

## GEOMORFOLOGÍA Y SEDIMENTOLOGÍA DEL SECTOR MEDIO DEL VALLE DE PUEBLO LLANO, ANDES DE MÉRIDA, VENEZUELA

**Dr. Oswaldo Guzmán<sup>1,2\*</sup>, Dra. Corina Campos<sup>3</sup>, Ing. Merlus Ruiz<sup>1</sup>, Dra. Isandra Angel<sup>1</sup>, Dr. Riccardo Vassallo<sup>4</sup>, Dra. Nataly Aranda<sup>5</sup>**

<sup>1</sup>Universidad Simón Bolívar. Departamento de Ciencias de La Tierra. Caracas, Venezuela.

<sup>2</sup>Frelance Consulting.

<sup>3</sup>Grupo de Investigación en Ciencias de la Tierra, Clima y Sociedad. Universidad Regional Amazónica – Ikiam. Tena, Ecuador.

<sup>4</sup>ISTerre – Université de Savoie Mont-Blanc. Bourget du Lac, Francia.

<sup>5</sup>Instituto de Astronomía, Geofísica e Ciencias Atmosféricas, Universidad de São Paulo.

\* Autor para correspondencia: [oswaldojoseguzman@gmail.com](mailto:oswaldojoseguzman@gmail.com)

Recibido: 17-7-2019 / Aceptado: 4-10-2019 / Publicación: 31-12-2019

Editor Académico: Dr. Bryan G. Valencia

### RESUMEN

Un análisis geomorfológico y sedimentológico fue realizado en el sector medio del Valle de Pueblo Llano con la finalidad de comprender la génesis de los sedimentos y geoformas cuaternarias presentes en el área. Cuatro sectores con características morfológicas y sedimentológicas distintivas fueron identificados: (i) depósitos en masa de flujos de detritos con una expresión superficial cónica interpretados como abanicos aluviales, (ii) depósitos de flujos unidimensionales que constituyen terrenos relativamente planos con bajas pendientes característicos de terrazas fluviales, (iii) depósitos de diamictos que constituyen un conjunto de lomos y depresiones en forma de arco asociados a un complejo de morrenas frontales, y (iv) depósitos de flujos unidimensionales que conforman terrenos con forma de lomos asimétricos, asociados a condiciones fluvio-glaciares. Estos resultados ponen en evidencia que los glaciares asociados a la Glaciación Mérida en el Valle de Pueblo Llano, alcanzaron elevaciones al menos 300 m más bajas que las reportadas previamente en la literatura para los Andes de Mérida. Además, sugieren que otros valles glaciares presentes en los Andes de Mérida pudieron haber experimentado fenómenos similares.

**Palabras clave:** Andes de Mérida, Geomorfología y Sedimentología, Morrenas, Glaciación Mérida, Pueblo Llano.

## GEOMORPHOLOGY AND SEDIMENTOLOGY IN THE MIDDLE REACH OF THE PUEBLO LLANO VALLEY, MÉRIDA ANDES, VENEZUELA

### ABSTRACT

A geomorphological and sedimentological analysis was carried out in the Middle reach of the Pueblo Llano Valley to understand sediment genesis and quaternary geoforms present in the area. Four zones with distinctive morphological and sedimentological characteristics were identified: (i) mass deposits of debris flow with a cone-shaped surface interpreted as alluvial fans, (ii) unidirectional flow deposits with relatively flat topography, with little slope, characteristic of fluvial terraces, (iii) arc-shaped diamict deposits that constitute a set of crests and valleys, associated to a complex of frontal moraines, and (iv) unidirectional flow deposits that form terrains with the shape of asymmetric ridges, associated to a

fluvio-glacial conditions. These results show that the glaciers of the Mérida Glaciation in the Pueblo Llano Valley reached elevations of at least 500 m lower than those previously reported in the literature for the Mérida Andes. In addition, they suggest that other glacial valleys present in the Andes of Mérida might have experienced similar phenomena.

**Key words:** Mérida Andes, Geomorphology and Sedimentology, Moraine complex, Mérida Glaciation, Pueblo Llano.

## GEOMORFOLOGIA E SEDIMENTOLOGIA DO SETOR MÉDIO DO VALLE DE PUEBLO LLANO, ANDES DE MÉRIDA, VENEZUELA

### RESUMO

Uma análise geomorfológica e sedimentológica combinada foi realizada no setor médio do Valle de Pueblo Llano, a fim de compreender a gênese dos sedimentos e geoformas quaternárias presentes na área. Foram identificadas quatro áreas com características morfológicas e sedimentológicas distintas: (i) depósitos fluxo de massa de detritos com expressão de superfície cônica interpretada como cone aluviais, (ii) depósitos de fluxo unidimensional que constituem terrenos relativamente plano com baixa declividade, característicos de terraços aluviais, (iii) depósitos de diamicton que constituem um conjunto de cristas e depressões em forma de arco associadas a um complexo de morenas frontais, e (iv) depósitos de fluxo unidimensionais que formam terrenos com cristas assimétricas associadas a condições fluvio-glaciais. Estes resultados mostram que os glaciares da Glaciação Mérida no Valle de Pueblo Llano atingiram elevações de pelo menos 300 m mais baixas do que as anteriormente relatadas na literatura para os Andes de Mérida. Além disso, eles sugerem que outros vales glaciais presentes nos Andes de Mérida podem ter experimentado fenômenos semelhantes.

**Palavras-chave:** Andes de Mérida, Geomorfologia e Sedimentologia, Morrenas, Glaciação Mérida, Pueblo Llano.

Citación sugerida: Guzmán, O., Campos, C., Ruiz, M., Angel, I., Vassallo, R., Aranda, N., (2019). Geomorfología y sedimentología del sector medio del valle de pueblo llano, andes de Mérida, Venezuela. Revista Bases de la Ciencia, 4(3), 1-18. DOI:[https://doi.org/10.33936/rev\\_bas\\_de\\_la\\_ciencia.v4i3.1906](https://doi.org/10.33936/rev_bas_de_la_ciencia.v4i3.1906)

Recuperado de: <https://revistas.utm.edu.ec/index.php/Basedelaciencia/article/view/1906>

Orcid IDs:

