



INSTITUTO DE ALTOS ESTUDIOS NACIONALES
LA UNIVERSIDAD DE POSGRADO DEL ESTADO

REPÚBLICA DEL ECUADOR

INSTITUTO DE ALTOS ESTUDIOS NACIONALES
LA UNIVERSIDAD DE POSGRADO DEL ESTADO

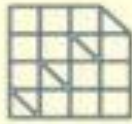
Maestría en Gestión de Riesgos

PRECIPITACIONES Y MOVIMIENTOS EN MASA ENTRE LOS KM 14+000 Y 77+000
DE LA VÍA ALÓAG – SANTO DOMINGO EN EL AÑO 2014

Autor: Milton Roberto Ramírez Navas

Director: Pablo Edilberto Melo Coy

Quito, febrero, 2020



No.103 - 2020.

ACTA DE GRADO

En el Distrito Metropolitano de Quito, hoy 12 de marzo de 2020, **MILTON ROBERTO RAMIREZ NAVAS**, portador del número de cédula: 1802394799, **EGRESADO DE LA MAESTRÍA EN PREVENCIÓN Y GESTIÓN DE RIESGOS (2017-2019)**, se presentó a la exposición y defensa oral de su Artículo Científico, con el tema: "**PRECIPITACIONES Y MOVIMIENTOS EN MASA ENTRE LOS KM 14+000 Y 77+000 DE LA VÍA ALOAG - SANTO DOMINGO EN EL AÑO 2014**", dando así cumplimiento al requisito, previo a la obtención del título de **MAGÍSTER EN EN PREVENCIÓN Y GESTIÓN DE RIESGOS**.

Habiendo obtenido las siguientes notas:

Promedio Académico:	9.11
Artículo Científico Escrito:	7.90
Defensa Oral Artículo Científico:	8.75
Nota Final Promedio:	8.71

En consecuencia, **MILTON ROBERTO RAMIREZ NAVAS**, se ha hecho acreedor al título mencionado.

Para constancia firman:

Mgs. Silvia Corella.

PRESIDENTA DEL TRIBUNAL

Mgs. Gualdemar Jiménez.
MIEMBRO

Dra. Caterina Tuci.
MIEMBRO

Abg. Nimena Carvajal Chiriboga.
DIRECTORA DE SECRETARÍA GENERAL



INSTITUTO DE ALTOS ESTUDIOS NACIONALES
LA UNIVERSIDAD DE POSGRADO DEL ESTADO

AUTORÍA

Yo, Milton Roberto Ramírez Navas, máster, con CC 1802394799, declaro que las ideas, juicios, valoraciones, interpretaciones, consultas bibliográficas, definiciones y conceptualizaciones expuestas en el presente trabajo, así como los procedimientos y herramientas utilizadas en la investigación, son de absoluta responsabilidad del autor del trabajo de titulación. Asimismo, me acojo a los reglamentos internos de la universidad correspondientes a los temas de honestidad académica.

CC: 1802394799



INSTITUTO DE ALTOS ESTUDIOS NACIONALES
LA UNIVERSIDAD DE POSGRADO DEL ESTADO

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN

Autorizo al Instituto de Altos Estudios Nacionales (IAEN) la publicación de esta investigación denominada “Precipitaciones y movimientos en masa entre los km 14+000 y 77+000 de la vía Alóag – Santo Domingo en el año 2014”, de su bibliografía y anexos, como artículo en publicaciones para lectura seleccionada o fuente de investigación, siempre dando a conocer el nombre del autor y respetando la propiedad intelectual del mismo.

Quito, febrero, 2020

MILTON ROBERTO RAMÍREZ NAVAS

CC. 1802394799

PRECIPITACIONES Y MOVIMIENTOS EN MASA ENTRE LOS KM 14+000 Y 77+000 DE LA VÍA ALÓAG – SANTO DOMINGO EN EL AÑO 2014

Milton Roberto Ramírez Navas

Instituto de Altos Estudios Nacionales

Resumen. La vía Alóag - Santo Domingo es la principal arteria de comunicación entre la Sierra y la Costa de Ecuador, sin embargo, entre los kilómetros 14+000 y 77+000, sólo en el año 2014, se registraron 418 movimientos en masa con un amplio rango en el volumen del material removido, que ocasionaron pérdidas económicas, daños a la propiedad y a las personas. La presente investigación utilizó el volumen de material removido para definir siete sitios donde se estudió a detalle las precipitaciones antes y durante la generación de los procesos de remoción en masa con el fin de responder a las interrogantes de ¿cuánta precipitación pudo existir antes de que se produzca un movimiento? y ¿cuál es el rango de precipitación que pudo producir movimientos de masa en el año 2014? Las respuestas obtenidas permitieron conocer los valores de las lluvias preparatorias y/o disparadoras de estos eventos y realizar una primera aproximación de umbrales de precipitación que disparan estos procesos y con esto ampliar el conocimiento sobre este tema, también se describió un evento que constituye una excepción a la literatura existente y que se considera importante continuar estudiando.

Palabras clave: Alóag-Santo Domingo, movimientos en masa, umbrales de precipitaciones, pendientes, laderas.

INTRODUCCIÓN

A nivel mundial se ha incrementado el número de personas afectadas por eventos de origen natural, especialmente los relacionados con procesos hidrometeorológicos, que al parecer se agravan debido al cambio climático (Kamish y Osorio, 2013). Ecuador no es la excepción, los movimientos en masa son eventos que han generado gran impacto socio-económico (SGR, 2014), siendo las zonas montañosas las más expuestas a estos procesos (D'Ercol y Trujillo, 2003).

Varios autores consideran que las precipitaciones son un factor condicionante y disparador de movimientos en masa (Eras, 2014; Ramírez, 2007; Mora y Vahrson, 1994), y se ha logrado determinar umbrales de lluvia que los causan; sin embargo, es necesario realizar estudios locales para definir estos umbrales porque no existen valores estándar de precipitación asociados a la generación de estos eventos (Ramos, Trujillo y Prada, 2015; Olivar y Peña, 2011; PMA, 2007; Moreno, Vélez, Montoya y Rhenals, 2006; Echeverri y Valencia, 2004).

Estudios realizados en el Callejón Interandino y en el área de Quito determinaron que existe una relación directa entre las precipitaciones y los movimientos en masa (Pazos, Vinuesa y Plaza, 1992); además, el evento hidrometeorológico El Niño es otro factor desencadenante de estos procesos, especialmente cuando las precipitaciones superan de 4 a 8 veces la cota media normal de la zona de estudio (Yugsi y Plaza, 2001).

