

Geomorfología y sedimentología del sistema de cárcavas en el borde costero al suroeste del Castillo de Araya, Estado Sucre, Venezuela

Geomorphology and sedimentology of badlands system in the southwest coastline of Castle Araya, Sucre State, Venezuela

Franklin Antonio Nuñez Ravelo*

Recibido: 5/12/2015. Aceptado en versión final: 8/09/2016. Publicado en línea (versión e-print): 4/02/2017.

Resumen. El área de estudio se ubica en la costa al suroeste de Araya en el Estado Sucre, entre los 10° 33'30" N, 10°33'59" N y 64°15'32" O, 64°15'36" O, la cual se encuentra afectada por procesos erosivos que impactan a los pobladores que allí se asientan. La investigación se centró en analizar los procesos geomorfológicos que allí tiene lugar, basada en un modelo de campo con diseño no experimental, en niveles descriptivo y explicativo, operacionalizado en tres fases: a) campo, b) análisis de imágenes y c) laboratorio. El acantilado afectado por la erosión retrograda tipo cárcavas está constituido por un material franco-limoso cuyo análisis de rocas totales muestra una abundancia de arcillas (52%), óxido de silicio (28%), carbonato de calcio (18%), plagioclasas (5%), sulfuro de hierro (5%) y carbonato de hierro (2%); por su parte, el análisis de arcillas en fracción menor a dos micras muestra como predominantes: la caolinita (47%), ilita (39%), clorita (14%) y esméctita (1%). Se trata de un regolito dispersivo, con muy bajo contenido de MO, que favorece la ocurrencia de corriente de derrubio, suelo y desplome de la roca, detonado posiblemente a partir del leve incremento en las precipitaciones registradas entre julio y noviembre, así como las fuertes pendientes del

terreno, lo que ha generado un retroceso del contorno apical estimado en 1.31 m^{año}⁻¹.

Palabras clave: cárcava, geomorfología, acantilado, erosión, Araya.

Abstract. The study area is located in the south-west coast of Araya in Sucre State, between 10° 33'30" N , 10°33'59" N y 64°15'32" W, 64°15'36" W, which it is affected by erosion processes impacting the population center that sits there. Hence the research is to analyze the geomorphological processes developed, based on a model no-experimental and design field, in descriptive and explanatory levels, operationalized in three phases: a) field, to collect 21 samples of surface sediment (0-20 cm) distributed in 12 samples in the first badlands and 9 samples in the second and lift the morphometry of these landforms erosion; (b) image analysis, three stages such as the *development of thematic maps* from the Topographical maps of Cumana, Geological Araya Peninsula and The Cadastral Charter covered: Punta Caracare; followed by *drawing sketches of gullies*, from the data collected in the

* Universidad Pedagógica Experimental Libertador-Instituto Pedagógico de Caracas-Centro de Investigación "Estudio del Medio Físico Venezolano", Av. Páez, Urbanización El Paraíso-Parroquia El Paraíso, Municipio Libertador, Caracas, Venezuela. E-mail: franklingeo@hotmail.com

field, refer to height, length and width of the land. Corresponding to the last two variables data were corrected by the equation suggested by Wolf and Ghilani (2008), for data collected on slopes using measuring tape; and finally *drawing the sketch of the apical cliff line drawn* from the interpretation of the captured images of Google Earth for the years 2003, 2006, 2009 and 2011, based on the proposal of Soriano (2009) and (c) laboratory, to analyze the comportamiento de physical properties such as: hygroscopic water content, determined by gravimetric method, based on the arguments presented by Rivera, et al. (2006) and Toledo (2009); size distribution of the particles (Method Bouyoucos) following the protocol reported by Lara (1985); Percentage of dispersion and soil (double hydrometer method) based on the specifications referred by porters and Alva (1999). As for the chemical-mineralogical properties, it was determined from 10 samples analysis of total rocks and clay mineralogy, for both analyzes samples were prepared, processed and analyzed in the laboratory Diffraction x-ray (XRD), assigned to the Departmental Management Exploration PDVSA-INTEVEP. Being used for analysis brand PANalytical diffractometer X'Pert model equipped with a curved crystal monochromator graphite (Cu Ka radiation) and operated by the X-Pert Data collector LTU PW3240 / 92 (version 2.2b) software, applying a range scanning of

$5^\circ \theta$ a $45^\circ \theta$. For all rock and $2^\circ \theta$ to $35^\circ \theta$ clay minerals for less than 2 microns ($<2\mu$) fraction. As to biochemical properties, the organic carbon were analyzed on the floor (COs) using in method Wlakley and Black, reported by Arrieche and Pacheco (sf) and Toledo (2008), and content of organic matter (MO) by the conventional factor Vammelen, referred to by Navarro (2007) and Toledo (2008) and checked against the proposal by PALMAVEN (1992) qualitative scale. In general, you have to cliff erosion affected by the retrograde type badlands, It consists of a material silt loam, total analysis rocks which shows an abundance of clay (52%), silicon oxide (28%), calcium carbonate (18%), plagioclase (5%), iron sulfide (5%) and iron carbonate (2 %), meanwhile, clays analysis lesser fraction two microns shows as predominant: Kaolinite (47%), Illite (39%), Chlorite (14%), and Smectic (1%). This is a dispersive and expansive regolith, with very low organic matter content, which favors the occurrence of current washout, soil and collapse of rock, possibly detonated from the slight increase in rainfall recorded between July and November, as well as the steep terrain, which has generated a decrease of apical contour, estimated at 1.31 m * year⁻¹.

Key words: badlands, geomorphology, cliff, erosion, Araya.