Oswaldo José Guzmán Gutierrez: <https://orcid.org/0000-0001-7326-1082>

Corina Campos Serrano: <https://orcid.org/0000-0002-2785-5469>

Bryan G. Valencia: <https://orcid.org/0000-0002-5970-4964>

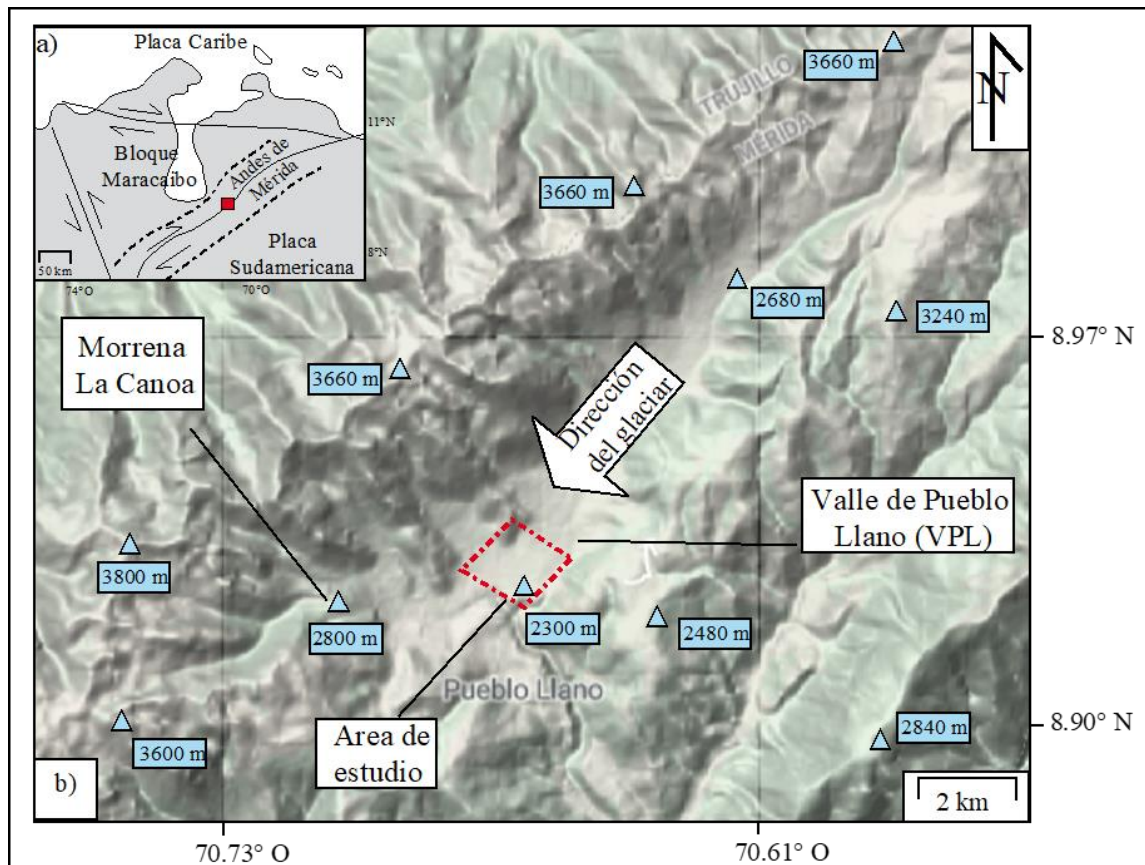
## 1. INTRODUCCIÓN

Estudios geomorfológicos, sedimentológicos y geocronológicos a lo largo de los Andes de Mérida (**Figura 1**), han permitido documentar la existencia de dos principales complejos de sistemas de morrenas en la región (Schubert, 1970, 1984; Schubert y Valastro, 1980; Schubert y Vivas, 1993; Mahaney y Kalm, 1996; Mahaney *et al.*, 2000, 2001, 2010). El primero de estos sistemas está delimitado en un rango altitudinal entre los 2600 y 2800 metros sobre el nivel del mar (m.s.n.m.), mientras que, el segundo, se ubica entre los 3000 y 3500 m.s.n.m. Estos complejos han sido asociados con los dos principales eventos glaciales de la Glaciación Mérida (Schubert, 1974). El complejo inferior es asociado a un período Temprano de la Glaciación Mérida, y se asume que su edad se encuentra entre 90 y 60 ka (mil años) (Mahaney *et al.*, 2001; Dirszowsky *et al.*, 2005; Kalm y Mahaney, 2011). El complejo de morrenas superior se asocia a la etapa Tardía de la Glaciación Mérida y su edad es establecida entre 24 y 13 ka (Schubert, 1974; Schubert y Valastro, 1980; Schubert y Clapperton, 1990; Mahaney y Kalm, 1996; Rull, 2005). No obstante, los resultados geomorfológicos y geocronológicos recientemente obtenidos por Guzmán (2013) y Angel (2016), evidencian que la historia glacial de los Andes de Mérida es más compleja que la tradicionalmente aceptada.

En el sector medio del Valle de Pueblo Llano (VPL), Bezada (1990), reconoce la presencia de la Morrena La Canoa a 2800 m s.n.m., la cual asocia al período Temprano de la Glaciación Mérida (**Figura 1b**). Sin embargo, Guzmán (2013) identifica pequeños lomos y depresiones constituidos por depósitos tipo diamicton, los cuales asocia a un complejo de morrenas frontales que alcanzan elevaciones mínimas de ~2300 m.s.n.m en el fondo del valle. Este último resultado sugiere que los glaciares de la Glaciación Mérida alcanzaron elevaciones menores a las reportadas previamente para el VPL. Por esta razón, en el presente trabajo se persigue comprender la génesis de los sedimentos y de las geoformas presentes en el sector medio del VPL, para determinar la posible expansión glaciar por debajo de los 2800 m.s.n.m en el VPL. El estudio se focalizara, en el fondo del valle, específicamente, sobre las geoformas que son hipotéticamente producto de la actividad glaciar y se utilizara un enfoque combinado sedimentológico-geomorfológico.

## 2. METODOLOGÍA

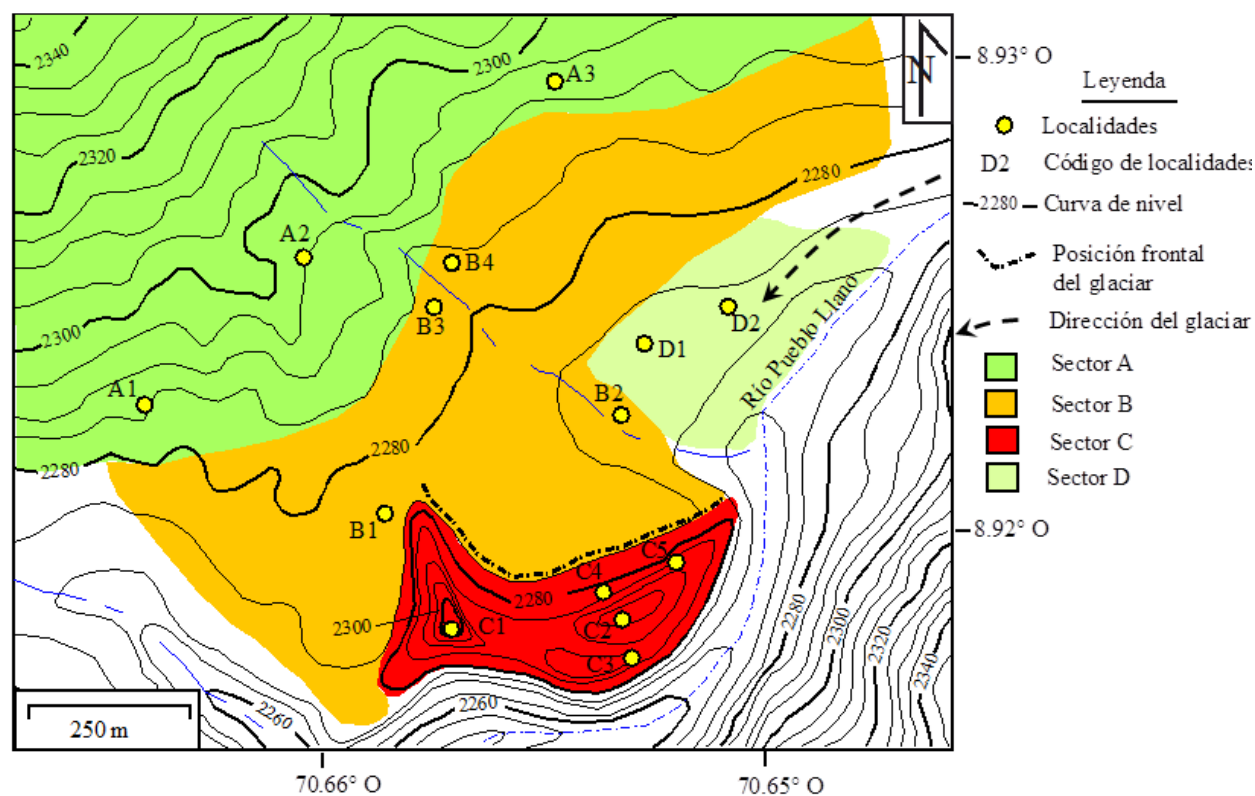
Los análisis sedimentológicos detallados fueron realizados en 14 localidades (**Figura 2**). En cada uno de ellas se analizaron las características texturales y composicionales del sedimento. Este análisis fue realizado en campo, mediante el uso de una piqueta de geólogo, una brújula tectónica, una navegador portátil (Garmin eTREX 20) una cinta métrica de 3 m, una lupa manual 10X y un juego de tamices de 4 piezas, cada pieza con diámetros de partículas diferentes (31, 250, 500 y 2000  $\mu\text{m}$ ).



**Figura 1.** Ubicación regional del área de estudio. **a)** Marco geodinámico regional simplificado del Norte de Sur-América. La ubicación de la **figura 1b** es señalada con un rectángulo rojo. **b)** Mapa de relieve sombreado del sector medio del Valle de Pueblo Llano, basado en los datos de Google Maps 2019. El área de estudio (**Figura 2**) es señalada con un rectángulo rojo discontinuo. Elevaciones puntuales son señaladas con triángulos azules. La dirección propuesta para el glaciar que, originó las geoformas glaciares identificadas en el presente estudio a ~2300 m.s.n.m., es indicada con una flecha blanca. La morrena La Canoa identificada por Bezada (1990) también es indicada.

