

CARACTERIZACIÓN GEOMORFOLÓGICA Y REPRESENTACIÓN CARTOGRÁFICA A ESCALA 1:25 000 DE LA PARTE ALTA ENDORREICA DE LA CUENCA ALMENDARES-VENTO

CHARACTERIZATION AND CARTOGRAPHIC REPRESENTATION AT 1/25 000 SCALE OF THE UPPER ENDORHEIC PART OF THE ALMENDARES-VENTO ENDORHEIC PART OF THE ALMENDARES-VENTO BASIN

 **RAYDEL ALONSO-MONTERO**

Instituto de Geología y Paleontología. Vía Blanca No. 1002. Municipio San Miguel del Padrón, La Habana, Cuba.

Correspondencia: raydelalonsomonte@gmail.com

RESUMEN: La parte alta endorreica de la cuenca Almendares-Vento es una de las regiones hidrológicas y del karst más importante de Cuba al encontrarse en ella gran parte de las principales vías de recarga subterránea al acuífero Vento, principal fuente de abasto de agua potable a la capital cubana. Como parte de los proyectos de investigación que el Instituto de Geología y Paleontología ejecuta en las distintas sub-cuencas de la cuenca del río Almendares, se realizó el estudio de esta sub-cuenca superior endorreica introduciéndose por vez primera el estudio geomorfológico y su representación cartográfica para este sector a escala detallada 1/25 000, el cual revisa desde el punto de vista cronomorfológico el complejo de tipos y formas del relieve del territorio, tomando como base el levantamiento de las antiguas provincias habaneras realizado por Portela. Se muestra la clasificación de las superficies por la categoría de relieve, piso altitudinal y génesis endógena de las unidades orográficas; así como el análisis de las morfoestructuras activas del relieve original y las litoestructuras modificadas, sus formas de expresión, los procesos exógenos que dieron lugar al relieve actual y las edades de las superficies. Esta obra es, por tanto, una herramienta útil en el estudio geoambiental de la cuenca Almendares-Vento y específicamente, de su parte alta y se espera, sirva como primer paso para extender este tipo de levantamiento a toda la unidad hidrológica general, con vistas a la realización de estudios geomorfológicos e hidrológicos del karst más profundos y avanzados.

Palabras Clave: formas del relieve, karst, sub-cuenca endorreica, tipos de relieve.

ABSTRACT: The upper endorheic part of the Almendares-Vento basin is one of the most important hydrological and karst regions in Cuba, since it contains most of the main subway recharge routes to the Vento aquifer, the main source of drinking water supply to the Cuban capital. As part of the research projects that the Institute of Geology and Paleontology carries out in the different sub-basins of the Almendares river basin, the study of this upper endorheic sub-basin was carried out, introducing for the first time the geomorphological study and its cartographic representation for this sector at a detailed scale 1/25 000, which reviews from the chronomorphogenetic point of view the complex of types and forms of the relief of the territory, taking as a basis the survey of the old Havana provinces realized of Portela. Thus, it offers the classification of the surfaces by relief category, altitudinal floor, endogenous genesis of the orographic units; as well as the analysis of the active morphostructures of the original relief and the modified lithostructures, their forms of expression, the exogenous processes that gave rise to the present relief and the ages of the surfaces. This work is therefore a useful tool in the geoenvironmental study of the Almendares-Vento basin and specifically of its upper part, and it is expected to serve as a first step to extend this type of survey to the entire general hydrological unit, with a view to carrying out deeper and more advanced geomorphological and hydrological studies of the karst.

Keywords: endorheic sub-basin, karst, relief forms, types of relief.

Recibido: 17/12/2024

Aceptado: 10/01/2025

Conflicto de intereses: El autor declara que no existe conflicto de intereses.



Este artículo se encuentra bajo los términos de la licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial (CC BY-NC 4.0).
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>



INTRODUCCIÓN

La cuenca Almendares-Vento es una de las unidades geomorfológicas e hidrológicas del karst más importante de Cuba, al constituir la principal fuente abastecedora de agua potable a la capital cubana. Sus recursos hídricos subterráneos son abundantes, contenidos en un sistema de acuífero kárstico no confinado con estimados de 278 Hm³/año y un suministro de hasta 8.8 m³/s (Molerio-León, Pin, Guerra, 2007). Parte importante de la recarga subterránea de este acuífero se establece, principalmente, a través de las depresiones grandes y pequeñas con algunos sumideros situados en las llanuras denudativas altas en la cuenca superior, con aportes de cauces ciegos procedentes de la vertiente sur y suroccidental de las Lomas de San Francisco Javier y las Escaleras de Jaruco, con un patrón de conducción subterránea longitudinal de este a oeste que drena superficialmente al río Almendares a través de manantiales y otras formas emisivas (Magaz, 2018).

En el año 2023 como parte de los proyectos de investigación que desde el 2014 se ejecutan en los distintos tramos o sub-cuencas de la cuenca del río Almendares, se realizó el estudio de esta parte alta o cuenca superior endorreica antes mencionada, introduciéndose por vez primera el estudio geomorfológico y su representación cartográfica para este sector a escala detallada en 1/25 000, tomando como base y siguiendo los métodos y criterios cronomorfo-genéticos empleados en el levantamiento geomorfológico de las antiguas provincias habaneras de Portela et al (1987). Otros trabajos considerados y utilizados para este propósito y que caben destacar son el tratado de Magaz (2018) sobre las unidades geomórficas regionales del karst de las antiguas provincias habaneras; así como las investigaciones de Molerio-León (2020) sobre el karst en Escaleras de Jaruco, entre otros.

Así, el mapa geomorfológico al que anteriormente se hizo referencia y que aquí se presenta, revisa el complejo de tipos y formas del relieve de este territorio que pueden ser registrados a la escala utilizada, y dónde han sido clasificadas las superficies por la categoría de relieve, el piso altitudinal, la génesis endógena de las unidades orográficas y su reelaboración exógena; realizándose además, el análisis de las morfoestructuras activas que formaron el relieve original y las litoestructuras modificadas, sus formas de expresión y los procesos exógenos que dieron lugar al relieve actual. También se ofrece la edad de las superficies tomando en cuenta las rocas elaboradas y las modificaciones causadas por la erosiva-karstificación durante el Cuaternario.