INTRODUCCIÓN

En las zonas tropicales costeras los procesos geomorfológicos revisten gran importancia ya que suelen modificar, en período relativamente cortos, la configuración del paisaje como consecuencia de la preponderancia de elementos o factores que favorecen la erosión o la sedimentación.

En zonas áridas es altamente probable que como parte de los procesos intrínsecos de la fase avanzada de la evolución de los acantilados se activen mecanismos de erosión en su base, los cuales inciden en la inestabilidad de las laderas y el progresivo deslizamiento del material desde las zonas topográficamente más altas, actuando como detonantes para el retroceso de los mismos.

En efecto, tal como lo plantean Tarbuck y Lutgens (2008), el principal agente detonante de la activación del referido retroceso, es la acción erosiva del oleaje contra la base del terreno, lo que genera la socavación de la base del acantilado, su colapso y desprendimiento, dejando en su retroceso una superficie relativamente plana.

Tradicionalmente los estudios vinculados a la evolución geomorfológica de las vertientes buscan

explicar, mediante diversas técnicas y herramientas, no solo los agentes y procesos involucrados su dinámica sino, además, recientemente tratan de predecir las posibles amenazas y afectaciones a las que pueden estar expuestas las comunidades que, por diversas razones, se encuentren asentadas en zonas montañosas.

Enmarcados en la premisa anterior y en el contexto internacional, Casalí *et al.* (1999) desarrollaron un estudio con el propósito de analizar los factores que condicionan la erosión por cárcavas efímeras en el sur de Navarra, España. Se detectó la aparición de las referidas cárcavas y se midió la erosión causada por ellas. Simultáneamente se registraron los valores de precipitación por minuto en dos fases: a) del primero de octubre de 1995 al 15 de enero de 1996 se aceptaron los valores reportados por la estación Carcastillo, a 10 km de longitud del área de estudio, y b) a partir del 15 de enero fueron registrados de manera directa mediante un pluviómetro colocado en la zona en estudio. En este mismo período, se procedió a registrar la forma de las secciones transversales de todas las cárcavas mediante un perfilador de 1 m de anchura, siguiendo el método para surcos naturales

propuesto Sancho *et al.* en 1991 (citado por Casalí, *et al.*, 1999). Este estudio resulta de interés ya que los investigadores logran establecer correlaciones entre la evolución de las cárcavas y los montos de precipitación registrados por minuto, y advierten que para la zona en estudio el mayor registro de pérdida de suelo se debe a muy breves períodos de precipitación con alta intensidad.

Por su parte Vicente *et al.* (2008) desarrollaron un estudio con la finalidad de determinar el origen y evolución geomorfológica del sistema de cárcavas de laderas, localizadas en el borde del piedemonte norte de la Sierra de Guadarrama (provincia de Segovia-España). Se sustentan en un modelo dual de investigación, en cuya primera fase se buscó determinar las causas del origen y evolución del sistema de cárcavas, empleando una metodología basada en el uso de diferentes fuentes como documentación histórica, recursos cartográficos y fotográficos, mientras que para caracterizar la actividad geomorfológica e iniciar su cuantificación, los investigadores siguieron metodologías propias de los análisis mixtos gravitacionales y de erosión hídrica que generan dichas morfologías acarcavadas, a partir de distintas técnicas, como la interpretación de fotografías aéreas, correspondientes a los años 1946, 1956, 1979 y 2004, así como la medición de la erosión laminar mediante agujas de erosión, registro de la evolución de la corona, medición de la producción de sedimentos a partir de trampas tipo diques, entre otros. Dicho trabajo constituye un sustento metodológico para la presente investigación debido a que establece uno de los múltiples ejemplos de aplicación metodológica de los sistemas de información geográfica, basados en el uso de fotografías aéreas de distintos momentos, para el análisis de la evolución geomorfológica de la dinámica de las vertientes y, más específicamente, para la generación de un modelo evolutivo temporoespacial de un sistema de cárcavas.

En este orden de ideas, Sotomonte (2001) desarrolló una aplicación del modelo propuesto por Vázquez *et al.* (1994) para la distribución de las cárcavas, con la finalidad de determinar la susceptibilidad de los suelos a este tipo de erosión y a partir de la superposición de una serie de mapas temáticos (geología, geomorfología, pendiente,

forma de la pendiente, suelo y cobertura vegetal) a través del sistema de información geográfica para la zona sur de Sacaba, en Cochabamba, Bolivia. Con esta investigación la autora concluye que existe una alta correlación entre las variables geomorfología, geología, pendiente y cobertura vegetal con formación y evolución de las cárcavas que fueron objeto de estudio.

En el contexto venezolano, Suárez y González (1996) analizaron la geomorfología costera de Agüide a fin de destacar los factores y procesos que intervienen en el retroceso de los acantilados. En lo metodológico, la referida investigación, al igual que las citadas en párrafos anteriores, utilizó métodos de registro y cuantificación como la observación de campo, la fotointerpretación, tipos de arcillas, análisis granulométrico y los límites de consistencia del material. Los autores concluyen que los factores que influyen en la dinámica de la vertiente en estudio están asociados a “la resistencia de las lutitas, las precipitaciones, el contenido de humedad de los sedimentos, la pendiente y la tasa de erosión marina de los materiales de la base de los acantilados”.

