



# Efecto de incendios forestales y factores condicionantes geomorfométricos en la ocurrencia de movimientos en masa, Cordillera de la Costa, estado Aragua

Oscar Abarca

Instituto de Ingeniería Agrícola. Facultad de Agronomía. Universidad Central de Venezuela, Apdo. 4563. Maracay, 2101-A. Venezuela

## RESUMEN

Se determinó que las áreas quemadas por incendios forestales y el tipo de cobertura vegetal, no son factores directamente determinantes en el condicionamiento o activación de movimientos en masa, según los eventos estudiados, aunque no se evaluó el efecto de la pérdida de cobertura por incendios, en la condición hidrológica superficial y subterránea de las cuencas. Para ello se evaluaron cuatro eventos históricos recientes, mediante la digitalización de las cicatrices dejadas por los aludes y deslizamientos en el terreno, visibles en imágenes de satélite de la fecha. Estas huellas se superpusieron sobre mapas de cobertura vegetal, elaborados por clasificación de imágenes de satélite, y se calculó la estadística zonal correspondiente. El factor cobertura se comparó con otros elementos geomorfométricos derivados del MDT, la geología y el clima.

**Palabras clave:** aludes torrenciales, riesgos, sistemas de información geográfica, vegetación.

---

Rev. Fac. Agron. (UCV) Vol. 50(2): 45-72 (2024)

ORCID: 0009-0002-6450-8703

Depósito Legal: PI200502AR2252

ISSN: 0041-8285

e-ISSN 1856-5573

Autor de correspondencia: Oscar Abarca

E-mail: abarcao.ide@gmail.com; Telf: +58 04140537242

Recepción: 11-09-2024

Aceptado: 18-11-2024

Publicado: enero 2025

Esta Revista se publica bajo el auspicio del Consejo de Desarrollo Científico y Humanístico, UCV

## Effect of forest fires and geomorphometric conditioning factors on the occurrence of mass movements, Cordillera de la Costa, Aragua state

### ABSTRACT

It was determined that the areas burned by forest fires and the type of vegetation cover are not directly determining factors in the conditioning or activation of mass movements in four events studied, although the effect of the loss of cover due to fires on the surface and underground hydrological condition of the basins was not evaluated. To this end, four recent historical events were evaluated, by digitizing the scars left by avalanches and landslides, visible in satellite images of the date. These footprints were superimposed on vegetation cover maps, prepared by satellite image classification, and the corresponding zonal statistics were calculated. The coverage factor was compared with other geomorphometric elements derived from the MDT, geology and climate.

**Key words:** Torrential avalanches, risks, geographic information systems, vegetation.

### INTRODUCCIÓN

Los incendios forestales se están incrementando vertiginosamente en todo el mundo, debido, tanto al cambio climático global como a modificaciones en el tipo de uso de la tierra. Tyukavina *et al.* (2022), encontraron una tendencia global creciente en la pérdida de bosques debido a los incendios desde 2001 hasta 2019, impulsada por aumentos casi uniformes en los Trópicos, Australia y Eurasia. Abarca (2024), encontró una tendencia creciente en las superficies quemadas del Parque Nacional Henri Pittier (PNHP), desde 2015 hasta el presente, en modalidad cíclica (2015-2020) y en modalidad casi perfectamente exponencial (2021-2024), con una superficie quemada, en 2024, de más de 8 000 ha. Estas áreas quemadas se traducen en pérdida de masa boscosa, por lo que el PNHP ha pasado de 94 000 ha, en 1973, a 79 000 ha, en 2024. Similar resultado encontró Rebolledo (2022) y Rebolledo y Lares (2020), en estudios de la vegetación del PNHP.

Después de los incendios, al iniciarse la temporada de lluvias, se produce una gran actividad biológica y se favorece la reproducción y propagación de especies piroresistentes, tanto por mecanismos de rebrote, como de germinación (Bodi *et al.*, 2012). La estabilidad de los agregados, la porosidad, la capacidad de retención de humedad y la hidrofobicidad, son factores modificados por los incendios, dependiendo de la intensidad de la temperatura alcanzada. Estos efectos traen como consecuencia una reducción de la infiltración, aumento de la escorrentía y la erosión y disminución de la humedad del suelo (Bodi *et al.*, 2012).

Algunos efectos de los incendios pueden ser positivos, como el control de insectos-plaga, malezas, eliminación de excesivo material vegetal inflamable y el rebrote de pastos y otras especies piroresistentes. Este es un argumento común en incendios provocados, tal como en el caso de la Gran Sabana, en la región de Guayana, donde las comunidades aborígenes Pemón, tienen la tradición de quemar la sabana, de acuerdo a Rodríguez (2004), para prevenir la ocurrencia de grandes incendios por la acumulación excesiva de material combustible y para favorecer el rebrote de las gramíneas. Sin embargo, este es un hecho que ha resultado controversial, ya que el manejo del fuego debería ser celosamente controlado y habría que sopesar el valor del rebrote de gramíneas con relación a los impactos negativos sobre el suelo y sus microorganismos, sobre la atmósfera y el calentamiento global y sobre el bosque.

El principal agente causante de la degradación boscosa, en bosques continuos y fragmentados de la Gran Sabana, es el fuego (Hernández *et al.*, 2012) y probablemente sea el principal causante de la

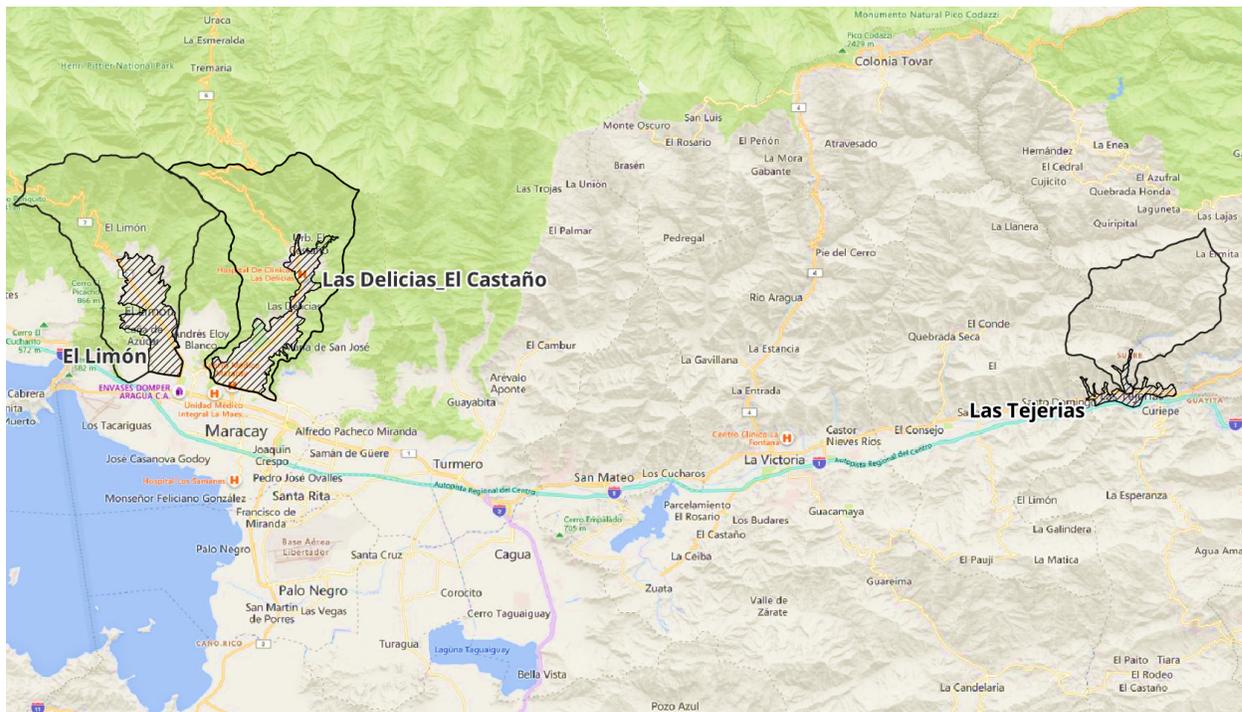
fragmentación. Rebolledo (2022), encontró que el PNHP tiene un 35% de su superficie afectada por el efecto de borde generado por fraccionamiento, y éste, es ocasionado por la acción antrópica, incluyendo los incendios forestales.

En los bosques tropicales en zonas de montaña, como la Cordillera de La Costa, la supresión de la cubierta boscosa por incendios, pudiera condicionar la magnitud catastrófica de eventos de movimientos en masa, cuando se conjuga con factores activadores como las precipitaciones o la sismicidad a niveles críticos.

En este estudio se pretende evaluar el efecto de la cobertura vegetal en general y de las áreas quemadas en particular, sobre la incidencia de movimientos en masas, en comparación con otros factores condicionantes o activadores, como la topografía, la geología y la precipitación.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Se realizó la siguiente secuencia metodológica para el desarrollo de la investigación: Identificación de los eventos de movimientos en masa de mayor relevancia para el estudio. Se consideró el evento del 08/10/2022, de la cuenca de la quebrada Chorrerón (Los Patos), en la población de Las Tejerías, estado Aragua; el evento del 17/10/2022, de la cuenca del río Las Delicias, en Maracay, estado Aragua; y los eventos del 09/09/2020 y 06/09/1987, en la cuenca hidrográfica del río El Limón, estado Aragua (Figura 1). En el Anexo 1 se grafica la frecuencia de ocurrencia temporal de 50 eventos torrenciales históricos, ocurridos en el país. Estos fenómenos se producen con una alta frecuencia, entre octubre y septiembre, cuando los suelos y el subsistema subterráneo se encuentran saturados, al final del período húmedo (Anexo 1).



**Figura 1.** Ubicación regional de las áreas de estudio.

Recopilación de imágenes multiespectrales y pancromáticas con visibilidad, para las fechas más cercanas a la de ocurrencia de los eventos. Las imágenes Landsat y los modelos SRTM se obtuvieron del sitio web de la NASA Earth Explorer [<https://earthexplorer.usgs.gov/>]. Las imágenes Sentinel se obtuvieron del componente para observación de la Tierra Copernicus, del programa espacial de la Unión Europea

[<https://www.copernicus.eu/en/about-copernicus>]. Las imágenes GeoEye-1 y World View-2 se procesaron desde el servidor de mapas e imágenes de la empresa ESRI

[<https://www.arcgis.com/apps/mapviewer/index.html?layers=10df2279f9684e4a9f6a7f08febac2a9>].

Elaboración de mapas de vegetación para las fechas más cercanas, previas a los eventos a estudiar, mediante Clasificación No Supervisada de las imágenes multiespectrales. Para ello se realizó la clasificación de las imágenes, utilizando el método de agrupamiento K-medias, desarrollado en el algoritmo Hill-Climbing (Rubin, 1967, implementado por QGIS, 2004). Para el caso de la imagen Landsat, los valores de radiancia se convirtieron a reflectancia, utilizando el método de Chávez (1996), implementado por IDRISI (Eastman, 2012a y 2012b). Se identificaron estadísticamente 50 grupos (clusters) que fueron verificados por análisis visual y reagrupados en 7 clases generales (bosques densos, bosques ralos/matorrales, herbazales/matorrales, suelo desnudo/urbano, aguas llanas/playa, aguas profundas/sombras, áreas quemadas). Se cuantificó la superficie de cada tipo de cobertura de cada cuenca.

Identificación de las cicatrices o huellas dejadas por los eventos torrenciales y digitalización de los polígonos respectivos, visibles en imágenes satelitales de alta resolución (60 cm). Estos polígonos se superpusieron sobre los mapas de cobertura vegetal y se cuantificó la superficie de cada tipo de cobertura, en cada polígono de deslizamiento. También se generaron Índices de Diferencia Normalizada de Vegetación (NDVI), en cada cuenca y en sus respectivas cicatrices, para fortalecer la interpretación de los tipos de cobertura.

### **Se procesaron las siguientes imágenes de satélite:**

- Sentinel-2-L2A, del 23/03/2022, para elaboración del mapa de cobertura vegetal de la cuenca de la quebrada Chorrerón (Las Tejerías), previa al evento del 08/10/2022.
- GeoEye-1, del 23/03/2023, para digitalización y análisis de las cicatrices de deslizamiento del evento del 08/10/2022, en la cuenca de la quebrada Chorrerón.
- Sentinel-2-L2A, del 02/05/2022, para elaboración del mapa de cobertura vegetal de la cuenca del río Las Delicias, previa al evento del 17/10/2022.
- World View-2, del 05/12/2022, para digitalización y análisis de las cicatrices de deslizamiento del evento del 17/10/2022, en la cuenca del río Las Delicias.
- Sentinel-2-L2A, del 12/04/2020, para elaboración del mapa de cobertura vegetal de la cuenca del río El Limón, previa al evento del 09/09/2020.
- World View-2, del 06/10/2020, para digitalización y análisis de las cicatrices de deslizamiento del evento del 09/09/2020, en la cuenca del río El Limón.
- Landsat 5 MSS-L1, del 13/03/1986, para elaboración del mapa de cobertura vegetal de la cuenca del río El Limón (1986), previa al evento del 06/09/1987.
- Shuttle Radar Topography Mission (SRTM), para obtener los Modelos Digitales del Terreno (MDT) con 3" de arco de resolución (30 m) de las cuencas a estudiar.

