación (desierto costero) y, de presentarla, es muy dispersa (cardonal), se desarrolla sobre condiciones de suelo áridas y presentan un estrato inferior con herbáceas de carácter ralo y estacional (matorral arbustivo), lo que las podría predisponer ante la ocurrencia de deslizamientos de tierra.

En la Tabla 13, también, se observa que alrededor del 20 por ciento de los deslizamientos de tierra ocurrieron en zonas con agricultura costera y andina (9,9 por ciento) y áreas urbanas (8,1 por ciento), que son zonas que se caracterizan, en el primer caso, por presentar actividad agrícola y, en el segundo caso, por no contar con cobertura vegetal; la característica común es que en ambas zonas se desarrollan actividades humanas. Los pajonales son áreas que presentan el 1,8 por ciento de los eventos y esto se puede deber a que estas zonas cuentan con vegetación que va desde los 15 hasta los 80 cm de alto y se desarrollan en terrenos planos, pudiendo llegar a condiciones empinadas y escarpadas de material rocoso, tal y como lo señala el MINAM (2015). Las áreas altoandinas con escasa y sin vegetación, a pesar de contar con poca cobertura vegetal, solo poseen el 1,1 por ciento de los deslizamientos de tierra, esto se puede deber a que, al ser poco accesibles, no cuentan con un buen registro de eventos, caso que también se puede dar para los pajonales ubicados en zonas de relieve más accidentado.

Considerando el tipo de deslizamiento de tierra, en la Tabla 13 se observa que los flujos son los más frecuentes en la zona de agricultura costera y andina (59,3 por ciento), cardonal (87,3 por ciento), desierto costero (93,8 por ciento) y área altoandina con escasa y sin vegetación (100,0 por ciento). Para el caso del matorral arbustivo los deslizamientos y flujos (35,8 por ciento) son los más frecuentes, para el pajonal son los deslizamientos (60,0 por ciento) y en las zonas urbanas son más frecuentes los derrumbes (45,8 por ciento).

Conforme a lo descrito, se puede decir que los flujos son más frecuentes en zonas con poca o ninguna cobertura vegetal, mientras que los deslizamientos lo son en zonas con mayor vegetación y los derrumbes en zonas urbanas, lo que puede estar relacionado a que la expansión urbana está ocupando zonas de cerros y laderas.

**Tabla 14: Ocurrencia de deslizamientos de tierra por tipo de suelo**

Suelo	#LS	Tipo de evento			
		Dr	Ds	Hc	Mx
Lithic Cryorthents - Typic Haplocryands - M(r)	13	4	4	5	0
Lithic Torriorthents - M(r)	180	1	15	164	0
Typic Torripsamments - M(r)	23	12	3	8	0
Typic Ustifluvents - Typic Ustorthents	3	0	0	3	0
Lithic Ustorthents - Typic Ustorthents	18	5	10	3	0
Lithic Ustorthents - Typic Ustorthents - M(r)	26	6	12	7	1
Área urbana	9	2	6	1	0

En la Tabla 14 se observa que la mayoría de los deslizamientos de tierra ocurrieron sobre suelos Lithic Torriorthents - Misceláneo (afloramiento lítico) con un valor aproximado del 66,2 por ciento, seguidos por los suelos Lithic Ustorthents - Typic Ustorthents - Misceláneo (afloramiento lítico) con un 9,6 por ciento y por los suelos Typic Torripsamments - Misceláneo (afloramiento lítico) con un 8,5 por ciento. La alta frecuencia de deslizamientos de tierra en estos tres tipos de suelos se puede deber a que juntos representan alrededor del 48,7 por ciento de la superficie total de la cuenca, tal y como se observa en la Tabla 3.

Los eventos fueron menos frecuentes en los suelos Lithic Ustorthents - Typic Ustorthents, Lithic Cryorthents - Typic Haplocryands - Misceláneo (afloramiento lítico) y Typic Ustifluvents - Typic Ustorthents con valores aproximados de 6,6 por ciento, 4,8 por ciento y 1,1 por ciento, respectivamente; y el área urbana contó con un aproximado de 3,3 por ciento. A pesar de que los suelos Lithic Cryorthents - Typic Haplocryands - Misceláneo (afloramiento lítico) son los de mayor superficie en la cuenca, representando el 39,9 por ciento de la superficie total, registraron pocos deslizamientos de tierra, esto se puede deber a que son suelos ubicados en zonas de difícil acceso y condiciones climáticas adversas (régimen cryico), lo que implica una menor presencia de actividad humana y, como consecuencia, pocos registros.

Considerando el tipo de deslizamientos de tierra, se puede observar que los flujos fueron los más frecuentes para los suelos Lithic Torriorthents - Misceláneo (afloramiento lítico), con el 91,1 por ciento; para los Lithic Ustorthents - Typic Ustorthents - Misceláneo (afloramiento lítico), los deslizamientos con el 46,2 por ciento; y, para los Typic Torripsamments - Misceláneo (afloramiento lítico), los derrumbes con el 52,2 por ciento. La principal característica de estos tres tipos de suelo es la presencia de afloramiento lítico, además de contar con presencia de material pedregoso y/o rocoso.

### 4.3 UMBRALES DE PRECIPITACIÓN

#### 4.3.1 Catálogo de eventos de precipitación responsables de deslizamientos de tierra

En la Tabla 15 se presenta el resumen de los eventos de precipitación responsables de deslizamientos de tierra que ocurrieron en la cuenca del río Rímac para el periodo de estudio. Se puede observar que 81 eventos de precipitación resultaron en al menos 182 deslizamientos de tierra los cuales representan, aproximadamente, el 66,9 por ciento del total registrado en la cuenca para los 12 años de estudio.

Se puede observar que los eventos de precipitación responsables de deslizamientos de tierra se encuentran entre  $1 \leq D \leq 180$  horas y  $1,5 \leq E \leq 116,4$  mm de precipitación acumulada. En cuanto a la precisión geográfica, el 78,0 por ciento de los deslizamientos de tierra fueron ubicados con una alta precisión ( $G_1$ ), el 6,6 por ciento con una precisión media ( $G_{10}$ ), el 13,7 por ciento con una precisión baja ( $G_{100}$ ) y solo el 1,6 por ciento con una precisión muy baja ( $G_{300}$ ). Así mismo, con respecto a la precisión temporal, se observa que para el 98,4 por ciento de los deslizamientos de tierra se conoce la hora de ocurrencia ( $T_1$ ) y para el 1,6 por ciento solo se pudo inferir la parte del día ( $T_3$ ). Con respecto al periodo estacional, el 100 por ciento de los eventos de precipitación responsables de deslizamientos de tierra se dieron en el periodo estacional cálido, entre diciembre y abril.

Se dividió la información de los eventos de precipitación responsables de deslizamientos de tierra en dos grupos, uno de calibración con 57 eventos y otro de validación con 24 eventos, lo que equivale a una proporción de 70-30 por ciento. Además, en la Tabla 15 se observa que el grupo de calibración se encuentra en el rango de  $1 \leq D \leq 180$  horas y  $1,5 \leq E \leq 116,4$  mm de precipitación acumulada, cubriendo la totalidad del catálogo; mientras que, el grupo de validación se encuentra entre  $1 \leq D \leq 168$  horas y  $5,7 \leq E \leq 54,7$  mm.

Con respecto al grupo de calibración, en la Tabla 15 se observa que el 80,9 por ciento de los deslizamientos de tierra, que pudieron ser relacionados a eventos de precipitación, tienen una alta precisión geográfica ( $G_1$ ), el 5,5 por ciento una precisión media ( $G_{10}$ ), el 11,8 por ciento una precisión baja ( $G_{100}$ ) y el 1,8 por ciento una precisión muy baja ( $G_{300}$ ).

**Tabla 15: Catálogo de eventos de precipitación responsables de deslizamientos de tierra**

	Grupo	#LS	G <sub>1</sub>	G <sub>10</sub>	G <sub>100</sub>	G <sub>300</sub>	T <sub>1</sub>	T <sub>3</sub>	#REL	D			E			I
										min	media	max	min	media	max	media
Catálogo entero	Ce	182	142	12	25	3	179	3	81	1	59.1	180	1.5	24.5	116.4	1.1
Grupo de calibración	C	110	89	6	13	2	108	2	57	1	57.1	180	1.5	25.0	116.4	0.9
Grupo de validación	V	72	53	6	12	1	71	1	24	1	63.6	168	5.7	23.6	54.7	1.7
<b>Periodo estacional</b>	Ce															
Mayo - Noviembre		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0	0	0.0	0.0	0.0	0.0
Diciembre - Abril		182	142	12	25	3	179	3	81	1	59.1	180	1.5	24.5	116.4	1.1
<b>Cobertura vegetal</b>	C															
Agricultura costera y andina		14	14	0	0	0	14	0	6	24	71.7	180	3.5	20.3	50.4	0.3
Cardonal		27	19	4	4	0	27	0	13	2	41.8	96	1.5	12.9	33.8	1.0
Desierto costero		41	40	0	1	0	41	0	12	1	16.7	36	2.6	10.1	26.4	2.1
Área altoandina con escasa y sin vegetación		2	0	0	2	0	2	0	2	52	86.0	120	37.2	44.3	51.3	0.6
Matorral arbustivo		21	11	2	6	2	21	0	20	16	83.1	168	5.1	40.3	116.4	0.5
Pajonal andino		3	3	0	0	0	3	0	3	60	79.3	94	29.1	38.3	56.4	0.5
Área urbana		2	2	0	0	0	0	2	1	12	12.0	12	3.1	3.1	3.1	0.3
<b>Suelo</b>	C															
Lithic Cryorthents - Typic Haplocryands - M(r)		7	3	0	2	2	7	0	7	2	76.3	120	10.5	32.8	51.3	1.1
Lithic Torriorthents - M(r)		75	64	4	7	0	75	0	29	1	40.4	144	1.5	15.4	69.9	1.2
Typic Torripsamments - M(r)		5	5	0	0	0	5	0	1	12	12.0	12	19.5	19.5	19.5	1.6
Typic Ustifluvents - Typic Ustorthents		1	1	0	0	0	1	0	1	36	36.0	36	5.8	5.8	5.8	0.2
Lithic Ustorthents - Typic Ustorthents		8	6	1	1	0	8	0	6	23	49.8	84	6.7	15.4	22.4	0.4
Lithic Ustorthents - Typic Ustorthents - M(r)		12	8	1	3	0	12	0	11	16	99.9	180	5.1	51.7	116.4	0.5
Área urbana		2	2	0	0	0	0	2	2	12	53.0	94	3.1	29.8	56.4	0.4
<b>Tipo de deslizamiento de tierra</b>	C															
Derrumbe		6	4	0	1	1	6	0	6	16	68.7	120	8.6	31.9	53.1	0.5
Deslizamiento		16	12	2	2	1	15	2	12	12	75.3	168	1.5	29.1	105.0	0.3
Flujos		86	73	4	10	0	87	0	38	1	51.0	180	2.6	22.9	116.4	1.1
Combinado		2	1	1	0	0	2	0	1	3	3.0	3	12.8	12.8	12.8	4.3

Para a la cobertura vegetal se observa que, aproximadamente, el 37,3 por ciento de los deslizamientos de tierra ocurrieron en el desierto costero, seguido por el cardonal con 24,5 por ciento, el matorral arbustivo con 19,1 por ciento, la agricultura costera y andina con 12,7 por ciento, el pajonal andino con 2,7 por ciento y, finalmente, el área urbana y las áreas altoandinas con escasa y sin vegetación con 1,8 por ciento cada una.

Considerando los eventos de precipitación responsables de deslizamientos de tierra, se observa que el matorral arbustivo es el que posee la mayor cantidad con un valor aproximado del 35,1 por ciento, seguido por el cardonal con 22,8 por ciento, el desierto costero con 21,1 por ciento, la agricultura costera y andina con 10,5 por ciento, el pajonal andino con el 5,3 por ciento, el área altoandina con escasa y sin vegetación con el 3,5 por ciento y el área urbana con el 1,8 por ciento. En el caso de la cobertura vegetal, no se observa una relación directa entre los eventos de precipitación y los deslizamientos de tierra del que fueron responsables, los que se observa es que un evento de precipitación puede originar 1 o más deslizamientos de tierra.

Con respecto a la duración, se observa que esta es variable con respecto a la cobertura vegetal, sin embargo, se aprecia que las áreas con vegetación importante, como el matorral arbustivo y el pajonal andino, presentan valores promedio de duración (D) de 83,1 y 79,3 horas, respectivamente; mientras que el cardonal y desierto costero presentan duraciones promedio de 41,8 y 16,7 h, respectivamente; por lo que están relacionados a lluvias más cortas. El área altoandina con escasa y sin vegetación presenta una duración promedio de 86,0 horas la cual está por encima del matorral arbustivo, esto se puede deber a que solo cuenta con 2 eventos de precipitación responsables de deslizamientos de tierra, cantidad insuficiente para obtener valores significativos.

Por otro lado, para la precipitación acumulada (E), se observa la misma tendencia con respecto a la duración, siendo las áreas con mayor cobertura vegetal aquellas que poseen valores promedios más altos. El matorral arbustivo y el pajonal andino presentan valores promedio de precipitación acumulada de 40,3 y 38,3 mm, respectivamente; mientras que el cardonal y el desierto costero presentan valores de 12,9 y 10,1 mm, respectivamente. Esto se puede deber a que geográficamente el cardonal es colindante al desierto costero por lo que podrían estar sometidas a condiciones similares de precipitación.

Es importante señalar que la intensidad promedio (I) en el desierto costero y el cardonal tienen los valores más altos con 2,1 y 1,0 mm/h, respectivamente; el resto de las coberturas se encuentran por debajo de 1,0 mm/h de intensidad de precipitación.

Con respecto al suelo, en la Tabla 15 se observa que el 50,9 por ciento de los eventos de precipitación causaron el 68,2 por ciento de los deslizamientos de tierra y estos se dieron sobre suelos Lithic Torriorthents - Misceláneo (afloramiento lítico). El 49,1 por ciento de los eventos de precipitación responsables de deslizamientos de tierra están comprendidos por los suelos Lithic Ustorthents - Typic Ustorthents - Misceláneo (afloramiento lítico), Lithic Ustorthents - Typic Ustorthents, Lithic Cryorthents - Typic Haplocryands - Misceláneo (afloramiento lítico), Typic Torripsamments - Misceláneo (afloramiento lítico), área urbana y Typic Ustifluvents - Typic Ustorthents; los que a su vez representan el 31,8 por ciento de los deslizamientos de tierra. A diferencia de la cobertura vegetal, para el tipo de suelo se observa una relación directa entre la cantidad de eventos de precipitación y el número de deslizamientos de tierra del que fueron responsables.

Con respecto a la duración y precipitación acumulada, el suelo Lithic Ustorthents - Typic Ustorthents - Misceláneo (afloramiento lítico) es el que presenta los valores promedios más altos con 99,9 h y 51,7 mm, respectivamente; y se puede deber a que son suelos que se ubican en zonas de relieve plano y tienen un drenaje natural excesivo (Lithic Ustorthents). El suelo Typic Torripsamments - Misceláneo (afloramiento lítico) presenta la duración más baja con 12,0 horas y el suelo Typic Ustifluvents - Typic Ustorthents la precipitación acumulada más baja con 5,8 mm, lo cual se puede deber a que se encuentra en los valles de la parte baja de la cuenca.

Tanto para la duración como para la precipitación acumulada, se debe tener en cuenta la cantidad de eventos considerados para la obtención de los valores promedio, ya que el número de estos determinará si los resultados son significativos para describir el comportamiento de los deslizamientos de tierra con respecto a la precipitación.

En la Tabla 15 se observa que, con respecto al tipo de deslizamiento de tierra, el 78,2 por ciento de estos son causados por el 66,7 por ciento de los eventos de precipitación y corresponden a los flujos, estos valores se pueden explicar debido a la alta frecuencia que presentan este tipo en la cuenca, tal y como se observa en la Tabla 11.

Finalmente, con respecto a la duración, se observa que los deslizamientos tienen una duración promedio de 75,3 h, seguido por los derrumbes con 68,7 h y finalmente los flujos con un promedio de 51,0 h. Para la precipitación acumulada, los derrumbes presentan un valor promedio de 31,9 mm, seguido por los deslizamientos con 29,1 mm y los flujos con 22,9 mm. Considerando la duración y precipitación acumulada promedio, los derrumbes y deslizamientos se comportan de manera similar, sin embargo, en el caso de los derrumbes es necesario que la precipitación acumulada sea de por lo menos 8,6 mm. El rango de precipitación acumulada de los deslizamientos y flujos son similares, sin embargo, la media del segundo es menor; además, teniendo en cuenta la intensidad promedio, se podría decir que los flujos ocurren con precipitaciones de corta duración, pero de alta intensidad.

#### 4.3.2 Umbrales de precipitación para la cuenca del río Rímac

En la Tabla 16 se presenta los parámetros obtenidos, según la Ecuación 2, para seis niveles de probabilidad de excedencia. Estos parámetros fueron determinados a partir del grupo de calibración, el cual está conformado por 57 eventos de precipitación responsables de deslizamientos de tierra. En la Tabla 22, del Anexo 1, se presenta los parámetros de los umbrales obtenidos para 50 niveles de probabilidad de excedencia.

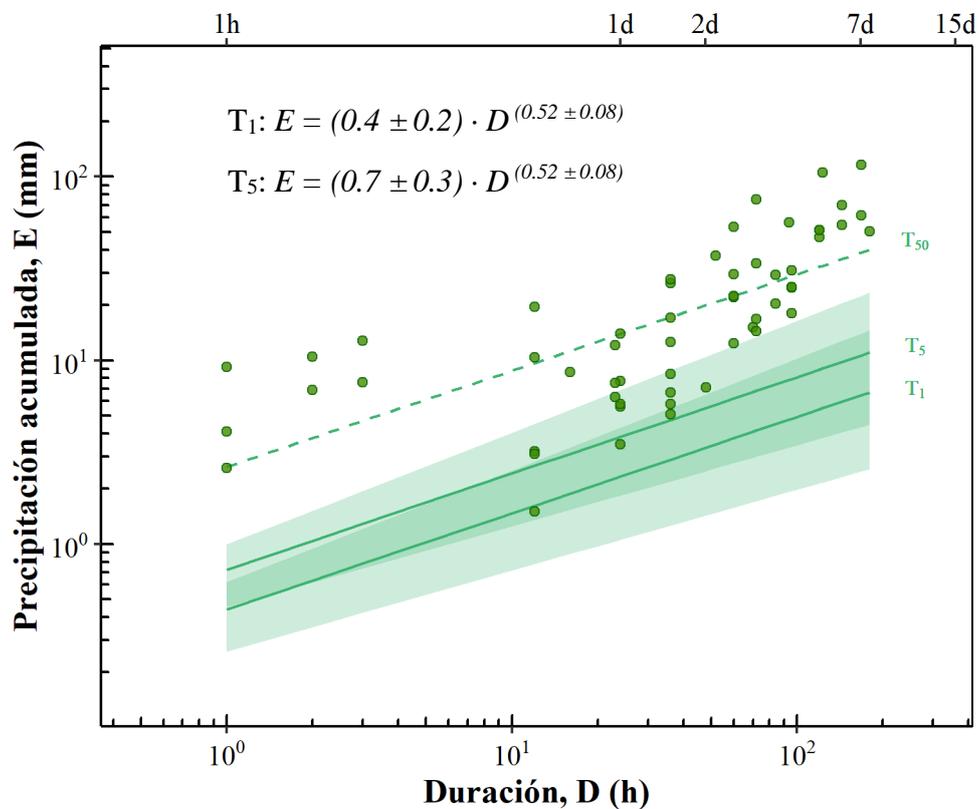
**Tabla 16: Parámetros de umbrales de precipitación a diferentes niveles de probabilidad de excedencia**

Etiqueta	Probabilidad excedencia	REL	$\alpha$	$\pm\Delta\alpha$	$\gamma$	$\pm\Delta\gamma$
T <sub>1</sub>	1 %	57	0.4	$\pm 0.2$	0.52	$\pm 0.08$
T <sub>5</sub>	5 %	57	0.7	$\pm 0.3$	0.52	$\pm 0.08$
T <sub>10</sub>	10 %	57	1.0	$\pm 0.3$	0.52	$\pm 0.08$
T <sub>15</sub>	15 %	57	1.2	$\pm 0.4$	0.52	$\pm 0.08$
T <sub>25</sub>	25 %	57	1.5	$\pm 0.5$	0.52	$\pm 0.08$
T <sub>50</sub>	50 %	57	2.6	$\pm 0.8$	0.52	$\pm 0.08$

Peruccacci *et al.* (2012) mencionan que valores bajos de  $\Delta\alpha$  y  $\Delta\gamma$  están asociados a umbrales más robustos, confiables y menos sensibles a la adición de nuevos eventos de precipitación con deslizamientos de tierra. En la Tabla 16 se observa que los valores de  $\Delta\alpha$  aumentan conforme lo hace el nivel de probabilidad de excedencia (de  $\pm 0,2$  a  $\pm 0,8$ ) esto se debe a que dependen de  $\alpha$ . Sin embargo, es importante señalar que, si bien los valores de  $\Delta\alpha$  aumentan, la incertidumbre relativa  $\Delta\alpha/\alpha$  disminuye de 50,0, a 30,8 por ciento desde el umbral T<sub>1</sub> hasta

$T_{50}$ ; para el caso de la incertidumbre relativa  $\Delta\gamma/\gamma$ , esta tiene un valor de 15,4 por ciento para todos los umbrales.

Peruccacci *et al.* (2012) reportan que  $\Delta\alpha$  afecta el comportamiento de la precipitación acumulada (E) para duraciones cortas, mientras que, para eventos duración más larga, la precipitación acumulada es más sensible a  $\Delta\gamma$ , esto debido a que  $\gamma$  es el exponente de la curva del modelo de ley de potencia (Ecuación 1). Adicionalmente, los autores proponen un valor de 10 por ciento de incertidumbre relativa, para  $\Delta\alpha/\alpha$  y  $\Delta\gamma/\gamma$ , como aceptable para contar con umbrales de precipitación de mejor calidad.