Esta obra es, por tanto, una herramienta útil en el estudio geoambiental de la cuenca Almendares-Vento y específicamente de su parte alta, y se espera sirva como primer paso para extender este tipo de levantamiento a toda la unidad hidrológica general, con vistas a la realización de estudios geomorfológicos e hidrológicos del karst más profundos para lograr clasificar las superficies del relieve por sus condiciones estructurales y funcionales del karst, su función dentro de los sistemas y zonas kársticas, las áreas de recarga principales y estacionales, las zonas de aporte extrakársticas, las corrientes interkársticas, etc.

MATERIALES Y MÉTODOS

Con vistas a la cartografía de los complejos de tipos y formas del relieve del área de estudio a escala 1/ 25 000 para su posterior descripción, se realizó el geoprocesamiento y análisis de los parámetros morfométricos fundamentales necesarios.

El procesamiento morfométrico del área se llevó a cabo, fundamentalmente, a partir del Modelo Digital del Terreno (MDT) con resolución espacial de 25 m x píxel. Este modelo se elaboró a partir de la digitalización, procesamiento e integración de las hojas topográficas 3785-II-c (Cuatro Caminos), 3785-II-d (Jaruco), 3784-I-b (Embalse Mampostón) y 3784-I-a (San José de las Lajas), del levantamiento estereotopográfico del año 1985 realizado por el Instituto Cubano de Geodesia y Cartografía a escala 1:25 000. La digitalización y geoprocesamiento, fueron desarrollados con la

utilización de los **Sistemas de Información Geográfica Quantum Geographical Information System (QGIS 3.10 A)** y **System for Automated Geoscientific Analyses (SAGA 8.1.1)**. Se realizaron, además, observaciones de imágenes satelitales del terreno proporcionadas por Google Earth, con vistas a obtener mayores precisiones.

Partiendo del uso y análisis de los mapas morfométricos expuestos, de las observaciones de mapas topográficos, imágenes satelitales y de las efectuadas directamente en el terreno, se procedió a la cartografía de los complejos de tipos y formas del relieve del área de estudio tomando como fundamento el levantamiento geomorfológico de las antiguas provincias habaneras de **Portela et.al (1987)** a escala 1: 250 000, utilizando el criterio cronomorfofenético de la representación del relieve usada en el levantamiento anteriormente mencionado, o sea, reflejando lo referente a la edad, morfología y origen de las distintas superficies.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Ubicación del área de estudio

El territorio en estudio se encuentra situado en la parte oriental de la cuenca Almendares-Vento (**Figura 1**). Este sector endorreico que se corresponde con la parte alta o tramo superior de dicha cuenca hidrográfica forma, junto a su parte media, una estructura longitudinal del eje insular occidental cubano (**Magaz, 2018**). Posee un área de 92.05 km² y está limitada hacia el sur por el flanco norte carbonatado de las Lomas de Camoa, y al norte y este por las Lomas de San Francisco Javier, Escaleras de Jaruco y Lomas de San Rafael.

Desde el punto de vista político-administrativo, la sub-cuenca se encuentra situada casi en su totalidad en la provincia de Mayabeque, abarcando parte de los municipios San José de las Lajas y Jaruco. Comprende, además, una muy pequeña porción del extremo suroriental del municipio Cotorro, perteneciente a la provincia La Habana (**Figura 2**).

Desde el punto de vista de la regionalización geomorfológica (**Acevedo, 1989**) el área pertenece a la región Escaleras de Jaruco, dentro del subgrupo regional, Alturas del norte de La Habana-Matanzas (**Gutiérrez y Rivero, 1999**). En cuanto a su ubicación dentro de las unidades regionales del relieve kárstico de las antiguas provincias habaneras (**Magaz, 2018**), pertenece a la unidad geomórfica de las "llanuras denudativas y alturas del eje insular intensamente karstificadas".

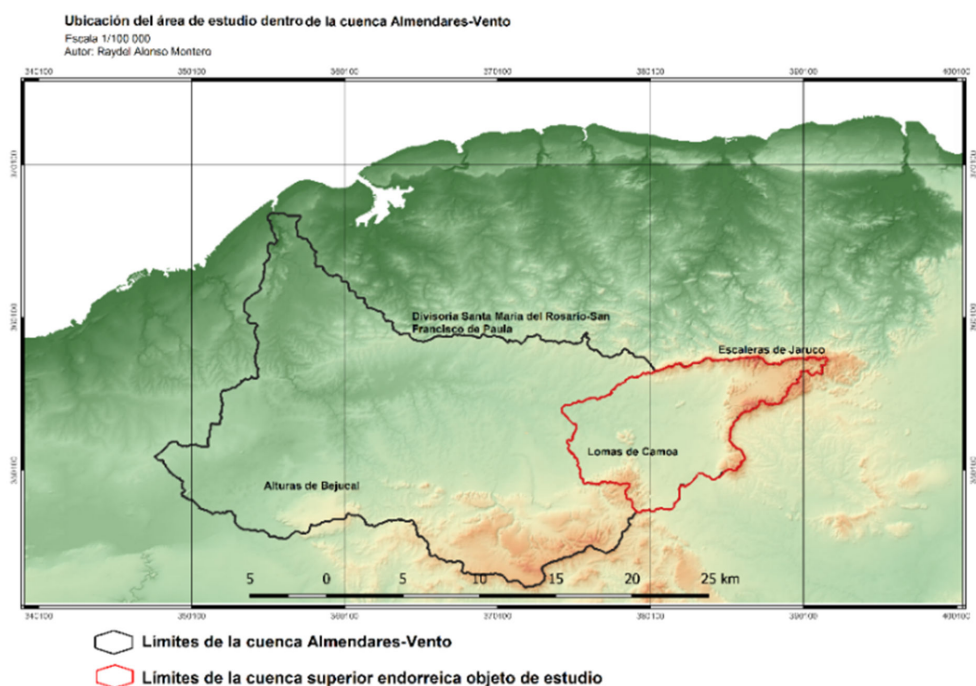


Figura 1. Ubicación del área de estudio dentro de los límites de la cuenca Almendares-Vento.