Por su parte, Toledo (1997) desarrolló una investigación cuya finalidad fue estudiar la degradación del suelo sobre un terreno aluvial ubicado en el municipio Torres, en el estado Lara, considerando la erosividad y la erodabilidad. Para alcanzar el referido objetivo, la autora desarrolló una metodología basada en: a) fotointerpretación comparada y ajustada para dos momentos (1968 y 1981); b) verificación de los cambios entre 1994 y 1995 en tres cárcavas mediante dos levantamientos topográficos; c) estimación del factor de erosividad y erodabilidad del suelo de acuerdo a lo establecido por Wischmeier, y d) análisis físicos y químicos a las muestras de suelo, entre los que vale la pena destacar la distribución del tamaño de las partículas, el límite de consistencia, el coeficiente de dispersión, el porcentaje de humedad, arcillas, pH, CE, Ca++, Mg++, CIC, PSI, RAS y MO. En el marco de los resultados es importante destacar aquellos que se vinculan con las características físico-química del suelo; al respecto señala Toledo (1997) “que presentan uniformidad granulométrica, con textura arcillo-limosa de mediana plasticidad”.

Los trabajos de Suárez y González (1996) y Toledo (1997) resultan de gran importancia para la presente investigación ya que en ellos no solamente se analiza la evolución morfométrica del terreno a consecuencia de la erosión con apoyo en la fotointerpretación y el levantamiento topográfico de campo, sino que además se estudia su dinámica sedimentológica a partir de una serie de variables físicas y químicas, tales como la textura del material, su consistencia, el tipo de arcilla, dispersión, el porcentaje de humedad, pH, conductividad eléctrica, entre otros.

En este orden de ideas, Ruiz y Holmquist (2010) desarrollaron su investigación con el propósito de proponer un sistema para el control de la erosión en el río Santa Bárbara, en el municipio Heres, Ciudad Bolívar, en el estado Bolívar. Emplearon una metodología de campo que permitió la caracterización topográfica, geotécnica e hidrológica del área de estudio, así como la identificación de los factores que intervienen en la formación de cárcavas y los riesgos que implica el continuo proceso erosivo al que se encuentra sometida. Esta investigación, aun cuando tiene como ámbito la ingeniería civil, resulta de interés ya que los autores desarrollan un análisis minucioso, desde los referentes teóricos y el trabajo de campo, sobre los factores que inciden en la evolución de los sistemas de cárcavas, señalando como elementos detonantes principales no solo la geología, la geomorfología, la pendiente, sino además la intervención antrópica con el uso del espacio, lo que acelera los procesos erosivos y, con ello, la degradación.

En el contexto de la zona oriental de Venezuela, y más específicamente en el estado Sucre, destacan, por su aporte a la geología regional, los trabajos de González de Juana (1947), quien desarrolló un estudio geológico en el cual presentó su secuencia estratigráfica, de la cual destaca el grupo metamórfico Araya-Paria y la Formación Araya, de edades Pre-cretácica y del Mioceno Superior-Plioceno, respectivamente, como equivalentes al grupo Sacacual del estado Anzoátegui, así como el de Campos (1963), quien realiza un estudio de datación, con el cual contribuye a precisar las edades de las formaciones: Araya del Mioceno Superior, Barrigón del Plioceno Superior y las terrazas del Pleistoceno.

Así mismo, Vila (1965) desarrolló una interesante reseña sobre sus aspectos geográficos, entre los cuales incluye no solo los del orden físico-natural sino además los relacionados con las actividades humanas y económicas. Este trabajo constituye un valioso antecedente, ya que aun cuando no hace referencia explícita al problema de erosión y deslizamiento en la zona sur del Castillo de Araya, lo que se constituye en el objeto de estudio de la presente investigación, aporta información de los aspectos físicos de Araya o como el autor la denomina "Punta de Araya".

Por su parte, Vignali (1965) realizó un estudio con el propósito de identificar la estratigrafía de Araya. Esta investigación tiene como aportes la identificación de dos miembros para la Formación Cubagua (el inferior Cerro Verde y suprayacente el miembro Cerro Negro) de edad Mioceno Superior y la identificación del contacto concordante entre esta y la Formación Barrigón, correspondiente al Plioceno.

Maloney (1965) presenta una caracterización geomorfológica de la costa central y oriental de Venezuela, desde Morón hasta Cumaná, identificando la correlación existente entre los rasgos fisiográficos con el drenaje, los cambios glacioeustáticos y la estructura geológica.

Posteriormente, Bermúdez (1966) realizó un estudio sobre los sedimentos del Mioceno medio reciente de la costa central y oriental de Venezuela, donde identifica para el sector de acantilados del Castillo de Araya la discordancia entre la Formación Cumaná y el Miembro Cerro Negro de la Formación Cubagua. Si bien este trabajo no constituye un estudio sobre la dinámica de la vertiente en el sector Sur del Castillo de Araya, en él reseña que "la lutita se cuarteja con la deshidratación; la erosión forma una topografía de Bad-lands", con lo cual deja constancia de los procesos de orden geológico que se pueden asociar al problema central de la presente investigación.

Santamaría y Schubert (1974) realizan un estudio geoquímico y geocronológico en la zona entre el Caribe Sur y el Norte de Venezuela del cual resalta, entre otros aspectos concluyentes, la ubicación de la península de Araya-Paria como parte de la provincia volcánica del arco. Más recién-

temente, Delgado *et al.* (2004) llevaron a cabo una investigación con el propósito de caracterizar las facies de las secuencias conglomeráticas fluviales y costeras de la Formación Coche en la Península de Araya.

Ahora bien, en el caso particular del área objeto de estudio existe poca información referida a la dinámica de la vertiente así como al proceso de erosión retrograda. No obstante, se reconoce que estos estén posiblemente vinculados a dos factores detonantes: a) la acción erosiva del oleaje sobre la base del acantilado en condiciones regulares o en períodos de perturbaciones tipo mar de leva, lo que sin duda ha maximizado la inestabilidad de las laderas y se constituye en el principal detonante para el deslizamiento pendiente abajo del material, y b) las condiciones climáticas, toda vez que intervienen como factor regulador de la dinámica de las vertientes, activando durante los breves períodos de intensa precipitación los referidos deslizamientos.