**Figura 10 : Umbrales de precipitación a 1 y 5 por ciento de probabilidad de excedencia**

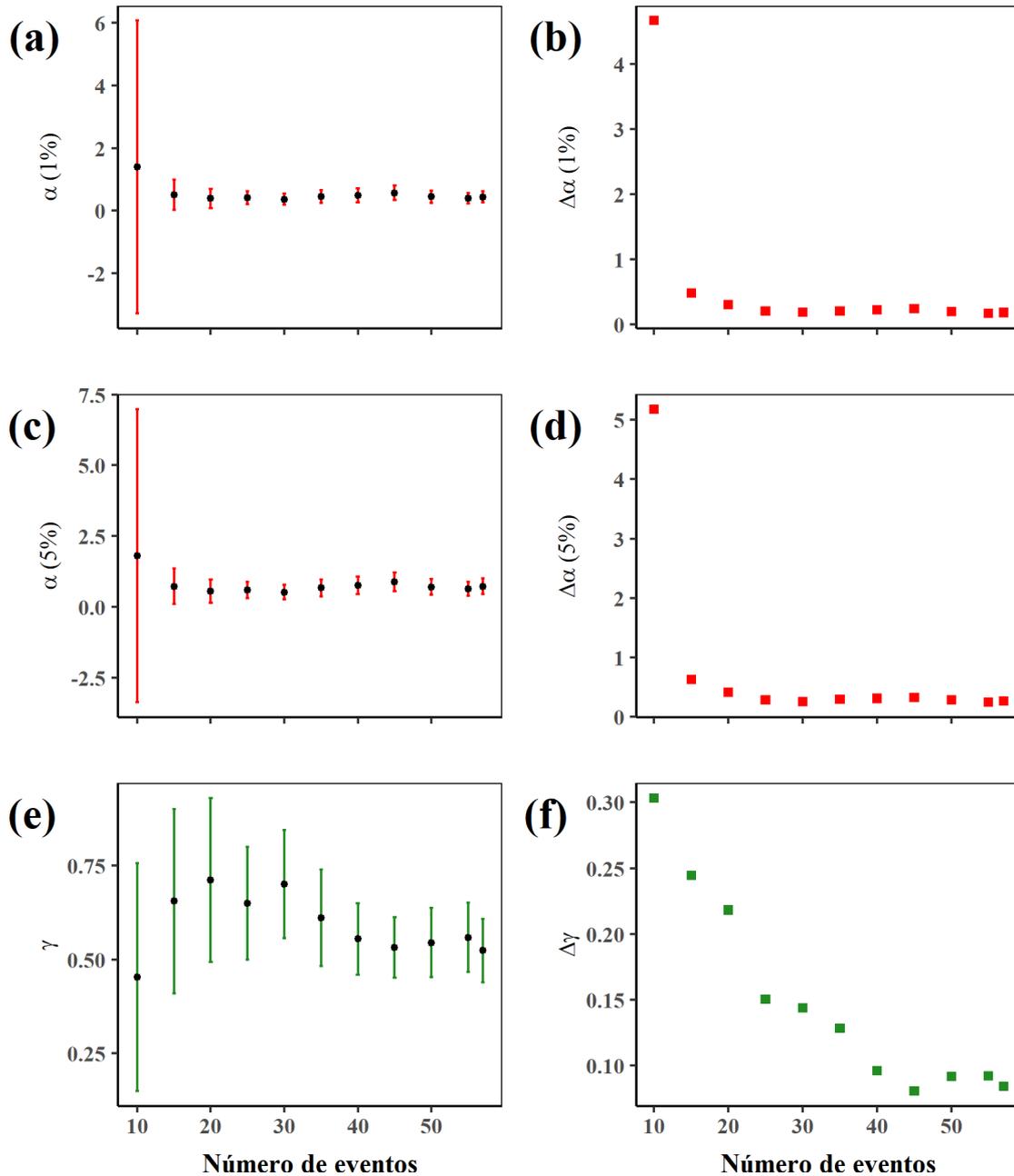
En la Tabla 16 se observa que el valor de la intercepta ( $\alpha$ ) aumenta conforme lo hace el nivel de probabilidad de excedencia, el cual indica la probabilidad de experimentar la ocurrencia de deslizamientos de tierra causados por precipitaciones que se encuentran por debajo del umbral calculado, tal y como lo menciona Brunetti *et al.* (2010) y como se observa en la Figura 10. Lo que se espera encontrar es entre 0 y 1 eventos por debajo del umbral  $T_1$  y entre 2 y 3 para el  $T_5$ ; esto es conforme a lo mostrado en la Figura 10, donde se puede encontrar 1 y 2 eventos por debajo de los umbrales  $T_1$  y  $T_5$ , respectivamente.

Peruccacci *et al.* (2012) informan que una limitante en la definición de umbrales de precipitación, usando el análisis estadístico de data empírica, es que estos dependen enteramente de la calidad, abundancia y distribución de los datos. Es así como en la Tabla 17 se muestra como varían los parámetros e incertidumbres de los umbrales con respecto a la cantidad de datos usados en la calibración.

**Tabla 17: Variación de los parámetros e incertidumbres del modelo del umbral en función al número de eventos para  $T_1$  y  $T_5$**

Etiqueta	REL	$\alpha$	$\Delta\alpha$	$\Delta\alpha/\alpha$	$\gamma$	$\Delta\gamma$	$\Delta\gamma/\gamma$
$T_1$	10	1.4	4.7	335.7 %	0.45	0.30	66.7 %
$T_1$	15	0.5	0.5	100.0 %	0.65	0.24	36.9 %
$T_1$	20	0.4	0.3	75.0 %	0.71	0.22	31.0 %
$T_1$	25	0.4	0.2	50.0 %	0.65	0.15	23.1 %
$T_1$	30	0.4	0.2	50.0 %	0.70	0.14	20.0 %
$T_1$	35	0.5	0.2	40.0 %	0.61	0.13	21.3 %
$T_1$	40	0.5	0.2	40.0 %	0.55	0.10	18.2 %
$T_1$	45	0.6	0.2	33.3 %	0.53	0.08	15.1 %
$T_1$	50	0.4	0.2	50.0 %	0.54	0.09	16.7 %
$T_1$	55	0.4	0.2	50.0 %	0.56	0.09	16.1 %
$T_1$	57	0.4	0.2	50.0 %	0.52	0.08	15.4 %
$T_5$	10	1.8	5.2	288.9 %	0.45	0.30	66.7 %
$T_5$	15	0.7	0.6	85.7 %	0.65	0.24	36.9 %
$T_5$	20	0.6	0.4	66.7 %	0.71	0.22	31.0 %
$T_5$	25	0.6	0.3	50.0 %	0.65	0.15	23.1 %
$T_5$	30	0.5	0.3	60.0 %	0.70	0.14	20.0 %
$T_5$	35	0.7	0.3	42.9 %	0.61	0.13	21.3 %
$T_5$	40	0.8	0.3	37.5 %	0.55	0.10	18.2 %
$T_5$	45	0.9	0.3	33.3 %	0.53	0.08	15.1 %
$T_5$	50	0.7	0.3	42.9 %	0.54	0.09	16.7 %
$T_5$	55	0.6	0.2	33.3 %	0.56	0.09	16.1 %
$T_5$	57	0.7	0.3	42.9 %	0.52	0.08	15.4 %

En la Tabla 17 se observa que, para los umbrales  $T_1$  y  $T_5$ , los parámetros e incertidumbres tienden a disminuir conforme aumenta la cantidad de datos empíricos usados para su cálculo. Sin embargo, si bien las incertidumbres relativas descienden, estas no llegan a los valores recomendados por los autores. Esto indica que el número de datos utilizados en el cálculo de los parámetros del modelo aun no es suficiente, por lo que se podría considerar ampliar el periodo y/o área de estudio.



**Figura 11 : Variación de los parámetros e incertidumbres del modelo de umbral en función al número de eventos para  $T_1$  y  $T_5$**

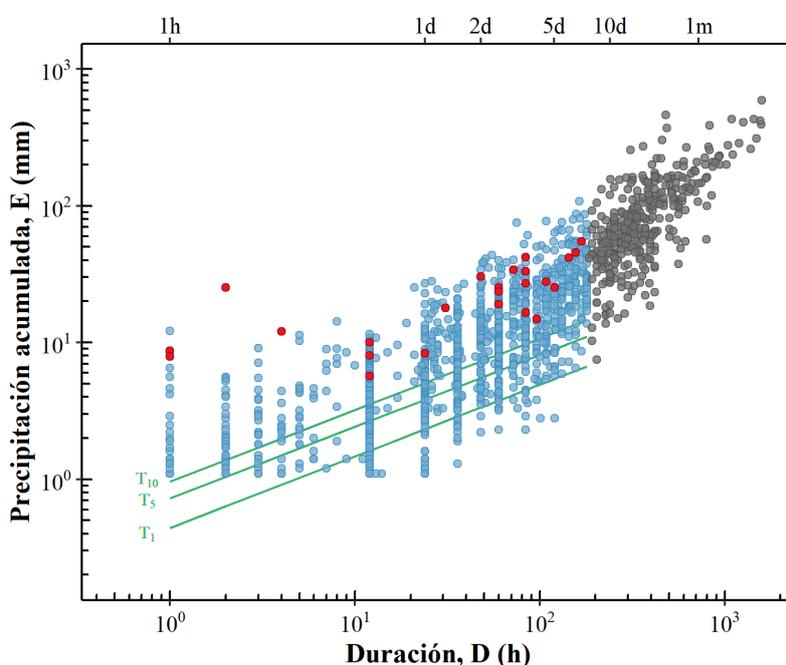
En la Figura 11 se observa cómo varían los valores medios de  $\alpha$  y  $\gamma$  con respecto a la cantidad de eventos evaluados. Para ambos parámetros se observa que los valores tienden a estabilizarse conforme aumenta el número de datos, sin embargo, la media aun no es estable para el parámetro  $\gamma$ . Con respecto al parámetro  $\alpha$ , se observa gráficamente el alto valor de incertidumbre relativa cuando se trabaja con 10 eventos, conforme a lo mostrado en la Tabla 17.

Peruccacci *et al.* (2012) trabajaron con 442 eventos de precipitación con deslizamientos de tierra y, realizando el análisis de la dependencias de los parámetros, establecieron que para el caso de Italia central, se requieren por lo menos 75 datos para obtener umbrales relativamente confiables y 175 datos para lograr umbrales con incertidumbres relativas menores a 10 por ciento, sin embargo, mencionan que el comportamiento puede variar para diferentes grupos de datos.

Por lo tanto, conforme lo observado en la Tabla 17 y Figura 11, se puede decir que se requiere de más datos para poder establecer un número mínimo de eventos de precipitación responsables de deslizamientos de tierra, necesarios para obtener umbrales con cierto grado de confiabilidad y que sean menos sensibles a la adición de nueva información.

### 4.3.3 Validación de umbrales de precipitación

Utilizando el algoritmo propuesto por Melillo *et al.* (2015) se reconstruyeron 1642 eventos de precipitación que ocurrieron en la cuenca del río Rímac para los años correspondientes al grupo de validación, estos eventos se encuentran en los rangos de  $1 \leq D \leq 1788$  h y  $1,1 \leq E \leq 1037,1$  mm.



**Figura 12 : Condiciones de precipitación para la validación de umbrales**

En la Figura 12 se observa tres grupos de datos, el primero, corresponde a los 24 eventos del grupo de validación (puntos rojos); el segundo, muestra 1290 eventos de precipitación

para los cuales no se cuenta con información sobre la ocurrencia de deslizamientos de tierra (puntos azules); y el tercer grupo, corresponde a 352 condiciones de lluvia con duración que excede el rango de calibración de los umbrales. Para la validación de los umbrales, solo se utilizaron los eventos correspondientes a los 2 primeros grupos.

En la Tabla 18 se presenta las cuatro contingencias (TP, FN, FP y TN) e índices de puntuación (POD, POFD, POFA y HK) calculados para 11 umbrales de precipitación a diferentes niveles de probabilidad de excedencia (de 1 a 50 por ciento). También, muestra la distancia euclidiana calculada ( $\delta$ ) con respecto a la clasificación perfecta (punto rojo en la Figura 13).

**Tabla 18: Contingencias e índices de puntuación para umbrales a diferentes niveles de probabilidad de excedencia**

Etiqueta	Ecuación	TP	FN	FP	TN	POD	POFD	POFA	HK	$\delta$
T <sub>1</sub>	$E = (0.4 \pm 0.2) \cdot D^{(0.52 \pm 0.08)}$	24	0	1131	159	<b>1.00</b>	0.88	0.98	0.12	0.88
T <sub>5</sub>	$E = (0.7 \pm 0.3) \cdot D^{(0.52 \pm 0.08)}$	24	0	910	380	<b>1.00</b>	0.71	0.97	0.29	0.71
T <sub>10</sub>	$E = (1.0 \pm 0.3) \cdot D^{(0.52 \pm 0.08)}$	24	0	752	538	<b>1.00</b>	0.58	0.97	0.42	0.58
T <sub>15</sub>	$E = (1.2 \pm 0.4) \cdot D^{(0.52 \pm 0.08)}$	24	0	633	657	<b>1.00</b>	0.49	0.96	0.51	0.49
T <sub>20</sub>	$E = (1.4 \pm 0.4) \cdot D^{(0.52 \pm 0.08)}$	24	0	520	770	<b>1.00</b>	0.40	0.96	0.60	0.40
T <sub>25</sub>	$E = (1.5 \pm 0.5) \cdot D^{(0.52 \pm 0.08)}$	23	1	433	857	0.96	0.34	0.95	<b>0.62</b>	0.34
T <sub>30</sub>	$E = (1.7 \pm 0.6) \cdot D^{(0.52 \pm 0.08)}$	20	4	376	914	0.83	0.29	0.95	0.54	0.34
T <sub>35</sub>	$E = (1.9 \pm 0.6) \cdot D^{(0.52 \pm 0.08)}$	20	4	318	972	0.83	0.25	0.94	0.59	0.30
T <sub>40</sub>	$E = (2.2 \pm 0.7) \cdot D^{(0.52 \pm 0.08)}$	19	5	258	1032	0.79	0.20	0.93	0.59	<b>0.29</b>
T <sub>45</sub>	$E = (2.4 \pm 0.7) \cdot D^{(0.52 \pm 0.08)}$	16	8	208	1082	0.67	0.16	0.93	0.51	0.37
T <sub>50</sub>	$E = (2.6 \pm 0.8) \cdot D^{(0.52 \pm 0.08)}$	16	8	153	1137	0.67	<b>0.12</b>	<b>0.91</b>	0.55	0.35

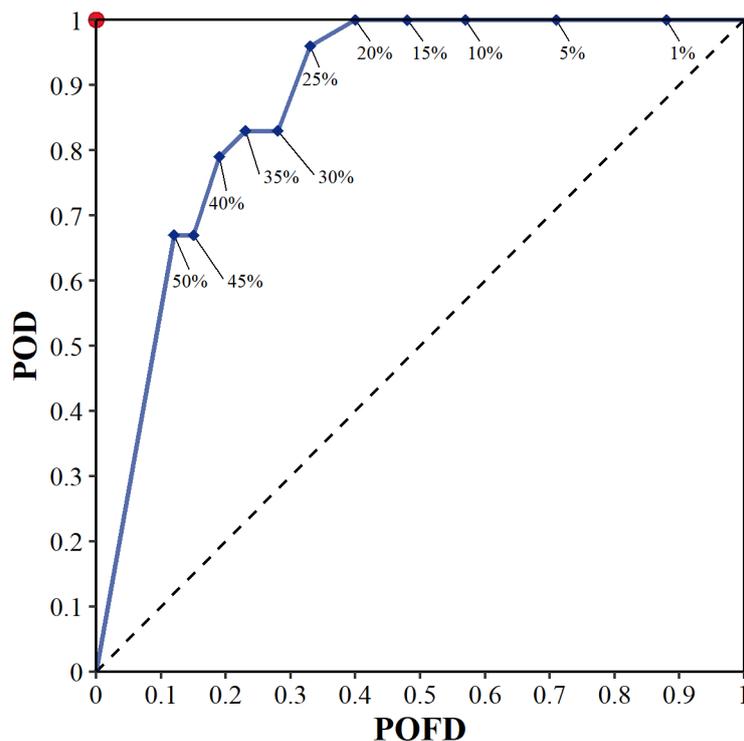
Además, se observa que los umbrales del T<sub>1</sub> al T<sub>20</sub> son los que poseen un valor óptimo con respecto al índice POD, esto quiere decir que los umbrales tienen una mayor proporción de eventos pronosticados correctamente. También, se observa que el valor POD tiende a disminuir conforme aumenta el nivel de probabilidad de excedencia, lo que concuerda a lo señalado por Gariano *et al.* (2015), quienes mencionan que un umbral bajo (T<sub>1</sub>) produce un gran número de TP mientras que, umbrales altos (T<sub>50</sub>) presentan mayor número de TN, parámetros relacionados directamente con el cálculo de POD.

Con respecto al índice POFD, en la Tabla 18 se observa que el umbral T<sub>50</sub> es el que se acerca más al valor óptimo. Este umbral es el que presenta la menor cantidad de FP (falsa

alarma), sin embargo, también, es el que presenta el menor valor POD, por lo que tiene una tasa de acierto baja.

Por otro lado, para el índice POFA, los valores calculados son altos, lo que significa que la mayoría de los pronósticos (más del 96 por ciento) corresponden a falsas alarmas (FP). El uso de umbrales de precipitación con valores POFA muy altos puede ser contraproducente para un sistema de alerta temprana, ya que esto puede generar una pérdida de credibilidad.

Con respecto al índice HK, el umbral T<sub>25</sub> es el que posee un mejor desempeño con respecto a los pronósticos, debido a que tiene buena tasa de acierto (POD alto) y pocas falsas alarmas (POFD bajo). Conforme a estos valores, se espera que este umbral tenga una distancia euclidiana baja ( $\delta$ ), acercándose a la clasificación perfecta de la curva ROC, tal y como se observa en la Figura 13.



**Figura 13 : Curva ROC para los umbrales calculados**

En la Figura 13 se observa la curva ROC para 11 umbrales de precipitación. Cada punto azul representa un umbral a determinado nivel de probabilidad de excedencia y el punto rojo representa la clasificación perfecta. Se observa que las partes planas en la curva ROC, corresponden a umbrales con el mismo número de TP y, por lo tanto, poseen el mismo valor POD, tal y como se observa en la Tabla 18.

De los umbrales con mejores puntuaciones, se puede decir que los del  $T_1$  al  $T_{20}$  son los que tienen mejores predicciones correctas (POD) sobre la ocurrencia de deslizamientos de tierra ocasionados por la precipitación, sin embargo, no presenta buenos valores de POFD, HK y  $\delta$ ; por lo que tienen un gran número de falsas alarmas, factor poco conveniente en un sistema de alerta temprana, donde la movilización de recursos es un gasto importante para los gobiernos regionales y/o locales. Conforme a lo descrito, el umbral  $T_{25}$  es el que posee el mejor equilibrio entre POD, POFD, HK y  $\delta$ , en comparación al resto de umbrales y sería el más adecuado a usarse en un sistema de alerta temprana.

La elección del mejor umbral, para un sistema de alerta temprana, debe tener en cuenta la relación entre los daños materiales y la pérdida de vidas humanas. Si se cuenta con la capacidad técnica y financiera para movilizar recursos ante una alerta de deslizamiento de tierra, se podría considerar usar umbrales con buen desempeño con respecto a POD a pesar de que esto conlleve a una alta tasa de falsas alarmas.

## V. CONCLUSIONES

- Se obtuvieron umbrales de precipitación para valores promedio de 57,1 horas de duración (D) y 25,0 mm de precipitación acumulada (E), con valores de incertidumbre relativa ( $\Delta\alpha/\alpha$  y  $\Delta\gamma/\gamma$ ) mayores a los recomendados por Peruccacci *et al.* (2012).
- Más de la mitad de los deslizamientos de tierra ocurrieron en el desierto costero y cardonal, siendo los flujos el tipo más frecuente, los cuales fueron desencadenados por eventos de precipitación de corta duración.
- La elección del umbral óptimo para un sistema de alerta temprana debe buscar maximizar las predicciones correctas y minimizar las incorrectas.
- Los altos valores de  $\Delta\alpha/\alpha$  y  $\Delta\gamma/\gamma$  determinan que el número de eventos de precipitación, responsables de deslizamientos de tierra, es insuficiente para obtener umbrales confiables que puedan ser usados en un sistema de alerta temprana.

## VI. RECOMENDACIONES

- Ampliar el periodo y/o la zona de estudio; conforme lo señalado por Peruccacci *et al.* (2012), se obtienen mejores resultados con un mayor número de datos empíricos, de mejor calidad, abundancia y distribución.
- Analizar y mejorar los parámetros referentes a los periodos secos, que fueron utilizados por el algoritmo para la reconstrucción de eventos de precipitación responsables de deslizamientos de tierra. Esto debido a que la determinación de los eventos de precipitación depende, en gran medida, de estos periodos.
- Debido a que existe un subregistro de deslizamientos de tierra, es importante que se planteen mecanismos que permitan identificar estos eventos para que sean incluidos en la muestra. Esto se puede lograr mediante una evaluación en campo con pobladores.
- Las instituciones públicas (SENAMHI, ANA, etc.), encargadas del registro de la precipitación, deben incrementar la cantidad de información horaria y mejorar la distribución de pluviómetros, así como facilitar la accesibilidad de esta información a los investigadores, con el fin de obtener umbrales de precipitación más robustos y confiables.
- Es importante que las instituciones públicas y privadas (INDECI, CENEPRED, PREDES, etc.), relacionadas a la prevención y control de desastres, mejoren y estandaricen el registro de información de deslizamientos de tierra (fecha, hora, tipo, ubicación geográfica) para aumentar la cantidad y calidad de datos empíricos que pueden ser utilizados en la determinación de umbrales de precipitación.

## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alcántara, I. 2000. Landslides: ¿Deslizamientos o movimientos del terreno? Definición, clasificaciones y terminología. *Investigaciones Geográficas* 41: 7-25.

ANA (Autoridad Nacional del Agua, Perú). 2010. Evaluación de los recursos hídricos en la cuenca del río Rímac. Lima, Perú, Ministerio de Agricultura, 225 p.

ANA (Autoridad Nacional del Agua, Perú). 2019. Catálogo de metadatos (en línea). Consultado 17 dic. 2019. Disponible en <http://geo2.ana.gob.pe:8080/geonetwork/srv/spa/catalog.search#/search>

Berti, M.; Martina, M.; Franceschini, S.; Pignone, S.; Simoni, A. y Pizziolo, M. 2012. Probabilistic rainfall thresholds for landslide occurrence using a Bayesian approach. *Journal of Geophysical Research: Earth Surface* 117(4): 1-20.

Bierkens, M.; Dolman, A. y Troch, P. 2008. Climate and the hydrological cycle. Volumen 8. Michigan, International Association of Hydrological Sciences, (IAHS special publication).

Bravo, C.; Caamaño, D. y King, R. 2016. Umbral de precipitación de procesos de remoción en masa, en la provincia de Concepción. 2016: 1-13.

Brunetti, M.; Peruccacci, S.; Rossi, M.; Luciani, S.; Valigi, D. y Guzzetti, F. 2010. Rainfall thresholds for the possible occurrence of landslides in Italy. *Natural Hazards and Earth System Science* 10(3): 447-458.

Cepeda, J. M.; Nadim, F.; Høeg, K. y Elverhoi, A. 2009. A new function for estimating local rainfall thresholds for landslide triggering. 2009.

Conde, C. y Saldaña, S. 2007. Cambio climático en América Latina y El Caribe: impactos, vulnerabilidad y adaptación. *Revista Ambiente y Desarrollo* 23(2): 23-30.

Damian, R. y Huamán, H. 2017. Estimación de umbrales de precipitación, para un sistema

de alerta temprana en deslizamiento de laderas, en el distrito de Cuenca, provincia y región de Huancavelica. Tesis para optar el título de Ingeniero Civil. Lircay, Perú, Universidad Nacional de Huancavelica. 99 p.

Gariano, S.; Brunetti, M.; Iovine, G.; Melillo, M.; Peruccacci, S.; Terranova, O.; Vennari, C. y Guzzetti, F. 2015. Calibration and validation of rainfall thresholds for shallow landslide forecasting in Sicily, southern Italy. *Geomorphology* 228: 653-665.

Guzzetti, F.; Peruccacci, S.; Rossi, M. y Stark, P. 2007. Rainfall thresholds for the initiation of landslides in central and southern Europe. *Meteorology and Atmospheric Physics* 98(3): 239-267.

Haverkamp, T. 2013. Measuring rainfall using cell phone links : classification of wet and dry periods using satellites. Master Thesis. Utrecht, Netherlands, Utrecht University. 71 p.

Highland, L. y Bobrowsky, P. 2008. USGS The Landslide Handbook — A Guide to Understanding Landslides. Reston, Virginia: United State Geological Survey, 129 p.

Hungr, O.; Leroueil, S. y Picarelli, L. 2014. The Varnes classification of landslide types, an update. *Landslides* 11(2): 167-194.

INDECI (Instituto Nacional de Defensa Civil, Perú). 2019. Sistema de Información Nacional para la Respuesta y Rehabilitación - SINPAD v2.0 (en línea). Consultado 12 mar. 2019. Disponible en <http://sinpad.indeci.gob.pe/sinpad2/faces/public/listSinpadEnviadosPubli.xhtml>

INGEMMET (Instituto Geológico Minero y Metalúrgico, Perú). 2005. Movimientos en masa: deslizamientos y huaycos en la cuenca de la quebrada Paihua. 2005: 50.

IPCC (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, Suiza). 2007. Cambio climático 2007: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Cuarto Informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. Ginebra, Suiza, IPCC, 104 p.

Kim, J.; Lee, K.; Jeong, S. y Kim, G. 2014. GIS-based prediction method of landslide susceptibility using a rainfall infiltration-groundwater flow model. *Engineering Geology* 182(PA): 63-78.