En primer lugar, cada localidad analizada fue georeferenciada con el uso del navegador portátil. Luego, tomando en consideración las características texturales macros de los sedimentos, se identificaron las unidades sedimentarias principales. Posteriormente, se procedió con la caracterización granulométrica detallada de los sedimentos. En las unidades con gravas y/o bloques, se midió las dimensiones, con la cinta métrica, de al menos 50 clastos. La matriz y las unidades de tamaño de grano arena o más fina, fueron caracterizadas mediante el uso del juego de tamices. En este caso, se tomaron al menos 3 muestras por unidad, cada muestra tuvo un volumen de ~250 gr. Las mismas fueron tamizadas y el porcentaje de cada fracción fue estimado de manera relativa. Es importante resaltar que, este análisis fue replicado en el laboratorio con la ayuda de una lupa binocular de 50X (Carl Zeiss) y una balanza digital de precisión (Blauscal), lo que permitió validar y completar los datos adquiridos en campo. Las fracciones granulométricas fueron clasificadas de acuerdo a la escala granulométrica de Udden-Wentworth (Udden, 1914; Wentworth, 1922). La redondez y esfericidad de todos los sedimentos fue establecida usando el gráfico de comparación visual de Petijhon *et al.* (1987). Por último, se describieron la geometría y fabrica de las unidades sedimentarias, así como las estructuras

sedimentarias presentes. En el caso de identificarse imbricaciones de clastos, se procedió a medir con la brújula tectónica, el rumbo del plano de imbricación de cada clasto.



**Figura 2.** Mapa topográfico del área de estudio. Se indican los cuatro sectores con características sedimentológicas y geomorfológicas distintivas identificados en el presente estudio. La dirección de avance y la posición frontal del glaciar que dio origen al complejo de morrenas frontales son señaladas, con una flecha y línea negra discontinua, respectivamente.

La caracterización geomorfológica del área de estudio fue realizada mediante la integración, en un sistema de información geográfica, de observaciones realizadas en: imágenes satelitales, modelos de elevación digital de terreno (SRTM-30 m - Farr *et al.*, 2007), mapas topográficos y campo. Esta caracterización, fue realizada en diferentes: etapas y escalas. En primer término, se utilizaron las imágenes satelitales, los modelos de elevación digital y mapas topográficos, para identificar las morfologías regionales y locales del área de estudio. Posteriormente, las morfologías identificadas en el área de estudio, fueron validadas y completadas con observaciones de campo. Durante el trabajo de campo fue utilizado: i) la cinta métrica, para medir las diferencias altitudinales entre las formas del relieve, ii) la brújula tectónica, para caracterizar las pendientes del terreno y rumbos de crestas y, iii) el navegador portátil, para georeferenciar las observaciones adquiridas.

Finalmente, la integración de los datos sedimentológicos y geomorfológicos adquiridos en campo y laboratorio, permitieron clasificar el área de estudio en cuatro sectores, cada uno con rasgos sedimentológicos y topográficos distintivos (**Figuras 2, 3**).



### 3. MARCO GEOLÓGICO Y GLACIOLÓGICO

#### Contexto Geológico

Los Andes de Mérida constituyen un sistema montañoso asimétrico y de rumbo NE-SO, situado en la parte Norte de la placa Sudamericana (Colletta *et al.*, 1997), los cuales se extienden 400 km desde la frontera colombo-venezolana hasta el Sur de Barquisimeto (**Figura 1**). El origen de esta cadena montañosa se atribuye al resultado indirecto de una interacción compleja durante el Cenozoico entre las placas Sudamericana, Nazca y Caribe (Kellogg y Bonini, 1982; Pindell y Barrett, 1990; Audemard y Audemard, 2002; Bermúdez, 2009; Bermúdez *et al.*, 2011), y la rotación y traslación del bloque continental de Maracaibo (Alemán y Ramos, 2000; Taboada *et al.*, 2000; Audemard y Audemard, 2002).

Sedimentos cuaternarios asociados a ambientes aluviales y glaciares, objetos del presente estudio, han sido reconocidos en diversas localidades de los Andes de Mérida (Tricart y Millies-Lacroix, 1962; Schubert, 1970, 1984; Schubert y Vivas, 1993; Angel, 2016). Los depósitos aluviales son reconocidos en las partes altas de los Andes de Mérida (Tricart y Michel, 1965; Schubert y Vivas, 1993; Guzmán, 2013) y en los flancos de la montaña (Tricart y Millies-Lacroix, 1962; Zinck y Stagno, 1966; Guzmán *et al.*, 2013). Estos depósitos presentan edades que varían entre 200 y 2 ka (Schubert y Vivas, 1993; Wesnousky *et al.*, 2012; Guzmán *et al.*, 2013). Los depósitos glaciares han sido identificados solo en la parte alta del sistema montañoso y presentan edades que varían entre 90 y 13 ka (Schubert, 1974, 1976; Schubert y Clapperton, 1990; Schubert y Vivas, 1993; Mahaney y Kalm, 1996; Kalm y Mahaney, 2011).

El área de estudio de este trabajo se ubica en la parte central de los Andes de Mérida, específicamente en el fondo del valle del sector medio del VPL (**Figuras 1, 2**). En el sector norte del área de estudio, Bezada (1990) identifica potentes acumulaciones glacio-torrenciales o aluviales en forma de conos y postula que, los mismos se expanden hasta el sur del área de estudio. Schubert y Vivas (1993) indican que, los sedimentos torrenciales pueden estar cubiertos por sedimentos fluviales jóvenes en ciertos sectores. Hacia el sector sur del área de estudio, Guzmán (2013) interpreta un complejo de morrenas frontales, producto de glaciares que descendieron desde el Noreste hacia el Suroeste, a través del VPL. Ninguna edad numérica es reportada para estos depósitos.

#### Contexto Glaciológico

Schubert y Vivas (1993), postulan que los Andes de Mérida alcanzaron elevaciones similares a las de hoy en día al final del Terciario y por lo tanto debieron haber estado expuestos a las glaciaciones del

Cuaternario. Geoformas (circos y morrenas) y depósitos glaciares (till y bloques erráticos) reconocidos en las partes altas de los Andes de Mérida fueron la base para definir la Glaciación Mérida (Schubert, 1974, 1976). Esta glaciación es considerada la representación local de la última glaciación global o Glaciación Wisconsin, la cual se extendió desde ~115 hasta 11 ka (Nesje y Olaf Dehl, 2000).

Los depósitos asociados a la Glaciación Mérida, tradicionalmente agrupados en dos complejos morrénicos, han sido usados para diferenciar una etapa Temprana de la Glaciación Mérida, durante la cual los glaciares alcanzaron altitudes entre 2600 y 2800 m s.n.m., de una etapa Tardía, cuando los glaciares alcanzaron altitudes entre 2800 y 3500 m s.n.m. (Schubert, 1974, 1976; Bezada, 1990; Mahaney y Kalm, 1996; Schubert y Clapperton, 1990). Los sedimentos de la etapa Temprana se presentan como remanentes dispersos con alto grado de meteorización y erosión. Su edad es pobremente conocida, aunque es asumida como menor al MIS-5E (132 – 115 ka -Shackleton *et al.*, 2003) o aproximadamente entre 90 y 60 ka (Mahaney *et al.*, 2001; Dirszowsky *et al.*, 2005; Kalm y Mahaney, 2011). Los sedimentos de la etapa Tardía presentan una mejor preservación y su edad es establecida entre 24 y 13 ka, alcanzándose la máxima extensión glacial aproximadamente a 18 ka, la cual es correlacionada con el Último Máximo Glaciar Global (LGM – Clark *et al.*, 2009) (Schubert, 1974; Schubert y Valastro, 1980; Schubert y Clapperton, 1990; Mahaney y Kalm, 1996; Rull, 2005). Sedimentos asociados a etapa Tardía de la Glaciación Mérida, han sido identificados aproximadamente a 2 km al Oeste del área del presente estudio (Bezada *et al.*, 1990; Mahaney *et al.*, 2000; Angel, 2016) (**Figuras 1, 2**).

