

Maira Liseth Charry Bocanegra

Detección del inicio de deslizamientos de tierra empleando
análisis multivariado y modelos estocásticos

2026



Universidad Autónoma de Querétaro

Facultad de Ingeniería

**Detección del inicio de deslizamientos
de tierra empleando análisis
multivariado y modelos estocásticos**

Tesis

Que como parte de los requisitos para
obtener el Grado de

**Maestra en Ciencias
(Hidrología Ambiental)**

Presenta

Maira Liseth Charry Bocanegra

Dirigido por:

Dr. Martín Alfonso Gutiérrez López

Querétaro, Qro. a: 29 de junio de 2026

La presente obra está bajo la licencia:
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.es>



CC BY-NC-ND 4.0 DEED

Atribución-NoComercial-SinDerivadas 4.0 Internacional

Usted es libre de:

Compartir — copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato

La licenciante no puede revocar estas libertades en tanto usted siga los términos de la licencia

Bajo los siguientes términos:



Atribución — Usted debe dar [crédito de manera adecuada](#), brindar un enlace a la licencia, e [indicar si se han realizado cambios](#). Puede hacerlo en cualquier forma razonable, pero no de forma tal que sugiera que usted o su uso tienen el apoyo de la licenciante.



NoComercial — Usted no puede hacer uso del material con [propósitos comerciales](#).



SinDerivadas — Si [remezcla, transforma o crea a partir](#) del material, no podrá distribuir el material modificado.

No hay restricciones adicionales — No puede aplicar términos legales ni [medidas tecnológicas](#) que restrinjan legalmente a otras a hacer cualquier uso permitido por la licencia.

Avisos:

No tiene que cumplir con la licencia para elementos del material en el dominio público o cuando su uso esté permitido por una [excepción o limitación](#) aplicable.

No se dan garantías. La licencia podría no darle todos los permisos que necesita para el uso que tenga previsto. Por ejemplo, otros derechos como [publicidad, privacidad, o derechos morales](#) pueden limitar la forma en que utilice el material.



Universidad Autónoma de Querétaro
Facultad de Ingeniería
Maestría en Ciencias (Hidrología Ambiental)

Detección del inicio de deslizamientos de tierra empleando análisis multivariado y modelos estocásticos

Que como parte de los requisitos para obtener el Grado de
Maestro en Ciencias (Hidrología Ambiental)

Presenta:

Maira Liseth Charry Bocanegra

Dirigido por:

Dr. Martín Alfonso Gutiérrez López

Dr. Martín Alfonso Gutiérrez López

Presidente

Dr. Martín Muñoz Mandujano

Secretario

Dr. Sócrates Figueroa Miranda

Vocal

M.C. Iván González García

Suplente

M.C. Sebastián Fuentes Castro

Suplente

Centro Universitario, Querétaro, Oro.

Fecha de Aprobación por el consejo (julio de 2026)

México

DEDICATORIA

A mi hija Valeria porque aún antes de nacer, te convertiste en mi mayor inspiración. Durante este camino académico me acompañaste en silencio, creciendo dentro de mí mientras yo intentaba dar forma a este sueño. Hubo días de cansancio, incertidumbre y dificultades en los que pensé que no tendría fuerzas para continuar, pero tu presencia me recordaba cual era mi propósito.

Gracias por enseñarme a resistir. Gracias por mostrarme que la fortaleza nace del amor y que siempre existe una razón para seguir adelante. Cada página de esta tesis lleva también una parte de ti, porque mientras yo aprendía sobre ciencia e investigación, tú me enseñabas las lecciones más importantes sobre la paciencia, la esperanza y la valentía.

Este logro es tan mío como tuyo. Espero que algún día, al leer estas palabras, sepas que desde antes de conocerte ya transformabas mi vida y me impulsabas a ser una mejor mujer, una mejor profesional y, sobre todo, una mejor madre.

Con todo mi amor, Mamá.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mi madre María Damiana por su apoyo incondicional, por impulsarme desde pequeña a luchar por mis sueños, instruyéndome siempre en el mundo académico y enseñándome con amor a hacer las cosas de la mejor manera. Ella me ha inspirado con su fortaleza y tenacidad para sostener su familia y brindarme lo mejor para mi crecimiento.

A mis hermanas Sonia, Andrea y Angela por acompañarme, ayudarme y sostenerme en cada paso que doy. Por ser mis mejores amigas, crecer conmigo y estar unidas a pesar del tiempo y la distancia, por ser mi lugar seguro y mi más grande ejemplo de perseverancia.

A Daniel Covarrubias, mi compañero de vida, por caminar a mi lado durante este proceso y por sostenerme cuando las fuerzas parecían faltar. Gracias por acompañarme mientras nuestra hija Valeria crecía dentro de mí, por creer en mí incluso cuando yo dudaba y por recordarme que ningún desafío es demasiado grande cuando se enfrenta con amor, compromiso y esperanza. Este logro también lleva una parte de ti.

A mi gran amiga Carola Yamá, por conservar y fortalecer nuestra amistad a lo largo de los años. A pesar de la distancia, desde Colombia me acompañó en este proceso, brindándome su apoyo, sus consejos y compartiendo generosamente su experiencia. Gracias por motivarme, escucharme y ayudarme a creer que también era posible culminar esta etapa académica. Este logro lleva también una parte de tu amistad y de tu confianza en mí.

Expreso mi más sincero agradecimiento a la Universidad Autónoma de Querétaro por brindarme la oportunidad de desarrollar mi formación académica de posgrado y por el apoyo institucional recibido durante este proceso. De

manera especial, agradezco a la Facultad de Ingeniería y a su División de Posgrado por los conocimientos compartidos, los recursos académicos proporcionados y el acompañamiento constante que hicieron posible la culminación de esta etapa de crecimiento profesional y personal.

Mi más sincero agradecimiento al Dr. Martín Alfonso Gutiérrez López por brindarme la oportunidad de formar parte de esta maestría y por acompañarme con dedicación, entusiasmo y compromiso a lo largo de este proceso. Su orientación, valiosas mentorías y constante apoyo fueron fundamentales para el desarrollo de esta investigación, contribuyendo significativamente a mi crecimiento académico y profesional. Le agradezco profundamente por compartir sus conocimientos, confianza y motivación durante esta importante etapa de mi formación.

Agradezco al sínodo de esta tesis: Dr. Sócrates Figueroa Miranda, Dr. Martín Muñoz Mandujano, M.C. Iván González García Sinodal, M.C. Sebastián Fuentes Castro, por su disposición, tiempo y valiosas observaciones durante la revisión y evaluación de este trabajo, las cuales contribuyeron significativamente al fortalecimiento de su calidad académica.

Expreso mi agradecimiento a la Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (SECIHTI) por el otorgamiento de la beca nacional que hizo posible el desarrollo y culminación de esta investigación, así como por la oportunidad brindada como estudiante extranjera y el apoyo al impulso de las investigaciones de posgrado en México.

Extiendo mi agradecimiento al cuerpo académico de la Maestría y a los docentes que contribuyeron con sus conocimientos durante mi formación.

A mis amigas Clertine, Adrianis, Daylin, Fernanda y Tania por su amistad y apoyo incondicional. A mis compañeros de la academia, quienes me ofrecieron su amistad sincera, además de su apoyo en diferentes momentos y a quienes siempre llevaré en mis mejores recuerdos.

RESUMEN

Los deslizamientos de tierra constituyen uno de los fenómenos naturales que generan mayores pérdidas humanas, sociales y económicas en regiones montañosas de Colombia, siendo las condiciones hidrometeorológicas uno de sus principales factores detonantes. En este contexto, la presente investigación tuvo como objetivo desarrollar un modelo probabilístico para la identificación de condiciones precursoras de deslizamientos mediante la integración de variables hidroclimáticas derivadas del enfoque CRHUDA y su aplicación en el departamento del Huila.

La metodología comprendió la recopilación y depuración de información proveniente del Sistema de Información de Movimientos en Masa (SIMMA), registros hidrometeorológicos del IDEAM-Aquarius e información geográfica del IGAC. A partir de estos datos se construyeron variables hidroclimáticas derivadas, incluyendo el punto de rocío, el factor CRHUDA y variables acumuladas calculadas mediante una ventana móvil de tres días. Posteriormente, se aplicó un análisis multivariado para evaluar la relación entre las variables y se desarrolló un modelo de regresión logística para estimar la probabilidad de ocurrencia de condiciones favorables para deslizamientos. Finalmente, se implementó una regla compuesta de decisión basada en la probabilidad suavizada y en variables dinámicas, cuyos resultados fueron integrados en un dashboard interactivo para la construcción del Índice Multivariado de Inicio de Deslizamientos (IMID).

Los resultados demostraron que la incorporación de variables dinámicas mejora la interpretación de la respuesta probabilística del modelo, permitiendo identificar tendencias persistentes asociadas con la preparación del terreno antes de la ocurrencia de un deslizamiento. Asimismo, la integración de la probabilidad estimada con la evolución temporal de las variables hidroclimáticas fortaleció el proceso de decisión para la emisión de alertas. El dashboard desarrollado

automatiza el procedimiento metodológico y constituye una herramienta de apoyo para la interpretación de resultados y su potencial aplicación en sistemas de alerta temprana para la gestión del riesgo por deslizamientos.

Palabras clave: deslizamientos de tierra; regresión logística; CRHUDA; IMID; alerta temprana.

ABSTRACT

Landslides are among the natural hazards that cause the greatest human, social, and economic losses in mountainous regions of Colombia, where hydroclimatic conditions are one of the main triggering factors. In this context, the objective of this research was to develop a probabilistic model for identifying landslide precursor conditions by integrating hydroclimatic variables derived from the CRHUDA approach and applying it to the Department of Huila, Colombia.

The methodology involved collecting and processing information from the Colombian Landslide Information System (SIMMA), hydroclimatic records obtained from IDEAM-Aquarius, and geographic information provided by IGAC. Based on these datasets, derived hydroclimatic variables were constructed, including dew point, the CRHUDA factor, and accumulated variables calculated using a three-day moving window. A multivariate analysis was then performed to evaluate the relationships among the variables, followed by the development of a logistic regression model to estimate the probability of conditions favorable for landslide occurrence. Finally, a composite decision rule based on smoothed probability and dynamic variables was implemented, and the results were integrated into an interactive dashboard for the construction of the Multivariate Landslide Initiation Index (MLII).

The results showed that incorporating dynamic variables improves the interpretation of the probabilistic response by identifying persistent hydroclimatic trends associated with slope instability before landslide occurrence. Furthermore, combining the estimated probability with the temporal evolution of hydroclimatic variables strengthened the decision-making process for issuing warnings. The developed dashboard automates the methodological workflow and provides a practical tool for result interpretation and its potential application in landslide early warning systems and disaster risk management.

Keywords landslides; logistic regression; CRHUDA; Multivariate Landslide Initiation Index (IMID); early warning system.

ABREVIATURAS Y SIGLAS

ARMA: Modelo Autorregresivo de Medias Móviles (Autoregressive Moving Average)

CRHUDA: Factor hidroclimático compuesto basado en Condiciones de Rocío, Humedad, Presión y variables Atmosféricas

IDEAM: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales

IGAC: Instituto Geográfico Agustín Codazzi

IMID: Índice Multivariado de Inicio de Deslizamientos

SGC: Servicio Geológico Colombiano

SIMMA: Sistema de Información de Movimientos en Masa

INDICE

1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. ANTECEDENTES.....	6
3. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.....	12
3.1. Deslizamientos de tierra como sistemas complejos	13
3.2. Fundamentos físicos e hidrológicos	14
3.3. Deslizamientos de tierra y factores hidrometeorológicos	15
3.4. Modelo CRHUDA.....	16
3.5. Análisis multivariado en fenómenos hidrometeorológicos.....	17
3.6. Regresión logística para la estimación de probabilidades.....	17
3.7. Análisis multivariado de deslizamientos	18
3.8. Modelación estocástica de variables hidrometeorológicas.....	19
3.9. Gestión del riesgo de deslizamientos	20
3.10. Regresión logística para la estimación probabilística de deslizamientos	21
3.11. Deslizamientos de tierra y factores hidrometeorológicos	23
3.12. Modelos estocásticos ARMA(p, q) en la predicción de deslizamientos	24
4. HIPÓTESIS.....	26
5. OBJETIVOS.....	27
5.1. Objetivo general.....	27
5.2. Objetivos específicos.....	27
6. DESCRIPCION DEL AREA DE ESTUDIO	28
6.1. Unidad de análisis y población de estudio.....	28
6.2. Descripción del sitio.....	28
□ Departamento del Huila – Colombia.....	28
□ Geografía	29

□ Zonificación de amenazas	31
6.3. Muestra y tipo de muestreo	32
7. METODOLOGIA.....	33
7.1. Recopilación y preparación de la información	35
7.2. Selección de eventos y organización temporal	36
7.3. Fuentes de información y bases de datos	37
7.3.1. Sistema de información de Movimientos en Masa (SIMMA).....	37
7.3.2. Portal Aquarius WebPortal.....	40
7.3.3. Información geográfica IGAC.....	43
7.4. Construcción de variables hidroclimáticas derivadas	45
□ Punto de rocío	45
□ Factor CRHUDA	46
7.5. Construcción de variables en ventana móvil de tres días	46
7.6. Modelo logístico base	48
7.7. Probabilidad temporal suavizada y diferencias temporales.....	48
7.8. Regla compuesta de alerta	49
7.9. Validación mediante series sintéticas estocásticas	51
7.10. Secuencia operativa de cálculo en el dashboard	51
7.11. Interpretación metodológica del modelo CRHUDA y del IMID	53
8. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	55
8.1. Recopilación de la información.....	56
8.1.1 Inventario de deslizamientos.....	57
□ Información de series hidroclimáticas diarias.....	59
□ Selección de eventos.....	59
8.2. Construcción de las variables hidroclimáticas derivadas	65
8.3. Estimación de la probabilidad diaria mediante el modelo Logístico CRHUDA....	79
8.4. Probabilidad Temporal Suavizada	81

8.5.	Variables dinámicas ($\Delta X1$ y $\Delta X3$).....	84
8.6.	Determinación del umbral de activación del IMID	88
8.7.	Regla compuesta de alerta.....	88
8.8.	Validación del umbral mediante series sintéticas	89
8.9.	Dashboard e IMID.....	90
CONCLUSIONES		91
BIBLIOGRAFÍA		93
ANEXOS		98

Índice de Tablas

Tabla 1. Eventos seleccionados para el estudio.....	61
--	----

Índice de Figuras

<i>Figura 1. Mapa de localización departamento del Huila</i>	<i>29</i>
<i>Figura 2. Mapa de amenaza por procesos de remoción en masa.</i>	<i>32</i>
<i>Figura 3. Esquema general del procedimiento metodológico.</i>	<i>34</i>
<i>Figura 4. Interfaz de la página SIMMA-SGC.....</i>	<i>39</i>
<i>Figura 5. Ilustraciones base de datos SIMMA</i>	<i>40</i>
<i>Figura 6. Interfaz página Aquarius</i>	<i>42</i>
<i>Figura 7. Área de estudio (Elaboración propia-Datos IGAC)</i>	<i>44</i>
<i>Figura 8. Localización de deslizamientos en el departamento del Huila.....</i>	<i>57</i>
<i>Figura 9. Distribución anual de deslizamientos en el área de estudio</i>	<i>59</i>
<i>Figura 10. Mapa de estaciones meteorológicas y localización de eventos.....</i>	<i>60</i>
<i>Figura 11.Deslizamientos seleccionados y su estación más cercana.....</i>	<i>61</i>
<i>Figura 12. Información evento 1</i>	<i>62</i>
<i>Figura 13. Información evento 2</i>	<i>63</i>
<i>Figura 14. Información evento 3</i>	<i>64</i>
<i>Figura 15. Punto de rocío evento 1.....</i>	<i>66</i>
<i>Figura 16. Punto de rocío evento 2.....</i>	<i>66</i>
<i>Figura 17. Punto de rocío evento 3.....</i>	<i>67</i>
<i>Figura 18. Factor CRHUDA evento 1.....</i>	<i>69</i>
<i>Figura 19. Factor CRHUDA evento 2.....</i>	<i>70</i>
<i>Figura 20. Factor CRHUDA evento 3.....</i>	<i>71</i>
<i>Figura 21. Variable X1 evento 1.....</i>	<i>73</i>
<i>Figura 22. Variable X2 evento 1.....</i>	<i>73</i>
<i>Figura 23. Variable X3 evento 1.....</i>	<i>74</i>
<i>Figura 24. Variable X1 evento 2.....</i>	<i>75</i>
<i>Figura 25. Variable X2 evento 2.....</i>	<i>75</i>
<i>Figura 26. Variable X3 evento 2.....</i>	<i>76</i>
<i>Figura 27. Variable X1 evento 3.....</i>	<i>77</i>
<i>Figura 28. Variable X2 evento 3.....</i>	<i>77</i>

<i>Figura 29. Variable X3 evento 3.....</i>	<i>78</i>
<i>Figura 30. Probabilidad diara $P(x)$ evento 1.....</i>	<i>79</i>
<i>Figura 31. Probabilidad diara $P(x)$ evento 2.....</i>	<i>80</i>
<i>Figura 32. Probabilidad diara $P(x)$ evento 3.....</i>	<i>80</i>
<i>Figura 33. Probabilidad temporal suavizada $P(x)$ evento 1.....</i>	<i>82</i>
<i>Figura 34 Probabilidad temporal suavizada $P(x)$ evento 2.....</i>	<i>82</i>
<i>Figura 35. Probabilidad temporal suavizada $P(x)$ evento 3.....</i>	<i>83</i>
<i>Figura 36. Diferencia temporal $\Delta X1$, evento 1</i>	<i>84</i>
<i>Figura 37. Diferencia temporal $\Delta X1$, evento) evento 2</i>	<i>85</i>
<i>Figura 38. Diferencia temporal $\Delta X1$, evento evento 3.....</i>	<i>85</i>
<i>Figura 39. Diferencia del factor CRHUDA promedio evento 1</i>	<i>86</i>
<i>Figura 40. Diferencia del factor CRHUDA promedio evento 2</i>	<i>86</i>
<i>Figura 41. Diferencia del factor CRHUDA promedio evento 3</i>	<i>87</i>

Índice de ecuaciones

<i>Ecuación 1. Punto de rocío.....</i>	<i>45</i>
<i>Ecuación 2. Factor CRHUDA.....</i>	<i>46</i>
<i>Ecuación 3. Lluvia acumulada de tres días.....</i>	<i>47</i>
<i>Ecuación 4. Humedad relativa media de tres días.....</i>	<i>47</i>
<i>Ecuación 5. Factor CRHUDA medio de tres días.</i>	<i>47</i>
<i>Ecuación 6. Término de interacción entre lluvia y humedad.....</i>	<i>47</i>
<i>Ecuación 7. Exponente lineal del modelo Logístico CRHUDA.....</i>	<i>48</i>
<i>Ecuación 8. Probabilidad diaria del deslizamiento.</i>	<i>48</i>
<i>Ecuación 9. Probabilidad temporal suavizada usada operativamente en el Dashboard (promedio móvil de tres días).</i>	<i>49</i>
<i>Ecuación 10. Diferencia temporal de la lluvia acumulada de tres días.</i>	<i>49</i>
<i>Ecuación 11. Diferencia temporal del Factor CRHUDA medio de tres días.....</i>	<i>49</i>
<i>Ecuación 12. Condición probabilística de la regla compuesta.</i>	<i>50</i>
<i>Ecuación 13. Condición dinámica asociada a la lluvia acumulada.</i>	<i>50</i>
<i>Ecuación 14. Condición dinámica asociada al Factor CRHUDA.</i>	<i>50</i>
<i>Ecuación 15.. Definición formal de la alerta compuesta.</i>	<i>50</i>

1. INTRODUCCIÓN

Los deslizamientos de tierra son fenómenos geodinámicos complejos que, pese a su origen natural o inducido por el hombre, constituyen una amenaza frecuente y compleja en regiones montañosas alrededor del mundo. Estos eventos involucran el movimiento por gravedad de masas de suelo, roca o materiales sueltos y se generan cuando la fuerza gravitacional supera la resistencia propia de los materiales que componen una ladera. Los factores detonantes de estos movimientos incluyen, principalmente, las lluvias intensas y prolongadas (Hung et al., 2014) pero también otros factores como la deforestación, la intervención de las laderas para obras, entre otros.

En el caso particular de los eventos causados por lluvia, se pueden abordar como procesos complejos que involucran atmósfera-suelo-vegetación. Al caer la lluvia, ésta se infiltra en el suelo, llenando los poros y aumentando la presión, reduciendo la resistencia al corte del material lo cual modifica el equilibrio de las laderas, principalmente en las que tienen alta pendiente, suelos poco consolidados y cobertura vegetal deteriorada. Algunos estudios indican que la cantidad de lluvia no es el único factor importante, sino que también influyen, la duración, la lluvia antecedente y la intensidad en la detonación de un deslizamiento. (Muñoz et al., 2017)

Los impactos del cambio climático y el aumento de la ocurrencia de deslizamientos han generado gran interés a nivel investigativo en las últimas décadas. Existen reportes donde se ha documentado el aumento de la lluvia, su intensidad y frecuencia en diferentes regiones del planeta, aumentando el número de deslizamientos y la incertidumbre respecto a su predicción. El aumento de lluvias cortas e intensas se proyecta como un desafío en términos de predicción y alerta (Papa et al., 2017). Por esta razón, se siguen desarrollando nuevas metodologías

que incorporen de mejor manera esta variabilidad climática e incertidumbre asociada.

En América latina, existen diferentes factores tanto naturales y socioeconómicos que generan vulnerabilidad a los deslizamientos de tierra. La geografía montañosa, la alta actividad sísmica, los climas con alta precipitación y la falta de planeación territorial con urbanización inadecuada aumenta el riesgo de desastre en estas regiones. En el caso particular de Colombia, los deslizamientos de tierra o movimientos en masa son uno de los fenómenos más agresivos y frecuentes, especialmente en la región montañosa de las cordilleras de los Andes, donde las altas pendientes, y la geología diversa promueven la ocurrencia de estos eventos.

Ante la elevada frecuencia de eventos de remoción en masa registrados en Colombia, destaca el caso del departamento del Huila, debido a su ubicación entre las cordilleras Central y Oriental. Esta condición configura un entorno montañoso caracterizado por pendientes pronunciadas, geología compleja y regímenes de precipitación elevados, con marcada variabilidad interanual y ocurrencia de eventos extremos asociados a los fenómenos de El Niño y La Niña, lo que en conjunto favorece la inestabilidad de laderas. En los registros oficiales se evidencia gran número de eventos en el departamento del Huila, en varias zonas rurales y urbanas de diferentes municipios, generando impactos negativos como el cierre de vías de comunicación, accidentes de tránsito, pérdidas económicas y humanas. (SGC, 2023)

La predicción confiable de los deslizamientos sigue siendo un reto científico, pese a la existencia de registros históricos y bases de datos hidrometeorológicas y geoespaciales en distintos organismos como el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), y el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC). En este contexto, la mayoría de los estudios se ha centrado en la zonificación espacial del peligro con el objetivo de identificar las áreas propensas a los

deslizamientos. Estos productos son utilizados para el ordenamiento, la planeación del territorio y la gestión del riesgo (Corominas et al., 2014).

El enfoque científico hacia la generación de mapas de peligro no considera explícitamente los cambios de las condiciones hidrometeorológicas, ni permiten identificar señales sobre el inicio de la inestabilidad de laderas. Lo anterior, es una de las limitantes que ha tenido este enfoque pues es de carácter espacial pero no temporal. Es decir, existe un gran avance en materia de metodologías geoespaciales de los deslizamientos, pero no existen suficientes estudios que aborden la temática de sistemas de alerta temprana para anticipar el inicio de estos fenómenos, lo cual sigue siendo una brecha en estudio de estos eventos (Reichenbach et al., 2018).

La necesidad de desarrollar e implementar técnicas para la predicción del inicio de deslizamientos ha impulsado la incorporación de nuevas herramientas y la consolidación de enfoques más integrales, por ejemplo, mediante el uso de métodos multivariados. Estos métodos consisten en la evaluación simultánea de diversas variables condicionantes, entre ellas la pendiente, la distancia a ríos, carreteras, las fallas geológicas, la cobertura y uso del suelo, así como las variables hidrometeorológicas. De acuerdo con Chen et al. (2018) esta propuesta ha demostrado mejorar la explicación de modelos matemáticos a través de relaciones y correlaciones que no existen en los modelos bivariados.

En los años recientes, se han desarrollado modelos hidrometeorológicos que apuntan a la predicción temprana de eventos extremos que han cobrado importancia para la gestión de riesgo de desastres. Uno de estos enfoques ha sido el modelo CRHUDA (Crossing, Humidity, Dew Point and Atmospheric Pressure), propuesto por Gutiérrez-López et al.(2024), El modelo CRHUDA es un método de predicción que analiza el comportamiento conjunto de la humedad relativa, el punto de rocío y la presión atmosférica. El modelo identifica el cruce temporal entre estas

variables atmosféricas, interpretando dicho cruce como una señal precursora del inicio de precipitaciones extremas. Posteriormente, mediante análisis estocástico y autocorrelación, se calibra un factor de escala que mejora la precisión temporal del pronóstico, permitiendo generar alertas con varias horas de anticipación.

Una de las herramientas más relevantes dentro de la modelación estocástica es el análisis de series temporales, que ha sido aplicada a detonantes de lluvia y otros fenómenos. El modelo estocástico ARMA(p,q) permite la autocorrelación, la permanencia temporal, así como las dependencias entre las variables. Esta clase de modelos ha demostrado que puede usarse para identificar cambios en el comportamiento de los datos de las series que pueden ser un indicio de procesos de inestabilidad, si se tiene información continua en largos periodos tiempo.

En la presente investigación, los principios conceptuales del modelo CRHUDA son adaptados al análisis de deslizamientos de tierra mediante la integración de variables meteorológicas y técnicas de análisis multivariado, con el propósito de estimar probabilidades de ocurrencia de eventos y contribuir al fortalecimiento de estrategias de monitoreo y prevención del riesgo.

Por lo anterior, la presente tesis se orienta a la detección del inicio de deslizamientos mediante la integración de análisis multivariado y modelos estocásticos, utilizando registros provenientes del IDEAM y el IGAC, con énfasis en el departamento del Huila (Colombia). El estudio contempla la identificación de los factores que inciden en la ocurrencia de deslizamientos, el análisis de su comportamiento temporal y la construcción del Índice Multivariado de Inicio del Deslizamiento (IMID), fundamentado en técnicas multivariadas y en la modelación estocástica de las variables desencadenantes. La metodología propuesta se concibe como una herramienta replicable en otros lugares y se completa con un proceso de validación cruzada para evaluar su desempeño y realizar recomendaciones para el uso y límites de su aplicación.

La razón principal del sustento de esta investigación radica en la preocupación social por la afectación de este fenómeno. La existencia de múltiples estudios y los eventos ocurridos en los últimos años evidencian la problemática. Una parte de la población habita lugares con inestabilidad geodinámica y esto incrementa el peligro por deslizamientos (CYTED/UNESCO, 2012). En municipios del sur del Huila, la amenaza es elevada pues el número de días con lluvia es cercano a los 200 días del año con un promedio de lluvias de 1500 mm por año, lo cual incrementa la probabilidad de ocurrencia y la amenaza por movimientos en masa. Lo anterior, justifica la propuesta de crear una herramienta orientada a la detección temprana del inicio de la inestabilidad y con esto contribuir a la disminución de pérdidas humanas y materiales, y la gestión del riesgo en general.

La idea es fortalecer el enfoque probabilístico en el estudio de los deslizamientos de tierra, dentro de un marco coherente de análisis multivariado y modelación estocástica. La metodología de esta investigación es una propuesta basada en los datos oficiales y de acceso público, lo cual permite que se pueda replicar y adaptar a otras regiones y a otras condiciones. En un marco general, se busca contribuir a cerrar la brecha entre los análisis espaciales de riesgo y la necesidad de herramientas dirigidas al pronóstico temporal y la alerta temprana por amenaza de deslizamientos.

2. ANTECEDENTES

Los deslizamientos de tierra constituyen uno de los fenómenos naturales más complejos debido a la interacción simultánea de factores geológicos, geomorfológicos, hidrológicos, climáticos y antrópicos. Esta complejidad ha impulsado el desarrollo de múltiples enfoques de investigación orientados a comprender sus mecanismos de ocurrencia, identificar áreas susceptibles, estimar probabilidades de falla y desarrollar sistemas de alerta temprana que permitan reducir sus impactos sobre la población y la infraestructura.

Las primeras investigaciones sistemáticas sobre movimientos en masa estuvieron orientadas principalmente a la descripción geomorfológica y clasificación de los diferentes tipos de deslizamientos. Estos estudios permitieron diferenciar fenómenos como caídas, flujos, deslizamientos rotacionales, traslacionales y movimientos complejos de acuerdo con el material involucrado y el mecanismo de falla. Uno de los trabajos más representativos corresponde a Hungr et al. (2014), quienes actualizaron los sistemas de clasificación internacionalmente utilizados y consolidaron criterios que actualmente constituyen la base para la elaboración de inventarios y la caracterización de eventos.

Aunque estos enfoques descriptivos aportaron significativamente a la comprensión de los procesos físicos asociados a los movimientos en masa, no permitían realizar estimaciones probabilísticas ni establecer condiciones precursoras para la ocurrencia de eventos futuros. Como consecuencia, comenzaron a desarrollarse metodologías orientadas a la evaluación de la estabilidad de laderas desde la perspectiva geotécnica.

Los modelos geotécnicos deterministas representan una de las primeras aproximaciones cuantitativas al análisis de deslizamientos. Estos enfoques utilizan principios de equilibrio límite para comparar las fuerzas resistentes y las fuerzas desestabilizadoras presentes en una ladera. Entre las variables comúnmente

empleadas se encuentran la cohesión del suelo, el ángulo de fricción interna, el peso unitario y las condiciones de saturación. Corominas et al. (2014) destacan que estos modelos continúan siendo herramientas fundamentales en la ingeniería geotécnica; sin embargo, presentan limitaciones asociadas a la elevada variabilidad espacial de los parámetros del terreno y a la dificultad para representar la incertidumbre inherente a los materiales naturales.

La necesidad de superar estas limitaciones promovió la incorporación de herramientas estadísticas para el análisis de susceptibilidad a deslizamientos. Durante las décadas de 1980 y 1990 se desarrollaron numerosos estudios basados en la relación entre la ocurrencia histórica de movimientos en masa y las características físicas del territorio. Estos trabajos permitieron generar mapas de susceptibilidad que identifican áreas con diferentes niveles de probabilidad de ocurrencia.

Reichenbach et al. (2018), en una revisión de más de tres décadas de investigaciones sobre susceptibilidad a deslizamientos, identificaron que los métodos estadísticos constituyen uno de los enfoques más ampliamente utilizados a nivel mundial. Los autores concluyeron que la combinación de inventarios históricos con variables topográficas, geológicas, hidrológicas y de cobertura vegetal permite obtener representaciones confiables de la distribución espacial del riesgo.

Entre las metodologías estadísticas más utilizadas se encuentran los modelos bivariados, los cuales analizan la relación entre cada variable explicativa y la ocurrencia de deslizamientos de manera independiente. Dentro de esta categoría se encuentran los métodos de pesos de evidencia, frecuencia relativa e índices estadísticos. Anbalagan et al. (2015) demostraron que estos modelos ofrecen resultados satisfactorios cuando se dispone de información limitada; sin embargo,

señalaron que presentan dificultades para representar la interacción simultánea entre múltiples factores condicionantes.

Debido a la naturaleza multifactorial de los deslizamientos, numerosos investigadores comenzaron a implementar enfoques multivariados capaces de analizar simultáneamente diferentes variables explicativas. Estos modelos permiten evaluar tanto la contribución individual de cada variable como sus relaciones internas, mejorando la capacidad predictiva respecto a los métodos tradicionales.

Reichenbach et al. (2018) realizaron una revisión exhaustiva de los modelos estadísticos aplicados a la evaluación de la susceptibilidad a deslizamientos, destacando el amplio uso de técnicas multivariadas como la regresión logística debido a su capacidad para integrar simultáneamente variables geológicas, geomorfológicas, hidrológicas y de uso del suelo. Los autores concluyeron que estos enfoques ofrecen un desempeño superior frente a métodos univariados, al representar de manera más adecuada la compleja interacción de los factores que controlan la ocurrencia de deslizamientos.

De forma similar, Assis et al. (2019) aplicaron análisis factorial y regresión logística para estudiar la susceptibilidad a deslizamientos en regiones montañosas de Brasil. Los autores identificaron que la precipitación acumulada, la pendiente y la litología explicaban una proporción significativa de la variabilidad observada en la ocurrencia de movimientos en masa, demostrando la utilidad de las técnicas multivariadas para reducir la dimensionalidad de grandes conjuntos de datos.

Otros estudios han profundizado en la identificación de variables condicionantes específicas. Zhang et al. (2019) analizaron la influencia de factores hidrológicos asociados a la infiltración, humedad antecedente y proximidad a cuerpos de agua, concluyendo que estas variables desempeñan un papel determinante en la activación de deslizamientos inducidos por lluvia. De manera complementaria,

Aditian et al. (2018) demostraron que factores geológicos, estructurales y antrópicos, como la litología, la presencia de fallas geológicas, la deforestación y los cambios en el uso del suelo, incrementan significativamente la susceptibilidad de las laderas.

En los últimos años, el desarrollo de técnicas de aprendizaje automático ha transformado el análisis de susceptibilidad a deslizamientos. Algoritmos como Random Forest, Support Vector Machine, Gradient Boosting y redes neuronales artificiales permiten procesar grandes volúmenes de información y modelar relaciones complejas entre variables.

Bragagnolo et al. (2020) realizaron una comparación entre diversos modelos de aprendizaje automático y métodos estadísticos convencionales para la predicción de deslizamientos. Los resultados mostraron que los algoritmos de Machine Learning alcanzaban mayores niveles de precisión y capacidad predictiva. No obstante, los autores señalaron que estas técnicas presentan limitaciones relacionadas con la interpretación física de los resultados y la dificultad para representar explícitamente la incertidumbre.

Paralelamente a los estudios espaciales, diferentes investigaciones comenzaron a incorporar la dimensión temporal en el análisis de los movimientos en masa. Se ha demostrado que muchos deslizamientos están estrechamente relacionados con la dinámica temporal de variables hidrometeorológicas, especialmente aquellas asociadas a la precipitación. En este contexto, los modelos de umbrales de lluvia se han consolidado como una de las herramientas más utilizadas para la generación de alertas tempranas. Estos enfoques buscan identificar combinaciones críticas de intensidad, duración y acumulación de precipitación que preceden la ocurrencia de deslizamientos.

Papa et al. (2017) desarrollaron umbrales de precipitación para deslizamientos superficiales bajo escenarios de cambio climático. Sus resultados demostraron que las modificaciones en los patrones de lluvia pueden alterar significativamente las condiciones de activación de movimientos en masa. Sin embargo, también evidenciaron que estos umbrales presentan una elevada variabilidad espacial y temporal, dificultando su aplicación universal.

La necesidad de representar explícitamente dicha incertidumbre ha impulsado el desarrollo de modelos probabilísticos y estocásticos. A diferencia de los enfoques deterministas, estas metodologías consideran los parámetros del sistema como variables aleatorias y permiten estimar probabilidades de ocurrencia asociadas a diferentes escenarios. Uno de los trabajos pioneros en esta línea fue desarrollado por Haneberg (2004), quien implementó modelos probabilísticos de estabilidad de laderas incorporando la incertidumbre asociada a los parámetros geotécnicos. Los resultados demostraron que las probabilidades de falla constituyen indicadores más robustos para la toma de decisiones que los factores de seguridad tradicionales.

Dentro de este enfoque probabilístico, el análisis de series de tiempo ha adquirido una importancia creciente. Los modelos autorregresivos y de medias móviles (ARMA y ARIMA) permiten identificar patrones de autocorrelación, persistencia temporal y cambios en el comportamiento de variables hidrometeorológicas que pueden actuar como señales precursoras de inestabilidad.

Diversos estudios han utilizado estas metodologías para analizar registros históricos de precipitación, humedad relativa, temperatura y presión atmosférica, encontrando que las variaciones temporales de estas variables contienen información relevante para la identificación temprana de condiciones favorables para la ocurrencia de deslizamientos. La principal ventaja de estos modelos radica en su capacidad para incorporar la memoria temporal de los sistemas naturales y representar explícitamente la incertidumbre asociada a los procesos observados.

Otro avance importante corresponde al desarrollo de tecnologías de observación remota para el monitoreo de movimientos en masa. Herramientas como LiDAR, interferometría radar (InSAR) e imágenes satelitales han permitido mejorar significativamente la detección y seguimiento de deformaciones del terreno. Casagli et al. (2023) destacan que estas tecnologías permiten monitorear áreas extensas con elevados niveles de detalle espacial y temporal. Sin embargo, también señalan que la precisión de los resultados depende de factores relacionados con la resolución espacial de los sensores, las condiciones meteorológicas y los procesos de corrección de datos.

A pesar de los avances metodológicos alcanzados durante las últimas décadas, en América Latina persiste una importante brecha entre el desarrollo científico y la implementación operativa de herramientas para la detección temprana de deslizamientos. La mayoría de los estudios continúan concentrándose en la elaboración de mapas de susceptibilidad espacial, mientras que son relativamente escasas las investigaciones orientadas a integrar análisis multivariado, modelación estocástica y análisis temporal para identificar señales precursoras asociadas al inicio de los movimientos en masa.

En consecuencia, se identifica un vacío de investigación relacionado con el desarrollo de metodologías que aprovechen los registros hidrometeorológicos disponibles para estimar probabilidades de ocurrencia y generar alertas tempranas basadas en evidencia cuantitativa. En este contexto, la presente investigación propone la construcción de un índice multivariado fundamentado en análisis de componentes principales y modelación estocástica, orientado a la detección anticipada del inicio de deslizamientos de tierra mediante el análisis temporal de variables hidrometeorológicas.

3. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

En la presente investigación se abordan diversos aspectos relacionados con los deslizamientos de tierra desde un enfoque de modelación estocástica. La fundamentación teórica se desarrolla a partir de la conceptualización de los deslizamientos de tierra como fenómenos complejos, condicionados por múltiples factores físicos, geológicos, hidrológicos, y antrópicos, así como su variabilidad espacio temporal. En este estudio se replantea la perspectiva determinista tradicional, incorporando otras causas asociadas al fenómeno y considerando explícitamente la incertidumbre inherente a los procesos naturales.