- Melillo, M.; Brunetti, M.; Peruccacci, S.; Gariano, S. y Guzzetti, F. 2015. An algorithm for the objective reconstruction of rainfall events responsible for landslides. *Landslides* 12(2): 311-320.
- MINAM (Ministerio del Ambiente, Perú). 2011. Mapa de suelos del Perú: Memoria descriptiva. Ed. Ministerio del Ambiente. Lima, Perú, Ministerio del Ambiente, 48 p.
- MINAM (Ministerio del Ambiente, Perú). 2015. Mapa Nacional de Cobertura Vegetal. Ed. Ministerio del Ambiente. 1 ed. Lima, Perú, Ministerio del Ambiente, 105 p.
- Ordoñez, J. 2019. Movimiento en masa por lluvias intensas en el Perú. Lima, Perú, Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú - Dirección de Hidrología, 93 p.
- Peruccacci, S.; Brunetti, M.; Luciani, S.; Vennari, C. y Guzzetti, F. 2012. Lithological and seasonal control on rainfall thresholds for the possible initiation of landslides in central Italy. *Geomorphology* 139: 79-90.
- Pontificia Universidad Javeriana, Colombia. 2017. Definición de umbrales de precipitación que generen deslizamientos. 2017: 90.
- Ramos, A.; Trujillo-Vela, M. y Prada, L. 2015. Análisis descriptivos de procesos de remoción en masa en Bogotá. *Obras y proyectos* no.18: 63-75.
- Reichenbach, P.; Cardinali, M.; De Vita, P. y Guzzetti, F. 1998. Regional hydrological thresholds for landslides and floods in the Tiber River Basin (central Italy). *Environmental Geology* 35: 146-158.
- Selby, M. 1993. *Hillslope Materials and Processes*. Oxford, Oxford University Press, 451 p.
- SENAMHI (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú). 2019. Datos Hidrometeorológicos a nivel nacional (en línea). Consultado 31 may 2019. Disponible en <https://www.senamhi.gob.pe/?p=estaciones>
- Staley, D.; Kean, J.; Cannon, S.; Schmidt, K. y Laber, J. 2013. Objective definition of rainfall intensity–duration thresholds for the initiation of post-fire debris flows in southern California. *Landslides* 10(5): 547-562.

Suárez, J. 1998. Deslizamiento y estabilidad de taludes en zonas tropicales. Bucaramanga, Colombia, Instituto de Investigación sobre Erosión y Deslizamientos, 520 p.

Sumner, G. 1988. Precipitation: process and analysis. Ed. John Wiley & Sons Australia. Michigan, Michigan University.

Terzaghi, K. 1950. Mechanism of Landslides. Cambridge, Harvard University, Department of Engineering, 41 p.

USDA (Departamento de Agricultura de los Estados Unidos). 2014. Claves para la Taxonomía de Suelos Servicio de Conservación de Recursos Naturales. 12 ed. Texcoco, México, s.e., 410 p.

Vennari, C.; Gariano, S. L.; Antronico, L.; Brunetti, M. T.; Iovine, G.; Peruccacci, S.; Terranova, O. y Guzzetti, F. 2014. Rainfall thresholds for shallow landslide occurrence in Calabria, southern Italy. *Natural Hazards and Earth System Sciences* 14(2): 317-330.

Villar, L. 2019. Efectos de la variabilidad climática (temperatura y precipitación) en la seguridad alimentaria en Acomayo - Cusco. Tesis para optar el grado de Magister Scientiae en Nutrición Pública. Lima, Perú, UNALM. 95 p.

## **ANEXO 1: TABLAS Y BASE DE DATOS**

**Tabla 19: Base de datos de estaciones meteorológicas en las cuencas del río Rímac, Lurín y Chillón**

N°	Nombre de la estación	ID_EM	Tipo	Parámetros	Periodo de registro	Frecuencia	UTM_E	UTM_S	Altitud	Condición
1	Ate	EM_112192	Conv. Meteo.	-	-	-	291125.97	8669830.18	362	D
2	Autisha	EM_202903	Conv. Hidro.	Qd	2013-08 a 2018-06	(d)	324918.78	8702224.74	2152	D
3	Autisha	EM_155122	Conv. Meteo.	Pp	2013-10 a 2018-11	12 h	324436.17	8701899.03	2181	S
4	Campo de Marte	EM_112181	Auto(su). Meteo.	T°, H %, Pp, Ps, V.	2013-12 a 2018-11	1 h	277594.12	8664813.70	124	S
5	Campo de Marte	EM_006617	Conv. Meteo.	T°, Pp, V.	2013-10 a 2018-11	12 h	277597.42	8664818.03	123	S
6	Campo de Marte CGFAP	EM_000602	Conv. Meteo.	T°, Pp, V.	1977-12 a 2006-07	(d)	277591.68	8664816.45	124	D
7	Canchacalla	EM_151205	Conv. Meteo.	Pp	2007-09 a 2012-08	12 h	333184.36	8690149.70	2400	S
8	Carampoma	EM_155223	Conv. Meteo.	Pp	2013-10 a 2018-09	12 h	334839.11	8711151.01	3424	S
9	Casapalca	EM_472D773C2	Auto. Meteo.	T°, H %, Pp, Ps, V.	2013-12 a 2018-11	1 h	365554.40	8713177.02	4233	S
10	Casapalca	EM_155446	Conv. Meteo.	Pp	2013-10 a 2018-09	12 h	365555.60	8713178.87	4233	S
11	Chacrasana	EM_202908	Conv. Hidro.	-	1943-09 a 1948-08	(d)	309415.89	8676497.85	695	D
12	Chaute	EM_151206	Conv. Meteo.	Pp	1991-01 a 1995-12	(d)	336171.08	8680189.04	2215	D
13	Chorrillos	EM_000493	Conv. Meteo.	T°, Pp, V.	1959-05 a 1968-07	(d)	280531.75	8654167.78	37	D
14	Chosica	EM_47278214	Auto(su). Hidro.	T°, H %, Pp, Ps, V.	2013-11 a 2018-11	1 h	315985.78	8680642.99	867	S
15	Chosica	EM_202906	Conv. Hidro.	Qd	2013-08 a 2018-07	(d)	315985.77	8680644.83	867	D
16	Chosica	EM_151209	Conv. Meteo.	Pp	2013-10 a 2018-09	12 h	315983.67	8680641.75	867	S
17	Hospital Central FAP	EM_112179	Auto(si). Meteo.	T°, H %, Pp, Ps, V.	2007-10 a 2012-07	(d)	279088.69	8661156.20	158	D
18	Hospital Hipólito Unanue	EM_000615	-	-	-	-	269560.20	8665153.50	-	D
19	Huachipa	EM_112266	Auto. Meteo.	-	-	-	287827.37	8670827.35	294	D
20	Huilpas	EM_111276	Auto(da). Meteo.	T°, H %, Pp, Ps, V.	2012-02 a 2012-11	(d)	352334.40	8688058.10	3318	D
21	Kutoshica	EM_111205	Auto(da). Meteo.	T°, H %, Pp, Ps, V.	2012-02 a 2012-12	(d)	352065.97	8687872.45	3318	D
22	La Cantuta	EM_000544	Conv. Meteo.	T°, H %, Pp, V.	1975-11 a 1996-02	(d)	314662.89	8678859.95	836	D
23	La Pirhua	EM_155118	Conv. Meteo.	Pp	1975-10 a 1980-09	(d)	356461.93	8708097.53	4782	D
24	La Quisha	EM_155117	Conv. Meteo.	Pp	1990-07 a 1995-08	(d)	349559.40	8726499.16	4762	D
25	Las Palmas	EM_000603	Conv. Meteo.	T°, Pp, V.	1973-11 a 1978-12	(d)	282332.37	8656028.90	74	D
26	Las Palmas	EM_112164	Auto(si). Meteo.	T°, H %, Pp, Ps, V.	2005-06 a 2015-12	(d)	282396.05	8655963.90	73	D
27	Lima Este	EM_47200634	Auto(su). Meteo.	T°, H %, Pp, Ps, V.	2006-05 a 2016-08	1 h	290811.92	8667154.16	510	S
28	Limatambo	EM_140491	-	-	-	-	280422.81	8668923.71	-	D
29	Lince	EM_000490	Conv. Meteo.	T°, Pp, V.	1930-08 a 1963-05	(d)	278978.69	8663749.48	109	D
30	Matucana	EM_472CE45A	Auto. Meteo.	T°, H %, Pp, Ps, V.	2013-10 a 2018-11	1 h	349898.94	8690864.84	2417	S
31	Matucana	EM_000548	Conv. Meteo.	T°, H %, Pp, V.	2013-10 a 2018-09	12 h	349887.44	8690864.78	2417	S
32	Milloc	EM_202902	Conv. Hidro.	Qd	2013-08 a 2018-07	(d)	352780.27	8720594.94	4391	D
33	Milloc	EM_155514	Conv. Meteo.	Pp	2013-11 a 2018-10	12 h	352805.25	8720501.66	4384	S

«Continuación»

N°	Nombre de la estación	ID_EM	Tipo	Parámetros	Periodo de registro	Frecuencia	UTM_E	UTM_S	Altitud	Condición
34	Mina Colqui	EM_155113	Conv. Meteo.	Pp	1989-05 a 1994-04	(d)	338235.07	8719068.54	4600	D
35	Modelo	EM_000617	Conv. Meteo.	T°, Pp, V.	1994-12 a 1999-12	(d)	277672.37	8663854.40	123	D
36	Ñaña	EM_111290	Auto. Meteo.	Pp	2017-11 a 2018-12	1 h	299446.55	8674165.01	543	S
37	Ñaña	EM_000543	Conv. Meteo.	T°, H %, Pp, Ps, V.	2013-10 a 2018-09	12 h	299446.55	8674165.01	543	S
38	Puente Huachipa	EM_202910	Conv. Hidro.	Qd	2013-08 a 2018-07	(d)	293750.71	8671319.88	395	D
39	Rímac	EM_000612	Conv. Meteo.	T°, Pp, V.	1974-08 a 1984-12	(d)	276778.77	8670740.89	109	D
40	Rio Blanco	EM_212604	Auto. Hidro.	T°, H %, Pp, Ps, V.	2017-11 a 2018-11	1 h	362736.93	8702501.35	3600	S
41	Rio Blanco	EM_202904	Conv. Hidro.	Qd	2013-08 a 2018-07	(d)	362762.07	8702497.47	3510	D
42	Rio Blanco	EM_151210	Conv. Meteo.	Pp	2013-11 a 2018-10	12 h	362730.87	8702501.32	3503	S
43	San Borja	EM_112270	Auto(si). Meteo.	T°, H %, Pp, Ps, V.	2015-11	(d)	281483.19	8660631.11	136	D
44	San José de Parac	EM_155225	Conv. Meteo.	Pp	2013-11 a 2018-10	12 h	362933.13	8695195.97	3829	S
45	San Juan de Lurigancho	EM_112267	Auto. Meteo.	-	-	-	282381.79	8670788.27	239	D
46	San Marcos	EM_000619	Conv. Meteo.	T°, Pp, V.	1993-03 a 1998-02	(d)	273124.31	8665887.77	72	D
47	San Martín de Porres	EM_112265	Auto. Meteo.	-	-	-	273047.65	8671604.21	56	D
48	San Mateo	EM_202905	Conv. Hidro.	Qd	2013-08 a 2018-07	(d)	358227.28	8699643.22	3156	D
49	San Mateo de Huachor	EM_111175	Conv. Meteo.	Pp	2013-11 a 2018-10	12 h	358239.11	8699638.36	3015	S
50	San Mateo de Otao	EM_472EC742	Auto. Meteo.	T°, H %, Pp, Ps, V.	2013-12 a 2018-08	1 h	329674.53	8689892.41	3513	S
51	San Mateo de Otao	EM_111291	Conv. Meteo.	Pp	2013-10 a 2018-09	12 h	329674.77	8689904.09	3506	S
52	Santa Clara	EM_000614	Conv. Meteo.	T°, Pp, V.	1972-10 a 1976-07	(d)	294943.29	8669026.79	436	D
53	Santa Eulalia	EM_472E24B0	Auto. Meteo.	Pp horaria	2015-08 a 2018-12	1 h	318494.31	8681747.22	970	S
54	Santa Eulalia	EM_202930	Conv. Hidro.	Qd	2013-07 a 2018-07	(d)	318478.47	8681764.95	970	D
55	Santa Eulalia	EM_155213	Conv. Meteo.	Pp	2013-11 a 2018-10	12 h	318494.31	8681747.22	970	S
56	Sede Central	EM_472154B2	Auto(su). Meteo.	T°, H %, Pp, Ps, V.	2007-03 a 2008-07	(d)	277646.90	8663862.51	112	D
57	Sheque	EM_472CD1C0	Auto. Meteo.	T°, H %, Pp, Ps, V.	2013-11 a 2016-10	1 h	336247.82	8710453.96	3209	S
58	Sheque	EM_202901	Conv. Hidro.	Qd	2007-08 a 2012-12	(d)	336232.32	8710349.72	3248	D
59	Sheque	EM_151213	Conv. Meteo.	Pp	2013-11 a 2018-10	12 h	336242.11	8710503.40	3188	S
60	Soca	EM_111178	Auto(da). Meteo.	T°, H %, Pp, Ps, V.	2012-01 a 2012-11	(d)	351817.01	8688657.78	3135	D
61	Tingo	EM_155111	Conv. Meteo.	Pp	2013-11 a 2018-10	12 h	338284.11	8715411.83	3980	S
62	Von Humboldt	EM_472AC278	Auto(su). Meteo.	T°, H %, Pp, Ps, V.	2013-12 a 2018-11	1 h	288915.52	8663607.95	247	S
63	Von Humboldt	EM_000610	Conv. Meteo.	T°, Pp, V.	2003-01 a 2007-12	(d)	288919.38	8663617.81	247	D
64	Yanacoto	EM_202907	Conv. Hidro.	Qd	1955-09 a 1960-08	(d)	314827.81	8682062.99	1237	D
65	Yuracmayoedegel	EM_4726B574	Auto. Meteo.	Pp	2010-10 a 2018-12	1 h	374125.96	8690816.84	4320	S
66	Antioquia	EM_156100	Conv. Meteo.	T°, H %, Pp, Ps, V.	2013-11 a 2018-10	(d)	336744.56	8663784.08	1839	D

«Continuación»

N°	Nombre de la estación	ID_EM	Tipo	Parámetros	Periodo de registro	Frecuencia	UTM_E	UTM_S	Altitud	Condición
67	Langa	EM_151214	Conv. Meteo.	Pp	2013-11 a 2018-10	(d)	345361.00	8659060.49	2863	D
68	San Lázaro de Escomarca	EM_156102	Conv. Meteo.	T°, H %, Pp, Ps, V.	2013-11 a 2018-10	(d)	352900.99	8653078.24	3758	D
69	Santiago de Tuna	EM_472CA750	Auto. Meteo.	T°, H %, Pp, Ps, V.	2013-12 a 2018-11	1 h	334054.39	8674855.56	2924	S
70	Santiago de Tuna	EM_155224	Conv. Meteo.	Pp	2013-12 a 2018-11	12 h	334054.39	8674855.56	2924	S
71	Arahuay	EM_151204	Conv. Meteo.	Pp	2013-11 a 2018-10	(d)	314657.02	8715280.25	2800	D
72	Canta	EM_000547	Conv. Meteo.	T°, H %, Pp, Ps, V.	2013-11 a 2018-10	(d)	322668.88	8731416.98	2818	D
73	Carabayllo	EM_111286	Auto. Meteo.	Pp	2016-09 a 2018-12	1 h	278497.59	8683450.49	190	S
74	Huamantanga	EM_155209	Conv. Meteo.	Pp	2013-11 a 2018-10	(d)	309125.20	8728153.13	3392	D
75	Huaros	EM_155218	Conv. Meteo.	Pp	2013-11 a 2018-10	(d)	328073.87	8738502.47	3569	D
76	Lachaqui	EM_155217	Conv. Meteo.	Pp	2013-11 a 2018-10	(d)	322420.94	8722338.36	3670	D
77	Obrajillo	EM_156133	Conv. Meteo.	Pp	2013-11 a 2018-10	(d)	323054.35	8733473.90	2468	D
78	Pariacancha	EM_155112	Conv. Meteo.	Pp	2013-11 a 2018-10	(d)	336042.85	8740078.34	3842	D
79	Torococha	EM_472C2144	Auto. Meteo.	Pp	2015-04 a 2018-12	1 h	342514.13	8742939.10	4410	S

Qd. Caudal, Pp. Precipitación, T°. Temperatura, H %. Humedad, Ps. Presión, V. Viento, (d). diario, S. Seleccionada, D. Descartada.

**Tabla 20: Base de datos deslizamientos de tierra en la cuenca del río Rímac**

N°	Fuente	Ficha	ID_LS	Año	Mes	Día	Hora	Tipo	UTM_E	UTM_S	G	T	Vegetación	Suelo
1	SINPAD_INDECI	11596	RIM_11596-01	2005	9	13	10:30:00	Ds	282200.68	8665924.60	G <sub>1</sub>	T <sub>1</sub>	U	U
2	SINPAD_INDECI	13784	RIM_13784-01	2005	11	1	19:50:00	Dr	282365.06	8666554.43	G <sub>1</sub>	T <sub>1</sub>	U	U
3	SINPAD_INDECI	14132	RIM_14132-01	2006	2	4	16:30:00	Hc	321353.90	8701280.74	G <sub>100</sub>	T <sub>1</sub>	Ma	UOI-UOt-M(r)
4	SINPAD_INDECI	15153	RIM_15153-01	2006	2	4	15:45:00	Hc	319426.33	8689602.98	G <sub>1</sub>	T <sub>1</sub>	Car	TOI-M(r)
5	SINPAD_INDECI	15153	RIM_15153-02	2006	2	4	15:45:00	Hc	318892.93	8689202.93	G <sub>1</sub>	T <sub>1</sub>	Car	TOI-M(r)
6	SINPAD_INDECI	15153	RIM_15153-03	2006	2	4	15:45:00	Hc	318861.18	8688593.32	G <sub>1</sub>	T <sub>1</sub>	Car	TOI-M(r)
7	SINPAD_INDECI	25525	RIM_25525-01	2008	2	21	14:45:00	Hc	319627.96	8689088.57	G <sub>1</sub>	T <sub>1</sub>	Car	TOI-M(r)
8	SINPAD_INDECI	25631	RIM_25631-01	2008	2	21	13:00:00	Hc	329721.20	8681834.12	G <sub>1</sub>	T <sub>1</sub>	Car	TOI-M(r)
9	SINPAD_INDECI	31354	RIM_31354-01	2009	1	28	12:00:00	Ds	273990.14	8662033.95	G <sub>1</sub>	T <sub>3</sub>	U	U
10	SINPAD_INDECI	31532	RIM_31532-01	2009	2	13	18:30:00	Hc	324629.60	8681329.30	G <sub>1</sub>	T <sub>1</sub>	Dc	TOI-M(r)
11	SINPAD_INDECI	32056	RIM_32056-01	2009	3	12	18:30:00	Hc	324657.79	8681503.65	G <sub>1</sub>	T <sub>1</sub>	Dc	TOI-M(r)
12	SINPAD_INDECI	32056	RIM_32056-02	2009	3	12	18:30:00	Hc	345931.35	8689433.04	G <sub>1</sub>	T <sub>1</sub>	Ma	TOI-M(r)
13	SINPAD_INDECI	32056	RIM_32056-03	2009	3	12	18:30:00	Hc	340917.86	8685497.08	G <sub>1</sub>	T <sub>1</sub>	Car	TOI-M(r)
14	SINPAD_INDECI	32056	RIM_32056-04	2009	3	12	18:30:00	Hc	361984.97	8704232.92	G <sub>1</sub>	T <sub>1</sub>	Ma	UOI-UOt-M(r)
15	SINPAD_INDECI	32202	RIM_32202-01	2009	3	13	15:00:00	Hc	319673.62	8680929.37	G <sub>100</sub>	T <sub>2</sub>	Dc	TOI-M(r)
16	SINPAD_INDECI	32901	RIM_32901-01	2009	4	27	07:45:00	Dr	284678.36	8677733.15	G <sub>1</sub>	T <sub>1</sub>	U	TPSENTt-M(r)
17	SINPAD_INDECI	34381	RIM_34381-01	2009	9	3	04:00:00	Dr	283143.03	8679769.70	G <sub>1</sub>	T <sub>1</sub>	U	TPSENTt-M(r)
18	SINPAD_INDECI	34779	RIM_34779-01	2009	10	6	19:00:00	Dr	283977.56	8675265.34	G <sub>1</sub>	T <sub>1</sub>	U	TPSENTt-M(r)
19	SINPAD_INDECI	36000	RIM_36000-01	2010	1	8	12:00:00	Ds	278555.21	8658245.38	G <sub>1</sub>	T <sub>3</sub>	U	U
20	SINPAD_INDECI	36000	RIM_36000-02	2010	1	8	12:00:00	Ds	279297.93	8657482.12	G <sub>1</sub>	T <sub>3</sub>	U	U
21	SINPAD_INDECI	36031	RIM_36031-01	2010	1	8	10:30:00	Hc	285873.68	8676810.07	G <sub>1</sub>	T <sub>1</sub>	U	TPSENTt-M(r)
22	SINPAD_INDECI	36093	RIM_36093-01	2010	1	14	09:20:00	Dr	284295.22	8679669.54	G <sub>1</sub>	T <sub>1</sub>	U	TPSENTt-M(r)
23	SINPAD_INDECI	36094	RIM_36094-01	2010	1	13	03:00:00	Dr	280157.54	8676800.74	G <sub>1</sub>	T <sub>1</sub>	Dc	TPSENTt-M(r)
24	SINPAD_INDECI	36095	RIM_36095-01	2010	1	14	06:00:00	Dr	281779.37	8678845.63	G <sub>1</sub>	T <sub>1</sub>	U	TPSENTt-M(r)
25	SINPAD_INDECI	36096	RIM_36096-01	2010	1	14	15:30:00	Dr	284315.42	8679693.14	G <sub>1</sub>	T <sub>1</sub>	U	TPSENTt-M(r)
26	SINPAD_INDECI	36580	RIM_36580-01	2010	2	1	12:39:00	Ds	283853.85	8666654.83	G <sub>1</sub>	T <sub>1</sub>	U	U
27	SINPAD_INDECI	38515	RIM_38515-01	2010	5	5	11:30:00	Dr	283230.59	8678200.32	G <sub>1</sub>	T <sub>1</sub>	U	TPSENTt-M(r)
28	SINPAD_INDECI	39238	RIM_39238-01	2010	6	23	13:40:00	Ds	363427.38	8702386.36	G <sub>1</sub>	T <sub>1</sub>	Ma	UOI-UOt-M(r)
29	SINPAD_INDECI	39239	RIM_39239-01	2010	6	12	16:40:00	Ds	363062.37	8702377.74	G <sub>1</sub>	T <sub>1</sub>	Ma	UOI-UOt-M(r)
30	SINPAD_INDECI	39710	RIM_39710-01	2010	8	18	19:00:00	Dr	279972.98	8671513.79	G <sub>1</sub>	T <sub>1</sub>	Dc	TPSENTt-M(r)
31	SINPAD_INDECI	46085	RIM_46085-01	2011	8	3	17:00:00	Ds	279159.06	8671741.05	G <sub>1</sub>	T <sub>1</sub>	Dc	TPSENTt-M(r)
32	SINPAD_INDECI	46322	RIM_46322-01	2011	8	16	15:00:00	Ds	357611.77	8699332.44	G <sub>1</sub>	T <sub>1</sub>	Agri	UOI-UOt-M(r)
33	SINPAD_INDECI	46484	RIM_46484-01	2011	8	24	03:40:00	Dr	283215.92	8680612.39	G <sub>1</sub>	T <sub>1</sub>	U	TPSENTt-M(r)
34	SINPAD_INDECI	46496	RIM_46496-01	2011	8	23	07:30:00	Dr	279023.66	8671487.63	G <sub>1</sub>	T <sub>1</sub>	U	TPSENTt-M(r)

«Continuación»