La literatura revisada indica que lluvias intensas de corta duración generan movimientos superficiales, donde el plano de desplazamiento se localiza entre 1 a 2 m de profundidad; mientras que lluvias prolongadas generan movimientos cuyo plano de desplazamiento se encuentra entre los 5 a 20 m (Ávila, G. et. al, 2016; Levoyer, 2016; Ramos, Trujillo y Prada, 2015; San Millán, 2015; Olivar, G. y Peña, C., 2011; Moreno, Vélez, Montoya y Rhenals, 2006; Echeverri y Valencia, 2004).

En términos generales, la bibliografía muestra que las lluvias cambian las condiciones de los materiales de la superficie terrestre y originan la falla de la ladera o del talud (De Matteis, 2003) y el desplazamiento del material ladera abajo (PMA, 2007).

En este marco, la vía Alóag - Santo Domingo, principal arteria que une las regiones Sierra y Costa del Ecuador, atraviesa la Cordillera Occidental de los Andes y durante el año 2014 se movilizaron 22000 vehículos diarios, el 80% con mercaderías y el 20% trasladando personas (Gallegos, 2015; Medina y Velazco, 2015). Las poblaciones asentadas a lo largo del trazado tienen una fuerte relación socio-económica con la vía, por lo que, el cierre parcial o total, debido principalmente a movimientos en masa, les genera un importante impacto socio económico; sólo el sector lechero, tras 20 días de cierre, perdió USD \$ 1100000, mientras que en peajes por día de cierre se dejó de percibir USD \$ 18904,11 (Velazco, 2017), lo cual implica menos recursos para el mantenimiento de la vía, mayor dificultad y pérdidas para las personas que se movilizan por la misma.

Se han realizado varios estudios de los taludes a lo largo de la vía, especialmente durante el año 2014, generando una gran cantidad de información y se determinó que entre los kilómetros 11+500 a 77+000, más del 70% de las áreas geomorfológicas tienen alta susceptibilidad a movimientos en masa (SEG, 2014). Dichos procesos se los puede agrupar, según Fell en Suarez (2009), en extremadamente pequeños (menores a 500 m³), muy pequeños (entre 500 a 5000 m³) y pequeños (entre 5000 a 50000 m³).

El antecedente revela la importancia de ampliar el conocimiento de las precipitaciones como un factor condicionante y disparador de los procesos de remoción en masa ocurridos durante el año 2014 en la vía Alóag - Santo Domingo, pues estos sucesos tienen un gran interés científico y un alto impacto económico y social, y a la luz de los nuevos conocimientos es posible realizar una primera aproximación de valores umbrales de lluvias que disparan estos eventos.

DESARROLLO

A. Área de estudio

La zona de estudio se encuentra en el Cantón Mejía, provincia de Pichincha – Ecuador; comprende el tramo de la vía Alóag – Santo Domingo entre las abscisas 14+000 y 77+000 que inicia a los 4300 msnm y llega a los 1940 msnm, Figura 1. Confluyen a esta vía caminos de tercer y cuarto orden, así como senderos; para la construcción de estos accesos los pobladores han realizado cortes en las montañas, muchas de estas tienen huellas de antiguos movimientos en masa. Esta intervención antrópica influye negativamente sobre el equilibrio relativo de los materiales que conforman las laderas (PMA, 2007).

Se escogió esta área debido al apoyo brindado por parte del Consejo Provincial de Pichincha (CPP), que facilitó estudios de susceptibilidad a movimientos en masa, mapas del área a escala 1:10000, así como informes técnicos de eventos ocurridos a lo largo de la vía. Esta información se la procesó mediante un sistema de información geográfica, y fue la base sobre la cual se colocó las estaciones meteorológicas, facilitadas por el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI), y permitió generar la figura de ubicación de la zona de estudio.

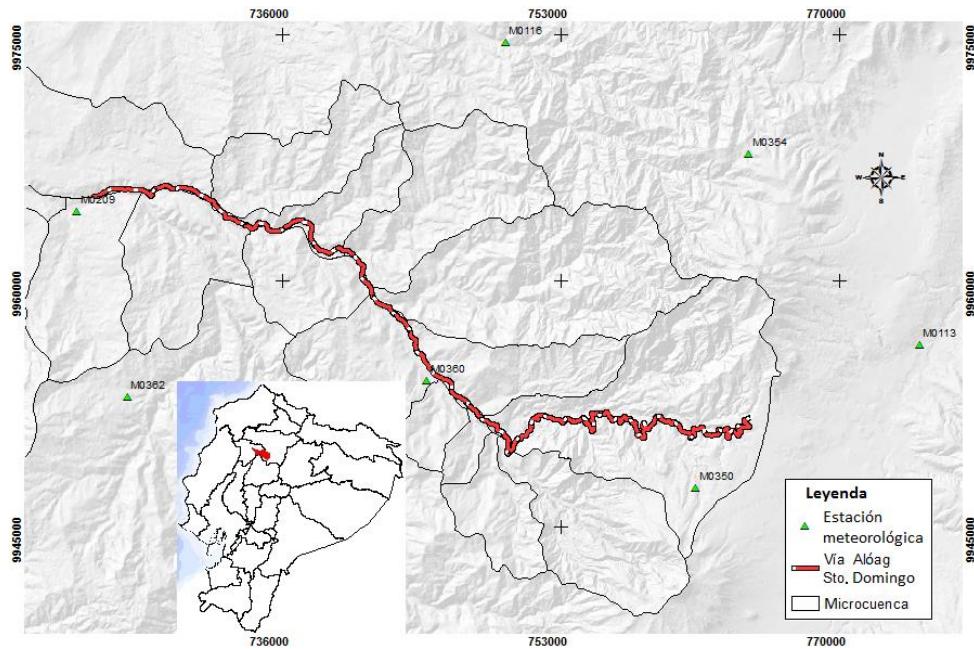


Figura 1. Zona de estudio

Fuente: elaboración propia con información proporcionada por el CPP y por el INAMHI

B. Metodología

Para definir la metodología aplicada en esta investigación se han considerado, principalmente, los estudios realizados por Levoyer (2016), San Millán (2015), Moreno et al. (2006); y, Yugsi y Plaza (2001), quienes asocian periodos de lluvia con la ocurrencia de movimientos en masa, por lo tanto se tomaron como variables de estudio los movimientos ocurridos, las precipitaciones y la temporalidad de ocurrencia de los eventos; el análisis de estas variables en sitios seleccionados permitió determinar umbrales de precipitaciones que generaron procesos de remoción en masa durante el año 2014, la Figura 2 resume esta metodología.

B.1. Movimientos en masa

Los datos de los movimientos en masa fueron proporcionados por el CPP, esta información permite constatar que estos procesos se distribuyen a lo largo de toda la vía, que su ubicación está asociada al km de la vía donde ocurrió y que durante el año 2014 se registraron 418 movimientos, con un amplio rango en cuanto al volumen de material removido, desde menos de 1 m^3 hasta aproximadamente 6500 m^3 . Estos eventos se lo agrupó

considerando el criterio de Fell en Suárez (2009) en: 408 extremadamente pequeños, 7 muy pequeños y 3 pequeños.