En este punto, se sientan las bases teóricas que sostienen la metodología que se va desarrollar en esta investigación, integrando conceptos de mecánica de suelos, de la hidrología que influencia estos fenómenos, del análisis multivariado y de los modelos estocásticos. El capítulo aborda inicialmente la comprensión del fenómeno estudiado como un sistema geodinámico no lineal, sensible a condiciones previas y la historia misma del movimiento en conjunto, por lo cual se emplea el enfoque probabilístico y temporal en el análisis. Adicionalmente, se incluye el papel principal de la precipitación y de la dinámica hidrológica como detonantes de la inestabilidad, destacando la relevancia de los datos históricos y la relación temporal de las variables consideradas.

Al final de este marco teórico se fundamenta la articulación del análisis multivariado y la modelación estocástica como soporte teórico para la definición de indicadores orientados a la detección temprana del inicio de deslizamientos. En general, se establecen las bases teóricas para la construcción del Índice Multivariado de Inicio de Deslizamientos (IMID), concebido como una herramienta integradora que sintetiza información temporal, probabilística y física del sistema, en concordancia con los enfoques contemporáneos de la gestión del riesgo de desastres.

3.1. Deslizamientos de tierra como sistemas complejos

Los deslizamientos de tierra son procesos geodinámicos complejos producto de la interacción simultánea y dinámica de factores físicos, hidrológicos, geológicos y de origen antrópico, formándose de manera dinámica en el espacio y en el tiempo. La teoría de estos movimientos aún se queda corta en la explicación causa-efecto ya que no se puede explicar de manera simplista, pues el deslizamiento de una ladera no presenta un comportamiento lineal que responde a estímulos iniciales y que se pueden relacionar con la dinámica histórica del sistema. Debido a esta complejidad, para la geociencia, este fenómeno sigue siendo un gran desafío, así como para los avances contemporáneos de la gestión del riesgo (Guzzetti et al., 2025).

Para la ciencia, es difícil representar el inicio de deslizamientos mediante modelos deterministas clásicos, debido a toda la complejidad y la heterogeneidad de los materiales que conforman una ladera, así como a la variabilidad espacial de las propiedades mecánicas y la influencia dinámica de los procesos hidrológicos. Los deslizamientos son la combinación de múltiples factores condicionantes y detonantes que pueden generar condiciones críticas de inestabilidad sin que exista un único umbral definido claramente. En este sentido, esta información es muy relevante en regiones tropicales y de montaña, ya que las condiciones climáticas y topográficas aumentan la frecuencia de estos eventos (Hubgr et al., 2014; Froude & Petley, 2018).

Diversos estudios han señalado que la variabilidad y el cambio climático pueden modificar los patrones de precipitación extrema, incrementando la frecuencia e intensidad de los eventos capaces de desencadenar deslizamientos. Estos cambios representan un desafío adicional para la gestión del riesgo, debido a que alteran las condiciones hidrológicas de las laderas y aumentan la incertidumbre en la ocurrencia de fenómenos de remoción en masa (Gariano & Guzzetti, 2016).

3.2. Fundamentos físicos e hidrológicos

De acuerdo con los lineamientos establecidos en la mecánica de suelos, la estabilidad de una ladera está sujeta al equilibrio entre las fuerzas resistentes del material y las fuerzas que actúan sobre ella, especialmente, la gravedad. La resistencia al corte del suelo se controla por variables como la cohesión, el ángulo de fricción interna, el grado de saturación y la densidad, mientras que las fuerzas que desestabilizan se relacionan con la pendiente, la topografía del terreno y la carga ejercida por el material. De este modo, se entiende la base física de los modelos clásicos de estabilidad como fundamento esencial para comprender el proceso de falla en las laderas.

No obstante, en condiciones naturales, estos parámetros no permanecen constantes. Los eventos de precipitación inciden directamente en el comportamiento de la presión en los poros y el esfuerzo efectivo a través de la infiltración del agua, lo cual reduce paulatinamente la resistencia al corte en la ladera. Desde el punto de vista hidrológico, la lluvia es el principal factor desencadenante de deslizamientos en diferentes regiones del mundo, especialmente en zonas tropicales, donde los suelos suelen ser altamente susceptibles a la saturación. Algunos parámetros importantes relacionados con la lluvia son la intensidad, la duración, la lluvia antecedente acumulada y la capacidad de drenaje del suelo, estos datos están asociados a la dimensión temporal que es fundamental en el análisis del inicio del movimiento (Iverson, 2000; Papa et al., 2017).

La humedad antecedente constituye uno de los principales factores que controlan la respuesta hidrológica de las laderas, ya que determina el grado de saturación inicial del suelo y condiciona la infiltración de nuevas precipitaciones. En consecuencia, diferentes investigaciones han demostrado que la incorporación de

esta variable mejora la estimación de la probabilidad de ocurrencia de deslizamientos inducidos por lluvia (Crozier, 1999).

Lo anterior explica que el sistema hidrológico presenta una especie de memoria, en la cual las condiciones pasadas inciden directamente en la inestabilidad que presenta la ladera. Por lo general, la inestabilidad se presenta con la acumulación durante periodos de lluvias prolongadas, de esta manera se favorece la infiltración y humedad en el suelo, lo cual explica por qué no ocurre inmediatamente durante la lluvia intensa. Esta dinámica implica la necesidad de analizar variables hidrometeorológicas como procesos correlacionados en el tiempo.

3.3. Deslizamientos de tierra y factores hidrometeorológicos

Los deslizamientos de tierra constituyen uno de los fenómenos naturales más frecuentes y destructivos en regiones montañosas, especialmente en zonas tropicales donde las precipitaciones intensas actúan como el principal factor detonante. La ocurrencia de estos eventos está asociada a la interacción entre variables geológicas, geomorfológicas, hidrológicas y meteorológicas que modifican progresivamente las condiciones de estabilidad de las laderas.

Diversos estudios han demostrado que la precipitación acumulada y las condiciones atmosféricas anteceden a muchos procesos de remoción en masa, debido a que incrementan el contenido de humedad del suelo, reducen la resistencia al corte de los materiales y aumentan las presiones intersticiales. En consecuencia, la identificación temprana de patrones meteorológicos asociados a eventos extremos representa una herramienta fundamental para la implementación de sistemas de alerta temprana y la reducción del riesgo.

3.4. Modelo CRHUDA

Con el propósito de anticipar el inicio de eventos de precipitación extrema, Gutiérrez-López et al. desarrollaron el modelo CRHUDA (Crossing Humidity, Dew Point and Atmospheric Pressure), el cual se fundamenta en la relación física existente entre la humedad relativa, el punto de rocío y la presión atmosférica. Este enfoque se basa en los principios de la relación de Clausius-Clapeyron, que describe la dependencia entre la temperatura y el contenido de vapor de agua presente en la atmósfera.

El modelo plantea que la interacción temporal entre estas variables permite identificar condiciones precursoras de precipitación antes de que ésta ocurra. A partir del análisis de más de 600 tormentas registradas en México, los autores encontraron que los cambios simultáneos en humedad, presión atmosférica y punto de rocío permiten detectar con varias horas de anticipación el inicio de eventos de lluvia intensa, constituyendo una herramienta útil para sistemas de alerta hidrometeorológica.

Los sistemas modernos de alerta temprana combinan información meteorológica, hidrológica y geotécnica para anticipar condiciones críticas y apoyar la toma de decisiones orientadas a la reducción del riesgo (UNDRR, 2022).

La relevancia del modelo CRHUDA radica en que integra variables atmosféricas fácilmente disponibles en estaciones meteorológicas convencionales, permitiendo caracterizar el estado previo a eventos extremos mediante indicadores derivados de dichas variables. Esta capacidad de sintetizar múltiples procesos atmosféricos en un único indicador lo convierte en una alternativa apropiada para estudios orientados a la predicción y monitoreo de amenazas naturales.

3.5. Análisis multivariado en fenómenos hidrometeorológicos

Los procesos hidrometeorológicos son sistemas complejos en los que múltiples variables interactúan simultáneamente. Por esta razón, el análisis multivariado constituye una herramienta ampliamente utilizada para estudiar relaciones entre variables climáticas y ambientales, permitiendo identificar patrones conjuntos que no pueden ser observados mediante análisis univariados.

Según Muñoz-Mandujano et al. (2024), la combinación de variables atmosféricas dentro de esquemas multivariados mejora la capacidad explicativa y predictiva de los modelos hidrometeorológicos, ya que incorpora simultáneamente diferentes fuentes de información relacionadas con la evolución temporal de los fenómenos extremos.

En investigaciones relacionadas con deslizamientos de tierra, el análisis multivariado ha permitido integrar variables meteorológicas como precipitación, humedad relativa, temperatura y presión atmosférica para caracterizar condiciones favorables para la ocurrencia de eventos. Esta aproximación resulta especialmente útil cuando se busca construir indicadores compuestos que representen de manera integral el comportamiento del sistema.

3.6. Regresión logística para la estimación de probabilidades

La regresión logística es uno de los métodos estadísticos más utilizados para modelar fenómenos binarios, es decir, aquellos en los que el resultado puede clasificarse en dos estados posibles, como la ocurrencia o no ocurrencia de un evento. Su principal ventaja consiste en transformar una combinación lineal de variables predictoras en una probabilidad comprendida entre cero y uno, permitiendo cuantificar la posibilidad de ocurrencia de un fenómeno determinado. En el contexto de los deslizamientos, la regresión logística ha sido ampliamente empleada para estimar probabilidades de ocurrencia a partir de variables ambientales e hidrometeorológicas.

La aplicación de este enfoque permite integrar la información derivada del modelo CRHUDA y de las variables meteorológicas analizadas para generar una medida probabilística del nivel de amenaza. De esta manera, la probabilidad obtenida puede utilizarse como base para la definición de umbrales y la generación de alertas tempranas orientadas a la gestión del riesgo.

En conjunto, la integración del modelo CRHUDA, el análisis multivariado y la regresión logística proporciona un marco conceptual robusto para la detección temprana de condiciones atmosféricas asociadas a eventos potencialmente desencadenantes de deslizamientos de tierra.

3.7. Análisis multivariado de deslizamientos

Este enfoque tiene como fundamento el hecho de que los fenómenos naturales de alta complejidad deben comprenderse considerando la interacción de múltiples factores de forma simultánea. Para el caso de la inestabilidad y los deslizamientos de tierra ninguna variable puede explicar el fenómeno de manera independiente, pues esta inestabilidad depende de componentes geológicos, geomorfológicos, climáticos, hidrológicos y de uso del suelo. En este sentido, el análisis multivariado es la herramienta más idónea para integrar la diversidad de elementos en un mismo sistema analítico con coherencia (Ramos-Cañón et al., 2016).

En teoría, este análisis múltiple de factores permite identificar patrones de relación y dependencia, relaciones no evidentes entre variables que no se pueden detectar con otros análisis como el univariado o bivariado. Asimismo, aporta las herramientas para reducir la dimensionalidad del problema, mediante la síntesis de los datos de cada una de las variables en un número menor de componentes que mejor lo representen. En el caso de los deslizamientos las variables pueden correlacionarse de distintas formas, por lo que este método es aplicable a este fenómeno (Assis et al., 2019).

Este enfoque tiene un mayor aporte a la inestabilidad de laderas ya que permite identificar como la combinación de factores evoluciona hacia condiciones críticas de inestabilidad permitiendo detectar el inicio del fenómeno. Teóricamente, esta aproximación detecta la ocurrencia de un deslizamiento, sin un resultado único de alguna variable, sino de la dinámica evolutiva de un sistema hacia un estado crítico, donde alguna perturbación puede detonar la falla.

En esta investigación, el análisis multivariado se fundamenta en el modelo **CRHUDA**, el cual integra de manera simultánea diferentes variables meteorológicas para identificar las condiciones hidroclimáticas asociadas al inicio de los deslizamientos. Este enfoque permite evaluar el efecto conjunto de variables como la precipitación, la temperatura, la humedad relativa y la presión atmosférica, con el fin de estimar la probabilidad de ocurrencia de eventos de inestabilidad en laderas, así como otras variables derivadas asociadas a la ocurrencia de estos fenómenos.

3.8. Modelación estocástica de variables hidrometeorológicas

Los conceptos de probabilidad y modelación estocástica son un insumo teórico fundamental en la representación de la incertidumbre característica de los fenómenos naturales. En el caso de los deslizamientos la incertidumbre está presente tanto en la variabilidad natural del movimiento como en la calidad de los datos disponibles para los estudios. Desde el punto de vista estocástico, las variables implicadas en la inestabilidad de una ladera, se pueden describir mediante procesos aleatorios con distribuciones de probabilidad, lo cual permite determinar la probabilidad de ocurrencia de distintos escenarios de inestabilidad (Haneberg, 2004).

En este contexto, los deslizamientos influenciados por lluvia, pueden estudiarse mediante el análisis de series temporales. Variables como la precipitación y la

humedad del suelo, se relacionan fuertemente con la temporalidad, esto se traduce en que un valor observado en un momento específico está influenciado por eventos previos. Con esta idea se contradice el supuesto de independencia estadística y sostienen el uso de modelos de series temporales capaces de guardar la memoria y la frecuencia en el sistema (Box et al., 2015).

Los modelos autorregresivos de medias móviles, reconocidos como los modelos ARMA (p,q), tienen fundamentos en la teoría de procesos estocásticos estacionarios y permiten representar una serie temporal de datos como una combinación de valores pasados y perturbaciones aleatorias. En teoría, estos modelos son esencialmente útiles para determinar patrones de autocorrelación y cambios del comportamiento de las variables en la serie temporal, estas perturbaciones pueden ser señales precedentes de momentos críticos de inestabilidad de la ladera. La idea general de este estudio es caracterizar la dinámica de la serie temporal del sistema y aproximarse a estados de riesgo elevado sin predecir de manera determinista la ocurrencia de un deslizamiento.

3.9. Gestión del riesgo de deslizamientos

En la presente investigación se integraron estos temas, desde el análisis multivariado, el análisis de series temporales y la modelación estocástica, como base teórica fundamental. En este sentido el Índice Multivariado del inicio de Deslizamiento (IMID) se percibe como una variable sintética que resume las condiciones del sistema en un momento dado con múltiples dimensiones, que incorpora los factores condicionantes como estructura multivariada, la dinámica temporal y la incertidumbre inherente a los procesos hidrometeorológicos.

Desde una perspectiva teórica, la generación de indicadores compuestos por múltiples variables habla de la necesidad de resumir información compleja en valores que puedan interpretarse fácilmente al tomar decisiones relacionadas con

el sistema. De este modo, este enfoque es importante a la hora de trabajar en la gestión del riesgo de desastres, pues su aporte radica en que un resultado técnico puede ser una herramienta aplicable a la prevención y generación de alertas tempranas. No se trata de eliminar el riesgo, sino más bien, reducir la vulnerabilidad a los deslizamientos, con información real, probabilística y oportuna desde el fundamento científico (Reichenbach et al., 2018; UNDRR, 2019).

Este estudio, está enfocado en el desarrollo de la fundamentación teórica en dirección con los principios de la disminución del riesgo de desastres por deslizamientos, haciendo énfasis en la importancia de la anticipación, la gestión de la incertidumbre y el aporte científico a la toma de decisiones por parte de organismos de control. La modelación estocástica en conjunto con el análisis multivariado permite, un marco teórico sólido para el desarrollo de tecnologías replicables y adaptables a regiones con características variables, en particular con alta probabilidad de deslizamientos y baja capacidad de recursos de respuesta institucional.

3.10. Regresión logística para la estimación probabilística de deslizamientos

La regresión logística constituye una de las técnicas estadísticas más utilizadas para modelar la ocurrencia de fenómenos cuando la variable respuesta es dicotómica, es decir, cuando el resultado puede expresarse en términos de ocurrencia o no ocurrencia de un evento. Este modelo estima la probabilidad de ocurrencia a partir de un conjunto de variables explicativas mediante una función logística, permitiendo analizar la influencia individual y conjunta de múltiples factores sobre el fenómeno de interés (Hosmer et al., 2013). En el estudio de los deslizamientos de tierra, la regresión logística ha sido ampliamente utilizada para estimar la susceptibilidad y la probabilidad de ocurrencia a partir de variables topográficas, geológicas,

hidrológicas, climáticas y antrópicas, mostrando un desempeño robusto en diferentes contextos geográficos (Chowdhury et al., 2024).

A diferencia de los modelos de regresión lineal, la regresión logística transforma una combinación lineal de variables predictoras en una probabilidad comprendida entre 0 y 1 mediante una función logística o sigmoide. Esta característica permite interpretar los resultados en términos probabilísticos y evaluar cómo los cambios en las variables explicativas modifican la probabilidad de ocurrencia de un deslizamiento. Su principal ventaja radica en la capacidad de modelar relaciones complejas entre múltiples factores condicionantes y detonantes sin asumir una relación lineal directa entre las variables y el fenómeno estudiado.

En los estudios recientes de susceptibilidad y amenaza por deslizamientos, la regresión logística ha demostrado ser una herramienta robusta para integrar variables topográficas, geológicas, hidrológicas y meteorológicas dentro de un mismo marco analítico. Diversas investigaciones han evidenciado que este método mantiene un desempeño competitivo frente a algoritmos más complejos de aprendizaje automático, especialmente cuando se requiere interpretar la influencia individual de cada variable y comprender los mecanismos asociados a la ocurrencia del fenómeno (Reichenbach et al., 2018; Chowdhury et al., 2024).

La aplicación de la regresión logística en deslizamientos inducidos por lluvia resulta particularmente relevante debido a que estos eventos son consecuencia de la interacción simultánea de múltiples factores. Variables como la precipitación acumulada, la intensidad de lluvia, la humedad antecedente, la temperatura y la presión atmosférica pueden incorporarse conjuntamente para estimar la probabilidad de que una ladera evolucione hacia condiciones de inestabilidad. Estudios recientes han demostrado que la integración de variables meteorológicas y ambientales permite mejorar significativamente la capacidad predictiva de los modelos de alerta temprana para deslizamientos (Lee et al., 2025).

Desde la perspectiva de la gestión del riesgo, la regresión logística ofrece una ventaja importante al generar resultados expresados como probabilidades de ocurrencia. Esto facilita la definición de umbrales operativos y niveles de alerta que pueden ser utilizados por entidades responsables de la gestión del riesgo para apoyar procesos de monitoreo y toma de decisiones. En este sentido, el objetivo del modelo no consiste en predecir de manera determinista el momento exacto de ocurrencia de un deslizamiento, sino estimar la probabilidad de que el sistema alcance condiciones favorables para su desencadenamiento.

En la presente investigación, la regresión logística se emplea para relacionar las variables hidrometeorológicas seleccionadas mediante análisis multivariado con la ocurrencia histórica de deslizamientos reportados en la zona de estudio. El resultado corresponde a una probabilidad diaria de ocurrencia que representa el nivel de inestabilidad del sistema bajo determinadas condiciones ambientales. Esta probabilidad constituye la base para la construcción del Índice Multivariado de Inicio de Deslizamientos (IMID), orientado a la detección temprana de condiciones críticas y al fortalecimiento de los sistemas de alerta temprana para la gestión del riesgo.

3.11. Deslizamientos de tierra y factores hidrometeorológicos

Los deslizamientos de tierra constituyen uno de los fenómenos naturales más frecuentes y destructivos en regiones montañosas, especialmente en zonas tropicales donde las precipitaciones intensas actúan como el principal factor detonante. La ocurrencia de estos eventos está asociada a la interacción entre variables geológicas, geomorfológicas, hidrológicas y meteorológicas que modifican progresivamente las condiciones de estabilidad de las laderas.

Diversos estudios han demostrado que la precipitación acumulada y las condiciones atmosféricas anteceden a muchos procesos de remoción en masa, debido a que

incrementan el contenido de humedad del suelo, reducen la resistencia al corte de los materiales y aumentan las presiones intersticiales. En consecuencia, la identificación temprana de patrones meteorológicos asociados a eventos extremos representa una herramienta fundamental para la implementación de sistemas de alerta temprana y la reducción del riesgo.

3.12. Modelos estocásticos ARMA(p, q) en la predicción de deslizamientos

En el contexto de la predicción de deslizamientos inducidos por lluvia, los modelos autorregresivos de medias móviles ARMA(p, q) constituyen una herramienta sólida para el análisis de la dinámica temporal de variables hidrometeorológicas. Estos modelos se fundamentan en la teoría de procesos estocásticos estacionarios y permiten representar una serie temporal como la combinación lineal de valores pasados (componente autorregresiva) y perturbaciones aleatorias (componente de medias móviles) (Box et al., 2015).

Desde el punto de vista hidrológico, la precipitación acumulada, la humedad antecedente y el contenido de agua en el suelo presentan autocorrelación temporal, es decir, su comportamiento actual depende de condiciones previas. Este principio contradice el supuesto de independencia estadística y justifica la aplicación de modelos de series de tiempo capaces de capturar memoria y persistencia en el sistema (Montanari et al., 2000).

Diversos estudios han demostrado que la modelación estocástica de la lluvia mejora la estimación probabilística de excedencia de umbrales críticos asociados a inestabilidad de laderas. En particular, la integración de modelos ARMA con análisis de umbrales permite evaluar no solo la magnitud de la precipitación sino también su estructura temporal (Papa et al., 2017). Esto es especialmente relevante en regiones tropicales donde la acumulación progresiva de humedad desempeña un papel determinante en la pérdida de resistencia al corte.

En aplicaciones recientes, los modelos ARMA y sus extensiones ARIMA han sido empleados para generar pronósticos probabilísticos de lluvia acumulada con fines de alerta temprana. Estos enfoques permiten incorporar intervalos de confianza y cuantificar explícitamente la incertidumbre asociada a cada predicción, lo cual representa una ventaja frente a enfoques deterministas clásicos (Abadi et al., 2023).

Adicionalmente, la integración de modelos ARMA con sistemas de monitoreo hidrológico y modelos espaciales de susceptibilidad ha permitido desarrollar esquemas híbridos donde la probabilidad temporal de ocurrencia se combina con la predisposición espacial del terreno. Este tipo de aproximación multiescala responde a la necesidad contemporánea de generar herramientas dinámicas de gestión del riesgo (Reichenbach et al., 2018).

Desde una perspectiva metodológica, la identificación de órdenes óptimos (p , q) mediante criterios de información como AIC o BIC permite seleccionar modelos parsimoniosos y estadísticamente robustos. Asimismo, la evaluación de residuos garantiza que el proceso modelado capture adecuadamente la estructura temporal sin dejar patrones no explicados (Box et al., 2015).

La incorporación de modelos estocásticos en el estudio de deslizamientos representa un cambio conceptual importante: no se busca predecir de manera determinista la ocurrencia exacta del evento, sino estimar probabilísticamente estados de inestabilidad creciente. Este enfoque probabilístico se alinea con los principios modernos de la gestión del riesgo, donde la anticipación se basa en niveles de probabilidad y no en certezas absolutas.

En este marco, el Índice Multivariado de Inicio de Deslizamientos (IMID) propuesto en esta investigación integra la dinámica temporal modelada mediante procesos ARMA con la estructura multivariada de factores condicionantes, generando una herramienta sintética que resume la evolución del sistema hacia estados críticos de inestabilidad.

4. HIPÓTESIS

La ocurrencia de deslizamientos de tierra está asociada a la interacción de variables hidrometeorológicas que reflejan las condiciones de inestabilidad previas al evento; por lo tanto, se plantea que la integración de variables derivadas del modelo CRHUDA, tales como la precipitación antecedente, la humedad relativa, la presión atmosférica y el punto de rocío, mediante técnicas de análisis multivariado y regresión logística, permite identificar patrones precursores, estimar la probabilidad de ocurrencia de deslizamientos y detectar condiciones críticas con anticipación suficiente para su aplicación en sistemas de alerta temprana.

5. OBJETIVOS

5.1. Objetivo general

Desarrollar una metodología basada en el modelo CRHUDA, el análisis multivariado y la regresión logística para identificar condiciones precursoras y estimar la probabilidad de ocurrencia de deslizamientos de tierra en el departamento del Huila a partir de variables hidrometeorológicas y registros históricos de eventos.

5.2. Objetivos específicos

1. Caracterizar las condiciones hidrometeorológicas asociadas a la ocurrencia de deslizamientos de tierra en el área de estudio.
2. Determinar las relaciones entre las variables hidrometeorológicas que intervienen en la generación de condiciones favorables para la ocurrencia de deslizamientos.
3. Establecer un modelo probabilístico basado en variables derivadas del enfoque CRHUDA para la identificación de condiciones precursoras de deslizamientos.
4. Evaluar la estabilidad del umbral de activación del Índice Multivariado de Inicio de Deslizamientos (IMID) mediante la generación de series sintéticas estocásticas obtenidas a partir de modelos ARMA.
5. Proponer una herramienta de visualización que facilite la interpretación de los resultados y su aplicación en sistemas de alerta temprana para la gestión del riesgo.

6. DESCRIPCION DEL AREA DE ESTUDIO

6.1. Unidad de análisis y población de estudio

La unidad de análisis corresponde a los eventos de movimientos en masa registrados en el departamento del Huila (Colombia). Adicionalmente, los registros de datos hidrometeorológicos y geoespaciales asociados a estos eventos, los cuales se encuentran consignados en los portales web del Servicio Geológico Colombiano (SGC), Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) y la información geográfica, topográfica y de uso de suelo disponible en el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

6.2. Descripción del sitio

La recolección de datos se realizó inicialmente en el departamento del Huila, posteriormente, en departamentos aledaños como Caquetá, Putumayo y Cauca. Este procedimiento consistió en organizar la información obtenida de diferentes bases de datos de Colombia como el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) y en el Sistema de Información de Movimientos en Masa (SIMMA) del Servicio Geológico Colombiano (SGC).

- **Departamento del Huila – Colombia**

Se encuentra localizado al sur occidente del país, con una superficie de 19,000 km² lo cual representa el 1.8% del área total del país. Al norte limita con los departamentos del Tolima y Cundinamarca, al oriente con los departamentos del Meta y Caquetá, al sur con los departamentos de, Caquetá, Putumayo y Cauca, y al occidente con los departamentos de Cauca y Tolima. Está localizado al suroccidente del país entre 3°55'12" y 1°30'04" de latitud norte, y los 74°25'24" y 76°35'16" de longitud oeste del meridiano de Greenweech.

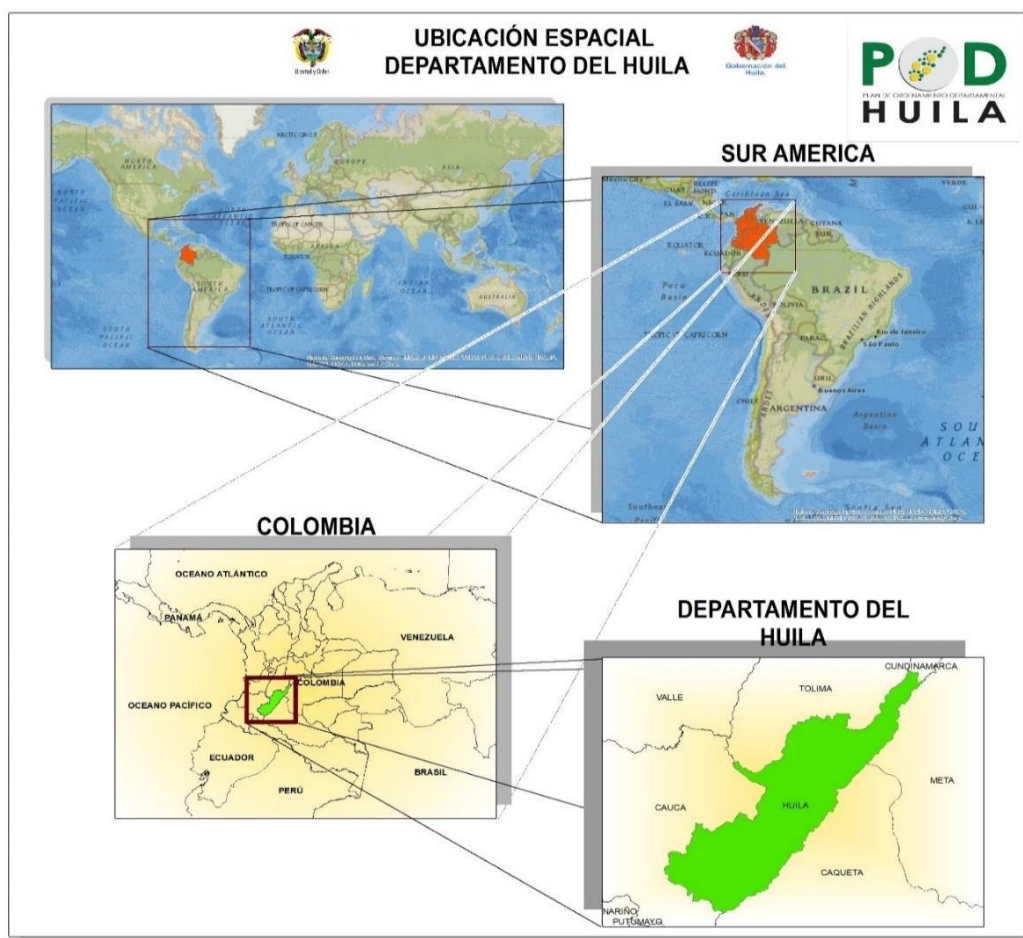


Figura 1. Mapa de localización departamento del Huila

- **Geografía**

Está conformado por 37 municipios divididos en cuatro subregiones, norte, sur, centro y occidente.

El departamento está conformado por relieve montañoso con cuatro regiones morfológicas como son la Cordillera Central, La Cordillera Oriental, El Macizo Colombiano y el valle del río Magdalena, presentando una geografía diversa incluyendo el nevado del Huila y el desierto de la Tatacoa.

Su geografía está formada en gran parte por el gran valle del río Magdalena en donde las cordilleras se bifurcan dirigiéndose en paralelo hacia el norte.

A nivel cartográfico el departamento se encuentra en las planchas del Instituto Geográfico Agustín Codazzi, IGAC, las cuales tienen una escala de 1:100,000.

Asimismo, existe una cartografía escala 1:25,000 que cuenta con información sobre relieve, hidrología, vías ¿de comunicación terrestre?, construcción, vegetación, entre otros.

Cuenta con distintas áreas protegidas por su gran interés ecológico con lo cual el departamento se constituye en el cruce de cuatro corredores estratégicos: un primero, es el del Sumpaz, que comunica la región con los departamentos del Meta y Cundinamarca y con Bogotá, el segundo, es el de la Amazonía norte, que conecta la región con el noroccidente del Caquetá, el Meta y la cuenca del Orinoco, el tercero, es el de la Amazonía sur, que comunica al Huila con Caquetá, Cauca y Putumayo. Finalmente, está el corredor del Pacífico, que comunica a este departamento con Tolima, Valle y la región del Pacífico (CAM, 2018).

Entre las principales áreas de protección se encuentran 7 Parques Naturales Nacionales, como son PNN Puracé, PNN Cueva de los Guácharos, PNN Nevado del Huila, PNN Cordillera de los Picachos, PNN Serranía de los Churumbelos Auka-Wasi, PNN Alto Fragua Indi-Wasi y PNN Sumapaz.

Asimismo, existen otras áreas de protección como la llamada Ley Segunda de 1959 y otras diez áreas protegidas regionales y otras de carácter municipal. Así como ecosistemas estratégicos entre los que se encuentran el Macizo Colombiano caracterizado por su gran cobertura vegetal, los páramos y Humedales, el Bosque seco tropical, los nevados, las cuencas hidrográficas las cuales suman un total de 564 definidas dentro del departamento.

- **Zonificación de amenazas**

En el plan de ordenamiento departamental se tiene la información acerca de los escenarios de riesgo que presenta el territorio del Huila, entre los cuales se identifican los siguientes

- Escenario de Riesgo por movimientos sísmicos
- Escenario de Riesgo por actividad volcánica
- Escenario de Riesgo por fenómenos geomorfológicos
- Escenario de Riesgo por fenómenos hidrometeorológicos
- Escenario de Riesgo por fenómenos de sequias y desertificación
- Escenario de Riesgo por incendios forestales
- Escenario de Riesgo por transporte de hidrocarburos

Dentro de este reporte se tienen 122 eventos de deslizamientos en el departamento durante los años del 2016 al 2019. Por lo cual es una de las amenazas más frecuentes. Estos eventos se presentaron en diferentes municipios del área departamental.

También se cuenta con un mapa de amenaza por remoción en masa donde se clasifica el territorio de acuerdo con el nivel de amenaza desde muy bajo a muy alto, como se muestra en el mapa. (Gobernación del Huila, 2020)

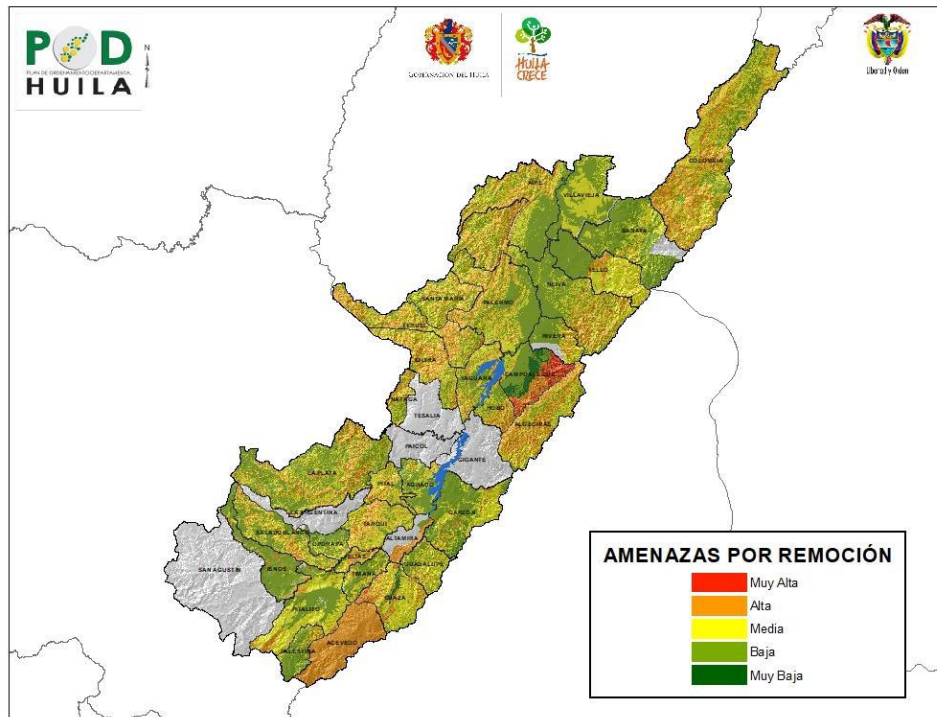


Figura 2. Mapa de amenaza por procesos de remoción en masa.

6.3. Muestra y tipo de muestreo

La muestra está definida por los eventos de deslizamiento seleccionados dentro del área de estudio que cumplen los siguientes criterios:

- Disponibilidad de fecha de ocurrencia.
- Localización geográfica definida.
- Existencia de registros hidrometeorológicos cercanos en estaciones del IDEAM en las fechas de los eventos.

Se descartaron eventos con información incompleta o inconsistentes temporalmente en los registros existentes en las bases de datos.

7. METODOLOGIA

Esta investigación se desarrolló mediante un enfoque cuantitativo aplicado, direccionado a la identificación de condiciones hidroclimáticas predecesoras de deslizamientos de tierra a través de la integración de técnicas de análisis multivariado y modelación probabilística. Integrando estas técnicas, el objetivo principal fue desarrollar una metodología que permitiera detectar señales tempranas asociadas al inicio de los movimientos en masa con base en las variables meteorológicas registradas por estaciones climatológicas.

Esta propuesta tiene fundamento bajo la premisa de que los deslizamientos no responden únicamente a eventos de precipitación aislados, sino a la acumulación y combinación de diferentes variables atmosféricas que interactúan previamente. Muchos estudios han demostrado que la lluvia es uno de los principales factores detonantes de deslizamientos de tierra, pero la respuesta del terreno está también influenciada por otras variables como la humedad antecedente, la capacidad de almacenamiento, la presión atmosférica y la persistencia de eventos meteorológicos.

Bajo este supuesto, se desarrolló el modelo logístico CRHUDA (Crossing, Humidity, Dewpoint, Atmospheric pressure), el cual integra variables hidroclimáticas observadas y variables obtenidas mediante ventanas móviles temporales. El modelo fue complementado mediante un esquema de memoria hidrometeorológica y una regla compuesta de alerta que permite transformar una salida probabilística en una herramienta operativa de apoyo a sistemas de alerta temprana. La propuesta conserva el núcleo del modelo logístico ya desarrollado, pero incorpora dos mejoras decisivas: i) una variable operativa denominada probabilidad temporal suavizada, utilizada en un Dashboard como señal suavizada de tres días; y ii) una regla compuesta de alerta que exige simultáneamente una condición probabilística y dos

condiciones dinámicas asociadas al crecimiento de la lluvia acumulada y del Factor CRHUDA promedio.

Metodológicamente, el proceso se estructuró en cinco etapas principales:

1. Recopilación y preparación de la información.
2. Construcción de variables hidroclimáticas derivadas.
3. Desarrollo del modelo Logístico CRHUDA.
4. Construcción y validación del Índice Multivariado de Inicio de Deslizamientos (IMID).

La Figura 3 presenta el esquema general del procedimiento metodológico desarrollado.