N°	Fuente	Ficha	ID_LS	Año	Mes	Día	Hora	Tipo	UTM_E	UTM_S	G	T	Vegetación	Suelo
35	SINPAD_INDECI	48757	RIM_48757-01	2012	1	5	16:30:00	Hc	310599.76	8674180.67	G <sub>1</sub>	T <sub>1</sub>	Dc	TOI-M(r)
36	SINPAD_INDECI	48801	RIM_48801-01	2012	1	8	18:30:00	Hc	321575.54	8689724.43	G <sub>1</sub>	T <sub>1</sub>	Dc	TOI-M(r)
37	SINPAD_INDECI	49283	RIM_49283-01	2012	1	31	01:10:00	Dr	364944.91	8711873.08	G <sub>1</sub>	T <sub>1</sub>	Pj	COI-HCANt-M(r)
38	SINPAD_INDECI	51384	RIM_51384-01	2012	4	5	17:30:00	Hc	310449.91	8674252.51	G <sub>1</sub>	T <sub>1</sub>	Dc	TOI-M(r)
39	SINPAD_INDECI	51384	RIM_51384-02	2012	4	5	17:30:00	Hc	310165.48	8675911.45	G <sub>1</sub>	T <sub>1</sub>	U	TOI-M(r)
40	SINPAD_INDECI	51385	RIM_51385-01	2012	4	5	17:30:00	Hc	318019.48	8680056.45	G <sub>1</sub>	T <sub>1</sub>	Dc	TOI-M(r)
41	SINPAD_INDECI	51385	RIM_51385-02	2012	4	5	17:30:00	Hc	314476.79	8682111.51	G <sub>1</sub>	T <sub>1</sub>	Dc	TOI-M(r)
42	SINPAD_INDECI	51393	RIM_51393-01	2012	4	5	15:30:00	Hc	317493.85	8679755.69	G <sub>1</sub>	T <sub>1</sub>	Dc	TOI-M(r)
43	SINPAD_INDECI	51394	RIM_51394-01	2012	4	5	15:30:00	Hc	324617.69	8681372.66	G <sub>1</sub>	T <sub>1</sub>	Dc	TOI-M(r)
44	SINPAD_INDECI	51396	RIM_51396-01	2012	4	5	15:30:00	Hc	318699.26	8680552.65	G <sub>1</sub>	T <sub>1</sub>	Dc	TOI-M(r)
45	SINPAD_INDECI	51396	RIM_51396-02	2012	4	5	15:30:00	Hc	317834.49	8680964.93	G <sub>1</sub>	T <sub>1</sub>	U	TOI-M(r)
46	SINPAD_INDECI	52074	RIM_52074-01	2012	4	3	15:00:00	Ds	357570.62	8699355.48	G <sub>1</sub>	T <sub>1</sub>	Agri	UOI-UOt-M(r)
47	SINPAD_INDECI	52512	RIM_52512-01	2012	5	28	01:30:00	Ds	278759.54	8670882.66	G <sub>10</sub>	T <sub>1</sub>	U	TPSENTt-M(r)
48	SINPAD_INDECI	62015	RIM_62015-01	2013	11	26	04:00:00	Dr	299715.83	8670278.71	G <sub>1</sub>	T <sub>1</sub>	Dc	TPSENTt-M(r)
49	SINPAD_INDECI	62444	RIM_62444-01	2013	12	18	12:25:00	Ds	357601.16	8699302.65	G <sub>1</sub>	T <sub>1</sub>	Agri	UOI-UOt-M(r)
50	SINPAD_INDECI	63497	RIM_63497-01	2014	3	2	06:00:00	Hc	324402.93	8698230.16	G <sub>1</sub>	T <sub>1</sub>	Car	TOI-M(r)
51	SINPAD_INDECI	63497	RIM_63497-02	2014	3	2	15:10:00	Hc	324431.77	8698286.59	G <sub>1</sub>	T <sub>1</sub>	Car	TOI-M(r)
52	SINPAD_INDECI	64760	RIM_64760-01	2014	5	14	02:00:00	Ds	301130.96	8670048.06	G <sub>1</sub>	T <sub>1</sub>	Dc	TPSENTt-M(r)
53	SINPAD_INDECI	65162	RIM_65162-01	2014	5	31	11:59:00	Ds	357566.12	8699309.39	G <sub>1</sub>	T <sub>1</sub>	Agri	UOI-UOt-M(r)
54	SINPAD_INDECI	69363	RIM_69363-01	2015	3	23	17:30:00	Hc	317930.67	8682673.58	G <sub>1</sub>	T <sub>1</sub>	Dc	TOI-M(r)
55	SINPAD_INDECI	69363	RIM_69363-02	2015	3	23	17:30:00	Hc	317424.93	8683789.25	G <sub>1</sub>	T <sub>1</sub>	Dc	TOI-M(r)
56	SINPAD_INDECI	69363	RIM_69363-03	2015	3	23	17:30:00	Hc	318305.75	8684098.58	G <sub>1</sub>	T <sub>1</sub>	Dc	TOI-M(r)
57	SINPAD_INDECI	69402	RIM_69402-01	2015	3	23	18:00:00	Hc	316140.35	8681459.26	G <sub>1</sub>	T <sub>1</sub>	Dc	TOI-M(r)
58	SINPAD_INDECI	69402	RIM_69402-02	2015	3	23	18:00:00	Hc	309645.54	8678646.06	G <sub>1</sub>	T <sub>1</sub>	Dc	TOI-M(r)
59	SINPAD_INDECI	69402	RIM_69402-03	2015	3	23	18:00:00	Hc	316270.39	8682197.62	G <sub>1</sub>	T <sub>1</sub>	Dc	TOI-M(r)
60	SINPAD_INDECI	69402	RIM_69402-04	2015	3	23	18:00:00	Hc	314941.48	8677281.30	G <sub>1</sub>	T <sub>1</sub>	Dc	TOI-M(r)
61	SINPAD_INDECI	69402	RIM_69402-05	2015	3	23	18:00:00	Hc	315382.06	8681092.95	G <sub>1</sub>	T <sub>1</sub>	Dc	TOI-M(r)
62	SINPAD_INDECI	69402	RIM_69402-06	2015	3	23	18:00:00	Hc	316692.81	8679357.31	G <sub>1</sub>	T <sub>1</sub>	Dc	TOI-M(r)
63	SINPAD_INDECI	69402	RIM_69402-07	2015	3	23	18:00:00	Hc	314536.64	8682000.66	G <sub>1</sub>	T <sub>1</sub>	Dc	TOI-M(r)
64	SINPAD_INDECI	69402	RIM_69402-08	2015	3	23	18:00:00	Hc	312389.19	8681426.71	G <sub>1</sub>	T <sub>1</sub>	Dc	TOI-M(r)
65	SINPAD_INDECI	69402	RIM_69402-09	2015	3	23	18:00:00	Hc	316562.04	8682321.00	G <sub>1</sub>	T <sub>1</sub>	Dc	TOI-M(r)
66	SINPAD_INDECI	69402	RIM_69402-10	2015	3	23	18:00:00	Hc	315715.69	8678670.64	G <sub>1</sub>	T <sub>1</sub>	U	TOI-M(r)
67	SINPAD_INDECI	69402	RIM_69402-11	2015	3	23	18:00:00	Hc	316423.14	8681731.70	G <sub>1</sub>	T <sub>1</sub>	Dc	TOI-M(r)
68	SINPAD_INDECI	69402	RIM_69402-12	2015	3	23	18:00:00	Hc	316848.24	8680138.47	G <sub>1</sub>	T <sub>1</sub>	U	TOI-M(r)

«Continuación»

N°	Fuente	Ficha	ID_LS	Año	Mes	Día	Hora	Tipo	UTM_E	UTM_S	G	T	Vegetación	Suelo
69	SINPAD_INDECI	69402	RIM_69402-13	2015	3	23	18:00:00	Hc	310866.30	8679893.60	G <sub>1</sub>	T <sub>1</sub>	Dc	TOI-M(r)
70	SINPAD_INDECI	69402	RIM_69402-14	2015	3	23	18:00:00	Hc	317457.43	8679699.94	G <sub>1</sub>	T <sub>1</sub>	Dc	TOI-M(r)
71	SINPAD_INDECI	69402	RIM_69402-15	2015	3	23	18:00:00	Hc	313684.70	8676123.74	G <sub>1</sub>	T <sub>1</sub>	Dc	TOI-M(r)
72	SINPAD_INDECI	69871	RIM_69871-01	2015	2	9	16:00:00	Hc	307366.46	8676623.06	G <sub>1</sub>	T <sub>1</sub>	Dc	TPSENTt-M(r)
73	SINPAD_INDECI	69871	RIM_69871-02	2015	2	9	16:00:00	Hc	310954.59	8679786.22	G <sub>1</sub>	T <sub>1</sub>	Dc	TOI-M(r)
74	SINPAD_INDECI	70996	RIM_70996-01	2015	3	23	14:00:00	Hc	329854.55	8689833.82	G <sub>100</sub>	T <sub>1</sub>	Ma	TOI-M(r)
75	SINPAD_INDECI	72252	RIM_72252-01	2015	3	23	15:30:00	Hc	329189.18	8705436.66	G <sub>100</sub>	T <sub>1</sub>	Ma	UOI-UOt-M(r)
76	SINPAD_INDECI	72252	RIM_72252-02	2015	3	23	15:30:00	Hc	325516.76	8701171.57	G <sub>10</sub>	T <sub>1</sub>	Ma	TOI-M(r)
77	SINPAD_INDECI	74764	RIM_74764-01	2016	2	9	10:00:00	Dr	287686.52	8669809.61	G <sub>1</sub>	T <sub>1</sub>	U	U
78	SINPAD_INDECI	74767	RIM_74767-01	2016	2	9	16:30:00	Hc	330034.04	8681830.79	G <sub>1</sub>	T <sub>1</sub>	Car	TOI-M(r)
79	SINPAD_INDECI	75141	RIM_75141-01	2016	2	25	16:00:00	Hc	342895.63	8686197.56	G <sub>1</sub>	T <sub>1</sub>	Car	TOI-M(r)
80	SINPAD_INDECI	75884	RIM_75884-01	2016	2	29	15:30:00	Hc	336311.69	8711219.29	G <sub>10</sub>	T <sub>1</sub>	Ma	UOI-UOt
81	SINPAD_INDECI	76560	RIM_76560-01	2016	2	25	15:30:00	Hc	323998.81	8689012.69	G <sub>100</sub>	T <sub>1</sub>	Car	TOI-M(r)
82	SINPAD_INDECI	77516	RIM_77516-01	2016	3	20	15:40:00	Hc	334685.10	8687079.64	G <sub>1</sub>	T <sub>1</sub>	Car	TOI-M(r)
83	SINPAD_INDECI	77732	RIM_77732-01	2016	2	5	15:40:00	Hc	348294.58	8689763.26	G <sub>1</sub>	T <sub>1</sub>	Car	TOI-M(r)
84	SINPAD_INDECI	80824	RIM_80824-01	2017	1	15	15:00:00	Hc	320059.98	8679783.01	G <sub>1</sub>	T <sub>1</sub>	Dc	TOI-M(r)
85	SINPAD_INDECI	80824	RIM_80824-02	2017	1	15	15:00:00	Hc	324803.97	8681420.78	G <sub>1</sub>	T <sub>1</sub>	Dc	TOI-M(r)
86	SINPAD_INDECI	80824	RIM_80824-03	2017	1	15	15:00:00	Hc	317437.96	8679757.08	G <sub>1</sub>	T <sub>1</sub>	Dc	TOI-M(r)
87	SINPAD_INDECI	80824	RIM_80824-04	2017	1	15	15:00:00	Hc	318189.37	8679992.03	G <sub>1</sub>	T <sub>1</sub>	Dc	TOI-M(r)
88	SINPAD_INDECI	80824	RIM_80824-05	2017	1	15	15:00:00	Hc	322605.28	8681117.57	G <sub>1</sub>	T <sub>1</sub>	Dc	TOI-M(r)
89	SINPAD_INDECI	80824	RIM_80824-06	2017	1	15	15:00:00	Hc	318801.09	8680550.83	G <sub>1</sub>	T <sub>1</sub>	Dc	TOI-M(r)
90	SINPAD_INDECI	80824	RIM_80824-07	2017	1	15	15:00:00	Hc	318540.74	8680969.40	G <sub>1</sub>	T <sub>1</sub>	Dc	TOI-M(r)
91	SINPAD_INDECI	80825	RIM_80825-01	2017	1	15	15:00:00	Hc	319204.05	8686154.77	G <sub>1</sub>	T <sub>1</sub>	Dc	TOI-M(r)
92	SINPAD_INDECI	80825	RIM_80825-02	2017	1	15	15:00:00	Hc	322012.34	8693966.87	G <sub>1</sub>	T <sub>1</sub>	Car	TOI-M(r)
93	SINPAD_INDECI	80825	RIM_80825-03	2017	1	15	15:00:00	Hc	321529.74	8689627.43	G <sub>1</sub>	T <sub>1</sub>	Dc	TOI-M(r)
94	SINPAD_INDECI	80825	RIM_80825-04	2017	1	15	15:00:00	Hc	320954.27	8685674.55	G <sub>1</sub>	T <sub>1</sub>	Dc	TOI-M(r)
95	SINPAD_INDECI	80825	RIM_80825-05	2017	1	15	15:00:00	Hc	320366.89	8688222.49	G <sub>1</sub>	T <sub>1</sub>	Dc	TOI-M(r)
96	SINPAD_INDECI	80825	RIM_80825-06	2017	1	15	15:00:00	Hc	320164.49	8682213.79	G <sub>1</sub>	T <sub>1</sub>	Dc	TOI-M(r)
97	SINPAD_INDECI	80825	RIM_80825-07	2017	1	15	15:00:00	Hc	321835.33	8682269.35	G <sub>1</sub>	T <sub>1</sub>	Dc	TOI-M(r)
98	SINPAD_INDECI	80825	RIM_80825-08	2017	1	15	15:00:00	Hc	324676.96	8683888.61	G <sub>1</sub>	T <sub>1</sub>	Car	TOI-M(r)
99	SINPAD_INDECI	80825	RIM_80825-09	2017	1	15	15:00:00	Hc	319775.55	8687059.64	G <sub>1</sub>	T <sub>1</sub>	Dc	TOI-M(r)
100	SINPAD_INDECI	80860	RIM_80860-10	2017	1	15	15:30:00	Hc	309402.61	8675412.79	G <sub>1</sub>	T <sub>1</sub>	Dc	TOI-M(r)
101	SINPAD_INDECI	80860	RIM_80860-11	2017	1	15	15:30:00	Hc	310351.77	8674228.24	G <sub>1</sub>	T <sub>1</sub>	Dc	TOI-M(r)
102	SINPAD_INDECI	81127	RIM_81127-01	2017	1	16	11:59:00	Hc	364846.14	8711775.54	G <sub>1</sub>	T <sub>1</sub>	Pj	COI-HCANt-M(r)

«Continuación»

N°	Fuente	Ficha	ID_LS	Año	Mes	Día	Hora	Tipo	UTM_E	UTM_S	G	T	Vegetación	Suelo
103	SINPAD_INDECI	81149	RIM_81149-01	2017	1	25	23:40:00	Hc	323772.77	8698641.53	G <sub>1</sub>	T <sub>1</sub>	Car	TOI-M(r)
104	SINPAD_INDECI	81149	RIM_81149-02	2017	1	25	23:40:00	Hc	326820.78	8706368.44	G <sub>1</sub>	T <sub>1</sub>	Ma	TOI-M(r)
105	SINPAD_INDECI	81149	RIM_81149-03	2017	1	25	23:40:00	Hc	324407.77	8698549.98	G <sub>1</sub>	T <sub>1</sub>	Car	TOI-M(r)
106	SINPAD_INDECI	81149	RIM_81149-04	2017	1	25	23:40:00	Hc	324153.77	8697188.96	G <sub>1</sub>	T <sub>1</sub>	Car	TOI-M(r)
107	SINPAD_INDECI	81173	RIM_81173-01	2017	1	25	15:20:00	Hc	307587.50	8674309.15	G <sub>1</sub>	T <sub>1</sub>	Dc	TPSENTt-M(r)
108	SINPAD_INDECI	81173	RIM_81173-02	2017	1	25	15:20:00	Hc	310623.60	8674276.08	G <sub>1</sub>	T <sub>1</sub>	Dc	TOI-M(r)
109	SINPAD_INDECI	81175	RIM_81175-01	2017	1	26	13:00:00	Hc	307559.17	8674255.60	G <sub>1</sub>	T <sub>1</sub>	Dc	TPSENTt-M(r)
110	SINPAD_INDECI	81175	RIM_81175-02	2017	1	26	14:00:00	Hc	306228.31	8673457.88	G <sub>1</sub>	T <sub>1</sub>	Dc	TPSENTt-M(r)
111	SINPAD_INDECI	81362	RIM_81362-01	2017	1	15	14:15:00	Hc	329805.31	8689782.64	G <sub>100</sub>	T <sub>1</sub>	Ma	TOI-M(r)
112	SINPAD_INDECI	81408	RIM_81408-01	2017	1	25	15:30:00	Hc	289942.23	8686036.18	G <sub>1</sub>	T <sub>1</sub>	Dc	TOI-M(r)
113	SINPAD_INDECI	81477	RIM_81477-01	2017	2	3	02:00:00	Ds	323712.30	8698830.49	G <sub>1</sub>	T <sub>1</sub>	Car	TOI-M(r)
114	SINPAD_INDECI	81627	RIM_81627-01	2017	2	8	16:30:00	Hc	336900.51	8684247.05	G <sub>1</sub>	T <sub>1</sub>	Car	TOI-M(r)
115	SINPAD_INDECI	81627	RIM_81627-02	2017	2	8	16:30:00	Hc	336037.97	8679704.14	G <sub>1</sub>	T <sub>1</sub>	Agri	TOI-M(r)
116	SINPAD_INDECI	81627	RIM_81627-03	2017	2	8	16:30:00	Hc	336245.67	8683544.58	G <sub>1</sub>	T <sub>1</sub>	Car	TOI-M(r)
117	SINPAD_INDECI	81627	RIM_81627-04	2017	2	8	16:30:00	Hc	337475.72	8684792.09	G <sub>1</sub>	T <sub>1</sub>	Car	TOI-M(r)
118	SINPAD_INDECI	81627	RIM_81627-05	2017	2	8	16:30:00	Hc	333439.75	8682611.92	G <sub>100</sub>	T <sub>1</sub>	Car	TOI-M(r)
119	SINPAD_INDECI	81655	RIM_81655-01	2017	1	31	16:45:00	Hc	280854.63	8668715.04	G <sub>1</sub>	T <sub>1</sub>	U	U
120	SINPAD_INDECI	81730	RIM_81730-01	2017	2	8	15:20:00	Hc	335847.05	8708409.20	G <sub>1</sub>	T <sub>1</sub>	Ma	UOI-UOt
121	SINPAD_INDECI	81838	RIM_81838-01	2017	1	14	17:00:00	Hc	351973.14	8720848.27	G <sub>100</sub>	T <sub>1</sub>	Esv	COI-HCANt-M(r)
122	SINPAD_INDECI	81841	RIM_81841-01	2017	1	17	15:15:00	Hc	352167.25	8721420.29	G <sub>100</sub>	T <sub>1</sub>	Esv	COI-HCANt-M(r)
123	SINPAD_INDECI	81842	RIM_81842-01	2017	1	22	18:45:00	Hc	352830.44	8720432.98	G <sub>100</sub>	T <sub>1</sub>	Esv	COI-HCANt-M(r)
124	SINPAD_INDECI	81857	RIM_81857-01	2017	2	14	18:00:00	Hc	325097.09	8701830.83	G <sub>1</sub>	T <sub>1</sub>	Car	TOI-M(r)
125	SINPAD_INDECI	81860	RIM_81860-01	2017	2	10	18:30:00	Ds	326706.35	8703596.77	G <sub>1</sub>	T <sub>1</sub>	Ma	TOI-M(r)
126	SINPAD_INDECI	81957	RIM_81957-01	2017	2	2	01:00:00	Hc	352075.11	8698658.07	G <sub>1</sub>	T <sub>1</sub>	Ma	UOI-UOt-M(r)
127	SINPAD_INDECI	81960	RIM_81960-01	2017	2	6	16:30:00	Hc	324088.81	8691445.11	G <sub>10</sub>	T <sub>1</sub>	Car	TOI-M(r)
128	SINPAD_INDECI	81986	RIM_81986-01	2017	2	5	16:50:00	Hc	322755.62	8692998.67	G <sub>1</sub>	T <sub>1</sub>	Agri	TOI-M(r)
129	SINPAD_INDECI	81995	RIM_81995-01	2017	2	17	16:15:00	Ds	324099.35	8691523.37	G <sub>10</sub>	T <sub>1</sub>	Car	TOI-M(r)
130	SINPAD_INDECI	82024	RIM_82024-01	2017	2	18	03:30:00	Hc	323975.52	8696527.89	G <sub>1</sub>	T <sub>1</sub>	Car	TOI-M(r)
131	SINPAD_INDECI	82131	RIM_82131-01	2017	2	13	16:10:00	Dr	333507.12	8707858.01	G <sub>10</sub>	T <sub>1</sub>	Ma	UOI-UOt
132	SINPAD_INDECI	82170	RIM_82170-01	2017	2	2	17:30:00	Hc	326933.84	8706351.66	G <sub>1</sub>	T <sub>1</sub>	Ma	TOI-M(r)
133	SINPAD_INDECI	82231	RIM_82231-01	2017	2	6	15:55:00	Hc	323356.76	8690733.88	G <sub>10</sub>	T <sub>1</sub>	Car	TOI-M(r)
134	SINPAD_INDECI	82231	RIM_82231-02	2017	2	6	15:55:00	Hc	323298.55	8690725.94	G <sub>100</sub>	T <sub>1</sub>	Car	TOI-M(r)
135	SINPAD_INDECI	82278	RIM_82278-01	2017	1	7	14:00:00	Ds	333928.12	8677923.23	G <sub>100</sub>	T <sub>1</sub>	Ma	TOI-M(r)
136	SINPAD_INDECI	82279	RIM_82279-01	2017	2	19	16:00:00	Ds	336155.03	8713401.27	G <sub>100</sub>	T <sub>1</sub>	Ma	UOI-UOt

«Continuación»