Procesamiento del MDT de cada cuenca para obtener los mapas de las variables geomorfológicas consideradas como condicionantes de los movimientos en masa (Marcano y Cartaya, 2012; Pineda, 2012, 2008; Pineda *et al.*, 20011; Abarca, 2010; Noya, 2002): altitud, pendiente, curvatura de perfil, curvatura de plano, curvatura general, orientación de laderas e Índice Topográfico de Humedad (TWI).

### **Caracterización de los eventos de movimientos en masa, mediante:**

- Extracción de la estadística zonal (N° de pixels, suma, media, mediana, desviación estándar, mínimo, máximo, intervalo, minoría, mayoría, variedad, varianza, superficie) de las cicatrices de cada evento, sobre las variables geomorfológicas del MDT;
- Extracción de la estadística zonal de las cicatrices de los eventos, sobre los mapas de cobertura vegetal correspondientes, incluyendo las áreas incendiadas en el año del evento y coberturas de vegetación secundaria (herbazales y matorrales) productos de incendios de años anteriores, así como sobre los NDVI generados para cada cuenca;
- Evaluación de la información geológica de las cuencas, como factor activador de los eventos;
- Evaluación de datos de precipitación disponible, como principal factor activador de los eventos;
- Análisis del efecto de los incendios forestales en la incidencia de eventos de movimientos en masa.

## **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **EVENTOS TORRENCIALES**

#### **Alud torrencial de Las Tejerías (08/10/2022):**

En la cuenca de la quebrada Chorrerón (también llamada Los Patos), con una superficie de 3 911,40 ha, se desarrolló un evento de movimiento en masa el 08/10/2022, que por su magnitud se denominó “Tragedia de Las Tejerías”. Este evento afectó una superficie de 109,54 ha, entre superficie de cárcavas, franjas de deslizamiento y canales de descarga, sin considerar el área urbana afectada como receptora de los aludes. También dejó un saldo de 60 fallecidos, 462 viviendas afectadas y destrucción de las redes de servicio (agua potable, aguas servidas, electricidad, vialidad y telecomunicaciones). La superficie afectada se estimó digitalizando y midiendo, las cicatrices dejadas por el evento, sobre la imagen de satélite Geo-Eye-1, del 16/03/2023 (resolución espacial de 60 cm). Se registraron 427 polígonos de afectación de pequeño tamaño (0,25 ha en promedio por polígono), que tenían forma peculiar de arañazos longitudinales sobre las laderas y que se concentraban en el cauce de los principales tributarios de la quebrada Chorrerón. La digitalización sobre la imagen solo toma en cuenta los efectos visibles de la remoción de material, pero hay que considerar que también hay arrastre de sedimentos bajo la cubierta boscosa y en las laderas vegetadas con herbazales y matorrales, efecto no visible en la imagen.

#### **Alud torrencial de El Castaño (17/10/2022):**

La cuenca del río Las Delicias (también llamado Maracay o Río Blanco) tiene una superficie de 6 238 ha. El 17/10/2022 se produjo un evento torrencial que dejó 5 personas fallecidas y unas 472 viviendas afectadas, además de los daños a los servicios de agua potable, aguas servidas, electricidad, vialidad y telecomunicaciones. De acuerdo al análisis de las imágenes de satélite procesadas, el evento de movimiento en masa en la cuenca, dejó cicatrices en las laderas de la Cordillera de La Costa y sus estribaciones, que ocupan unas 47,12 ha. Estas huellas de deslave son detectadas a simple vista en la imagen de satélite

World View-2, del 05/12/2022 (48 días después del evento). Es de destacar que los canales de descarga (cauces de ríos y quebradas agrandados por los flujos torrenciales) tienen tramos bajo cobertura boscosa que no son visibles desde el aire, pero que funcionan como túneles vegetales, transitando la creciente de agua, sedimentos, rocas y troncos de árboles que estaban en descomposición o fueron arrancados por los aludes. Estos materiales son los que hacen mayores daños en las zonas habitadas aguas abajo. Las laderas cubiertas por vegetación ligera (herbazales y matorrales) también aportan sedimentos por erosión laminar, pero no dejan cicatrices visibles al satélite.

### **Alud torrencial de El Limón (09/09/2020):**

El 09/09/2020 se produjo un alud torrencial en la cuenca del río El Limón, que pareció repetir la tragedia vivida allí mismo en 1987. En esta ocasión el alud afectó a 110 personas, con 65 viviendas destruidas total o parcialmente y sin víctimas mortales. Para su estudio, se analizó la imagen del satélite World View-2, del 06/10/2020 (27 días después del evento), identificando cicatrices en las sub-cuencas de las quebradas Guacamaya, Guamita, Corral de Piedra y el río El Manguito. Las huellas del deslave, visibles en la imagen, ocupan una superficie de 184 ha.

### **Alud torrencial de El Limón (06/09/1987):**

El evento torrencial del 06/09/1987, en la cuenca hidrográfica del río El Limón, denominado “Tragedia de El Limón”, es el segundo evento hidrológico catastrófico de mayor envergadura ocurrido en el país, después de la “Tragedia de Vargas”, de 1999. Este evento dejó una cifra de 100 fallecidos, 100 desaparecidos, 300 lesionados y 300 damnificados. Se evaluaron los factores condicionantes de este evento, mediante la caracterización de las zonas afectadas en la cuenca y el análisis de la imagen Landsat TM5 del 13/03/1986.

Audemard *et al.* (1989), identificaron y caracterizaron las áreas afectadas por avalanchas de escombros dejadas por el evento en las subcuencas de las quebradas Rancho Grande, Guacamaya, Guamita, Corral de Piedra y el río El Manguito. La superficie ocupada por las cicatrices del deslave fue de 474,66 ha.

## **ANÁLISIS DE FACTORES CONDICIONANTES Y ACTIVADORES**

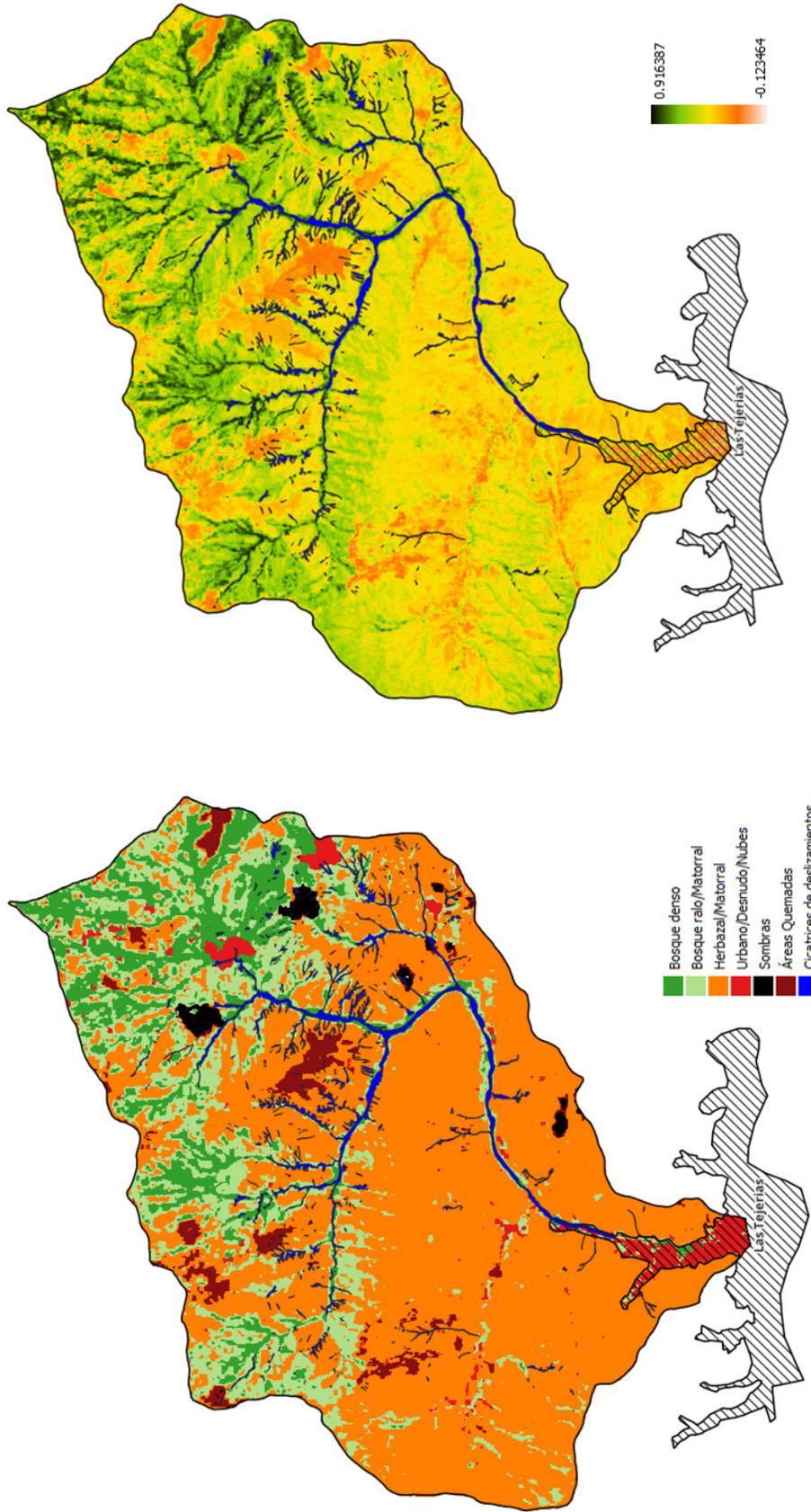
Se analizó la vegetación y las áreas incendiadas, así como factores geomorfométricos, geológicos y climáticos, como condicionantes y activadores de los movimientos en masa, para cada evento considerado.

### **Cobertura vegetal y áreas incendiadas**

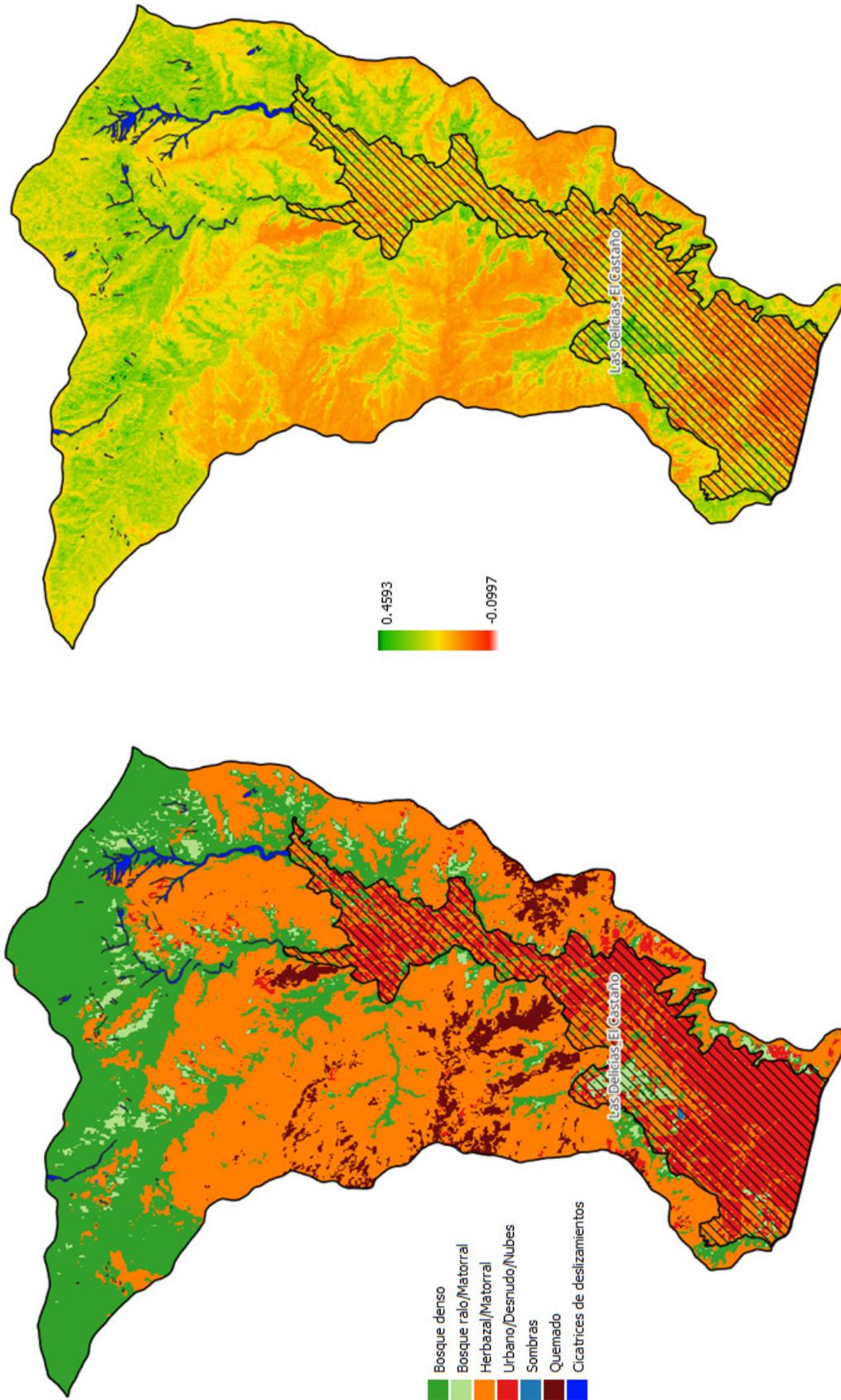
En las Figuras 2 a 5 se presentan los resultados de los análisis de estos factores, que son cuantificados en el Cuadro 1 y Anexo 2.