Tal como lo plantean Castro y Vicuña (1990) los índices de intensidad de lluvia mensual con tendencia al alza “permiten suponer que el terreno puede ser fácilmente degradado”. De lo anterior se puede inferir que las zonas áridas, durante buena parte del año, presentan una relativa estabilidad de las vertientes, la cual se verá interrumpida con la llegada del período lluvioso, momento a partir del cual se activa el desplazamiento del material y, con este, el retroceso del acantilado.

En el caso particular de la zona objeto de esta investigación, la referida acción erosiva y de desplazamiento de material ha generado afectaciones en el ámbito social, ya que los pobladores que habitan en el área, y más específicamente aquellos que construyeron sus viviendas en las zonas próximas al borde del acantilado, la han perdido como consecuencia de los deslizamientos del terreno, bien por daños parciales en sus cimientos o por la pérdida total de la misma.

De allí que se plantea como propósito establecer las características geomorfológicas del acantilado ubicado en la zona sur de El Castillo de Araya, en el estado Sucre, a fin de precisar el origen de los procesos que allí se desarrollan, los rasgos sedimentológicos presentes así como los agentes involucrados.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se llevó a cabo en la Región Nor-Oriental de Venezuela, específicamente en la costa sur-oeste de la Península de Araya, en el estado Sucre, en una franja costera con aproximadamente 460 m de longitud, que se extiende de sur a norte, entre el límite norte de la ensenada sur (Figura 1).

En lo geológico, de acuerdo con lo reportado por Bermúdez (1966), se presenta en la zona un

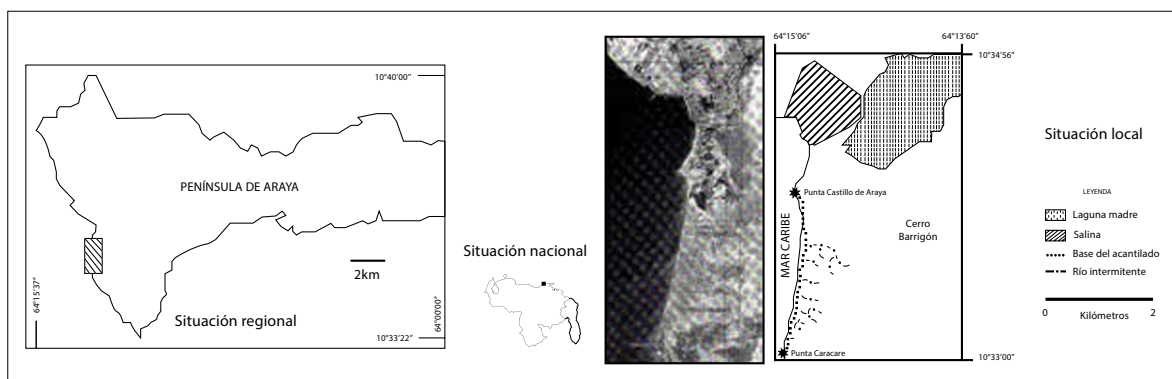


Figura 1. Mapa de localización del área de estudio en el contexto nacional, regional y local. Mapa Base: Mapa Geológico de la Península de Araya (Lámina I-N° 03948) de la dirección de Geología del Ministerio de Minas e Hidrocarburos, 1968, Caracas. Escala 1:25 000 y la Carta Catastral: Punta Caracare (Hoja 7347-IV-SE) de la Oficina Nacional de Catastro de Tierra y Agua del Ministerio de Agricultura y Cría, 1999. Caracas. Escala 1:25 000.

contacto discordante entre la Formación Cumaná del Pleistoceno y el Miembro Cerro Negro de la Formación Cubagua correspondiente al Plioceno. En estas colinas bajas aflora infrayaciendo en contacto discordante a la F. Cumaná, el Miembro Cerro Negro que presenta una litología caracterizada por la presencia de marga arenosa basal de 2 metros de espesor, color crema, fosilífera, seguida por intercalaciones de areniscas limosas delgadas poco coherentes y margas fosilíferas, que gradan a calizas margosas al ascender en la sección (Petróleos de Venezuela S. A., 2011). Suprayaciendo al Miembro Cerro Negro se encuentran capas delgadas, de la Formación Cumaná (Pleistoceno Temprano a Pleistoceno medio), cuyos sedimentos están constituidos en su mayoría por bancos de moluscos; restos de corales; calizas micríticas, fragmentadas; calizas de colores lodolitas (mudstones), de color gris claro intercaladas con arcillas de color gris a gris azulado, con abundantes fragmentos de equinodermos, pelecípodos y otros moluscos; calcarenitas fosilíferas; areniscas calcáreas; areniscas cuarzosas, de grano fino a muy fino, subredondeadas a subangulares, con esfericidad media, muy calcáreas, probablemente periarrecifales; también limolitas color oliva. Además, se consiguen como materiales accesorios nódulos de piritita, lignito, glauconita, chert, granos de cuarzo y micas claras. (Petróleos de Venezuela S. A., 2011).