#### 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

##### Caracterización Morfológica y Sedimentológica

La zona de estudio se dividió en cuatro sectores (**Figura 3**). Las características morfológicas y sedimentológicas de estos sectores son descritas a continuación:

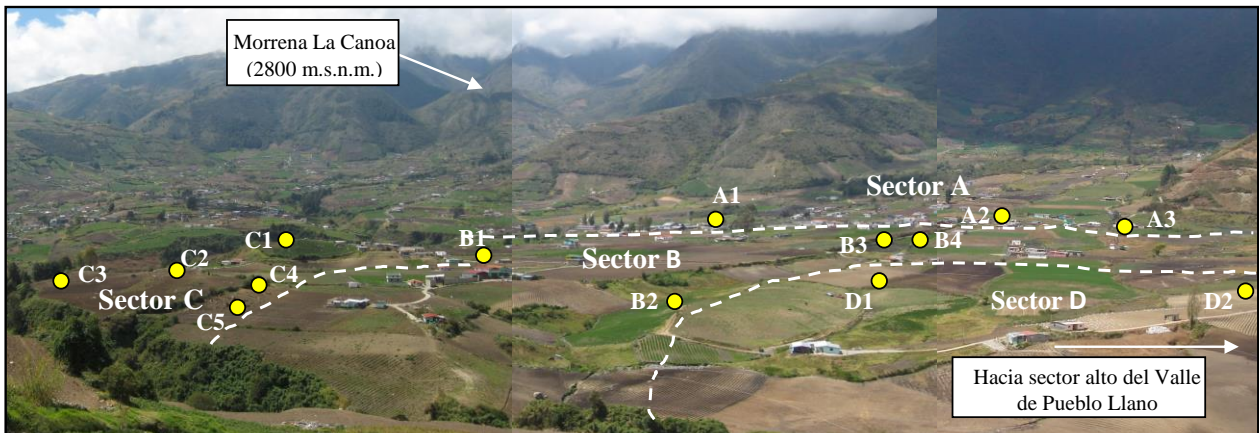
**Sector A:** Se localiza al Noroeste del área de estudio, inmediatamente al Norte del Sector B. Comprende terrenos con elevaciones que varían entre 2340 y 2280 m.s.n.m. Este sector está caracterizado por terrenos relativamente planos e inclinados hacia el Sur que, presentan pendientes decrecientes de 10 a 5° y, una expresión superficial en conjunto de tipo cónica (**Figuras 2, 3**).

En este sector fueron analizadas sedimentológicamente 3 localidades (A1, A2 y A3 - **Figuras 2, 3**). En estas, se observan depósitos constituidos por gravas soportadas por una matriz arenosa, con espesores que varían entre 50 y 200 cm. Los clastos se encuentran flotando dentro de la matriz, son subredondeados a subangulosos y presentan un mal escogimiento, variando entre 2 cm y 100 cm de diámetro (**Figura 4**). Ocasionalmente el porcentaje de clastos puede aumentar. En una localidad (A2),

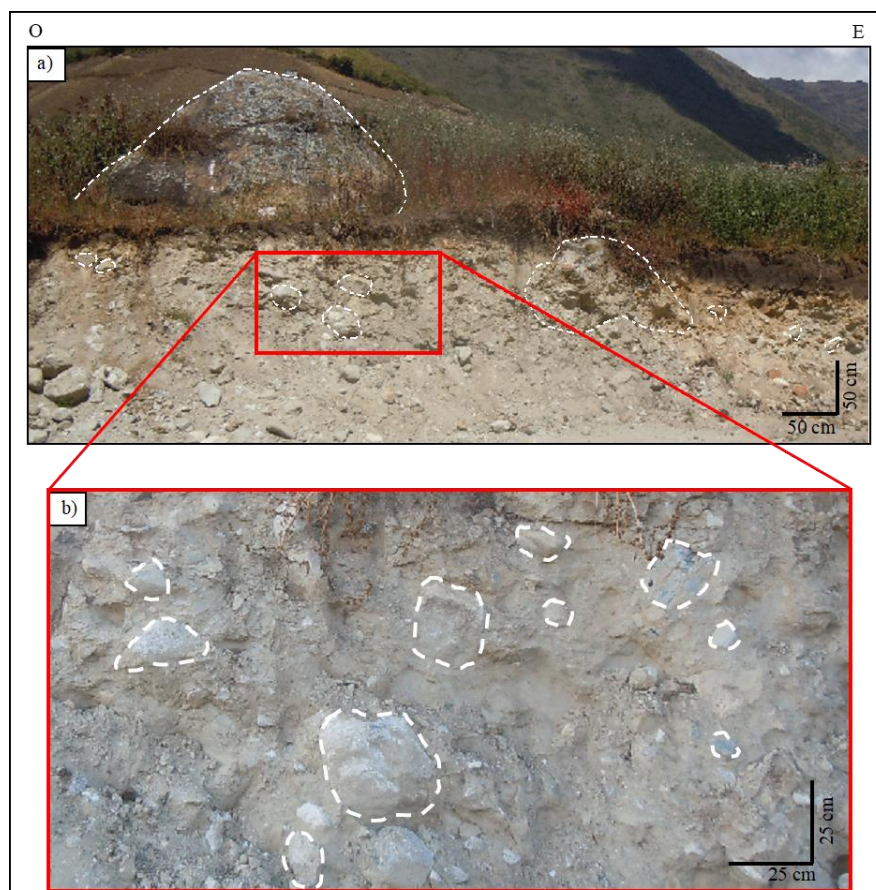
una capa de arena masiva de grano grueso, la cual contiene lentes microconglomeraticos, se encuentra intercalada dentro de las gravas.

SSO

NNE



**Figura 3.** Vista panorámica del área de estudio. Cuatro sectores con morfologías distintivas son delimitadas: Sector A, constituido por terrenos planos con alta pendiente; Sector B, terrenos planos de baja pendiente; Sector C, lomos y depresiones en la zona frontal, con elevaciones de hasta 15 m mayores al fondo del valle identificable en la Sector B y D; Sector D, lomos asimétricos presentes en el fondo del valle. Los círculos amarillos con su código de identificación indican la ubicación de las localidades analizadas sedimentológicamente en detalle.



**Figura 4.** Fotografías del relleno sedimentario observado en la localidad A3 del Sector A. a) Depósito caótico sin estructuras sedimentarias, constituido por bloques centimétricos a métricos, subangulares a subredondeados, flotando dentro de una matriz arenosa. La posición de la **figura 3b** es mostrada con un rectángulo rojo. b) Detalle de los bloques flotando dentro de la matriz arenosa. En ambas figuras, la geometría de algunos bloques es resaltada con líneas blancas discontinuas.



**Sector B:** Se localiza en la parte central del área de estudio, inmediatamente al Sur del Sector A. Se caracteriza por presentar una topografía que varía entre 2293 y 2275 m.s.n.m. y, se extiende, preferencialmente desde el Noreste hacia el Suroeste. El relieve es principalmente plano, con una pendiente de  $\sim 3^\circ$  hacia el Sur-Suroeste (**Figuras 2, 3**).