La mayor parte de las áreas afectadas por movimientos en masa ocurrieron sobre áreas de vegetación densa (bosques). En Tejerías, 64%; en El Castaño, 95%; en El Limón-2020, 94% y en El Limón-1987, 100%. Las cicatrices de deslizamiento sobre áreas quemadas, ocuparon entre un 0 y un 6,26%, en todas las cuencas, aunque en Las Tejerías hubo un alto porcentaje de cicatrices en zonas de herbazales (34,5%), que corresponden a coberturas sucesionales de incendios anteriores.

El NDVI confirma esta apreciación, ya que su valor promedio en las cicatrices supera el valor de la cuenca y de las subcuencas correspondientes, en todos los casos, de todos los eventos, lo que indica la presencia de una alta biomasa vegetal, en las áreas de cicatrices, en comparación con el resto de la cuenca (Anexo 2). En estos eventos, el carácter protector del factor vegetación densa no es determinante en el control de fenómenos torrenciales. Las áreas incendiadas en el año de los eventos tampoco tuvieron incidencia favorecedora en su desarrollo.



**Figura 2.** Mapa de Cobertura vegetal e Índice Normalizado de Diferencias de Vegetación (NDVI) de la cuenca de la quebrada Chorrerón (Las Tejerías) y sus cicatrices de deslizamientos (2022).



**Figura 3.** Mapa de Cobertura vegetal e Índice NDVI de la cuenca del río Las Delicias (El Castaño) y sus cicatrices de deslizamientos (2022).

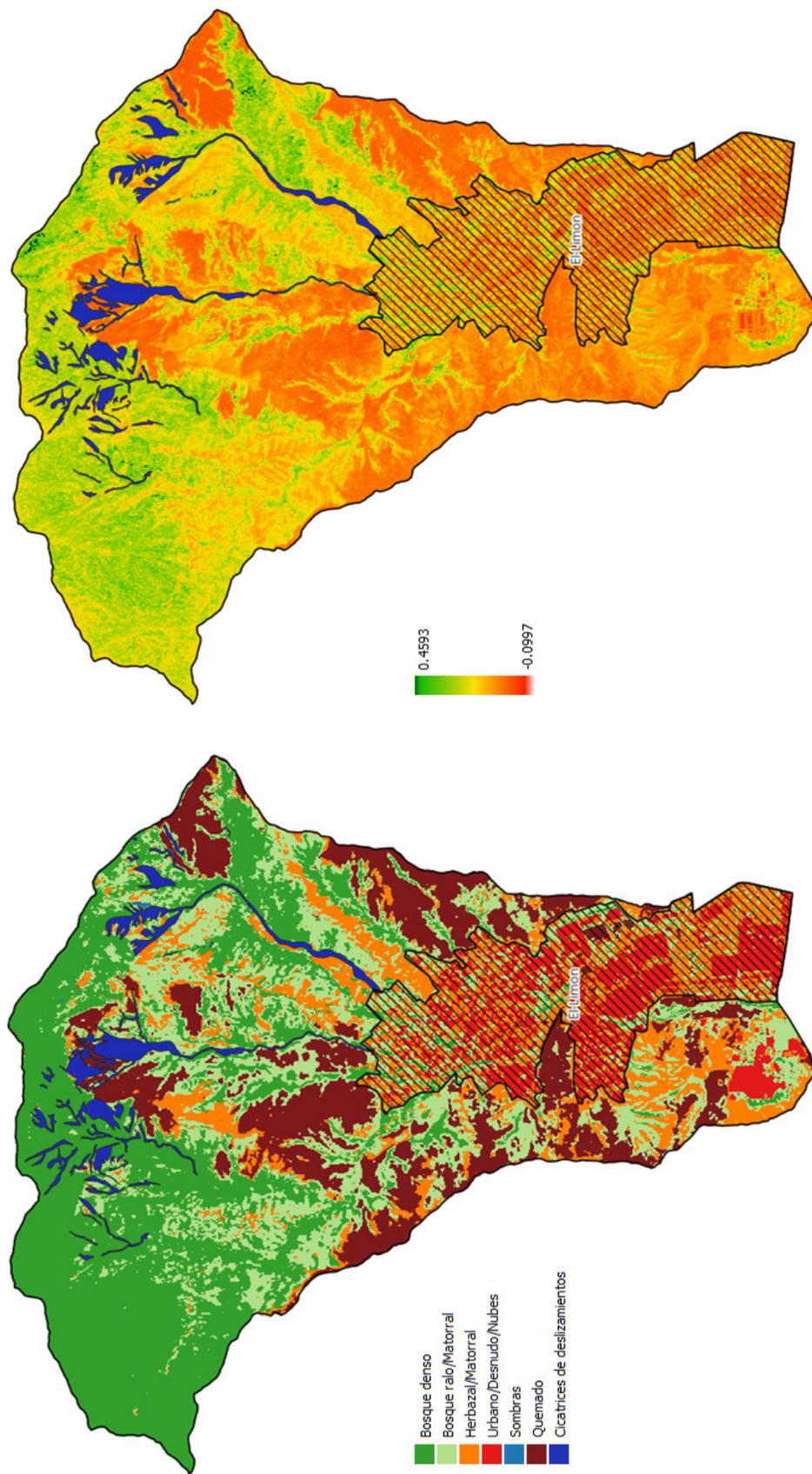
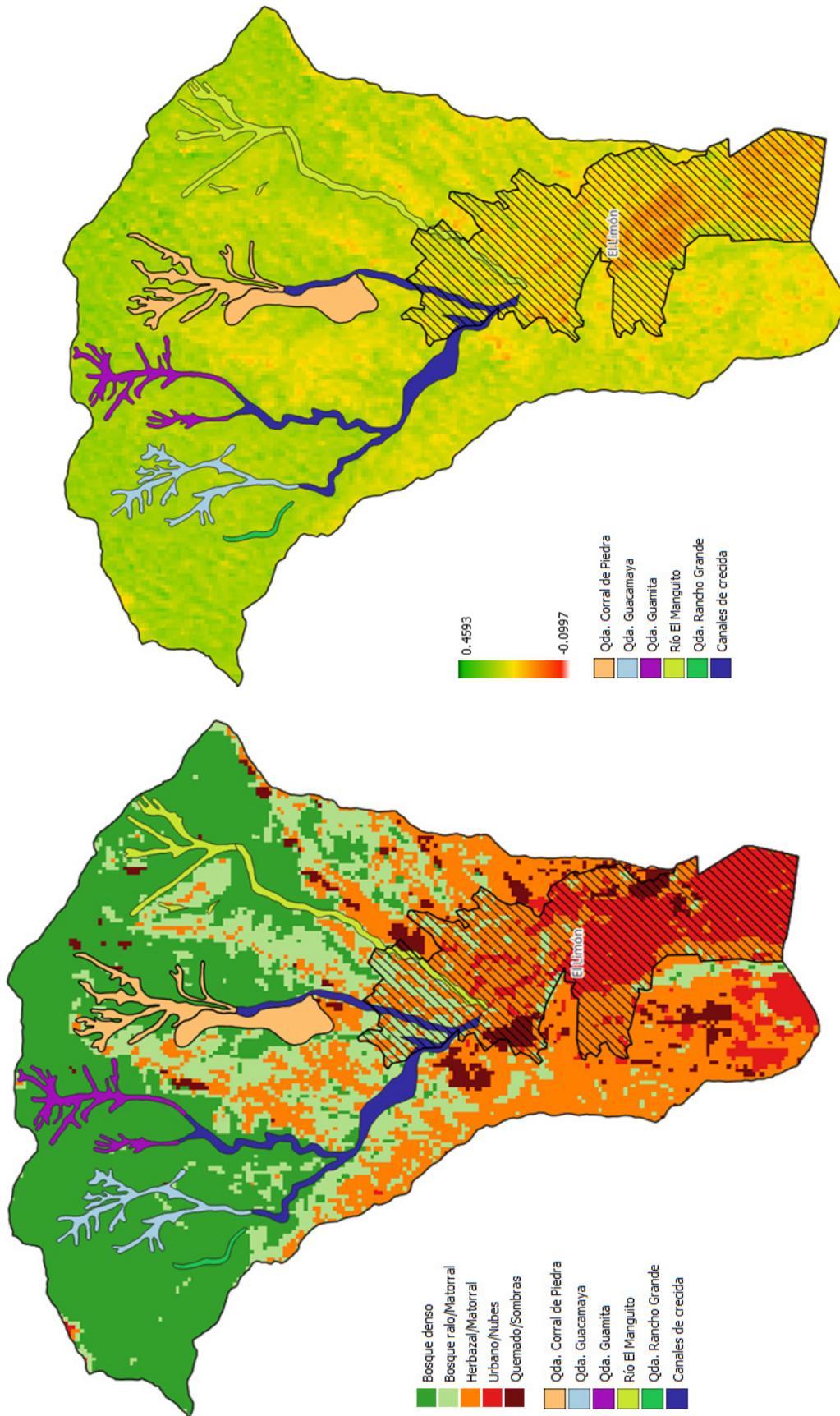


Figura 4. Mapa de Cobertura vegetal e Índice NDVI de la cuenca del río El Limón y cicatrices de deslizamientos (2020).



**Figura 5.** Mapa de Cobertura vegetal e Índice NDVI de la cuenca del río El Limón y sus cicatrices de deslizamientos (1987).

**Cuadro 1.** Tipos de cobertura en las cuencas de la quebrada Chorrerón (Las Tejerías), río Las Delicias (El Castaño) y río El Limón, y en las respectivas cicatrices de deslizamientos.

| Tipo de cobertura    | Las Tejerías (2022) |            |               |            | El Castaño (2022) |            |              |            |
|----------------------|---------------------|------------|---------------|------------|-------------------|------------|--------------|------------|
|                      | Cuenca              |            | Cicatrices    |            | Cuenca            |            | Cicatrices   |            |
|                      | (ha)                | (%)        | (ha)          | (%)        | (ha)              | (%)        | (ha)         | (%)        |
| Bosque denso         | 427,53              | 10,93      | 24,16         | 22,06      | 1905,66           | 30,56      | 44,51        | 94,46      |
| Bosque ralo/Matorral | 794,71              | 20,32      | 45,65         | 41,67      | 197,88            | 3,17       | 0,34         | 0,73       |
| Herbazal/Matorral    | 2433,92             | 62,23      | 37,79         | 34,50      | 2996,17           | 48,04      | 2,27         | 4,81       |
| Urbano/Desnudo/Nubes | 103,36              | 2,64       | 0,07          | 0,06       | 866,33            | 13,89      | 0            | 0          |
| Sombras              | 36,28               | 0,93       | 1,41          | 1,29       | 1,96              | 0,03       | 0            | 0          |
| Áreas quemadas       | 115,6               | 2,96       | 0,46          | 0,42       | 268,63            | 4,31       | 0            | 0          |
| <b>Total</b>         | <b>3911,4</b>       | <b>100</b> | <b>109,54</b> | <b>100</b> | <b>6236,63</b>    | <b>100</b> | <b>47,12</b> | <b>100</b> |

| Tipo de cobertura    | El Limón (2020) |            |               |            | El Limón (1987) |            |               |            |
|----------------------|-----------------|------------|---------------|------------|-----------------|------------|---------------|------------|
|                      | Cuenca          |            | Cicatrices    |            | Cuenca          |            | Cicatrices    |            |
|                      | (ha)            | (%)        | (ha)          | (%)        | (ha)            | (%)        | (ha)          | (%)        |
| Bosque denso         | 2156,63         | 34,01      | 119,03        | 64,83      | 2665,24         | 42,03      | 290,65        | 61,22      |
| Bosque ralo/Matorral | 1598,58         | 25,21      | 53,09         | 28,91      | 1235,14         | 19,48      | 184,09        | 38,78      |
| Herbazal/Matorral    | 1010,56         | 15,94      | 0             | 0          | 1665,97         | 26,27      | 0             | 0          |
| Urbano/Desnudo/Nubes | 507,75          | 8,01       | 0             | 0          | 542,99          | 8,56       | 0             | 0          |
| Sombras              | 1,3             | 0,02       | 0             | 0          | 0               | 0,00       | 0             | 0          |
| Áreas quemadas       | 1066,89         | 16,82      | 11,49         | 6,26       | 232,58          | 3,67       | 0             | 0          |
| <b>Total</b>         | <b>6341,71</b>  | <b>100</b> | <b>183,61</b> | <b>100</b> | <b>6341,92</b>  | <b>100</b> | <b>474,74</b> | <b>100</b> |

Silva-Aguilera (2023); Maignon *et al.* (2023) y Audemard (1987), indican la posible formación de diques naturales o caramas en las partes altas de las cuencas de la quebrada Los Patos y en los ríos Palmarito y El Limón, los cuales se rompieron durante el tránsito de las crecientes, generando efectos catastróficos. Estos diques se forman por la acumulación de sedimentos, rocas, ramas y troncos de árboles en los sitios de estrechamiento de los cauces, por lo que los incendios de las áreas boscosas son importantes fuentes de material de base para la formación de los diques, el taponamiento de cauces y daños a infraestructuras y personas.