Sobre este material de litología sedimentaria se desarrolla un acantilado en retroceso, de poca altura, registrándose 9 m.s.n.m. en la zona próxima al Castillo de Araya, para irse elevando en la medida en que se avanza hacia al sur, hasta alcanzar una altura máxima de 18 m.s.n.m., con pendientes de hasta 12% en promedio, lo que, de acuerdo con lo establecido por Henao (1998), clasifican como un relieve con inclinación mediana. Sobre este se evidencia un intenso proceso erosivo retrogrado, caracterizado por 16 acanaladuras tipo cárcavas, en una extensión de aproximadamente 488 metros, medidos desde la Punta del Castillo de Araya hacia el sur.

En lo climático, y atendiendo a lo referido por Foghin (2002) y Andressen (2007), la zona clasifica dentro del llamado clima árido o tropical desértico

(Bwhi) de la taxonomía de Köppen (1923), caracterizado por precipitaciones esporádicas, pero en ocasiones de gran intensidad.

En este sentido, y atendiendo a los criterios para el análisis de las lluvias establecido por Köppen (1923) y a los datos de precipitación de la estación meteorológica asumidas para el área de estudio, se puede decir que, en general, las precipitaciones mensuales no superan el límite de los 60 mm de lluvia, por lo que se puede afirmar que todos los meses son secos. En efecto, en septiembre, mes con máximas precipitaciones para la zona, apenas se registra en promedio poco más de 40 mm de lluvia, siendo el monto anual estimado de 233.5 mm. Esta condición es típica de ambientes costeros tropicales con bajas alturas, en donde el paso de los vientos alisios al no estar obligados a ascender, favorecen la evaporación más no a la precipitación.

Ahora bien, las estimaciones del coeficiente pluviométrico de Angot (1897), estimado para la zona en estudio, evidencia una tendencia al aumento de las precipitaciones entre los meses de julio a noviembre, con un monto estimado para el período de 168.6 mm, lo que equivale al 72.19% del total de las lluvias. Si bien se trata de una zona con escasas precipitaciones, el referido incremento puede estar determinado por los remanentes de la convergencia intertropical en su desplazamiento durante seis meses hacia el norte siguiendo la zona de baja presión, a partir de abril o mayo, ya que esta llega aproximadamente hasta los 10° N, generando el período lluvioso en su paso sobre el territorio.

Lo anterior es corroborado con el índice de concentración de precipitaciones estimado para la zona, el cual se ubica en 18.56, lo que indica que las lluvias se presentan con una moderada estacionalidad; en efecto, la región recibe entre los meses de julio a noviembre, un leve incremento en los valores de precipitación, que si bien no pueden ser considerado como meses lluviosos, ya que apenas sobrepasa los 40 mm para el mes de agosto, el referido período puede ser asumido dentro del contexto local como una fase de aumento y concentración de las lluvias. De allí que se pueda inferir que posiblemente es en este

periodo cuando los suelos en las zonas de pendiente pueden llegar a ser vulnerables a una progresiva erosión.

Asociado a las condiciones climáticas anteriormente descritas, se evidencia una escasa cobertura vegetal, en parches aislados, dominados por la presencia de algunas estructuras arbustivas tipo cuji así como algunas especies suculentas de la familia de las cactáceas, como el cardón (*Acanthocereus*). Este tipo de bioformas, de acuerdo con lo referido por Cárdenas (1967), obedece a las elevadas temperaturas, el poco desarrollo del suelo así como el impacto de la actividad antrópica.

Fases de la investigación

El trabajo de investigación se orientó conforme el enfoque metodológico de campo, que de acuerdo con la Universidad Pedagógica Experimental Liberador (2008), supone el análisis sistemático de problemas de la realidad, con el propósito de describirlos, interpretarlos, entender su naturaleza y factores constituyentes, explicar sus causas y efectos, o predecir su ocurrencia, haciendo uso de métodos característicos de cualquiera de los paradigmas conocidos.

Por su propósito, la investigación es de carácter descriptivo, explicativo y no experimental: a) descriptivo, ya que busca especificar las propiedades resaltantes del fenómeno que es sometido al análisis investigativo (Hernández *et al.*, 2010); b) explicativas, porque están dirigidas a presentar las posibles causas del fenómeno objeto de estudio. Es decir, se enfoca en responder por qué ocurre un fenómeno y en que condición se manifiesta o por qué se relacionan dos o más variables (Hernández, *et al.* 2010); y c) no experimental, siendo que aun cuando el análisis se sustenta fundamentalmente en ensayos de laboratorio, sólo se limita a observar el comportamiento del fenómeno, para comprender sus características y poder describirlo, sin intervenir en las mismas, sin alterar o manipular las condiciones naturales (Grajales, 2000).

Así, el desarrollo de la investigación se llevó a cabo en cuatro fases: a) campo, b) análisis de imágenes satelitales, c) laboratorio y d) procesamiento estadístico.

Fase de campo

El trabajo de campo se desarrolló con la finalidad de recolectar las muestras de suelo en la zona de cárcavas así como registrar sus rasgos morfométricos. De las dieciséis acanaladuras identificadas en el área objeto de estudio se consideraron para efectos de la investigación solo dos cárcavas: la primera, localizadas a los 10°33'53" N y 64° 14'34" W y la segunda ubicada a los 10° 33'44" N y 64° 15'33" W. La selección de estas cárcavas se fundamenta en criterios de accesibilidad, entendido como la facilidad para ascender al terreno o descender por la pendiente, así como menor intervención antrópica, ya que el resto de las cárcavas son empleadas por los habitantes de la zona como botadero de desperdicios.