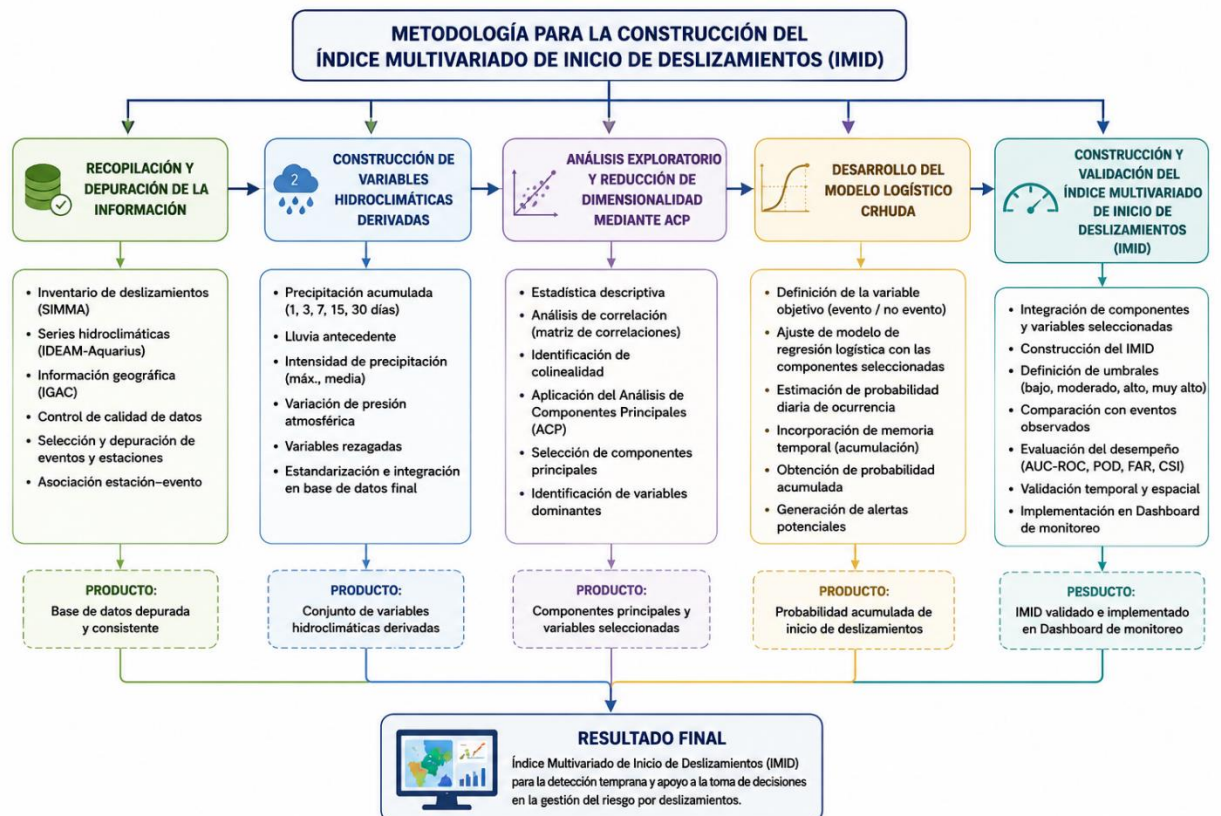


Figura 3. Esquema general del procedimiento metodológico.

7.1. Recopilación y preparación de la información

La construcción del modelo requirió la integración de información proveniente de diferentes fuentes oficiales relacionadas con la ocurrencia de movimientos en masa y el monitoreo de variables hidroclimáticas.

Inicialmente se realizó la recopilación del inventario histórico de deslizamientos a partir del Sistema de Información de Movimientos en Masa (SIMMA), administrado por el Servicio Geológico Colombiano. Este inventario contiene información relacionada con la fecha de ocurrencia, localización geográfica y características generales de los eventos registrados en el territorio nacional.

Posteriormente se obtuvieron series hidroclimáticas diarias a través de la plataforma IDEAM-Aquarius, seleccionando estaciones meteorológicas ubicadas en las proximidades de los eventos de deslizamiento previamente identificados.

Las variables consideradas fueron:

- Temperatura media diaria (°C).
- Precipitación diaria (mm).
- Humedad relativa (%).
- Presión atmosférica (mbar).

Estas variables fueron seleccionadas debido a su disponibilidad histórica y a su relación directa con los procesos de infiltración, acumulación de humedad y modificación de las condiciones de estabilidad del terreno.

De manera complementaria, se utilizó información geográfica del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), con el fin de verificar la localización espacial de los eventos y establecer la correspondencia con las estaciones meteorológicas disponibles.

Una vez recopilada la información, se realizó una etapa de control de calidad orientada a identificar inconsistencias, registros incompletos y valores atípicos que pudieran afectar el análisis estadístico posterior.

7.2. Selección de eventos y organización temporal

La selección de eventos constituyó una etapa fundamental dentro de la investigación debido a que la calidad del modelo depende directamente de la confiabilidad de los registros utilizados durante el proceso de calibración.

Se establecieron como criterios de selección:

- Disponibilidad de fecha exacta de ocurrencia.
- Ubicación geográfica verificable.
- Existencia de estación meteorológica cercana.
- Disponibilidad de series continuas para las variables analizadas.

Posteriormente, cada evento fue asociado con la estación meteorológica más representativa considerando criterios de proximidad espacial y disponibilidad de información.

Con el propósito de estudiar las condiciones previas a la ocurrencia de los deslizamientos, las series meteorológicas fueron reorganizadas utilizando una escala temporal relativa.

En esta representación:

- Día 0 corresponde al momento de ocurrencia del deslizamiento.
- Los días negativos representan condiciones previas al evento.
- Los días positivos no fueron considerados dentro del análisis.

Esta estructura permitió evaluar la evolución temporal de las variables meteorológicas antes de la ocurrencia del evento y construir mecanismos de detección temprana.

Asimismo, se definió una variable objetivo binaria para la calibración del modelo logístico:

$$Y = \begin{cases} 1 & \text{si ocurre el deslizamiento} \\ 0 & \text{si no ocurre} \end{cases}$$

Ecuación 7. Variable objetivo

Esta variable permitió establecer una relación estadística entre las condiciones hidroclimáticas observadas y la ocurrencia de movimientos en masa.

7.3. Fuentes de información y bases de datos

7.3.1. Sistema de información de Movimientos en Masa (SIMMA)

El Sistema de Información de Movimientos en Masa (SIMMA) del Servicio Geológico Colombiano fue utilizado para la consulta de inventarios de movimientos en masa. Esta plataforma facilita el acceso a información espacial y alfanumérica de eventos, incluyendo fecha y ubicación, tipo de movimientos, causas reportadas, evidencia fotográfica y descriptiva. Los registros encontrados constituyeron la base para la selección de los eventos a analizar.

El SIMMA almacena, administra, procesa y visualiza información acerca de los movimientos en masa. Fue creado en el año 2015 desde el Servicio Geológico Colombiano. Este sistema contiene diversas funciones las cuales están especificadas en el manual de usuario proporcionado desde el aplicativo, en el cual

se muestran los roles, las reglas de navegación, así como la información acerca de sus diferentes módulos.

Estos módulos son de administración, carga de datos, consulta espacial y alfanumérica, y un módulo de reportes. Por otra parte, en el apartado de roles se tienen el de administrador, el temático y el de consulta. En el caso del módulo de administración, es el que realiza la asignación de roles, glosario, dominios, documentos, auditoría, registro de usuarios, entre otras funciones.

El módulo carga de datos incluye: El módulo de Carga/Edición que permite crear registros de inventario, registros de catálogo, búsqueda de registros de inventario y catálogo. Adicionalmente, se puede eliminar, editar y cambiar el propietario de quien creó el registro

En el caso del módulo consulta espacial y alfanumérica, es el que está disponible para el público al cual le permite realizar consultas para búsqueda de registros de inventarios, catálogo, visitas de emergencia y estudios de zonificación. Este módulo es usado en la presente investigación para la consulta del registro de los deslizamientos a estudiar.

Este módulo nos permite visualizar diferentes capas desde visor del aplicativo como se muestra en la siguiente ilustración.

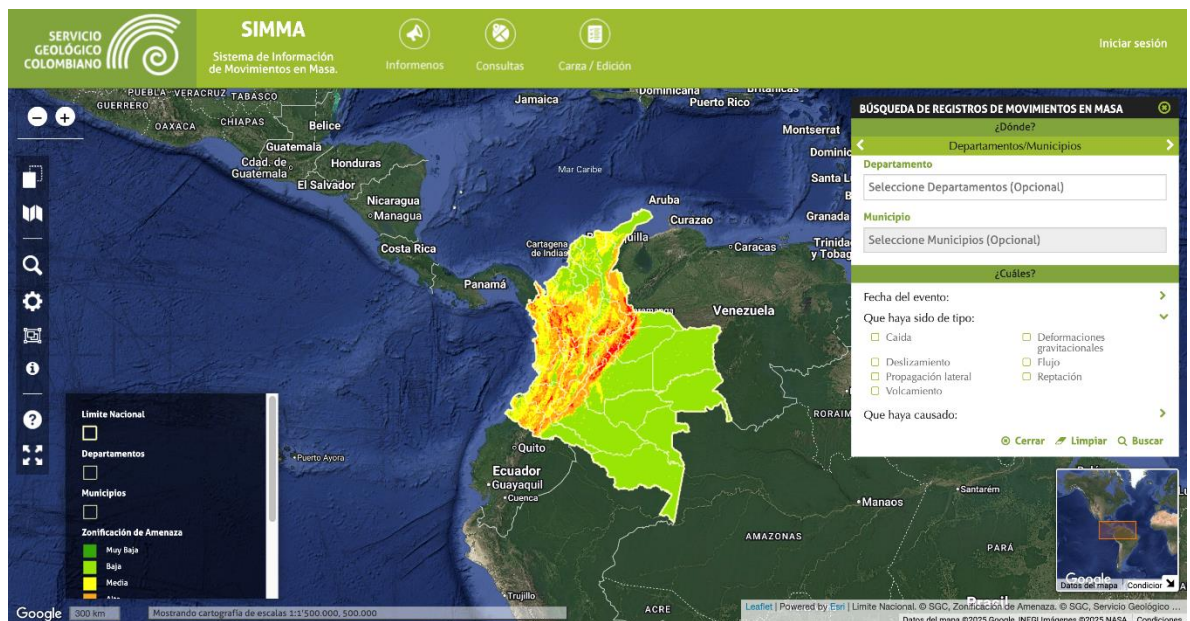


Figura 4. Interfaz de la página SIMMA-SGC

Entre las capas que se pueden visualizar, está la zonificación de amenazas a escala 1:500,000, la capa base de Google Satelital, la división política departamental. También se pueden ver capas Base, Generales, Temáticas, Principales, así mismo se puede consultar la leyenda del mapa, la cual se actualiza de acuerdo con las capas activas.

Aquí se permite realizar la búsqueda de información con diferentes filtros, por departamento, municipio, fecha del evento, las planchas a consultar y su escala. El estudio específico que se desea consultar se puede consultar por área específica trazando un rectángulo, polígono o cargando un shape, tipo de evento (caída, deslizamiento, propagación lateral, volcamiento, deformaciones gravitacionales, flujo o reptación) y las causas que haya generado el movimiento.

Esta base de datos permite visualizar una serie de detalles de los movimientos en masa, levantados y registrados por el personal relacionado con esta temática. En las siguientes figuras se presenta un ejemplo del registro fotográfico y gráfico disponible en la base de datos SIMMA.

Finalmente, la plataforma de esta base de datos permite explorar e identificar los elementos geográficos que se muestran en el mapa a nivel nacional, mediante el ícono identificar.

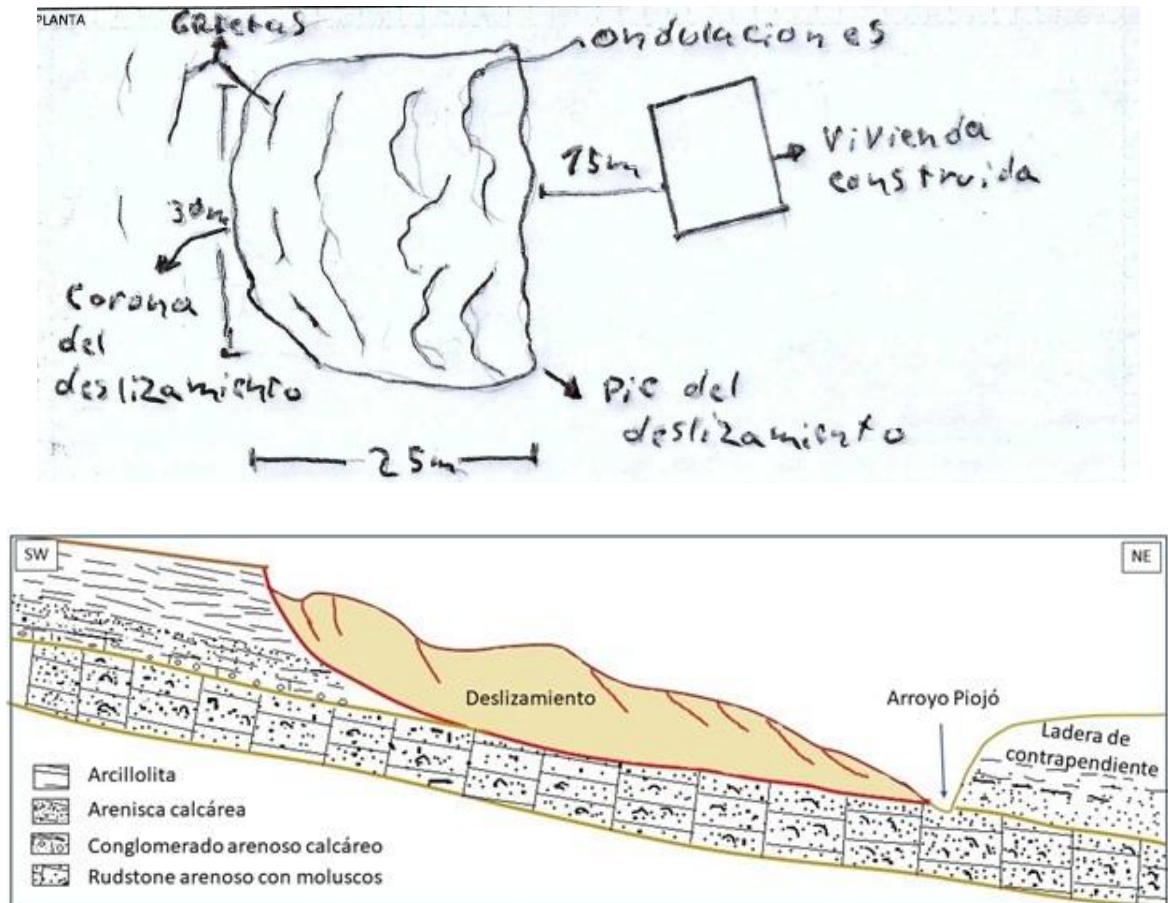


Figura 5. Ilustraciones base de datos SIMMA

7.3.2. Portal Aquarius WebPortal

La plataforma Aquarius fue utilizada para la descarga de series temporales de variables climáticas como, precipitación diaria, temperatura, humedad relativa, presión atmosférica y otras variables disponibles dependiendo de cada estación. En este caso se seleccionaron las estaciones meteorológicas más cercanas a los sitios de estudio, priorizando aquellas con registros continuos y de periodos más largos.

AQUARIUS WebPortal es un sistema de información y presentación de datos basado en un navegador, que integra recolección, almacenamiento, generación de informes, cálculos y administración de datos y visualización de información en tiempo real.

Es una plataforma de software utilizada para gestionar y analizar series temporales de datos ambientales, como los que produce el Ideam.

El Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM utiliza Aquarius para gestionar y publicar datos hidrometeorológicos y ambientales de forma pública, configurando un servidor proxy para exponer la plataforma de forma segura al público general y evitar exponer la base de datos. El Ideam emplea Aquarius para administrar su gran volumen de datos y, a través de un servidor proxy, permite que la información sea consultada públicamente en un formato seguro y controlado.

En esta base de datos se tiene la información determinada en las estaciones meteorológicas localizadas en el territorio colombiano, la cual es posible ver o descargar con acceso libre. En el portal Aquarius es posible encontrar datos de diferentes variables climatológicas e hidrológicas de estaciones en diferentes regiones del país.

En la figura se presenta una captura de pantalla con la interfaz del portal Aquarius, en la cual se logra observar las diferentes variables que se pueden obtener desde este portal, éstas incluyen datos de precipitación, nubosidad, presión atmosférica, temperatura, punto de rocío, humedad relativa entre otras.

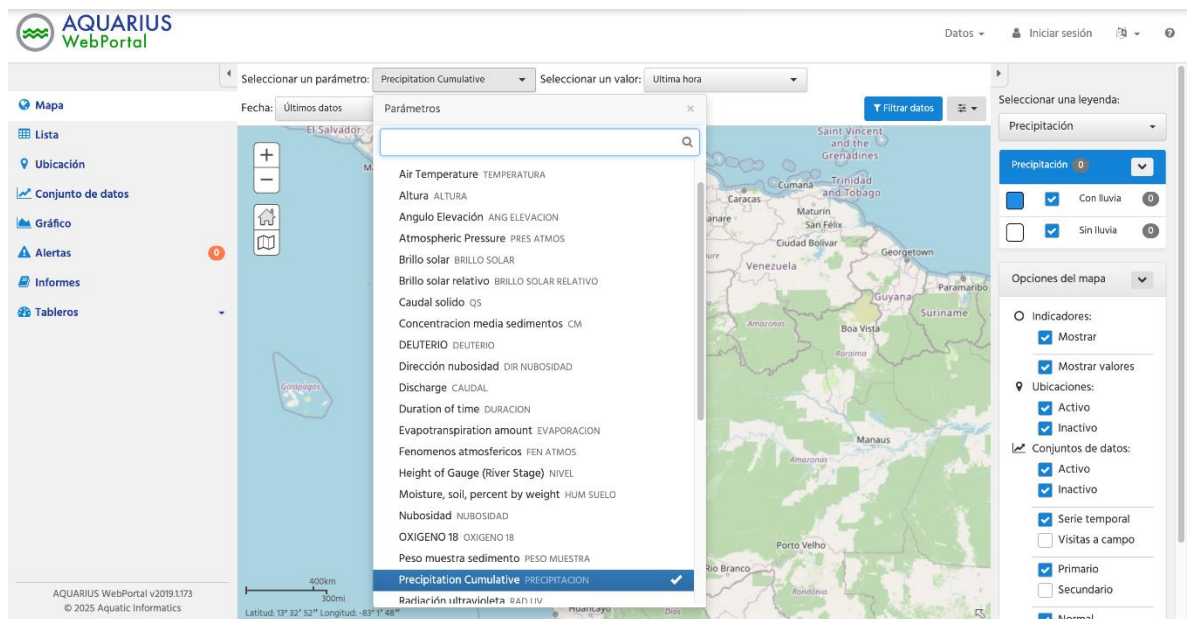


Figura 6. Interfaz página Aquarius

Esta información es pública, lo cual permite que sea utilizada en diferentes campos. Es una base de datos muy amplia con gran cobertura nacional, además presenta datos en amplias series de tiempo que permiten desarrollar diferentes análisis estadísticos y proyecciones en ámbitos como climatología, hidrología, hidráulica, entre otros.

En la imagen se muestra la captura de pantalla del portal Aquarius con las variables de la estación climatológica Puracé, localizada en el departamento del Huila.

Posteriormente se presenta la captura de pantalla donde se observan las fechas en las que se tiene registro de precipitación diaria para la estación Puracé desde el año 2005 hasta el año 2023.

7.3.3. Información geográfica IGAC

A partir de la información cartográfica de los datos abiertos de Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), se obtuvieron los datos de localización de las estaciones meteorológicas, las capas de uso del suelo, información de red hidrográfica e infraestructura vial. Esta información permitió caracterizar el entorno físico de los sitios analizados y aportar a la selección de variables detonantes, con base en la consistencia temporal y espacial.

En la información de datos abiertos del IGAC se cuenta con información de la localización de las estaciones climatológicas, meteorológicas e hidrológicas en formato shape. Esta base de datos es fundamental para obtener la ubicación de la estación más cercana a un sitio de interés. Aquí también se consigna información del estado de la estación, su fecha de instalación, el tipo de estación y otros datos geográficos.

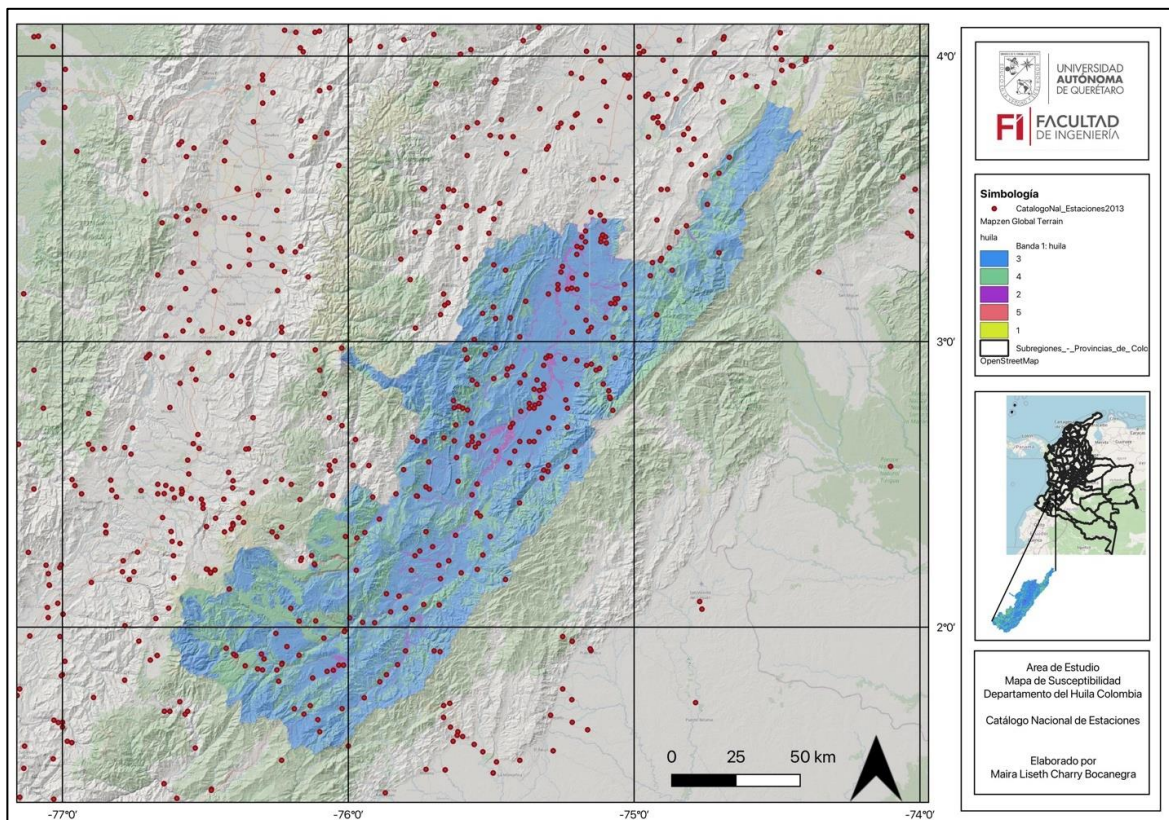


Figura 7. Área de estudio (Elaboración propia-Datos IGAC)

Es perentorio tener en cuenta la información geográfica, geológica, de uso de suelo, vegetación, cercanía a vialidades y fuentes hídricas. Esta información se puede obtener en el IGAC. Aquí se presentan mapas con esta información a diferentes escalas, en distintas zonas del país.

Esta información brinda un panorama general del área de interés y permite hacer distintos análisis relacionados con el clima, la hidrología, los fenómenos y las dinámicas que se desarrollan en un lugar específico

7.4. Construcción de variables hidroclimáticas derivadas

Aunque las variables meteorológicas originales contienen información relevante, su utilización directa puede limitar la capacidad del modelo para representar procesos físicos complejos asociados a la generación de deslizamientos.

Por esta razón se desarrolló un conjunto de variables derivadas orientadas a capturar condiciones atmosféricas acumulativas y relaciones entre diferentes parámetros meteorológicos.

- **Punto de rocío**

La primera variable derivada corresponde al punto de rocío, definido como la temperatura a la cual una masa de aire alcanza la saturación para una determinada concentración de vapor de agua.

$$T_d = \left(\frac{RH}{100}\right)^{1/8}(110 + T) - 110$$

Ecuación 1. Punto de rocío

Desde una perspectiva física, el punto de rocío constituye una medida indirecta del contenido de humedad atmosférica y permite complementar la información proporcionada por la humedad relativa.

A diferencia de esta última, el punto de rocío representa una magnitud absoluta de humedad, por lo que resulta menos sensible a las variaciones de temperatura y facilita la comparación entre diferentes condiciones meteorológicas.

- **Factor CRHUDA**

A partir del punto de rocío y la presión atmosférica se construyó el Factor CRHUDA.

$$F_t = \frac{P_{atm,t}}{T_{d,t}}$$

Ecuación 2. Factor CRHUDA.

Este factor constituye una variable sintética diseñada específicamente para esta investigación y representa una aproximación integrada al estado atmosférico previo a los procesos de inestabilidad.

Su formulación busca capturar la interacción existente entre la humedad disponible en la atmósfera y las variaciones de presión atmosférica, factores que pueden influir en los mecanismos de infiltración, almacenamiento de agua y respuesta hidrológica de las laderas.

La incorporación del Factor CRHUDA permitió reducir la complejidad del análisis al condensar múltiples condiciones atmosféricas en una sola variable representativa.

7.5. Construcción de variables en ventana móvil de tres días

La metodología no utiliza directamente los valores diarios crudos como predictores del modelo logístico. En su lugar, construye variables derivadas con memoria de tres días, con el fin de representar la persistencia hidrometeorológica previa al evento. Esta decisión es coherente con la lógica física del problema, ya que los deslizamientos suelen responder a la acumulación de humedad en el sistema y no únicamente al valor aislado de una observación diaria.

Se definen cuatro variables predictoras. La primera es la lluvia acumulada de tres días, la segunda es la humedad relativa media de tres días, la tercera es el Factor

CRHUDA medio de tres días y la cuarta es un término de interacción entre lluvia acumulada y humedad media. Estas variables se calculan para cada día t usando la información de t , $t-1$ y $t-2$.

$$x_1(t) = R_t + R_{t-1} + R_{t-2}$$

Ecuación 3. Lluvia acumulada de tres días.

$$x_2(t) = \frac{RH_t + RH_{t-1} + RH_{t-2}}{3}$$

Ecuación 4. Humedad relativa media de tres días.

$$x_3(t) = \frac{F_t + F_{t-1} + F_{t-2}}{3}$$

Ecuación 5. Factor CRHUDA medio de tres días.

$$x_4(t) = x_1(t) x_2(t)$$

Ecuación 6. Término de interacción entre lluvia y humedad.

El uso de X_4 permite que el modelo no dependa exclusivamente de efectos aditivos, sino que represente situaciones en las que la respuesta del sistema aumenta cuando la lluvia acumulada coincide con humedades relativas persistentemente altas. Esta interacción fue conservada en la nueva metodología porque forma parte del modelo logístico ya calibrado y no se modificó durante la actualización del dashboard.

7.6. Modelo logístico base

Con las cuatro variables derivadas se evalúa la ecuación logística calibrada previamente. El modelo estima un exponente lineal $z(t)$ y, a partir de éste, una probabilidad diaria $p(t)$. La formulación se mantuvo intacta en la nueva metodología porque el propósito de la actualización no fue redefinir los coeficientes beta, sino reforzar la interpretación operativa de la salida probabilística.

$$z(t) = -6.401445 + 0.169670x_1 + 0.087333x_2 - 0.083432x_3 - 0.002028x_4$$

Ecuación 7. Exponente lineal del modelo Logístico CRHUDA.

$$p(t) = \frac{1}{1 + e^{-z(t)}}$$

Ecuación 8. Probabilidad diaria del deslizamiento.

La probabilidad diaria $p(t)$ es la salida probabilística elemental del método. No obstante, al revisar los tres eventos disponibles se observó que la señal diaria puede presentar oscilaciones locales, con picos prematuros que dificultan la definición de una alerta operativa robusta. Por esta razón se introdujo una etapa adicional de acumulación temporal, implementada en el Dashboard bajo el nombre de probabilidad temporal suavizada.

7.7. Probabilidad temporal suavizada y diferencias temporales

En el dashboard la variable operativa se muestra como probabilidad temporal suavizada. Matemáticamente, esta variable corresponde a un promedio móvil de tres días de la probabilidad diaria. Se conservó el término “acumulada” porque así quedó nombrado en el Dashboard y porque, desde la perspectiva del usuario final, representa una señal con memoria temporal. Sin embargo, no se trata de una suma directa, sino de un suavizado con ventana móvil de tres días.

$$p_{acum}(t) = \frac{p(t) + p(t-1) + p(t-2)}{3}$$

Ecuación 9. Probabilidad temporal suavizada usada operativamente en el Dashboard (promedio móvil de tres días).

Además de esta señal acumulada, la metodología incorpora dos diferencias temporales. La primera cuantifica el cambio diario de la lluvia acumulada de tres días y la segunda cuantifica el cambio diario del Factor CRHUDA medio de tres días. Estas diferencias permiten distinguir si el sistema está avanzando hacia una fase de intensificación o si, por el contrario, la señal se está debilitando. La inclusión de estas derivadas discretas surgió de la necesidad de evitar interpretaciones basadas sólo en la magnitud de $p(t)$.

$$\Delta x_1(t) = x_1(t) - x_1(t-1)$$

Ecuación 10. Diferencia temporal de la lluvia acumulada de tres días.

$$\Delta x_3(t) = x_3(t) - x_3(t-1)$$

Ecuación 11. Diferencia temporal del Factor CRHUDA medio de tres días.

7.8. Regla compuesta de alerta

La principal innovación metodológica incorporada hoy es la regla compuesta de alerta. En lugar de usar únicamente una comparación simple entre probabilidad y umbral, la alerta se activa sólo cuando concurren tres condiciones: una condición probabilística basada en la probabilidad temporal suavizada y dos condiciones dinámicas asociadas al crecimiento de X_1 y X_3 . Esta formulación fue la que permitió

unificar de mejor manera los tres eventos analizados y dar coherencia al Dashboard final.

$$C_1(t) = 1, \text{ si } p_{acum}(t) \geq 0.033124$$

$$C_1(t) = 0, \text{ en otro caso}$$

Ecuación 12. Condición probabilística de la regla compuesta.

$$C_2(t) = 1, \text{ si } \Delta x_1(t) > 0$$

$$C_2(t) = 0, \text{ en otro caso}$$

Ecuación 13. Condición dinámica asociada a la lluvia acumulada.

$$C_3(t) = 1, \text{ si } \Delta x_3(t) > 0$$

$$C_3(t) = 0, \text{ en otro caso}$$

Ecuación 14. Condición dinámica asociada al Factor CRHUDA.

$$A(t) = 1, \text{ si } C_1(t) \wedge C_2(t) \wedge C_3(t)$$

$$A(t) = 0, \text{ en otro caso}$$

Ecuación 15.. Definición formal de la alerta compuesta.

En términos prácticos, la primera condición exige que la probabilidad temporal suavizada supere el umbral 0.033124. La segunda exige que la lluvia acumulada de tres días esté aumentando respecto al día anterior, mientras que la tercera exige que el Factor CRHUDA medio también muestre crecimiento. Así, una alerta sólo se reporta cuando existe simultáneamente una señal probabilística relevante y una evolución dinámica compatible con intensificación del proceso. Esta lógica evita afirmar “alto riesgo” únicamente por una probabilidad moderada si las variables dinámicas ya se encuentran en descenso.

7.9. Validación mediante series sintéticas estocásticas

Con el propósito de evaluar la robustez del umbral de activación definido para el Índice Multivariado de Inicio de Deslizamientos (IMID), se realizó un análisis mediante la generación de series sintéticas utilizando el software StochARMA, (Gutiérrez, 2026).

El procedimiento consistió en ajustar un modelo estocástico ARMA a las series hidroclimáticas empleadas en la investigación, preservando sus principales características estadísticas, tales como la media, la varianza y la estructura de autocorrelación. A partir de dicho modelo se generaron veinte (20) series sintéticas independientes, representativas de posibles escenarios hidroclimáticos con un comportamiento estadístico similar al de los registros observados.

Posteriormente, cada serie sintética fue procesada mediante la metodología CRHUDA y el modelo de regresión logística desarrollado en esta investigación, calculando la probabilidad diaria de ocurrencia de deslizamientos y la correspondiente probabilidad acumulada.

Finalmente, se analizó la frecuencia con la cual las probabilidades acumuladas superaban el umbral previamente establecido para la emisión de alertas, permitiendo evaluar la estabilidad y consistencia del modelo frente a escenarios no observados.

7.10. Secuencia operativa de cálculo en el dashboard

Con el propósito de facilitar la interpretación de los resultados obtenidos mediante el modelo CRHUDA y el Índice Multivariado de Inicio de Deslizamientos (IMID), se desarrolló un tablero interactivo (Dashboard) que integra las principales variables hidroclimáticas, los resultados del modelo de regresión logística y la probabilidad temporal suavizada de ocurrencia de deslizamientos.

El tablero fue diseñado como una herramienta de análisis y apoyo a la toma de decisiones, permitiendo visualizar de manera integrada la evolución temporal de las variables meteorológicas utilizadas en el modelo, entre ellas la precipitación, la temperatura, la humedad relativa y la presión atmosférica. Asimismo, presenta la probabilidad diaria estimada mediante el modelo logístico y la probabilidad temporal suavizada calculada sobre una ventana móvil de tres días, utilizada para reducir las fluctuaciones de la señal probabilística y facilitar la identificación de condiciones favorables para el inicio de un deslizamiento.

Adicionalmente, el Dashboard incorpora gráficos de comportamiento temporal, indicadores de estado y tablas resumen que permiten comparar la evolución de las variables hidroclimáticas con la respuesta probabilística del modelo para cada uno de los eventos analizados. Esta integración facilita la validación visual del índice propuesto, la identificación de patrones previos a la ocurrencia de los deslizamientos y la evaluación del desempeño del modelo bajo diferentes escenarios hidroclimáticos.

El desarrollo de esta herramienta permitió sintetizar la información generada durante el proceso metodológico en un entorno gráfico de fácil interpretación, favoreciendo el análisis de los resultados y proporcionando un instrumento que puede ser adaptado como apoyo en sistemas de monitoreo y alerta temprana para movimientos en masa.

La implementación informática sigue una secuencia fija y reproducible. Primero se cargan las series de entrada. Segundo, para cada día se calcula el punto de rocío y el Factor CRHUDA. Tercero, se construyen X_1 , X_2 , X_3 y X_4 mediante ventana móvil de tres días. Cuarto, se evalúa la ecuación logística y se obtiene $p(t)$. Quinto, se calcula la probabilidad temporal suavizada $p_{\text{suav}}(t)$. Sexto, se obtienen ΔX_1 y ΔX_3 . Séptimo, se verifican C_1 , C_2 y C_3 . Finalmente, el sistema emite la alerta compuesta y actualiza la tabla de resultados y las gráficas del Dashboard. Todo este

procedimiento quedó automatizado en el archivo HTML final desarrollado durante la sesión.

El dashboard muestra tres niveles de interpretación: i) la tabla de cálculo, donde se observan los valores intermedios; ii) la tabla de evaluación, donde se reportan z , p , p_{suav} y las tres condiciones lógicas; y iii) el indicador de alerta compuesta, que constituye la salida operativa principal. El día 0 se mantiene en el Dashboard como marca de validación del deslizamiento observado, pero no forma parte de la lógica de activación de la alerta.

7.11. Interpretación metodológica del modelo CRHUDA y del IMID

La metodología propuesta puede interpretarse como un esquema híbrido de naturaleza probabilística y dinámica para la detección de condiciones precursoras de deslizamientos. El componente probabilístico está representado por el modelo Logístico CRHUDA, el cual estima la probabilidad diaria de ocurrencia de un evento a partir de variables hidroclimáticas derivadas. Adicionalmente, se incorpora una probabilidad temporal suavizada calculada mediante una ventana móvil de tres días, cuyo propósito es reducir las fluctuaciones de corto plazo y resaltar tendencias persistentes asociadas a procesos de inestabilidad.

Por otra parte, el componente dinámico se encuentra representado por las variaciones temporales de la lluvia acumulada de tres días ($\Delta X1$) y del Factor CRHUDA promedio ($\Delta X3$). Estas variables permiten evaluar la evolución reciente de las condiciones hidroclimáticas y determinar si el sistema presenta una tendencia de intensificación o, por el contrario, una disminución de los factores asociados al desencadenamiento de deslizamientos.

La integración de ambos componentes constituye uno de los elementos centrales de la metodología, ya que transforma el modelo en una herramienta de alerta temprana y no únicamente en un esquema de clasificación probabilística. De esta

manera, la decisión final no depende exclusivamente del valor de la probabilidad estimada, sino también de la evolución temporal de las variables que representan la acumulación de humedad y las condiciones atmosféricas previas al evento.

En este contexto, una disminución en los valores de $(\Delta X1)$ o $(\Delta X3)$ no modifica directamente la ecuación logística ni la probabilidad diaria calculada por el modelo; sin embargo, sí influye en la activación de la regla compuesta de alerta, debido a que indica una pérdida de intensidad en las condiciones precursoras identificadas. Como consecuencia, la metodología distingue entre una probabilidad elevada de ocurrencia y una señal de alerta robusta. Esto implica que valores moderados o incluso altos de probabilidad no necesariamente conducen a la activación de una alerta si las variables dinámicas muestran una tendencia descendente.

Asimismo, es importante precisar que la variable denominada *probabilidad temporal suavizada* corresponde matemáticamente a un promedio móvil de tres días aplicado sobre la probabilidad diaria estimada por el modelo logístico. Aunque el término acumulada se conserva por consistencia con la interfaz del dashboard desarrollado para la investigación, su formulación responde a una técnica de suavizado temporal orientada a incorporar memoria hidrometeorológica de corto plazo. Esta consideración permite mantener el rigor metodológico y, simultáneamente, asegurar la coherencia entre la formulación matemática y la herramienta computacional implementada.

En conjunto, la combinación de la probabilidad temporal suavizada, las variables dinámicas y la regla compuesta de alerta constituye la base para la construcción del Índice Multivariado de Inicio de Deslizamientos (IMID), proporcionando una representación más estable y físicamente consistente de las condiciones hidroclimáticas asociadas al inicio de movimientos en masa.

8. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este capítulo se presentan los resultados obtenidos a partir de la aplicación de la metodología propuesta para la detección de condiciones precursoras de deslizamientos mediante el modelo Logístico CRHUDA y la construcción del Índice Multivariado de Inicio de Deslizamientos (IMID). Los resultados se organizan siguiendo las etapas metodológicas desarrolladas en la investigación, permitiendo evaluar la capacidad del modelo para representar la evolución temporal de las condiciones hidroclimáticas asociadas a la ocurrencia de movimientos en masa.

En primer lugar, se presenta la información consolidada a partir del inventario de eventos de deslizamiento y de las series hidroclimáticas obtenidas de las estaciones meteorológicas seleccionadas. Se describen las características de la base de datos utilizada, el periodo de análisis considerado y la organización temporal de los registros respecto a la fecha de ocurrencia de cada evento.