La ladera oeste del río Palmarito fue la de mayor aporte de sedimentos en el alud torrencial de El Castaño, dado su alto nivel de deforestación (Maignon *et al.*, 2023), aunque en este trabajo se encontró que el 94% de las cicatrices de deslizamiento ocurren sobre zonas densamente boscosas, y el resto sobre herbazales y matorrales. Sin embargo, se debe considerar que en el presente análisis no se toma en cuenta la erosión laminar de las laderas de herbazales (que son zonas deforestadas de antiguos bosques), ya que no definen una cicatriz visible en la imagen satelital.

De acuerdo a Audemard *et al.* (1989), los movimientos en masa ocurridos en la cuenca del río El Limón están relacionados con importantes condiciones de saturación local, que condujeron al arrastre de regolito y suelo, conjuntamente con la cubierta vegetal boscosa, bajo condiciones de lluvias torrenciales de magnitud 174 mm en 4,5 horas, o 180 mm en 6 horas. Estos autores atribuyen el alto riesgo a movimientos en masa de la cuenca a la marcada inestabilidad de los suelos y la fragilidad de los ecosistemas boscosos.

Cannon (2001), evaluó la respuesta erosiva de 95 cuencas quemadas en el suroeste de los EEUU, encontrando que solo en el 40% de estas se producían flujos de escombros. Las cuencas restantes producían flujos de corriente cargados de sedimentos o ninguna respuesta evidente, concluyendo que estos movimientos en masa no fueron la respuesta predominante de las cuencas quemadas y sugiriendo que son las condiciones geológicas y geomorfológicas las que controlan el flujo de escombros. En estas cuencas, sometidas a incendios forestales, los flujos de escombros son la respuesta inicial a eventos de lluvia significativos. En este sentido, Cannon *et al.* (2011), encontraron umbrales de precipitación para el desencadenamiento de eventos de flujo de escombros de diferente magnitud. En las cuencas de la quebrada Los Patos y de los ríos Palmarito y El Limón, como se deduce del Cuadro 1, las áreas quemadas no incidieron significativamente en la ocurrencia de los deslizamientos y flujos de escombros que se produjeron durante los eventos estudiados, más bien son una consecuencia principal de la precipitación extrema, como factor detonante, y otras condiciones geomorfométricas.

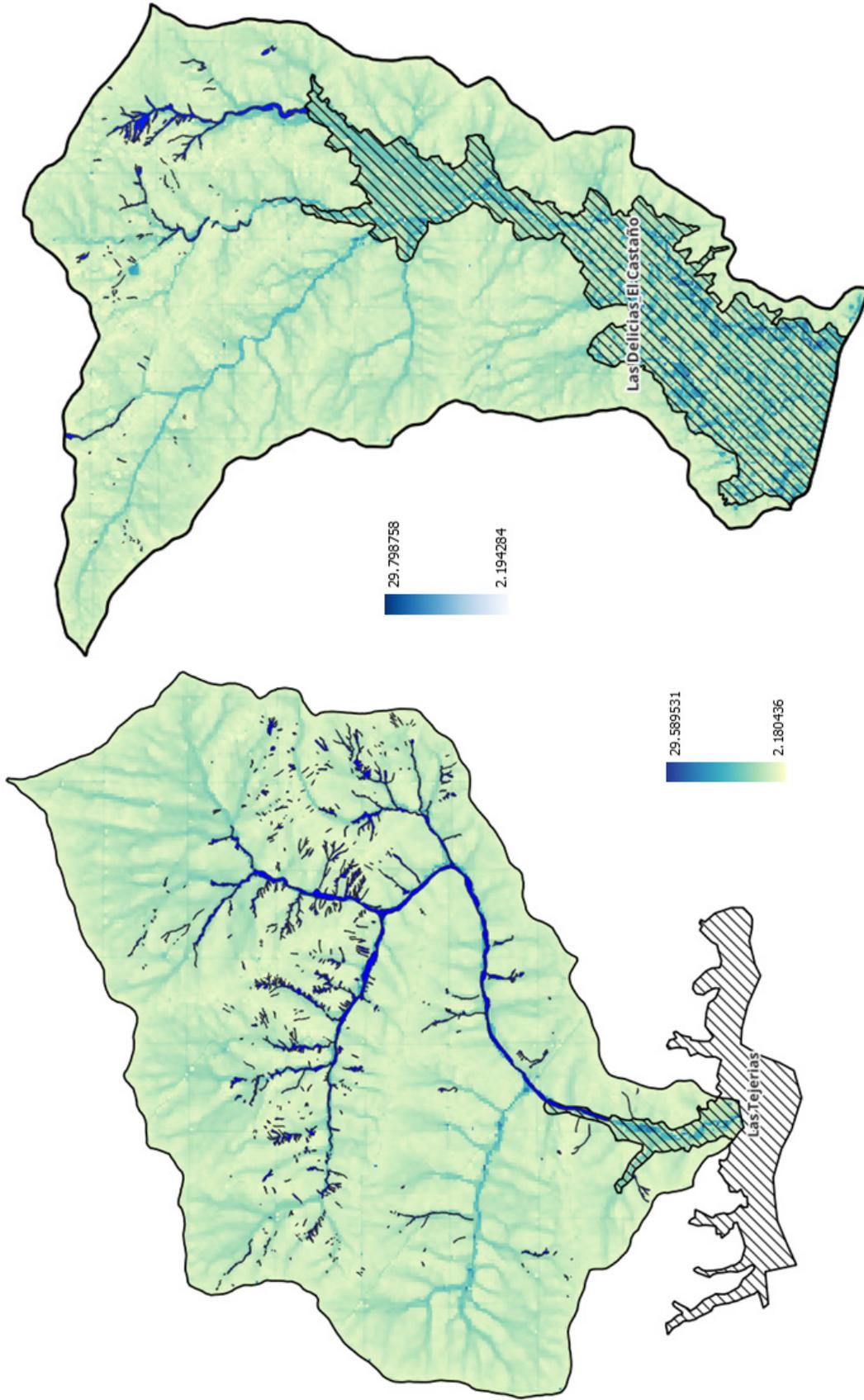
### **Condicionantes geomorfométricos:**

Se procesó el MDT para estudiar los factores: Altitud, Pendientes, Orientación de laderas, Curvatura e Índice TWI (Figuras 6 y 7), tanto en la cuenca, como en las cicatrices respectivas (Zevenbergen y Thorne, 1987; Beven y Kirkby, 1979). La cuantificación de estos factores mediante estadística zonal se presenta en el Anexo 2. La altitud promedio de las cicatrices se encuentra por encima de la altitud promedio de la cuenca, en cada evento, con una pendiente promedio que varía entre 23 y 33°. La orientación de las huellas varía de 175° a 286° (S-O).

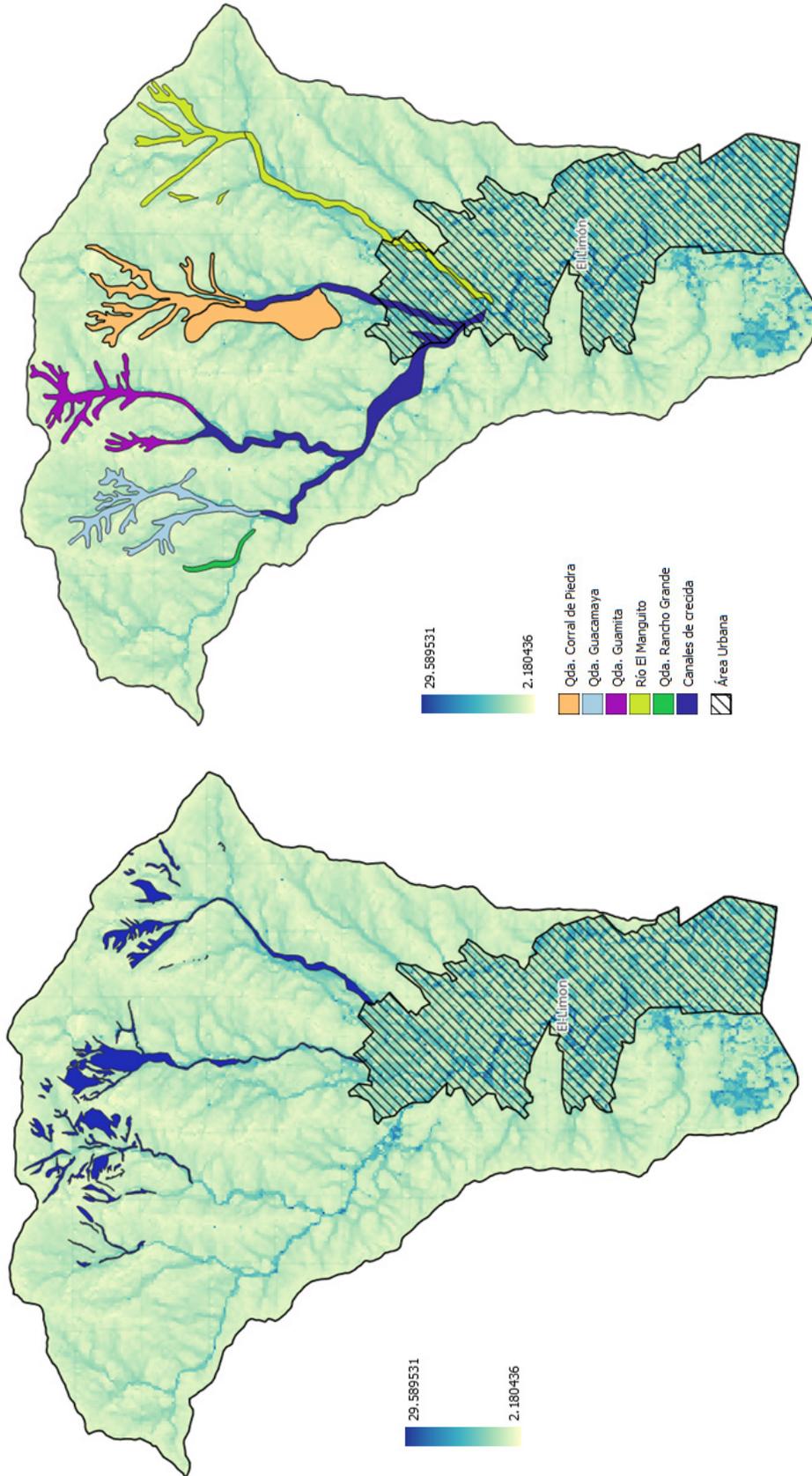
Además del valor de la pendiente, su curvatura es un elemento incidente en la presencia de áreas de deslizamiento. Del análisis de los polígonos (cicatrices) en las laderas, se determinó que, para cada cuenca, desde el 56% hasta el 91% de los polígonos, tiene forma convexa en el sentido de la línea de máxima pendiente (curvatura de perfil o vertical), mientras que en el sentido perpendicular (curvatura de plano u horizontal), se tienen desde el 59 hasta el 74% de los polígonos, con forma cóncava. Una curvatura de perfil convexa hace que la pendiente de la ladera tienda a crecer, por lo que el agua de escorrentía superficial experimentará una aceleración, favoreciendo los procesos de erosión y la formación de cárcavas, como las observadas en las cicatrices. Así mismo, la curvatura de plano cóncava, produce la convergencia de las líneas de flujo en la superficie, haciendo que se concentren, favoreciendo los procesos erosivos. La curvatura estándar (general), combina las curvaturas de perfil y de plano y, de acuerdo al análisis de los deslizamientos, desde el 56 hasta el 82% de los polígonos reúnen la condición máxima para la producción de movimientos en masa, desde el punto de vista morfométrico, curvatura de perfil convexa y curvatura de plano cóncava.

Se determinó que el índice TWI es mayor para los polígonos de deslizamientos que, para las cuencas, en todos los casos estudiados, inclusive en las subcuencas componentes (Anexo 2). Las áreas con mayor valor de TWI son más proclives a generar escorrentía como producto de la precipitación, por lo que son más susceptibles a los procesos de movimientos en masa. Alcántara-Ayala (2000) y Roa-Lobo y Kamp (2012), encontraron que a mayor valor del TWI se tienen áreas con mayor concentración del escurrimiento y mayor percolación, por lo que hay mayor presión de saturación en los poros del suelo y del regolito, incrementando la tendencia a los movimientos en masa.

Mandal y Mondal (2019), evaluaron modelos geoespaciales de susceptibilidad y riesgos de deslizamientos en las montañas de la India, considerando atributos geomorfométricos, geotécnicos e hidrológicos, tales como elevación del terreno, pendiente, orientación, curvatura, NDVI, TWI, geología, precipitación, entre otros. Estos autores encontraron una mayor susceptibilidad a los deslizamientos de tierra, a mayores elevaciones, mayor pendiente (27° como el valor de mayor frecuencia), orientación sur (por su exposición a procesos atmosféricos de precipitación y temperatura-radiación solar) y curvaturas extremas en concavidad y convexidad, Estos parámetros geomorfométricos se comportaron de manera similar a las cuencas aquí estudiadas, aunque otros factores como el NDVI y el TWI tienen un comportamiento diferente.