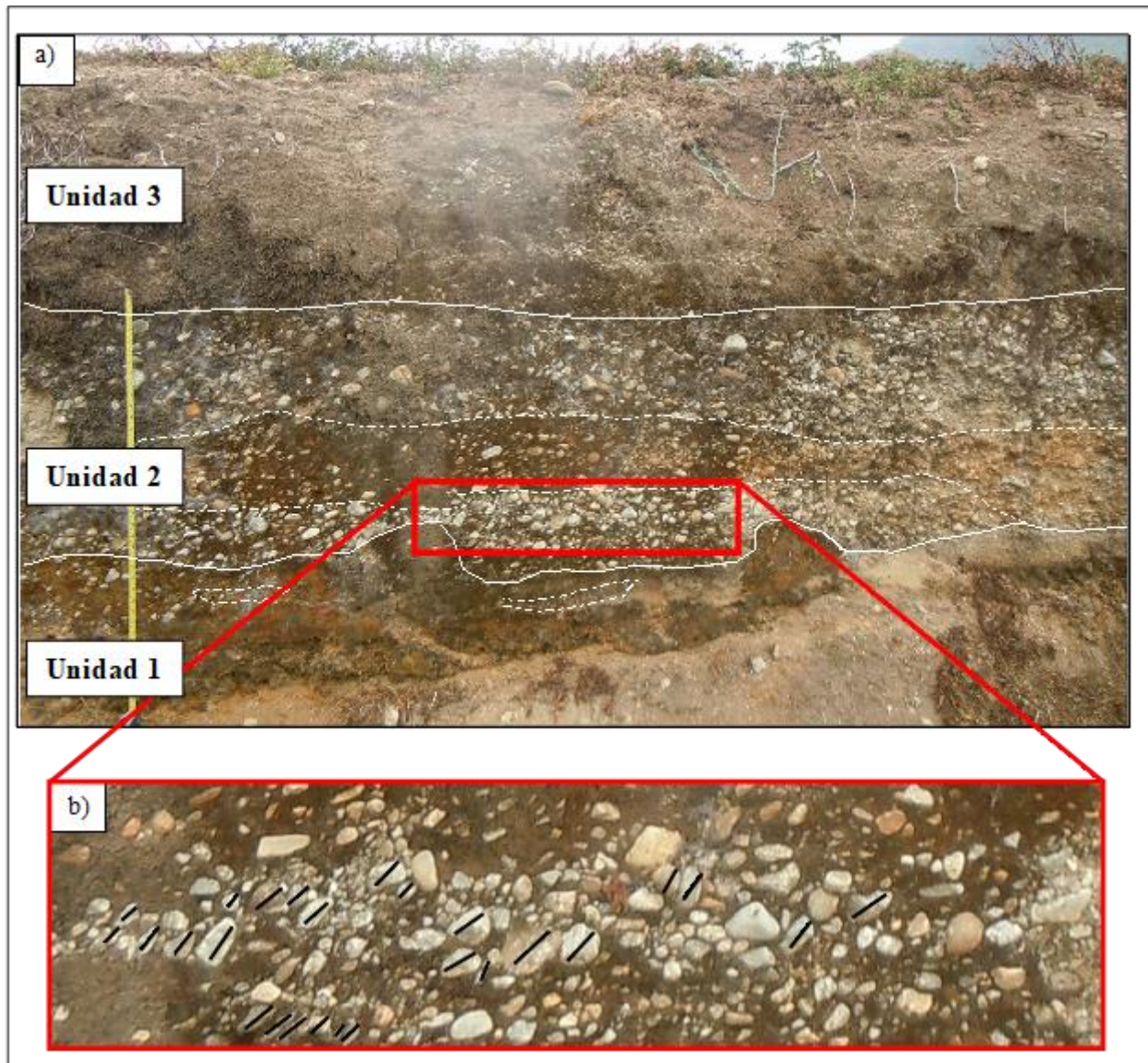
En este sector se estudiaron 4 localidades (B1, B2, B3 y B4 - **Figuras 2, 3**). En ellas se pueden observar capas de gravas soportadas por clastos con una matriz arenosa, intercaladas con capas de arena que varían de grano fino a grueso. Las capas de gravas presentan espesores que varían entre 25 y 100 cm; generalmente muestran bases erosivas, geometría acanalada e imbricación de clastos (**Figura 5**). Un total de 163 planos de imbricación medidos, en las localidades B2, B3 y B4, muestran una orientación preferencial entre  $298^\circ$  y  $328^\circ$ . Los clastos son subredondeados a subangulosos, mal escogidos, con tamaños que varían entre 2 y 10 cm de diámetro. Por otra parte, las capas de arena presentan espesores que varían entre 16 a 300 cm, pueden mostrar laminación paralela y en algunos casos, contienen lentes microconglomeráticos y clastos aislados de hasta 10 cm de diámetro.

**Sector C:** Se localiza en la zona Sur del área de estudio, inmediatamente después del Sector B y al Oeste del Sector D (**Figuras 2, 3**). Comprende terrenos con elevaciones que varían entre 2275 y 2303 m.s.n.m. El sector presenta una morfología compleja conformada por una serie de lomos y depresiones entre ellos. Los lomos pueden alcanzar alturas hasta de 15 m con respecto al nivel de las depresiones (Figura 6). El conjunto de lomos y depresiones constituyen una expresión superficial en forma de arco y representan un relieve con mayor altura que el Sector B ( $\sim 25$  m). El lomo de mayor altura tiene su cresta orientada principalmente en dirección Norte-Noroeste a Sur-Sureste (semi-ortogonal al eje de las partes media y alta del VPL) y, una pendiente más fuerte en el flanco oriental.

En este sector se analizaron 5 localidades (C1, C2, C3, C4 y C5 - **Figuras 2, 3**). En ellas se observan depósitos de diamicton constituidos por bloques angulares flotando en una matriz arenosa. Los bloques presentan un diámetro promedio de 150 cm y un máximo de 400 cm. Además, pueden sobresalir más de 100 cm sobre la superficie del terreno y pueden identificarse en las partes altas y bajas del sector (**Figura 6**).

**Sector D:** Se localiza en el Sureste del área de estudio, inmediatamente después del Sector B y, al Este del Sector C (**Figuras 2, 3**). Comprende terrenos con elevaciones que varían entre 2280 y 2265 m.s.n.m. Esta caracterizado por presentar lomos asimétricos, con desniveles de altura de 2 a 3 m. Los lomos presentan planos axiales orientados en dirección Norte-Noreste a Sur-Suroeste (paralelos al eje del sector medio y alto del VPL y, semi-ortogonales a la cresta del lomo más alto identificado en el Sector C) y, tienen mayor pendiente en sus flancos occidentales (**Figura 7**).

En esta área se estudiaron 2 localidades (B1 y B2 - **Figuras 2, 3**). En ellas se pueden observar capas de gravas soportadas por clastos, intercaladas con capas de arenas que varían de grano medio a grueso. Las capas de gravas presentan espesores que varían entre 30 y 50 cm y, bases erosivas. Los clastos son angulares a muy angulares, mal escogidos, con tamaños que varían entre 0,5 cm y 6 cm de diámetro (**Figura 7**). Por otro lado, las capas de arenas presentan espesores que varían entre 25 a 40 cm, son masivas y, ocasionalmente, contienen trazas de carbón.



**Figura 5.** Fotografías del relleno sedimentario observado en la localidad B2 del Sector B. a) Depósito estratificado constituido por tres unidades principales. Los límites entre ellas son definidos por líneas blancas continuas. Las unidades 1 y 3 están compuestas de arena de grano medio a grueso y, presentan escasos lentes centimétricos de material microconglomerático. La unidad 2, contiene varios ciclos de gravas con bases erosivas y, algunas de ellas, presentan geometría acanalada. La posición de la **figura 4b** es mostrada con un rectángulo rojo. b) Detalle de clastos imbricados presentes en uno de los cuerpos de gravas con geometría acanalada. Algunos planos de imbricación son señalados con líneas negras continuas.

## Génesis de los depósitos y geoformas

Con base en las características morfológicas y sedimentológicas de los cuatro sectores identificados en el área de estudio, se interpretaron los principales procesos sedimentarios y morfogenéticos que dieron origen a los depósitos y geoformas presentes en el sector medio del VPL. A continuación, se discute la génesis propuesta para cada una de los sectores.