Posteriormente, se exponen los resultados correspondientes a la construcción de las variables hidroclimáticas derivadas, incluyendo el cálculo del punto de rocío, el Factor CRHUDA y las variables obtenidas mediante ventanas móviles de tres días. Asimismo, se analiza el comportamiento temporal de estas variables previo a la ocurrencia de los deslizamientos, con el fin de identificar patrones asociados a procesos de acumulación de humedad y evolución de las condiciones atmosféricas.

Seguidamente, se muestran los resultados obtenidos mediante la aplicación del modelo Logístico CRHUDA, incluyendo el comportamiento de la probabilidad diaria de ocurrencia, la probabilidad temporal suavizada y las variables dinámicas utilizadas en la regla compuesta de alerta. Para cada evento analizado se evalúa la evolución temporal de estas señales y su relación con la fecha real de ocurrencia del deslizamiento.

Finalmente, se presentan los resultados de la construcción y validación del Índice Multivariado de Inicio de Deslizamientos (IMID). Para ello se analiza el desempeño

del índice en los diferentes eventos estudiados, así como la capacidad de la metodología para identificar condiciones hidroclimáticas precursoras mediante la integración de información probabilística y dinámica. Adicionalmente, se muestran las salidas generadas por el dashboard desarrollado para la investigación, el cual permitió automatizar los cálculos, visualizar la evolución temporal de las variables y verificar la activación de las alertas asociadas a cada evento analizado.

8.1. Recopilación de la información

Como primera etapa se realizó la recopilación, depuración y organización de la información necesaria para desarrollar la metodología propuesta. Para esto, se integró la información de fuentes oficiales y gratuitas como son el (SIMMA), las series hidroclimáticas que contiene el portal aquarius-IDEAM y del IGAC. Iniciando con la revisión del inventario de deslizamientos del departamento del Huila con el fin de identificar aquellos eventos con información simultánea de fecha de ocurrencia, ubicación geográfica adecuada y de información meteorológica de estaciones cercanas. Posteriormente cada evento se asoció con una estación meteorológica más próxima considerando la distancia y la continuidad en los registros diarios.

Como resultado de este proceso de depuración se escogieron tres deslizamientos que presentaban información completa para desarrollar el modelo. Cada uno se organizó con las series diarias de precipitación, temperatura, humedad relativa, y presión atmosférica correspondientes a un periodo de treinta días previo al evento, formando la base de datos empleada para el desarrollo del modelo logístico CRHUDA.

Estas series se organizaron teniendo en cuenta que el día de ocurrencia del deslizamiento (día 0). Asimismo, los registros anteriores se representaron mediante días negativos (-1, -2, -3), para poder comparar la evolución de los valores parámetros hidroclimáticos previos en los eventos analizados.

8.1.1 Inventario de deslizamientos

El inventario de movimientos en masa fue obtenido del Sistema de Información de Movimientos en Masa (SIMMA) del Servicio Geológico Colombiano, considerando únicamente registros clasificados como deslizamientos dentro del departamento del Huila, en total se evaluaron 693 movimientos en masa los cuales se localizan en la figura 8.

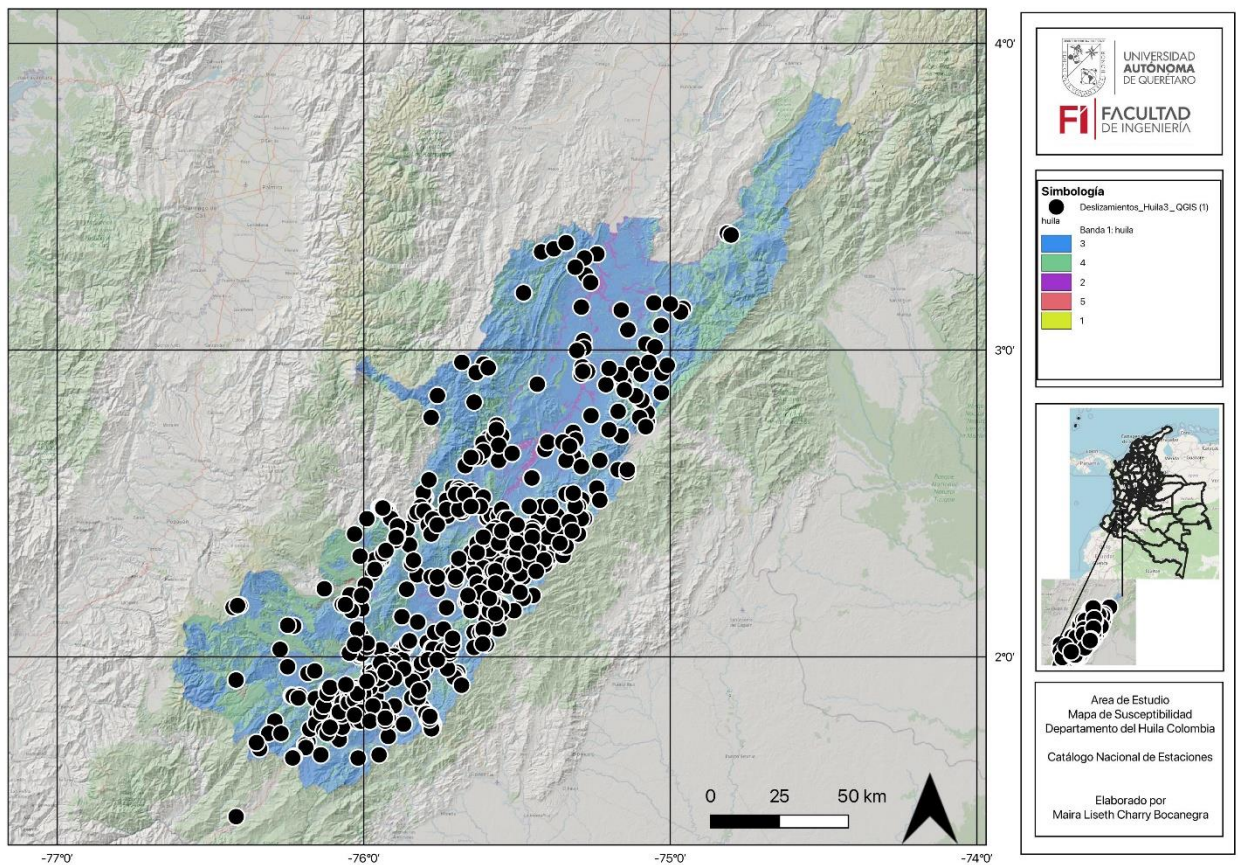


Figura 8. Localización de deslizamientos en el departamento del Huila

El conjunto de datos corresponde a eventos ocurridos entre los años 2005 y 2025, para los cuales se dispone de información sobre la fecha de ocurrencia, el municipio y la localización general del evento.

El análisis del inventario evidencia una marcada variabilidad temporal en la ocurrencia de los deslizamientos. La mayor concentración de eventos se registra en el periodo 2010–2012, destacándose episodios con alta recurrencia diaria, particularmente durante los meses de noviembre y diciembre de 2010, donde se observa la ocurrencia simultánea de múltiples eventos en diferentes municipios del departamento. Este comportamiento sugiere la influencia de condiciones hidroclimáticas regionales asociadas a periodos de precipitación intensa y persistente.

Posteriormente, el número de registros disminuye de forma significativa entre los años 2013 y 2019, con eventos aislados y menor frecuencia anual. A partir del año 2020 se observa nuevamente un incremento en la ocurrencia de deslizamientos, con episodios concentrados en los años 2022, 2023, 2024 y 2025, lo cual indica un aumento reciente en la recurrencia de estos fenómenos.

En términos mensuales, la mayoría de los eventos se concentran en los meses correspondientes a las temporadas lluviosas del régimen bimodal de la región, particularmente entre marzo–mayo y octubre–diciembre, lo que confirma la fuerte relación entre la ocurrencia de deslizamientos y los periodos de mayor acumulación de precipitación.

Desde el punto de vista espacial, los municipios con mayor recurrencia de eventos corresponden a La Plata, Suaza, Garzón, Pitalito, Timaná y Neiva, lo cual evidencia zonas de mayor susceptibilidad dentro del departamento.

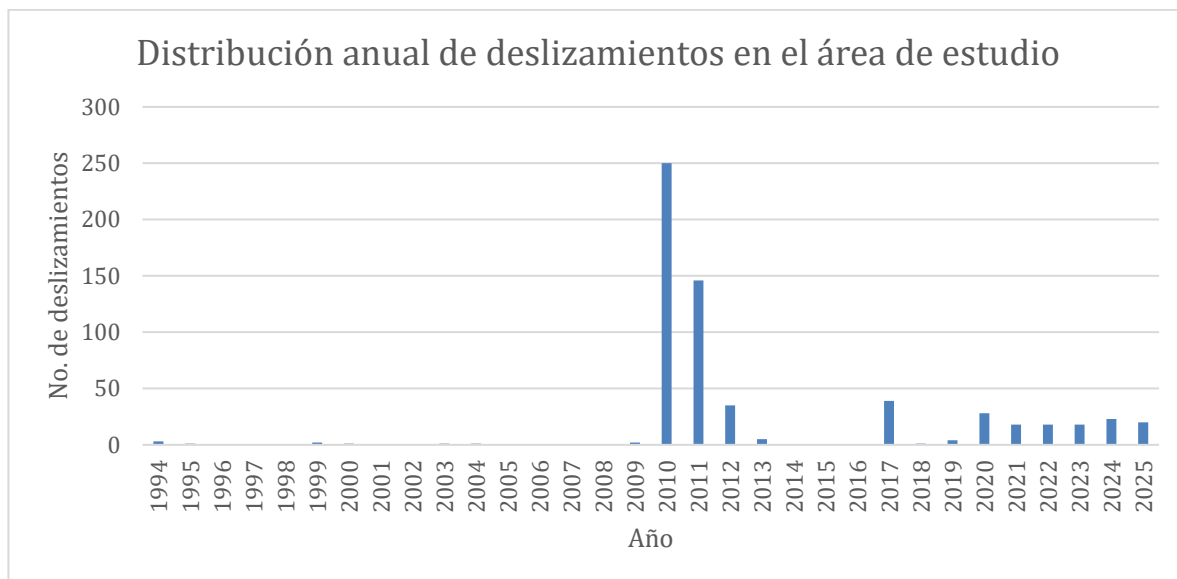


Figura 9. *Distribución anual de deslizamientos en el área de estudio*

La información del inventario de deslizamientos encontrados se encuentra en el ANEXO 1. Del presente documento.

- **Información de series hidroclimáticas diarias**

Los registros descargados de las estaciones seleccionadas, Puracé Altamira El Grifo. Aeropuerto Benito Salas, en esta plataforma, se encuentran consignados en el ANEXO 2. Del presente documento. La descripción de la información de estas estaciones se refleja a continuación

- **Selección de eventos**

Para el caso de estudio se escogieron tres deslizamientos, los cuales ocurrieron cerca de estaciones hidroclimáticas, los cuales se registran en el siguiente mapa. Figura 10. y se describe en la tabla 1. A continuación, se presentan los eventos encontrados, que cuentan con información necesaria para el desarrollo de la metodología.

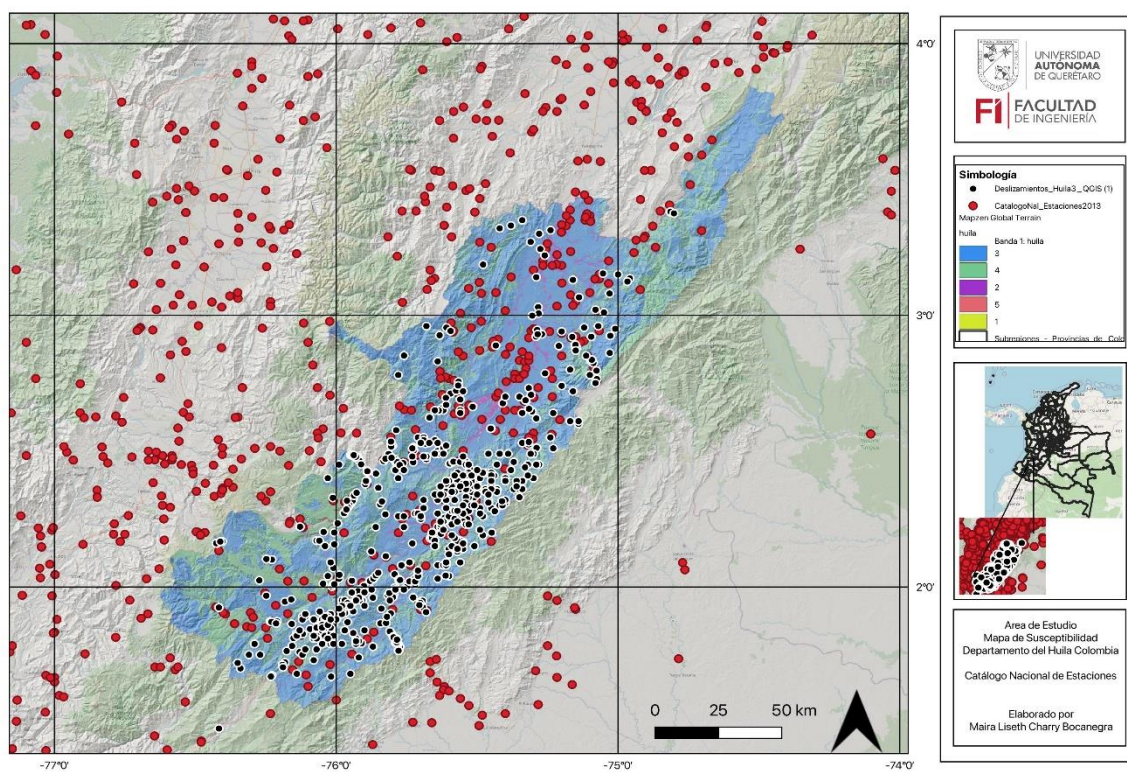


Figura 10. Mapa de estaciones meteorológicas y localización de eventos

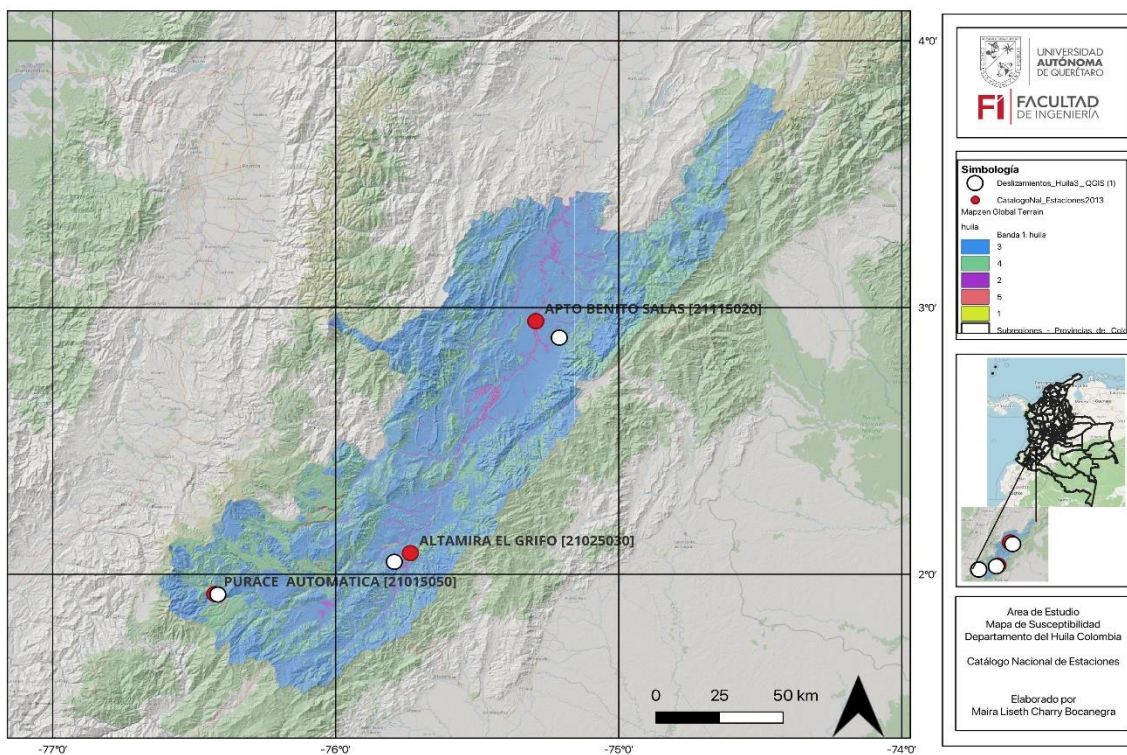


Figura 11. Deslizamientos seleccionados y su estación más cercana

Evento	Estación cercana	Departamento	Municipio	Coordenadas		Fecha del evento	Distancia a la estación
				Latitud	Longitud		
1	Puracé	Huila	San Agustín	1°55'26.79"	-76°25' 0.05"	16/05/2017	1 km
2	Altamira el Grifo	Huila	Altamira	2° 2' 47.2"	-75°47' 34.8"	04/07/2023	7 km
3	Aeropuerto Benito Salas	Huila	Neiva	2°53'13.2"	-75°12'36"	18/11/2024	10.9 km

Tabla 1. Eventos seleccionados para el estudio

Los eventos seleccionados fueron aquellos cercanos en espacio a las estaciones

DETALLES DE CATÁLOGO

Localización Geográfica








Datos del Registro

Fecha Evento: 16/05/2017
Fuente Fecha Evento: Reportada por terceros

Confiabilidad: Exacta
Url Fecha Evento: <http://portal.gestiondelriesgo.gov.co/Atencion-de-Emergencias.aspx>

Fecha Reporte: 11/01/2018
Diligenciamiento: 09/06/2020

Código: 40602
Importancia: ALTA

Institución: Servicio Geológico Colombiano
Encuestador: UNGRD

Fuente del Registro: <http://portal.gestiondelriesgo.gov.co/Paginas/ConsolidadoAtencion-de-Emergencias.aspx>
¿Saber más o informarnos?:

Localización

Departamento: HUILA
Municipio: SAN AGUSTÍN

Vereda: SAN AGUSTÍN
Altura: 1730 m

Latitud: 1°55'26.79"
Longitud: -76°25' 0.05"

PDF

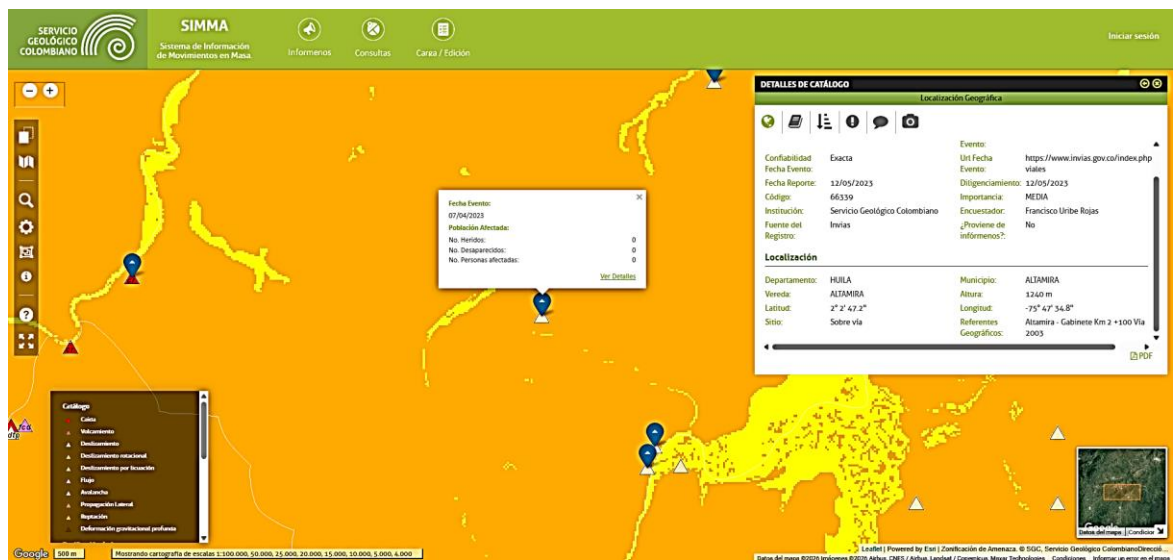


Figura 12. Información evento 1

DETALLES DE CATÁLOGO			
Localización Geográfica			
Datos del Registro			
Fecha Evento:	07/04/2023	Fuente Fecha Evento:	Consultada en página web
Confiable:	Exacta	Url Fecha Evento:	https://www.invias.gov.co/index.php viales
Fecha Reporte:	12/05/2023	Diligenciamiento:	12/05/2023
Código:	66339	Importancia:	MEDIA
Institución:	Servicio Geológico Colombiano	Encuestador:	Francisco Uribe Rojas
Fuente del Registro:	Invias	¿Proviene de informes?:	No
Localización			
Departamento:	HUILA	Municipio:	ALTAMIRA
Vereda:	ALTAMIRA	Altura:	1240 m
Latitud:	2° 2' 47.2"	Longitud:	-75° 47' 34.8"
PDF			

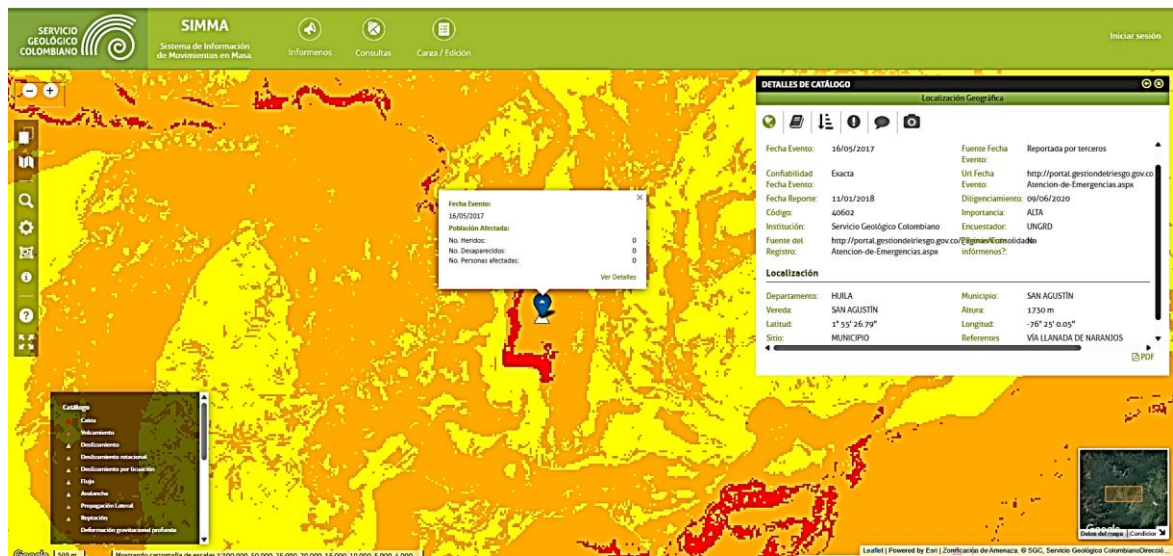


Figura 13. Información evento 2

DETALLES DE CATÁLOGO			
Localización Geográfica			
Datos del Registro			
Fecha Evento:	18/11/2024	Fuente Fecha Evento:	Reportada por terceros
Confiablez:	Exacta		
Fecha Reporte:	19/11/2024	Diligenciamiento:	16/12/2024
Código:	70219	Importancia:	MEDIA
Institución:	Servicio Geológico Colombiano	Encuestador:	Francisco Uribe Rojas
Fuente del Registro:	INVIAS	¿Proviene de informes?:	No
Localización			
Departamento:	HUILA	Municipio:	NEIVA
Vereda:	NEIVA	Altura:	854 m
Latitud:	2° 53' 13.2"	Longitud:	-75° 12' 36"

PDF

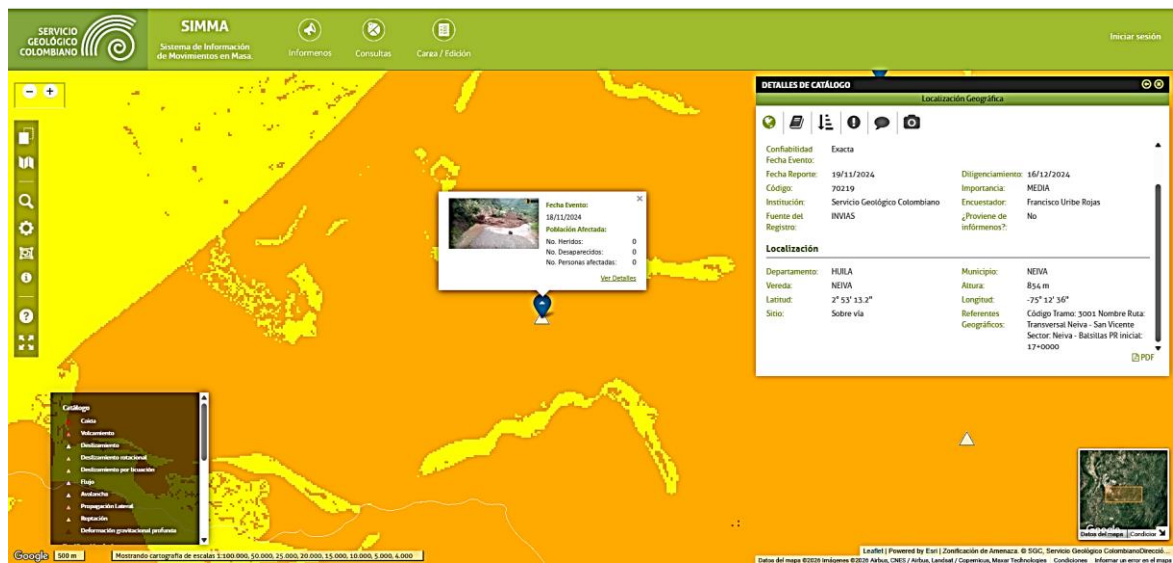


Figura 14. Información evento 3

Los resultados obtenidos en esta etapa reflejan la necesidad de realizar la depuración de la información. Aunque el inventario de movimientos en masa cuenta con un gran número de registros de eventos, únicamente una parte de ellos dispone de la información suficiente para realizar el modelo probabilístico. La integración de

los registros del inventario con las series hidroclimáticas permitió organizar una base de datos sólida, lo cual es indispensable para el cálculo de las variables derivadas, así como el posterior ajuste del modelo logístico CRHUDA.

8.2. Construcción de las variables hidroclimáticas derivadas

Luego de ser consolidada la base de datos, se procedió al cálculo de las variables derivadas usadas por el modelo logístico CRHUDA. Estas variables, representan de forma integrada los procesos de acumulación de humedad, evolución atmosférica y persistencia temporal antecedente al deslizamiento.

Las variables derivadas incorporan información de diferentes condiciones meteorológicas, a diferencia de usar solamente la precipitación diaria como indicador de amenaza, lo que permite describir con más precisión el estado hidroclimático previo a cada evento, entre las variables calculadas se encuentran el punto de rocío, el factor CRHUDA y las variables dinámicas en ventanas móviles de tres días (X1, X2, X3).

- **Punto de rocío**

Los resultados del cálculo de estas variables se presentan en el anexo 3 de este documento. A continuación, se muestran las gráficas de la evolución temporal del punto de rocío durante los días previos a los eventos estudiados. (Figuras 15, 16, 17)

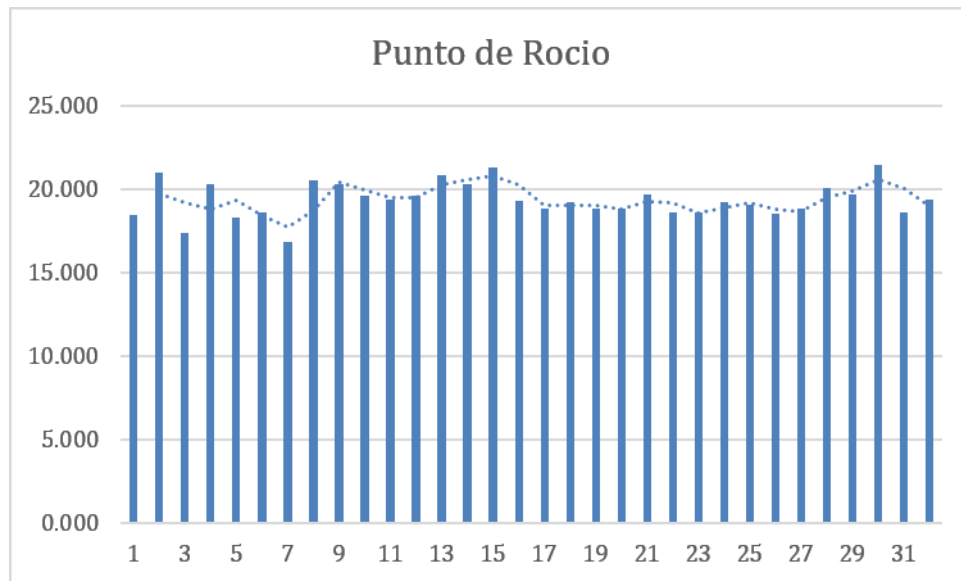


Figura 15. Punto de rocío evento 1

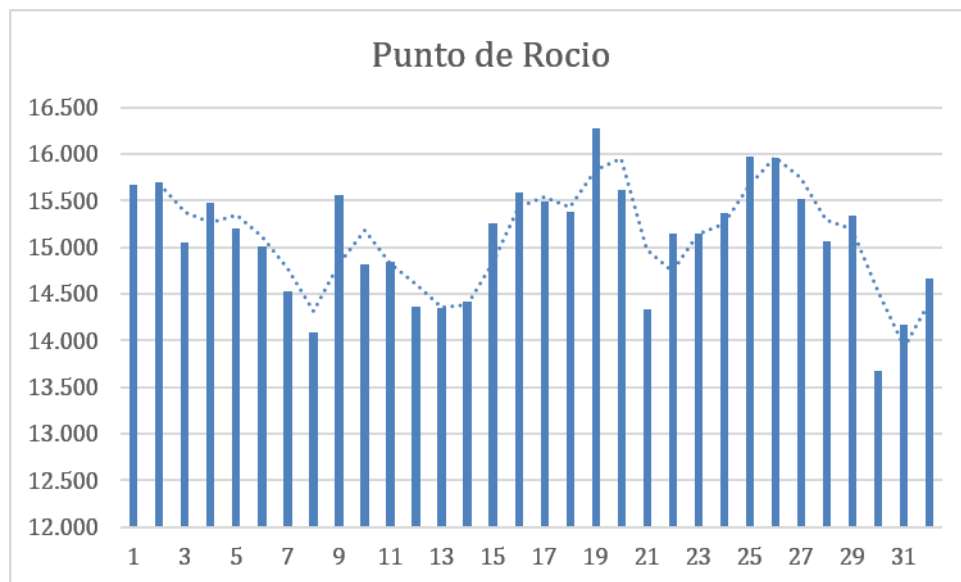


Figura 16. Punto de rocío evento 2

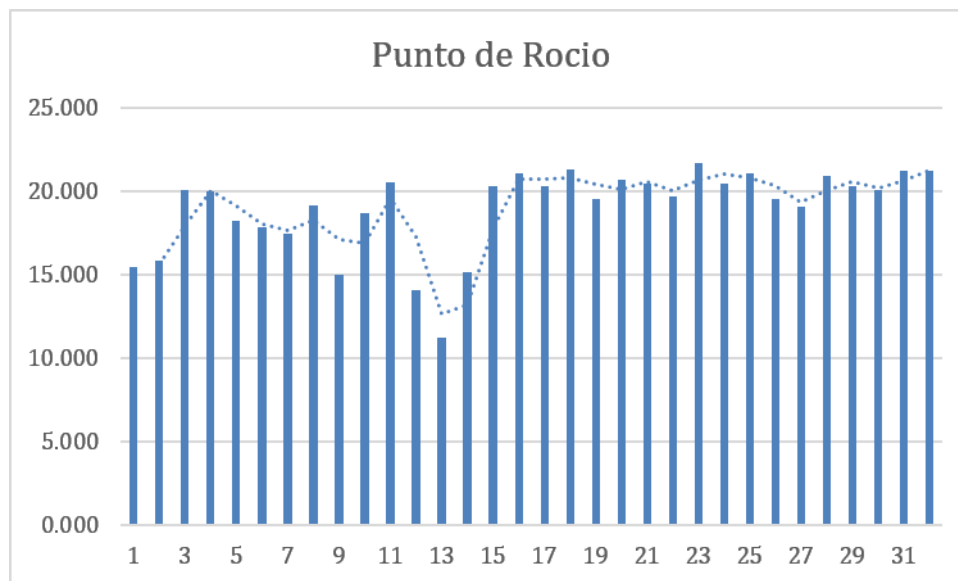


Figura 17. Punto de rocío evento 3

Evento E1. En el primer evento, el punto de rocío presentó un comportamiento relativamente estable, con valores cercanos a 19–21 °C durante prácticamente todo el periodo analizado. Aunque se observaron pequeñas fluctuaciones diarias, la tendencia general permaneció constante y con niveles elevados de humedad atmosférica. Este comportamiento indica que, previo al deslizamiento, existían condiciones persistentes de humedad que pudieron favorecer la acumulación gradual de agua en el suelo, creando un ambiente propicio para la disminución de su resistencia.

Evento E2. En contraste con el evento E1, el segundo evento mostró una mayor variabilidad temporal. Durante los primeros días se registró una disminución progresiva del punto de rocío, seguida por un incremento entre los días 15 y 20, alcanzando el valor máximo de la serie. Posteriormente se observaron nuevas oscilaciones y una disminución hacia el final del periodo. Este comportamiento sugiere cambios más dinámicos en las condiciones atmosféricas, asociados posiblemente a episodios alternados de humedad y secado. A pesar de esta

variabilidad, los incrementos registrados en los días previos al evento indican un aporte importante de humedad antes de la ocurrencia del deslizamiento.

Evento E3. El tercer evento presentó un comportamiento diferente. Durante los primeros días se observaron variaciones importantes, incluyendo una disminución marcada alrededor de los días 12 y 13. Sin embargo, a partir del día 16 el punto de rocío aumentó y permaneció relativamente estable alrededor de los 20–21 °C hasta el final del periodo analizado. Esta estabilización evidencia la persistencia de condiciones atmosféricas húmedas inmediatamente antes del deslizamiento, lo cual es consistente con un proceso continuo de acumulación de humedad en el terreno.

En conjunto, los tres eventos muestran que el punto de rocío mantiene valores relativamente altos durante los días previos a la ocurrencia de los deslizamientos, aunque con distintos patrones de variabilidad temporal. Mientras los eventos E1 y E3 presentan condiciones de humedad más persistentes, el evento E2 refleja una respuesta más variable. Estos resultados sugieren que el punto de rocío, por sí solo, no constituye un indicador suficiente para anticipar la ocurrencia de un deslizamiento; sin embargo, su integración con otras variables hidroclimáticas, como la precipitación, la humedad relativa y la presión atmosférica mediante el modelo Logístico CRHUDA, contribuye a representar de manera más completa las condiciones precursoras de estos fenómenos.

- **Factor CRHUDA**

A partir del punto de rocío se define el Factor CRHUDA, calculado como la razón entre la presión atmosférica y el punto de rocío. Este factor resume la condición atmosférica del evento y constituye la base de una de las variables predictoras más importantes del modelo. A continuación, se presentan las gráficas (figuras 18,19,20) de los valores del factor CRHUDA.

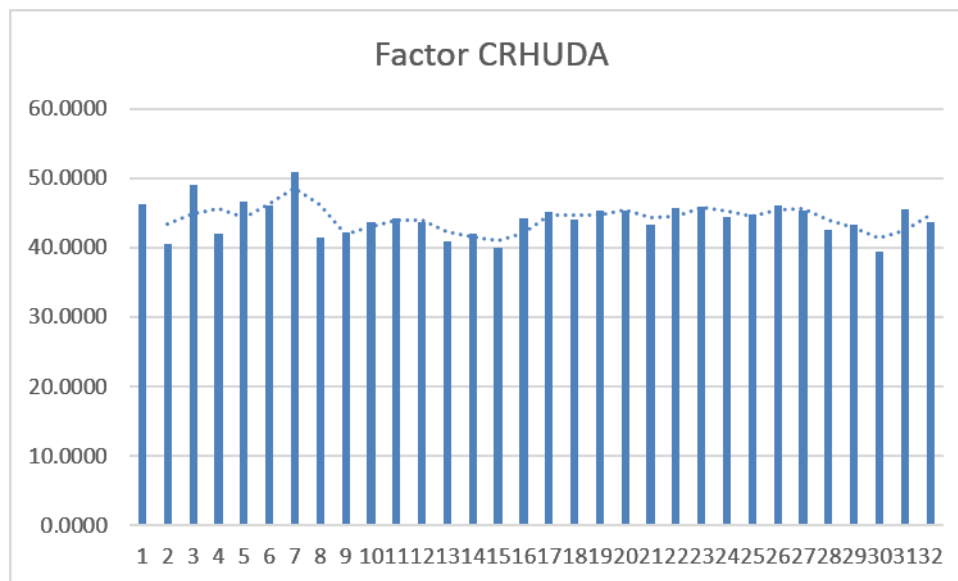


Figura 18. Factor CRHUDA evento 1

En el Evento 1 el Factor CRHUDA presentó un comportamiento relativamente estable durante todo el periodo analizado, con valores comprendidos aproximadamente entre 40 y 50 unidades. Aunque se observaron pequeñas variaciones diarias, no se identificaron cambios abruptos, lo que sugiere que las condiciones hidroclimáticas evolucionaron de manera gradual antes del deslizamiento. La persistencia de valores elevados indica una acumulación progresiva de humedad y una estabilidad atmosférica compatible con un proceso continuo de preparación del terreno.