**Figura 6.** Índice Topográfico de Humedad (TWI) de las cuencas de la quebrada Chorrerón y el río Las Delicias.



**Figura 7.** Índice Topográfico de Humedad (TWI) de la cuenca del río El Limón, eventos torrenciales de 2020 y 1987.

### **Condicionantes y activadores geológicos:**

Se digitalizó el Atlas Geológico de la Cordillera de la Costa (Urbani y Rodríguez, 2004), para caracterizar los elementos litológicos y estructurales de las cuencas y de las cicatrices de los eventos. Para evaluar el posible efecto sísmico en el origen de los movimientos en masa, se calculó la distancia de las cicatrices de deslizamiento a las fallas geológicas, considerando que hay mayor riesgo de desestabilización, a mayor cercanía a las fallas. Así mismo, se revisó el catálogo de registros sísmicos, tanto de FUNVISIS ([http://www.funvisis.gob.ve/old/sis\\_mes.php](http://www.funvisis.gob.ve/old/sis_mes.php)), como del USGS (<https://www.usgs.gov/programs/earthquake-hazards/earthquakes>). En las Figuras 8 a 11 se presenta la geología de cada una de las cuencas y sus cicatrices.

En los casos de Las Tejerías y El castaño no existen elementos diferenciadores en cuanto a la litología de los polígonos de deslizamientos, ya que la mayoría de ellos ocurren solo sobre el Esquisto de Las Mercedes, en el caso de Las Tejerías, y solo en el Gneis Granítico de Choróní, en el caso de El Castaño. En el caso de la cuenca de El Limón, las principales zonas de deslizamiento se encuentran sobre el Gneis Granítico de Choróní (eventos 2020 y 1987), aunque los principales canales de crecida concurren sobre el Complejo San Julián. Los grandes bloques de rocas gnéisicas, desplazados por los deslizamientos, en El Castaño (y El Limón), provienen de la unidad Gneis Granítico de Choróní, mientras que los afloramientos del Complejo San Julián corresponden a esquistos con intenso grado de fracturamiento (Maingon *et al.*, 2023).

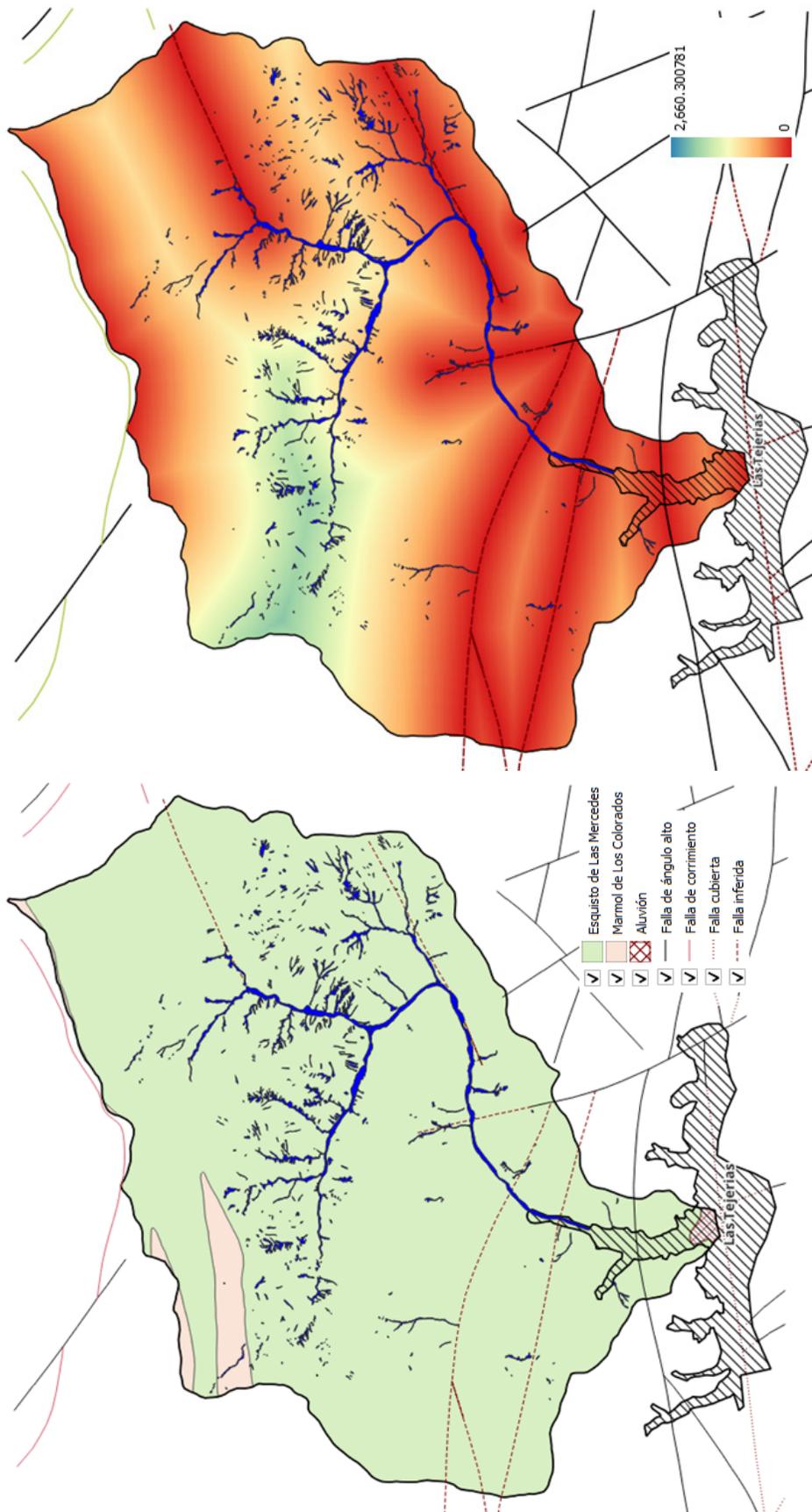
La distancia promedio de los polígonos de deslizamientos, a las fallas, varía desde 517 m, en El Limón, hasta 1039 m en Las Tejerías. En esta última cuenca el canal de la quebrada Chorrerón atraviesa 5 fallas (Figura 8), aunque las zonas de laderas disturbadas, se encuentran alejadas de estas. En Las Delicias, las zonas de mayor producción de sedimentos (quebrada Palmarito) se encuentran cercanas o en contacto con una falla (NW-SE) (Figura 9).

Solo se tiene reporte de FUNVISIS para un sismo de magnitud 2,6 Mw, con epicentro a unos 11 km al noroeste de la cuenca del río Las Delicias, de fecha 07/08/2022. La energía de un evento de esta magnitud es muy baja para tener influencia desestabilizadora en la zona. En el resto de las cuencas no se tienen reportes para sitios cercanos a los eventos.

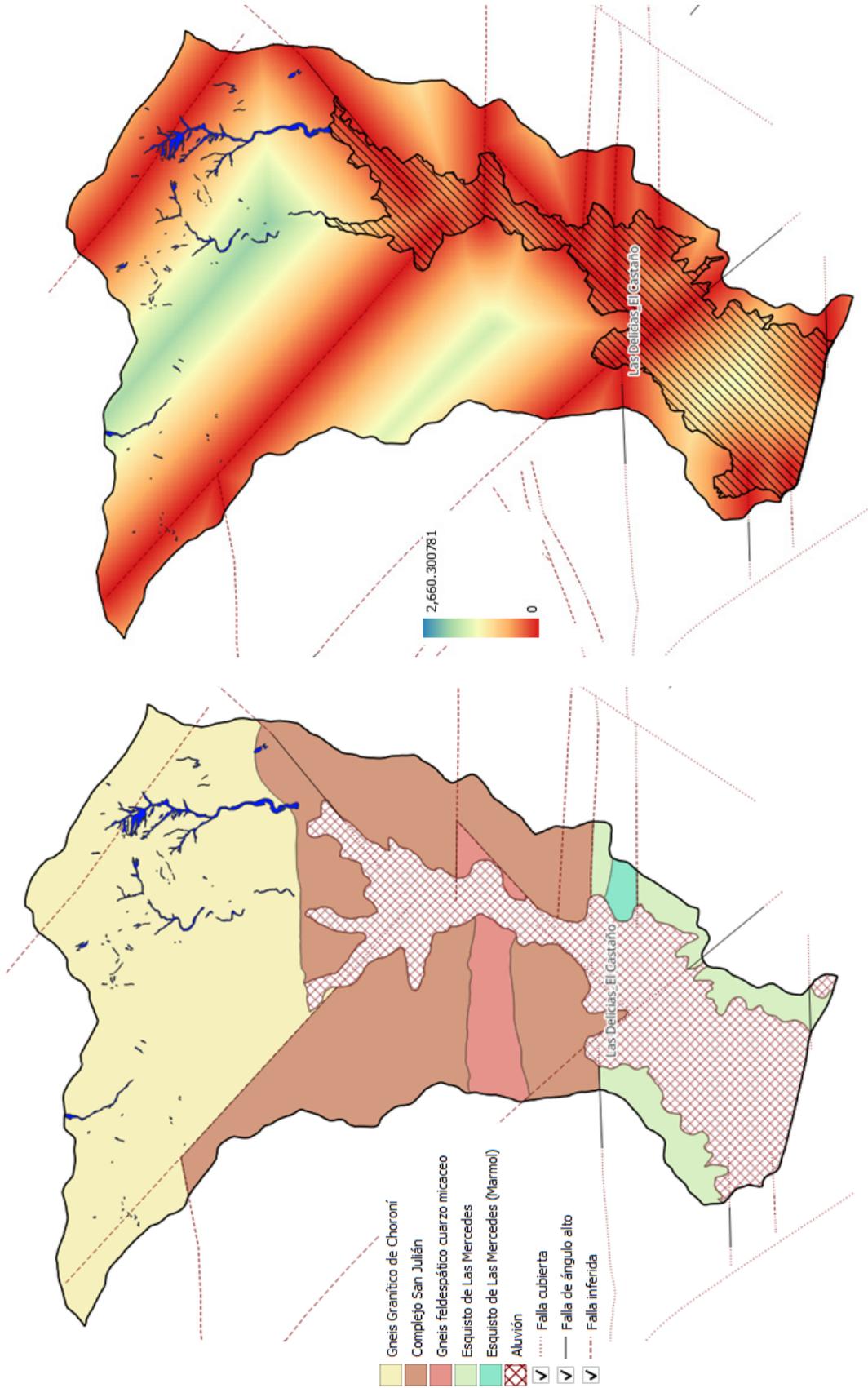
### **Activador climático (Precipitación):**

Se evaluaron los registros de precipitación disponibles, para cada cuenca, tanto a nivel mensual, como diario. Hay muy poca disponibilidad de registros climáticos en el área, sin embargo, se consideraron los registros históricos publicados de las estaciones más cercanas, para la fecha de los eventos. En las Figuras 12 y 13 se presentan los registros mensuales y diarios de las estaciones Tejerías (1936-1994), Choróní-Cabeceras (1966-2003), Castaño-Cabeceras (1988-2003), del INAMEH, y Los Arcos-El Limón (2020/2022), de UCV-FAGRO.