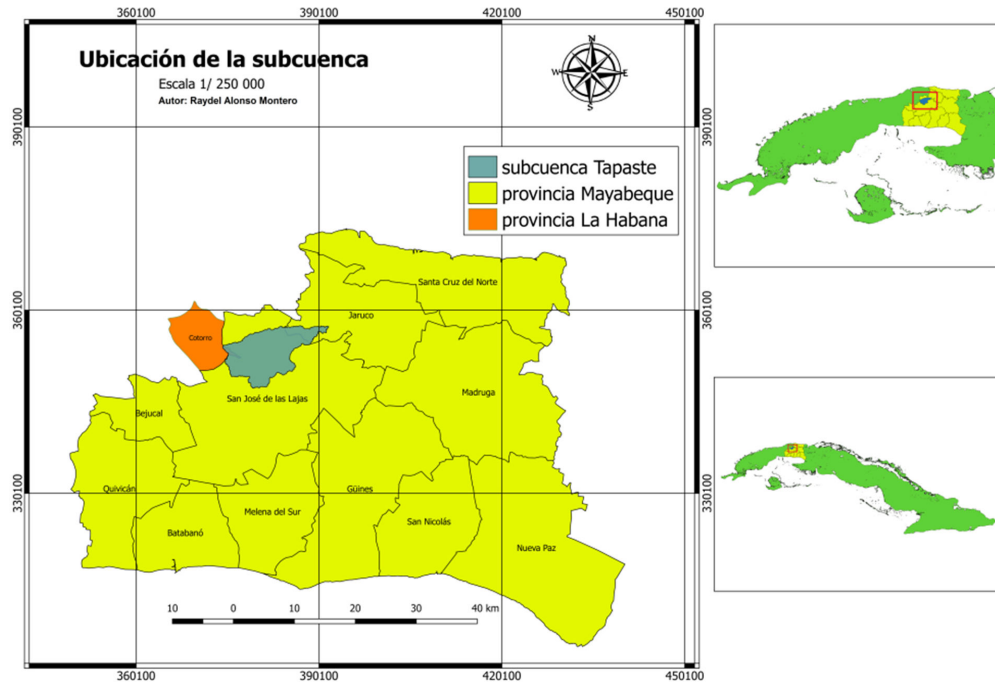


Figura 2. Mapa político del territorio en estudio.

Descripción General

En esta sub-cuenca se encuentra parte importante de las zonas de alimentación subterránea del acuífero Vento. Estas zonas de recarga se encuentran en las superficies de las llanuras altas denudativas, estableciéndose a través de las depresiones grandes y pequeñas, con aportes a través de cauces ciegos procedentes de la vertiente suroccidental de Las Escaleras de Jaruco (Magaz, 2018). Dentro de esta zona precisamente, en la parte nororiental de las Escaleras de Jaruco, se encuentra la divisoria subterránea del acuífero Vento (cuyos límites específicos aún no han sido determinados), al tratarse el área de una zona de difluencia de flujo subterráneo, en donde una parte del mismo se dirige hacia el interior del área, y alimenta a Vento, y otra parte se dirige al norte, alimentando a la cuenca Mayabeque (Molerio-León, 2020).

A grandes rasgos, el territorio está conformado predominantemente por rocas carbonatadas y carbonatadas-terrágenas oligomiocénicas de la cobertura neoplatafórmica, relacionadas con una sedimentación marina en los bordes sumergidos de antiguas islas compuestas por rocas del basamento. Esta cobertura fue fracturada en el Plioceno por fallas neotectónicas y desplazada diferencialmente a distintas altitudes con distintas configuraciones por los movimientos de bloque, ocupando actualmente en el área, los niveles de cima en el relieve con altitudes de más de 300 m sobre el nivel actual del mar. Posteriormente, el oroplano erosivo-kárstico que desmiembra estas superficies originó numerosas elevaciones de tipo cupular mogótico durante el Cuaternario (Magaz, 2017a en Molerio-León, 2020), y se depositaron importantes espesores de depósitos deluvio-eluviales y sedimentos arcillosos de origen palustre que cubren las llanuras denudativas karstificadas actuales.

Análisis morfométrico

Con vistas a la cartografía de los complejos de tipos y formas del relieve del área de estudio, a escala 1/ 25 000, se realizó el geoprocesamiento y análisis de los parámetros morfométricos fundamentales útiles para este propósito conforme a las características propias del tipo de terreno.

El procesamiento morfométrico del área se llevó a cabo, fundamentalmente, a partir del Modelo Digital del Terreno (MDT) y el Modelo de Sombreado del Relieve, con resolución espacial de 25 m x píxel. Estos modelos se elaboraron a partir de la digitalización, procesamiento e integración de las hojas topográficas 3785-II-c (Cuatro Caminos), 3785-II-d (Jaruco), 3784-I-b (Embalse Mampostón) y 3784-I-a (San José de las Lajas), del levantamiento estereotopográfico del año 1985 por el Instituto Cubano de Geodesia y Cartografía, a escala 1:25 000. La digitalización y geoprocesamiento, fueron desarrollados con la utilización de los Sistemas de Información Geográfica Quantum Geographical Information System (QGIS 3.10 A Coruña, 2020) y System for Automated Geoscientific Analyses (SAGA 8.1.1, 2021). Además de esto, se realizaron observaciones de imágenes satelitales del terreno proporcionadas por Google Earth, con vistas a obtener mayores precisiones.

Estos modelos digitales sirvieron de base para la confección de los siguientes mapas morfométricos, los cuales a su vez se utilizaron como base para la confección del mapa geomorfológico del territorio:

Mapa hipsométrico

El mapa hipsométrico (Figura 3) representa las diferentes expresiones altitudinales del terreno mediante una gama de colores que permite resaltar el relieve, siguiendo los intervalos de las curvas de nivel. Este mapa es básico para la interpretación y observación del relieve, por cuanto permite identificar sus categorías, tipos, formas, la posición altitudinal de las distintas superficies, los límites de las morfoestructuras, fallas y morfoalineamientos, entre otros elementos.