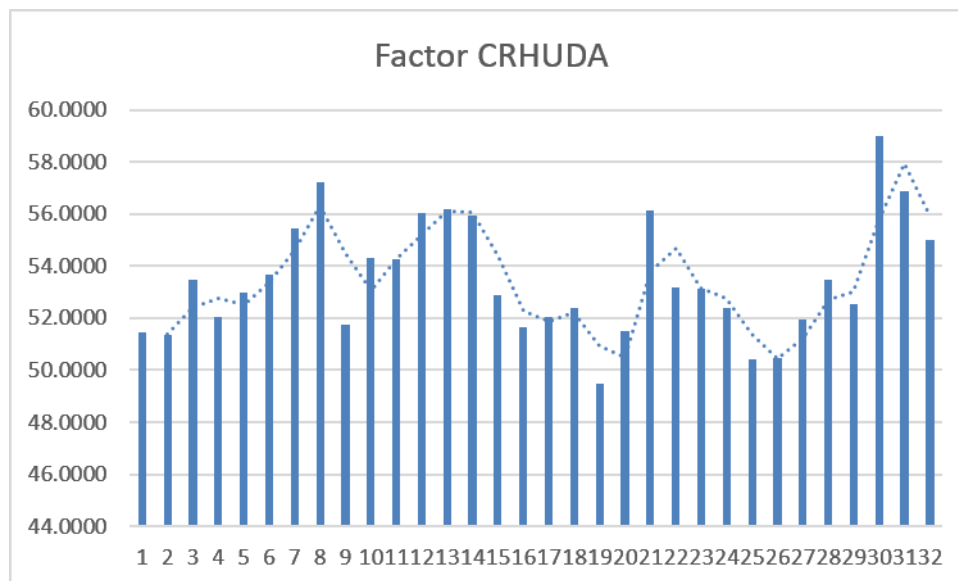


Figura 19. Factor CRHUDA evento 2

El Evento 2 presentó una mayor variabilidad temporal del Factor CRHUDA en comparación con el Evento 1. Se identificaron varios incrementos sucesivos, alcanzando máximos cercanos a 59 unidades durante los últimos días del periodo analizado. Este comportamiento evidencia una evolución más dinámica de las condiciones hidroclicmáticas, posiblemente asociada a varios episodios consecutivos de precipitación y humedad atmosférica. La presencia de múltiples máximos sugiere que el terreno estuvo sometido a ciclos repetitivos de humedecimiento, favoreciendo el incremento gradual de las condiciones de inestabilidad.

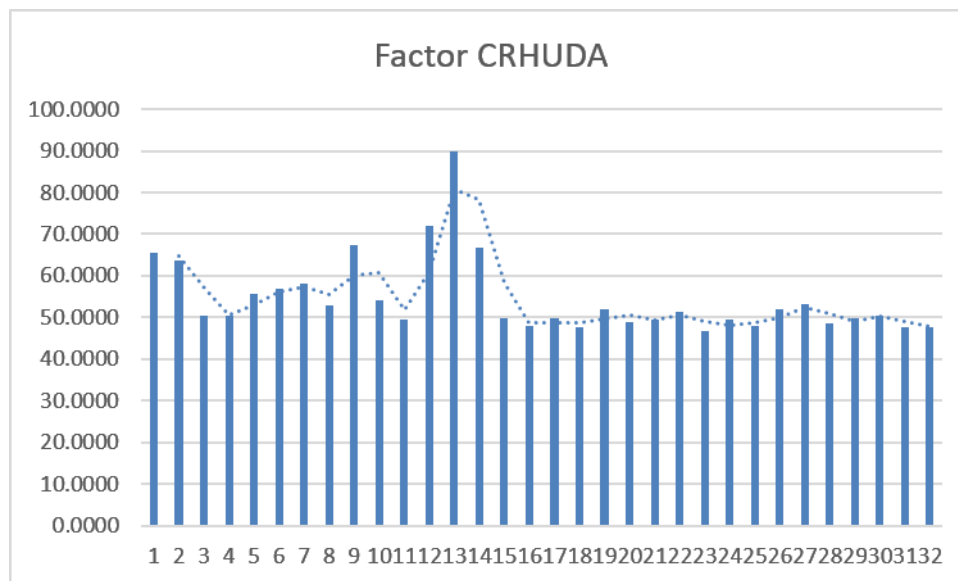


Figura 20. Factor CRHUDA evento 3

El Evento 3 mostró el comportamiento más particular de los tres casos analizados. Durante la primera mitad del periodo se observó un incremento muy marcado del Factor CRHUDA, alcanzando un valor cercano a 90 unidades alrededor del día 13. Después el indicador disminuyó rápidamente y permaneció relativamente estable alrededor de 50 unidades hasta el final de la serie. Este comportamiento sugiere la ocurrencia de un episodio hidroclicmático de alta intensidad que incrementó de forma significativa la disponibilidad de humedad en el sistema, seguido por una fase de estabilización en la que el terreno mantuvo condiciones favorables para la ocurrencia del deslizamiento.

Se observa que el Factor CRHUDA presenta un incremento sostenido durante los días inmediatamente anteriores al evento, alcanzando sus mayores valores cerca del día cero. Este comportamiento confirma que la integración de temperatura, humedad relativa, precipitación y presión atmosférica permite representar adecuadamente las condiciones hidroclicmáticas asociadas a la generación de deslizamientos.

La comparación de los tres eventos evidencia que el Factor CRHUDA responde de manera diferente según la evolución de las condiciones hidroclimáticas que anteceden a cada deslizamiento. Mientras el Evento 1 presenta una respuesta estable y persistente, característica de procesos graduales de acumulación de humedad, el Evento 2 muestra una mayor variabilidad asociada a episodios repetitivos de humedecimiento. Por su parte, el Evento 3 registra un incremento excepcional del indicador, lo que sugiere la influencia de un episodio meteorológico de alta intensidad previo a la ocurrencia del movimiento en masa.

- **Variables derivadas X1, X2, X3 y X4**

En el anexo 3 se encuentran consignados los valores de las variables X1, X2, X3 y X4. Estas variables derivadas, permiten incorporar memoria temporal al modelo, evitando que las decisiones sean exclusivamente dependientes del comportamiento de las variables meteorológicas en un único día. En los tres eventos se observa que la evolución de estas variables es progresiva y aumenta conforme se acumula la humedad antecedente, lo cual evidencia su utilidad para describir las condiciones antecedentes de los deslizamientos.

La variable X4 se obtuvo mediante el producto entre la lluvia acumulada de tres días (X1) y la humedad relativa media de tres días (X2), con el propósito de representar el efecto combinado de ambas variables sobre las condiciones precursoras de deslizamientos.

Esta variable integra simultáneamente la disponibilidad de agua aportada por la precipitación antecedente y el grado de humedad presente en la atmósfera, permitiendo incorporar en el modelo la interacción entre dos de los principales factores hidroclimáticos asociados a la inestabilidad de laderas. Debido a que X4 es una variable derivada directamente de X1 y X2, no se presenta una gráfica independiente; su comportamiento se encuentra implícito en la evolución conjunta de estas variables y se incorpora posteriormente en la estimación de la probabilidad diaria mediante el modelo Logístico CRHUDA.

Evento 1



Figura 21. Variable X1 evento 1

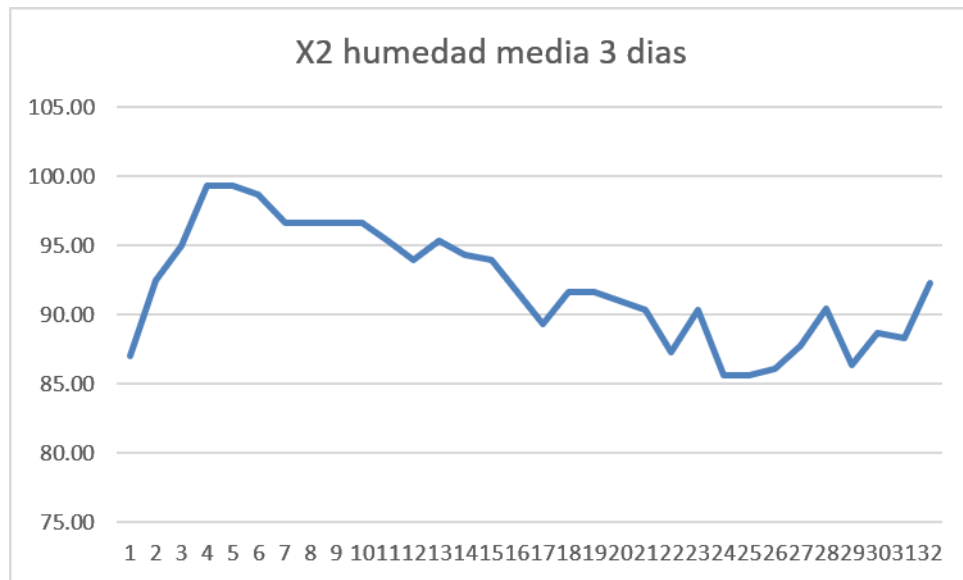


Figura 22. Variable X2 evento 1

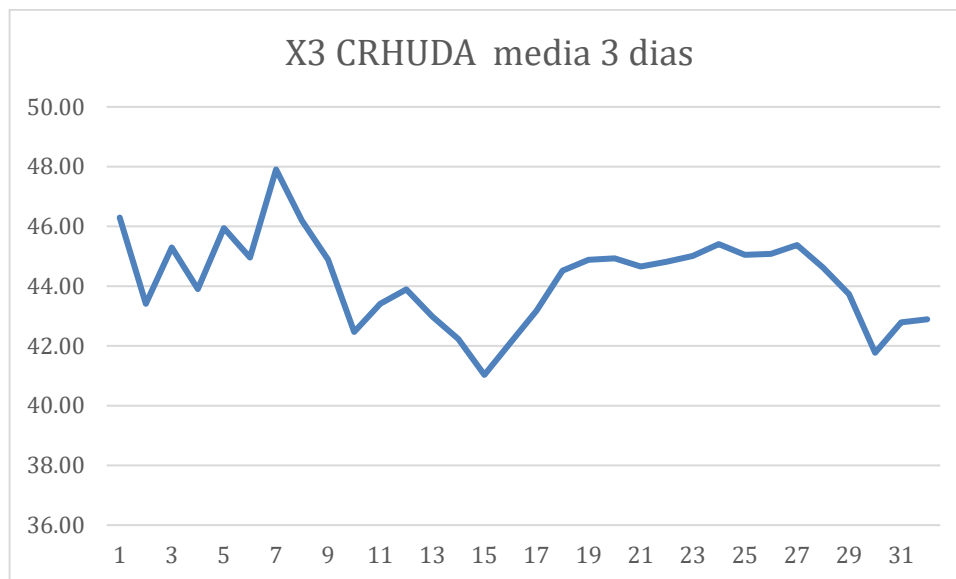


Figura 23. Variable X3 evento 1

El análisis conjunto de las variables derivadas muestra que cada una aporta información complementaria sobre las condiciones hidroclimáticas previas al deslizamiento. La lluvia acumulada de tres días (X1) presentó variaciones importantes asociadas a los episodios de precipitación, evidenciando los periodos de mayor aporte de agua al sistema. En contraste, la humedad relativa media (X2) mantuvo valores elevados durante todo el periodo analizado, indicando condiciones atmosféricas persistentemente húmedas. Por su parte, el Factor CRHUDA promedio (X3) mostró un comportamiento más estable, integrando la respuesta conjunta de la precipitación, la humedad relativa, la temperatura y la presión atmosférica. En conjunto, estas variables permiten representar tanto los eventos de lluvia de corto plazo como la evolución de las condiciones hidroclimáticas que anteceden al deslizamiento y constituyen la base para la estimación de la probabilidad mediante el modelo Logístico CRHUDA.

Evento 2



Figura 24. Variable X1 evento 2

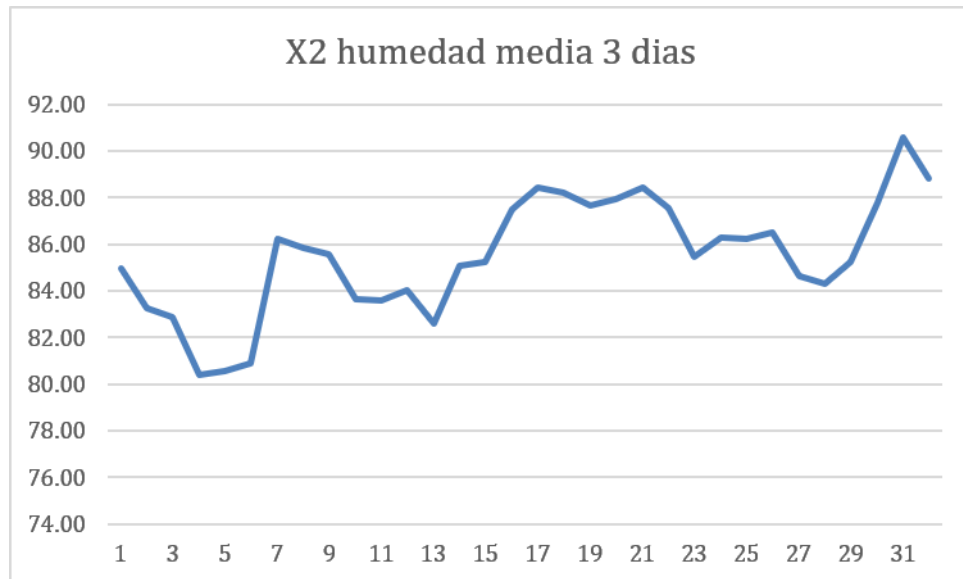


Figura 25. Variable X2 evento 2

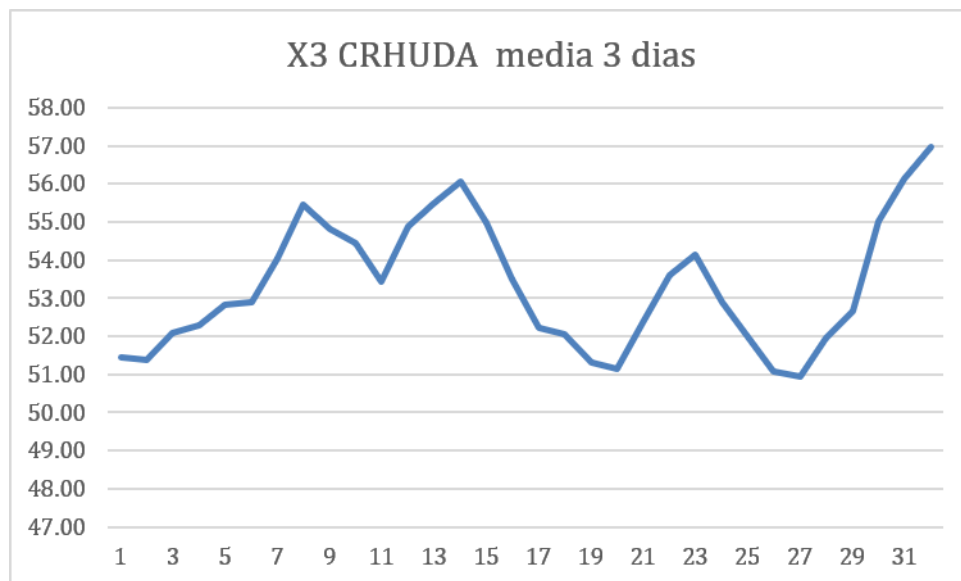


Figura 26. Variable X3 evento 2

Las Figura 24, 25 y 26 muestran el comportamiento de las variables derivadas X1, X2 y X3 durante los 31 días previos al deslizamiento del Evento 2. La lluvia acumulada de tres días (X1) presentó una alta variabilidad, registrando el mayor incremento en los días finales del periodo, lo que evidencia un episodio importante de precipitación antecedente. La humedad relativa media de tres días (X2) mantuvo valores elevados y relativamente estables, indicando condiciones atmosféricas favorables para la acumulación de humedad. Por su parte, el Factor CRHUDA promedio (X3) mostró una tendencia creciente hacia los últimos días, reflejando la respuesta integrada de las variables hidroclimáticas. En conjunto, estas variables evidencian una evolución progresiva hacia condiciones favorables para la ocurrencia del deslizamiento y constituyen la base para la estimación de la probabilidad mediante el modelo Logístico CRHUDA.

Evento 3



Figura 27. Variable X1 evento 3

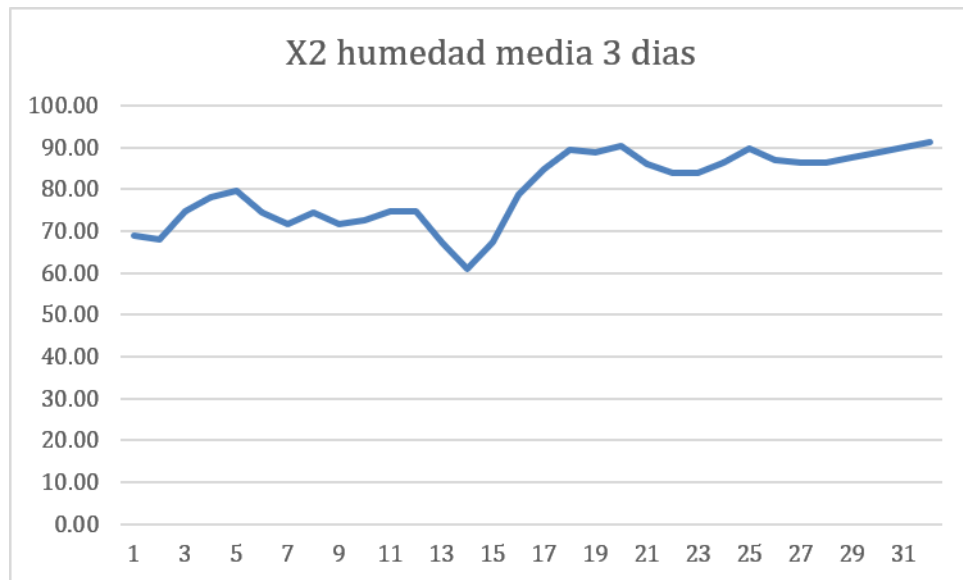


Figura 28. Variable X2 evento 3

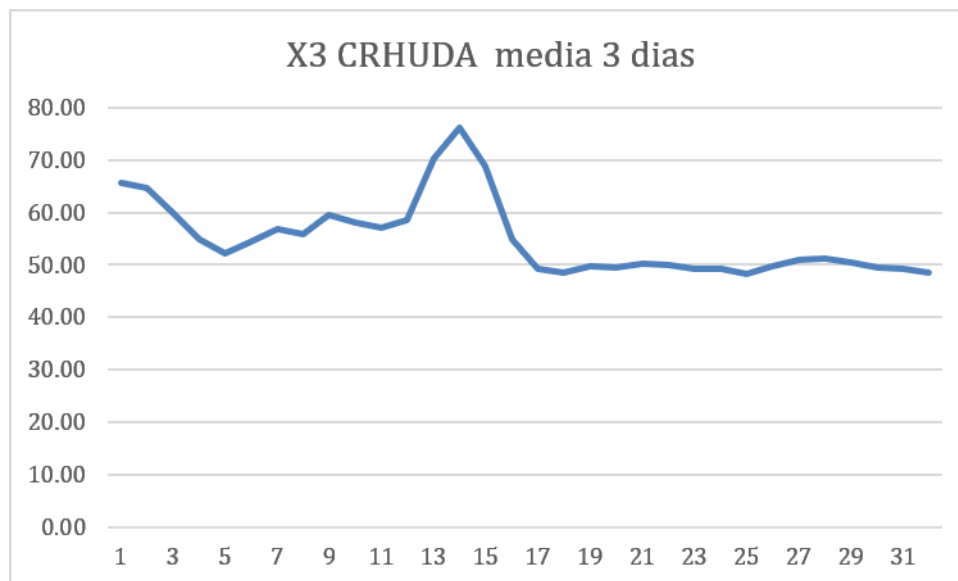


Figura 29. Variable X3 evento 3

Las Figuras 27, 28 y 29 muestran el comportamiento de las variables derivadas X1, X2 y X3 durante los 31 días previos al deslizamiento del Evento 2. La lluvia acumulada de tres días (X1) presentó una alta variabilidad, registrando el mayor incremento en los días finales del periodo, lo que evidencia un episodio importante de precipitación antecedente. La humedad relativa media de tres días (X2) mantuvo valores elevados y relativamente estables, indicando condiciones atmosféricas favorables para la acumulación de humedad. Por su parte, el Factor CRHUDA promedio (X3) mostró una tendencia creciente hacia los últimos días, reflejando la respuesta integrada de las variables hidroclimáticas. En conjunto, estas variables evidencian una evolución progresiva hacia condiciones favorables para la ocurrencia del deslizamiento y constituyen la base para la estimación de la probabilidad mediante el modelo Logístico CRHUDA.

8.3. Estimación de la probabilidad diaria mediante el modelo Logístico CRHUDA

Luego de calcular las variables derivadas X_1 , X_2 , X_3 y X_4 , se aplicó la ecuación del modelo logístico CRHUDA para estimar la probabilidad diaria de ocurrencia de deslizamientos ($P(t)$). Esta probabilidad representa el componente probabilístico del modelo y permite determinar, en cada día del análisis, la probabilidad de que el estado de las condiciones hidroclimáticas sean precursoras al inicio de un movimiento en masa. A continuación, se presenta la evolución temporal de la probabilidad diaria para los tres eventos analizados, (figuras 30,31 y 32).

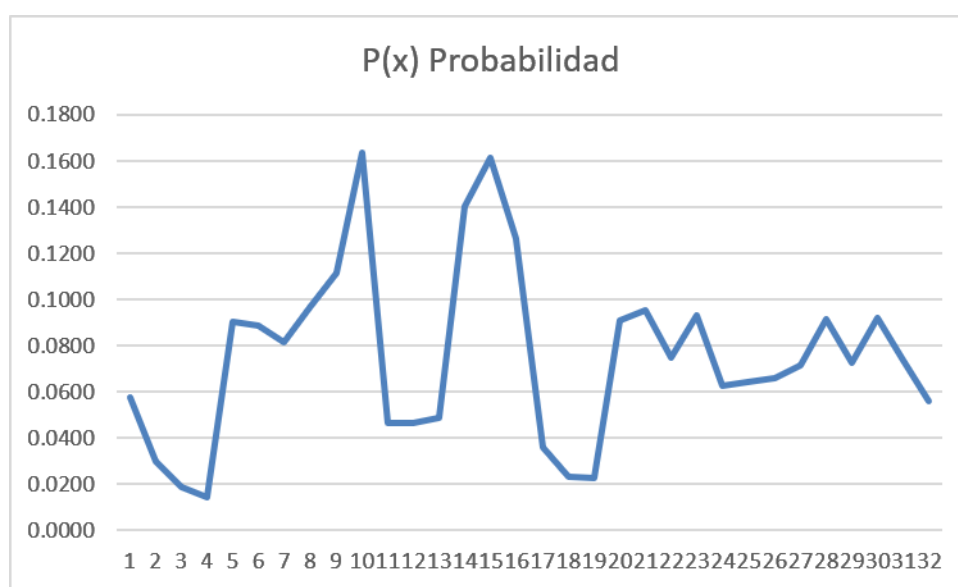


Figura 30. Probabilidad diaria $P(x)$ evento 1

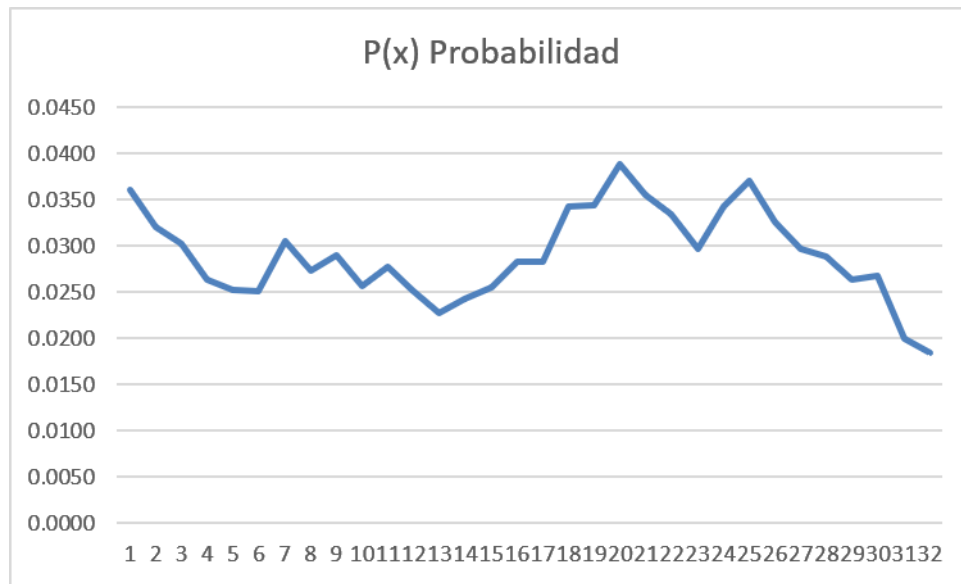


Figura 31. Probabilidad diaria $P(x)$ evento 2

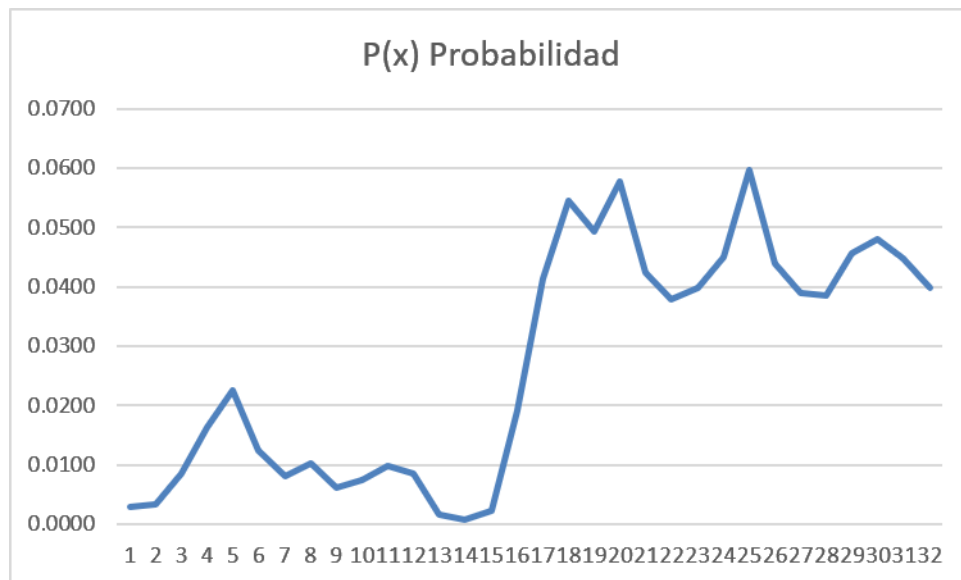


Figura 32. Probabilidad diaria $P(x)$ evento 3

En términos generales, se observó un aumento progresivo de la probabilidad conforme se aproximó la fecha de ocurrencia del deslizamiento, lo cual muestra la

influencia de la acumulación de humedad y de las condiciones atmosféricas previamente representadas por las variables derivadas del modelo.

En el evento 1 se observan valores de probabilidad superiores al umbral definido por el método durante varios días previos al deslizamiento, lo cual refleja persistencia de condiciones favorables para la inestabilidad del terreno. Por otra parte, el evento 2 presentó una probabilidad con un comportamiento más moderado, con incrementos graduales que permitieron identificar el acercamiento al estado crítico. Finalmente, el evento 3 mostró valores diarios considerablemente menores durante gran parte del periodo analizado, incrementándose únicamente en los días cercanos al evento, lo cual evidencia un comportamiento hidroclicmático diferente a los evento 1 y 2.

Aunque la probabilidad diaria constituye el resultado principal de la regresión logística, durante el análisis se observó que esta señal puede presentar fluctuaciones entre días consecutivos debido a la variabilidad natural de las variables meteorológicas. Por esta razón, fue necesario incorporar una etapa adicional de suavizado temporal mediante el cálculo de la probabilidad temporal suavizada, con el objetivo de o tener una representación más estable de la evolución del sistema.

8.4. Probabilidad Temporal Suavizada

Esta variable fue calculada con el propósito de reducir las oscilaciones observadas en la probabilidad diaria mediante un promedio móvil de tres días, como se describió en el capítulo de la metodología. Esta variable incorpora memoria hidrometeorológica de corto plazo y representa la señal probabilística utilizada posteriormente en la regla compuesta de alerta.

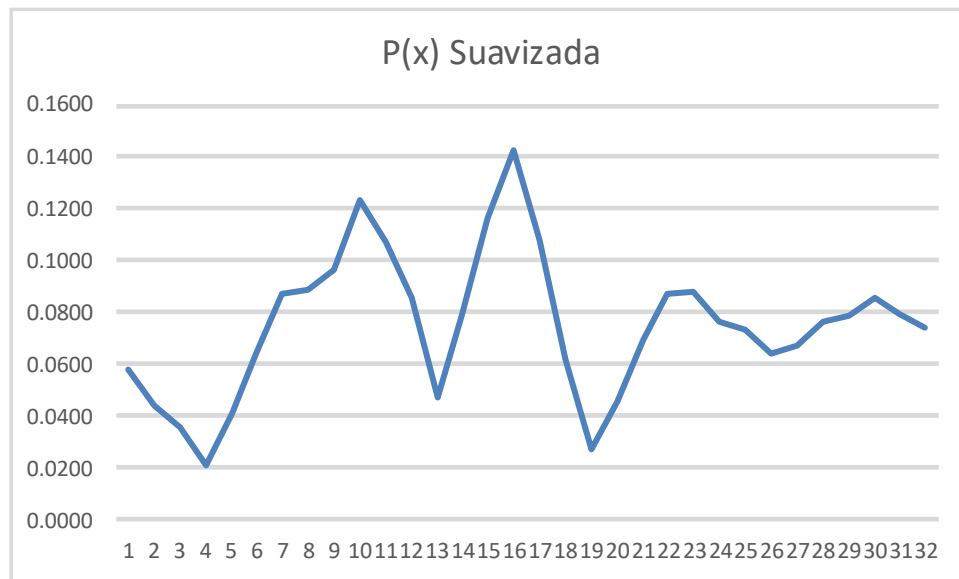


Figura 33. Probabilidad temporal suavizada $P(x)$ evento 1

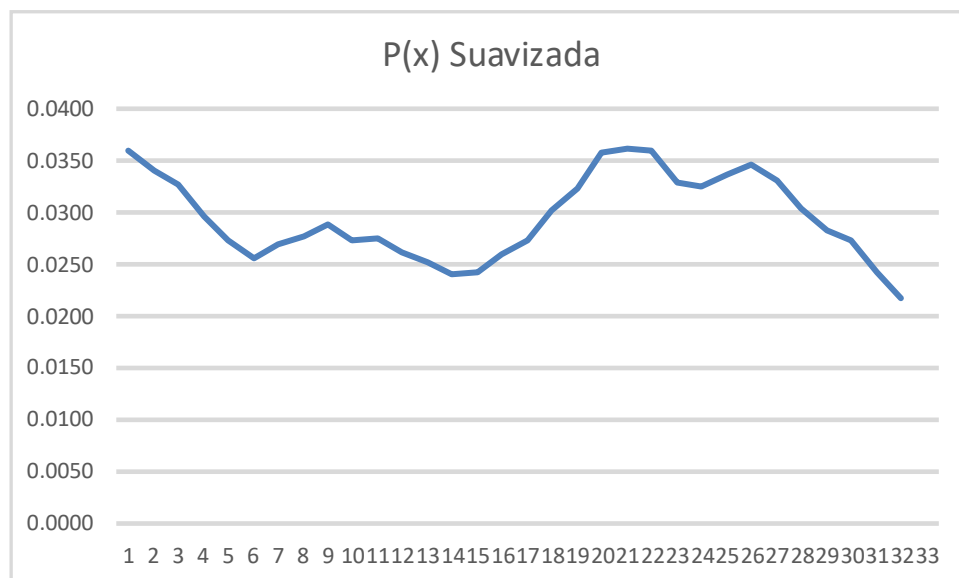


Figura 34 Probabilidad temporal suavizada $P(x)$ evento 2

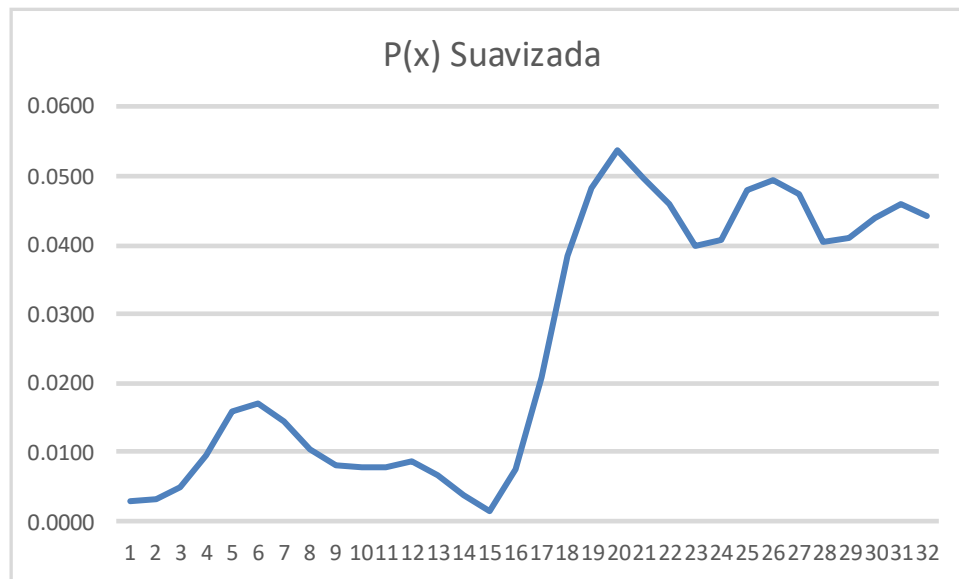


Figura 35. Probabilidad temporal suavizada $P(x)$ evento 3

En las figuras 33,34,35 se muestra la evolución de la probabilidad temporal suavizada para los tres eventos evaluados. Al compararse con la probabilidad diaria, se observa una disminución de las fluctuaciones y una mayor continuidad temporal de la señal facilitando la identificación de periodos de intensificación de las condiciones precursoras.

En el caso del evento 1 esta probabilidad permaneció por encima del umbral operativo durante varios días consecutivos antes de la ocurrencia del deslizamiento, lo cual refleja una persistencia de las condiciones favorables para la generación del evento. En el evento 2 la señal suavizada permitió identificar de manera más clara la transición entre condiciones normales y condiciones críticas, mientras que en el evento 3 la probabilidad suavizada aumentó únicamente en el periodo final de análisis, reflejando un proceso de acumulación de humedad más corto.

Estos resultados evidencian que el promedio móvil de tres días proporciona una representación más robusta del comportamiento hidroclicmático que la probabilidad diaria aislada, disminuyendo la influencia de variaciones puntuales y mejorando la estabilidad de la señal utilizada para la toma de decisiones.

8.5. Variables dinámicas ($\Delta X1$ y $\Delta X3$)

Como complemento al componente probabilístico, se calcularon las diferencias temporales de la lluvia acumulada de tres días ($\Delta X1$) y del factor CRHUDA promedio ($\Delta X3$). Estas variables permiten evaluar la tendencia reciente del sistema hidroclicmático y determinar si las condiciones precursoras se encuentran en fase de intensificación o de debilitamiento. En las siguientes gráficas (Figuras 36, 37, 38, 39, 40, y 41) se presentan los resultados de las variables dinámicas descritas.



Figura 36. Diferencia temporal $\Delta X1$, evento 1



Figura 37. Diferencia temporal $\Delta X1$, evento) evento 2



Figura 38. Diferencia temporal $\Delta X1$, evento evento 3

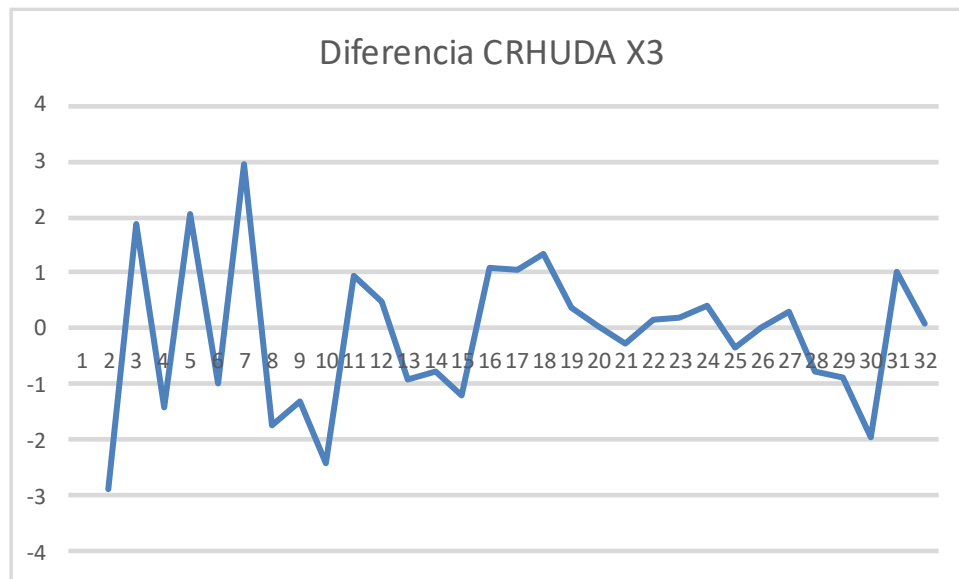


Figura 39. Diferencia del factor CRHUDA promedio evento 1

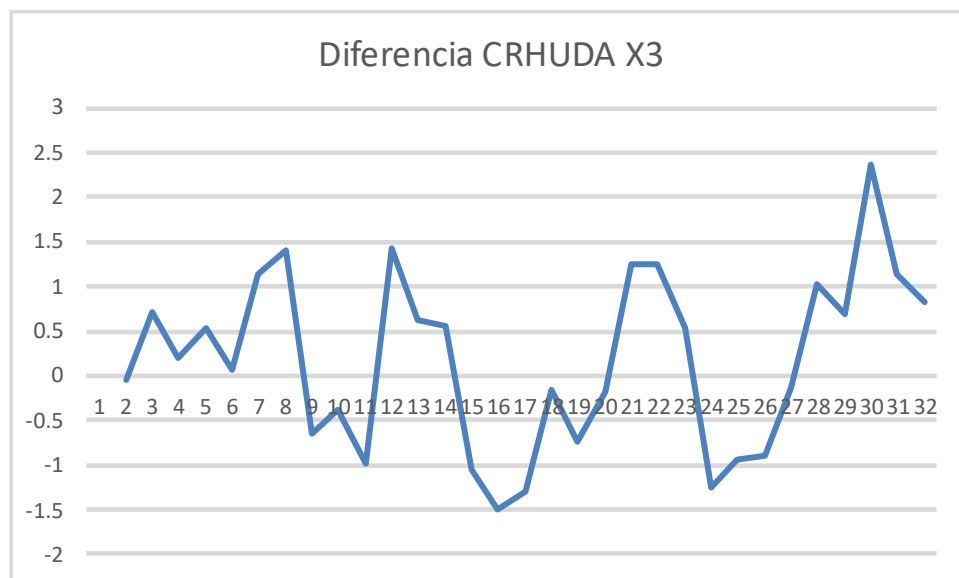


Figura 40. Diferencia del factor CRHUDA promedio evento 2

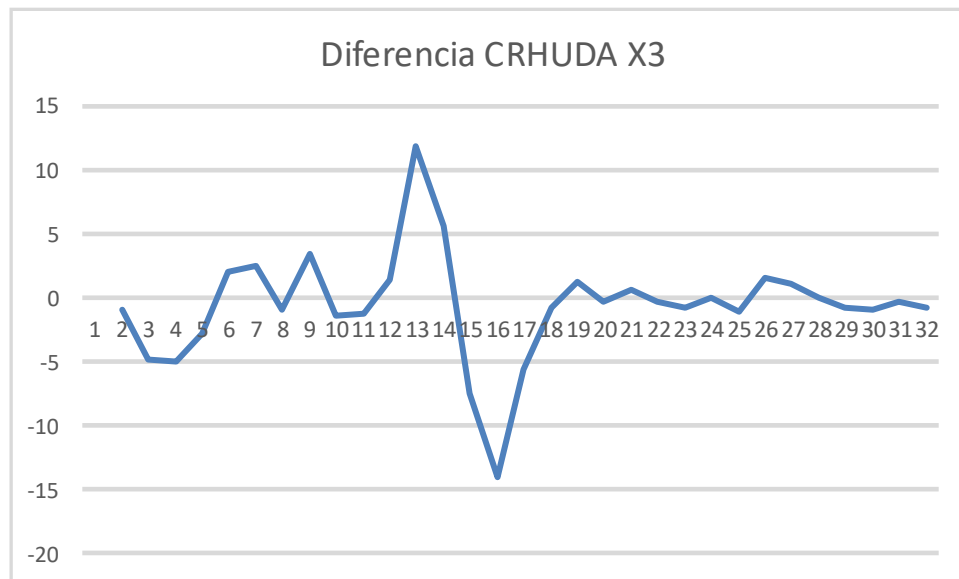


Figura 41. Diferencia del factor CRHUDA promedio evento 3

Los resultados muestran que los valores positivos de $\Delta X1$ corresponden a incrementos de la lluvia antecedente, mientras que valores negativos indican una disminución de la humedad acumulada. De manera similar, $\Delta X3$ representa la evolución del factor CRHUDA medio, reflejando cambios en las condiciones atmosféricas que favorecen las inestabilidad del terreno.