N°	Fuente	Ficha	ID_LS	Año	Mes	Día	Hora	Tipo	UTM_E	UTM_S	G	T	Vegetación	Suelo
137	SINPAD_INDECI	82296	RIM_82296-01	2017	2	25	19:00:00	Ds	324561.63	8701233.43	G <sub>1</sub>	T <sub>1</sub>	Car	TOI-M(r)
138	SINPAD_INDECI	82310	RIM_82310-01	2017	1	31	04:20:00	Hc	295066.96	8678124.89	G <sub>1</sub>	T <sub>1</sub>	Dc	UFt-UOt
139	SINPAD_INDECI	82341	RIM_82341-01	2017	1	2	18:00:00	Dr	336111.70	8713399.14	G <sub>100</sub>	T <sub>1</sub>	Ma	UOI-UOt
140	SINPAD_INDECI	82457	RIM_82457-01	2017	1	25	17:00:00	Ds	331881.18	8709964.47	G <sub>300</sub>	T <sub>1</sub>	Ma	COI-HCANt-M(r)
141	SINPAD_INDECI	82565	RIM_82565-01	2017	3	2	15:30:00	Hc	314537.23	8681875.10	G <sub>1</sub>	T <sub>1</sub>	Dc	TOI-M(r)
142	SINPAD_INDECI	82565	RIM_82565-02	2017	3	2	15:30:00	Hc	313767.30	8676120.40	G <sub>1</sub>	T <sub>1</sub>	Dc	TOI-M(r)
143	SINPAD_INDECI	82565	RIM_82565-03	2017	3	2	17:00:00	Hc	295167.05	8678170.93	G <sub>1</sub>	T <sub>1</sub>	Dc	UFt-UOt
144	SINPAD_INDECI	82687	RIM_82687-01	2017	2	27	16:00:00	Hc	309647.97	8674779.41	G <sub>1</sub>	T <sub>1</sub>	Dc	TOI-M(r)
145	SINPAD_INDECI	82687	RIM_82687-02	2017	2	27	16:00:00	Hc	309377.30	8675409.38	G <sub>1</sub>	T <sub>1</sub>	Dc	TOI-M(r)
146	SINPAD_INDECI	82687	RIM_82687-03	2017	2	27	16:00:00	Hc	310499.67	8674365.86	G <sub>1</sub>	T <sub>1</sub>	Dc	TOI-M(r)
147	SINPAD_INDECI	82687	RIM_82687-04	2017	2	27	16:00:00	Hc	307619.94	8674219.81	G <sub>1</sub>	T <sub>1</sub>	Dc	TPSENTt-M(r)
148	SINPAD_INDECI	82759	RIM_82759-01	2017	1	22	15:30:00	Hc	307492.10	8674231.99	G <sub>1</sub>	T <sub>1</sub>	Dc	TPSENTt-M(r)
149	SINPAD_INDECI	82852	RIM_82852-01	2017	3	3	03:10:00	Dr	335892.20	8708455.50	G <sub>1</sub>	T <sub>1</sub>	Ma	UOI-UOt
150	SINPAD_INDECI	83030	RIM_83030-01	2017	3	3	16:55:00	Hc	322673.13	8692940.54	G <sub>1</sub>	T <sub>1</sub>	Agri	TOI-M(r)
151	SINPAD_INDECI	83053	RIM_83053-01	2017	3	1	03:00:00	Ds	332214.23	8682831.45	G <sub>1</sub>	T <sub>1</sub>	Agri	TOI-M(r)
152	SINPAD_INDECI	83279	RIM_83279-01	2017	3	14	13:30:00	Hc	324044.40	8691518.58	G <sub>10</sub>	T <sub>1</sub>	Car	TOI-M(r)
153	SINPAD_INDECI	83313	RIM_83313-01	2017	3	15	15:45:00	Hc	324031.95	8691440.55	G <sub>10</sub>	T <sub>1</sub>	Car	TOI-M(r)
154	SINPAD_INDECI	83327	RIM_83327-01	2017	3	15	19:00:00	Hc	310513.33	8674156.34	G <sub>1</sub>	T <sub>1</sub>	Dc	TOI-M(r)
155	SINPAD_INDECI	83383	RIM_83383-01	2017	3	16	15:10:00	Hc	315420.56	8681186.41	G <sub>1</sub>	T <sub>1</sub>	Dc	TOI-M(r)
156	SINPAD_INDECI	83383	RIM_83383-02	2017	3	16	15:10:00	Hc	309705.55	8678694.03	G <sub>1</sub>	T <sub>1</sub>	Dc	TOI-M(r)
157	SINPAD_INDECI	83383	RIM_83383-03	2017	3	16	15:10:00	Hc	316341.32	8682138.91	G <sub>1</sub>	T <sub>1</sub>	Dc	TOI-M(r)
158	SINPAD_INDECI	83383	RIM_83383-04	2017	3	16	15:10:00	Hc	316071.44	8681559.47	G <sub>1</sub>	T <sub>1</sub>	Dc	TOI-M(r)
159	SINPAD_INDECI	83383	RIM_83383-05	2017	3	16	15:10:00	Hc	318047.88	8679876.72	G <sub>1</sub>	T <sub>1</sub>	Dc	TOI-M(r)
160	SINPAD_INDECI	83383	RIM_83383-06	2017	3	16	15:10:00	Hc	314349.00	8682107.16	G <sub>1</sub>	T <sub>1</sub>	Dc	TOI-M(r)
161	SINPAD_INDECI	83383	RIM_83383-07	2017	3	16	15:10:00	Hc	310975.56	8679940.22	G <sub>1</sub>	T <sub>1</sub>	Dc	TOI-M(r)
162	SINPAD_INDECI	83383	RIM_83383-08	2017	3	16	15:10:00	Hc	312285.25	8681392.79	G <sub>1</sub>	T <sub>1</sub>	Dc	TOI-M(r)
163	SINPAD_INDECI	83383	RIM_83383-09	2017	3	16	15:10:00	Hc	295296.32	8678172.80	G <sub>1</sub>	T <sub>1</sub>	Dc	UFt-UOt
164	SINPAD_INDECI	83519	RIM_83519-01	2017	3	17	19:00:00	Hc	312316.55	8681293.35	G <sub>1</sub>	T <sub>1</sub>	Dc	TOI-M(r)
165	SINPAD_INDECI	83519	RIM_83519-02	2017	3	17	19:00:00	Hc	314562.87	8681793.41	G <sub>1</sub>	T <sub>1</sub>	Dc	TOI-M(r)
166	SINPAD_INDECI	83546	RIM_83546-01	2017	3	16	04:00:00	Ds	348654.41	8690160.57	G <sub>10</sub>	T <sub>1</sub>	Ma	TOI-M(r)
167	SINPAD_INDECI	83547	RIM_83547-01	2017	3	14	01:00:00	Hc	334459.81	8711026.41	G <sub>300</sub>	T <sub>1</sub>	Ma	COI-HCANt-M(r)
168	SINPAD_INDECI	83555	RIM_83555-01	2017	3	12	12:00:00	Hc	342859.08	8685741.83	G <sub>100</sub>	T <sub>3</sub>	Ma	TOI-M(r)
169	SINPAD_INDECI	83591	RIM_83591-01	2017	3	19	01:30:00	Hc	343013.59	8685440.27	G <sub>1</sub>	T <sub>1</sub>	Agri	TOI-M(r)
170	SINPAD_INDECI	83591	RIM_83591-02	2017	3	19	01:30:00	Hc	343573.19	8685487.89	G <sub>1</sub>	T <sub>1</sub>	Agri	TOI-M(r)

«Continuación»

N°	Fuente	Ficha	ID_LS	Año	Mes	Día	Hora	Tipo	UTM_E	UTM_S	G	T	Vegetación	Suelo
171	SINPAD_INDECI	83654	RIM_83654-01	2017	3	16	17:50:00	Ds	333423.46	8714422.59	G <sub>10</sub>	T <sub>1</sub>	Pj	COI-HCANt-M(r)
172	SINPAD_INDECI	83850	RIM_83850-01	2017	3	17	20:30:00	Hc	310534.27	8674262.15	G <sub>1</sub>	T <sub>1</sub>	Dc	TOI-M(r)
173	SINPAD_INDECI	84158	RIM_84158-01	2017	3	18	17:15:00	Dr	330330.87	8708641.32	G <sub>1</sub>	T <sub>1</sub>	Ma	UOI-UOt-M(r)
174	SINPAD_INDECI	84160	RIM_84160-01	2017	3	17	15:50:00	Mx	331877.23	8710120.90	G <sub>10</sub>	T <sub>1</sub>	Ma	UOI-UOt-M(r)
175	SINPAD_INDECI	84242	RIM_84242-01	2017	3	21	15:55:00	Hc	332067.55	8710153.49	G <sub>1</sub>	T <sub>1</sub>	Agri	UOI-UOt-M(r)
176	SINPAD_INDECI	84263	RIM_84263-01	2017	3	17	18:00:00	Dr	331957.54	8709973.84	G <sub>300</sub>	T <sub>1</sub>	Ma	COI-HCANt-M(r)
177	SINPAD_INDECI	84287	RIM_84287-01	2017	3	20	13:00:00	Hc	334631.26	8710373.07	G <sub>1</sub>	T <sub>1</sub>	Ma	UOI-UOt
178	SINPAD_INDECI	84288	RIM_84288-01	2017	3	1	12:50:00	Ds	335069.26	8710464.69	G <sub>1</sub>	T <sub>1</sub>	Ma	UOI-UOt
179	SINPAD_INDECI	84299	RIM_84299-01	2017	3	10	13:30:00	Ds	330653.56	8707915.30	G <sub>100</sub>	T <sub>1</sub>	Ma	UOI-UOt-M(r)
180	SINPAD_INDECI	84311	RIM_84311-01	2017	3	15	14:00:00	Ds	333426.80	8710394.95	G <sub>10</sub>	T <sub>1</sub>	Ma	UOI-UOt-M(r)
181	SINPAD_INDECI	84359	RIM_84359-01	2017	3	16	18:00:00	Hc	323294.05	8691068.55	G <sub>1</sub>	T <sub>1</sub>	Agri	TOI-M(r)
182	SINPAD_INDECI	84396	RIM_84396-01	2017	3	15	14:00:00	Hc	319235.96	8686268.74	G <sub>1</sub>	T <sub>1</sub>	Dc	TOI-M(r)
183	SINPAD_INDECI	84396	RIM_84396-02	2017	3	15	14:00:00	Hc	320950.47	8685800.42	G <sub>1</sub>	T <sub>1</sub>	Dc	TOI-M(r)
184	SINPAD_INDECI	84396	RIM_84396-03	2017	3	15	14:00:00	Hc	317608.77	8683871.61	G <sub>1</sub>	T <sub>1</sub>	Dc	TOI-M(r)
185	SINPAD_INDECI	84396	RIM_84396-04	2017	3	15	14:00:00	Hc	318488.51	8683727.41	G <sub>100</sub>	T <sub>1</sub>	Dc	TOI-M(r)
186	SINPAD_INDECI	84396	RIM_84396-05	2017	3	15	14:00:00	Hc	320220.21	8682196.79	G <sub>1</sub>	T <sub>1</sub>	Dc	TOI-M(r)
187	SINPAD_INDECI	84396	RIM_84396-06	2017	3	15	14:00:00	Hc	324569.97	8683903.36	G <sub>1</sub>	T <sub>1</sub>	Car	TOI-M(r)
188	SINPAD_INDECI	84396	RIM_84396-07	2017	3	15	14:00:00	Hc	321728.34	8682284.10	G <sub>1</sub>	T <sub>1</sub>	Car	TOI-M(r)
189	SINPAD_INDECI	84396	RIM_84396-08	2017	3	15	14:00:00	Hc	320946.80	8689948.08	G <sub>1</sub>	T <sub>1</sub>	Car	TOI-M(r)
190	SINPAD_INDECI	84396	RIM_84396-09	2017	3	15	14:00:00	Hc	322418.24	8691148.32	G <sub>1</sub>	T <sub>1</sub>	Car	TOI-M(r)
191	SINPAD_INDECI	84396	RIM_84396-10	2017	3	15	14:00:00	Hc	317210.31	8682469.18	G <sub>1</sub>	T <sub>1</sub>	Dc	TOI-M(r)
192	SINPAD_INDECI	84402	RIM_84402-01	2017	3	16	15:15:00	Hc	318529.23	8683792.76	G <sub>100</sub>	T <sub>1</sub>	Dc	TOI-M(r)
193	SINPAD_INDECI	84402	RIM_84402-02	2017	3	16	15:15:00	Hc	324654.35	8683977.97	G <sub>1</sub>	T <sub>1</sub>	Car	TOI-M(r)
194	SINPAD_INDECI	84402	RIM_84402-03	2017	3	16	15:15:00	Hc	321823.30	8682377.24	G <sub>1</sub>	T <sub>1</sub>	Car	TOI-M(r)
195	SINPAD_INDECI	84402	RIM_84402-04	2017	3	16	15:15:00	Hc	320169.65	8682258.18	G <sub>1</sub>	T <sub>1</sub>	Dc	TOI-M(r)
196	SINPAD_INDECI	84402	RIM_84402-05	2017	3	16	15:15:00	Hc	319561.11	8689613.61	G <sub>1</sub>	T <sub>1</sub>	Car	TOI-M(r)
197	SINPAD_INDECI	84402	RIM_84402-06	2017	3	16	15:15:00	Hc	321029.55	8685724.23	G <sub>1</sub>	T <sub>1</sub>	Dc	TOI-M(r)
198	SINPAD_INDECI	84402	RIM_84402-07	2017	3	16	15:15:00	Hc	317656.11	8683753.08	G <sub>1</sub>	T <sub>1</sub>	Dc	TOI-M(r)
199	SINPAD_INDECI	84402	RIM_84402-08	2017	3	16	15:15:00	Hc	322378.93	8691068.82	G <sub>1</sub>	T <sub>1</sub>	Car	TOI-M(r)
200	SINPAD_INDECI	84489	RIM_84489-01	2017	3	15	15:30:00	Ds	330647.36	8682064.40	G <sub>1</sub>	T <sub>1</sub>	Agri	TOI-M(r)
201	SINPAD_INDECI	84548	RIM_84548-01	2017	3	15	20:30:00	Hc	307488.52	8674303.06	G <sub>1</sub>	T <sub>1</sub>	Dc	TPSENTt-M(r)
202	SINPAD_INDECI	84804	RIM_84804-01	2017	3	16	14:50:00	Ds	335447.45	8711042.70	G <sub>1</sub>	T <sub>1</sub>	Agri	UOI-UOt
203	SINPAD_INDECI	84884	RIM_84884-02	2017	4	19	12:00:00	Hc	323151.28	8690988.32	G <sub>1</sub>	T <sub>3</sub>	Agri	TOI-M(r)
204	SINPAD_INDECI	84889	RIM_84889-01	2017	3	16	16:31:00	Hc	323200.95	8690992.81	G <sub>1</sub>	T <sub>1</sub>	Agri	TOI-M(r)

«Continuación»

N°	Fuente	Ficha	ID_LS	Año	Mes	Día	Hora	Tipo	UTM_E	UTM_S	G	T	Vegetación	Suelo
205	SINPAD_INDECI	84891	RIM_84891-01	2017	3	16	16:35:00	Hc	323249.66	8690985.09	G <sub>1</sub>	T <sub>1</sub>	Agri	TOI-M(r)
206	SINPAD_INDECI	84952	RIM_84952-01	2017	3	27	12:00:00	Ds	336340.74	8711276.94	G <sub>10</sub>	T <sub>3</sub>	Ma	UOI-UOt
207	SINPAD_INDECI	85047	RIM_85047-01	2017	3	30	14:30:00	Ds	334667.87	8710369.42	G <sub>1</sub>	T <sub>1</sub>	Ma	UOI-UOt
208	SINPAD_INDECI	85377	RIM_85377-01	2017	3	16	17:35:00	Hc	323216.28	8691071.26	G <sub>100</sub>	T <sub>1</sub>	Car	TOI-M(r)
209	SINPAD_INDECI	85378	RIM_85378-01	2017	3	16	17:40:00	Hc	323145.52	8690501.95	G <sub>100</sub>	T <sub>1</sub>	Car	TOI-M(r)
210	SINPAD_INDECI	85388	RIM_85388-01	2017	3	19	06:00:00	Hc	325763.46	8699612.18	G <sub>100</sub>	T <sub>1</sub>	Ma	TOI-M(r)
211	SINPAD_INDECI	85558	RIM_85558-01	2017	3	16	09:30:00	Hc	323302.48	8690774.10	G <sub>100</sub>	T <sub>1</sub>	Car	TOI-M(r)
212	SINPAD_INDECI	85560	RIM_85560-01	2017	3	16	10:00:00	Hc	323530.06	8691998.54	G <sub>100</sub>	T <sub>1</sub>	Car	TOI-M(r)
213	SINPAD_INDECI	85561	RIM_85561-01	2017	3	16	10:00:00	Ds	323470.18	8692040.30	G <sub>100</sub>	T <sub>1</sub>	Car	TOI-M(r)
214	SINPAD_INDECI	85563	RIM_85563-01	2017	3	16	10:15:00	Hc	323355.46	8690778.88	G <sub>100</sub>	T <sub>1</sub>	Car	TOI-M(r)
215	SINPAD_INDECI	85564	RIM_85564-01	2017	3	16	10:15:00	Hc	323437.13	8691926.93	G <sub>100</sub>	T <sub>1</sub>	Car	TOI-M(r)
216	SINPAD_INDECI	85565	RIM_85565-01	2017	3	16	10:20:00	Hc	323431.56	8691992.70	G <sub>100</sub>	T <sub>1</sub>	Car	TOI-M(r)
217	SINPAD_INDECI	85566	RIM_85566-01	2017	3	16	10:45:00	Hc	323491.36	8691964.09	G <sub>100</sub>	T <sub>1</sub>	Car	TOI-M(r)
218	SINPAD_INDECI	85569	RIM_85569-01	2017	3	16	11:00:00	Hc	322890.54	8689866.71	G <sub>10</sub>	T <sub>1</sub>	Car	TOI-M(r)
219	SINPAD_INDECI	85645	RIM_85645-01	2017	3	10	14:30:00	Ds	329789.19	8707875.27	G <sub>100</sub>	T <sub>1</sub>	Ma	UOI-UOt-M(r)
220	SINPAD_INDECI	85760	RIM_85760-01	2017	3	16	16:00:00	Ds	324483.19	8698319.20	G <sub>1</sub>	T <sub>1</sub>	Car	TOI-M(r)
221	SINPAD_INDECI	85871	RIM_85871-01	2017	3	23	14:00:00	Hc	324691.34	8681353.57	G <sub>1</sub>	T <sub>1</sub>	Dc	TOI-M(r)
222	SINPAD_INDECI	85871	RIM_85871-02	2017	3	23	14:00:00	Hc	322651.40	8680353.45	G <sub>1</sub>	T <sub>1</sub>	Dc	TOI-M(r)
223	SINPAD_INDECI	86017	RIM_86017-01	2017	3	16	19:00:00	Hc	322675.41	8693023.57	G <sub>1</sub>	T <sub>1</sub>	Agri	TOI-M(r)
224	SINPAD_INDECI	86018	RIM_86018-01	2017	3	16	07:00:00	Hc	322836.02	8690285.42	G <sub>10</sub>	T <sub>1</sub>	Car	TOI-M(r)
225	SINPAD_INDECI	86023	RIM_86023-01	2017	3	16	16:30:00	Hc	323304.04	8690981.31	G <sub>1</sub>	T <sub>1</sub>	Agri	TOI-M(r)
226	SINPAD_INDECI	86186	RIM_86186-01	2017	3	14	08:00:00	Hc	324090.61	8697138.05	G <sub>1</sub>	T <sub>1</sub>	Car	TOI-M(r)
227	SINPAD_INDECI	86186	RIM_86186-02	2017	3	14	08:00:00	Hc	322264.27	8694056.60	G <sub>1</sub>	T <sub>1</sub>	Car	TOI-M(r)
228	SINPAD_INDECI	86186	RIM_86186-03	2017	3	14	08:00:00	Hc	322785.43	8697854.51	G <sub>1</sub>	T <sub>1</sub>	Car	TOI-M(r)
229	SINPAD_INDECI	86186	RIM_86186-04	2017	3	14	08:00:00	Hc	322686.14	8696427.37	G <sub>1</sub>	T <sub>1</sub>	Car	TOI-M(r)
230	SINPAD_INDECI	86204	RIM_86204-01	2017	3	16	14:30:00	Ds	326927.17	8706399.43	G <sub>100</sub>	T <sub>1</sub>	Ma	UOI-UOt-M(r)
231	SINPAD_INDECI	86243	RIM_86243-01	2017	3	4	16:30:00	Hc	337011.10	8679203.10	G <sub>10</sub>	T <sub>1</sub>	Ma	TOI-M(r)
232	SINPAD_INDECI	86243	RIM_86243-02	2017	3	4	16:30:00	Hc	334115.50	8678180.75	G <sub>1</sub>	T <sub>1</sub>	Agri	TOI-M(r)
233	SINPAD_INDECI	86289	RIM_86289-01	2017	3	13	15:30:00	Dr	331970.00	8710057.26	G <sub>300</sub>	T <sub>1</sub>	Ma	COI-HCANt-M(r)
234	SINPAD_INDECI	86632	RIM_86632-01	2017	3	17	17:00:00	Hc	331077.71	8686656.61	G <sub>1</sub>	T <sub>1</sub>	Car	TOI-M(r)
235	SINPAD_INDECI	86635	RIM_86635-01	2017	3	24	16:50:00	Ds	334700.07	8711521.42	G <sub>1</sub>	T <sub>1</sub>	Agri	UOI-UOt
236	SINPAD_INDECI	86637	RIM_86637-01	2017	3	20	10:00:00	Ds	337613.10	8685126.88	G <sub>1</sub>	T <sub>1</sub>	Car	TOI-M(r)
237	SINPAD_INDECI	86746	RIM_86746-01	2017	5	9	14:20:00	Ds	342599.99	8686050.88	G <sub>1</sub>	T <sub>1</sub>	Car	TOI-M(r)
238	SINPAD_INDECI	86760	RIM_86760-01	2017	2	17	07:20:00	Ds	335722.18	8711035.61	G <sub>1</sub>	T <sub>1</sub>	Agri	UOI-UOt

«Continuación»