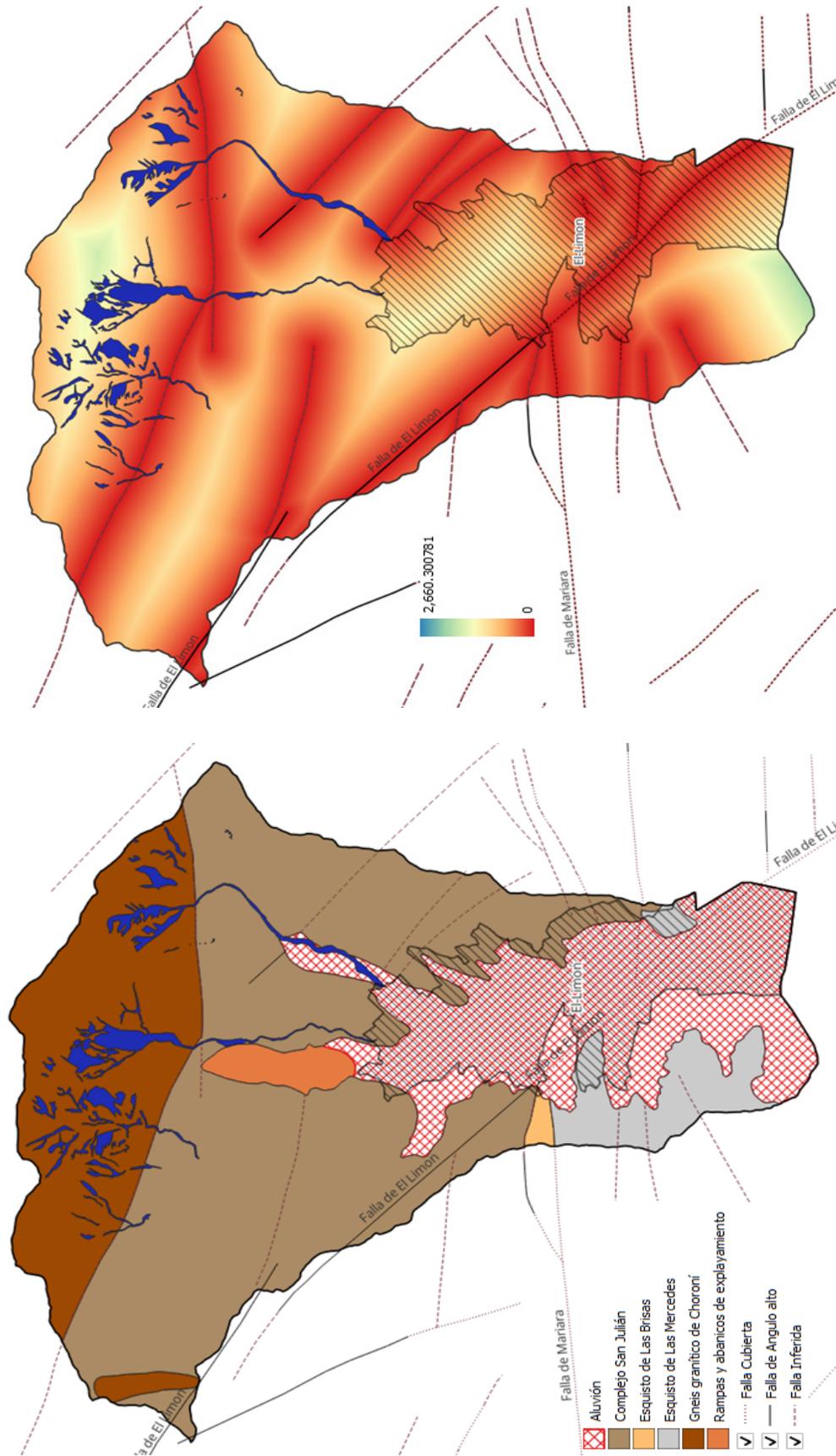
El promedio de precipitación mensual en Las Tejerías para el mes de octubre de la serie histórica es de 112 mm (Figura 12-1). Como se puede observar en la Figura 12-2, el día 06/10/2024 (2 días previos al evento de Las Tejerías) se produjo una precipitación equivalente al 53% del escurrimiento del mes, aunque en una localidad diferente, ubicada a 50 km (El Limón). Sin embargo, en reporte de prensa se informa de un registro, en el centro de Las Tejerías, de 108 mm el día del evento, que corresponden, casi en su totalidad, a la precipitación de todo el mes. El mes de octubre de este año fue húmedo (259,60 mm), en comparación con el registro histórico de las estaciones de altitud equivalente (400-600 msnm) del norte del estado Aragua (100,21 mm). Figura 13-3.



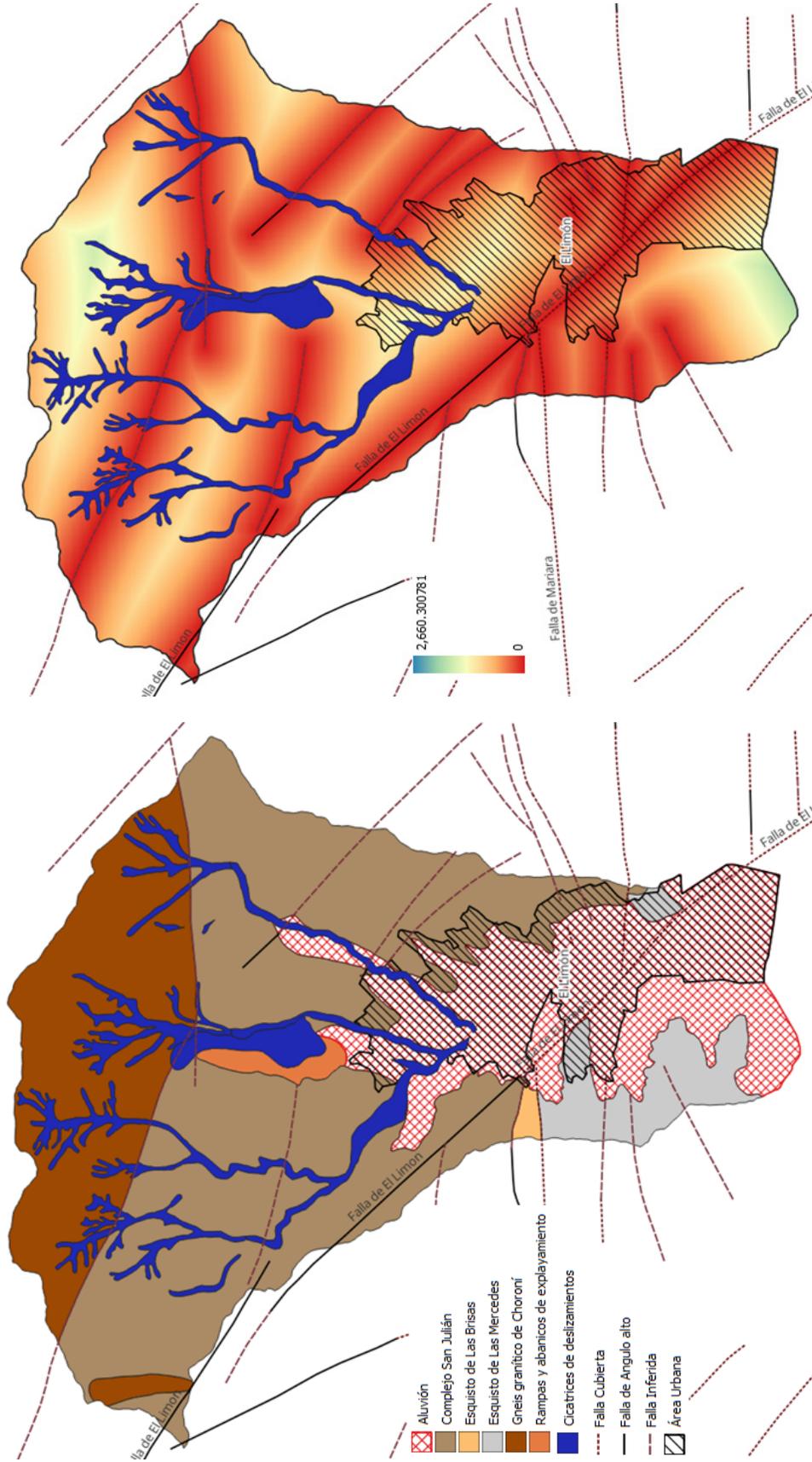
**Figura 8.** Geología de la cuenca de la quebrada Chorrerón. Litología/Estructura y Distancia a fallas.



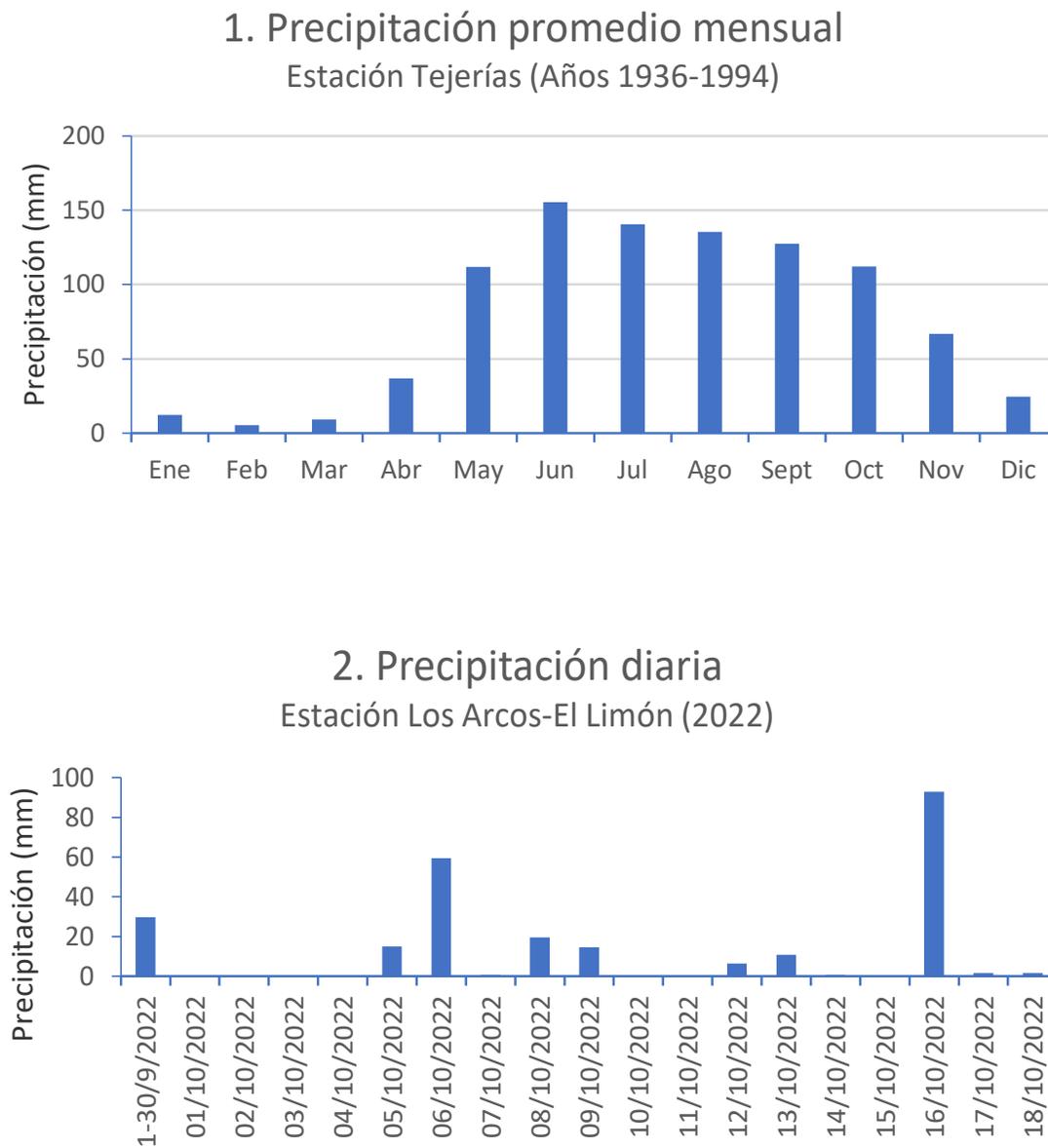
**Figura 9.** Geología de la cuenca del río Las Delicias. Litología/Estructura y Distancia a fallas



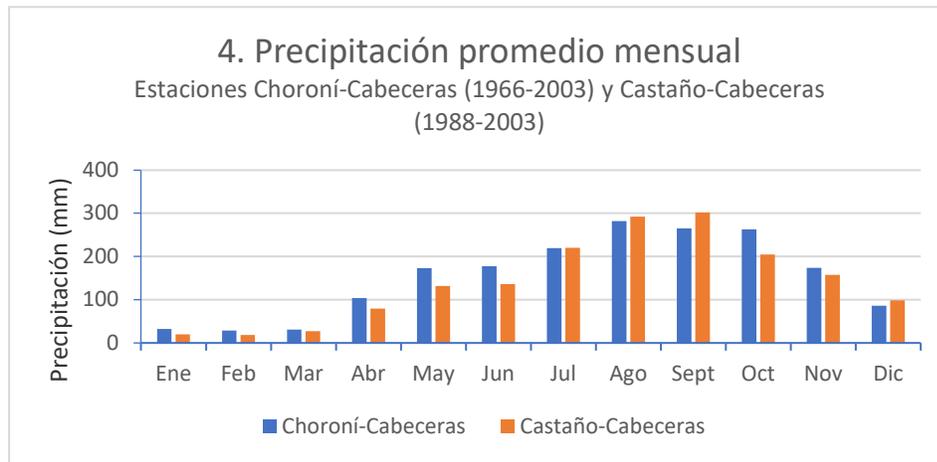
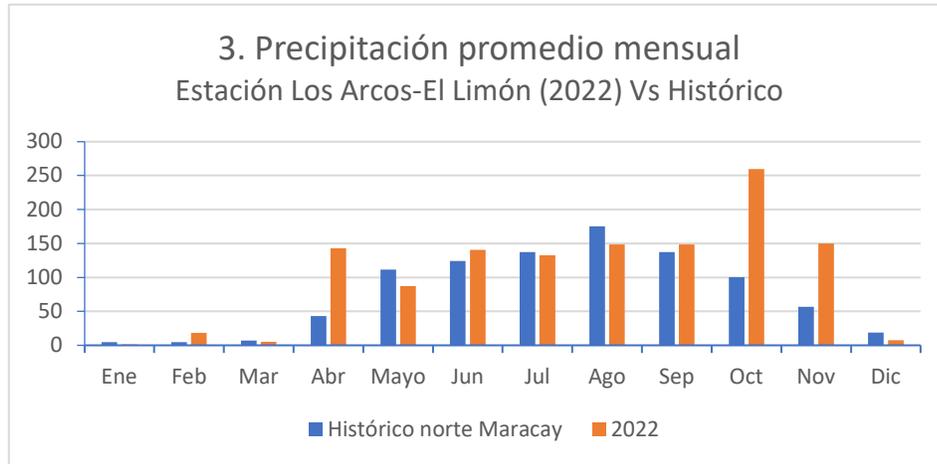
**Figura 10.** Geología de la cuenca del río El Limón. Litología/Estructura y Distancia a fallas (2020).



**Figura 11.** Geología de la cuenca del río El Limón. Litología/Estructura y Distancia a fallas (1987).



**Figura 12.** Hietograma de precipitación mensual, Estación Tejerías, y precipitación diaria, Estación Los Arcos-El Limón.