Una consideración realizada para determinar el volumen de material removido fue que movimientos reportados el mismo día y en el mismo sitio son parte de un mismo evento, por lo tanto el volumen de material removido es la sumatoria de los volúmenes parciales.

El amplio rango de volúmenes determinó la necesidad de definir una muestra, por lo que, sin restar importancia a los movimientos extremadamente pequeños se escogió los que caen en el rango de muy pequeños y pequeños; se consideró una confianza del 95% y error del 5%, también se estudiaron los extremadamente pequeños que ocurrieron en el mismo sitio antes del movimiento seleccionado, mientras que los ocurridos después del principal se los consideró como rezagos y no se los estudió. Con estas consideraciones se definió 7 sitios para realizar estudios a detalle.

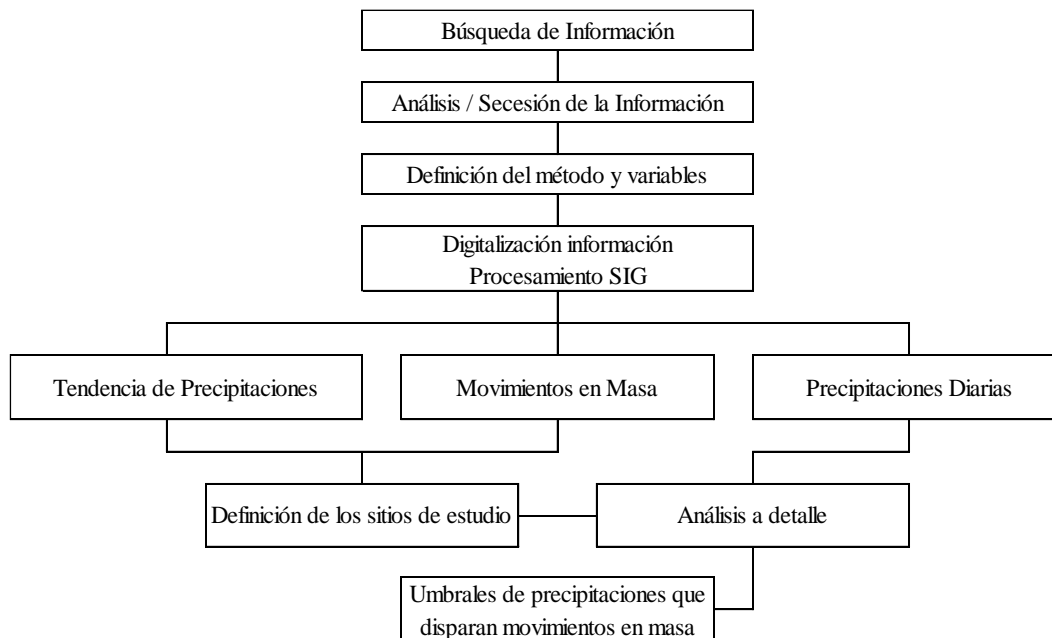


Figura 2. Metodología aplicada

Fuente: elaboración propia a partir de Levoyer (2016), San Millán (2015), Moreno et al. (2006); y, Yugsi y Plaza (2001)

B.2. Precipitaciones

La información de precipitaciones se la obtuvo de dos fuentes, la primera del INAMHI y la segunda de la Administración Nacional de la Aeronáutica y del Espacio

(NASA) de Estados Unidos, específicamente del satélite de la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (NOAA).

El INAMHI cuenta con 3 estaciones asociadas a la vía y ubicadas en las microcuencas de los ríos Tandapi, Alluriquí y Naranjal, Figura 1, de las cuales se dispone datos desde 1964 hasta 1993; y, 4 estaciones en el exterior de estas microcuencas, distribuidas alrededor de la vía, que han registrado información entre 1964 y 2015, Tabla 1. La información existente no es continua y presenta vacíos, sin embargo, permitió determinar el promedio mensual normal (PMN) de la precipitación total y conocer la tendencia de lluvias de la zona.

La otra fuente de datos pluviométricos fue el Script NOAA_PERSIANN-CDR que presenta información de precipitaciones diaria para el año 2014. NOAA proporciona datos a nivel mundial con una resolución de pixel de 1 km y cubre el rango temporal de estudio seleccionado, fecha del evento y los 15 días previos, conforme se sugiere en la bibliografía revisada. Esta información suplió la carencia de datos para los 7 sitios definidos y permitió realizar el estudio a detalle para conocer el comportamiento de las lluvias antes y durante la generación de movimientos en masa durante el año 2014 y así responder a las preguntas de ¿cuánta precipitación pudo existir antes de que se produzca un movimiento? y ¿cuál es el rango de precipitación que pudo producir movimientos de masa en el año 2014?

B.3. Determinación de valores umbrales de precipitación

El procedimiento para determinar umbrales de precipitaciones que disparan movimientos implicó el cálculo del valor acumulado de lluvia en el período de 15 días previos al movimiento, este resultado se lo relacionó con la precipitación promedio mensual normal (PMN) del mes donde se produjo el evento. Si el período de estudio está entre dos meses, se seleccionó el PMN del mes donde se localiza el mayor rango temporal de lluvias y finalmente se realizó el análisis del PMN, considerando criterios determinados en trabajos anteriores para definir el posible disparador del proceso de remoción en masa.

Tabla 1

Estaciones meteorológicas consideradas para el estudio

Estación	Código	Inicio	Fin	Mes												
				Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
Interior de la zona de estudio	Alluriquí	M0290	01/01/1963	31/12/1993	10,74	13,55	12,25	12,98	6,41	2,44	1,26	1,25	1,89	2,5	2,84	5,62
	Tandapi	M0360	01/01/1966	31/12/1983	8,45	9,77	12,45	10,56	5,68	3,22	1,49	2,46	3,66	4,59	3,42	5,26
	Hda. La Granja	M0350	01/01/1964	31/12/1993	4,11	4,4	4,83	4,93	3,68	2,01	1,32	1,8	2,89	3,4	3,24	3,4
Exterior de la zona de estudio	Chiriboga	M0116	01/01/1964	31/12/2015	13,16	13,5	14,43	14,33	9,62	5,87	3,62	2,69	5,25	6,08	6,75	8,86
	Las Pampas	M0362	13/06/1965	30/11/2015	9,04	11,81	9,87	10,43	6,2	2,96	1,4	1,37	2,32	2,84	2,48	5,11
	San Juan - Pichincha (Chillog.)	M0354	17/07/1965	31/12/2015	6,1	7,07	7,3	9,13	7,29	4,65	2,37	2,71	4,44	6,58	6,47	5,94
	Uyumbicho	M0113	01/01/1964	31/12/2015	4,04	5,22	5,72	6,26	4,71	2,01	0,97	0,99	2,42	3,73	4,4	4,07
PROMEDIO MENSUAL NORMAL DE PRECIPITACIÓN (DE TODA LA INFORMACIÓN EXISTENTE)				7,95	9,33	9,55	9,80	6,23	3,31	1,78	1,90	3,27	4,25	4,23	5,47	