El rango hipsométrico del territorio comprende una diferencia altitudinal absoluta de cerca de 230 metros, donde el valor mínimo de altitud es de 88.4 msnm, en el área de llanura de Cuatro Caminos, en el extremo noroccidental del territorio, y el valor máximo de altitud es de 315.8 msnm, en las superficies cimeras de las elevaciones de las Escaleras de Jaruco, en el límite norte de la sub-cuenca. El territorio constituye, desde el punto de vista de la clasificación según los pisos altitudinales de la serie geomórfica vertical de Cuba (Magaz, 2017a), un conjunto de llanuras altas y alturas grandes y medianas.

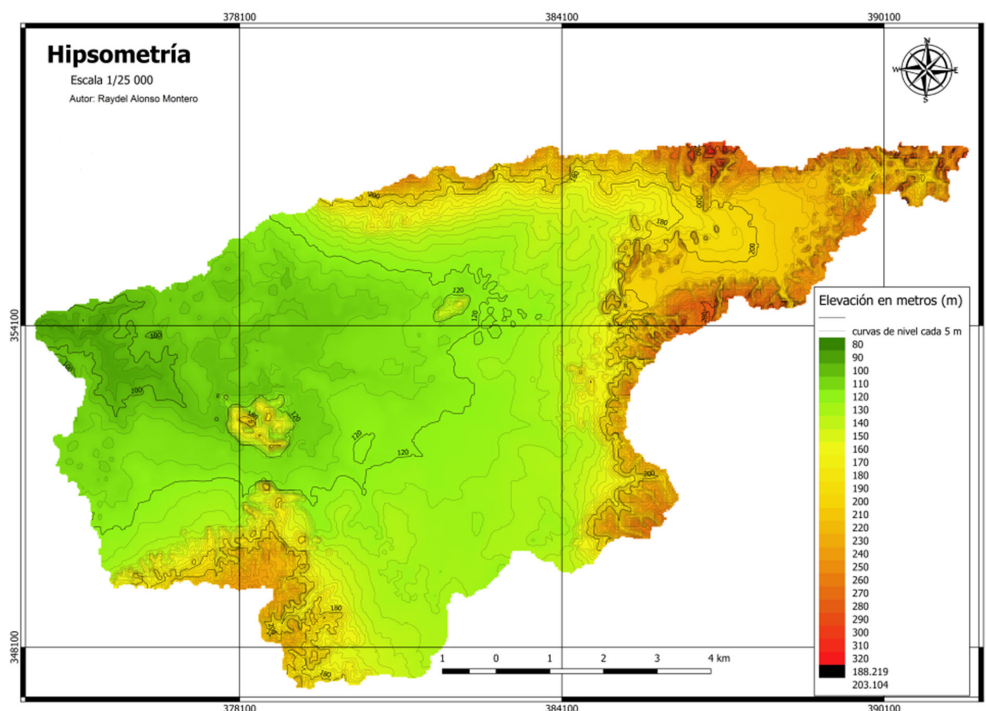


Figura 3. Mapa hipsométrico.

Las llanuras altas (desde 88 hasta 145 m) constituyen el piso altitudinal de mayor representación areal. Las alturas grandes y medianas se corresponden con las elevaciones del territorio, las cuales llegan a alcanzar más de 300 m en Escaleras de Jaruco. Generalmente, en este tipo de morfoestructuras del relieve que levantan rocas de la cobertura hay combinación de fallamiento y petromorfía (Magaz, comunicación personal), debido a la naturaleza dura y resistente de las rocas carbonatadas y su control geodinámico del fallamiento, pero sin duda este último constituye el elemento activo, como lo revelan las escarpas tectónicas denudadas con alturas relativas de más de 100 m en algunos casos en el flanco norte de las Escaleras de Jaruco.

En Cuba los desniveles máximos medidos en morfoestructuras pasivas resultado de la erosión diferencial de las rocas sin elementos disyuntivos en sus bases (litomorfoestructuras) alcanzan un valor de 45 m (Magaz, 2017b). Por tanto, la amplitud de los desniveles de las escarpas de estas alturas en el área con respecto a sus bases evidencia que son resultado del fraccionamiento en bloques y levantamiento por las fallas neotectónicas, deja sin posibilidad la hipótesis de que estas elevaciones sean petrogénicas. Estas neofallas cortaron y elevaron a distintas altitudes las superficies de la cobertura de la transgresión marina neogénica, y están representadas como superficies denudativas karstificadas ocupando los niveles de cima en la actualidad.

Mapa de pendientes

El mapa de pendientes (Figura 4) constituye un elemento básico en el análisis morfométrico y representa el nivel de inclinación de las superficies del terreno expresado en grados. En este mapa se observa que los valores de las pendientes existentes en el territorio están comprendidos entre los 0-48 °. Se evidencia que los valores de las pendientes corresponden en mayoría al rango de 0 a 2°, por lo que las superficies predominantes del terreno clasifican como planas, esto es, en las superficies de las llanuras denudativas y las depresiones erosivo-kársticas. En el área de las llanuras se presentan valores, además, de pendientes ligeramente inclinadas hasta 5°, que aparecen bordeando los contornos de las depresiones kársticas y las zonas al pie de las escarpas de las alturas. Las superficies, desde fuertemente inclinadas hasta empinadas, se corresponden con los sectores de las escarpas tectónicas y erosivo-tectónicas, así como con pendientes de superficies residuales erosivas. En las paredes de los mogotes existen valores de pendientes superiores a los representados en este mapa, llegando incluso a la verticalidad, pero a esta escala de trabajo no es representable.

Mapa de la red de drenaje superficial

El mapa de la red de drenaje superficial fue confeccionado a partir del Modelo Digital de Elevación, mediante el procesamiento hidrológico en el software SAGA, al cual se le realizaron, posteriormente, correcciones haciendo uso de las observaciones del terreno en el mapa topográfico y en la plataforma Google Earth. Este procesamiento consiste en trazar las direcciones de las corrientes superficiales en función de las características altitudinales del terreno, siguiendo las inflexiones de las curvas de nivel en un mapa topográfico.