**Figura 13.** Hietograma de precipitación mensual, Estaciones Choroní-Cabeceras, Castaño-Cabeceras y Los Arcos-El Limón, y precipitación diaria, estación Los Arcos-El Limón.

Con relación al evento de El Castaño, en la Figura 13-4 se observa como los meses de agosto, septiembre y octubre fueron los más húmedos del año. No se tienen datos disponibles del día del evento en la localidad, sin embargo, en la Figura 12-2 se muestran los datos de la Estación automatizada Los Arcos-El Limón, ubicada a unos 9 km al oeste de la cuenca del río Las Delicias. En esa estación se registró una lluvia de 93 mm el 16/10/2022, día anterior al evento, lo que corresponde a un 40% de la precipitación del mes, en las estaciones Choróni y Castaño. En esta estación se registró precipitación en 8 de los 10 días previos al evento.

Para el evento de El Limón de 2020, En la estación climática Los Arcos-El Limón, ubicada a 5 km del área del evento, se registraron precipitaciones continuas los 4 días previos al evento (Figura 13-5), y llovió 9 de los 10 días previos. En el evento de El Limón de 1987, se reportaron lluvias de 180 mm en 6 horas (Maingon *et al.*, 2023; Audemard *et al.*, 1989).

En todos los casos las precipitaciones extremas, descargadas en áreas de elevada altitud, pendiente y energía potencial, así como la humedad antecedente, son el factor de mayor influencia en la activación de los eventos estudiados.

## CONCLUSIONES

Los incendios forestales no actuaron como activadores o condicionantes directos de los eventos torrenciales estudiados, aunque se debe evaluar el aporte de restos de material vegetal quemado y cenizas-sedimentos, al escurrimientos superficial y concentrado, así como la magnitud y velocidad de este escurrimiento, posiblemente incrementados por la falta de cobertura vegetal en laderas aportantes quemadas.

Las cicatrices de deslizamiento y los canales aportantes de los flujos de escombros ocurren principalmente en laderas y valles con cobertura de bosque denso. En muchos tramos el tránsito de las crecientes se produce en cauces bajo túneles vegetales difíciles de detectar en las imágenes de satélite.

La elevada altitud y pendiente de las laderas, por encima de un umbral de 20°, son los elementos geomorfométricos de mayor relevancia en el condicionamiento de los eventos torrenciales estudiados, al ser activados por precipitaciones extremas, con humedad antecedente. La curvatura del terreno, convexa en dirección a la pendiente y cóncava, transversal a ésta, así como un índice TWI elevado, son factores indicadores del riesgo a eventos torrenciales.

No se encontró relación entre el patrón de distribución espacial de las líneas de falla, con la presencia de cicatrices de deslizamientos, y no se reportó actividad sísmica para las fechas de los eventos estudiados, por lo que la sismicidad no es un factor activador de mayor importancia que las precipitaciones extremas, para los movimientos en masa de los eventos estudiados.

## RECOMENDACIONES

Se debe ponderar la contribución a los movimientos en masa, de los diferentes factores geomorfométricos vinculados al relieve, a las condiciones geológicas, edafológicas, climáticas, hidrológicas y antrópicas, para evaluar de manera integral el riesgo a los eventos torrenciales. Para ello, los factores estudiados en esta investigación, son un punto de partida, con una contribución comprobada.

Si bien, las áreas quemadas o cubiertas de herbazales por incendios anteriores, no presentan cicatrices de deslizamiento en magnitud de importancia en estos eventos, sus aportes en escurrimiento superficial, a las cicatrices y canales de descarga, deben ser estudiados, definiendo las micro-cuencas correspondientes.

Para monitorear las áreas susceptibles a los movimientos en masa en las cuencas estudiadas, se debe centrar la atención en las zonas de alta elevación, con umbrales de pendiente superiores a los 20° de inclinación.

El factor desencadenante principal, para los movimientos en masa en la Cordillera de La Costa, es la precipitación extrema, sobre todo en combinación con periodos específicos de humedad antecedente. El umbral de estos períodos debe ser estudiado en profundidad, así como la magnitud e intensidad de la precipitación disparadora y la relación umbral-magnitud. Es imprescindible la instalación de estaciones pluviométricas en las zonas de alto riesgo y su monitoreo diario u horario, para establecer sistemas de alerta basados en un umbral de precipitación supervisado a tiempo real.

Se debe estudiar en mayor profundidad y a escala local, la sismicidad en las microcuencas donde se localizan las cicatrices de deslizamiento.

## AGRADECIMIENTOS

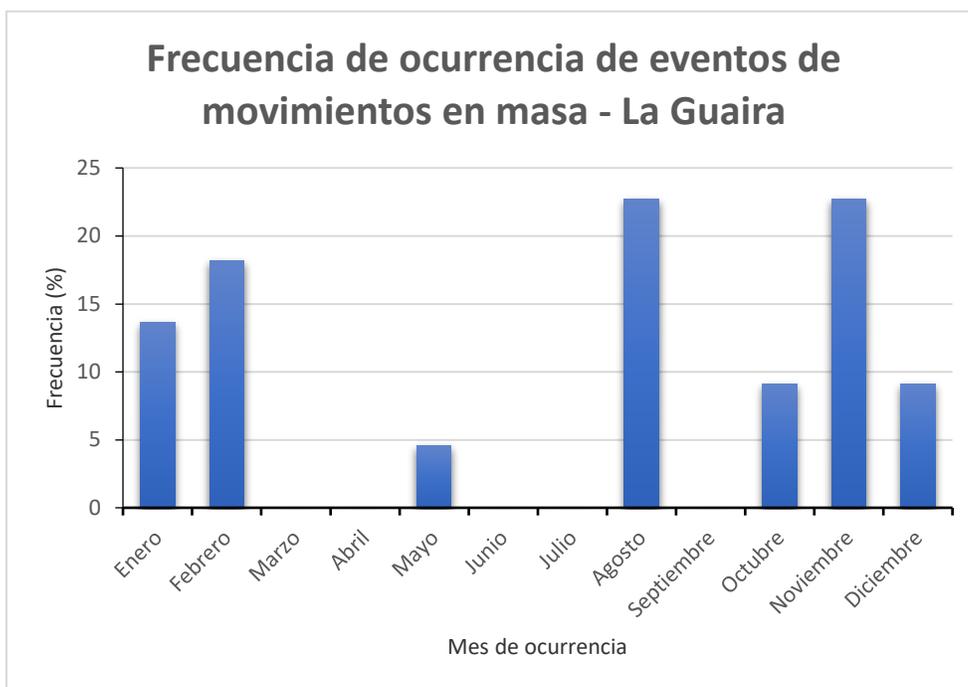
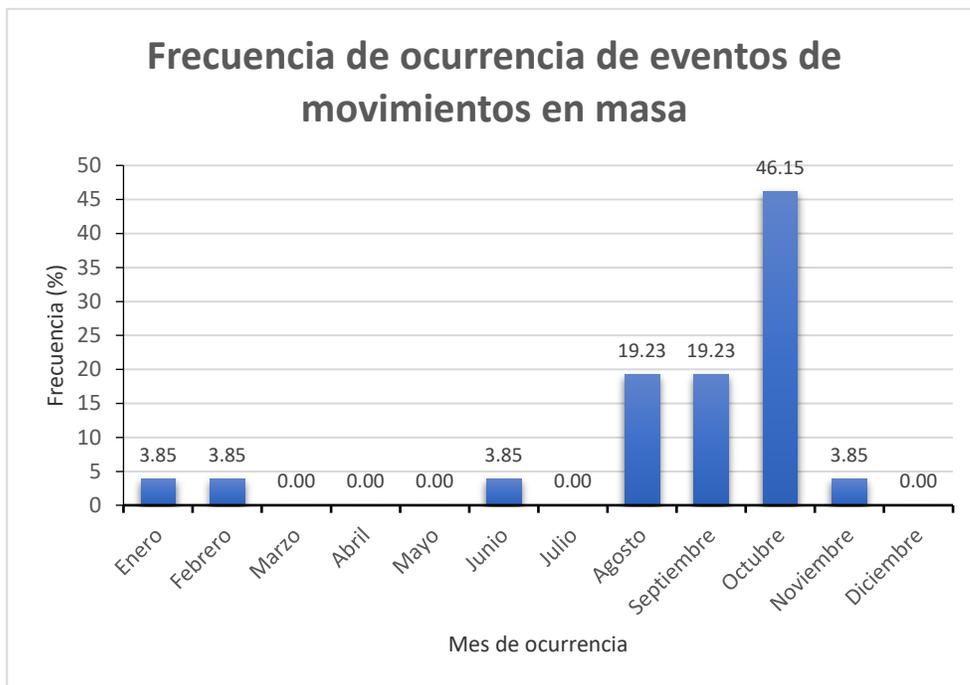
Esta investigación es financiada por el FONACIT (Proyecto CFP N° 2024000102), como parte de un estudio integral para el desarrollo de un agroecosistema en la cuenca del río Güey, de la Cordillera de La Costa, y en tal sentido deseo expresar mi profundo agradecimiento a esta institución.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abarca, O. 2024. Impactos de los incendios forestales en la cobertura espacio-temporal de los bosques del Parque Nacional Henri Pittier. *Revista de la Facultad de Agronomía de la UCV* (En Prensa).
- Abarca, O. 2010. Desarrollo de un modelo de geoprocesamiento para la valoración productiva y tributaria de tierras agrícolas en Venezuela. Universidad Politécnica de Madrid. Tesis Doctoral. Madrid. 231 p. Disponible en: [http://redgeomática.rediris.es/redlatingeo/2010/OSCAR\\_ABARCA.pdf](http://redgeomática.rediris.es/redlatingeo/2010/OSCAR_ABARCA.pdf). [Consultado: 19/06/2024].
- Alcantara-Ayala, I. 2000. Índice de susceptibilidad a movimientos del terreno y su aplicación en una región semiárida. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 17 (1):109-126. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/281063.pdf>. [Consultado: 03/10/2024].
- Audemard, F.; F. De Santis; L. Montes; M. Lugo; A. Singer. 1989. El alud torrencial del 06-09-1987 del río El Limón, al norte de Maracay, Estado Aragua. *GEOS*, No 29. Caracas. Pp 250-260. Disponible en: [http://saber.ucv.ve/ojs/index.php/rev\\_geos/article/view/7027](http://saber.ucv.ve/ojs/index.php/rev_geos/article/view/7027). [Consultado: 05/07/2024].
- Beven, K.; M. Kirkby. 1979. A physically based variable contributing area model of basin hydrology. *Hydrological Sciences Bulletin*, 24 (1), pp. 43-69.
- Bodí, M.; Cerdá, A.; Mataix-Solera, J.; Doerr, S. 2012. Efectos de los incendios forestales en la vegetación y el suelo en la cuenca mediterránea: revisión bibliográfica. *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, 58 (58):33-55. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/229163582\\_Efectos\\_de\\_los\\_incendios\\_forestales\\_en\\_la\\_vegetacion\\_y\\_el\\_suelo\\_en\\_la\\_cuenca\\_mediterranea\\_revision\\_bibliografica](https://www.researchgate.net/publication/229163582_Efectos_de_los_incendios_forestales_en_la_vegetacion_y_el_suelo_en_la_cuenca_mediterranea_revision_bibliografica). [Consultado 15/06/2024].
- Cannon, S. 2001. Debris-flow generation from recently burned watershed. *Environmental & Engineering Geoscience*, 7 (4): 321-341. Disponible en: <https://doi.org/10.2113/gsegeosci.7.4.321>. [Consultado 01/10/2024].