Fuente: elaboración propia con información proporcionada por el INAMHI

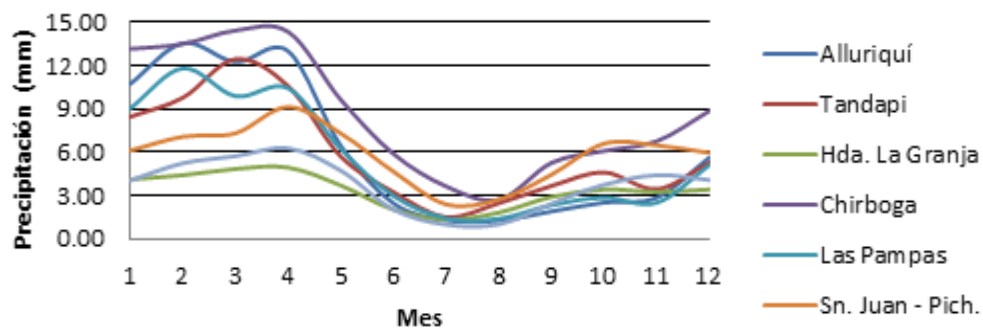


Figura 3. Precipitaciones Promedio Normal Mensual de todas las estaciones del área de estudio

Fuente: elaboración propia con información proporcionada por el INAMHI

C. Resultados

La información del INAMHI, Figura 3, permite dividir las precipitaciones a lo largo del año en 3 períodos: el primero, de enero a abril, con una tendencia creciente de lluvias, el segundo de mayo a julio caracterizado por una tendencia de baja precipitación; y, el tercero, desde agosto a diciembre donde se incrementan las lluvias.

En el tercer período, existe un claro aumento de la pluviosidad en el mes de octubre (pico), registrado por las estaciones San Juan, Tandapi y Las Pampas, este incremento no es muy claro en la estación La Granja, mientras que en la estación Uyumbicho ese incremento se presenta en noviembre.

Mientras que en las estaciones de Alluriquí y Chiriboga sólo se registra un pico en los meses de mayor pluviosidad y luego del período de baja precipitación se mantienen la tendencia de incremento de lluvias.

Cuando se confronta el PMN de las precipitaciones del total de la información existente con los movimientos en masa registrados en 2014 y sus volúmenes de material removido, Figura 4, se observa que cuando incrementa la precipitación también se incrementa el número de movimientos y los volúmenes removidos y viceversa; no obstante, en mayo pese a que decrece las precipitaciones y el número de movimientos, se incrementa el volumen de material removido. Para visualizar fácilmente esta relación se graficó las tres variables considerando una escala con un valor 1 para el menor valor y 12 para el mayor valor, Figura 5; se escogió este rango, adimensional, para visualizar la variación a lo largo de los 12 meses del año.

La ponderación realizada a las variables muestra que el año 2014 inició con valores de 8 en volumen de material removido y 9 para número de movimientos y precipitación, estas variables incrementan hasta marzo, mientras que en abril, donde se tiene el máximo de precipitaciones, decrecen en volumen de material removido y número de movimientos; al contrario, en mayo, inicia el período donde disminuyen las lluvias, sin embargo, en este mes se presenta el mayor volumen de material removido e incrementa el número de movimientos respecto a abril, en cambio en junio y julio las tres variables presentan una tendencia decreciente y finalmente, durante el tercer período, agosto - diciembre, se generó un movimiento asociado al pico de lluvias de octubre.

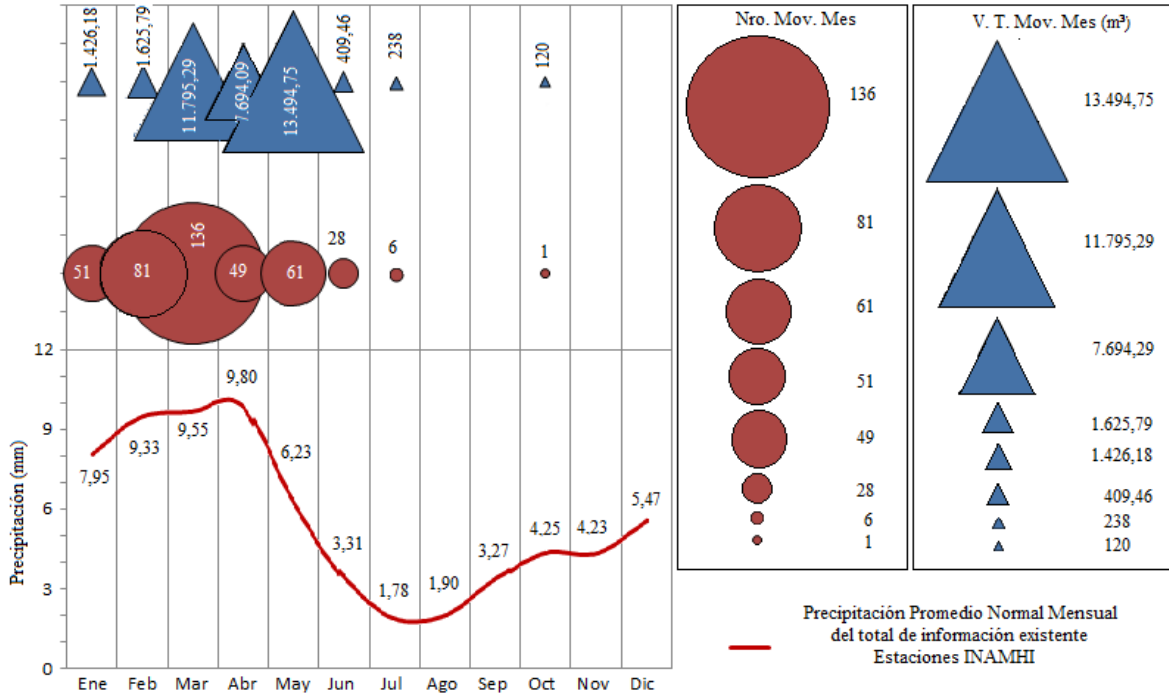


Figura 4. Relación precipitaciones - movimientos en masa - volumen removido

Fuente: elaboración propia con información proporcionada por el CPP e INAMHI

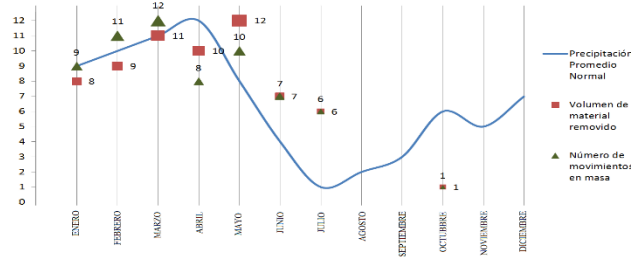


Figura 5. Relación de las variables estudiadas durante el año 2014

Fuente: elaboración propia con información proporcionada por el CCP e INAMHI.