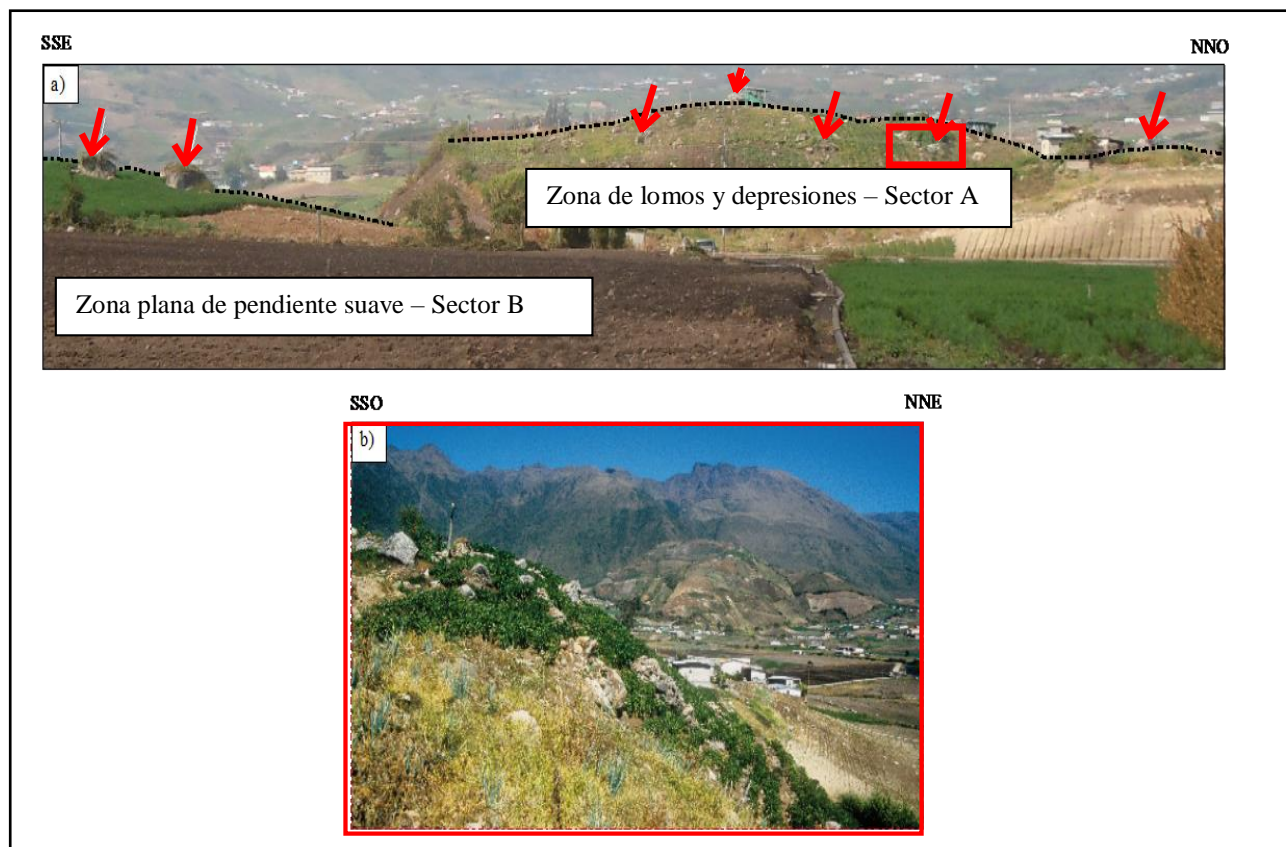
Las áreas planas presentes en el Sector A constituidas por depósitos de gravas matriz soportadas, carentes de estructuras sedimentarias que, en ocasiones, pueden presentar bloques subredondeados hasta de 400 cm de diámetro, indican un proceso depositacional caótico, el cual puede ser interpretado como depósitos en masa de flujos de detritos (**Figura 4**). Estas áreas planas presentan una expresión superficial cónica, con una pendiente que varía desde los 10° hacia el ápice hasta los 5° en la zona frontal. Esta morfología, en conjunto con el proceso sedimentario propuesto, permiten interpretar que el Sector A corresponde a un área de abanicos aluviales, los cuales tienen su nacimiento al Norte del área de estudio (**Figuras 2, 3**).

La presencia de clastos imbricados en las gravas presentes en el Sector B, son la evidencia de depósitos de flujos unidireccionales de corriente, la cual se orientaría perpendicular a los planos de imbricación, es decir  $210^\circ \pm 10^\circ$  (**Figura 5**). Adicionalmente, la geometría acanalada de las capas de gravas y su base erosiva, permiten proponer una depositación en ambiente fluvial para estos depósitos, cuyos materiales fueron depositados por una paleocorriente con orientación muy similar al río actual. Morfológicamente el sector presenta terrenos planos y de bajas pendientes ( $\sim 3^\circ$ ), lo que permite interpretar que el Sector B corresponde a una terraza fluvial (**Figuras 2, 3**).

El Sector C está constituido principalmente por depósitos de diamicton los cuales son característicos de procesos de transporte y depositación caótica. La asociación de estos depósitos con un sistema de abanicos aluviales, como es propuesta por Bezada (1990), es descartada, debido a: i) el área se encuentra al Sur de la fuentes de los abanicos presentes en el Sector A y, separada de la misma, por depósitos que constituyen terrazas fluviales en el Sector B (**Figuras 2, 3**); ii) ausencia de morfologías cónicas en la ladera Sur del VPL (**Figura 1b**); iii) los depósitos se encuentra en una zona topográficamente más elevada que el Sector B (**Figuras 2**); iv) el tamaño de los bloques es mayor que aquellos presentes en el Sector A. Por otro lado, la expresión morfológica de estos depósitos, en forma de arco con abertura hacia el sector alto del VPL y, su relación lateral con los depósitos fluvio-glaciares del Sector D (discutidos abajo), permiten proponer que estos sedimentos fueron transportados y depositados por masas de hielo que provenían de la parte alta del VPL, con dirección Noreste hacia el Suroeste y, por lo tanto, los mismos constituyen un complejo de morrenas frontales o terminales.



Finalmente, las capas de gravas con bases erosivas y clastos angulares a sub-angulares que, se encuentran intercaladas con capas de arenas masivas de tamaño de grano medio a grueso, presentes en el Sector D (**Figura 7**), son evidencias de procesos de tracción y decantación a partir de flujos unidireccionales. Estos procesos pudieron haber ocurrido en un ambiente fluvial, sin embargo, la angularidad de los clastos y la expresión morfológica en forma de lomos asimétricos con planos axiales semi-ortogonales a la cresta del lomo más alto identificado en el Sector C, sugieren un origen fluvio-glaciario para estos depósitos.



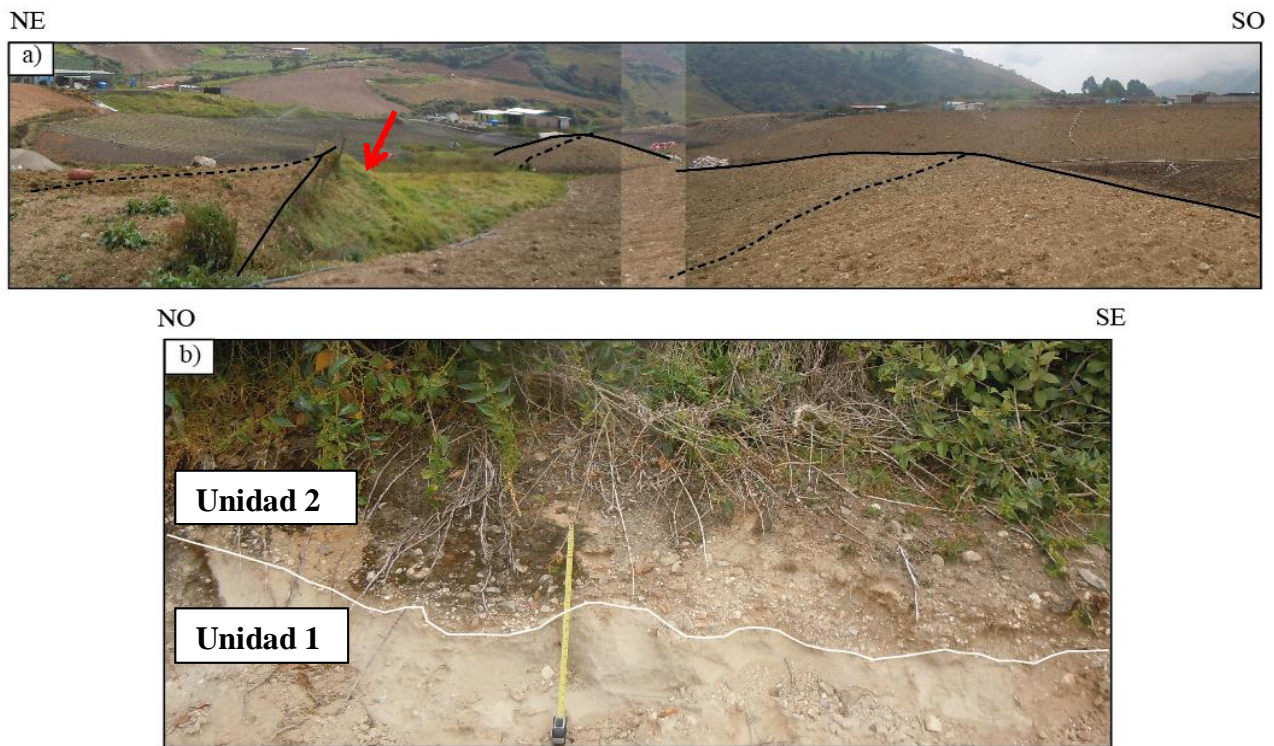
**Figura 6.** Fotografías del Sector C. a) Imagen panorámica de lomos y depresiones en los alrededores de la localidad C1. Las crestas de los lomos son identificadas con líneas negras. Las mismas están constituidas por depósitos caóticos de bloques métricos a plurimétricos, algunos de los cuales se encuentran expuestos en superficie y, son señalados con flechas rojas. También se puede apreciar en primer plano de la imagen, la expresión morfológica del Sector B. La posición relativa de la imagen de la **figura 6b** (aunque con ángulo de toma diferente) es mostrada con un rectángulo rojo. b) Detalle del material expuesto en superficie en una de las crestas en la localidad C1.