N°	Fuente	Ficha	ID_LS	Año	Mes	Día	Hora	Tipo	UTM_E	UTM_S	G	T	Vegetación	Suelo
239	SINPAD_INDECI	86764	RIM_86764-01	2017	2	17	08:35:00	Ds	335725.58	8710987.92	G <sub>1</sub>	T <sub>1</sub>	Agri	UOI-UOt
240	SINPAD_INDECI	86766	RIM_86766-01	2017	3	9	11:41:00	Dr	336115.37	8713438.96	G <sub>100</sub>	T <sub>1</sub>	Ma	UOI-UOt
241	SINPAD_INDECI	86773	RIM_86773-01	2017	3	8	11:03:00	Dr	336375.64	8711249.70	G <sub>100</sub>	T <sub>1</sub>	Ma	UOI-UOt
242	SINPAD_INDECI	86776	RIM_86776-01	2017	2	17	13:30:00	Ds	335723.85	8711014.85	G <sub>1</sub>	T <sub>1</sub>	Agri	UOI-UOt
243	SINPAD_INDECI	86853	RIM_86853-01	2017	3	29	15:30:00	Dr	331781.63	8710607.16	G <sub>1</sub>	T <sub>1</sub>	Ma	UOI-UOt-M(r)
244	SINPAD_INDECI	86995	RIM_86995-01	2017	3	23	14:10:00	Dr	331793.27	8710029.80	G <sub>300</sub>	T <sub>1</sub>	Ma	COI-HCANt-M(r)
245	SINPAD_INDECI	87177	RIM_87177-01	2017	3	31	17:00:00	Dr	332028.05	8709895.12	G <sub>10</sub>	T <sub>1</sub>	Ma	UOI-UOt-M(r)
246	SINPAD_INDECI	87406	RIM_87406-01	2017	3	16	09:00:00	Hc	323160.68	8692260.18	G <sub>1</sub>	T <sub>1</sub>	Agri	TOI-M(r)
247	SINPAD_INDECI	87836	RIM_87836-01	2017	3	16	15:17:00	Hc	349303.11	8692002.31	G <sub>1</sub>	T <sub>1</sub>	Agri	TOI-M(r)
248	SINPAD_INDECI	87896	RIM_87896-02	2017	4	11	17:20:00	Ds	348355.59	8692457.81	G <sub>1</sub>	T <sub>1</sub>	Ma	UOI-UOt-M(r)
249	SINPAD_INDECI	88171	RIM_88171-01	2017	3	4	16:30:00	Ds	337136.83	8679500.03	G <sub>100</sub>	T <sub>1</sub>	Ma	TOI-M(r)
250	SINPAD_INDECI	88224	RIM_88224-01	2017	3	14	08:00:00	Hc	319960.77	8701239.58	G <sub>1</sub>	T <sub>1</sub>	Ma	UOI-UOt-M(r)
251	SINPAD_INDECI	88237	RIM_88237-01	2017	4	20	08:20:00	Ds	332704.05	8676674.10	G <sub>1</sub>	T <sub>1</sub>	Ma	TOI-M(r)
252	SINPAD_INDECI	88306	RIM_88306-01	2017	1	1	05:10:00	Ds	364743.60	8711673.68	G <sub>1</sub>	T <sub>1</sub>	Pj	COI-HCANt-M(r)
253	SINPAD_INDECI	88395	RIM_88395-01	2017	3	16	13:30:00	Hc	328727.36	8691239.25	G <sub>100</sub>	T <sub>1</sub>	Ma	UOI-UOt-M(r)
254	SINPAD_INDECI	88415	RIM_88415-01	2017	2	27	13:00:00	Ds	363442.44	8703105.56	G <sub>1</sub>	T <sub>1</sub>	Ma	UOI-UOt-M(r)
255	SINPAD_INDECI	88417	RIM_88417-01	2017	4	5	04:00:00	Dr	363572.26	8701380.14	G <sub>1</sub>	T <sub>1</sub>	Ma	UOI-UOt-M(r)
256	SINPAD_INDECI	88419	RIM_88419-01	2017	4	6	22:40:00	Ds	365548.75	8713240.45	G <sub>1</sub>	T <sub>1</sub>	Pj	COI-HCANt-M(r)
257	SINPAD_INDECI	88420	RIM_88420-01	2017	4	17	22:00:00	Dr	363559.19	8701412.08	G <sub>1</sub>	T <sub>1</sub>	Ma	UOI-UOt-M(r)
258	SINPAD_INDECI	88434	RIM_88434-01	2017	3	24	15:00:00	Ds	332191.99	8682056.60	G <sub>10</sub>	T <sub>1</sub>	Car	TOI-M(r)
259	SINPAD_INDECI	88435	RIM_88435-01	2017	3	24	18:30:00	Ds	334464.69	8708700.00	G <sub>1</sub>	T <sub>1</sub>	Ma	UOI-UOt
260	SINPAD_INDECI	88913	RIM_88913-01	2017	3	15	18:30:00	Hc	331782.03	8687407.33	G <sub>1</sub>	T <sub>1</sub>	Agri	TOI-M(r)
261	SINPAD_INDECI	89181	RIM_89181-01	2017	4	10	22:00:00	Dr	363545.69	8701377.88	G <sub>1</sub>	T <sub>1</sub>	Ma	UOI-UOt-M(r)
262	SINPAD_INDECI	89344	RIM_89344-01	2017	9	5	03:30:00	Ds	282236.91	8666187.85	G <sub>1</sub>	T <sub>1</sub>	U	U
263	SINPAD_INDECI	89940	RIM_89940-01	2017	10	16	05:30:00	Dr	314456.42	8679801.76	G <sub>100</sub>	T <sub>1</sub>	Dc	TOI-M(r)
264	PREDES	-	RIM_cpred-01	2009	2	13	16:00:00	Hc	318206.83	8679841.68	G <sub>1</sub>	T <sub>1</sub>	Dc	TOI-M(r)
265	PREDES	-	RIM_cpred-02	2009	2	13	16:00:00	Hc	314968.32	8677132.34	G <sub>1</sub>	T <sub>1</sub>	Dc	TOI-M(r)
266	PREDES	-	RIM_cpred-03	2009	2	15	13:00:00	Hc	312470.65	8681291.60	G <sub>1</sub>	T <sub>1</sub>	Dc	TOI-M(r)
267	PREDES	-	RIM_cpred-04	2009	2	15	13:00:00	Hc	314365.07	8681968.93	G <sub>1</sub>	T <sub>1</sub>	Dc	TOI-M(r)
268	PREDES	-	RIM_cpred-05	2009	2	13	16:00:00	Hc	322588.34	8680339.10	G <sub>1</sub>	T <sub>1</sub>	Dc	TOI-M(r)
269	PREDES	-	RIM_cpred-06	2009	2	13	16:00:00	Hc	330734.21	8680993.43	G <sub>1</sub>	T <sub>1</sub>	Car	TOI-M(r)
270	PREDES	-	RIM_cpred-07	2009	2	13	16:00:00	Hc	328778.01	8682319.39	G <sub>1</sub>	T <sub>1</sub>	Dc	TOI-M(r)
271	PREDES	-	RIM_cpred-08	2009	2	17	12:30:00	Hc	343668.21	8686450.24	G <sub>1</sub>	T <sub>1</sub>	Car	TOI-M(r)
272	PREDES	-	RIM_cpred-09	2009	2	13	18:42:00	Hc	348234.93	8689736.37	G <sub>1</sub>	T <sub>1</sub>	Car	TOI-M(r)

**Tabla 21: Eventos de precipitación responsables de deslizamientos de tierra en la cuenca del río Rímac**

N°	REL	ID_EM	ID_LS	LS fecha	REL fecha inicio	REL fecha fin	D <sub>L</sub>	E <sub>L</sub>	I <sub>L</sub>	Grupo
1	REL-01	EM_155122	RIM_25525-01	21/02/2008 15:00	18/02/2008 19:00	21/02/2008 07:00	72	33.80	0.47	C
2	REL-02	EM_155213	RIM_31532-01	13/02/2009 19:00	12/02/2009 19:00	13/02/2009 19:00	36	17.00	0.47	C
3	REL-03	EM_000548	RIM_32056-02	12/03/2009 19:00	11/03/2009 19:00	12/03/2009 19:00	36	27.60	0.77	C
4	REL-03	EM_000548	RIM_32056-03	12/03/2009 19:00	11/03/2009 19:00	12/03/2009 19:00	36	27.60	0.77	C
5	REL-04	EM_151210	RIM_32056-04	12/03/2009 19:00	11/03/2009 19:00	12/03/2009 19:00	36	8.40	0.23	C
6	REL-05	EM_006617	RIM_36000-01	8/01/2010 12:00	8/01/2010 07:00	8/01/2010 07:00	12	3.10	0.26	C
7	REL-05	EM_006617	RIM_36000-02	8/01/2010 12:00	8/01/2010 07:00	8/01/2010 07:00	12	3.10	0.26	C
8	REL-06	EM_151209	RIM_48757-01	5/01/2012 17:00	5/01/2012 07:00	5/01/2012 07:00	12	3.20	0.27	C
9	REL-07	EM_155446	RIM_49283-01	31/01/2012 02:00	28/01/2012 19:00	30/01/2012 19:00	60	29.50	0.49	C
10	REL-08	EM_47278214	RIM_51384-01	5/04/2012 18:00	5/04/2012 17:00	5/04/2012 18:00	2	25.30	12.65	V
11	REL-08	EM_47278214	RIM_51384-02	5/04/2012 18:00	5/04/2012 17:00	5/04/2012 18:00	2	25.30	12.65	V
12	REL-08	EM_47278214	RIM_51385-02	5/04/2012 18:00	5/04/2012 17:00	5/04/2012 18:00	2	25.30	12.65	V
13	REL-09	EM_155213	RIM_51385-01	5/04/2012 18:00	4/04/2012 19:00	5/04/2012 07:00	24	8.30	0.35	V
14	REL-09	EM_155213	RIM_51393-01	5/04/2012 16:00	4/04/2012 19:00	5/04/2012 07:00	24	8.30	0.35	V
15	REL-09	EM_155213	RIM_51394-01	5/04/2012 16:00	4/04/2012 19:00	5/04/2012 07:00	24	8.30	0.35	V
16	REL-09	EM_155213	RIM_51396-01	5/04/2012 16:00	4/04/2012 19:00	5/04/2012 07:00	24	8.30	0.35	V
17	REL-09	EM_155213	RIM_51396-02	5/04/2012 16:00	4/04/2012 19:00	5/04/2012 07:00	24	8.30	0.35	V
18	REL-10	EM_472EC742	RIM_63497-02	2/03/2014 16:00	1/03/2014 10:00	2/03/2014 16:00	31	17.90	0.58	V
19	REL-11	EM_47278214	RIM_69363-01	23/03/2015 18:00	23/03/2015 15:00	23/03/2015 18:00	4	12.00	3.00	V
20	REL-11	EM_47278214	RIM_69363-02	23/03/2015 18:00	23/03/2015 15:00	23/03/2015 18:00	4	12.00	3.00	V
21	REL-11	EM_47278214	RIM_69363-03	23/03/2015 18:00	23/03/2015 15:00	23/03/2015 18:00	4	12.00	3.00	V
22	REL-11	EM_47278214	RIM_69402-01	23/03/2015 18:00	23/03/2015 15:00	23/03/2015 18:00	4	12.00	3.00	V
23	REL-11	EM_47278214	RIM_69402-02	23/03/2015 18:00	23/03/2015 15:00	23/03/2015 18:00	4	12.00	3.00	V
24	REL-11	EM_47278214	RIM_69402-03	23/03/2015 18:00	23/03/2015 15:00	23/03/2015 18:00	4	12.00	3.00	V
25	REL-11	EM_47278214	RIM_69402-04	23/03/2015 18:00	23/03/2015 15:00	23/03/2015 18:00	4	12.00	3.00	V
26	REL-11	EM_47278214	RIM_69402-05	23/03/2015 18:00	23/03/2015 15:00	23/03/2015 18:00	4	12.00	3.00	V
27	REL-11	EM_47278214	RIM_69402-06	23/03/2015 18:00	23/03/2015 15:00	23/03/2015 18:00	4	12.00	3.00	V
28	REL-11	EM_47278214	RIM_69402-07	23/03/2015 18:00	23/03/2015 15:00	23/03/2015 18:00	4	12.00	3.00	V
29	REL-11	EM_47278214	RIM_69402-08	23/03/2015 18:00	23/03/2015 15:00	23/03/2015 18:00	4	12.00	3.00	V
30	REL-11	EM_47278214	RIM_69402-09	23/03/2015 18:00	23/03/2015 15:00	23/03/2015 18:00	4	12.00	3.00	V
31	REL-11	EM_47278214	RIM_69402-10	23/03/2015 18:00	23/03/2015 15:00	23/03/2015 18:00	4	12.00	3.00	V
32	REL-11	EM_47278214	RIM_69402-11	23/03/2015 18:00	23/03/2015 15:00	23/03/2015 18:00	4	12.00	3.00	V
33	REL-11	EM_47278214	RIM_69402-12	23/03/2015 18:00	23/03/2015 15:00	23/03/2015 18:00	4	12.00	3.00	V
34	REL-11	EM_47278214	RIM_69402-13	23/03/2015 18:00	23/03/2015 15:00	23/03/2015 18:00	4	12.00	3.00	V

«Continuación»

N°	REL	ID_EM	ID_LS	LS fecha	REL fecha inicio	REL fecha fin	DL	EL	IL	Grupo
35	REL-11	EM_47278214	RIM_69402-14	23/03/2015 18:00	23/03/2015 15:00	23/03/2015 18:00	4	12.00	3.00	V
36	REL-11	EM_47278214	RIM_69402-15	23/03/2015 18:00	23/03/2015 15:00	23/03/2015 18:00	4	12.00	3.00	V
37	REL-12	EM_47278214	RIM_69871-01	9/02/2015 16:00	9/02/2015 14:00	9/02/2015 16:00	3	7.60	2.53	C
38	REL-12	EM_47278214	RIM_69871-02	9/02/2015 16:00	9/02/2015 14:00	9/02/2015 16:00	3	7.60	2.53	C
39	REL-13	EM_472EC742	RIM_70996-01	23/03/2015 14:00	17/03/2015 15:00	23/03/2015 14:00	144	69.90	0.49	C
40	REL-14	EM_472CE45A	RIM_75141-01	25/02/2016 16:00	24/02/2016 18:00	25/02/2016 16:00	23	6.30	0.27	C
41	REL-15	EM_472CD1C0	RIM_75884-01	29/02/2016 16:00	28/02/2016 17:00	29/02/2016 15:00	23	12.10	0.53	C
42	REL-16	EM_155122	RIM_76560-01	25/02/2016 16:00	24/02/2016 19:00	25/02/2016 07:00	24	7.70	0.32	C
43	REL-17	EM_472E24B0	RIM_80824-01	15/01/2017 15:00	15/01/2017 15:00	15/01/2017 15:00	1	4.10	4.10	C
44	REL-17	EM_472E24B0	RIM_80824-02	15/01/2017 15:00	15/01/2017 15:00	15/01/2017 15:00	1	4.10	4.10	C
45	REL-17	EM_472E24B0	RIM_80824-03	15/01/2017 15:00	15/01/2017 15:00	15/01/2017 15:00	1	4.10	4.10	C
46	REL-17	EM_472E24B0	RIM_80824-04	15/01/2017 15:00	15/01/2017 15:00	15/01/2017 15:00	1	4.10	4.10	C
47	REL-17	EM_472E24B0	RIM_80824-05	15/01/2017 15:00	15/01/2017 15:00	15/01/2017 15:00	1	4.10	4.10	C
48	REL-17	EM_472E24B0	RIM_80824-06	15/01/2017 15:00	15/01/2017 15:00	15/01/2017 15:00	1	4.10	4.10	C
49	REL-17	EM_472E24B0	RIM_80824-07	15/01/2017 15:00	15/01/2017 15:00	15/01/2017 15:00	1	4.10	4.10	C
50	REL-17	EM_472E24B0	RIM_80825-01	15/01/2017 15:00	15/01/2017 15:00	15/01/2017 15:00	1	4.10	4.10	C
51	REL-17	EM_472E24B0	RIM_80825-02	15/01/2017 15:00	15/01/2017 15:00	15/01/2017 15:00	1	4.10	4.10	C
52	REL-17	EM_472E24B0	RIM_80825-03	15/01/2017 15:00	15/01/2017 15:00	15/01/2017 15:00	1	4.10	4.10	C
53	REL-17	EM_472E24B0	RIM_80825-04	15/01/2017 15:00	15/01/2017 15:00	15/01/2017 15:00	1	4.10	4.10	C
54	REL-17	EM_472E24B0	RIM_80825-05	15/01/2017 15:00	15/01/2017 15:00	15/01/2017 15:00	1	4.10	4.10	C
55	REL-17	EM_472E24B0	RIM_80825-06	15/01/2017 15:00	15/01/2017 15:00	15/01/2017 15:00	1	4.10	4.10	C
56	REL-17	EM_472E24B0	RIM_80825-07	15/01/2017 15:00	15/01/2017 15:00	15/01/2017 15:00	1	4.10	4.10	C
57	REL-17	EM_472E24B0	RIM_80825-08	15/01/2017 15:00	15/01/2017 15:00	15/01/2017 15:00	1	4.10	4.10	C
58	REL-17	EM_472E24B0	RIM_80825-09	15/01/2017 15:00	15/01/2017 15:00	15/01/2017 15:00	1	4.10	4.10	C
59	REL-18	EM_155122	RIM_84396-08	15/03/2017 14:00	9/03/2017 19:00	15/03/2017 07:00	144	41.80	0.29	V
60	REL-18	EM_155122	RIM_84396-09	15/03/2017 14:00	9/03/2017 19:00	15/03/2017 07:00	144	41.80	0.29	V
61	REL-19	EM_472D773C2	RIM_81127-01	16/01/2017 12:00	12/01/2017 14:00	16/01/2017 11:00	94	56.40	0.60	C
62	REL-20	EM_47278214	RIM_81173-01	25/01/2017 16:00	25/01/2017 16:00	25/01/2017 16:00	1	2.60	2.60	C
63	REL-20	EM_47278214	RIM_81173-02	25/01/2017 16:00	25/01/2017 16:00	25/01/2017 16:00	1	2.60	2.60	C
64	REL-21	EM_151209	RIM_81175-01	26/01/2017 13:00	26/01/2017 07:00	26/01/2017 07:00	12	19.50	1.63	C
65	REL-21	EM_151209	RIM_81175-02	26/01/2017 14:00	26/01/2017 07:00	26/01/2017 07:00	12	19.50	1.63	C
66	REL-22	EM_155122	RIM_81477-01	3/02/2017 02:00	2/02/2017 19:00	2/02/2017 19:00	12	1.50	0.13	C
67	REL-23	EM_472CE45A	RIM_81627-01	8/02/2017 17:00	7/02/2017 19:00	8/02/2017 17:00	23	7.50	0.33	C
68	REL-23	EM_472CE45A	RIM_81627-04	8/02/2017 17:00	7/02/2017 19:00	8/02/2017 17:00	23	7.50	0.33	C

«Continuación»

N°	REL	ID_EM	ID_LS	LS fecha	REL fecha inicio	REL fecha fin	D <sub>L</sub>	E <sub>L</sub>	I <sub>L</sub>	Grupo
69	REL-24	EM_151213	RIM_81730-01	8/02/2017 16:00	7/02/2017 07:00	8/02/2017 07:00	36	6.70	0.19	C
70	REL-25	EM_472D773C2	RIM_81838-01	14/01/2017 17:00	12/01/2017 14:00	14/01/2017 17:00	52	37.20	0.72	C
71	REL-26	EM_155514	RIM_81841-01	17/01/2017 16:00	12/01/2017 19:00	17/01/2017 07:00	120	51.30	0.43	C
72	REL-27	EM_155514	RIM_81842-01	22/01/2017 19:00	19/01/2017 19:00	22/01/2017 19:00	84	27.20	0.32	V
73	REL-28	EM_155122	RIM_81857-01	14/02/2017 18:00	10/02/2017 19:00	14/02/2017 07:00	96	18.00	0.19	C
74	REL-29	EM_155122	RIM_81860-01	10/02/2017 19:00	10/02/2017 07:00	10/02/2017 19:00	24	5.60	0.23	C
75	REL-30	EM_111175	RIM_81957-01	2/02/2017 01:00	31/01/2017 19:00	1/02/2017 19:00	36	5.10	0.14	C
76	REL-31	EM_155122	RIM_81960-01	6/02/2017 17:00	4/02/2017 19:00	6/02/2017 07:00	48	7.10	0.15	C
77	REL-31	EM_155122	RIM_82231-01	6/02/2017 16:00	4/02/2017 19:00	6/02/2017 07:00	48	7.10	0.15	C
78	REL-31	EM_155122	RIM_82231-02	6/02/2017 16:00	4/02/2017 19:00	6/02/2017 07:00	48	7.10	0.15	C
79	REL-32	EM_155122	RIM_81986-01	5/02/2017 17:00	4/02/2017 19:00	5/02/2017 07:00	24	3.50	0.15	C
80	REL-33	EM_155122	RIM_81995-01	17/02/2017 17:00	15/02/2017 07:00	17/02/2017 07:00	60	12.40	0.21	C
81	REL-34	EM_155122	RIM_82024-01	18/02/2017 04:00	15/02/2017 07:00	17/02/2017 19:00	72	14.40	0.20	C
82	REL-35	EM_155122	RIM_82296-01	25/02/2017 19:00	22/02/2017 19:00	25/02/2017 19:00	84	16.60	0.20	V
83	REL-36	EM_155223	RIM_82457-01	25/01/2017 17:00	21/01/2017 19:00	25/01/2017 07:00	96	25.10	0.26	C
84	REL-37	EM_47278214	RIM_82687-01	27/02/2017 16:00	27/02/2017 15:00	27/02/2017 16:00	2	6.90	3.45	C
85	REL-37	EM_47278214	RIM_82687-02	27/02/2017 16:00	27/02/2017 15:00	27/02/2017 16:00	2	6.90	3.45	C
86	REL-37	EM_47278214	RIM_82687-03	27/02/2017 16:00	27/02/2017 15:00	27/02/2017 16:00	2	6.90	3.45	C
87	REL-37	EM_47278214	RIM_82687-04	27/02/2017 16:00	27/02/2017 15:00	27/02/2017 16:00	2	6.90	3.45	C
88	REL-38	EM_151209	RIM_82759-01	22/01/2017 16:00	22/01/2017 07:00	22/01/2017 07:00	12	8.00	0.67	V
89	REL-39	EM_155122	RIM_83030-01	3/03/2017 17:00	27/02/2017 19:00	3/03/2017 07:00	96	14.90	0.16	V
90	REL-40	EM_155122	RIM_83279-01	14/03/2017 14:00	10/03/2017 07:00	14/03/2017 07:00	108	27.70	0.26	V
91	REL-41	EM_47278214	RIM_83383-01	16/03/2017 16:00	16/03/2017 16:00	16/03/2017 16:00	1	8.70	8.70	V
92	REL-41	EM_47278214	RIM_83383-02	16/03/2017 16:00	16/03/2017 16:00	16/03/2017 16:00	1	8.70	8.70	V
93	REL-41	EM_47278214	RIM_83383-06	16/03/2017 16:00	16/03/2017 16:00	16/03/2017 16:00	1	8.70	8.70	V
94	REL-41	EM_47278214	RIM_83383-07	16/03/2017 16:00	16/03/2017 16:00	16/03/2017 16:00	1	8.70	8.70	V
95	REL-41	EM_47278214	RIM_83383-08	16/03/2017 16:00	16/03/2017 16:00	16/03/2017 16:00	1	8.70	8.70	V
96	REL-42	EM_472E24B0	RIM_83383-03	16/03/2017 16:00	16/03/2017 16:00	16/03/2017 16:00	1	9.20	9.20	C
97	REL-42	EM_472E24B0	RIM_83383-04	16/03/2017 16:00	16/03/2017 16:00	16/03/2017 16:00	1	9.20	9.20	C
98	REL-42	EM_472E24B0	RIM_83383-05	16/03/2017 16:00	16/03/2017 16:00	16/03/2017 16:00	1	9.20	9.20	C
99	REL-42	EM_472E24B0	RIM_84402-01	16/03/2017 16:00	16/03/2017 16:00	16/03/2017 16:00	1	9.20	9.20	C
100	REL-42	EM_472E24B0	RIM_84402-02	16/03/2017 16:00	16/03/2017 16:00	16/03/2017 16:00	1	9.20	9.20	C
101	REL-42	EM_472E24B0	RIM_84402-03	16/03/2017 16:00	16/03/2017 16:00	16/03/2017 16:00	1	9.20	9.20	C
102	REL-42	EM_472E24B0	RIM_84402-04	16/03/2017 16:00	16/03/2017 16:00	16/03/2017 16:00	1	9.20	9.20	C

«Continuación»