Los resultados obtenidos son coherentes con la literatura revisada y justifican el realizar un estudio a detalle que permita establecer una primera aproximación para definir umbrales de precipitación capaces de disparar movimientos en los 7 sitios escogidos. En la Tabla 2 se resumen los resultados de los análisis realizados para los sitios seleccionados mientras que en la Tabla 3, Anexo 1, se presentan algunos datos relevantes sobre las precipitaciones.

En la Tabla 2 se presenta:

- 1) Número de sitio con el (km);
- 2) La ubicación del sitio en Proyección Universal Transversal de Mercator (UTM) y con un Elipsoide Datum PSAD 56;
- 3) Fecha de ocurrencia del movimiento (Fecha);
- 4) Volumen removido (Vol. Remov. (m³));
- 5) Precipitación acumulada del período de 15 días de estudio (Precip. Acum 15 mm), se debe aclarar que se encuentran resaltados los valores donde se amplió los períodos de estudio, esto se analiza en la discusión;
- 6) Precipitación promedio mensual normal, referencia utilizada para los cálculos de los valores que generan movimientos (Precip. Prom. Men. Ref.);
- 7) Número de veces que se repite la PMN mensual (No. Veces PMN mes);
- 8) Precipitación acumulada de los primeros doce días del período estudiado (Preci. Ac 12 d(mm));
- 9) Número de veces que se repite la PMN mensual durante los primeros doce días (No. Veces PMN 12 d);
- 10) Precipitación acumulada de los últimos tres días del período estudiado (Preci. Ac 3 d (mm)); y,
- 11) Número de veces que se repite la PMN mensual durante los últimos tres días (No. Veces PMN 3 d).

D. Discusión

El PMN del total de las precipitaciones se lo puede dividir en dos segmentos, uno creciente desde agosto hasta abril, donde se registra un pico en octubre y el máximo de lluvias en abril; y el segundo segmento decreciente que inicia en mayo y termina en julio, en este último mes se registra el mínimo de lluvias del año.

Al combinar la información de precipitaciones con las variables número de movimientos en masa y volumen removido, ponderadas, se constata que existe una relación directa entre estas tres variables a lo largo del tiempo, excepto en los meses de abril y mayo. En abril se tiene el mayor promedio de precipitaciones pero las otras dos variables disminuyen; mientras que en mayo baja la precipitación y las otras dos variables incrementan, este cambio puede implicar un período de transición del segmento de lluvias creciente al decreciente, otra posibilidad es que estas lluvias son preparatorias para los movimientos que

ocurrieron en mayo, sin embargo, no se descarta que existan otras relaciones no entendidas aún, pero en general los resultados corroboran que las precipitaciones son un factor preparatorio y disparador de movimientos en masa (Eras, 2014; Ramírez, 2007; PMA, 2007; Mora y Vahrson, 1994).

En el primer período, agosto-abril, se presentan cinco meses consecutivos sin procesos de remoción en masa, descartando el único movimiento extremadamente pequeño ocurrido en el mes de octubre y relacionado con el pico de lluvias de ese mes; luego de este período, en enero, los primeros movimientos se generaron con valores de precipitación entre 10,04 PMN y 32,62 PMN, excepto en el sitio 7 que se produjo por una precipitación de 4,01 del PMN; así también el movimiento del 20 de mayo, sitio 1, se generó luego de un período de 2 meses desde el último evento y causado por un PMN de 20,97 de mayo, mientras que en el sitio 7, el 12 de mayo, también luego de 2 meses del último proceso se generó un evento asociado a un PMN de lluvias de 22,81 de mayo.

De los 10 procesos muy pequeños y pequeños seleccionados, 7 muestran que las lluvias acumuladas durante los primeros doce días fueron significativas para su ocurrencia, mientras que en los 3 eventos restantes existía una probabilidad sobre el 50% de que las precipitaciones acumuladas en los 3 días finales también pudieran disparar el evento, sin embargo, se considera que el acumulado total de lluvias del período estudiado es lo que produjo el evento. Este resultado es coherente con lo expuesto por Levoyer (2016), San Millán (2015) y Moreno et al. (2006), quienes asocian lluvias prolongadas con movimientos ocurridos sobre planos de falla profundos, de 5 a 20 m, por lo tanto, se considera que los mayores volúmenes removidos en el área de estudio son causados por este proceso.

Los movimientos extremadamente pequeños previos a los estudiados se generan con precipitaciones superiores a 4 PMN e inferiores a 10 PMN, excepto los primeros movimientos de cada sitio, conforme lo indicado anteriormente, estos resultados también corroboran lo expuesto por Yugsi y Plaza (2001).

Tabla 2

Resumen de los resultados obtenidos en los siete sitios estudiados

Sitio de estudio	UTM (PSAD56)		Fecha	Vol. Removido (m3)	Preci. Ac. (mm)	Precip. Prom. Men. Ref.	Nro. Preci. Prom. Mensual	Preci. Ac 12 d (mm)	Nro. Preci. Prom. Mensual (12 días)	Preci. Ac 3 d (mm)	Nro. Preci. Prom. Mensual (3 días)
	X	Y									
1 (21+900)	758077	9950654	29-ene-14	6,44	192,34	7,95	24,19	113,48	14,27	78,86	9,92
			21-feb-14	92	78,24	9,33	8,39	64,94	6,96	13,30	1,43
			27-feb-14	21,06	80	9,33	8,57	67,20	7,20	12,80	1,37
			01-mar-14	200,13	51,48	9,33	5,52	38,10	4,08	13,38	1,43
			02-mar-14	132,6	48,15	9,33	5,16	44,30	4,75	3,85	0,41
			05-mar-14	1.398,96	106,3	9,33	11,39	95,47	10,23	10,83	1,16
			09-mar-14	18	90,68	9,55	9,50	28,11	2,94	62,57	6,55
			20-may-14	216	130,67	6,23	20,97	125,44	20,14	5,23	0,84
2 (28+300)	755362	9951457	18-abr-14	6.417,2	98,43	9,8	10,04	63,00	6,43	35,43	3,62
3 (28+400)	755517	9951846	25-mar-14	5.005	110,1	9,55	11,53	96,89	10,15	13,21	1,38
			30-mar-14	1.123	147,8	9,55	15,48	123,01	12,88	24,79	2,60
			18-abr-14	30,15	76,01	9,8	7,76	59,29	6,05	16,72	1,71
4 (44+550)	746196	9952700	11-may-14	692,52	132,73	6,23	21,30	61,06	9,80	71,67	11,50
5 (61+300)	737029	9963209	29-ene-14	39,6	259,4	7,95	32,63	176,39	22,19	83,01	10,44
			30-ene-14	559,25	257,97	7,95	32,45	219,27	27,58	38,70	4,87
			28-jul-14	142,5	18,98	1,78	10,66		0,00	18,98	10,66
6 (67+900)	731627	9964229	10-may-14	5.258,86	129,89	6,23	20,85	61,05	9,80	68,84	11,05
			11-may-14	3.414	132,73	6,23	21,30	61,06	9,80	71,67	11,50
7 (73+560)	726960	9965174	07-mar-14	532,8	38,25	9,55	4,01	32,90	3,44	5,36	0,56
			12-may-14	2.446,23	142,13	6,23	22,81	88,12	14,14	54,01	8,67