Como se ha planteado anteriormente, el territorio en estudio es eminentemente kárstico, y el drenaje se produce fundamentalmente de forma subterránea. En la red representada en el mapa, se evidencia que en el terreno no están expresados los flujos superficiales de esta manera, pues la mayor parte del agua de las lluvias es absorbida hacia el subsuelo en las formas de absorción de la zona kárstica. No obstante, también se mantiene una parte del componente superficial de drenaje. En las épocas lluviosas se generan también drenajes superficiales en forma de cauces ciegos procedentes de la vertiente suroccidental de Escaleras de Jaruco, que junto al resto del flujo que es absorbido por las depresiones endorreicas cerradas, tributa a la recarga de la cuenca subterránea de Vento en su parte alta.

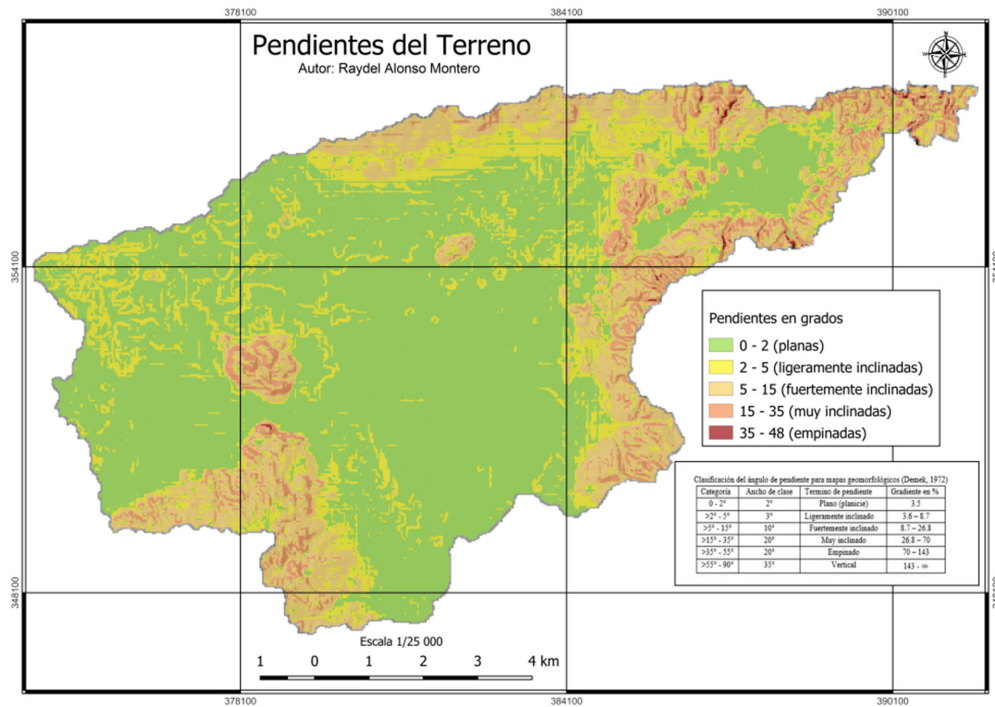


Figura 4. Mapa de pendientes del terreno.

El componente superficial de drenaje está muy poco expresado en el área, siendo apreciable con claridad en las zonas de los cauces ciegos y en las zonas de las elevaciones tectónicas-erosivas en San José de las Lajas, (adyacentes a las alturas carbonatadas de las Lomas de Camoa), que se produce sobre rocas de composición más arcillosa (margas), formando corrientes temporales intermitentes que han ido diseccionando a las mismas a lo largo del tiempo. Cabe destacar, además, la existencia en el área de paleocauces pequeños, que indican paleodrenajes que contribuyeron a la colmatación de las dolinas durante las fases de avenamiento de las etapas evolutivas típicas de los poljes (Molerio-León, comunicación personal).

Cartografía y descripción geomorfológica

Partiendo del uso y análisis de los mapas morfométricos expuestos, de las observaciones de mapas topográficos, imágenes satelitales y las efectuadas directamente en el terreno, se procedió a la cartografía de los complejos de tipos y formas del relieve del área de estudio (Figura 6) tomando como fundamento el levantamiento geomorfológico de las antiguas provincias habaneras de Portela et.al (1987) a escala 1: 250 000.

La cartografía geomorfológica se efectuó sobre la misma base cronomorfo-genética de la representación del relieve usada en el levantamiento anteriormente mencionado, esto es, reflejando lo referente a la edad, morfología y origen de las distintas superficies. Esta representación conlleva la jerarquización del relieve en todo su conjunto mediante la identificación de sus niveles y órdenes. Para un mejor entendimiento de esto, se tomará como ejemplo explicativo el caso del relieve de las alturas del área, en el cual, además de señalarse los pisos altitudinales de las superficies, se identifica como nivel jerárquico principal el de la morfoestructura activa en su estilo tectónico y la litoestructura que modifica: "De Horst y Bloque en Plegamientos y Monoclinales", esto es, morfoestructuras del estilo de relieve germánico, creadas en condiciones de ambientes distensivos y movimientos de resultante vertical, que levantan geoestructuras plegadas antiguas y rocas de la cobertura en disposición monoclin.