N°	REL	ID_EM	ID_LS	LS fecha	REL fecha inicio	REL fecha fin	D <sub>L</sub>	E <sub>L</sub>	I <sub>L</sub>	Grupo
103	REL-42	EM_472E24B0	RIM_84402-06	16/03/2017 16:00	16/03/2017 16:00	16/03/2017 16:00	1	9.20	9.20	C
104	REL-42	EM_472E24B0	RIM_84402-07	16/03/2017 16:00	16/03/2017 16:00	16/03/2017 16:00	1	9.20	9.20	C
105	REL-42	EM_472E24B0	RIM_84402-05	16/03/2017 16:00	16/03/2017 16:00	16/03/2017 16:00	1	9.20	9.20	C
106	REL-42	EM_472E24B0	RIM_84402-08	16/03/2017 16:00	16/03/2017 16:00	16/03/2017 16:00	1	9.20	9.20	C
107	REL-43	EM_000543	RIM_83383-09	16/03/2017 16:00	15/03/2017 07:00	16/03/2017 07:00	36	5.80	0.16	C
108	REL-44	EM_151209	RIM_83519-01	17/03/2017 19:00	16/03/2017 19:00	17/03/2017 19:00	36	26.40	0.73	C
109	REL-44	EM_151209	RIM_83519-02	17/03/2017 19:00	16/03/2017 19:00	17/03/2017 19:00	36	26.40	0.73	C
110	REL-44	EM_151209	RIM_83850-01	17/03/2017 21:00	16/03/2017 19:00	17/03/2017 19:00	36	26.40	0.73	C
111	REL-45	EM_000548	RIM_83546-01	16/03/2017 04:00	13/03/2017 19:00	15/03/2017 19:00	60	19.00	0.32	V
112	REL-46	EM_000548	RIM_83555-01	12/03/2017 12:00	7/03/2017 19:00	12/03/2017 07:00	120	25.30	0.21	V
113	REL-47	EM_000548	RIM_83591-01	19/03/2017 02:00	16/03/2017 19:00	18/03/2017 19:00	60	22.00	0.37	C
114	REL-47	EM_000548	RIM_83591-02	19/03/2017 02:00	16/03/2017 19:00	18/03/2017 19:00	60	22.00	0.37	C
115	REL-48	EM_155111	RIM_83654-01	16/03/2017 18:00	13/03/2017 07:00	16/03/2017 07:00	84	42.20	0.50	V
116	REL-49	EM_155223	RIM_84158-01	18/03/2017 18:00	14/03/2017 19:00	18/03/2017 07:00	96	30.90	0.32	C
117	REL-50	EM_155223	RIM_84160-01	17/03/2017 16:00	14/03/2017 07:00	17/03/2017 07:00	84	33.10	0.39	V
118	REL-50	EM_155223	RIM_84263-01	17/03/2017 18:00	14/03/2017 07:00	17/03/2017 07:00	84	33.10	0.39	V
119	REL-51	EM_155223	RIM_84242-01	21/03/2017 16:00	14/03/2017 07:00	21/03/2017 07:00	180	50.40	0.28	C
120	REL-52	EM_155223	RIM_84287-01	20/03/2017 13:00	14/03/2017 07:00	20/03/2017 07:00	156	45.40	0.29	V
121	REL-53	EM_155223	RIM_84299-01	10/03/2017 14:00	4/03/2017 19:00	10/03/2017 07:00	144	54.40	0.38	C
122	REL-53	EM_155223	RIM_85645-01	10/03/2017 15:00	4/03/2017 19:00	10/03/2017 07:00	144	54.40	0.38	C
123	REL-54	EM_155223	RIM_84311-01	15/03/2017 14:00	8/03/2017 19:00	15/03/2017 07:00	168	61.50	0.37	C
124	REL-55	EM_155122	RIM_85558-01	16/03/2017 10:00	9/03/2017 19:00	16/03/2017 07:00	168	54.70	0.33	V
125	REL-55	EM_155122	RIM_85560-01	16/03/2017 10:00	9/03/2017 19:00	16/03/2017 07:00	168	54.70	0.33	V
126	REL-55	EM_155122	RIM_85561-01	16/03/2017 10:00	9/03/2017 19:00	16/03/2017 07:00	168	54.70	0.33	V
127	REL-55	EM_155122	RIM_85563-01	16/03/2017 11:00	9/03/2017 19:00	16/03/2017 07:00	168	54.70	0.33	V
128	REL-55	EM_155122	RIM_85564-01	16/03/2017 11:00	9/03/2017 19:00	16/03/2017 07:00	168	54.70	0.33	V
129	REL-55	EM_155122	RIM_85565-01	16/03/2017 11:00	9/03/2017 19:00	16/03/2017 07:00	168	54.70	0.33	V
130	REL-55	EM_155122	RIM_85566-01	16/03/2017 11:00	9/03/2017 19:00	16/03/2017 07:00	168	54.70	0.33	V
131	REL-55	EM_155122	RIM_85569-01	16/03/2017 11:00	9/03/2017 19:00	16/03/2017 07:00	168	54.70	0.33	V
132	REL-55	EM_155122	RIM_85760-01	16/03/2017 16:00	9/03/2017 19:00	16/03/2017 07:00	168	54.70	0.33	V
133	REL-55	EM_155122	RIM_86018-01	16/03/2017 07:00	9/03/2017 19:00	16/03/2017 07:00	168	54.70	0.33	V
134	REL-55	EM_155122	RIM_86204-01	16/03/2017 15:00	9/03/2017 19:00	16/03/2017 07:00	168	54.70	0.33	V
135	REL-55	EM_155122	RIM_87406-01	16/03/2017 09:00	9/03/2017 19:00	16/03/2017 07:00	168	54.70	0.33	V
136	REL-56	EM_472E24B0	RIM_84396-01	15/03/2017 14:00	15/03/2017 14:00	15/03/2017 14:00	1	7.90	7.90	V

«Continuación»

N°	REL	ID_EM	ID_LS	LS fecha	REL fecha inicio	REL fecha fin	D <sub>L</sub>	E <sub>L</sub>	I <sub>L</sub>	Grupo
137	REL-56	EM_472E24B0	RIM_84396-02	15/03/2017 14:00	15/03/2017 14:00	15/03/2017 14:00	1	7.90	7.90	V
138	REL-56	EM_472E24B0	RIM_84396-03	15/03/2017 14:00	15/03/2017 14:00	15/03/2017 14:00	1	7.90	7.90	V
139	REL-56	EM_472E24B0	RIM_84396-04	15/03/2017 14:00	15/03/2017 14:00	15/03/2017 14:00	1	7.90	7.90	V
140	REL-56	EM_472E24B0	RIM_84396-05	15/03/2017 14:00	15/03/2017 14:00	15/03/2017 14:00	1	7.90	7.90	V
141	REL-56	EM_472E24B0	RIM_84396-06	15/03/2017 14:00	15/03/2017 14:00	15/03/2017 14:00	1	7.90	7.90	V
142	REL-56	EM_472E24B0	RIM_84396-07	15/03/2017 14:00	15/03/2017 14:00	15/03/2017 14:00	1	7.90	7.90	V
143	REL-56	EM_472E24B0	RIM_84396-10	15/03/2017 14:00	15/03/2017 14:00	15/03/2017 14:00	1	7.90	7.90	V
144	REL-57	EM_472E24B0	RIM_83313-01	15/03/2017 16:00	15/03/2017 14:00	15/03/2017 16:00	3	12.80	4.27	C
145	REL-57	EM_472E24B0	RIM_84489-01	15/03/2017 16:00	15/03/2017 14:00	15/03/2017 16:00	3	12.80	4.27	C
146	REL-58	EM_151209	RIM_83327-01	15/03/2017 19:00	15/03/2017 19:00	15/03/2017 19:00	12	10.00	0.83	V
147	REL-58	EM_151209	RIM_84548-01	15/03/2017 21:00	15/03/2017 19:00	15/03/2017 19:00	12	10.00	0.83	V
148	REL-59	EM_155223	RIM_84804-01	16/03/2017 15:00	14/03/2017 07:00	16/03/2017 07:00	60	23.60	0.39	V
149	REL-60	EM_472E24B0	RIM_84359-01	16/03/2017 18:00	16/03/2017 16:00	16/03/2017 17:00	2	10.50	5.25	C
150	REL-60	EM_472E24B0	RIM_84889-01	16/03/2017 17:00	16/03/2017 16:00	16/03/2017 17:00	2	10.50	5.25	C
151	REL-60	EM_472E24B0	RIM_84891-01	16/03/2017 17:00	16/03/2017 16:00	16/03/2017 17:00	2	10.50	5.25	C
152	REL-60	EM_472E24B0	RIM_85377-01	16/03/2017 18:00	16/03/2017 16:00	16/03/2017 17:00	2	10.50	5.25	C
153	REL-60	EM_472E24B0	RIM_85378-01	16/03/2017 18:00	16/03/2017 16:00	16/03/2017 17:00	2	10.50	5.25	C
154	REL-60	EM_472E24B0	RIM_86023-01	16/03/2017 17:00	16/03/2017 16:00	16/03/2017 17:00	2	10.50	5.25	C
155	REL-61	EM_155223	RIM_85047-01	30/03/2017 15:00	27/03/2017 07:00	30/03/2017 07:00	84	20.40	0.24	C
156	REL-62	EM_155122	RIM_85388-01	19/03/2017 06:00	14/03/2017 07:00	18/03/2017 19:00	120	51.00	0.43	C
157	REL-63	EM_155122	RIM_86017-01	16/03/2017 19:00	14/03/2017 07:00	16/03/2017 19:00	72	34.20	0.48	V
158	REL-64	EM_155122	RIM_86186-01	14/03/2017 08:00	10/03/2017 19:00	14/03/2017 07:00	96	24.90	0.26	C
159	REL-64	EM_155122	RIM_86186-02	14/03/2017 08:00	10/03/2017 19:00	14/03/2017 07:00	96	24.90	0.26	C
160	REL-64	EM_155122	RIM_86186-03	14/03/2017 08:00	10/03/2017 19:00	14/03/2017 07:00	96	24.90	0.26	C
161	REL-64	EM_155122	RIM_86186-04	14/03/2017 08:00	10/03/2017 19:00	14/03/2017 07:00	96	24.90	0.26	C
162	REL-65	EM_155223	RIM_86289-01	13/03/2017 16:00	8/03/2017 19:00	13/03/2017 07:00	120	46.80	0.39	C
163	REL-66	EM_155223	RIM_86635-01	24/03/2017 17:00	23/03/2017 19:00	24/03/2017 07:00	24	14.00	0.58	C
164	REL-67	EM_155223	RIM_86760-01	17/02/2017 08:00	14/02/2017 19:00	17/02/2017 07:00	72	16.80	0.23	C
165	REL-67	EM_155223	RIM_86764-01	17/02/2017 09:00	14/02/2017 19:00	17/02/2017 07:00	72	16.80	0.23	C
166	REL-67	EM_155223	RIM_86776-01	17/02/2017 14:00	14/02/2017 19:00	17/02/2017 07:00	72	16.80	0.23	C
167	REL-68	EM_155111	RIM_86766-01	9/03/2017 12:00	7/03/2017 19:00	9/03/2017 07:00	48	30.50	0.64	V
168	REL-69	EM_151213	RIM_86773-01	8/03/2017 12:00	6/03/2017 07:00	8/03/2017 07:00	60	22.40	0.37	C
169	REL-70	EM_472CE45A	RIM_87836-01	16/03/2017 16:00	13/03/2017 18:00	16/03/2017 15:00	70	15.10	0.22	C
170	REL-71	EM_111291	RIM_88224-01	14/03/2017 08:00	7/03/2017 19:00	14/03/2017 07:00	168	116.40	0.69	C

«Continuación»

N°	REL	ID_EM	ID_LS	LS fecha	REL fecha inicio	REL fecha fin	D <sub>L</sub>	E <sub>L</sub>	I <sub>L</sub>	Grupo
171	REL-72	EM_155446	RIM_88306-01	1/01/2017 06:00	29/12/2016 19:00	31/12/2016 19:00	60	25.30	0.42	V
172	REL-73	EM_111291	RIM_88395-01	16/03/2017 14:00	13/03/2017 19:00	16/03/2017 07:00	72	75.30	1.05	C
173	REL-74	EM_4726B574	RIM_88415-01	27/02/2017 13:00	22/02/2017 11:00	27/02/2017 13:00	123	104.95	0.85	C
174	REL-75	EM_4726B574	RIM_88417-01	5/04/2017 04:00	4/04/2017 13:00	5/04/2017 04:00	16	8.62	0.54	C
175	REL-76	EM_155446	RIM_88419-01	6/04/2017 23:00	3/04/2017 19:00	6/04/2017 19:00	84	29.10	0.35	C
176	REL-77	EM_4726B574	RIM_89181-01	10/04/2017 22:00	8/04/2017 09:00	10/04/2017 20:00	60	53.12	0.89	C
177	REL-78	EM_155213	RIM_cpred-01	13/02/2009 16:00	12/02/2009 19:00	13/02/2009 07:00	24	5.80	0.24	C
178	REL-78	EM_155213	RIM_cpred-05	13/02/2009 16:00	12/02/2009 19:00	13/02/2009 07:00	24	5.80	0.24	C
179	REL-79	EM_151209	RIM_cpred-02	13/02/2009 16:00	13/02/2009 07:00	13/02/2009 07:00	12	5.70	0.48	V
180	REL-80	EM_151209	RIM_cpred-03	15/02/2009 13:00	14/02/2009 07:00	15/02/2009 07:00	36	12.60	0.35	C
181	REL-80	EM_151209	RIM_cpred-04	15/02/2009 13:00	14/02/2009 07:00	15/02/2009 07:00	36	12.60	0.35	C
182	REL-81	EM_000548	RIM_cpred-09	13/02/2009 19:00	13/02/2009 19:00	13/02/2009 19:00	12	10.40	0.87	C

**Tabla 22: Umbrales de precipitación a diferentes niveles de probabilidad de excedencia para la cuenca del río Rímac**

<b>Etiqueta</b>	<b>Probabilidad excedencia</b>	<b>REL</b>	<b><math>\alpha</math></b>	<b><math>\pm\Delta\alpha</math></b>	<b><math>\Delta\alpha/\alpha</math></b>	<b><math>\gamma</math></b>	<b><math>\pm\Delta\gamma</math></b>	<b><math>\Delta\gamma/\gamma</math></b>
T <sub>1</sub>	1 %	57	0.4	$\pm 0.2$	50.0 %	0.52	$\pm 0.08$	15.4 %
T <sub>2</sub>	2 %	57	0.5	$\pm 0.2$	40.0 %	0.52	$\pm 0.08$	15.4 %
T <sub>3</sub>	3 %	57	0.6	$\pm 0.2$	33.3 %	0.52	$\pm 0.08$	15.4 %
T <sub>4</sub>	4 %	57	0.7	$\pm 0.3$	42.9 %	0.52	$\pm 0.08$	15.4 %
T <sub>5</sub>	5 %	57	0.7	$\pm 0.3$	42.9 %	0.52	$\pm 0.08$	15.4 %
T <sub>6</sub>	6 %	57	0.8	$\pm 0.3$	37.5 %	0.52	$\pm 0.08$	15.4 %
T <sub>7</sub>	7 %	57	0.8	$\pm 0.3$	37.5 %	0.52	$\pm 0.08$	15.4 %
T <sub>8</sub>	8 %	57	0.9	$\pm 0.3$	33.3 %	0.52	$\pm 0.08$	15.4 %
T <sub>9</sub>	9 %	57	0.9	$\pm 0.3$	33.3 %	0.52	$\pm 0.08$	15.4 %
T <sub>10</sub>	10 %	57	1.0	$\pm 0.3$	30.0 %	0.52	$\pm 0.08$	15.4 %
T <sub>11</sub>	11 %	57	1.0	$\pm 0.4$	40.0 %	0.52	$\pm 0.08$	15.4 %
T <sub>12</sub>	12 %	57	1.0	$\pm 0.4$	40.0 %	0.52	$\pm 0.08$	15.4 %
T <sub>13</sub>	13 %	57	1.1	$\pm 0.4$	36.4 %	0.52	$\pm 0.08$	15.4 %
T <sub>14</sub>	14 %	57	1.1	$\pm 0.4$	36.4 %	0.52	$\pm 0.08$	15.4 %
T <sub>15</sub>	15 %	57	1.2	$\pm 0.4$	33.3 %	0.52	$\pm 0.08$	15.4 %
T <sub>16</sub>	16 %	57	1.2	$\pm 0.4$	33.3 %	0.52	$\pm 0.08$	15.4 %
T <sub>17</sub>	17 %	57	1.2	$\pm 0.4$	33.3 %	0.52	$\pm 0.08$	15.4 %
T <sub>18</sub>	18 %	57	1.3	$\pm 0.4$	30.8 %	0.52	$\pm 0.08$	15.4 %
T <sub>19</sub>	19 %	57	1.3	$\pm 0.4$	30.8 %	0.52	$\pm 0.08$	15.4 %
T <sub>20</sub>	20 %	57	1.4	$\pm 0.4$	28.6 %	0.52	$\pm 0.08$	15.4 %
T <sub>21</sub>	21 %	57	1.4	$\pm 0.5$	35.7 %	0.52	$\pm 0.08$	15.4 %
T <sub>22</sub>	22 %	57	1.4	$\pm 0.5$	35.7 %	0.52	$\pm 0.08$	15.4 %
T <sub>23</sub>	23 %	57	1.5	$\pm 0.5$	33.3 %	0.52	$\pm 0.08$	15.4 %
T <sub>24</sub>	24 %	57	1.5	$\pm 0.5$	33.3 %	0.52	$\pm 0.08$	15.4 %
T <sub>25</sub>	25 %	57	1.5	$\pm 0.5$	33.3 %	0.52	$\pm 0.08$	15.4 %
T <sub>26</sub>	26 %	57	1.6	$\pm 0.5$	31.3 %	0.52	$\pm 0.08$	15.4 %
T <sub>27</sub>	27 %	57	1.6	$\pm 0.5$	31.3 %	0.52	$\pm 0.08$	15.4 %
T <sub>28</sub>	28 %	57	1.7	$\pm 0.5$	29.4 %	0.52	$\pm 0.08$	15.4 %
T <sub>29</sub>	29 %	57	1.7	$\pm 0.5$	29.4 %	0.52	$\pm 0.08$	15.4 %
T <sub>30</sub>	30 %	57	1.7	$\pm 0.6$	35.3 %	0.52	$\pm 0.08$	15.4 %
T <sub>31</sub>	31 %	57	1.8	$\pm 0.6$	33.3 %	0.52	$\pm 0.08$	15.4 %
T <sub>32</sub>	32 %	57	1.8	$\pm 0.6$	33.3 %	0.52	$\pm 0.08$	15.4 %
T <sub>33</sub>	33 %	57	1.9	$\pm 0.6$	31.6 %	0.52	$\pm 0.08$	15.4 %
T <sub>34</sub>	34 %	57	1.9	$\pm 0.6$	31.6 %	0.52	$\pm 0.08$	15.4 %
T <sub>35</sub>	35 %	57	1.9	$\pm 0.6$	50.0 %	0.52	$\pm 0.08$	15.4 %
T <sub>36</sub>	36 %	57	2.0	$\pm 0.6$	40.0 %	0.52	$\pm 0.08$	15.4 %
T <sub>37</sub>	37 %	57	2.0	$\pm 0.6$	33.3 %	0.52	$\pm 0.08$	15.4 %

«Continuación»

<b>Etiqueta</b>	<b>Probabilidad excedencia</b>	<b>REL</b>	<b><math>\alpha</math></b>	<b><math>\pm\Delta\alpha</math></b>	<b><math>\Delta\alpha/\alpha</math></b>	<b><math>\gamma</math></b>	<b><math>\pm\Delta\gamma</math></b>	<b><math>\Delta\gamma/\gamma</math></b>
T <sub>38</sub>	38 %	57	2.1	$\pm 0.6$	31.6 %	0.52	$\pm 0.08$	15.4 %
T <sub>39</sub>	39 %	57	2.1	$\pm 0.7$	30.0 %	0.52	$\pm 0.08$	15.4 %
T <sub>40</sub>	40 %	57	2.2	$\pm 0.7$	30.0 %	0.52	$\pm 0.08$	15.4 %
T <sub>41</sub>	41 %	57	2.2	$\pm 0.7$	28.6 %	0.52	$\pm 0.08$	15.4 %
T <sub>42</sub>	42 %	57	2.2	$\pm 0.7$	33.3 %	0.52	$\pm 0.08$	15.4 %
T <sub>43</sub>	43 %	57	2.3	$\pm 0.7$	31.8 %	0.52	$\pm 0.08$	15.4 %
T <sub>44</sub>	44 %	57	2.3	$\pm 0.7$	31.8 %	0.52	$\pm 0.08$	15.4 %
T <sub>45</sub>	45 %	57	2.4	$\pm 0.7$	31.8 %	0.52	$\pm 0.08$	15.4 %
T <sub>46</sub>	46 %	57	2.4	$\pm 0.7$	30.4 %	0.52	$\pm 0.08$	15.4 %
T <sub>47</sub>	47 %	57	2.5	$\pm 0.8$	30.4 %	0.52	$\pm 0.08$	15.4 %
T <sub>48</sub>	48 %	57	2.5	$\pm 0.8$	29.2 %	0.52	$\pm 0.08$	15.4 %
T <sub>49</sub>	49 %	57	2.6	$\pm 0.8$	29.2 %	0.52	$\pm 0.08$	15.4 %
T <sub>50</sub>	50 %	57	2.6	$\pm 0.8$	32.0 %	0.52	$\pm 0.08$	15.4 %

**Tabla 23: Índices de puntuación y contingencias de los umbrales de precipitación para la cuenca del río Rímac**

Etiqueta	Ecuación	TP	FN	FP	TN	POD	POFD	POFA	HK	$\delta$
T <sub>1</sub>	$E = (0.4 \pm 0.2) \cdot D^{(0.52 \pm 0.08)}$	24	0	1131	159	1.00	0.88	0.98	0.12	0.88
T <sub>2</sub>	$E = (0.5 \pm 0.2) \cdot D^{(0.52 \pm 0.08)}$	24	0	1063	227	1.00	0.82	0.98	0.18	0.82
T <sub>3</sub>	$E = (0.6 \pm 0.2) \cdot D^{(0.52 \pm 0.08)}$	24	0	991	299	1.00	0.77	0.98	0.23	0.77
T <sub>4</sub>	$E = (0.7 \pm 0.3) \cdot D^{(0.52 \pm 0.08)}$	24	0	953	337	1.00	0.74	0.98	0.26	0.74
T <sub>5</sub>	$E = (0.7 \pm 0.3) \cdot D^{(0.52 \pm 0.08)}$	24	0	910	380	1.00	0.71	0.97	0.29	0.71
T <sub>6</sub>	$E = (0.8 \pm 0.3) \cdot D^{(0.52 \pm 0.08)}$	24	0	863	427	1.00	0.67	0.97	0.33	0.67
T <sub>7</sub>	$E = (0.8 \pm 0.3) \cdot D^{(0.52 \pm 0.08)}$	24	0	835	455	1.00	0.65	0.97	0.35	0.65
T <sub>8</sub>	$E = (0.9 \pm 0.3) \cdot D^{(0.52 \pm 0.08)}$	24	0	799	491	1.00	0.62	0.97	0.38	0.62
T <sub>9</sub>	$E = (0.9 \pm 0.3) \cdot D^{(0.52 \pm 0.08)}$	24	0	776	514	1.00	0.60	0.97	0.40	0.60
T <sub>10</sub>	$E = (1.0 \pm 0.3) \cdot D^{(0.52 \pm 0.08)}$	24	0	752	538	1.00	0.58	0.97	0.42	0.58
T <sub>11</sub>	$E = (1.0 \pm 0.4) \cdot D^{(0.52 \pm 0.08)}$	24	0	726	564	1.00	0.56	0.97	0.44	0.56
T <sub>12</sub>	$E = (1.0 \pm 0.4) \cdot D^{(0.52 \pm 0.08)}$	24	0	700	590	1.00	0.54	0.97	0.46	0.54
T <sub>13</sub>	$E = (1.1 \pm 0.4) \cdot D^{(0.52 \pm 0.08)}$	24	0	680	610	1.00	0.53	0.97	0.47	0.53
T <sub>14</sub>	$E = (1.1 \pm 0.4) \cdot D^{(0.52 \pm 0.08)}$	24	0	655	635	1.00	0.51	0.96	0.49	0.51
T <sub>15</sub>	$E = (1.2 \pm 0.4) \cdot D^{(0.52 \pm 0.08)}$	24	0	633	657	1.00	0.49	0.96	0.51	0.49
T <sub>16</sub>	$E = (1.2 \pm 0.4) \cdot D^{(0.52 \pm 0.08)}$	24	0	606	684	1.00	0.47	0.96	0.53	0.47
T <sub>17</sub>	$E = (1.2 \pm 0.4) \cdot D^{(0.52 \pm 0.08)}$	24	0	582	708	1.00	0.45	0.96	0.55	0.45
T <sub>18</sub>	$E = (1.3 \pm 0.4) \cdot D^{(0.52 \pm 0.08)}$	24	0	564	726	1.00	0.44	0.96	0.56	0.44
T <sub>19</sub>	$E = (1.3 \pm 0.4) \cdot D^{(0.52 \pm 0.08)}$	24	0	545	745	1.00	0.42	0.96	0.58	0.42
T <sub>20</sub>	$E = (1.4 \pm 0.4) \cdot D^{(0.52 \pm 0.08)}$	24	0	520	770	1.00	0.40	0.96	0.60	0.40
T <sub>21</sub>	$E = (1.4 \pm 0.5) \cdot D^{(0.52 \pm 0.08)}$	23	1	500	790	0.96	0.39	0.96	0.57	0.39
T <sub>22</sub>	$E = (1.4 \pm 0.5) \cdot D^{(0.52 \pm 0.08)}$	23	1	485	805	0.96	0.38	0.95	0.58	0.38
T <sub>23</sub>	$E = (1.5 \pm 0.5) \cdot D^{(0.52 \pm 0.08)}$	23	1	469	821	0.96	0.36	0.95	0.59	0.37
T <sub>24</sub>	$E = (1.5 \pm 0.5) \cdot D^{(0.52 \pm 0.08)}$	23	1	447	843	0.96	0.35	0.95	0.61	0.35
T <sub>25</sub>	$E = (1.5 \pm 0.5) \cdot D^{(0.52 \pm 0.08)}$	23	1	433	857	0.96	0.34	0.95	0.62	0.34
T <sub>26</sub>	$E = (1.6 \pm 0.5) \cdot D^{(0.52 \pm 0.08)}$	21	3	423	867	0.88	0.33	0.95	0.55	0.35
T <sub>27</sub>	$E = (1.6 \pm 0.5) \cdot D^{(0.52 \pm 0.08)}$	21	3	413	877	0.88	0.32	0.95	0.55	0.34
T <sub>28</sub>	$E = (1.7 \pm 0.5) \cdot D^{(0.52 \pm 0.08)}$	20	4	397	893	0.83	0.31	0.95	0.53	0.35
T <sub>29</sub>	$E = (1.7 \pm 0.5) \cdot D^{(0.52 \pm 0.08)}$	20	4	385	905	0.83	0.30	0.95	0.53	0.34
T <sub>30</sub>	$E = (1.7 \pm 0.6) \cdot D^{(0.52 \pm 0.08)}$	20	4	376	914	0.83	0.29	0.95	0.54	0.34
T <sub>31</sub>	$E = (1.8 \pm 0.6) \cdot D^{(0.52 \pm 0.08)}$	20	4	368	922	0.83	0.29	0.95	0.55	0.33
T <sub>32</sub>	$E = (1.8 \pm 0.6) \cdot D^{(0.52 \pm 0.08)}$	20	4	356	934	0.83	0.28	0.95	0.56	0.32
T <sub>33</sub>	$E = (1.9 \pm 0.6) \cdot D^{(0.52 \pm 0.08)}$	20	4	344	946	0.83	0.27	0.95	0.57	0.31
T <sub>34</sub>	$E = (1.9 \pm 0.6) \cdot D^{(0.52 \pm 0.08)}$	20	4	337	953	0.83	0.26	0.94	0.57	0.31