La toma de las muestras del material en remoción que constituyen las cárcavas se sustentó en un muestro estratificado que, de acuerdo con lo expuesto por Bautista (2006), consiste en dividir a la población en sectores internamente homogéneos para luego seleccionar, dentro de cada estrato o sector de manera aleatoria, los miembros de la muestra. Siendo así, cada cárcava fue sectorizada en las siguientes posiciones topográficas: a) flanco izquierdo, b) flanco derecho, c) niveles y d) pendientes. Luego, en cada sector se procedió a recoger las muestras de suelo superficial (0-20 cm), recolectando 12 muestras en la primera cárcava y 9 muestras en la segunda, para un total de 21 muestras. Se procedió a registrar las medidas de longitud correspondientes a cada posición topográfica con apoyo en una cinta métrica de 50 metros, el valor de la pendiente con un angulómetro y la altura del terreno con un altímetro marca Suunto Escape, con precisión de $\pm 3\%$ y exactitud de ± 10 m.

Fase de análisis de imágenes satelitales

La fase de análisis de imágenes satelitales se desarrolló de manera permanente durante la investigación, pues su propósito fue analizar, a partir de los registros cartográficos y fotográficos, los elementos que caracterizan la evolución del acantilado que se encuentra al sur del Castillo de Araya, entre estos: a) mapas temáticos, b) croquis de las cárcavas y c) croquis de la evolución de la línea apical del acantilado.

Elaboración de los mapas temáticos

La elaboración de los mapas temáticos tuvo como base los mapas: a) Topográfico de Cumaná, hoja 7347 de la Dirección de Cartografía Nacional del Ministerio de Obras Públicas (1964), Escala 1:100 000; b) Mapa Geológico de la Península de Araya (Lámina I – N° 03948) de la dirección de Geología del Ministerio de Minas e Hidrocarburos (1968), Escala 1:25 000, y c) la Carta Catastral: Punta Caracare (Hoja 7347-IV-SE) de la Oficina Nacional de Catastro de Tierra y Agua del Ministerio de Agricultura y Cría (1999), Escala 1:25 000. Estos mapas fueron digitalizados y convertidos en una imagen raster en formato jpg, posteriormente fueron vectorizados manualmente a partir del software MapInfo (versión 7.5).

Elaboración de los croquis de las cárcavas

Los croquis de las cárcavas fueron elaborados a partir de los datos recolectados en campo, referidos a la altura, longitud y anchura del terreno. Los datos correspondientes a las dos últimas variables fueron corregidos mediante la siguiente ecuación, sugerida por Wolf y Ghilani (2008), para datos tomados en terrenos inclinados mediante cinta métricas. Para la diagramación de las cárcavas se usó el software AutoCAD (versión 2011), mediante plantillas de dibujo personalizadas.

Elaboración del croquis de la línea apical del acantilado

El croquis sobre la evolución de la línea apical del acantilado fue elaborado a partir de la interpretación de las imágenes captadas de Google Earth para los años 2003, 2006, 2009 y 2011, en una vista de planta del área comprendida entre el Castillo de Araya y el saliente norte de la ensenada del sur. Para su tratamiento se procedió según la propuesta de Soriano (2009), la cual permitió la identificación y el análisis de corriente de derrubio a través de la utilización de imágenes. El procedimiento para el análisis espacial mediante imágenes contempló: a) se trazó en cada imagen el contorno apical del acantilado, empleando la herramienta de Google Earth para añadir polígonos. Una vez creado, se guardaron las imágenes en formato “jpg”; b) los datos generados son importados al módulo ArcMap

de ArcGis (Versión 9.3.1), a cada imagen se le definió la proyección, mediante el comando “Define Projection” del módulo ArcToolBox, y luego se georeferenciaron; c) una vez georeferenciadas las capas fueron superpuestas en el ortofotomapa de Punta Caracare (Ministerio de Agricultura y Cría, 1999) a fin de visualizar los cambios en el contorno; d) se identificaron de manera visual las zonas de retroceso de la línea apical y se procedió a medir el retroceso desde la línea trazada para 2003 hacia las líneas más recientes mediante la herramienta “Point Distance” del módulo ArcToolBox. Se consideraron 9 puntos para la medición del retroceso y la distancia fue registrada en metros; e) las referidas distancias fueron promediadas manualmente y el promedio dividido entre ocho (número de años transcurridos desde 2003 a 2011) para conocer la velocidad del retroceso en metros/años.

Fase de laboratorio

En la fase de laboratorio se llevaron a cabo una serie de ensayos con el fin de evaluar las condiciones física-mecánicas, químicas-mineralógicas y bioquímica de las muestras de suelo colectadas en campo, siguiendo el protocolo recomendado por las fuentes especializadas.

Las propiedades físicas consideradas como parte de esta investigación fueron: a) el contenido de agua higroscópica, determinado mediante el método gravimétrico, atendiendo a lo expuesto por Rivera *et al.* (2006) y Toledo (2009); b) distribución del tamaño de las partículas (Método de Bouyoucos), siguiendo el protocolo reportado por Lara (1985), y c) porcentaje de dispersión del suelo (Método de doble hidrómetro) atendiendo a las especificaciones referidas por Porteros y Alva (1999).

Las propiedades químicas-mineralógicas se determinaron a partir de 10 muestras: a) análisis de rocas totales y b) mineralogía de las arcillas. Para ambos análisis las muestras fueron preparadas, procesadas y analizadas en el laboratorio de difracción de rayos-x (DRX), adscrito a la Gerencia Departamental de Exploración de PDVSA-INTEVEP. Se empleó para el análisis el difractómetro marca PANalytical modelo X'PERT, equipado con un monocromador de cristal de grafito curvo (radiaciones Cu K α) y operado mediante el software X-Pert Data collector LTU

PW3240/92 (versión 2.2b), aplicando un rango de barrido de $5^\circ\theta$ a $45^\circ\theta$ para roca total y de $2^\circ\theta$ a $35^\circ\theta$ para los minerales de arcillas fracción menor a 2 micrómetros ($<2\mu$).