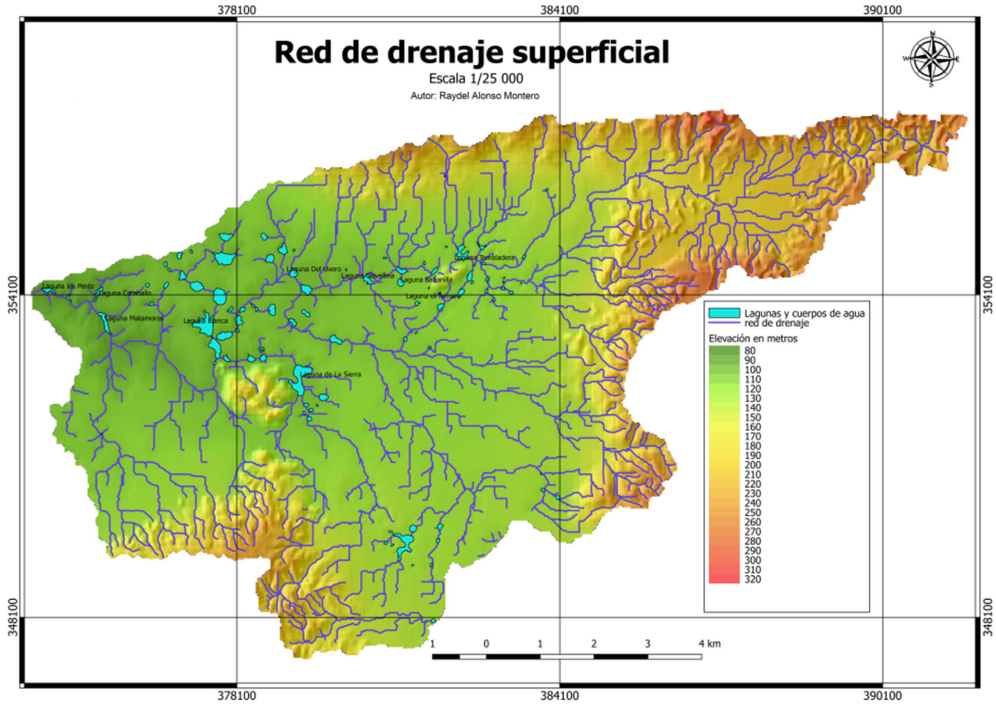


Figura 5. Mapa de la red de drenaje superficial.

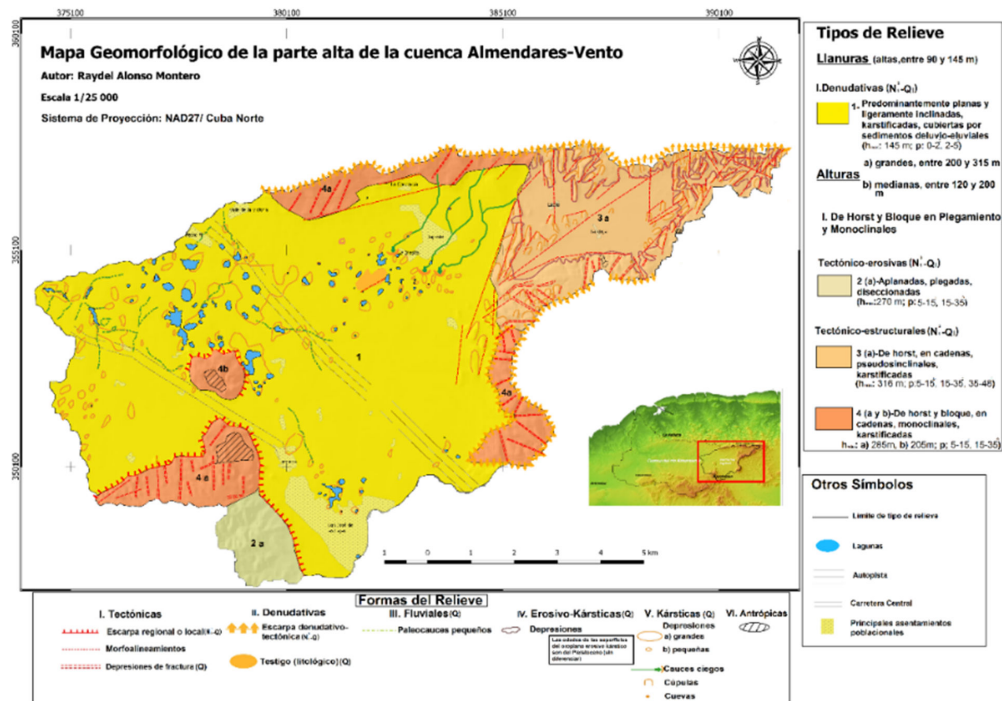


Figura 6. Mapa geomorfológico de la sub-cuenca Tapaste (parte alta de la cuenca Almendares-Vento)

En un segundo nivel jerárquico se identifican dos grupos de alturas por su expresión superficial: las tectónico-erosivas y las tectónico-estructurales que significan, respectivamente, que ambos tipos de alturas han sido creadas por levantamientos tectónicos, pero en el primer caso por estar elevadas en sustrato erosionable de rocas margosas y arcillosas no se revela claramente la geoestructura activa y pasiva; mientras que, en el segundo caso, por tratarse de levantamientos en rocas carbonatadas duras resistentes a la erosión como las calizas, las geoestructuras se expresan con claridad.

En el nivel jerárquico elemental se reflejan las características a escala local, señalando su morfología (en cadenas, aplanadas); su litoestructura interna (plegadas, monoclinales, pseudosinclinales) y el modelado exógeno (diseccionadas, karstificadas). De esta manera queda representado el relieve del área de forma jerarquizada.

Además, se ha señalado la edad de los tipos y formas del relieve en conformidad a lo establecido en el trabajo de [Portela et. al \(1987\)](#) de acuerdo al método morfoestratigráfico de los límites teniendo en cuenta la edad paleontológica de las rocas elaboradas y transformadas y sus sedimentos cubrientes. Cabe señalar aquí, que por sugerencia de Magaz (comunicación personal, 2024), se ha considerado la extensión de las edades de los tipos del relieve hasta el inicio del Pleistoceno Temprano (que en el levantamiento de 1987 a escala 1/250 000 tenían como límite inferior el Plioceno Temprano), por ser estas superficies colindantes con la llanura marina alta del sur de la Habana cuya edad es Pleistoceno Medio. Asimismo, se ha identificado la edad del complejo de formas del relieve del oroplano erosivo-kárstico en Cuaternario, sin diferenciar.

A continuación, se presenta la caracterización de los aspectos fundamentales del relieve representado en el mapa geomorfológico del área de estudio:

Llanuras (Mioceno Superior-Pleistoceno temprano)

1-Llanuras altas denudativas, planas y ligeramente onduladas, karstificadas, cubiertas por sedimentos deluvio-eluviales: son el tipo de relieve de mayor extensión areal del territorio. Está integrado por superficies de llanura de origen denudativo con pendientes predominantemente planas, formadas sobre rocas carbonatadas y carbonatadas-terrágenas fundamentalmente, por lo cual se encuentran muy karstificadas. Están cubiertas, además, por sedimentos arcillosos rojos eluviales producto de la descomposición de la roca carbonatada y por sedimentos de origen lacustre. Constituyen las superficies de llanuras más altas de la cuenca Almendares-Vento y evolucionaron condicionadas por fases de inundación y avenamiento (Molerio-León, comunicación personal, 2023).