En los tres eventos analizados se observó que los periodos previos a la ocurrencia de los deslizamientos estuvieron asociados en diferentes momentos, con incrementos simultáneos de ambas variables. Esta respuesta confirma que la incorporación de información dinámica aporta un criterio adicional para diferenciar entre una probabilidad elevada ocasionada por variaciones aisladas y una tendencia sostenida hacia condiciones críticas.

8.6. Determinación del umbral de activación del IMID

Una vez calculadas las probabilidades diarias mediante el modelo de regresión logística y obtenida la probabilidad acumulada a partir de la ventana móvil de tres días propuesta por la metodología CRHUDA, se procedió a definir el umbral de activación del Índice Multivariado de Inicio de Deslizamientos (IMID).

Para ello se analizaron los tres eventos históricos empleados en la investigación, comparando la evolución temporal de la probabilidad acumulada con la fecha real de ocurrencia de cada deslizamiento. El criterio de selección consistió en identificar un valor que permitiera anticipar el evento con suficiente tiempo de respuesta, reduciendo simultáneamente la generación de falsas alarmas.

Como resultado de este análisis se estableció un umbral de 0.033024 (reemplazar por el valor obtenido), a partir del cual el IMID emite una condición de alerta. Dicho valor fue el que presentó el mejor equilibrio entre sensibilidad y estabilidad durante la evaluación de los eventos analizados.

8.7. Regla compuesta de alerta

La decisión final del modelo se obtuvo mediante la evaluación conjunta de tres condiciones:

- i. Que la probabilidad suavizada superara el umbral definido por el modelo (condición C1)
- ii. Que la diferencia de la lluvia acumulada fuera positiva (condición C2)
- iii. Que la diferencia del factor CRHUDA medio también presentara un comportamiento creciente (condición C3).

La activación simultánea de estas tres condiciones permitió generar la alerta compuesta. Este procedimiento evitó que probabilidades elevadas originadas por variaciones puntuales produjeran falsas alertas, ya que únicamente se emitió una señal cuando existía consistencia entre la magnitud probabilística y la evolución dinámica de las variables hidroclicmáticas.

En el ejemplo del Evento 1, correspondiente al día -5, se obtuvo una probabilidad diaria de 0.072 y una probabilidad acumulada 0.067, ambas superiores al umbral establecido. Adicionalmente, $\Delta X1$ alcanzó un valor de 2.400 mm y $\Delta X3$ un valor de 0.291, indicando crecimiento simultáneo de las dos variables dinámicas. Como consecuencia, las condiciones C1, C2, y C3 fueron santisfechas y el sistema emitió correctamente la alerta comuesta, demostrando el funcionamiento del procedimiento implementado.

8.8. Validación del umbral mediante series sintéticas

Como parte del proceso de validación del modelo, se generaron veinte series sintéticas utilizando el programa StochARMA, las cuales reprodujeron el comportamiento estadístico de las variables hidroclimáticas analizadas.

La aplicación del modelo CRHUDA sobre estas series permitió evaluar la respuesta del IMID bajo diferentes escenarios simulados sin alterar las propiedades estadísticas fundamentales de la información original.

Los resultados evidenciaron que el umbral de alerta definido mantuvo un comportamiento estable durante las simulaciones realizadas. En aproximadamente el 25 % de las muestras sintéticas se alcanzó o superó el umbral establecido, indicando que el índice conserva sensibilidad para detectar condiciones críticas sin producir activaciones permanentes o excesivas.

Este ejercicio permitió comprobar que el comportamiento del modelo no depende exclusivamente de los tres eventos históricos utilizados para su calibración, sino que mantiene un desempeño consistente ante múltiples realizaciones estocásticas generadas a partir de las condiciones hidroclimáticas observadas.

8.9. Dashboard e IMID

Los resultados obtenidos fueron integrados en un dashboard interactivo desarrollado para automatizar el procedimiento de cálculo y facilitar la interpretación del modelo. La herramienta permitió visualizar simultáneamente las variables hidroclimáticas de entrada, las variables derivadas, la probabilidad diaria, la probabilidad suavizada, las diferencias temporales y la activación de la regla compuesta de alerta.

La implementación del dashboard interactivo permitió reproducir automáticamente toda la secuencia metodológica del modelo CRHUDA, reduciendo errores de cálculo manual y proporcionando una representación gráfica del comportamiento temporal de cada evento. Asimismo, constituyó la plataforma para la construcción del Índice Multivariado de Inicio de Deslizamientos (IMID), el cual integra información probabilística y dinámica en un único esquema de evaluación. En el anexo 4 se presenta una imagen de la interfaz del dashboard.

CONCLUSIONES

Se logró caracterizar las condiciones hidrometeorológicas asociadas a la ocurrencia de deslizamientos en el área de estudio mediante la integración de información proveniente del inventario de movimientos en masa (SIMMA) y de registros meteorológicos del IDEAM. La organización temporal de los eventos permitió identificar el comportamiento previo de variables como la precipitación, la humedad relativa, la temperatura y la presión atmosférica, evidenciando que los deslizamientos responden a la interacción de múltiples factores y no únicamente a la ocurrencia de lluvias intensas.

La construcción de variables hidroclimáticas derivadas permitió representar de manera más adecuada la evolución de las condiciones atmosféricas previas a los deslizamientos. Variables como el factor CRHUDA, la precipitación acumulada, la humedad relativa media y las diferencias temporales incorporaron información sobre la persistencia y evolución de los procesos hidrometeorológicos, proporcionando una representación más consistente de las condiciones precursoras de inestabilidad.

El modelo probabilístico desarrollado a partir del enfoque CRHUDA demostró que la regresión logística constituye una herramienta adecuada para estimar la probabilidad de ocurrencia de condiciones favorables para deslizamientos. La incorporación de una ventana móvil de tres días permitió suavizar la variabilidad diaria de la señal probabilística, reduciendo fluctuaciones de corto plazo y proporcionando un indicador más estable para la identificación de estados críticos.

La incorporación de variables dinámicas dentro de la regla compuesta de decisión fortaleció la capacidad del modelo para discriminar entre incrementos temporales de la probabilidad y tendencias sostenidas asociadas al proceso de preparación del deslizamiento. La evaluación conjunta de la probabilidad suavizada, el

comportamiento de la precipitación acumulada y la evolución del factor CRHUDA permitió generar alertas únicamente cuando coexistieron condiciones hidroclimáticas persistentes compatibles con la ocurrencia de un evento, disminuyendo la posibilidad de emitir falsas alertas.

La incorporación de simulaciones estocásticas mediante series sintéticas permitió ampliar el proceso de validación del modelo más allá de los eventos históricos disponibles, demostrando que el umbral de activación del IMID presenta un comportamiento robusto y reproducible, fortaleciendo la confiabilidad de la metodología propuesta.

La implementación del dashboard y la construcción del Índice Multivariado de Inicio de Deslizamientos (IMID) demostraron la viabilidad de integrar todo el procedimiento metodológico en una herramienta de apoyo para sistemas de alerta temprana. La automatización de los cálculos y la visualización simultánea de las variables de entrada, las variables derivadas, la probabilidad estimada y la activación de la alerta facilitan la interpretación de los resultados y favorecen su aplicación por entidades encargadas del monitoreo y la gestión del riesgo.

Aunque el modelo fue evaluado con un conjunto limitado de eventos históricos, los resultados obtenidos constituyen una base metodológica sólida para futuras investigaciones. La incorporación de un mayor número de deslizamientos, diferentes condiciones climáticas y nuevas regiones permitirá fortalecer la calibración del modelo, evaluar su capacidad de generalización y consolidar el IMID como una herramienta complementaria para la gestión del riesgo por deslizamientos en Colombia.

BIBLIOGRAFÍA

1. Abadi, F., Rahmati, O., Panahi, M., & Bui, D. T. (2023). Application of stochastic time series models for hydroclimatic forecasting and landslide early warning. *Journal of Hydrology*, 620, 129595. DOI:10.1504/IJHST.2014.066437
2. Aditian, A., Kubota, T., & Shinohara, Y. (2018). Comparison of GIS-based landslide susceptibility models using frequency ratio, logistic regression, and artificial neural network in a tropical region. *Geomorphology*, 318, 101–111. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2018.06.006>
3. Anbalagan, R., Chakraborty, D., & Kohli, A. (2015). Landslide hazard zonation mapping using frequency ratio and fuzzy logic approaches in a part of the Himalayas. *Landslides*, 12(4), 735–750. DOI 10.1186/s40677-014-0009-y
4. Assis, J., Pereira, S., & Bateira, C. (2019). Landslide susceptibility assessment using multivariate statistical methods: A case study in northern Portugal. *Natural Hazards*, 96(2), 845–870. DOI:10.5194/nhess-2-73-2002
5. Box, G. E. P., Jenkins, G. M., Reinsel, G. C., & Ljung, G. M. (2015). *Time series analysis: Forecasting and control* (5th ed.). Wiley.
6. Bragagnolo, L., da Silva, R. F., & Grzybowski, J. M. V. (2020). Landslide susceptibility mapping with machine learning algorithms: A comparison of methods. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 11(1), 1603–1631. DOI.org/10.1016/j.gsf.2020.05.010

7. Casagli, N., Intrieri, E., Tofani, V., Gigli, G., & Raspini, F. (2023). Landslide detection, monitoring and prediction with remote-sensing techniques. *Nature Reviews Earth & Environment*, 4(1), 51–64. <https://doi.org/10.1038/s43017-022-00373-x>

8. Chen, W., Peng, J., Hong, H., Shahabi, H., Pradhan, B., Liu, J., Zhu, A.-X., Pei, X., & Duan, Z. (2018). Landslide susceptibility modelling using GIS-based machine learning techniques for Chongren County, Jiangxi Province, China. *Science of the Total Environment*, 626, 1121–1135. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.01.124>

9. Crozier, M. J. (1999). Prediction of rainfall-triggered landslides: A test of the antecedent water status model. *Earth Surface Processes and Landforms*, 24(9), 825–833. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1096-9837\(199908\)24:9<825::AID-ESP14>3.0.CO;2-M](https://doi.org/10.1002/(SICI)1096-9837(199908)24:9<825::AID-ESP14>3.0.CO;2-M)

10. Papa, M. N., Medina, V., Ciervo, F., & Bateman, A. (2013). Derivation of critical rainfall thresholds for shallow landslides as a tool for debris flow early warning systems. *Hydrology and Earth System Sciences*, 17(10), 4095–4107. doi.org/10.5194/hess-17-4095-2013

11. Corominas, J., van Westen, C. J., Frattini, P., Cascini, L., Malet, J.-P., Fotopoulou, S., Catani, F., van den Eeckhaut, M., Mavrouli, O., Agliardi, F., Pitilakis, K., Winter, M. G., Pastor, M., Ferlisi, S., Tofani, V., Hervás, J., & Smith, J. T. (2014). Recommendations for the quantitative analysis of landslide risk. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 73(2), 209–263. <https://doi.org/10.1007/s10064-013-0538-8>

12. Chowdhury, M. S., Rahaman, M. N., Sheikh, M. S., Sayeid, M. A., Mahmud, K. H., & Hafsa, B. (2024). GIS-based landslide susceptibility mapping using

logistic regression, random forest and decision and regression tree models in Chattogram District, Bangladesh. *Heliyon*, 10(1), e23424. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e23424>

13. CYTED/UNESCO. (2012). *Riesgos naturales y desarrollo sostenible en América Latina*. UNESCO.
14. Froude, M. J., & Petley, D. N. (2018). Global fatal landslide occurrence from 2004 to 2016. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 18, 2161–2181. doi.org/10.5194/nhess-18-2161-2018
15. Gariano, S. L., & Guzzetti, F. (2016). *Landslides in a changing climate*. *Earth-Science Reviews*, 162, 227–252. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2016.08.011>
16. Gobernación del Huila. (2020). *Plan de Ordenamiento Departamental del Huila (POD Huila)*. <https://www.huila.gov.co/administrativo-de-planeacion/publicaciones/9943/pod-plan-de-ordenamiento-territorial-del-huila/>
17. Guzzetti, F., Reichenbach, P., Cardinali, M., Galli, M., & Ardizzone, F. (2005). Probabilistic landslide hazard assessment at the basin scale. *Geomorphology*, 72(1–4), 272–299. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2005.06.002>
18. Haneberg, W. C. (2004). Landslide probability estimation using Monte Carlo simulation. *Environmental & Engineering Geoscience*, 10(4), 331–346. doi.org/10.2113/10.4.331

19. Hosmer, D. W., Lemeshow, S., & Sturdivant, R. X. (2013). *Applied logistic regression* (3rd ed.). Wiley
20. Hungr, O., Leroueil, S., & Picarelli, L. (2014). The Varnes classification of landslide types, an update. *Landslides*, 11(2), 167–194. <https://doi.org/10.1007/s10346-013-0436-y>
21. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. (2026). *AQUARIUS WebPortal: Series hidrometeorológicas de Colombia*. <https://aquariuswebportal.ideam.gov.co/>
22. Instituto Geográfico Agustín Codazzi. (2026). *Datos Abiertos del IGAC*. <https://www.igac.gov.co/datos-abiertos/>
23. Iverson, R. M. (2000). Landslide triggering by rain infiltration. *Water Resources Research*, 36(7), 1897–1910. <https://doi.org/10.1029/2000WR900090>
24. Lee, S., Roh, M., Jo, H.-W., Kim, J., Lee, W.-K., et al. (2025). Machine learning-based rainfall-induced landslide susceptibility model and short-term early warning assessment in South Korea. *Landslides*. <https://doi.org/10.1007/s10346-025-02513-y>
25. Montanari, A., Rosso, R., & Taqqu, M. S. (2000). A seasonal fractional ARIMA model applied to the Nile River monthly flows at Aswan. *Water Resources Research*, 36(5), 1249–1260. <https://doi.org/10.1029/2000WR900012>
26. Muñoz-Mandujano, M., Gutiérrez-López, A., Acuña-García, J. A., Ibarra-Corona, M. A., Aguilar, I. C., & Vargas-Díaz, J. A. (2024). Sensitivity analysis

of start point of extreme daily rainfall using CRHUDA and stochastic models. *Stats*, 7(1), 160–171. <https://doi.org/10.3390/stats7010010>

27. Papa, M. N., Medina, V., Ciervo, F., & Bateman, A. (2013). Derivation of critical rainfall thresholds for shallow landslides as a tool for debris flow early warning systems. *Hydrology and Earth System Sciences*, 17(10), 4095–4107. <https://doi.org/10.5194/hess-17-4095-2013>

28. Reichenbach, P., Rossi, M., Malamud, B. D., Mihir, M., & Guzzetti, F. (2018). *A review of statistically-based landslide susceptibility models*. *Earth-Science Reviews*, 180, 60–91. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2018.03.001>

29. Servicio Geológico Colombiano. (2023). *Sistema de Información de Movimientos en Masa (SIMMA): Inventario nacional de movimientos en masa en Colombia*. <https://simma.sgc.gov.co>

30. UNDRR. (2022). *Early Warning Systems for All*.

31. United Nations Office for Disaster Risk Reduction. (2019). *Global assessment report on disaster risk reduction 2019*. United Nations. <https://www.undrr.org/publication/global-assessment-report-disaster-risk-reduction-2019>

32. Zhang, K., Wu, X., Niu, Y., Zhang, Y., & Ding, H. (2019). Characteristics and influencing factors of rainfall-induced landslide and debris flow hazards in Shaanxi Province, China. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 19, 93–105. <https://doi.org/10.5194/nhess-19-93-2019>

ANEXOS

ANEXO 1

Inventario de eventos registrados en el SIMMA para el departamento del Huila Colombia.

Movimiento	Fecha evento	Departamento	Municipio/Vereda	Latitud	Longitud
Deslizamiento	30/04/2025	HUILA	LA PLATA	2.477	-75.923
Deslizamiento	30/04/2025	HUILA	LA PLATA	2.485556	-75.949
Deslizamiento	29/04/2025	HUILA	LA PLATA	2.485	-75.948
Deslizamiento	27/04/2025	HUILA	TIMANÁ	2.03	-75.868
Caida	26/04/2025	HUILA	LA PLATA	2.474759	-75.9229
Deslizamiento	25/04/2025	HUILA	LA PLATA	2.478	-75.929
Deslizamiento	25/04/2025	HUILA	NEIVA	2.835	-75.096
Deslizamiento	02/04/2025	HUILA	TIMANÁ	1.904	-75.969
Deslizamiento	01/04/2025	HUILA	PITALITO	1.722	-76.182
Deslizamiento	15/03/2025	HUILA	PITALITO	1.713	-76.191
Deslizamiento	14/03/2025	HUILA	PITALITO	1.704	-76.189
Deslizamiento	12/03/2025	HUILA	ALTAMIRA	1.998	-75.791
Deslizamiento	12/03/2025	HUILA	LA PLATA	2.417	-75.859
Deslizamiento	10/03/2025	HUILA	PAICOL	2.463	-75.832
Deslizamiento	06/03/2025	HUILA	GARZÓN	2.183	-75.659
Deslizamiento	27/02/2025	HUILA	LA PLATA	2.485	-75.945
Deslizamiento	17/02/2025	HUILA	PAICOL	2.46	-75.786
Deslizamiento	17/02/2025	HUILA	PAICOL	2.459	-75.789
Deslizamiento	06/02/2025	HUILA	ISNOS	1.967222	-76.2483
Deslizamiento	03/02/2025	HUILA	LA PLATA	2.487	-75.943
Caida	08/01/2025	HUILA	PAICOL	2.479	-75.808
Deslizamiento	05/01/2025	HUILA	LA PLATA	2.273	-75.972
Deslizamiento	31/12/2024	HUILA	SAN AGUSTIN	1.873	-76.235
Deslizamiento	29/12/2024	HUILA	AIPE	3.313056	-75.2395
Caida	29/12/2024	HUILA	TESALIA	2.459	-75.587

Movimiento	Fecha evento	Departamento	Municipio/Vereda	Latitud	Longitud
Deslizamiento	29/12/2024	HUILA	AIPE	3.313056	-75.2395
Caida	24/12/2024	HUILA	ÍQUIRA	2.662	-75.619
Deslizamiento	24/12/2024	HUILA	TERUEL	2.726	-75.57
Deslizamiento	18/12/2024	HUILA	LA PLATA	2.476	-75.926
Deslizamiento	16/12/2024	HUILA	TESALIA	2.454	-75.597
Caida	13/12/2024	HUILA	PAICOL	2.478	-75.805
Deslizamiento	06/12/2024	HUILA	LA PLATA	2.475	-75.923
Deslizamiento	27/11/2024	HUILA	ALTAMIRA	1.997	-75.7911
Deslizamiento	18/11/2024	HUILA	NEIVA	2.887	-75.21
Deslizamiento	18/11/2024	HUILA	LA PLATA	2.464	-75.918
Caida	17/11/2024	HUILA	NEIVA	2.892	-75.152
Caida	16/11/2024	HUILA	NEIVA	2.882992	-75.1508
Deslizamiento	14/11/2024	HUILA	LA PLATA	2.477	-75.9319
Deslizamiento	14/11/2024	HUILA	NEIVA	2.832	-75.097
Deslizamiento	13/11/2024	HUILA	NEIVA	2.836	-75.092
Flujo	12/11/2024	HUILA	TIMANÁ	2.031	-75.866
Deslizamiento	12/11/2024	HUILA	SUAZA	1.986068	-75.7933
Deslizamiento	11/11/2024	HUILA	NÁTAGA	2.526	-75.806
Deslizamiento	11/11/2024	HUILA	NÁTAGA	2.52	-75.8
Deslizamiento	10/11/2024	HUILA	TESALIA	2.45315	-75.5981
Deslizamiento	02/11/2024	HUILA	GUADALUPE	1.945	-75.7008
Caida	06/06/2024	HUILA	SUAZA	1.765889	-75.777
Deslizamiento	05/05/2024	HUILA	PAICOL	2.478	-75.809
Deslizamiento	03/05/2024	HUILA	PAICOL	2.47	-75.793
Deslizamiento	03/04/2024	HUILA	GARZÓN	2.179	-75.666
Deslizamiento	02/04/2024	HUILA	LA PLATA	2.302	-75.953
Deslizamiento	02/04/2024	HUILA	LA PLATA	2.301	-75.954
Caida	26/03/2024	HUILA	TESALIA	2.460967	-75.585
Deslizamiento	28/12/2023	HUILA	TERUEL	2.7119	-75.594
Deslizamiento	27/11/2023	HUILA	LA PLATA	2.303	-75.954
Flujo	04/11/2023	HUILA	LA PLATA	2.425	-75.8889
Flujo	02/11/2023	HUILA	LA PLATA	2.423	-75.89
Deslizamiento	15/07/2023	HUILA	TIMANÁ	2.01	-75.889
Deslizamiento	16/06/2023	HUILA	PITALITO	1.674	-76.228

Movimiento	Fecha evento	Departamento	Municipio/Vereda	Latitud	Longitud
Deslizamiento	15/06/2023	HUILA	BRUSELAS	1.764057	-76.1761
Deslizamiento	05/06/2023	HUILA	LA PLATA	2.427	-75.89
Deslizamiento	25/05/2023	HUILA	SAN AGUSTIN	2.16	-76.423
Deslizamiento	24/04/2023	HUILA	CAMPOALEGRE	2.676	-75.409
Deslizamiento	07/04/2023	HUILA	ALTAMIRA	2.046444	-75.793
Deslizamiento	06/04/2023	HUILA	LA PLATA	2.424	-75.889
Deslizamiento	13/03/2023	HUILA	LA PLATA	2.424	-75.889
Deslizamiento	13/03/2023	HUILA	TERUEL	2.696	-75.611
Deslizamiento	11/03/2023	HUILA	LA PLATA	2.423	-75.89
Deslizamiento	16/01/2023	HUILA	PAICOL	2.48	-75.812
Deslizamiento	07/01/2023	HUILA	LA PLATA	2.479	-75.93
Deslizamiento	07/01/2023	HUILA	LA PLATA	2.423	-75.89
Flujo	05/01/2023	HUILA	NÁTAGA	2.517	-75.805
Flujo	05/01/2023	HUILA	NÁTAGA	2.535	-75.806
Deslizamiento	04/01/2023	HUILA	TESALIA	2.454	-75.597
Deslizamiento	03/01/2023	HUILA	TESALIA	2.461	-75.586
Caída	27/12/2022	HUILA	LA PLATA	2.424	-75.889
Deslizamiento	17/12/2022	HUILA	NÁTAGA	2.489	-75.8143
Caída	05/12/2022	HUILA	LA PLATA	2.302	-75.954
Deslizamiento	04/12/2022	HUILA	LA PLATA	2.425	-75.89
Deslizamiento	02/12/2022	HUILA	TESALIA	2.461	-75.586
Deslizamiento	24/11/2022	HUILA	LA PLATA	2.312	-75.944
Deslizamiento	24/11/2022	HUILA	LA PLATA	2.451	-75.912
Deslizamiento	24/11/2022	HUILA	TESALIA	2.461	-75.586
Deslizamiento	24/11/2022	HUILA	TESALIA	2.461	-75.584
Deslizamiento	23/11/2022	HUILA	NEIVA	2.824	-75.0874
Deslizamiento	23/11/2022	HUILA	RIVERA	2.765	-75.075
Deslizamiento	26/10/2022	HUILA	PAICOL	2.46	-75.784
Deslizamiento	26/10/2022	HUILA	ALTAMIRA	2.025	-75.778
Deslizamiento	29/08/2022	HUILA	GIGANTE	2.425	-75.527
Deslizamiento	02/08/2022	HUILA	TIMANÁ	2.023	-75.88
Deslizamiento	28/07/2022	HUILA	TIMANÁ	1.941	-75.942
Deslizamiento	28/07/2022	HUILA	TIMANÁ	2.022	-75.88
Caída	27/07/2022	HUILA	TESALIA	2.459	-75.727
Caída	29/03/2022	HUILA	TIMANÁ	2.031	-75.868
Deslizamiento	01/02/2022	HUILA	PITALITO	1.845	-76.093
Deslizamiento	01/02/2022	HUILA	SUAZA	1.811	-75.79

Movimiento	Fecha evento	Departamento	Municipio/Vereda	Latitud	Longitud
Deslizamiento	01/02/2022	HUILA	PITALITO	1.67	-76.232
Deslizamiento	23/07/2021	HUILA	SUAZA	1.796	-75.791
Deslizamiento	23/07/2021	HUILA	SUAZA	1.803	-75.784
Deslizamiento	23/07/2021	HUILA	SUAZA	1.825	-75.802
Deslizamiento	23/07/2021	HUILA	ISNOS	1.873	-76.21
Deslizamiento	23/07/2021	HUILA	SUAZA	1.791	-75.782
Caida	20/07/2021	HUILA	ISNOS	1.871	-76.23
Deslizamiento	01/07/2021	HUILA	SUAZA	1.836	-75.81
Deslizamiento	29/06/2021	HUILA	LA PLATA	2.271	-75.972
Deslizamiento	27/06/2021	HUILA	RIVERA	2.796	-75.076
Deslizamiento	27/06/2021	HUILA	NEIVA	2.881	-75.147
Deslizamiento	15/06/2021	HUILA	LA PLATA	2.485	-75.938
Deslizamiento	30/05/2021	HUILA	GUAYABAL	1.902517	-75.8065
Deslizamiento	03/05/2021	HUILA	LA PLATA	2.202	-76.045
Deslizamiento	03/05/2021	HUILA	LA PLATA	2.234	-75.995
Deslizamiento	03/05/2021	HUILA	TESALIA	2.503	-75.725
Deslizamiento	28/04/2021	HUILA	LA PLATA	2.322	-75.94
Caida	05/03/2021	HUILA	TIMANÁ	2.003	-75.902
Reptación	22/01/2021	HUILA	GUADALUPE	1.949	-75.694
Caida	22/01/2021	HUILA	GUADALUPE	1.925	-75.693
Deslizamiento	22/01/2021	HUILA	TIMANÁ	1.99	-75.918
Deslizamiento	22/01/2021	HUILA	TIMANÁ	1.990013	-75.8746
Deslizamiento	07/01/2021	HUILA	SUAZA	1.963	-75.799
Deslizamiento	30/12/2020	HUILA	TESALIA	2.623	-75.669
Caida	28/12/2020	HUILA	GUADALUPE	1.941	-75.702
Deslizamiento	19/11/2020	HUILA	NEIVA	2.836	-75.093
Caida	13/10/2020	HUILA	CAMPOALEGRE	2.731813	-75.3168
Caida	13/10/2020	HUILA	LA PLATA	2.337	-75.937
Deslizamiento	24/09/2020	HUILA	SUAZA	1.977	-75.797
Deslizamiento	24/09/2020	HUILA	GUADALUPE	1.933	-75.705
Deslizamiento	24/09/2020	HUILA	SUAZA	1.765	-75.78
Deslizamiento	21/09/2020	HUILA	ISNOS	2.024	-76.273
Deslizamiento	09/09/2020	HUILA	ALTAMIRA	2.028	-75.777
Caida	09/09/2020	HUILA	SUAZA	1.78	-75.774
Deslizamiento	09/09/2020	HUILA	SUAZA	1.765	-75.78
Deslizamiento	05/09/2020	HUILA	SUAZA	1.78	-75.775

Movimiento	Fecha evento	Departamento	Municipio/Vereda	Latitud	Longitud
Deslizamiento	04/09/2020	HUILA	SUAZA	1.814	-75.796
Deslizamiento	04/09/2020	HUILA	SUAZA	1.79	-75.78
Deslizamiento	04/09/2020	HUILA	SUAZA	1.791	-75.782
Deslizamiento	04/09/2020	HUILA	SUAZA	1.793	-75.783
Deslizamiento	04/09/2020	HUILA	SUAZA	1.799	-75.783
Deslizamiento	04/09/2020	HUILA	SUAZA	1.803	-75.784
Deslizamiento	04/09/2020	HUILA	SUAZA	1.803	-75.784
Deslizamiento	04/09/2020	HUILA	SUAZA	1.804	-75.784
Deslizamiento	04/09/2020	HUILA	SUAZA	1.806	-75.785
Deslizamiento	04/09/2020	HUILA	SUAZA	1.807	-75.786
Deslizamiento	04/09/2020	HUILA	SUAZA	1.809	-75.785
Deslizamiento	04/09/2020	HUILA	SUAZA	1.817	-75.798
Deslizamiento	04/09/2020	HUILA	SUAZA	1.817444	-75.797
Deslizamiento	04/09/2020	HUILA	SUAZA	1.8145	-75.7967
Deslizamiento	11/08/2020	HUILA	SUAZA	1.765	-75.779
Caida	30/07/2020	HUILA	GUADALUPE	1.907	-75.681
Deslizamiento	27/07/2020	HUILA	LA PLATA	2.221	-76.128
Caida	06/07/2020	HUILA	LA PLATA	2.292612	-75.9593
Caida	06/07/2020	HUILA	LA PLATA	2.317	-75.942
Flujo	06/07/2020	HUILA	LA PLATA	2.299	-75.955
Caida	06/07/2020	HUILA	LA PLATA	2.29184	-75.9594
Caida	06/07/2020	HUILA	LA PLATA	2.336	-75.938
Caida	06/07/2020	HUILA	LA PLATA	2.301	-75.954
Caida	06/07/2020	HUILA	LA PLATA	2.293	-75.959
Caida	06/07/2020	HUILA	LA PLATA	2.292741	-75.9592
Caida	06/07/2020	HUILA	LA PLATA	2.317	-75.962
Caida	06/07/2020	HUILA	LA PLATA	2.285	-75.964
Caida	06/07/2020	HUILA	LA PLATA	2.336	-75.937
Deslizamiento	20/06/2020	HUILA	SUAZA	1.765	-75.779
Propagación lateral	16/06/2020	HUILA	GUADALUPE	1.961	-75.727
Deslizamiento	16/04/2020	HUILA	NEIVA	2.891	-75.151
Deslizamiento	16/04/2020	HUILA	NEIVA	2.851	-75.113
Deslizamiento	19/11/2019	HUILA	PAICOL	2.455783	-75.7623
Caida	15/11/2019	HUILA	PAICOL	2.475444	-75.8041

Movimiento	Fecha evento	Departamento	Municipio/Vereda	Latitud	Longitud
Deslizamiento	15/11/2019	HUILA	LA PLATA	2.425756	-75.8897
Deslizamiento	11/11/2019	HUILA	LA PLATA	2.22145	-76.1286
Deslizamiento	09/10/2019	HUILA	SUAZA	1.799678	-75.7831
Flujo	20/09/2019	HUILA	NEIVA	3.029934	-75.2834
Caida	19/07/2019	HUILA	OPORAPA	2.011269	-76.0058
Flujo	15/05/2019	HUILA	PITALITO	1.825871	-76.1419
Flujo	28/03/2019	HUILA	PITALITO	1.825871	-76.1419
Flujo	19/11/2018	HUILA	CAMPOALEGRE	2.645973	-75.3049
Flujo	30/09/2018	HUILA	CAMPOALEGRE	2.645973	-75.3049
Flujo	10/05/2018	HUILA	TIMANÁ	1.949601	-75.9076
Flujo	02/05/2018	HUILA	SAN ADOLFO	1.669628	-76.0185
Flujo	15/04/2018	HUILA	CAMPOALEGRE	2.645973	-75.3049
Deslizamiento	29/03/2018	HUILA	OPORAPA	2.010564	-76.0081
Flujo	01/03/2018	HUILA	ACEVEDO	1.792478	-75.91
Caida	02/01/2018	HUILA	PITAL	2.266892	-75.8258
Flujo	27/12/2017	HUILA	CAMPOALEGRE	2.645973	-75.3049
Deslizamiento	12/12/2017	HUILA	TIMANÁ	1.950968	-75.9173
Deslizamiento	20/11/2017	HUILA	TIMANÁ	1.950968	-75.9173
Flujo	20/11/2017	HUILA	TIMANÁ	1.949601	-75.9076
Deslizamiento	18/11/2017	HUILA	TARQUI	2.130317	-75.8757
Deslizamiento	18/11/2017	HUILA	TARQUI	2.130317	-75.8757
Flujo	18/11/2017	HUILA	COLOMBIA	3.378822	-74.8125
Deslizamiento	17/11/2017	HUILA	SAN AGUSTIN	2.160575	-76.4262

Movimiento	Fecha evento	Departamento	Municipio/Vereda	Latitud	Longitud
Deslizamiento	15/11/2017	HUILA	ISNOS	2.167158	-76.4044
Deslizamiento	15/11/2017	HUILA	ISNOS	2.166794	-76.4117
Deslizamiento	01/11/2017	HUILA	GARZÓN	2.172797	-75.5713
Deslizamiento	12/08/2017	HUILA	ALTAMIRA	2.079513	-75.7686
Deslizamiento	09/08/2017	HUILA	SUAZA	1.970958	-75.7971
Deslizamiento	21/06/2017	HUILA	SUAZA	1.796144	-75.7858
Flujo	15/06/2017	HUILA	COLOMBIA	3.378914	-74.8126
Deslizamiento	22/05/2017	HUILA	BARAYA	3.135452	-74.958
Deslizamiento	22/05/2017	HUILA	SAN JOAQUIN	2.926343	-75.6333
Deslizamiento	18/05/2017	HUILA	NÁTAGA	2.576752	-75.7875
Deslizamiento	16/05/2017	HUILA	SAN AGUSTIN	1.924107	-76.4167
Deslizamiento	16/05/2017	HUILA	TESALIA	2.527384	-75.6832
Deslizamiento	16/05/2017	HUILA	TARQUI	2.130317	-75.8757
Deslizamiento	16/05/2017	HUILA	ISNOS	1.945591	-76.1821
Deslizamiento	15/05/2017	HUILA	SAN AGUSTIN	1.924107	-76.4167
Deslizamiento	14/05/2017	HUILA	LA ARGENTINA	2.156606	-76.0071
Deslizamiento	14/05/2017	HUILA	SAN AGUSTIN	1.924107	-76.4167
Deslizamiento	14/05/2017	HUILA	NEIVA	3.006661	-75.2818
Deslizamiento	14/05/2017	HUILA	SAN AGUSTIN	1.924107	-76.4167
Deslizamiento	14/05/2017	HUILA	ELÍAS	2.022514	-75.9442
Deslizamiento	14/05/2017	HUILA	PITALITO	1.826774	-76.1192
Deslizamiento	14/05/2017	HUILA	TIMANÁ	1.950968	-75.9173
Deslizamiento	14/05/2017	HUILA	TESALIA	2.527384	-75.6832

Movimiento	Fecha evento	Departamento	Municipio/Vereda	Latitud	Longitud
Deslizamiento	12/05/2017	HUILA	TARQUI	2.130317	-75.8757
Deslizamiento	12/05/2017	HUILA	TERUEL	2.851521	-75.7596
Deslizamiento	12/05/2017	HUILA	SAN AGUSTIN	1.924107	-76.4167
Propagación lateral	11/05/2017	HUILA	PAICOL	2.471478	-75.8255
Caida	10/05/2017	HUILA	PAICOL	2.475	-75.8039
Flujo	09/05/2017	HUILA	CAMPOALEGRE	2.707122	-75.3085
Deslizamiento	03/05/2017	HUILA	SAN JOAQUIN	2.954297	-75.609
Flujo	06/04/2017	HUILA	BARAYA	3.123983	-74.9666
Deslizamiento	01/04/2017	HUILA	SALADOBLANCO	2.001308	-76.0147
Deslizamiento	01/04/2017	HUILA	AIPE	3.243966	-75.2757
Deslizamiento	31/03/2017	HUILA	SALADOBLANCO	2.100224	-76.2286
Deslizamiento	30/03/2017	HUILA	SAN JOAQUIN	2.926343	-75.6333
Deslizamiento	30/03/2017	HUILA	SAN JOAQUIN	2.926343	-75.6333
Deslizamiento	15/03/2017	HUILA	NEIVA	2.92025	-75.1623
Deslizamiento	15/03/2017	HUILA	VEGALARGA	2.924444	-75.0275
Propagación lateral	03/03/2017	HUILA	CAMPOALEGRE	2.655311	-75.3159
Caida	06/02/2017	HUILA	COLOMBIA	3.381253	-74.8137
Flujo	23/01/2017	HUILA	ALGECIRAS	2.511712	-75.289
Flujo	22/01/2017	HUILA	ALGECIRAS	2.511712	-75.289
Caida	21/01/2017	HUILA	OPORAPA	2.008083	-76.0117
Deslizamiento	21/01/2017	HUILA	SUAZA	1.865678	-75.8431
Caida	21/01/2017	HUILA	TIMANÁ	2.042097	-75.8596
Caida	18/01/2017	HUILA	GIGANTE	2.436833	-75.5271