### Depósitos glaciares del VPL y Glaciación Mérida

La presencia de un complejo de morrenas frontales en el sector medio del VPL a una altitud de ~2300 m.s.n.m., como lo señala Guzmán (2013), es evidente en la zona Sur del área de estudio. No obstante, no es la única evidencia glaciario presente en la zona. De hecho, hacia el Este del área estudiada, se identificaron depósitos de origen fluvio-glaciares. Ambas evidencias demuestran que, el VPL estuvo expuesto a actividad glaciario, hasta al menos una altitud de ~2300 m.s.n.m. Adicionalmente, la geometría



del complejo de morrenas frontales y de los sedimentos fluvio-glaciares, permiten proponer que, el glaciar que dio origen a estos depósitos, provenía de la parte alta del VPL, desplazándose con dirección Noreste hacia el Suroeste (**Figuras 2, 3**).



**Figura 7.** Fotografías del Sector D. a) Imagen panorámica de los lomos asimétricos en los alrededores de la localidad D1. Obsérvese la altura (2-3 m) de los lomos. Las líneas negras continuas señalan los flancos de dichos lomos; mientras que las líneas de crestas son indicadas con líneas negras discontinuas. Las crestas tienen una orientación promedio Noreste – Suroeste, la cual es la misma del VPL. Además, las líneas de crestas son semi-ortogonales al arco formado por el complejo de morrenas frontales. La ubicación de la fotografía de la **figura 7b**, es señalada con una flecha roja. d) Detalle del relleno sedimentario presente en los lomos asimétricos de la localidad D1. El depósito estratificado presenta al menos dos unidades. La unidad 1 está compuesta de arena de tamaño de grano medio a grueso, con incipiente laminación paralela. La unidad 2 está compuesta por gravas de base erosiva, donde resalta la angularidad de los clastos.

En los alrededores del área de estudio, depósitos glaciares ubicados a una altura de 2800 m.s.n.m., en la Morrena La Canoa, han sido asociados a la etapa Temprana de la Glaciación Mérida. (Bezada, 1990; Mahaney et al., 2000, Angel, 2016). Este hecho, permite sugerir que los depósitos glaciares identificados en este estudio, muy probablemente también fueron originados durante la Glaciación Mérida. Por lo que, los resultados obtenidos en el presente trabajo, demuestran que la expansión de la Glaciación Mérida, fue al menos 500 m más abajo que la reportada previamente en el VPL y 300 m más abajo que la aceptada tradicionalmente para los Andes de Mérida (Schubert, 1974, 1976; Bezada, 1990; Schubert y Vivas, 1993; Mahaney y Kalm, 1996; Mahaney *et al.*, 2000, 2010). De hecho estos resultados sugieren que, probablemente los otros valles glaciares ubicados en Andes de Mérida,

pudieron haber estado expuesto a fenómenos similares y por lo tanto denotan la necesidad de una revisión detallada de la cronología glaciaria en los otros valles.

La ausencia de dataciones numéricas de los sedimentos presentes en el área de estudio dificulta el establecimiento de un contexto geocronológico para los depósitos glaciares identificados. Sin embargo, tomando solo en consideración la altura alcanzada por el complejo de morrenas frontales identificado en el presente estudio (~2300 m.s.n.m.), este parece tener mayor grado de correlación con el complejo de morrenas de la etapa Temprana de la Glaciación Mérida (localizado entre 2600 -2800 m s.n.m.) que con el complejo de morrenas de la etapa Tardía de la Glaciación Mérida (localizado entre 2800 -3500 m s.n.m.) (Schubert, 1974, 1976; Schubert y Valastro, 1980; Bezada, 1990; Schubert y Vivas, 1993; Mahaney y Kalm, 1996; Mahaney *et al.*, 2000, 2010). Adicionalmente, los depósitos y formas glaciares asociados a la etapa Temprana de la Glaciación Mérida, presentan una menor preservación que dificulta su identificación, como pareciera ser el caso de aquellos estudiados en el presente trabajo (Schubert y Valastro, 1980; Schubert y Vivas, 1993). Esta correlación pareciera indicar una edad entre 90 y 60 ka para los sedimentos glaciares identificados en el presente estudio, tal como ha sido postulado para la etapa Temprana de la Glaciación Mérida (Mahaney *et al.*, 2001; Dirszowsky *et al.*, 2005; Kalm y Mahaney, 2011). En todo caso, estas correlaciones basadas solo en criterios topográficos y de preservación contienen una alta incertidumbre y se hace necesaria la obtención de edades numéricas, para establecer un contexto geocronológico más preciso, de los depósitos glaciares identificados en el área estudiada.

## 5. CONCLUSIONES

Los análisis sedimentológicos de los depósitos cuaternarios presentes en el sector medio del Valle de Pueblo Llano, han permitido la identificación de procesos de transporte y depositación tales como: i) flujos de detritos y depositación en masa, ii) flujos unidimensionales y tracción -decantación de sedimentos, y iii) transporte y depositación por masas glaciares. La integración de estos procesos con la expresión geomorfológica de los depósitos, ha permitido identificar y diferenciar depósitos de origen glaciario y aluvial en el Valle Medio de Pueblo Llano.

Los depósitos de origen glaciario se asocian a un complejo de morrenas frontales que alcanza elevaciones de ~2300 m s.n.m. Esto evidencia que, los glaciares asociados a la Glaciación Mérida en el Valle de Pueblo Llano, alcanzaron altitudes de al menos, 300 m más bajas que las aceptadas tradicionalmente para los Andes de Mérida. Además, sugieren que otros valles glaciares presentes en los Andes de Mérida pudieron experimentar fenómenos similares.

## 6. AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al decanato de investigación y desarrollo de la Universidad Simón Bolívar, quien financió parcialmente esta investigación.

## 7. REFERENCIAS

- Alemán, A., Ramos, V. A. (2000). Northern Andes. En Cordani, U., Milani, E., Thomas, Filho, A., Campos, D. (Eds.). *Tectonic Evolution of South America*. 31<sup>st</sup> International Geological Congress, Río de Janeiro, Academia Brasileira de Ciencias y otras, 453-480.
- Angel, I. F. (2016). Late Pleistocene deglaciations histories in the central Mérida Andes (Venezuela). Ph.D. Thesis, Université de Grenoble Alpes, Francia, 230 pp. <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01310303/document>
- Audemard, F. E., Audemard F. A. (2002). Structure of the Mérida Andes, Venezuela: relations with the South America-Caribbean geodynamic interaction. *Tectonophysics* 345, 299-327. [https://doi.org/10.1016/S0040-1951\(01\)002018-9](https://doi.org/10.1016/S0040-1951(01)002018-9).
- Bermúdez, M. A. (2009). Cenozoic exhumation patterns across the Venezuelan Andes: insights from fission-track thermochronology. Ph.D. Thesis. Université Joseph Fourier, Francia. 230 pp. <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00450838/document>.
- Bermúdez, M. A., Van der Beek, P., Bernet, M. (2011). Asynchronous Miocene-Pliocene exhumation of the central Venezuelan Andes. *Geology*, 39 (2), 139-142. <https://doi.org/10.1130/G31582.1>.
- Bezada, M. (1990). Geología glacial del Cuaternario de la región de Santo Domingo-Pueblo Llano-Las Mesitas (Estado Mérida y Trujillo). Ph.D. Tesis, Centro de Estudios Avanzados, Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas, Caracas, 245 pp.
- Clark, P. U., Dyke, A. S., Shakun, J. D., Carlson, A. E., Clark, J., Wohlfarth, B., Mitrovica, J. X., Hostetler, S. W. (2009). The Last Glacial Maximum. *Sciences*, 325 – 5941, 710–714. DOI: 10.1126/science.1172873.
- Colleta, B., Roure, F., De Toni, B., Loureiro, D., Passalacqua, H., Gou, Y. (1997). Tectonic inheritance, crustal architecture, and contrasting structural styles in the Venezuela Andes. *Tectonics*, 1 (5), 777–794. <https://doi.org/10.1029/97TC01659>.
- Dirszowsky, R. W., Mahaney, W. C., Hodder, K. R., Milner, M. W., Kalm, V., Bezada, L., Beukens, R. P. (2005). Lithostratigraphy of the Mérida (Wisconsinan) glaciation and Pedregal intersatade, Mérida Andes, northwestern Venezuela. *Journal of South American Earth Sciences*, 19, 525-536. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2005.07.001>.
- Farr, T. G., Rosen, P. A., Caro, E., Crippen, R., Duren, R., Hensley, S., Kobrick, M., Paller, M., Rodriguez, E., Roth, L., Seal, D., Shaffer, S., Shimada, J., Umland, J., Werner, M., Oskin, M., Burbank, D., Alsdorf, D. (2007). The Shuttle Radar Topography Mission. *Review of Geophysics*, 55, RG2004, 1-33. doi: 1029/2005RG000183.