Como propiedad bioquímica, se analizaron: a) el carbono orgánico en el suelo (CO), empleando en método de Wlakley y Black, reportado por Arrieche y Pacheco (s.f.) y Toledo (2008) y b) el contenido de materia orgánica (M.O.), mediante el factor convencional de Vammelen, referido por Navarro (2007) y Toledo (2008). El resultado fue cotejado con la escala cualitativa propuesta por PALMAVEN (1992).

Fase de procesamiento estadístico

Se llevaron a cabo estimaciones de media aritmética a partir de los datos obtenidos a partir de las determinaciones físico-mecánicas y bioquímicas antes referidas así como se estimó para la zona de estudio el coeficiente pluviométrico siguiendo el

protocolo reportado por Angot (1897) a partir de datos mensuales de lluvia.

RESULTADOS Y SU DISCUSIÓN

Morfometría de las cárcavas

Como ya se ha mencionado, el acantilado presenta alturas inferiores a los 20 msnm, en una longitud que abarca poco más de 460 metros de la línea de costa y sobre este se desarrollan 16 cárcavas desde el Castillo de Araya hasta el límite norte de la ensenada, en sentido sur (Figura 2).

La primera cárcava objeto de estudio tiene su contorno apical a los 13 metros de altitud, en su recorrido presenta dos niveles con pendientes de 10% y 5%, respectivamente, y tres zonas de deslizamiento: a) la primera, entre la corona y el primer nivel, con una inclinación promedio de 20%; b) la segunda, entre el primer y el segundo nivel, con



Figura 2. Acantilado en retroceso al sur del Castillo de Araya, donde se evidencia la erosión por cárcavas. Imagen tomada de Google-Earth (2012). Nótese las 16 cárcavas en el acantilado vistas desde el extremo sur del área objeto de estudio.

la misma inclinación, y c) la tercera, desde el segundo nivel hasta alcanzar la zona de berma en la playa con 17% de desnivel. En general esta cárcava presenta una pendiente promedio de 13%, lo que de acuerdo con la clasificación expuesta por Henao (1998) se considera este terreno como de relieve accidentado (Figura 3).

Ahora bien, en cuanto a su forma y atendiendo al criterio de clasificación de Fernández (2006), clasifica en el tipo espátula, similar a la de un embudo: en la zona apical con corona muy amplia la cual se reduce rápidamente al llegar al valle o canal, para finalmente ser mucho más cerrada en la base hacia la zona de la berma.

Este tipo de cárcava constituye un nivel intermedio de evolución y se caracteriza por generar desde la zona alta el desplome de material a causa de la inestabilidad de la base, lo que en definitiva contribuye con la ampliación de su corona.

La segunda cárcava presenta una altura máxima de 16 msnm, en donde se encuentra la corona, con

un perímetro de poco más de 7 metros. A diferencia de la primera esta presenta un único nivel de relativa estabilización del material aproximadamente a los 12 metros de altura, el cual se separa de la corona por una pendiente de más de 30 metros de longitud con una inclinación de 25%. Hacia la zona de socavamiento del acantilado se extiende una pendiente de aproximadamente 8 metros de longitud con una inclinación promedio de 20% (Figura 4). La pendiente estimada del terreno en esta cárcava es de 20%, lo que de acuerdo con lo expuesto por Henao (1998), clasifica a la zona como de relieve accidentado.

Siguiendo el criterio de clasificación de Fernández (2006), se puede afirmar que esta presenta una forma oblonga, es decir, más larga que ancha y sin mayores diferencias entre la geometría de la corona y la base en la zona próxima a la berma de la playa. Este tipo de cárcavas es menos evolucionada que la anterior, por lo que se puede clasificar en una etapa inicial-intermedia, ya que la inestabilidad