Movimiento	Fecha evento	Departamento	Municipio/Vereda	Latitud	Longitud
Caida	11/01/2017	HUILA	ALTAMIRA	2.051902	-75.8509
Flujo	14/09/2016	HUILA	PITALITO	1.825871	-76.1419
Deslizamiento	25/07/2013	HUILA	ÍQUIRA	2.648611	-75.6361
Deslizamiento	18/07/2013	HUILA	SUAZA	1.969167	-75.8167
Deslizamiento	08/07/2013	HUILA	SUAZA	1.975556	-75.795
Deslizamiento	11/06/2013	HUILA	RIVERA	2.786111	-75.2586
Flujo	01/06/2013	HUILA	NEIVA	2.860953	-75.0292
Deslizamiento	09/02/2013	HUILA	SAN LUIS	2.921097	-75.291
Deslizamiento	19/10/2012	HUILA	GARZÓN	2.199722	-75.4481
Deslizamiento	10/10/2012	HUILA	CRIOLLO	1.863611	-76.1581
Deslizamiento	10/10/2012	HUILA	PITALITO	1.811389	-76.1517
Deslizamiento	06/10/2012	HUILA	ISNOS	1.865556	-76.2136
Deslizamiento	17/08/2012	HUILA	LA PLATA	2.364444	-75.8508
Deslizamiento	18/07/2012	HUILA	PITALITO	1.887933	-75.9966
Deslizamiento	18/07/2012	HUILA	TIMANÁ	1.893056	-75.9914
Deslizamiento	15/07/2012	HUILA	SUAZA	1.805556	-75.7844
Flujo	10/06/2012	HUILA	NEIVA	2.954728	-75.1203
Deslizamiento	18/05/2012	HUILA	TESALIA	2.513889	-75.7264
Deslizamiento	15/05/2012	HUILA	GARZÓN	2.164229	-75.5495
Deslizamiento	07/05/2012	HUILA	PITALITO	1.478611	-76.4164
Deslizamiento	07/05/2012	HUILA	SUAZA	1.962222	-75.7989
Deslizamiento	06/05/2012	HUILA	PITALITO	1.7825	-76.1567
Deslizamiento	03/05/2012	HUILA	ISNOS	1.953611	-76.1597

Movimiento	Fecha evento	Departamento	Municipio/Vereda	Latitud	Longitud
Deslizamiento	09/04/2012	HUILA	GARZÓN	2.22111 1	-75.64
Deslizamiento	09/04/2012	HUILA	TERUEL	2.75527 8	-75.5661
Deslizamiento	09/04/2012	HUILA	LA PLATA	2.32795 3	-76.0122
Deslizamiento	09/04/2012	HUILA	AVISPERO	1.86722 2	-75.8231
Deslizamiento	09/04/2012	HUILA	GARZÓN	2.20833 3	-75.6275
Deslizamiento	09/04/2012	HUILA	PITAL	2.30361 1	-75.8442
Deslizamiento	09/04/2012	HUILA	EL SOCORRO	2.31444 4	-75.8378
Deslizamiento	26/03/2012	HUILA	GARZÓN	2.16422 9	-75.5495
Deslizamiento	28/02/2012	HUILA	TIMANÁ	1.98444 4	-75.9231
Deslizamiento	14/02/2012	HUILA	OPORAPA	2.01008 6	-76.0069
Deslizamiento	09/02/2012	HUILA	HOBÓ	2.58305 6	-75.4497
Deslizamiento	09/02/2012	HUILA	ZULUAGA	2.24916 7	-75.5353
Deslizamiento	27/01/2012	HUILA	SAN ANTONIO	2.92083 3	-75.095
Deslizamiento	25/01/2012	HUILA	GARZÓN	2.25444 4	-75.615
Deslizamiento	24/01/2012	HUILA	TERUEL	2.72221 1	-75.5746
Deslizamiento	24/01/2012	HUILA	LA PLATA	2.37805 6	-75.8969
Deslizamiento	24/01/2012	HUILA	NEIVA	2.99777 8	-75.3044
Deslizamiento	24/01/2012	HUILA	NEIVA	2.94555 6	-75.2872
Deslizamiento	24/01/2012	HUILA	FORTALECILLAS	2.99833 3	-75.3044
Deslizamiento	17/01/2012	HUILA	LA PLATA	2.34638 9	-75.9278
Deslizamiento	06/01/2012	HUILA	LA PLATA	2.2	-76.0069
Deslizamiento	12/09/2011	HUILA	NEIVA	3.18638 9	-75.4789
Deslizamiento	03/05/2011	HUILA	OPORAPA	2.04444 4	-75.9889

Movimiento	Fecha evento	Departamento	Municipio/Vereda	Latitud	Longitud
Deslizamiento	01/05/2011	HUILA	TIMANÁ	1.87	-75.96
Deslizamiento	30/04/2011	HUILA	TIMANÁ	1.979444	-75.945
Deslizamiento	29/04/2011	HUILA	PITALITO	1.864722	-76.0528
Deslizamiento	28/04/2011	HUILA	AGRADO	2.26	-75.78
Deslizamiento	27/04/2011	HUILA	PAICOL	2.448611	-75.775
Deslizamiento	25/04/2011	HUILA	ACEVEDO	1.8	-75.92
Deslizamiento	23/04/2011	HUILA	BARAYA	3.153611	-75.0533
Deslizamiento	23/04/2011	HUILA	HOBÓ	2.582778	-75.4517
Deslizamiento	23/04/2011	HUILA	OPORAPA	2.044444	-75.9889
Deslizamiento	23/04/2011	HUILA	TELLO	3.065833	-75.1383
Deslizamiento	23/04/2011	HUILA	TIMANÁ	1.979444	-75.945
Deslizamiento	21/04/2011	HUILA	ALGECIRAS	2.524444	-75.3167
Deslizamiento	21/04/2011	HUILA	CAMPOALEGRE	2.686111	-75.3264
Deslizamiento	21/04/2011	HUILA	TERUEL	2.741111	-75.5675
Deslizamiento	21/04/2011	HUILA	ACEVEDO	1.84	-75.9
Deslizamiento	20/04/2011	HUILA	HOBÓ	2.582778	-75.4517
Deslizamiento	19/04/2011	HUILA	TIMANÁ	1.91	-75.94
Deslizamiento	19/04/2011	HUILA	TIMANÁ	1.95	-75.98
Deslizamiento	19/04/2011	HUILA	TESALIA	2.54	-75.65
Deslizamiento	19/04/2011	HUILA	TELLO	3.02	-75.08
Deslizamiento	19/04/2011	HUILA	SUAZA	1.95	-75.81
Deslizamiento	19/04/2011	HUILA	SAN AGUSTIN	1.79	-76.29
Deslizamiento	19/04/2011	HUILA	RIVERA	2.72	-75.16
Deslizamiento	19/04/2011	HUILA	PITALITO	1.88	-76.08
Deslizamiento	19/04/2011	HUILA	PITALITO	1.82	-76.14
Deslizamiento	19/04/2011	HUILA	PITALITO	1.84	-76.07
Deslizamiento	19/04/2011	HUILA	PITALITO	1.89	-76.03
Deslizamiento	19/04/2011	HUILA	OPORAPA	2.03	-75.99
Deslizamiento	19/04/2011	HUILA	LA PLATA	2.45	-75.99
Deslizamiento	19/04/2011	HUILA	LA ARGENTINA	2.17	-76.07

Movimiento	Fecha evento	Departamento	Municipio/Vereda	Latitud	Longitud
Deslizamiento	19/04/2011	HUILA	GUADALUPE	2	-75.75
Deslizamiento	19/04/2011	HUILA	GIGANTE	2.39	-75.57
Deslizamiento	19/04/2011	HUILA	GIGANTE	2.42	-75.5
Deslizamiento	19/04/2011	HUILA	GIGANTE	2.35	-75.46
Deslizamiento	19/04/2011	HUILA	GIGANTE	2.29	-75.45
Deslizamiento	19/04/2011	HUILA	GIGANTE	2.37	-75.58
Deslizamiento	19/04/2011	HUILA	GIGANTE	2.32	-75.64
Deslizamiento	19/04/2011	HUILA	GIGANTE	2.38	-75.5
Deslizamiento	19/04/2011	HUILA	GIGANTE	2.29	-75.49
Deslizamiento	19/04/2011	HUILA	GARZÓN	2.26	-75.6
Deslizamiento	19/04/2011	HUILA	GARZÓN	2.22	-75.63
Deslizamiento	19/04/2011	HUILA	GARZÓN	2.08	-75.64
Deslizamiento	19/04/2011	HUILA	GARZÓN	2.24	-75.62
Deslizamiento	19/04/2011	HUILA	ALGECIRAS	2.49	-75.3
Deslizamiento	19/04/2011	HUILA	ALGECIRAS	2.45	-75.32
Deslizamiento	19/04/2011	HUILA	AIPE	3.32	-75.42
Deslizamiento	19/04/2011	HUILA	ÍQUIRA	2.649167	-75.6364
Deslizamiento	16/04/2011	HUILA	SUAZA	1.9775	-75.8119
Deslizamiento	15/04/2011	HUILA	TESALIA	2.53	-75.64
Deslizamiento	15/04/2011	HUILA	TESALIA	2.5	-75.64
Deslizamiento	15/04/2011	HUILA	SUAZA	1.92	-75.84
Deslizamiento	15/04/2011	HUILA	SAN AGUSTIN	1.72	-76.35
Deslizamiento	15/04/2011	HUILA	PITALITO	1.89	-76.11
Deslizamiento	15/04/2011	HUILA	PITALITO	1.86	-76.05
Deslizamiento	15/04/2011	HUILA	PITALITO	1.83	-76.03
Deslizamiento	15/04/2011	HUILA	PITALITO	1.79	-76.05
Deslizamiento	15/04/2011	HUILA	PITALITO	1.9	-76.02
Deslizamiento	15/04/2011	HUILA	OPORAPA	2.07	-76.01
Deslizamiento	15/04/2011	HUILA	GUADALUPE	2.03	-75.72
Deslizamiento	15/04/2011	HUILA	GIGANTE	2.33	-75.51
Deslizamiento	15/04/2011	HUILA	GIGANTE	2.33	-75.53
Deslizamiento	15/04/2011	HUILA	GIGANTE	2.31	-75.4
Deslizamiento	15/04/2011	HUILA	GIGANTE	2.35	-75.61
Deslizamiento	15/04/2011	HUILA	GIGANTE	2.42	-75.53
Deslizamiento	15/04/2011	HUILA	GIGANTE	2.46	-75.56
Deslizamiento	15/04/2011	HUILA	GARZÓN	2.15	-75.51
Deslizamiento	15/04/2011	HUILA	GARZÓN	2.13	-75.57

Movimiento	Fecha evento	Departamento	Municipio/Vereda	Latitud	Longitud
Deslizamiento	15/04/2011	HUILA	GARZÓN	2.14	-75.55
Deslizamiento	15/04/2011	HUILA	GARZÓN	2.09	-75.56
Deslizamiento	15/04/2011	HUILA	ALGECIRAS	2.36	-75.37
Deslizamiento	15/04/2011	HUILA	ALGECIRAS	2.61	-75.17
Deslizamiento	15/04/2011	HUILA	AIPE	3.22	-75.26
Deslizamiento	15/04/2011	HUILA	TIMANÁ	1.96	-75.92
Deslizamiento	15/04/2011	HUILA	TIMANÁ	1.93	-75.95
Deslizamiento	15/04/2011	HUILA	PALERMO	2.88861 1	-75.4339
Deslizamiento	10/04/2011	HUILA	ÍQUIRA	2.64916 7	-75.6364
Deslizamiento	07/04/2011	HUILA	TERUEL	2.74111 1	-75.5675
Deslizamiento	06/04/2011	HUILA	SAN JOAQUIN	2.94194 4	-75.5942
Deslizamiento	05/04/2011	HUILA	AGRADO	2.27	-75.72
Deslizamiento	23/03/2011	HUILA	HOBO	2.58277 8	-75.4517
Deslizamiento	21/03/2011	HUILA	PALERMO	2.88861 1	-75.4339
Deslizamiento	17/03/2011	HUILA	GARZÓN	2.19555 6	-75.6281
Deslizamiento	10/03/2011	HUILA	HOBO	2.58277 8	-75.4517
Deslizamiento	09/03/2011	HUILA	SUAZA	1.9775	-75.8119
Deslizamiento	09/03/2011	HUILA	ALGECIRAS	2.52444 4	-75.3167
Deslizamiento	08/03/2011	HUILA	TELLO	3.06583 3	-75.1383
Deslizamiento	07/03/2011	HUILA	OPORAPA	2.04444 4	-75.9889
Deslizamiento	17/02/2011	HUILA	PITALITO	1.86472 2	-76.0528
Deslizamiento	13/02/2011	HUILA	PITALITO	1.89	-76.12
Deslizamiento	13/02/2011	HUILA	ALGECIRAS	2.46	-75.37
Deslizamiento	13/02/2011	HUILA	YAGUARÁ	2.65	-75.56
Deslizamiento	13/02/2011	HUILA	TIMANÁ	1.91	-75.98
Deslizamiento	13/02/2011	HUILA	TIMANÁ	1.95	-75.97
Deslizamiento	13/02/2011	HUILA	TESALIA	2.51	-75.62
Deslizamiento	13/02/2011	HUILA	TERUEL	2.72	-75.55
Deslizamiento	13/02/2011	HUILA	PITALITO	1.89	-76.03
Deslizamiento	13/02/2011	HUILA	PITALITO	1.88	-76.08

Movimiento	Fecha evento	Departamento	Municipio/Vereda	Latitud	Longitud
Deslizamiento	13/02/2011	HUILA	PITALITO	1.83	-76.05
Deslizamiento	13/02/2011	HUILA	PITALITO	1.88	-76.05
Deslizamiento	13/02/2011	HUILA	AIPE	3.3	-75.28
Deslizamiento	13/02/2011	HUILA	PALESTINA	1.73	-76.08
Deslizamiento	13/02/2011	HUILA	NEIVA	2.87	-75.15
Deslizamiento	13/02/2011	HUILA	GUADALUPE	2.03	-75.64
Deslizamiento	13/02/2011	HUILA	GIGANTE	2.42	-75.47
Deslizamiento	13/02/2011	HUILA	GIGANTE	2.35	-75.52
Deslizamiento	13/02/2011	HUILA	SAN AGUSTIN	1.7	-76.34
Deslizamiento	13/02/2011	HUILA	GIGANTE	2.4	-75.53
Deslizamiento	13/02/2011	HUILA	GIGANTE	2.32	-75.4
Deslizamiento	13/02/2011	HUILA	GIGANTE	2.45	-75.43
Deslizamiento	13/02/2011	HUILA	GIGANTE	2.41	-75.54
Deslizamiento	13/02/2011	HUILA	GIGANTE	2.42	-75.46
Deslizamiento	13/02/2011	HUILA	GIGANTE	2.4	-75.49
Deslizamiento	13/02/2011	HUILA	GARZÓN	2.18	-75.66
Deslizamiento	13/02/2011	HUILA	GARZÓN	2.17	-75.65
Deslizamiento	13/02/2011	HUILA	GARZÓN	2.08	-75.62
Deslizamiento	13/02/2011	HUILA	GARZÓN	2.24	-75.55
Deslizamiento	13/02/2011	HUILA	GARZÓN	2.04	-75.6
Deslizamiento	13/02/2011	HUILA	CAMPOALEGRE	2.7	-75.4
Deslizamiento	06/02/2011	HUILA	YAGUARÁ	2.663056	-75.5158
Deslizamiento	06/02/2011	HUILA	GUADALUPE	2.025278	-75.7733
Deslizamiento	06/01/2011	HUILA	TESALIA	2.55	-75.71
Deslizamiento	06/01/2011	HUILA	TESALIA	2.47	-75.68
Deslizamiento	06/01/2011	HUILA	TERUEL	2.69	-75.56
Deslizamiento	06/01/2011	HUILA	RIVERA	2.74	-75.2
Deslizamiento	06/01/2011	HUILA	PITALITO	1.84	-76.02
Deslizamiento	06/01/2011	HUILA	PITALITO	1.88	-76.05
Deslizamiento	06/01/2011	HUILA	PAICOL	2.43	-75.79
Deslizamiento	06/01/2011	HUILA	NEIVA	2.93	-75.27
Deslizamiento	06/01/2011	HUILA	LA ARGENTINA	2.17	-76.07
Deslizamiento	06/01/2011	HUILA	GUADALUPE	2.05	-75.71
Deslizamiento	06/01/2011	HUILA	GIGANTE	2.37	-75.59
Deslizamiento	06/01/2011	HUILA	GIGANTE	2.41	-75.44
Deslizamiento	06/01/2011	HUILA	GIGANTE	2.46	-75.54
Deslizamiento	06/01/2011	HUILA	GIGANTE	2.3	-75.42

Movimiento	Fecha evento	Departamento	Municipio/Vereda	Latitud	Longitud
Deslizamiento	06/01/2011	HUILA	GIGANTE	2.36	-75.5
Deslizamiento	06/01/2011	HUILA	PITALITO	1.88	-76.04
Deslizamiento	06/01/2011	HUILA	PITALITO	1.84	-76.13
Deslizamiento	06/01/2011	HUILA	GIGANTE	2.36	-75.54
Deslizamiento	06/01/2011	HUILA	GIGANTE	2.36	-75.53
Deslizamiento	06/01/2011	HUILA	GIGANTE	2.32	-75.61
Deslizamiento	06/01/2011	HUILA	GARZÓN	2.18	-75.58
Deslizamiento	06/01/2011	HUILA	GARZÓN	2.28	-75.59
Deslizamiento	06/01/2011	HUILA	GARZÓN	2.23	-75.63
Deslizamiento	06/01/2011	HUILA	CAMPOALEGRE	2.64	-75.34
Deslizamiento	31/12/2010	HUILA	YAGUARÁ	2.663056	-75.5158
Deslizamiento	31/12/2010	HUILA	ALGECIRAS	2.524444	-75.3167
Deslizamiento	20/12/2010	HUILA	AGRADO	2.22	-75.76
Deslizamiento	20/12/2010	HUILA	AGRADO	2.25	-75.7
Deslizamiento	18/12/2010	HUILA	TIMANÁ	1.94	-75.96
Deslizamiento	18/12/2010	HUILA	TESALIA	2.48	-75.68
Deslizamiento	18/12/2010	HUILA	SAN JOAQUIN	2.83	-75.64
Deslizamiento	18/12/2010	HUILA	RIVERA	2.78	-75.1
Deslizamiento	18/12/2010	HUILA	PITALITO	1.82	-76.07
Deslizamiento	18/12/2010	HUILA	PITALITO	1.77	-76.07
Deslizamiento	18/12/2010	HUILA	PITALITO	1.86	-76.03
Deslizamiento	18/12/2010	HUILA	PITALITO	1.85	-76.04
Deslizamiento	18/12/2010	HUILA	PITAL	2.22	-75.86
Deslizamiento	18/12/2010	HUILA	NEIVA	2.94	-75.2
Deslizamiento	18/12/2010	HUILA	GUADALUPE	2.02	-75.74
Deslizamiento	18/12/2010	HUILA	GIGANTE	2.35	-75.61
Deslizamiento	18/12/2010	HUILA	GIGANTE	2.27	-75.49
Deslizamiento	18/12/2010	HUILA	GIGANTE	2.36	-75.43
Deslizamiento	18/12/2010	HUILA	GIGANTE	2.36	-75.56
Deslizamiento	18/12/2010	HUILA	GIGANTE	2.33	-75.54
Deslizamiento	18/12/2010	HUILA	GIGANTE	2.3	-75.52
Deslizamiento	18/12/2010	HUILA	GIGANTE	2.37	-75.51
Deslizamiento	18/12/2010	HUILA	GIGANTE	2.26	-75.48
Deslizamiento	18/12/2010	HUILA	GARZÓN	2.19	-75.48
Deslizamiento	18/12/2010	HUILA	GARZÓN	2.14	-75.6
Deslizamiento	18/12/2010	HUILA	GARZÓN	2.15	-75.51
Deslizamiento	18/12/2010	HUILA	GARZÓN	2.25	-75.58

Movimiento	Fecha evento	Departamento	Municipio/Vereda	Latitud	Longitud
Deslizamiento	18/12/2010	HUILA	CAMPOALEGRE	2.64	-75.23
Deslizamiento	18/12/2010	HUILA	ALTAMIRA	2.16	-75.73
Deslizamiento	18/12/2010	HUILA	ALGECIRAS	2.6	-75.14
Deslizamiento	18/12/2010	HUILA	ALGECIRAS	2.45	-75.28
Deslizamiento	18/12/2010	HUILA	AIPE	3.33	-75.38
Deslizamiento	18/12/2010	HUILA	AGRADO	2.27	-75.71
Deslizamiento	18/12/2010	HUILA	AGRADO	2.26	-75.76
Deslizamiento	18/12/2010	HUILA	TIMANÁ	1.93	-75.96
Deslizamiento	15/12/2010	HUILA	TERUEL	2.741111	-75.5675
Deslizamiento	10/12/2010	HUILA	PALESTINA	1.76	-76.13
Deslizamiento	10/12/2010	HUILA	ÍQUIRA	2.78	-75.78
Deslizamiento	10/12/2010	HUILA	GUADALUPE	2.01	-75.72
Deslizamiento	10/12/2010	HUILA	GIGANTE	2.31	-75.54
Deslizamiento	10/12/2010	HUILA	GIGANTE	2.42	-75.48
Deslizamiento	10/12/2010	HUILA	GIGANTE	2.35	-75.58
Deslizamiento	10/12/2010	HUILA	GIGANTE	2.48	-75.55
Deslizamiento	10/12/2010	HUILA	GIGANTE	2.34	-75.62
Deslizamiento	10/12/2010	HUILA	GIGANTE	2.39	-75.52
Deslizamiento	10/12/2010	HUILA	GIGANTE	2.35	-75.43
Deslizamiento	10/12/2010	HUILA	GIGANTE	2.32	-75.58
Deslizamiento	10/12/2010	HUILA	GIGANTE	2.28	-75.53
Deslizamiento	10/12/2010	HUILA	GIGANTE	2.37	-75.45
Deslizamiento	10/12/2010	HUILA	GIGANTE	2.42	-75.45
Deslizamiento	10/12/2010	HUILA	GARZÓN	2.29	-75.61
Deslizamiento	10/12/2010	HUILA	GARZÓN	2.27	-75.64
Deslizamiento	10/12/2010	HUILA	GARZÓN	2.13	-75.57
Deslizamiento	10/12/2010	HUILA	ALGECIRAS	2.33	-75.35
Deslizamiento	10/12/2010	HUILA	ALGECIRAS	2.4	-75.4
Deslizamiento	10/12/2010	HUILA	ALGECIRAS	2.53	-75.34
Deslizamiento	10/12/2010	HUILA	TIMANÁ	1.98	-75.9
Deslizamiento	10/12/2010	HUILA	TIMANÁ	1.91	-75.98
Deslizamiento	10/12/2010	HUILA	TESALIA	2.49	-75.64
Deslizamiento	10/12/2010	HUILA	TESALIA	2.51	-75.73
Deslizamiento	10/12/2010	HUILA	TELLO	3.01	-75.05
Deslizamiento	10/12/2010	HUILA	TELLO	2.96	-75.07
Deslizamiento	10/12/2010	HUILA	SAN JOAQUIN	2.96	-75.68
Deslizamiento	10/12/2010	HUILA	PITALITO	1.81	-76.08

Movimiento	Fecha evento	Departamento	Municipio/Vereda	Latitud	Longitud
Deslizamiento	10/12/2010	HUILA	PITALITO	1.79	-76.02
Deslizamiento	10/12/2010	HUILA	PITALITO	1.82	-76.04
Deslizamiento	10/12/2010	HUILA	PITALITO	1.89	-76.04
Deslizamiento	10/12/2010	HUILA	PITALITO	1.9	-76.11
Deslizamiento	07/12/2010	HUILA	SALADOBLANCO	2.011667	-76.0469
Deslizamiento	07/12/2010	HUILA	BARAYA	3.153611	-75.0533
Deslizamiento	05/12/2010	HUILA	ALGECIRAS	2.524444	-75.3167
Deslizamiento	04/12/2010	HUILA	GIGANTE	2.45	-75.54
Deslizamiento	04/12/2010	HUILA	GIGANTE	2.35	-75.46
Deslizamiento	04/12/2010	HUILA	GIGANTE	2.39	-75.6
Deslizamiento	04/12/2010	HUILA	GIGANTE	2.38	-75.55
Deslizamiento	04/12/2010	HUILA	GIGANTE	2.37	-75.55
Deslizamiento	04/12/2010	HUILA	GIGANTE	2.34	-75.65
Deslizamiento	04/12/2010	HUILA	GIGANTE	2.36	-75.47
Deslizamiento	04/12/2010	HUILA	GIGANTE	2.41	-75.52
Deslizamiento	04/12/2010	HUILA	GIGANTE	2.45	-75.53
Deslizamiento	04/12/2010	HUILA	GARZÓN	2.17	-75.56
Deslizamiento	04/12/2010	HUILA	GARZÓN	2.17	-75.57
Deslizamiento	04/12/2010	HUILA	GARZÓN	2.24	-75.63
Deslizamiento	04/12/2010	HUILA	GARZÓN	2.23	-75.54
Deslizamiento	04/12/2010	HUILA	GARZÓN	2.23	-75.59
Deslizamiento	04/12/2010	HUILA	CAMPOALEGRE	2.7	-75.35
Deslizamiento	04/12/2010	HUILA	ALTAMIRA	2.09	-75.74
Deslizamiento	04/12/2010	HUILA	ALGECIRAS	2.4	-75.3
Deslizamiento	04/12/2010	HUILA	ALGECIRAS	2.37	-75.35
Deslizamiento	04/12/2010	HUILA	COLOMBIA	3.375	-74.8017
Deslizamiento	04/12/2010	HUILA	GUADALUPE	2.02	-75.72
Deslizamiento	04/12/2010	HUILA	ACEVEDO	1.81	-75.93
Deslizamiento	04/12/2010	HUILA	PITALITO	1.86	-76.01
Deslizamiento	04/12/2010	HUILA	HOBO	2.49	-75.42
Deslizamiento	04/12/2010	HUILA	AIPE	3.14	-75.29
Deslizamiento	04/12/2010	HUILA	YAGUARÁ	2.64	-75.56
Deslizamiento	04/12/2010	HUILA	TIMANÁ	1.9	-75.98
Deslizamiento	04/12/2010	HUILA	TIMANÁ	1.93	-75.95
Deslizamiento	04/12/2010	HUILA	TESALIA	2.55	-75.69
Deslizamiento	04/12/2010	HUILA	TERUEL	2.69	-75.56

Movimiento	Fecha evento	Departamento	Municipio/Vereda	Latitud	Longitud
Deslizamiento	04/12/2010	HUILA	TELLO	2.95	-75.01
Deslizamiento	04/12/2010	HUILA	PITALITO	1.83	-76.02
Deslizamiento	04/12/2010	HUILA	PITALITO	1.88	-76
Deslizamiento	04/12/2010	HUILA	PITALITO	1.88	-76.04
Deslizamiento	04/12/2010	HUILA	PITALITO	1.88	-76.12
Deslizamiento	04/12/2010	HUILA	ALGECIRAS	2.39	-75.34
Deslizamiento	04/12/2010	HUILA	ALGECIRAS	2.45	-75.29
Deslizamiento	03/12/2010	HUILA	ACEVEDO	1.78	-75.87
Deslizamiento	03/12/2010	HUILA	PAICOL	2.448611	-75.775
Deslizamiento	30/11/2010	HUILA	LA PLATA	2.4	-76.03
Deslizamiento	30/11/2010	HUILA	ALGECIRAS	2.39	-75.36
Deslizamiento	30/11/2010	HUILA	TIMANÁ	1.96	-75.87
Deslizamiento	30/11/2010	HUILA	TIMANÁ	1.93	-75.98
Deslizamiento	30/11/2010	HUILA	TESALIA	2.48	-75.73
Deslizamiento	30/11/2010	HUILA	TESALIA	2.52	-75.61
Deslizamiento	30/11/2010	HUILA	SUAZA	1.89	-75.82
Deslizamiento	30/11/2010	HUILA	SAN AGUSTIN	1.75	-76.31
Deslizamiento	30/11/2010	HUILA	PITALITO	1.9	-76.11
Deslizamiento	30/11/2010	HUILA	PITALITO	1.85	-76.02
Deslizamiento	30/11/2010	HUILA	PITALITO	1.88	-76.03
Deslizamiento	30/11/2010	HUILA	PITALITO	1.88	-76.02
Deslizamiento	30/11/2010	HUILA	PALESTINA	1.75	-76.12
Deslizamiento	30/11/2010	HUILA	OPORAPA	2.09	-76.02
Deslizamiento	30/11/2010	HUILA	AIPE	3.27	-75.31
Deslizamiento	30/11/2010	HUILA	GUADALUPE	1.99	-75.76
Deslizamiento	30/11/2010	HUILA	GIGANTE	2.38	-75.55
Deslizamiento	30/11/2010	HUILA	GIGANTE	2.37	-75.45
Deslizamiento	30/11/2010	HUILA	GIGANTE	2.38	-75.53
Deslizamiento	30/11/2010	HUILA	GIGANTE	2.41	-75.45
Deslizamiento	30/11/2010	HUILA	GIGANTE	2.3	-75.41
Deslizamiento	30/11/2010	HUILA	GARZÓN	2.23	-75.53
Deslizamiento	30/11/2010	HUILA	GARZÓN	2.12	-75.6
Deslizamiento	30/11/2010	HUILA	GARZÓN	2.16	-75.55
Deslizamiento	30/11/2010	HUILA	GARZÓN	2.18	-75.58
Deslizamiento	30/11/2010	HUILA	BARAYA	3.15	-75
Deslizamiento	30/11/2010	HUILA	ALGECIRAS	2.36	-75.35
Deslizamiento	30/11/2010	HUILA	ALGECIRAS	2.36	-75.34

Movimiento	Fecha evento	Departamento	Municipio/Vereda	Latitud	Longitud
Deslizamiento	28/11/2010	HUILA	LA PLATA	2.391111	-75.8911
Deslizamiento	24/11/2010	HUILA	TARQUI	2.112778	-75.8242
Deslizamiento	22/11/2010	HUILA	CAMPOALEGRE	2.62	-75.29
Deslizamiento	22/11/2010	HUILA	ALGECIRAS	2.39	-75.4
Deslizamiento	22/11/2010	HUILA	ALGECIRAS	2.49	-75.39
Deslizamiento	22/11/2010	HUILA	ALGECIRAS	2.37	-75.36
Deslizamiento	22/11/2010	HUILA	ALGECIRAS	2.49	-75.31
Deslizamiento	22/11/2010	HUILA	TIMANÁ	1.96	-75.92
Deslizamiento	22/11/2010	HUILA	TESALIA	2.48	-75.69
Deslizamiento	22/11/2010	HUILA	TESALIA	2.49	-75.65
Deslizamiento	22/11/2010	HUILA	PITALITO	1.85	-76.07
Deslizamiento	22/11/2010	HUILA	PITALITO	1.81	-76.01
Deslizamiento	22/11/2010	HUILA	PITALITO	1.81	-76.07
Deslizamiento	22/11/2010	HUILA	PITALITO	1.86	-76.05
Deslizamiento	22/11/2010	HUILA	PALESTINA	1.77	-76.11
Deslizamiento	22/11/2010	HUILA	PAICOL	2.4	-75.78
Deslizamiento	22/11/2010	HUILA	LA ARGENTINA	2.15	-76.04
Deslizamiento	22/11/2010	HUILA	ÍQUIRA	2.65	-75.62
Deslizamiento	22/11/2010	HUILA	HOBO	2.49	-75.46
Deslizamiento	22/11/2010	HUILA	GIGANTE	2.36	-75.54
Deslizamiento	22/11/2010	HUILA	GIGANTE	2.35	-75.59
Deslizamiento	22/11/2010	HUILA	GIGANTE	2.36	-75.45
Deslizamiento	22/11/2010	HUILA	GIGANTE	2.35	-75.47
Deslizamiento	22/11/2010	HUILA	GIGANTE	2.38	-75.61
Deslizamiento	22/11/2010	HUILA	GIGANTE	2.34	-75.5
Deslizamiento	22/11/2010	HUILA	GIGANTE	2.27	-75.49
Deslizamiento	22/11/2010	HUILA	GIGANTE	2.42	-75.57
Deslizamiento	22/11/2010	HUILA	GIGANTE	2.3	-75.55
Deslizamiento	22/11/2010	HUILA	GARZÓN	2.15	-75.59
Deslizamiento	22/11/2010	HUILA	GARZÓN	2.27	-75.55
Deslizamiento	22/11/2010	HUILA	GARZÓN	2.15	-75.65
Deslizamiento	22/11/2010	HUILA	GARZÓN	2.28	-75.58
Deslizamiento	22/11/2010	HUILA	YAGUARÁ	2.663056	-75.5158
Deslizamiento	22/11/2010	HUILA	TIMANÁ	1.979444	-75.945
Deslizamiento	20/11/2010	HUILA	TESALIA	2.54	-75.69

Movimiento	Fecha evento	Departamento	Municipio/Vereda	Latitud	Longitud
Deslizamiento	20/11/2010	HUILA	TESALIA	2.53	-75.7
Deslizamiento	20/11/2010	HUILA	GIGANTE	2.41	-75.58
Deslizamiento	20/11/2010	HUILA	GIGANTE	2.38	-75.54
Deslizamiento	20/11/2010	HUILA	GIGANTE	2.37	-75.63
Deslizamiento	20/11/2010	HUILA	GIGANTE	2.32	-75.46
Deslizamiento	20/11/2010	HUILA	GIGANTE	2.34	-75.63
Deslizamiento	20/11/2010	HUILA	GARZÓN	2.08	-75.61
Deslizamiento	20/11/2010	HUILA	GARZÓN	2.14	-75.57
Deslizamiento	20/11/2010	HUILA	GARZÓN	2.28	-75.57
Deslizamiento	20/11/2010	HUILA	GARZÓN	2.21	-75.62
Deslizamiento	20/11/2010	HUILA	BARAYA	3.08	-75.03
Deslizamiento	20/11/2010	HUILA	ALGECIRAS	2.55	-75.24
Deslizamiento	20/11/2010	HUILA	ALGECIRAS	2.61	-75.14
Deslizamiento	20/11/2010	HUILA	ALGECIRAS	2.43	-75.38
Deslizamiento	20/11/2010	HUILA	ALGECIRAS	2.51	-75.23
Deslizamiento	20/11/2010	HUILA	GIGANTE	2.3	-75.52
Deslizamiento	20/11/2010	HUILA	TIMANÁ	1.93	-75.9
Deslizamiento	20/11/2010	HUILA	TELLO	3.13	-75.16
Deslizamiento	20/11/2010	HUILA	SUAZA	1.99	-75.79
Deslizamiento	20/11/2010	HUILA	SAN AGUSTIN	1.75	-76.27
Deslizamiento	20/11/2010	HUILA	RIVERA	2.8	-75.17
Deslizamiento	20/11/2010	HUILA	RIVERA	2.75	-75.08
Deslizamiento	20/11/2010	HUILA	PITALITO	1.89	-76.03
Deslizamiento	20/11/2010	HUILA	PITALITO	1.82	-76.08
Deslizamiento	20/11/2010	HUILA	PITALITO	1.85	-76.05
Deslizamiento	20/11/2010	HUILA	PITALITO	1.89	-76.04
Deslizamiento	20/11/2010	HUILA	PALESTINA	1.68	-76.14
Deslizamiento	20/11/2010	HUILA	PAICOL	2.43	-75.76
Deslizamiento	20/11/2010	HUILA	LA ARGENTINA	2.17	-76.06
Deslizamiento	20/11/2010	HUILA	ÍQUIRA	2.67	-75.61
Deslizamiento	20/11/2010	HUILA	GUADALUPE	1.99	-75.76
Deslizamiento	20/11/2010	HUILA	GUADALUPE	2.04	-75.71
Deslizamiento	20/11/2010	HUILA	GIGANTE	2.37	-75.5
Deslizamiento	15/11/2010	HUILA	SAN JOAQUIN	2.94194 4	-75.5942
Deslizamiento	11/11/2010	HUILA	SAN JOAQUIN	2.94194 4	-75.5942
Deslizamiento	06/11/2010	HUILA	ÍQUIRA	2.64916 7	-75.6364

Movimiento	Fecha evento	Departamento	Municipio/Vereda	Latitud	Longitud
Deslizamiento	05/11/2010	HUILA	HOBÓ	2.582778	-75.4517
Deslizamiento	03/11/2010	HUILA	AGRADO	2.29	-75.69
Deslizamiento	19/10/2010	HUILA	NEIVA	2.93	-75.2853
Deslizamiento	19/10/2010	HUILA	AGRADO	2.32	-75.69
Deslizamiento	03/10/2010	HUILA	ACEVEDO	1.68	-75.95
Deslizamiento	20/09/2010	HUILA	ACEVEDO	1.74	-75.92
Deslizamiento	08/09/2010	HUILA	ACEVEDO	1.83	-75.94
Deslizamiento	08/07/2010	HUILA	OPORAPA	2.04	-76.03
Deslizamiento	08/07/2010	HUILA	GUADALUPE	2.06	-75.71
Deslizamiento	08/07/2010	HUILA	GIGANTE	2.41	-75.45
Deslizamiento	08/07/2010	HUILA	GIGANTE	2.31	-75.46
Deslizamiento	08/07/2010	HUILA	GIGANTE	2.39	-75.61
Deslizamiento	08/07/2010	HUILA	GIGANTE	2.37	-75.56
Deslizamiento	08/07/2010	HUILA	GIGANTE	2.43	-75.5
Deslizamiento	08/07/2010	HUILA	GIGANTE	2.3	-75.51
Deslizamiento	08/07/2010	HUILA	GIGANTE	2.39	-75.45
Deslizamiento	08/07/2010	HUILA	GIGANTE	2.34	-75.46
Deslizamiento	08/07/2010	HUILA	GIGANTE	2.41	-75.55
Deslizamiento	08/07/2010	HUILA	GARZÓN	2.2	-75.66
Deslizamiento	08/07/2010	HUILA	GARZÓN	2.21	-75.49
Deslizamiento	08/07/2010	HUILA	GARZÓN	2.19	-75.59
Deslizamiento	08/07/2010	HUILA	GARZÓN	2.24	-75.57
Deslizamiento	08/07/2010	HUILA	GARZÓN	2.09	-75.61
Deslizamiento	08/07/2010	HUILA	ALGECIRAS	2.44	-75.33
Deslizamiento	08/07/2010	HUILA	ALGECIRAS	2.41	-75.32
Deslizamiento	08/07/2010	HUILA	PITALITO	1.86	-76.03
Deslizamiento	08/07/2010	HUILA	PITALITO	1.82	-76.01
Deslizamiento	08/07/2010	HUILA	PITALITO	1.79	-76.01
Deslizamiento	08/07/2010	HUILA	PITALITO	1.88	-76.02
Deslizamiento	08/07/2010	HUILA	SAN AGUSTIN	1.72	-76.35
Deslizamiento	08/07/2010	HUILA	TESALIA	2.49	-75.62
Deslizamiento	08/07/2010	HUILA	TESALIA	2.53	-75.67
Deslizamiento	08/07/2010	HUILA	TIMANÁ	1.92	-75.99
Deslizamiento	08/07/2010	HUILA	TIMANÁ	1.95	-75.93
Deslizamiento	08/07/2010	HUILA	AIPE	3.35	-75.34
Deslizamiento	08/07/2010	HUILA	PITALITO	1.81	-76.03
Deslizamiento	04/06/2010	HUILA	YAGUARÁ	2.663056	-75.5158

Movimiento	Fecha evento	Departamento	Municipio/Vereda	Latitud	Longitud
Deslizamiento	12/05/2010	HUILA	AGRADO	2.26	-75.7
Deslizamiento	04/05/2010	HUILA	ACEVEDO	1.84	-75.97
Deslizamiento	10/04/2010	HUILA	ACEVEDO	1.79	-75.98
Deslizamiento	10/04/2010	HUILA	ACEVEDO	1.79	-75.93
Deslizamiento	08/04/2010	HUILA	ACEVEDO	1.8	-75.93
Deslizamiento	29/07/2009	HUILA	LA PLATA	2.38972 2	-75.8944
Deslizamiento	27/01/2009	HUILA	NEIVA	2.9975	-75.3044
Deslizamiento	20/11/2004	HUILA	ALGECIRAS	2.53333 3	-75.3167
Deslizamiento	15/11/2003	HUILA	NEIVA	2.99833 3	-75.3042
Deslizamiento	18/05/2000	HUILA	SALADOBLANCO	2.1025	-76.2481
Deslizamiento	07/12/1999	HUILA	NEIVA	2.99805 6	-75.3044
Deslizamiento	01/03/1999	HUILA	ÍQUIRA	2.65	-75.65
Deslizamiento	06/06/1995	HUILA	TESALIA	2.49	-75.65
Deslizamiento	27/10/1994	HUILA	NEIVA	2.99833 3	-75.3044
Deslizamiento	06/07/1994	HUILA	NEIVA	2.99833 3	-75.3044
Deslizamiento	05/07/1994	HUILA	NEIVA	2.99833 3	-75.3044
Deslizamiento	09/02/1960	HUILA	CAMPOALEGRE	2.68694 4	-75.3283
Deslizamiento	16/11/1827	HUILA	GIGANTE	2.31537 2	-75.4117
Deslizamiento	16/11/1827	HUILA	GARZÓN	2.04160 6	-75.6118
Deslizamiento	16/11/1827	HUILA	GIGANTE	2.27839 7	-75.4374
Deslizamiento	12/10/1492	HUILA	GUACACALLO	1.90920 6	-76.0586

ANEXO 2

Información hidrometeorológica descargada de la plataforma AQUARIUS del IDEAM Colombia.