- Guzmán, O. J. (2013). Timing and dynamics of river terraces formation in moderate uplifted ranges: the example of Venezuela and Albania. ). Ph.D. Thesis, Université de Grenoble, Francia, 277 pp. <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00934484/document>.
- Guzmán, O., Vassallo, R., Audemard, F., Mugnier, J.-L., Oropeza, J., Yezpez, S., Carcaillet, J., Alvarado, M., Carrillo, E. (2013).  $^{10}\text{Be}$  dating of river terraces of Santo Domingo river, on Southeastern flank of the Mérida Andes, Venezuela: Tectonic and climatic implications. *Journal of South American Earth Sciences* 48, 85-96. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2013.09.004>.
- Kalm, V., Mahaney, W. C. (2011). Late Quaternary Glaciations in the Venezuelan (Mérida) Andes. En Ehlers, J., Gibbard, J.L., Hughes, P. D. (Eds). Quaternary Glaciations – Extent and Chronology. A closer look. *Developments in Quaternary Science*, 15, 835-841. doi: 10.1016/B978-0-444-53447-7.00059-3 ISSN: 1571-0866.
- Kellog, J. N., Bonini, W. E. (1982). Subduction of the Caribbean plate and basement uplifts in the overriding South American plate. *Tectonics*, 1 (3), 251–276. <https://doi.org/10.1029/TC001i003p00251>.
- Mahaney, W.C., Kalm, V. (1996). Field Guide for the International Conference on Quaternary Glaciation and Paleoclimate in the Andes Mountains, June 21-July 1, 1996. Quaternary Surveys Ltd, Toronto, Canada, 79 pp.
- Mahaney, W. C., Milner, M. W., Voros, J., Kalm, V., Hütt, G., Bezada, M., Hancock, R. G. V., Aufreiter, S. (2000). Stratotype of the Mérida Glaciation at Pueblo Llano in the Northern Venezuelan Andes. *Journal of South American Earth Sciences* 13, 761–774. [https://doi.org/10.1016/S0895-9811\(00\)00054-7](https://doi.org/10.1016/S0895-9811(00)00054-7).
- Mahaney, W. C., Russell, S.E., Milner, M. W., Kalm, V., Bezada, M., Hancock, R.G.V., Beukens, R.P., (2001). Paleopedology of Middle Wisconsin/Weichselian Paleosols in the Mérida Andes. Venezuela. *Geoderma* 104, 215–237. [https://doi.org/10.1016/S0016-7061\(01\)00082-9](https://doi.org/10.1016/S0016-7061(01)00082-9).
- Mahaney, W.C, Kalm, V., Menzies, J., Milner, M. W. (2010). Reconstruction of the Early Mérida, pre-LGM glaciation with comparison to Late Glacial Maximum till, northwestern Venezuelan Andes. *Sedimentary Geology* 226, 29–41. <https://doi.org/10.1016/j.sedgeo.2010.02.004>.
- Nesje, A., Olaf-Dehl, S. (2000). Glaciers and environmental change. Oxford University Press Inc., 203 pp.
- Pettijohn, F. J., Potter, P. E., Siever, R. (1987). Sand and Sandstone. 2 edición. Springer-Verlag, New York. 553 pp.
- Pindell, J. L., Barret., S. F. (1990). Geologic Evolution of the Caribbean Region: a Plate-Tectonic Perspective, En Case, J. E., Dengo, G. (Ed.). *The geology of North America, the Caribbean region* (pp. 405-432). Geological Society of America. Geology of North America, H, 405-432. <https://doi.org/10.1130/DNAG-GNA-H.405>.
- Rull, V. (2005). A Middle Wisconsin interstadial in the Northern Andes. *Journal of South American Earth Sciences* 19, 173– 79. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2005.01.002>.
- Schubert, C. (1970). Glaciation of the Sierra de Santo Domingo, Venezuelan Andes. *Quaternaria* 13, 232-261.
- Schubert, C. (1974). Late Pleistocene Mérida glaciation, Venezuelan Andes. *Boreas* 3, 147–52. doi: 10.1111/j.1502-3885.1974.tb00673.x.
- Schubert, C. (1976). Definición geológica de la Glaciación Mérida, Andes venezolanos. Boletín de Geología, Publicación Especial 7 (2), 1181-1185.



- Schubert, C. (1984). The Pleistocene and recent extent of the glaciers of the Sierra Nevada de Mérida, Venezuela. *Erdwissenschaftliche Forshung* 18, 269- 278.
- Schubert, C., Vivas, L. (1993). El Cuaternario de la cordillera de Mérida, Andes Venezolanos. 1° ed. ULA Fundación Polar, 345 pp.
- Schubert, C., Valastro, S. (1980). Quaternary Esnujaque Formation, Venezuelan Andes: Preliminary alluvial chronology in a tropical mountain range. *Zeitschrift der Deutschen Geologischen Gesellschaft* 131, 927–47.
- Schubert, C., Clapperton, C. M. (1990). Quaternary glaciations in the Northern Andes (Venezuela, Colombia and Ecuador). *Quaternary Sciences Review* 9, 123-135. [http://doi.org/10.1016/0277-3791\(90\)90014-2](http://doi.org/10.1016/0277-3791(90)90014-2)
- Shackleton, N. J., Sánchez Goñi, M.F., Paillerc, D., Lancelot, Y. (2003). Marine Isotope Substage 5e and the Eemian Interglacial. *Global and Planetary Change* 36, 151-155. [https://doi.org/10.1016/S0921-8181\(02\)00181-9](https://doi.org/10.1016/S0921-8181(02)00181-9).
- Taboada, A., Rivera, L., Fuenzalida, A., Cisternas, A., Philip, H., Bijwaard, H., Olaya, J., Rivera, C. (2000). Geodynamic of the northern Andes: Subductions and intracontinental deformation (Colombia). *Tectonics*, 19 (5), 787-813. <https://doi.org/10.1029/2000TC900004>.
- Tricart, J., Millies-Lacroix, A. (1962). Les terrasses quaternaires des Andes Vénézuéliennes. *Bulletin de la Société Géologique de France. Soc. Géol. France*, 7e Sér., 4, 201-219.
- Tricart, J., Michel, M. (1965). Monographie et carte geomorphologique de la region de Lagunillas (Andes Vénézuéliennes). *Revue de Geomorphologie Dynamique* 15, 1-33.
- Udden, J. A. (1914). Mechanical composition of clastic sediments. *Geological Society of America Bulletin*, 25 (1), 655–744. <http://dx.doi.org/10.1130/GSAB-25-655>.
- Wentworth, C. K. (1922). A Scale of Grade and Class Terms for Clastic Sediments. *The Journal of Geology*, 30 (5), 377–392. <https://www.journals.uchicago.edu/doi/pdfplus/10.1086/622910>.
- Wesnousky, S. G., Aranguren, R., Rengifo, M., Owen, L.A., Caffee, M. W., Krishna Murari, M., Pérez, O. J. (2012). Toward quantifying geomorphic rates of crustal displacement, landscape development, and the age of glaciation in the Venezuelan Andes *Geomorphology* 141-142, 99-113. <http://doi.org/10.1016/j.geomorph.2011.12.028>.
- Zinck, A., Stagno, P. (1966). Estudio edafológico de la zona de Santo Domingo-Pagüey, Estado Barinas: División de Obras Hidráulicas, Ministerio de Obras Públicas, Caracas.