Fuente: elaboración propia con información proporcionada por el satélite NOAA, se resaltan excepciones en los periodos de estudio

Los movimientos extremadamente pequeños del 9 de marzo (sitio 1) y el del 28 de julio (sitio 5) claramente ocurrieron por el acumulado de lluvias de los tres días finales, estos procesos cumplen lo expuesto por Levoyer (2016), San Millán (2015) y Moreno et al. (2006), quienes afirman que lluvias intensas de corta duración (3 días) generan movimientos que se desarrollan sobre planos de falla superficiales, menores a 2 m, y que en el presente estudio se los asocia con la movilización de volúmenes extremadamente pequeños.

Conforme lo expuesto, los movimientos extremadamente pequeños deberían estar asociados a planos de falla superficiales y a lluvias intensas de cortos periodos de tiempo, sin embargo, en los 7 sitios estudiados están asociados principalmente a lluvias de largos periodos de tiempo (15 días), esta característica sustenta que son parte de los movimientos mayores, no obstante, se considera importante ampliar los estudios a detalle de estos procesos para conocer mejor su dinámica.

Con la consideración anterior el movimiento ocurrido el 5 de marzo, sitio 1, removió 1398,96 m³, en los 12 primeros días se concentró 3,31 veces el PMN, mientras que en los tres días restantes el 1,13; por lo tanto, se generó con una precipitación acumulada de 4,47 veces el PMN de lluvias de febrero. Este resultado es coherente con lo expuesto por Yugsi y Plaza (2001), sin embargo, los volúmenes de material, en el mismo rango, removido en los otros sitios se asocian a valores de precipitación superiores a 10 PMN, por lo tanto, se decidió ampliar el período de estudio, con las siguientes consideraciones:

Los movimientos extremadamente pequeños son premonitores del mayor

La precipitación de los 3 días finales no disparó el movimiento

Las precipitaciones que dispararon los extremadamente pequeños influyeron en la generación del mayor

El rango ampliado de estudio fue el 7 de febrero, fecha de inicio del estudio del primer movimiento en este sitio, al 5 de marzo, resultando que el movimiento se generó con una precipitación acumulada de 106,30 mm, que representa 11,39 veces el PMN de febrero.

Algo similar se realizó para el evento del 30 de marzo en el sitio 3, donde se definió que el movimiento de 1123 m³ se generó por un PMN de 15,48.

El evento del 7 de marzo (sitio 7), es un primer movimiento y el volumen removido (532,8 m³) es muy pequeño, estos dos argumentos indican que debió generarse con un PMN superior a 10, sin embargo, debido a que no presenta movimientos precursores, se tomó la

decisión de no ampliar el período de estudio y se considera necesario realizar nuevos estudios de este movimiento.

Con base en la información generada en este trabajo, se presenta una primera aproximación de umbrales de precipitaciones que se resumen en la *Figura 6*, en esta se grafica el volumen del material removido y la cantidad de veces que se supera el PMN de lluvias que disparó el evento, por presentación se ponderó estos dos parámetros considerando una escala con un valor 1 para el menor valor y 20 para el mayor valor, por lo tanto el gráfico permite observar que los movimientos muy pequeños y pequeños se generan con precipitaciones superiores a 10 PMN, mientras que, los eventos extremadamente pequeños se generan con precipitaciones entre 4 PMN y 10 PMN; también se observan los eventos que luego de periodos mayores a dos meses sin generación de movimientos requieren de PMN superiores a 10 para su ocurrencia y la excepción ocurrida en el sitio 7.

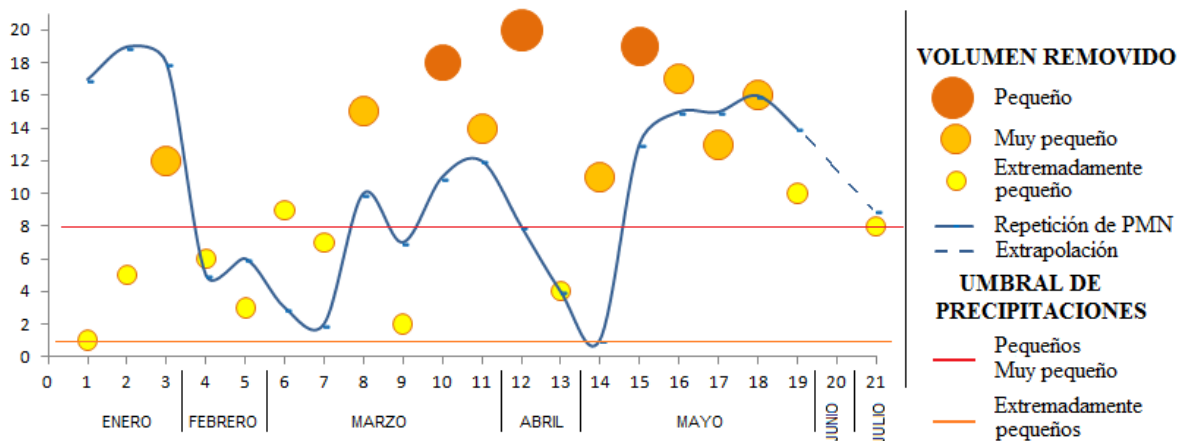


Figura 6. Volúmenes removidos & repetición de PMN de lluvias

Fuente: elaboración propia con información proporcionada por el satélite NOAA

CONCLUSIONES

La información proporcionada por INAMHI permite determinar que la zona de estudio está sujeta a dos tendencias de precipitación, uno creciente entre agosto a abril y otro decreciente entre mayo a julio.