«Continuación»

Etiqueta	Ecuación	TP	FN	FP	TN	POD	POFD	POFA	HK	$\delta$
T <sub>35</sub>	$E = (1.9 \pm 0.6) \cdot D^{(0.52 \pm 0.08)}$	20	4	318	972	0.83	0.25	0.94	0.59	0.30
T <sub>36</sub>	$E = (2.0 \pm 0.6) \cdot D^{(0.52 \pm 0.08)}$	20	4	302	988	0.83	0.23	0.94	0.60	0.29
T <sub>37</sub>	$E = (2.0 \pm 0.6) \cdot D^{(0.52 \pm 0.08)}$	20	4	288	1002	0.83	0.22	0.94	0.61	0.28
T <sub>38</sub>	$E = (2.1 \pm 0.6) \cdot D^{(0.52 \pm 0.08)}$	19	5	275	1015	0.79	0.21	0.94	0.58	0.30
T <sub>39</sub>	$E = (2.1 \pm 0.7) \cdot D^{(0.52 \pm 0.08)}$	19	5	266	1024	0.79	0.21	0.93	0.59	0.29
T <sub>40</sub>	$E = (2.2 \pm 0.7) \cdot D^{(0.52 \pm 0.08)}$	19	5	258	1032	0.79	0.20	0.93	0.59	0.29
T <sub>41</sub>	$E = (2.2 \pm 0.7) \cdot D^{(0.52 \pm 0.08)}$	18	6	245	1045	0.75	0.19	0.93	0.56	0.31
T <sub>42</sub>	$E = (2.2 \pm 0.7) \cdot D^{(0.52 \pm 0.08)}$	17	7	237	1053	0.71	0.18	0.93	0.52	0.34
T <sub>43</sub>	$E = (2.3 \pm 0.7) \cdot D^{(0.52 \pm 0.08)}$	17	7	229	1061	0.71	0.18	0.93	0.53	0.34
T <sub>44</sub>	$E = (2.3 \pm 0.7) \cdot D^{(0.52 \pm 0.08)}$	17	7	218	1072	0.71	0.17	0.93	0.54	0.34
T <sub>45</sub>	$E = (2.4 \pm 0.7) \cdot D^{(0.52 \pm 0.08)}$	16	8	208	1082	0.67	0.16	0.93	0.51	0.37
T <sub>46</sub>	$E = (2.4 \pm 0.7) \cdot D^{(0.52 \pm 0.08)}$	16	8	193	1097	0.67	0.15	0.92	0.52	0.37
T <sub>47</sub>	$E = (2.5 \pm 0.8) \cdot D^{(0.52 \pm 0.08)}$	16	8	185	1105	0.67	0.14	0.92	0.52	0.36
T <sub>48</sub>	$E = (2.5 \pm 0.8) \cdot D^{(0.52 \pm 0.08)}$	16	8	173	1117	0.67	0.13	0.92	0.53	0.36
T <sub>49</sub>	$E = (2.6 \pm 0.8) \cdot D^{(0.52 \pm 0.08)}$	16	8	161	1129	0.67	0.12	0.91	0.54	0.36
T <sub>50</sub>	$E = (2.6 \pm 0.8) \cdot D^{(0.52 \pm 0.08)}$	16	8	153	1137	0.67	0.12	0.91	0.55	0.35

## **ANEXO 2: MAPAS TEMÁTICOS**

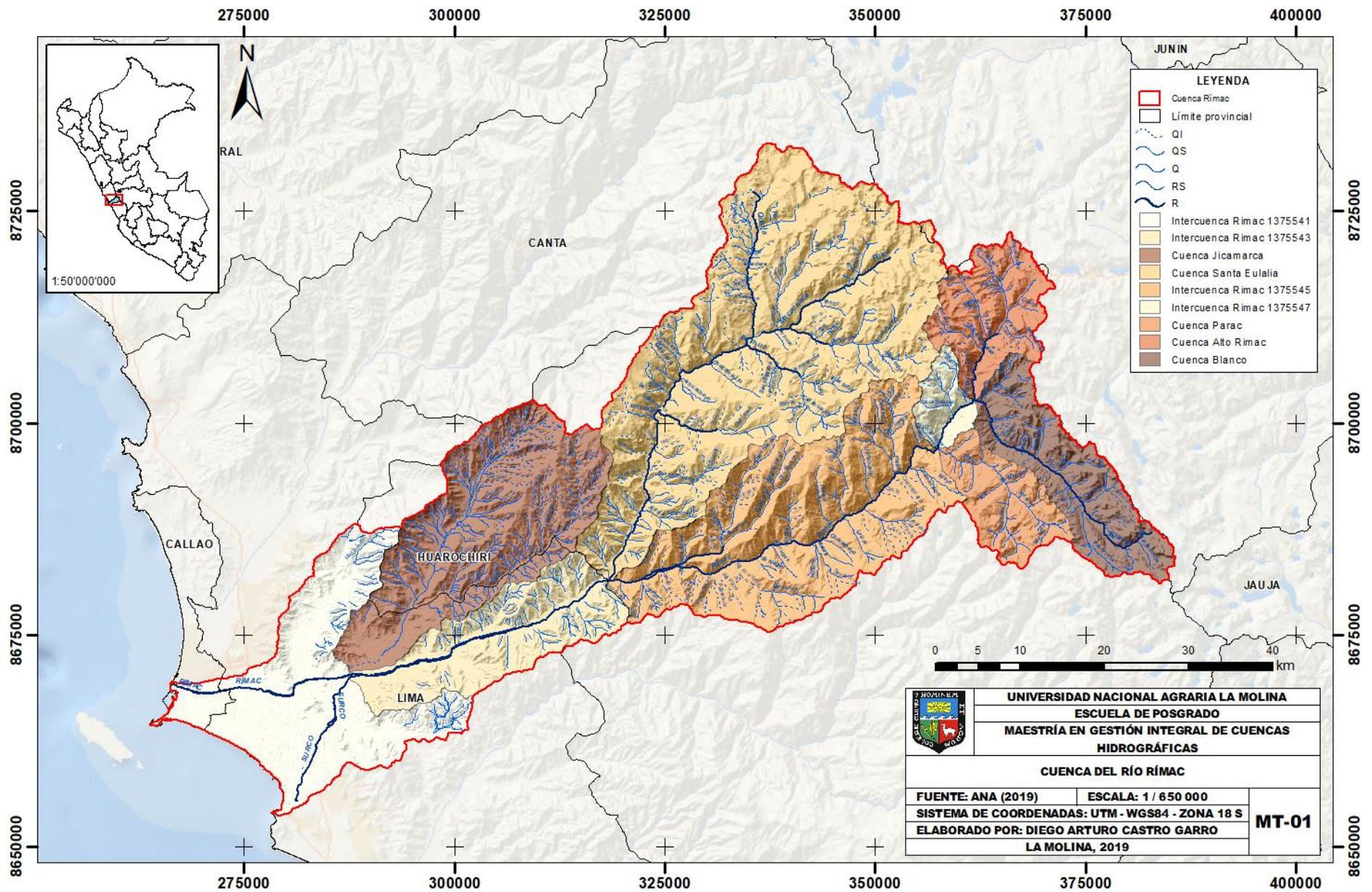


Figura 14 : Mapa de la cuenca del río Rímac

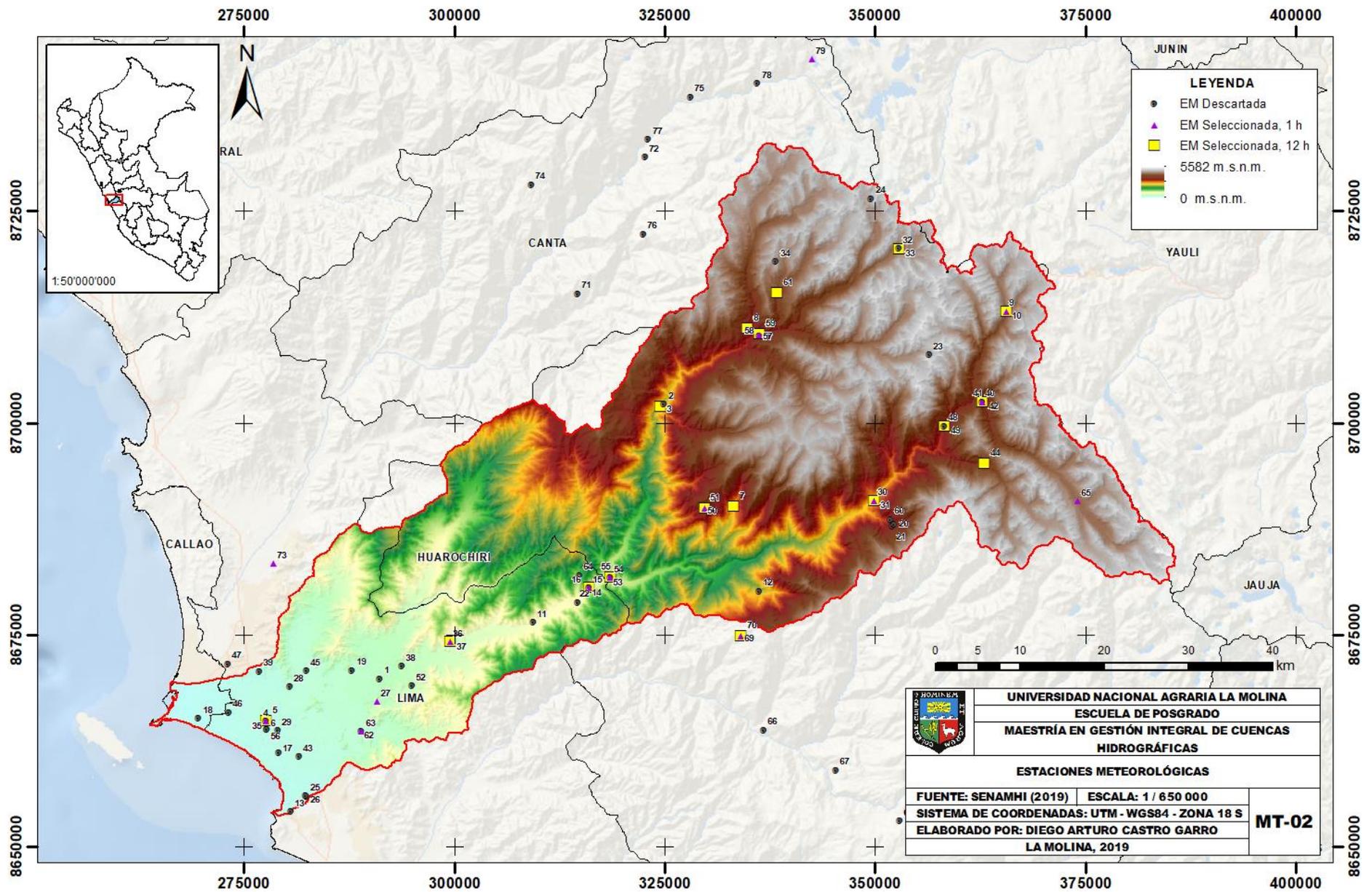


Figura 15 : Mapa de ubicación geográfica de estaciones meteorológicas

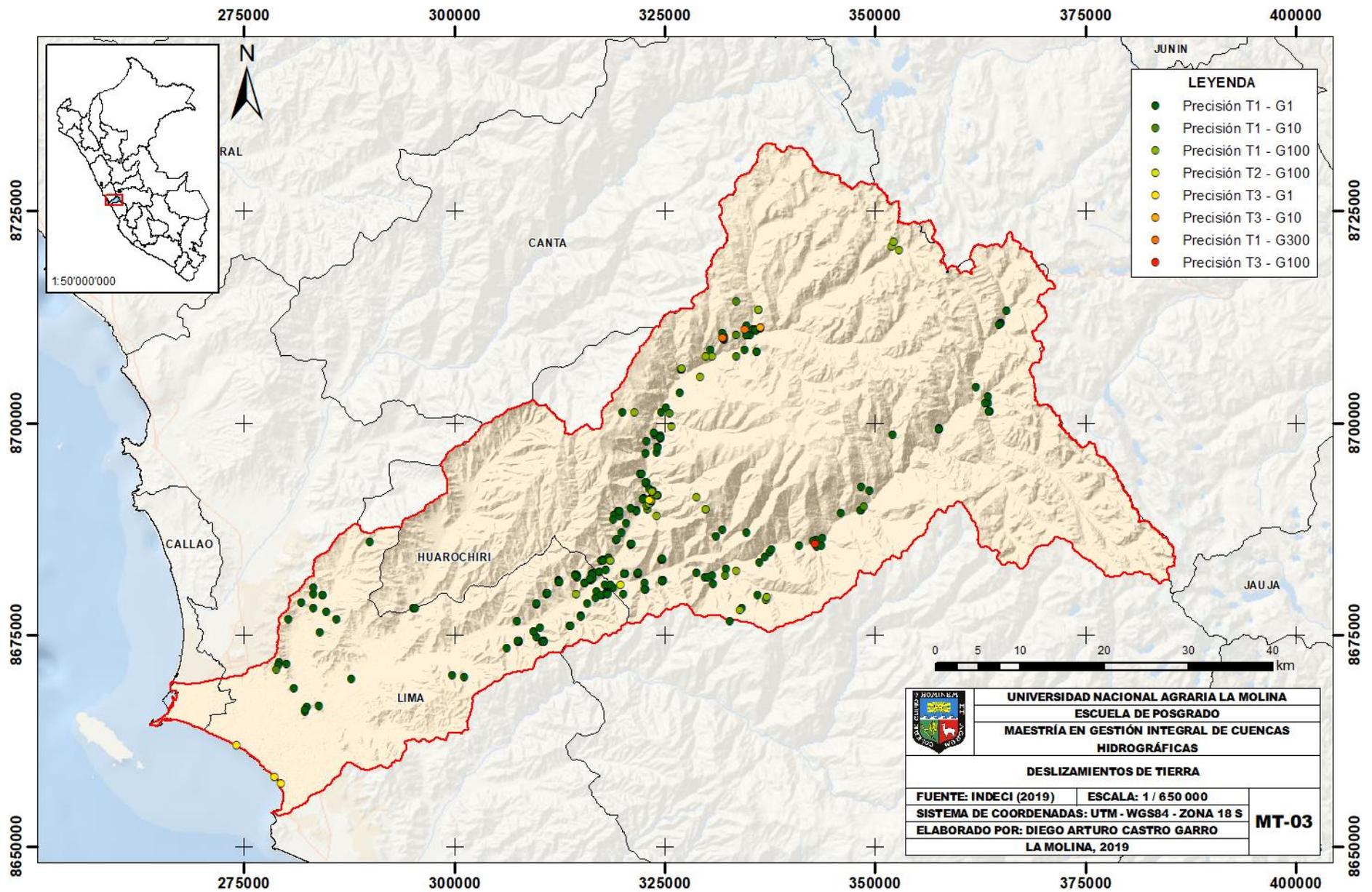


Figura 16 : Mapa de deslizamientos de tierra en la cuenca del río Rímac

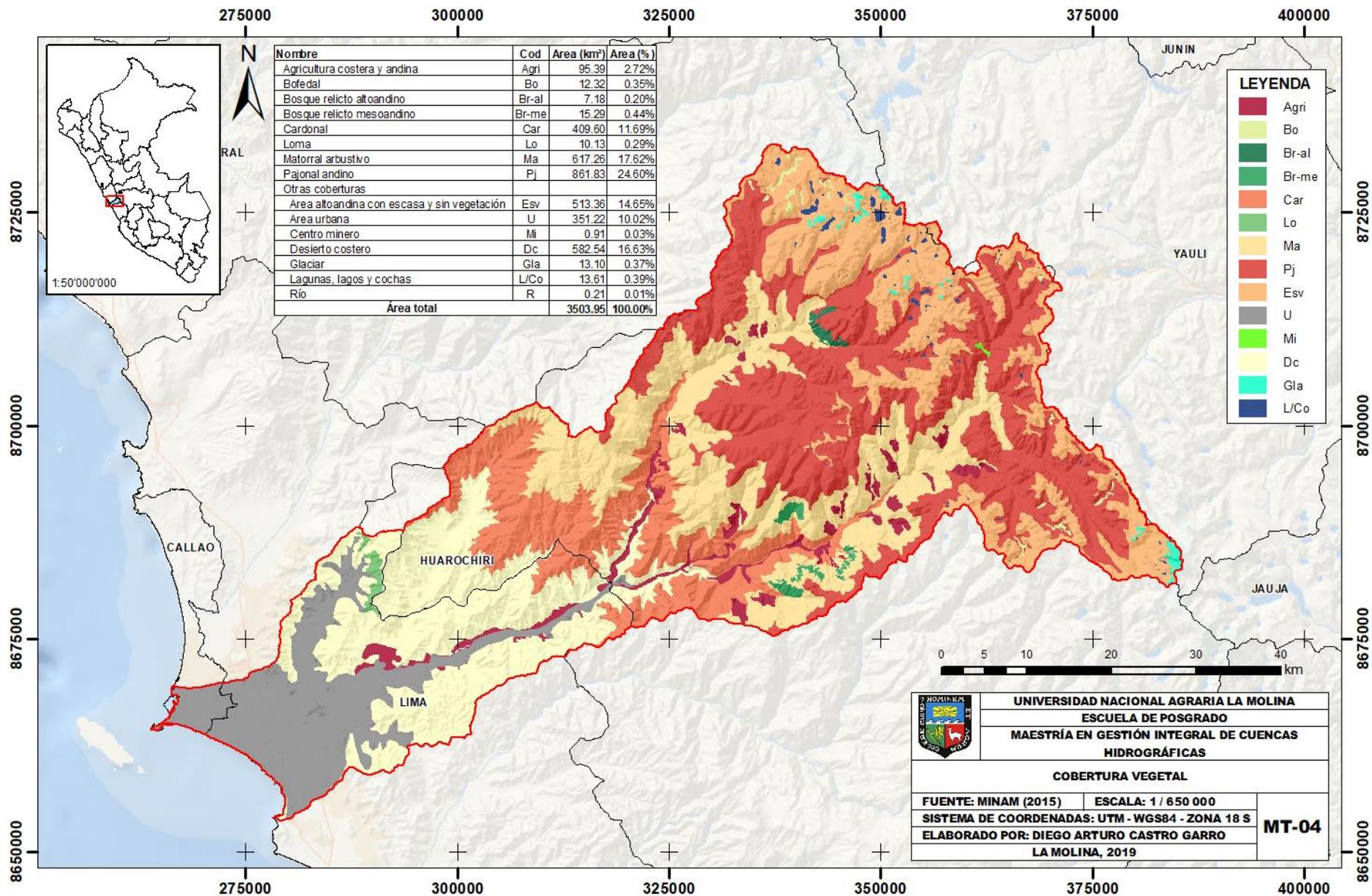


Figura 17 : Mapa de cobertura vegetal de la cuenca del río Rímac

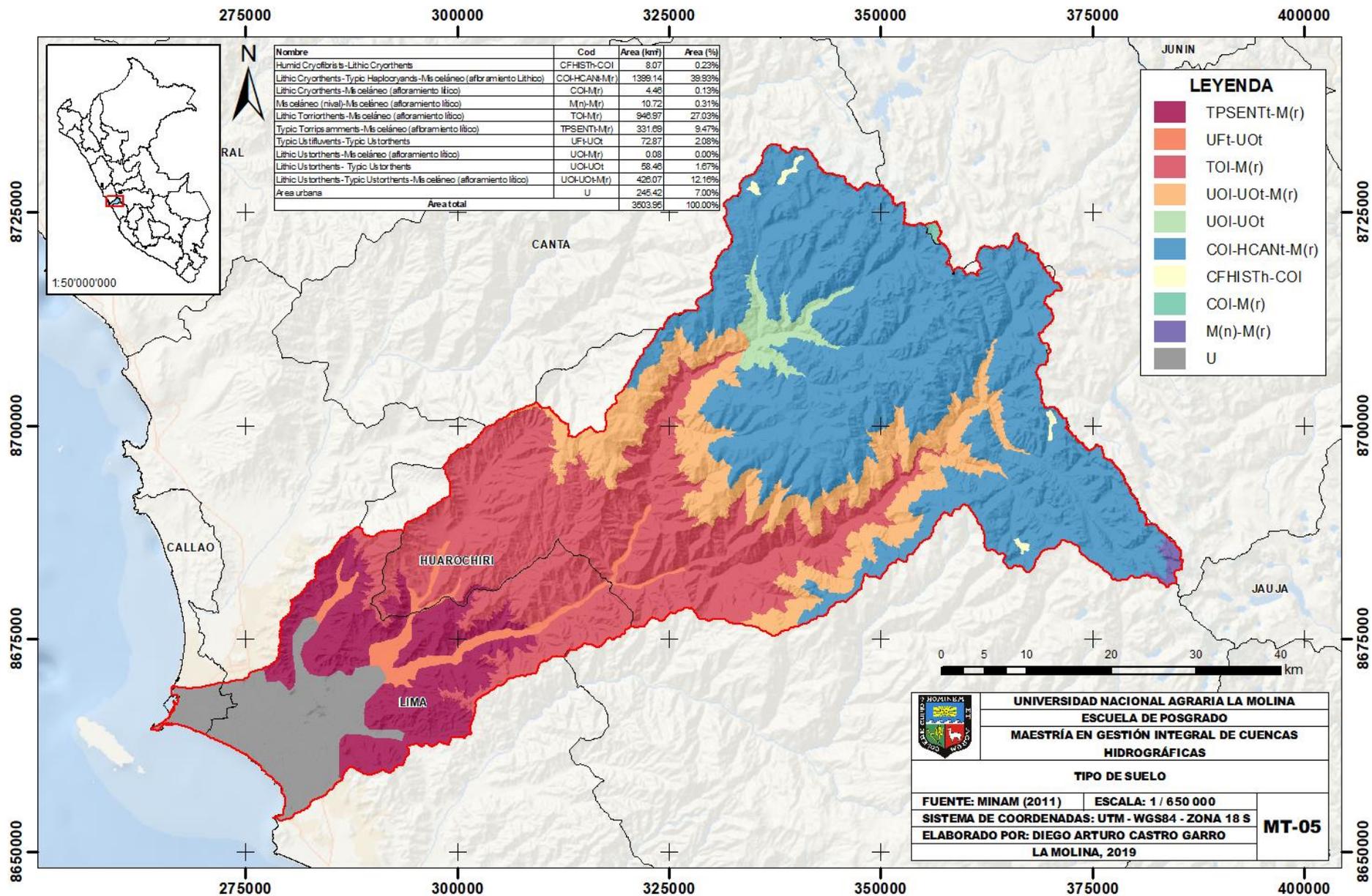


Figura 18 : Mapa de suelos de la cuenca del río Rímac