- Cannon, S.; E. Boldt; J. Laber; J. Kean; D. Staley. 2011. Rainfall intensity-duration thresholds for postfire debris-flow emergency-response planning. *Nat Hazards*, 59:209-236. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s11069-011-9747-2>. [Consultado: 01/10/2024].
- Hernández, L.; Delgado, L.; Meier, W.; Durán, C. 2012. Empobrecimiento de bosques fragmentados en el norte de la Gran Sabana, Venezuela. *Interciencia*, Vol 37, No 12. Disponible en: <https://www.interciencia.net/wp-content/uploads/2018/01/891-HERNANDEZ-8.pdf>. [Consultado 15/06/2024].
- Chávez, P. 1996. Image-based atmospheric corrections – Revisited and improved. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 62(9): 1025-1036.
- Eastman, R. 2012a. IDRISI Selva Tutorial. Clark University. V 17. Worcester, EEUU. 354 p.
- Eastman, R. 2012b. IDRISI Selva. Guía para SIG y Procesamiento de Imágenes. Clark University. V 17. Worcester, EEUU. 321 p.
- Maingon, R.; H. Santamaría.; M. Gómez; López, J. 2023. El alud torrencial del 17/10/2022 en el sector El Castaño: Evaluación y propuesta de acciones para proteger la población. Informe Técnico. ASOCICA, Maracay. 121 p.
- Mandal, S.; S. Mondal. 2019. Geoinformatics and modelling of landslide susceptibility and risk. An RS & GIS-Based Model Building Approach in the Eastern Himalaya. *Environmental Science and Engineering*. Springer. Suiza. 223 p. Disponible en: <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-030-10495-5>. [Consultado: 04/10/2024].
- Marcano, A. y Cartaya, S. 2012. Análisis de la distribución espacial de la susceptibilidad a los movimientos de remoción en masa, empleando Sistemas de Información Geográfica (SIG), en la cuenca del río San Julián, estado Vargas, Venezuela. *Revista de Investigación*, Vol. 35, No 75. Disponible en: <https://ve.scielo.org/pdf/ri/v36n75/art05.pdf>. [Consultado: 17/06/2024].
- Noya, M. 2002. Análisis de la amenaza por aludes torrenciales en la cuenca del río San José de Galipán. Universidad Central de Venezuela. Trabajo de Grado. Caracas. 154 p. Disponible en: <http://saber.ucv.ve/bitstream/10872/1994/1/TESIS%20MAR%C3%8DA%20NOYA.pdf>. [Consultado: 18/06/2024].
- Pineda, M. 2012. Evaluación de riesgo de movimientos en masa en la subcuenca del río Caramacate (estado Aragua) a través de un análisis temporal multivariado. Universidad Central de Venezuela, Facultad de Agronomía. Tesis Doctoral. Maracay. 237 p. Disponible en: [https://www.academia.edu/23970526/Evaluaci%C3%B3n\\_De\\_Riesgo\\_De\\_Movimientos\\_en\\_Masa\\_en\\_La\\_Subcuenca\\_Del\\_R%C3%ADo\\_Caramacate\\_Estado\\_Aragua\\_a\\_Trav%C3%A9s\\_De\\_Un\\_An%C3%A1lisis\\_Temporal\\_Multivariado](https://www.academia.edu/23970526/Evaluaci%C3%B3n_De_Riesgo_De_Movimientos_en_Masa_en_La_Subcuenca_Del_R%C3%ADo_Caramacate_Estado_Aragua_a_Trav%C3%A9s_De_Un_An%C3%A1lisis_Temporal_Multivariado). [Consultado: 17/06/2024].
- Pineda, M. 2008. Determinación de áreas susceptibles a movimientos en masa y erosión laminar en unidades de paisaje de la subcuenca del río Caramacate, localizada en la cuenca alta del río Guárico. Universidad Central de Venezuela, Facultad de Agronomía. Trabajo de Ascenso. 313 p. Disponible en: [https://www.academia.edu/23970525/Determinaci%C3%B3n\\_de\\_%C3%A1reas\\_susceptibles\\_a\\_movimientos\\_en\\_masa\\_y\\_erosi%C3%B3n\\_laminar\\_en\\_unidades\\_de\\_paisaje\\_de\\_la\\_subcuenca\\_de\\_r%C3%ADo\\_Caramacate\\_localizada\\_en\\_la\\_cuenca\\_alta\\_del\\_r%C3%ADo\\_Gu%C3%A1rico](https://www.academia.edu/23970525/Determinaci%C3%B3n_de_%C3%A1reas_susceptibles_a_movimientos_en_masa_y_erosi%C3%B3n_laminar_en_unidades_de_paisaje_de_la_subcuenca_de_r%C3%ADo_Caramacate_localizada_en_la_cuenca_alta_del_r%C3%ADo_Gu%C3%A1rico). [Consultado: 17/06/2024].

- Pineda, M.; G. Elizalde; J. Vilorio. 2011. Determinación de áreas susceptibles a deslizamientos en un sector de la Cordillera de La Costa central de Venezuela. *Interciencia* 36:5:370-377. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/339/33918012008.pdf>. [Consultado: 17/06/2024].
- QGIS. 2024. Un Sistema de Información Geográfica libre y de código abierto. V3.34.8 LTR. Disponible en: <https://www.qgis.org/es/site/>
- Rebolledo, D. 2022. Análisis de vegetación, cuencas y zonificación: Parque Nacional Henri Pittier, Venezuela. *Revista Estudios Ambientales*. 10 (2). Disponible en: <https://ojs2.fch.unicen.edu.ar/ojs-3.1.0/index.php/estudios-ambientales/article/view/1554>. [Consultado: 04/05/2024].
- Rebolledo, D.; Lores, D. 2020. Evaluación espacio temporal de la cobertura vegetal del Parque Nacional Henri Pittier, Venezuela. *GeoFocus, Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica*. 28: 25-58. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8292319>. [Consultado: 04/05/2024].
- Roa-Lobo, J.; U. Kamp. 2010. Uso del Índice Topográfico de Humedad (ITH) para el diagnóstico de la amenaza por desborde fluvial, Estado Trujillo-Venezuela. *Revista Geográfica Venezolana*, 53 (1): 109-126. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/3477/347730388007.pdf>. [Consultado: 03/10/2024].
- Rodríguez, I. 2004. Conocimiento indígena Vs científico: el conflicto por el uso del fuego en el Parque Nacional Canaima. *Interciencia*, VVol 29, No 3. Disponible en: [https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0378-18442004000300005](https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0378-18442004000300005). [Consultado: 16/06/2024].
- Rubin, J. 1967. Optimal classification into groups: an approach for solving the taxonomy problem. *Theoretical Biology* 15: 103-144.
- Silva-Aguilera, C. 2023. Consideraciones geológicas sobre los aludes torrenciales de Las Tejerías 2022, Estado Aragua, Venezuela. II Congreso Venezolano de Geociencias. Caracas. Disponible en : [https://www.researchgate.net/publication/369566347\\_CONSIDERACIONES\\_GEOLOGICAS SOBRE LOS ALUDES TORRENCIALES DE LAS TEJERIAS 2022 ESTADO ARAGUA VENEZUELA CONSIDERATIONS ABOUT THE TEJERIAS DEBRIS FLOW 2022 ARAGUA STATE VENEZUELA](https://www.researchgate.net/publication/369566347_CONSIDERACIONES_GEOLOGICAS SOBRE LOS ALUDES TORRENCIALES DE LAS TEJERIAS 2022 ESTADO ARAGUA VENEZUELA CONSIDERATIONS ABOUT THE TEJERIAS DEBRIS FLOW 2022 ARAGUA STATE VENEZUELA). [Consultado: 02/10/2024].
- Tyukavina, A.; Potapov, P.; Hansen, M.; Pickens, A.; Stehman, S.; Turubanov, S.; Parker, D.; Zalles, V.; Lima, A.; Kommareddy, I.; Song, X.; Wang, L.; Harris, N. 2022. Global trends of forest loss due to fire from 2001 to 2019. *Front. Remote Sens.*, Vol. 3-2022. Disponible en: <https://www.frontiersin.org/journals/remote-sensing/articles/10.3389/frsen.2022.825190/full> [Consultado: 08/06/2024].
- Urbani, F. y J. Rodríguez. 2004. Atlas geológico de la Cordillera de La Costa. Hojas a escala 1:25000. Universidad Central de Venezuela. Ediciones Fundación GEOS. Caracas.
- Zevenbergen, L.; Thorne, C. 1987. Quantitative Analysis of Land Surface Topography. *Earth Surface Processes and Landforms*. 12: 47-56. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1002/esp.3290120107>. [Consultado: 06/05/2024].

**ANEXO 1.** Frecuencia temporal de ocurrencia de eventos de movimientos en masa en Venezuela.

## ANEXO 2. Factores geomorfométricos de movimientos en masa en la Cordillera de la Costa del estado Aragua.

| FACTOR                      |                          | EVENTO                   |                              |                              |
|-----------------------------|--------------------------|--------------------------|------------------------------|------------------------------|
| Cuenca                      | Quebrada Chorrerón       | Río Las Delicias         | Río El Limón                 | Río El Limón                 |
| Área afectada               | <b>Las Tejerías</b>      | <b>El Castaño</b>        | <b>El Limón</b>              | <b>El Limón</b>              |
| Fecha                       | 8/10/2022                | 17/10/2022               | 9/9/2020                     | 6/9/1987                     |
| <b>Generalidades</b>        |                          |                          |                              |                              |
| Superficie (ha)             | 3911,4                   | 6236,63                  | 6341,71                      | 6341,92                      |
| Superficie deslaves (ha)    | 109,54 (2,8%)            | 47,12 (0,75%)            | 183,61 (2,9%)                | 474,74 (7,5%)                |
| Cobertura en deslaves       | Bosque/Matorral/Herbazal | Bosque                   | Bosque                       | Bosque                       |
| <b>NDVI</b>                 |                          |                          |                              |                              |
| Cuenca (promedio)           | 0,47                     | 0,19                     | 0,15                         | 0,23                         |
| Subcuenca/Cicatriz          | –                        | Corozal (0,23/0,22)      | Guacamaya (0,24/0,25)        | Guacamaya (0,27/0,27)        |
| Subcuenca/Cicatriz          | –                        | Palmarito (0,24/0,27)    | Guamita (0,21/0,24)          | Guamita (0,26/0,28)          |
| Subcuenca/Cicatriz          | –                        | Planta Vieja (0,23/0,27) | Corral de Piedra (0,15/0,11) | Corral de Piedra (0,25/0,27) |
| Subcuenca/Cicatriz          | –                        | Las Delicias (0,21/0,21) | El Manguito (0,19/0,20)      | El Manguito (0,25/0,25)      |
| Subcuenca/Cicatriz          | –                        | –                        | –                            | Rancho Grande (0,27/0,28)    |
| Canales de crecida          | –                        | –                        | –                            | Qdas y ríos (0,24)           |
| Cicatrices Promedio         | 0,5                      | 0,24                     | 0,22                         | 0,26                         |
| Cicatrices Min (abs)        | 0,13                     | 0,08                     | 0,01                         | 0,13                         |
| Cicatrices Max (abs)        | 0,92                     | 0,45                     | 0,49                         | 0,35                         |
| <b>Altitud (msnm)</b>       |                          |                          |                              |                              |
| Promedio (Cuenca/Cicatriz)  | 959,71 / 965,44          | 932,58 / 1316,03         | 860,54 / 1267,96             | 860,54 / 975,95              |
| Min. Abs. (Cuenca/Cicatriz) | 496 / 542                | 442 / 703                | 437 / 551                    | 437 / 478                    |
| Max. Abs. (Cuenca/Cicatriz) | 1680 / 1389              | 2099 / 1925              | 2234 / 1824                  | 2234 / 1797                  |
| <b>Pendiente (°)</b>        |                          |                          |                              |                              |
| Promedio                    | 25,5                     | 33,35                    | 31,46                        | 23,16                        |
| Minima (abs)                | 0,27                     | 1,73                     | 0,53                         | 0,06                         |
| Máxima (abs)                | 55,2                     | 69,11                    | 64,35                        | 64,35                        |

Continuación. **ANEXO 2.** Factores geomorfométricos de movimientos en masa en la Cordillera de la Costa del estado Aragua.

|                              |                          |                            |                              |                              |
|------------------------------|--------------------------|----------------------------|------------------------------|------------------------------|
| Promedio (Azimut)            | 176                      | 155,61                     | 187,65                       | 163,86                       |
| <b>Orientación (°)</b>       |                          |                            |                              |                              |
| Mínima (prom)                | 157,66                   | 138,02                     | 140,68                       | 35,44                        |
| Máxima (prom)                | 192,87                   | 174,74                     | 229,18                       | 285,67                       |
| <b>Curvatura</b>             |                          |                            |                              |                              |
| De perfil                    | Convexa (60%)            | Convexa (56%)              | Convexa (74%)                | Convexa (91%)                |
| De plano                     | Cóncava (67%)            | Cóncava (59%)              | Cóncava (74%)                | Cóncava (73%)                |
| General                      | Convexa/Cóncava (72%)    | Convexa/Cóncava (56%)      | Convexa/Cóncava (82%)        | Convexa/Cóncava (82%)        |
| <b>TWI</b>                   |                          |                            |                              |                              |
| Cuenca                       | 6,4                      | 7,03                       | 7,2                          | 7,2                          |
| Subcuenca/Cicatriz           | -                        | Corozal (6,27/6,60)        | Guacamaya (6,22/7,59)        | Guacamaya (6,22/6,87)        |
| Subcuenca/Cicatriz           | -                        | Palmarito (6,27/7,92)      | Guamita (6,20/6,50)          | Guamita (6,20/6,67)          |
| Subcuenca/Cicatriz           | -                        | Planta Vieja (6,17/8,08)   | Corral de Piedra (6,80/8,19) | Corral de Piedra (6,80/8,02) |
| Subcuenca/Cicatriz           | -                        | Las Delicias (6,30/6,52)   | El Manguito (6,67/7,92)      | El Manguito (6,67/7,92)      |
| Subcuenca/Cicatriz           | -                        | -                          | -                            | Rancho Grande (6,36/8,69)    |
| Cicatrices Promedio (pond)   | 8,96                     | 7,82                       | 7,57                         | 7,43                         |
| Cicatrices Min (abs)         | 3,41                     | 3,24                       | 2,38                         | 2,66                         |
| Cicatrices Max (abs)         | 24,06                    | 22,19                      | 25,5                         | 28,27                        |
| <b>Geología</b>              |                          |                            |                              |                              |
| Litología principal          | Esquisto de Las Mercedes | Gneis Granítico de Choroni | Gneis Granítico de Choroni   | Gneis Granítico de Choroni   |
| Distancia a fallas (prom)    | 1039,33                  | 859,08                     | 595,11                       | 517,23                       |
| Distancia a fallas Min (abs) | 0                        | 0                          | 0                            | 0                            |
| Distancia a fallas Max (abs) | 2064,01                  | 2077,62                    | 1596,15                      | 1666,76                      |