El país no cuenta con suficiente información para desarrollar estudios a detalle de umbrales de precipitación capaces de disparar movimientos en masa en la zona de estudio durante el año 2014, esta se la obtuvo de la información liberada del satélite NOAA de la NASA, por lo que se considera importante que tanto el Consejo Provincial de Pichincha como

el de Santo Domingo de los Tsáchilas, a cargo de la vía Aloag - Santo Domingo, instalen instrumentación que permita obtener datos que apoyarán el desarrollo de investigaciones futuras y permitirán mejorar los valores umbrales definidos.

En la zona de estudio existe una relación directa entre las variables precipitación, número de movimientos en masa y volumen de material removido durante el año 2014, excepto en los meses de abril y mayo; por lo tanto, se deben considerar realizar estudios futuros donde se relacionen el periodo de lluvias con el tipo de movimiento, profundidad del plano de desplazamiento, saturación de materiales, evapotranspiración y orogenia.

Escenarios climáticos que no son capaces de disparar movimientos en masa durante períodos de tiempo de 2 meses o más en la zona de estudio, condicionan la ocurrencia de estos eventos cuando se incrementan las lluvias, requiriendo un acumulado de precipitaciones superiores a 10 PMN e inferiores a 33 PMN del mes para que se generen.

Los movimientos en masa extremadamente pequeños ocurren con valores de precipitación superiores a 4 PMN e inferiores a 10 PMN, mientras que los movimientos muy pequeños y pequeños se generan con precipitaciones entre 10 PMN y 23 PMN.

Precipitaciones que generen, en un mismo sitio, varios movimientos consecutivos extremadamente pequeños, pueden influir en la ocurrencia de un evento de mayor volumen, especialmente si la lluvia acumulada supera 10 PMN del sitio, por lo tanto es importante continuar el estudio de estos movimientos.

El presente trabajo corrobora la relación entre las precipitaciones y los movimientos en masa estudiados en el país y valida parámetros utilizados en investigaciones similares a nivel mundial, sin embargo, se generó un resultado que constituye una excepción a la bibliografía revisada y que no ha sido completamente explicado, lo cual justifica continuar con el estudio del movimiento del 7 de marzo ocurrido en el sitio 7.

La presente investigación permitió responder las interrogantes planteadas para el estudio y realizar una primera aproximación de umbrales de precipitación que causan movimientos en masa en 7 sitios definidos a lo largo del tramo de la vía Alóag - Santo Domingo durante el año 2014, con lo cual se cumplieron los objetivos planteados.

AGRADECIMIENTOS

A las instituciones que aportaron con la información necesaria para el desarrollo del presente estudio, Consejo Provincial de Pichincha (CPP), Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI), Instituto de Investigación Geológico Energético (IIGE) y al Instituto Espacial Ecuatoriano (IEE).

Al apoyo de los ingenieros Hugo Orbea (CPP), Martha Correa (IIGE), Aracely Lima (IIGE), Washington Castillo (IIGE), Roberto Pulupa (IIGE), Mónica Duque (IEE), Lino Verduga (IEE), y al estudiante Kevin Carrera (UCE).

BIBLIOGRAFÍA

Ávila, Guillermo, Cubillos, Carlos, Granados, Alejandro, Medina, Enif, Rodríguez, Édgar, Rodríguez, Carlos, y Ruiz, Gloria (2016). *Guía metodológica para estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa*. Colombia: Imprenta Nacional de Colombia. Recuperado de

<https://www2.sgc.gov.co/Publicaciones/Cientificas/NoSeriadadas/Documents/Guia-Metodologica-27-07-2016.pdf>

D'Ercole, Robert y Trujillo, Mónica (2003). *Amenazas, vulnerabilidad, capacidades y riesgo en el Ecuador. Los desastres un reto para el desarrollo*. Quito: EKSEPTION. Recuperado de http://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/divers11-03/010032419.pdf

De Matteis, Álvaro F. (2003). “Estabilidad de taludes”. *Disertación de ingeniería*. Argentina: Universidad Nacional de Rosario. Recuperado de <https://www.fceia.unr.edu.ar/geologiaygeotecnia/Estabilidad%20de%20Taludes.pdf>

Echeverri, Oscar y Valencia, Yamile (2004). “Análisis de los deslizamientos en la cuenca de la Quebrada La Iguana de la ciudad de Medellín a partir de la integración lluvia-pendiente-formación geológica”. *Revista digital Dyna* n.º 142, vol. 71. Recuperado el 15/08/2018 de <http://www.redalyc.org/pdf/496/49614204.pdf>

Eras, Mercy (2014). “Determinación de zonas susceptibles a movimientos en masa en el Ecuador, a escala 1:1000000, utilizando el método de ponderación de parámetros”. *Disertación de ingeniería*. Quito: Escuela Politécnica Nacional. Recuperado de <https://bibdigital.epn.edu.ec/browse?type=author&value=Eras+Galarza%2C+Mercy+Lorena>

Fell, Robin (2009). “Capítulo 1”. En Suarez, Jaime. Deslizamientos. *Análisis geotécnico Volumen 1*. Colombia: U. Industrial de Santander. Recuperado de <https://civilgeeks.com/2013/03/08/deslizamientos-analisis-geotecnico-libro/>

Gallegos, Andrés (2015). “SIG aplicado a la zonificación de amenazas por deslizamientos en la vía Aloag – Tandapi”. Disertación de Maestría. Quito: Universidad de Salzburg. Recuperado de https://issuu.com/unigis_latina/docs/gallegos

Kamis, Marion y Osorio, Claudio (2013). “América del Sur: una visión regional de la situación de riesgo de desastres”. Recuperado de <http://dipecholac.net/docs/files/735-vision-regional-de-la-situacion-de-riesgo-de-desastres-america-del-sur-final.pdf>

Levoyer, Iveth (2016). “Movimientos en masa en el tramo Alóag - Tandapi en el año 2015”. Disertación de Ingeniería. Quito: Pontificia Universidad Católica del Ecuador. Recuperado de <http://repositorio.puce.edu.ec/bitstream/handle/22000/11350/DISERTACION%20ALEXANDRA.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Medina, Andrea y Velasco, Bolívar (2015). “La Alóag mueve la economía de Santo Domingo”. *EL COMERCIO*, abril 10, Actualidad Nacional. Versión electrónica. Recuperado el 26/01/19 de <https://www.elcomercio.com/actualidad/aloag-economia-santodomingo-comercio.html>

Mora, Sergio y Vahrson, Wilhelm (1994). “Macrozonation Methodology for Landslide Hazard Determination”. *Bulletin of the Association of Engineering Geologists*. n. ° 1, vol. XXXI: 49 – 58. Recuperado el 24/10/2018 de https://www.researchgate.net/publication/275971541_Macrozonation_Methodology_for_Landslide_Hazard_Determination

Moreno, Hernán, Vélez, María, Montoya, Juan, Rhenals, Remberto (2006). “La lluvia y los deslizamientos de tierra en Antioquia: análisis de su ocurrencia en las escalas interanual, intraanual y diaria”. Revista digital *EIA*. n. ° 5: 59 - 69. Recuperado el 24/10/2018 de https://www.researchgate.net/publication/306151113_La_lluvia_y_los_deslizamientos_de_tierra_en_Antioquia_Analisis_de_su_ocurrencia_en_las_escalas_interanual_intraanual_y_diaria/download

Olivar, Gerard y Peña, Carlos (2011). “Deslizamiento de suelos visto desde la dinámica de sistemas”. Ponencia presentada en el 9° Encuentro Colombiano de Dinámica de Sistemas.