En ellas se encuentran gran parte de las principales zonas de recarga subterránea del acuífero Vento, la cual se establece a través de la infiltración en las numerosas depresiones kársticas grandes y pequeñas de la zona de absorción kárstica, con aportes a través de cauces ciegos. Estas depresiones son fundamentalmente dolinas colmatadas, siendo muchas de ellas, además, lacustres ([Figura 7](#)). Según Molerio-León (comunicación personal, 2023) las dolinas lacustres presentes en el área no están relacionadas con afloramientos del agua subterránea, sino que se deben a la inundación posterior de las mismas, las cuales poseen fondos taponados por sedimentos arcillosos con espesores que llegan a superar los cinco metros. Muchos de los paleocauces pequeños representados en el área marcan paleodrenajes hacia zonas acumulativas en el fondo de las dolinas, y deben haber contribuido a la colmatación de las mismas.

Gran parte de estas vías naturales de alimentación subterránea están afectadas negativamente por el hombre. Por ejemplo, en el tramo de la autopista nacional comprendido entre Pedro Pi y el punto de control de Tapaste, importantes depresiones han sido selladas por dicha infraestructura (ver mapa geomorfológico). Otras zonas de depresiones han sido selladas por el crecimiento urbano en los principales asentamientos poblacionales sobre todo en Tapaste y San José de las Lajas y muchas se encuentran cercanas o adyacentes a vaquerías y carreteras. Todo esto representa un grave peligro al afectar el equilibrio hidrológico y el funcionamiento natural de las zonas de recarga subterránea. El sellado de dichas zonas influye negativamente en la capacidad de recarga del manto subterráneo, lo que sumado a la deforestación y al ineficiente y hasta inexistente tratamiento y manejo de las aguas residuales, ponen en serio peligro al acuífero, al poder infiltrarse estas mediante los sumideros y las formas de absorción en las depresiones.



Figura 7. Depresiones grandes y pequeñas endorreicas en la llanura denudativa karstificada. A la izquierda, la depresión kárstica lacustre de la laguna de La Sierra y a la derecha, una dolina pequeña cercana al poblado de Tapaste

Alturas (Mioceno Superior-Pleistoceno temprano)

2-Alturas grandes tectónico-erosivas aplanadas, plegadas y diseccionadas: situadas en el extremo sur del territorio, son levantamientos tectónicos de geoestructuras de rocas terrígenas, terrígenas carbonatadas y en menor medida, carbonatadas, algunas de las cuales pertenecen al basamento plegado de Cuba y fueron afectadas anteriormente por la tectónica antigua de movimientos compresivos. A partir del Mioceno Superior parte alta, estas unidades fueron afectadas en conjunto por los movimientos neotectónicos de resultante vertical con la formación de escarpas tectónicas regionales de dirección NW-SE aproximadamente, que las separan de las llanuras denudativas adyacentes en el área.

El levantamiento de estas alturas, sumado a las erosionabilidad de las rocas modificadas, ha generado la erosión y disección de su superficie por la acción de corrientes superficiales a lo largo del tiempo, algunas de las cuales drenan hacia la llanura en la cuenca a través de pequeños cauces temporales.

3-Alturas grandes tectónico-estructurales de horst, en cadenas, pseudosinclinales, karstificadas: esta unidad morfotectónica, intensamente karstificada, constituye la zona más oriental del área de estudio y de la cuenca Almendares-Vento, y se corresponde con el área de las conocidas Escaleras de Jaruco (Figura 8). Está formada por cadenas de elevaciones con notables escarpas tectónicas denudadas en sus bordes externos, que cierran superficies llanas de pendientes planas contenidas en el interior de la unidad, en la forma de un falso sinclinal. Estas escarpas pueden alcanzar un desnivel superior a los 100 m en el borde septentrional. Sus superficies denudativas karstificadas del Plioceno, expuestas en los niveles de cima alcanzan más de 300 m de altitud sobre el nivel del mar, y están desmembradas por intensos procesos erosivo-kársticos que durante el Cuaternario han formado cúpulas mogóticas por debajo de sus niveles, así como amplias depresiones de pendiente plana, cubiertas por suelos rojos. Esta área es muy interesante, por cuanto en ella se encuentra el parteaguas subterráneo que delimita el flujo hacia Vento y hacia el norte y cuyos límites aún no han podido ser establecidos con precisión (Molerio-León, 2020).



Figura 8. En la foto a la izquierda, vista al fondo de la vertiente suroccidental de las Escaleras de Jaruco, y en primer plano las superficies llanas de las depresiones erosivo-kársticas. En la foto a la derecha, elevaciones mogóticas cupulares de las Escaleras de Jaruco

La litoestructura modificada está representada por las calizas y biocalcarenititas-oligomiocénicas muy resistentes a la erosión y que se encuentran muy karstificadas, en un patrón mixto que combina el intenso agrietamiento con el control de la estratificación (Molerio-León, 2020). El campo de agrietamiento es bien notable y manifiesto en la densidad de morfoalineamientos tectónicos con clara expresión en la disposición alineada de las cúpulas mogóticas, en las numerosas depresiones de fractura que desmembran las elevaciones y en el cambio brusco del relieve con respecto a la llanura denudativa en el límite occidental de esta unidad.

Numerosas formas del karst están presentes en esta unidad y constituyen reflejo de los distintos componentes del flujo en la zona kárstica. Destacan la presencia de los ya mencionados mogotes cupulares, con la presencia del lapiés parietal y grietas verticales y subverticales en sus laderas, propias de la acción del flujo vertical; así como las características del cavernamiento manifestado en cavidades horizontales (algunas de las cuales son bien conocidas como la Cueva del Indio) emisivas, transcurrentes y las cuevas al pie, expresión del flujo horizontal del drenaje subterráneo (Molerio-León, 2020).