- **Datos estación Puracé**

Día Antecedente	Fecha	Presión Hpa	Temperatura C	Humedad %	Precipitación mm
32	4/16/2017	805.9	18.3	85.0	4.8
31	4/17/2017	806.0	19.0	81.5	9.4
30	4/18/2017	805.5	18.2	82.2	10.2
29	4/19/2017	805.7	19.5	77.5	0.5
28	4/20/2017	805.5	18.4	82.0	8.4
27	4/21/2017	805.7	17.9	83.3	7
26	4/22/2017	805.7	15.6	93.4	0.1
25	4/23/2017	805.8	17.4	81.0	2.6
24	4/24/2017	805.5	18.7	82.3	0
23	4/25/2017	804.8	16.9	87.7	0
22	4/26/2017	805.3	18.2	80.6	21.7
21	4/27/2017	805.3	17.1	83.8	6.3
20	4/28/2017	806.2	17.2	83.3	0
19	4/29/2017	806.5	16.4	88.1	9.8
18	4/30/2017	806.9	17.9	84.4	19.8
17	5/31/2017		17.2	90.1	
16	5/1/2017	806.6	17.0	90.9	21.2
15	5/2/2017	806.1	18.2	83.7	0.1
14	5/3/2017	805.5	18.3	88.4	16.5
13	5/4/2017	804.7	17.0	91.8	9.3
12	5/5/2017	804.9	16.9	85.2	0.5
11	5/6/2017	805.6			7.3
10	5/7/2017	804.8			0.5
9	5/8/2017	805.0	17.4	87.7	3.6
8	5/9/2017	804.9	18.5	85.4	5.5
7	5/10/2017	805.9	18.3	86.4	39.6
6	5/11/2017	806.2	18.6	82.2	68.8
5	5/12/2017	805.7	17.8	84.3	0
4	5/13/2017	806.1	17.1	89.3	13
3	5/14/2017	807.0	15.3	89.9	19.1
2	5/15/2017	806.4	15.4	92.6	19.3
Día del evento	5/16/2017	806.5	17.4	84.0	17

- **Datos estación Altamira El Grifo**

Día antecedente	Fecha	Tempe ratura °C	Humedad relativa%	Punto De Rocío °C	Precipitación mm
31	7/03/2023	20,7	87	17.83	18,5
30	8/03/2023	21,35	98	16.91	67,5
29	9/03/2023	17,35	100	17.12	4
28	10/03/2023	20,3	100	16.99	18
27	11/03/2023	18,65	98	18.02	1,6
26	12/03/2023	18,9	98	17.57	6,5
25	13/03/2023	17,85	94	17.40	9,5
24	14/03/2023	20,9	98	17.01	0
23	15/03/2023	20,65	98	16.92	4,6
22	16/03/2023	20,65	94	17.46	0,2
21	17/03/2023	20,35	94	17.09	51
20	18/03/2023	20,6	94	17.19	4,4
19	19/03/2023	21,2	98	16.34	0
18	20/03/2023	21,85	91	16.06	1,3
17	21/03/2023	22,5	93	16.67	0
16	22/03/2023	20,8	91	17.13	0
15	23/03/2023	21,65	84	17.22	94,4
14	24/03/2023	19,25	100	17.32	5,7
13	25/03/2023	20,35	91	16.98	0,7
12	26/03/2023	22,05	82	15.36	0,2
11	27/03/2023	20,05	98	16.62	0
10	28/03/2023	21,85	82	15.89	0
9	29/03/2023	20,1	91	17.59	0,4
8	30/03/2023	22,1	84	16.17	0
7	31/03/2023	22,35	82	15.89	0,1
6	1/04/2023	19,8			2,5
5	2/04/2023		89		2,5
4	3/04/2023	21,825	90	15.89	0
3	4/04/2023	23,35	80	15.04	3,7
2	5/04/2023	22,15	96	16.34	10,3
1	6/04/2023	20,5	89	17.02	15
Día del evento	7/04/2023		92		26,3

-

- **Datos estación Aeropuerto Benito Salas**

Día Antecedente	Fecha	Temperatura °C	Precipitación mm	Humedad relativa %		
				7:00	13:00	19:00
32	18/10/2024	21.4	0	69	37	36
31	19/10/2024	22.3	5.9	67	41	54
30	20/10/2024	22.2	0.6	88	55	43
29	21/10/2024	23.9	0	79	39	47
28	22/10/2024	23.6	2.9	72	53	51
27	23/10/2024	23.2	0.4	72	49	50
26	24/10/2024	23	0	71	42	44
25	25/10/2024	22.8	0	80	38	33
24	26/10/2024	22.2	0	64	44	50
23	27/10/2024	23.6	0.2	74	46	48
22	28/10/2024	23	0	86	48	47
21	29/10/2024	21.2	0	64	37	36
20	30/10/2024	21.6	0	52	38	36
19	31/10/2024	21.6	5.3	67	39	53
18	1/11/2024	23.4	0.2	83	42	52
17	2/11/2024	23.6	10.6	86	40	45
16	3/11/2024	23	5.6	85	43	47
15	4/11/2024	21.8	2.1	97	58	64
14	5/11/2024	22.4	7	84	41	43
13	6/11/2024	22.4	1.9	90	44	42
12	7/11/2024	23.3	0	84	46	49
11	8/11/2024	23.8	2.4	78	59	76
10	9/11/2024	23.4	11.6	90	52	60
9	10/11/2024	22	2.3	91	60	65
8	11/11/2024	23.2	0	88	47	62
7	12/11/2024	22.8	14.9	82	54	61
6	13/11/2024	21	1.9	89	55	52
5	14/11/2024	23	0.6	88	65	66
4	15/11/2024	22.8	8.1	86	59	59
3	16/11/2024	21.4	10.5	92	70	65
2	17/11/2024	22.6	12.7	92	59	58
Día del evento	18/11/2024	23	21.9	90	53	58

ANEXO 3

Tabla de cálculo Evento 1

Dia	Fecha	Temperatura °C	Lluvia mm	X1 suma lluvia 3 dias	Humedad %	X2 humedad media 3 dias	Presión Atmosferica mBar	Punto de Rocio	Factor= Presion / P Rocio	X3 CRHUDA media 3 dias	X4 = X1 x X2	Exponent alfa Z(.)	P(x) Probabilidad	P(x) Suavizada	Diferencia lluvia X1	Diferencia CRHUDA X3	Condicion 1 p(x) >= 0.033124	Condicion 2 Dif X1>0	Condicion 3 Dif X3>0
-31	24/06/13	20.70	18.5	18.5	87	87.00	853.9	18.444	46.2957	46.30	1609.50	-2.791184	0.0578	0.0578			ALERTA		
-30	24/06/13	21.35	67.5	86	98	92.50	851.7	21.019	40.5210	43.41	7955.00	-3.485907	0.0297	0.0438	67.5	-2.887	ALERTA	ALERTA	0
-29	24/06/13	17.35	4	90	100	95.00	851.4	17.350	49.0720	45.30	8550.00	-3.953066	0.0188	0.0355	4	1.888	ALERTA	ALERTA	ALERTA
-28	24/06/13	20.30	18	89.5	100	99.33	854.8	20.300	42.1084	43.90	8890.33	-4.233203	0.0143	0.0209	-0.5	-1.396	0	0	0
-27	24/06/13	18.65	1.6	23.6	98	99.33	854.7	18.326	46.6399	45.94	2344.27	-2.309202	0.0904	0.0412	-65.9	2.040	ALERTA	0	ALERTA
-26	24/06/13	18.90	6.5	26.1	98	98.67	856.6	18.575	46.1160	44.95	2575.20	-2.329372	0.0887	0.0645	2.5	-0.985	ALERTA	ALERTA	0
-25	24/06/13	17.85	9.5	17.6	94	96.67	859.5	16.865	50.9636	47.91	1701.33	-2.420302	0.0816	0.0869	-8.5	2.952	ALERTA	0	ALERTA
-24	24/06/13	20.90	0.1	16.1	98	96.67	853.2531	20.570	41.4808	46.19	1556.33	-2.237269	0.0965	0.0889	-1.5	-1.720	ALERTA	0	0
-23	24/06/13	20.65	4.6	14.2	98	96.67	857.9	20.320	42.2185	44.89	1372.67	-2.078774	0.1112	0.0964	-1.9	-1.299	ALERTA	0	0
-22	24/06/13	20.65	0.2	4.9	94	96.67	858.4	19.643	43.6992	42.47	473.67	-1.631503	0.1636	0.1238	-9.3	-2.421	ALERTA	0	0
-21	24/06/13	20.35	51	55.8	94	95.33	857.1	19.346	44.3044	43.41	5319.60	-3.017824	0.0466	0.1071	50.9	0.941	ALERTA	ALERTA	ALERTA
-20	24/06/13	20.60	4.4	55.6	94	94.00	855.5	19.594	43.6618	43.89	5226.40	-3.019332	0.0466	0.0856	-0.2	0.481	ALERTA	0	ALERTA
-19	24/06/13	21.20	0.1	55.5	98	95.33	855.4	20.869	40.9888	42.99	5291.00	-2.975488	0.0485	0.0472	-0.1	-0.903	ALERTA	0	0
-18	24/06/13	21.85	1.3	5.8	91	94.33	853.5	20.305	42.0345	42.23	547.13	-1.811730	0.1404	0.0785	-49.7	-0.757	ALERTA	0	0
-17	24/06/13	22.50	0.1	1.5	93	94.00	853.5	21.303	40.0639	41.03	141.00	-1.646722	0.1616	0.1168	-4.3	-1.199	ALERTA	0	0
-16	24/06/13	20.80	0.1	1.5	91	91.67	852.2	19.267	44.2309	42.11	137.50	-1.933565	0.1264	0.1428	0	1.081	ALERTA	0	ALERTA
-15	24/06/13	21.65	94.4	94.6	84	89.33	851.2	18.812	45.2481	43.18	8450.93	-3.290082	0.0359	0.1079	93.1	1.071	ALERTA	ALERTA	ALERTA
-14	24/06/13	19.25	5.7	100.2	100	91.67	848.4	19.250	44.0727	44.52	9185.00	-3.736329	0.0233	0.0619	5.6	1.336	ALERTA	ALERTA	ALERTA
-13	24/06/13	20.35	0.7	100.8	91	91.67	853.1	18.822	45.3238	44.88	9240.00	-3.776461	0.0224	0.0272	0.6	0.364	0	ALERTA	ALERTA
-12	24/06/13	22.05	0.2	6.6	82	91.00	854	18.815	45.3902	44.93	600.60	-2.300846	0.0911	0.0456	-94.2	0.047	ALERTA	0	ALERTA
-11	24/06/13	20.05	0.1	1	98	90.33	853	19.722	43.2512	44.66	90.33	-2.251553	0.0952	0.0696	-5.6	-0.274	ALERTA	0	0
-10	24/06/13	21.85	0.1	0.4	82	87.33	852.9	18.620	45.8068	44.82	34.93	-2.516435	0.0747	0.0870	-0.6	0.161	ALERTA	0	ALERTA
-9	24/06/13	20.10	0.4	0.6	91	90.33	853.9	18.575	45.9697	45.01	54.20	-2.275690	0.0932	0.0877	0.2	0.193	ALERTA	ALERTA	ALERTA
-8	24/06/13	22.10	0.1	0.6	84	85.67	855.5	19.252	44.4366	45.40	51.40	-2.710533	0.0624	0.0767	0	0.395	ALERTA	0	ALERTA
-7	24/06/13	22.35	0.1	0.6	82	85.67	854.8	19.107	44.7369	45.05	51.40	-2.680779	0.0641	0.0732	0	-0.357	ALERTA	0	0
-6	24/06/13	19.80	2.5	2.7	92.375	86.13	853.2	18.519	46.0704	45.08	232.54	-2.654591	0.0657	0.0641	2.1	0.034	ALERTA	ALERTA	ALERTA
-5	24/06/13	20.71	2.5	5.1	89	87.79	852.6	18.817	45.3099	45.37	447.74	-2.562540	0.0716	0.0671	2.4	0.291	ALERTA	ALERTA	ALERTA
-4	24/06/13	21.83	0.1	5.1	90	90.46	853.9	20.100	42.4821	44.62	461.34	-2.294524	0.0916	0.0763	0	-0.752	ALERTA	0	0
-3	24/06/13	23.35	3.7	6.3	80	86.33	854.1	19.682	43.3953	43.73	543.90	-2.544209	0.0728	0.0787	1.2	-0.892	ALERTA	ALERTA	0
-2	24/06/13	22.15	10.3	14.1	96	88.67	846.9	21.477	39.4322	41.77	1250.20	-2.285919	0.0923	0.0856	7.8	-1.959	ALERTA	ALERTA	0
-1	24/06/13	20.50	15	29	89	88.33	847.5	18.613	45.5331	42.79	2561.67	-2.531453	0.0737	0.0796	14.9	1.017	ALERTA	ALERTA	ALERTA
0	25/06/13	20.71	26.3	51.6	92	92.33	845.7	19.352	43.7009	42.89	4764.40	-2.823222	0.0561	0.0740	22.6	0.102	ALERTA	ALERTA	ALERTA

Tabla de cálculo Evento 2

Día	Fecha	Temperatura °C	Lluvia mm	X1 suma lluvia 3 dias	Humedad %	X2 humedad media 3 dias	Presión Atmosferica mBar	Punto de Rocio	Factor= Presion / P Rocio	X3 CRHUDA media 3 dias	X4 = X1 x X2	Exponent alfa Z(.)	P(x) Probabilidad	P(x) Suavizada	Diferencia lluvia X1	Diferencia CRHUDA X3	Condicion 1 p(x) >= 0.033124	Condicion 2 Dif X1>0
-31	16/04/17	18.25	4.8	4.8	84.95	84.95	805.95	15.667	51.4438	51.44	407.78	-3.286731	0.0360	0.0360			ALERTA	
-30	17/04/17	18.95	9.4	14.2	81.52	83.24	806.02	15.703	51.3296	51.39	1181.99	-3.407019	0.0321	0.0341	9.4	-0.057	ALERTA	ALERTA
-29	18/04/17	18.15	10.2	24.4	82.23	82.90	805.53	15.058	53.4959	52.09	2022.81	-3.469620	0.0302	0.0328	10.2	0.703	0	ALERTA
-28	19/04/17	19.55	0.5	20.1	77.48	80.41	805.71	15.479	52.0515	52.29	1616.25	-3.609206	0.0264	0.0295	-4.3	0.203	0	0
-27	20/04/17	18.36	8.4	19.1	81.98	80.56	805.46	15.209	52.9583	52.84	1538.74	-3.653703	0.0252	0.0273	-1	0.543	0	0
-26	21/04/17	17.90	7	15.9	83.29	80.92	805.75	15.006	53.6942	52.90	1286.58	-3.659832	0.0251	0.0256	-3.2	0.066	0	0
-25	22/04/17	15.60	0.1	15.5	93.35	86.21	805.66	14.529	55.4516	54.03	1336.23	-3.460821	0.0304	0.0269	-0.4	1.133	0	0
-24	23/04/17	17.41	2.6	9.7	80.96	85.87	805.84	14.088	57.1993	55.45	832.92	-3.571859	0.0273	0.0276	-5.8	1.414	0	0
-23	24/04/17	18.65	0.1	2.8	82.33	85.55	805.50	15.566	51.7483	54.80	239.54	-3.512982	0.0289	0.0289	-6.9	-0.649	0	0
-22	25/04/17	16.87	0.1	2.8	87.73	83.67	804.80	14.812	54.3357	54.43	234.29	-3.635050	0.0257	0.0273	0	-0.372	0	0
-21	26/04/17	18.25	21.7	21.9	80.64	83.57	805.35	14.842	54.2626	53.45	1830.10	-3.558368	0.0277	0.0274	19.1	-0.979	0	ALERTA
-20	27/04/17	17.15	6.3	28.1	83.79	84.05	805.30	14.366	56.0550	54.88	2361.87	-3.662164	0.0250	0.0261	6.2	1.436	0	ALERTA
-19	28/04/17	17.23	0.1	28.1	83.29	82.57	806.21	14.351	56.1798	55.50	2320.31	-3.758338	0.0228	0.0252	0	0.615	0	0
-18	29/04/17	16.41	9.8	16.2	88.08	85.06	806.51	14.423	55.9172	56.05	1377.90	-3.695435	0.0242	0.0240	-11.9	0.552	0	0
-17	30/04/17	17.94	19.8	29.7	84.38	85.25	806.91	15.254	52.8975	55.00	2531.98	-3.640404	0.0256	0.0242	13.5	-1.053	0	ALERTA
-16	31/05/17	17.25	11	40.6	90.08	87.52	805.80	15.596	51.6687	53.49	3553.14	-3.538745	0.0282	0.0260	10.9	-1.504	0	ALERTA
-15	01/05/17	17.00	21.2	52	90.92	88.46	806.57	15.493	52.0597	52.21	4599.94	-3.537641	0.0283	0.0274	11.4	-1.286	0	ALERTA
-14	02/05/17	18.20	0.1	32.3	83.73	88.24	806.11	15.382	52.4075	52.05	2850.25	-3.337124	0.0343	0.0303	-19.7	-0.163	0	0
-13	03/05/17	18.25	16.5	37.8	88.35	87.67	805.47	16.284	49.4647	51.31	3313.75	-3.333075	0.0345	0.0323	5.5	-0.735	0	ALERTA
-12	04/05/17	16.97	9.3	25.9	91.83	87.97	804.75	15.622	51.5145	51.13	2278.44	-3.210708	0.0388	0.0358	-11.9	-0.182	ALERTA	0
-11	05/05/17	16.98	0.5	28.3	85.19	88.46	804.88	14.341	56.1224	52.37	2326.42	-3.300989	0.0355	0.0363	0.4	1.238	ALERTA	ALERTA
-10	06/05/17	17.60	7.3	17.1	85.60	87.54	805.63	15.144	53.1978	53.61	1496.94	-3.363644	0.0335	0.0359	-9.2	1.244	ALERTA	0
-9	07/05/17	17.60	0.5	8.3	85.60	85.46	804.82	15.144	53.1448	54.15	709.34	-3.486285	0.0297	0.0329	-8.8	0.543	0	0
-8	08/05/17	17.44	3.6	11.4	87.73	86.31	805.01	15.373	52.3659	52.90	983.92	-3.338762	0.0343	0.0325	3.1	-1.252	0	ALERTA
-7	09/05/17	18.49	5.5	9.6	85.35	86.23	804.87	15.969	50.4016	51.97	827.78	-3.256902	0.0371	0.0337	-1.8	-0.932	ALERTA	0
-6	10/05/17	18.28	39.6	48.7	86.42	86.50	805.94	15.964	50.4865	51.08	4212.52	-3.389351	0.0326	0.0347	39.1	-0.886	ALERTA	ALERTA
-5	11/05/17	18.64	68.8	113.9	82.21	84.66	806.18	15.526	51.9258	50.94	9642.74	-3.487779	0.0297	0.0331	65.2	-0.147	0	ALERTA
-4	12/05/17	17.77	0.1	108.5	84.27	84.30	805.75	15.067	53.4789	51.96	9146.40	-3.514533	0.0289	0.0304	-5.4	1.026	0	0
-3	13/05/17	17.13	13	81.9	89.25	85.24	806.10	15.339	52.5532	52.65	6981.41	-3.612146	0.0263	0.0283	-26.6	0.689	0	0
-2	14/05/17	15.34	19.1	32.2	89.88	87.80	806.99	13.680	58.9896	55.01	2827.12	-3.593108	0.0268	0.0273	-49.7	2.355	0	0
-1	15/05/17	15.37	19.3	51.4	92.63	90.58	806.37	14.176	56.8831	56.14	4655.98	-3.895863	0.0199	0.0243	19.2	1.135	0	ALERTA
0	16/05/17	17.42	17	55.4	83.95	86.82	806.55	14.665	54.9966	56.96	4920.53	-3.975787	0.0184	0.0217	4	0.814	0	ALERTA

Tabla de cálculo Evento 3

Día	Fecha	Temperatura °C	Lluvia mm	X1 suma lluvia 3 días	Humedad %	X2 humedad media 3 días	Presión Atmosferica mBar	Punto de Rocio	Factor= Presion / P Rocio	X3 CRHUDA media 3 días	X4 = X1 x X2	Exponent alfa Z(.)	P(x) Probabilidad	P(x) Suavizada	Diferencia lluvia X1	Diferencia CRHUDA X3	Condicion 1 p(x) >= 0.033124	Condicion 2 Dif X1>0	Condicion 3 Dif X3>0
-31	18/10/24	21.40	0.1	0.1	69.00	69.00	1013.00	15.444	65.5898	65.59	6.90	-5.844786	0.0029	0.0029			0		
-30	19/10/24	22.30	5.9	6	67.00	68.00	1011.00	15.840	63.8252	64.71	408.00	-5.670883	0.0034	0.0032	5.9	-0.882	0	ALERTA	0
-29	20/10/24	22.20	0.6	6.6	88.00	74.67	1013.00	20.104	50.3871	59.93	492.80	-4.760575	0.0085	0.0049	0.6	-4.773	0	ALERTA	0
-28	21/10/24	23.90	0.1	6.6	79.00	78.00	1012.00	20.012	50.5693	54.93	514.80	-4.096349	0.0164	0.0094	0	-5.007	0	0	0
-27	22/10/24	23.60	2.9	3.6	72.00	79.67	1013.00	18.225	55.5827	52.18	286.80	-3.768191	0.0226	0.0158	-3	-2.747	0	0	0
-26	23/10/24	23.20	0.4	3.4	72.00	74.33	1014.00	17.841	56.8348	54.33	252.73	-4.378128	0.0124	0.0171	-0.2	2.149	0	0	ALERTA
-25	24/10/24	23.00	0.1	3.4	71.00	71.67	1012.00	17.426	58.0733	56.83	243.67	-4.801320	0.0082	0.0144	0	2.501	0	0	ALERTA
-24	25/10/24	22.80	0.1	0.6	80.00	74.33	1012.00	19.147	52.8542	55.92	44.60	-4.563920	0.0103	0.0103	-2.8	-0.909	0	0	0
-23	26/10/24	22.20	0.1	0.3	64.00	71.67	1012.00	15.027	67.3453	59.42	21.50	-5.093166	0.0061	0.0082	-0.3	3.503	0	0	ALERTA
-22	27/10/24	23.60	0.2	0.4	74.00	72.67	1011.00	18.665	54.1656	58.12	29.07	-4.895534	0.0074	0.0079	0.1	-1.303	0	ALERTA	0
-21	28/10/24	23.00	0.1	0.4	86.00	74.67	1013.00	20.516	49.3760	56.96	29.87	-4.625758	0.0097	0.0077	0	-1.159	0	0	0
-20	29/10/24	21.20	0.1	0.4	64.00	74.67	1013.00	14.081	71.9394	58.49	29.87	-4.753523	0.0085	0.0086	0	1.531	0	0	ALERTA
-19	30/10/24	21.60	0.1	0.3	52.00	67.33	1012.00	11.271	89.7894	70.37	20.20	-6.382051	0.0017	0.0066	-0.1	11.875	0	0	ALERTA
-18	31/10/24	21.60	5.3	5.5	67.00	61.00	1011.00	15.174	66.6257	76.12	335.50	-7.172032	0.0008	0.0037	5.2	5.750	0	ALERTA	ALERTA
-17	01/11/24	23.40	0.2	5.6	83.00	67.33	1012.00	20.329	49.7814	68.73	377.07	-6.070026	0.0023	0.0016	0.1	-7.386	0	ALERTA	0
-16	02/11/24	23.60	10.6	16.1	86.00	78.67	1012.00	21.105	47.9511	54.79	1266.53	-3.939004	0.0191	0.0074	10.5	-13.946	0	ALERTA	0
-15	03/11/24	23.00	5.6	16.4	85.00	84.67	1012.00	20.325	49.7900	49.17	1388.53	-3.143307	0.0414	0.0209	0.3	-5.612	0	ALERTA	0
-14	04/11/24	21.80	2.1	18.3	97.00	89.33	1014.00	21.299	47.6076	48.45	1634.80	-2.852351	0.0546	0.0383	1.9	-0.725	ALERTA	ALERTA	0
-13	05/11/24	22.40	7	14.7	84.00	88.67	1014.00	19.546	51.8785	49.76	1303.40	-2.958531	0.0493	0.0484	-3.6	1.309	ALERTA	0	ALERTA
-12	06/11/24	22.40	1.9	11	90.00	90.33	1013.00	20.668	49.0136	49.50	993.67	-2.791026	0.0578	0.0539	-3.7	-0.259	ALERTA	0	0
-11	07/11/24	23.30	0.1	9	84.00	86.00	1013.00	20.426	49.5930	50.16	774.00	-3.118541	0.0423	0.0498	-2	0.662	ALERTA	0	ALERTA
-10	08/11/24	23.80	2.4	4.4	78.00	84.00	1011.00	19.708	51.2981	49.97	369.60	-3.237423	0.0378	0.0460	-4.6	-0.193	ALERTA	0	0
-9	09/11/24	23.40	11.6	14.1	90.00	84.00	1013.00	21.655	46.7798	49.22	1184.40	-3.181915	0.0399	0.0400	9.7	-0.745	ALERTA	ALERTA	0
-8	10/11/24	22.00	2.3	16.3	91.00	86.33	1015.00	20.453	49.6259	49.23	1407.23	-3.057686	0.0449	0.0408	2.2	0.011	ALERTA	ALERTA	ALERTA
-7	11/11/24	23.20	0.1	14	88.00	89.67	1014.00	21.088	48.0831	48.16	1255.33	-2.759354	0.0596	0.0481	-2.3	-1.072	ALERTA	0	0
-6	12/11/24	22.80	14.9	17.3	82.00	87.00	1013.00	19.546	51.8258	49.84	1505.10	-3.079190	0.0440	0.0495	3.3	1.682	ALERTA	ALERTA	ALERTA
-5	13/11/24	21.00	1.9	16.9	89.00	86.33	1014.00	19.106	53.0735	50.99	1459.03	-3.207735	0.0389	0.0475	-0.4	1.149	ALERTA	0	ALERTA
-4	14/11/24	23.00	0.6	17.4	88.00	86.33	1012.00	20.892	48.4404	51.11	1502.20	-3.220378	0.0384	0.0404	0.5	0.119	ALERTA	ALERTA	ALERTA
-3	15/11/24	22.80	8.1	10.6	86.00	87.67	1012.00	20.320	49.8037	50.44	929.27	-3.039544	0.0457	0.0410	-6.8	-0.674	ALERTA	0	0
-2	16/11/24	21.40	10.5	19.2	92.00	88.67	1012.00	20.038	50.5051	49.58	1702.40	-2.989536	0.0479	0.0440	8.6	-0.856	ALERTA	ALERTA	0
-1	17/11/24	22.60	12.7	31.3	92.00	90.00	1013.00	21.225	47.7265	49.35	2817.00	-3.060639	0.0448	0.0461	12.1	-0.238	ALERTA	ALERTA	0
0	18/11/24	23.00	21.9	45.1	90.00	91.33	1012.00	21.260	47.6014	48.61	4119.13	-3.182230	0.0398	0.0442	13.8	-0.734	ALERTA	ALERTA	0

ANEXO 4

Modelo Logístico CRHUDA de Alerta de Deslizamientos

Maira Liseth Charry Bocanegra · Alfonso Gutierrez Lopez

Carga de datos

Seleccione un archivo CSV con las columnas de entrada: día, fecha, temperatura, lluvia, humedad y presión atmosférica.

Cargar CSV

Limpiar

Exportar cálculo

Sin archivo cargado.

Variables de entrada

Cargue un archivo CSV para visualizar resultados.

Resumen

ARCHIVO

Sin datos

UMBRAL

0.033124

Probabilidad acumulada

PRIMER DÍA CON ALERTA COMPUESTA

Esperando archivo

ESTADO EN DÍA -5

Condiciones no evaluadas

DÍA 0

Deslizamiento observado

Modelo Logístico CRHDA de Alerta de Deslizamientos

Maira Liseth Charry Bocanegra · Alfonso Gutierrez Lopez



Carga de datos

Seleccione un archivo CSV con las columnas de entrada: día, fecha, temperatura, lluvia, humedad y presión atmosférica.

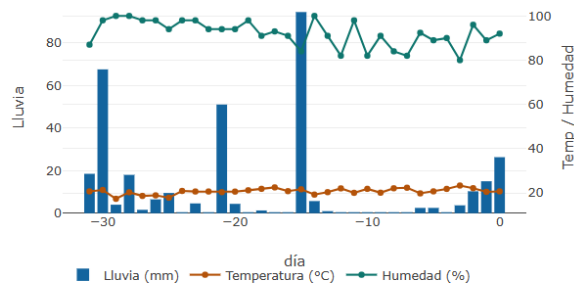
Cargar CSV

Limpiar

Exportar cálculo

Archivo cargado: Evento 1.csv

Variables de entrada



Resumen

ARCHIVO

Evento 1.csv

32 registros

UMBRAL

0.033124

Probabilidad acumulada

PRIMER DÍA CON ALERTA COMPUESTA

-29

Primer cruce con las 3 condiciones

ESTADO EN DÍA -5

ALERTA

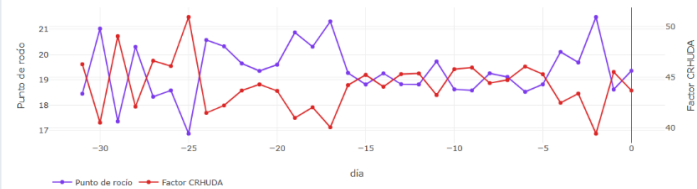
C1:1 C2:1 C3:1

DÍA 0

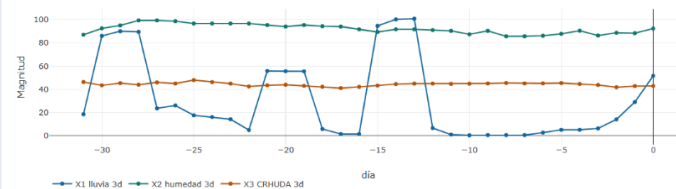
p=0.056082

Deslizamiento observado

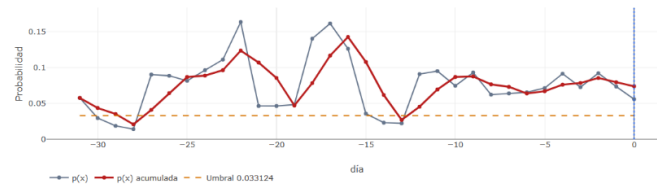
Punto de rocío y Factor CRHDA



Variables del modelo



Probabilidad y umbral



Condiciones y alerta compuesta

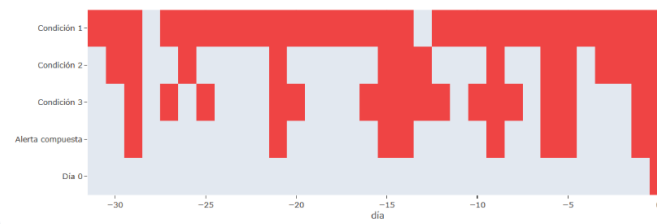


Tabla de cálculo

día	fecha	T	lluvia	humedad	presión	Td	Factor CRHJDA	X1	X2	X3	X4
-31	3/7/2023	20.700	18.500	87.000	853.900	18.444	46.296	18.500	87.000	46.296	1609.500
-30	3/8/2023	21.350	67.500	96.000	851.700	21.019	40.521	86.000	92.500	43.408	7955.000
-29	3/9/2023	17.350	4.000	100.000	851.400	17.350	49.072	90.000	95.000	45.296	8550.000
-28	3/10/2023	20.300	18.000	100.000	854.800	20.300	42.108	89.500	99.333	43.900	8890.333
-27	3/11/2023	18.650	1.600	96.000	854.700	18.326	46.640	23.600	99.333	45.940	2344.267
-26	3/12/2023	18.900	6.500	96.000	856.600	18.575	46.116	26.100	98.667	44.955	2575.200
-25	3/13/2023	17.850	9.500	94.000	859.500	16.865	50.964	17.600	96.667	47.907	1701.333
-24	3/14/2023	20.900	0.100	96.000	853.253	20.570	41.481	16.100	96.667	46.187	1556.333
-23	3/15/2023	20.650	4.600	96.000	857.900	20.320	42.218	14.200	96.667	44.888	1372.667
-22	3/16/2023	20.650	0.200	94.000	858.400	19.643	43.699	4.900	96.667	42.466	473.667
-21	3/17/2023	20.350	51.000	94.000	857.100	19.346	44.304	50.800	95.333	43.407	5319.600
-20	3/18/2023	20.600	4.400	94.000	854.500	19.584	41.622	50.800	94.000	41.888	5256.400

Tabla de evaluación

día	z	p	p acumulada	Dif X1	Dif X3	C1	C2	C3	Alerta
-31	-2.791	0.058	0.058	—	—	1	0	0	0
-30	-3.406	0.030	0.044	67.500	-2.887	1	1	0	0
-29	-3.953	0.019	0.035	4.000	1.888	1	1	1	ALERTA
-28	-4.233	0.014	0.021	-0.900	-1.396	0	0	0	0
-27	-2.309	0.090	0.041	-65.900	2.040	1	0	1	0
-26	-2.329	0.089	0.064	2.500	-0.985	1	1	0	0
-25	-2.420	0.082	0.087	-8.500	2.952	1	0	1	0

-24	-2.237	0.096	0.089	-1.500	-1.720	1	0	0	0
-23	-2.079	0.111	0.096	-1.900	-1.299	1	0	0	0
-22	-1.632	0.164	0.124	-9.300	-2.421	1	0	0	0

Metodología

Condición 1: $P_{acumulada} \geq 0.033124$

Condición 2: $Dif\ X1 > 0$

Condición 3: $Dif\ X3 > 0$

Alerta compuesta: se activa solo si las tres condiciones valen 1.

Punto de rocío: $Td = (RH/100)^{1/8} (110 + T) - 110$

Factor CRHUDA: $F = Presión / Td$

X1: suma de lluvia de 3 días · **X2:** humedad media de 3 días · **X3:** factor medio de 3 días · **X4:** $X1 \times X2$

Modelo: $z = -6.401445 + 0.169670X1 + 0.087333X2 - 0.083432X3 - 0.002028X4$

Probabilidad: $p = 1 / (1 + e^{-z})$ · **p acumulada:** promedio móvil de 3 días de p