Bogotá, Colombia. Recuperado de https://www.urosario.edu.co/urosario_files/92/9237e3c7-14b5-46a2-a2f8-558cb61821db.pdf

Pazos, Virgilio, Vinueza, Walkyria, Plaza, Galo (1992). “Ensayo para una relación entre la pluviosidad y la ocurrencia de movimientos de terreno”. Ponencia presentada en Segundas Jornadas en Ciencias de la Tierra. Quito, Ecuador

Programa Multinacional Andino, PMA (2007). “Geociencias para las Comunidades Andinas. Conozcamos los peligros geológicos en la región andina”. Servicio Nacional de Geología y Minería, Publicación Geológica Multinacional, No. 5

Ramos, Alfonso, Trujillo, Mario y Prada, Luis (2015). “Análisis descriptivo de procesos de remoción en masa en Bogotá”. Revista digital *SciELO*. Recuperado el 25/10/2018 de https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-28132015000200006

San Millán, Eliecer (2015). “Influencia de las precipitaciones en la ocurrencia de los movimientos de laderas en Cantabria”. Disertación de maestría. Cantabria: Universidad de Cantabria.

Recuperado de <https://repositorio.unican.es/xmlui/bitstream/handle/10902/7848/Eliezer%20San%20Millan%20Revuelta.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Secretaría de Gestión de Riesgos, SGR (2014). “Proyecto: Programa de prevención y mitigación para reducir el riesgo por diferentes amenazas”. Quito: Secretaría de Gestión de Riesgos.

Sondeos, Estructuras y Geotécnica, SEG. (2014). “Evaluación e identificación de riesgos en los taludes, ríos y quebradas ubicados en el tramo comprendido entre el km 11+500 hasta el km 77+000 centro poblado de Alluriquín, de la carretera Aloag - Santo Domingo”. Quito: Consejo Provincial de Pichincha.

Velasco, Bolívar (2017). “La carretera Alóag – Santo Domingo tendrá 3 peajes”. *EL COMERCIO*, enero 3, Actualidad Ecuador. Versión electrónica. Recuperado el 26/01/19 de <https://www.elcomercio.com/actualidad/construccion-carretera-peajes-aloagsantodomingo-cobros.html>

Yugsi, Fredy y Plaza, Galo (2001). “Relación lluvia - deslizamientos durante el Fenómeno de El Niño de 1997 - 1998, en la costa ecuatoriana”. Ponencia presentada en Cuartas Jornadas en Ciencias de la Tierra. Quito, Ecuador

ANEXOS

Anexo 1

Tabla 3

Resumen sobre las principales características de las precipitaciones en cada sitio

Sitio	Fecha de movimiento	Período de estudio	Picos de lluvia		Observaciones
			Fecha	% del total del período	
1	29/01/2014	15 al 29/01/2014	22/01/2014	29	Inicio de lluvias 20/01/2014
			27/01/2014	27	
	21/02/2014	07 al 21/02/2014	14/02/2014	33	
	27/02/2014	13 al 27/02/2014	14/02/2014	32	
			27/02/2014	13	
	01/03/2014	15/02/2014 al 01/03/2014	27/02/2014	21	
	02/03/2014	16/02/2014 al 02/03/2014	27/02/2014	22	
	05/03/2014	19/02/2014 al 05/03/2014	27/02/2014	25	Ampliación de período del 7 de febrero al 5 de marzo
			03/03/2014	17	
	20/05/2014	06 al 20/05/2014	06/05/2014	10	
08/05/2014			10		
09/05/2014			25		
12/05/2014			12		
13/05/2014			18		
2	18/04/2014	04 al 18/04/2014	05/04/2014	19	
			08/04/2014	14	
			14/04/2014	12	
			17/04/2014	23	

	25/03/2015	11 al 25/03/2014		Hasta el séptimo día las precipitaciones superan los 7 mm, excepto el día 16, luego los valores son inferiores a 6mm
3	30/03/2014	16 al 30/03/2014	17/03/2014	13
			27/03/2014	17
			28/03/2014	14
			29/03/2014	19
18/04/2014	02 al 18/04/2014	02/04/2014	11	
		05/04/2014	24	
		08/04/2014	19	
		14/04/2014	15	
4	11/05/2014	27/04/2014 al 11/05/2014	27/04/2014	9
			03/05/2014	8
			08/05/2014	7
			09/05/2014	29
			10/05/2014	15
			11/05/2014	10
5	29/01/2014	15 al 29/01/2014	22/01/2014	33
			23/01/2014	12
			25/01/2014	6
			26/01/2014	13
			27/01/2014	18
			29/01/2014	15
5	30/01/2014	16 al 30/01/2014	22/01/2014	33
			23/01/2014	12
			25/01/2014	6
			26/01/2014	13
			27/01/2014	18
			29/01/2014	15
	28/07/2014	14 al 28/07/2014		Solamente se registraron lluvias el 26 y 27 de julio

		26/04/2014	6
		27/04/2014	9
		03/05/2014	8
10/05/2014	26/04/2014 al 10/05/2014	06/05/2014	7
		08/05/2014	8
		09/05/2014	30
		10/05/2014	16
6			
		27/04/2014	9
		03/05/2014	8
		06/05/2014	6
11/05/2014	27/04/2014 al 11/05/2014	08/05/2014	7
		09/05/2014	29
		10/05/2014	15
		11/05/2014	10
<hr/>			
		21/02/2014	10
07/03/2014	21/02/2014 al 07/03/2014	27/02/2014	32
		03/03/2014	15
		07/03/2014	9
7			
		03/05/2014	7
		08/05/2014	7
12/05/2014	28/04/2014 al 12/05/2014	09/05/2014	27
		10/05/2014	14
		11/05/2014	9
		12/05/2014	15

Fuente: elaboración propia con información proporcionada por el satélite NOAA