4-Alturas grandes y medianas tectónico-estructurales de horst y bloque, en cadenas, monoclinales y karstificadas: son un grupo de alturas que se extienden en cadenas contorneadas por escarpas tectónicas denudadas y escarpas tectónicas regionales y locales, y se corresponden con las elevaciones de San Francisco Javier, San Rafael, Camoa y Somorrostro. Están constituidas por rocas carbonatadas duras y resistentes, y se encuentran muy karstificadas.

En estas unidades del relieve el agrietamiento constituye un elemento destacable, expresado en las series de depresiones de fracturas y morfoalineamientos que evidencian la actividad de la neotectónica en la creación del paisaje y en el condicionamiento de los procesos kársticos. Otro elemento notable es la modificación del paisaje natural de estas alturas por las actividades antrópicas de la cantería (canteras de Camoa y Somorrostro y de igual manera en la cantera Coco Peredo en Jaruco) para la extracción del carbonato de calcio de gran pureza de sus rocas y sus consecuentes impactos en el relieve y el sistema natural.

CONCLUSIONES

1. El territorio de la parte alta de la cuenca Almendares-Vento constituye una de las regiones hidrológicas y del karst más importante dentro de esta unidad, al constituir una zona endorreica en la que se encuentra gran parte de las vías de recarga subterránea del sistema acuífero.
2. El área de estudio pertenece a la unidad geomórfica regional de las llanuras y alturas del eje insular intensamente karstificadas, formadas, fundamentalmente, en rocas carbonatadas y terrígenas-carbonatadas oligomiocénicas de la cobertura neoplatafórmica.
3. El relieve del territorio está representado por las categorías de llanuras y alturas, que clasifican como llanuras altas y alturas medianas y grandes en cuanto al piso altitudinal.
4. El territorio estudiado está integrado por cuatro tipos de relieve (uno dentro de la categoría de llanuras y tres dentro de la categoría de alturas), con edades comprendidas entre el Mioceno Superior y el Pleistoceno temprano. Asimismo, el complejo de las formas del relieve del oroplano erosivo-kárstico que desmiembra estas superficies son del Cuaternario.
5. Las llanuras altas denudativaskarstificadas son el tipo de relieve de mayor representación areal, y en ellas se encuentran numerosas depresiones kársticas (muchas de ellas lacustres) que constituyen zonas de recarga subterránea, cauces ciegos y paleodrenajes superficiales.
6. Se distinguen los tipos de alturas tectónico-estructurales y tectónico-erosivas, con escarpas tectónicas denudativas y escarpas regionales y locales, desmembradas las primeras por los morfoelementos tectónicos de morfoalineamientos y depresiones de fractura, las depresiones erosivo-kársticas y las cúpulas de perfil mogótico.

REFERENCIAS

- Acevedo, M. (1989): Regionalización Geomorfológica. Nuevo Atlas Nacional de Cuba (1989). Sección IV. Relieve (12). Instituto Cubano de Geodesia y Cartografía.
- Instituto de Geología y Paleontología (2014): *Léxico Estratigráfico de Cuba*. Editorial CNDIG. La Habana. ISBN. 978-959-7117-58-2.
- Gutiérrez, M. R., Rivero, M. (1999): *Regiones Naturales de la Isla de Cuba*. La Habana. Editorial Científico-Técnica: pp. 27-31.
- Equipo de desarrollo de QGIS. Sistema de Información Geográfica QGIS (versión 3.10 A Coruña). Software.2020. <https://qgis.org/en/site>
- Magaz, A. G. (2017a): *Geomorfología de Cuba*. Amazon Books. Kindley Editions: pp- 32- 149.
- Magaz, A. G. (2017b): Fallas activas. *Cubageográfica* (8) 4-8 julio-diciembre:
- Magaz, A. G. (2018): Urbanización y Karst en La Habana. *Cubageográfica*. 3(6) 4-5. enero-junio
- Molerio-León, L.F., Pin, M., Guerra, M.G. (2007): Diseño de la red de monitoreo de tritio en las aguas subterráneas de la cuenca de Vento. Habana, Cuba. *Mapping Interactivo*, Revista internacional de Ciencias de la Tierra. octubre-noviembre: 1-6
- Molerio-León, L.F (2020): Los Sistemas de drenaje de la parte oriental del Karst de Escaleras de Jaruco. Cuba. *Gota a gota*. No.20. Sección Espeleología: 93-95
- Portela, P.A., Barrios, F.A., del Busto, R., San Martín, E., Magaz, A. G., Tejeda, M., Seco, R. (1987): *Mapa Geomorfológico de las provincias La Habana y Ciudad de La Habana a escala 1: 250 000*. Instituto Cubano de Geodesia y Cartografía.

Raydel Alonso Montero, Graduado como Licenciado en Geografía en el 2020. Trabajó como Especialista A en Geología en el departamento de Geología Ambiental, del Instituto de Geología y Paleontología, Servicio Geológico de Cuba desde el 2021 al 2025. Es miembro de la Sociedad Cubana de Geología (SCG) y miembro de la Unión Nacional de Arquitectos e Ingenieros de la Construcción en Cuba. Ha participado en los proyectos de estudios geoambientales de la cuenca del río Almendares en los tramos de las subcuencas endorreicas Boyeros y Tapaste. Participó en eventos como el X Congreso de Gestión Ambiental de la XIII Convención Internacional de Medio Ambiente y Desarrollo, con la presentación del trabajo "Agrupamiento y caracterización de los yacimientos de aguas minero-medicinales del Occidente de Cuba" y en la X Convención Internacional de Ciencias de La Tierra, con la presentación del trabajo "Aplicación de la nueva regionalización físico-geográfica de Cuba en el estudio de los sectores hidromedicinales del distrito Habana-Matanzas". Es autor principal del artículo científico titulado "Cosecha de Agua, una solución viable ante el cambio climático", publicado en la revista Geoinformativa No. 1 del 2022. Actualmente trabaja en el grupo de Ingeniería y Medio Ambiente de la división Ambiental de INVERSIONES GAMMA, S.A.