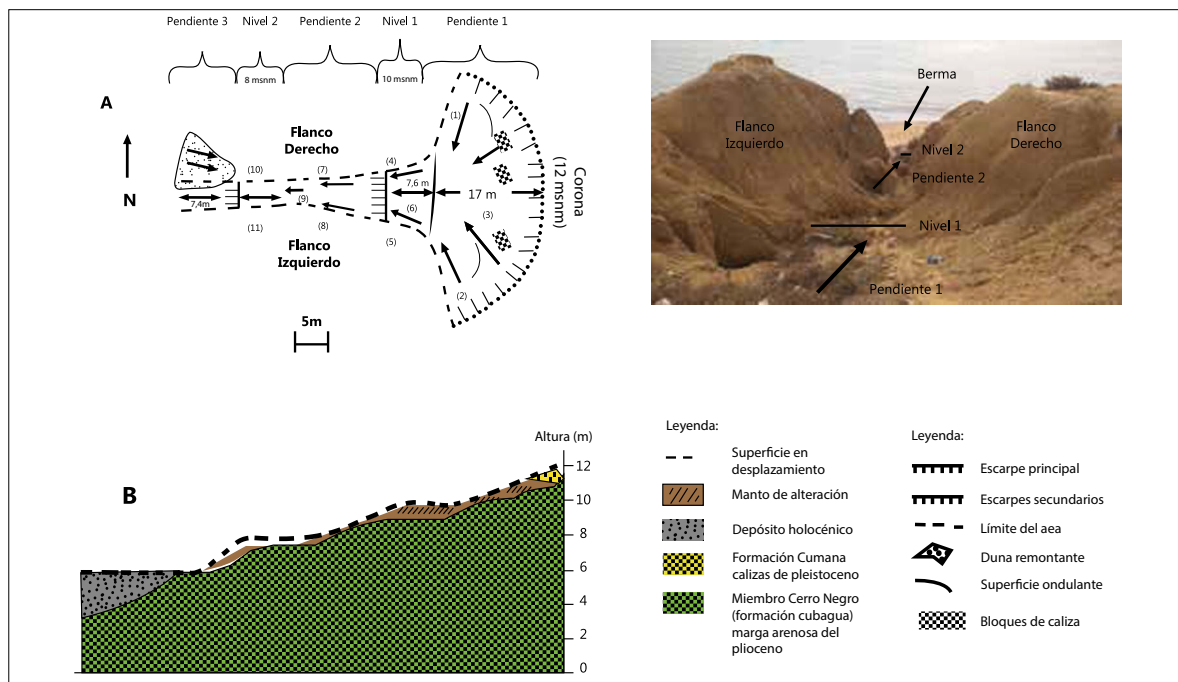


Figura 3. Morfometría de la Cárcava 5 al sur del Castillo de Araya. Nótase en la sección "A" la vista de planta, sección "B" vista de perfil y la sección "C" fotografía del área, tomada en campo con vista desde la zona apical o corona de la cárcava hacia la base del acantilado. También se aprecia en el canal de la cárcava y en el flanco izquierdo la influencia de los procesos de sofusión (hoyos).

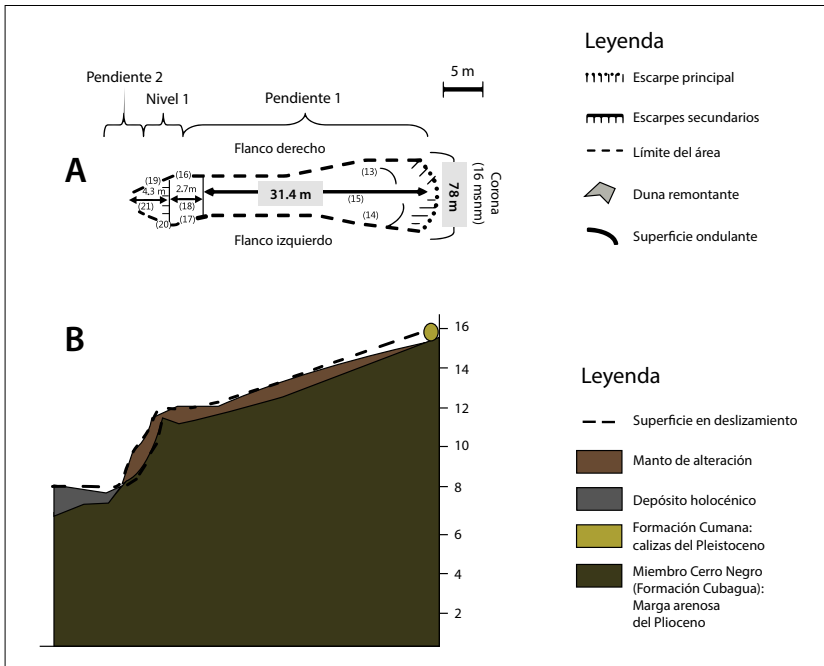


Figura 4. Morfometría de la cárcava 13 al sur del Castillo de Araya. Nótese en la sección “A” la vista de planta, y la sección “B” vista de perfil.

de la base aun no es suficiente para generar desprendimiento de material en la zona alta y formar grandes coronas.

Lo anterior puede ser admitido con los valores de pendiente antes reportados; la diferencia entre las dos cárcavas permite presumir que en el primer caso, y como consecuencia de su evolución, las pendientes suelen ser más suaves, mientras que en el segundo caso, por ser un proceso erosivo más reciente, se observa que las pendientes suelen ser más pronunciadas. Esto permite suponer que, en la medida en que la cárcava es más evolucionada y la acumulación de material en su interior es mayor, las pendientes suelen ser más suaves, en comparación con un acantilado con un proceso inicial de formación de cárcavas, donde los agentes erosivos no han tenido el tiempo suficiente como para suavizar la pendiente y los procesos gravitacionales tampoco han contribuido a la acumulación del material que se desplaza desde las zonas altas hacia las zonas medias.

Es válido señalar que estos tipos de cárcavas caracterizan las geoformas de erosión en el área objeto de estudio, a excepción de la cárcava número nueve, la más evolucionada de acuerdo con la lon-

gitud de su corona, alcanzando aproximadamente 87 metros, la cual presenta una forma reniforme o arriñonada, es decir, ancha desde la corona hacia la base. Esta cárcava, pese a que no se tienen registros de su morfometría es, por su corona y la amplitud de su canal, la más evolucionada del sector, llegando incluso a unirse con otras cárcavas coalescentes y constituye la principal causa de afectación a los habitantes de la zona.

En síntesis, el contorno de estas geoformas, aunado al nivel de pendiente que sobre el terreno se evidencian, permiten afirmar que: a) la erosión por cárcavas en la zona es un proceso que ha evolucionado de manera progresiva en el tiempo, iniciado posiblemente por acciones de inestabilidad en la base del acantilado, lo que ha repercutido en el desprendimiento del material en el tope, generando en la zona apical contornos que se extienden por varios metros y que en su evolución pueden unirse formando coronas extensas, para vincular dos o más cárcavas; b) en la zona objeto de estudio la variación de las formas de las cárcavas reportadas, desde formas de evolución inicial-intermedias a maduras, permite suponer que estas han evolucionado de manera diferencial, en tiempo y velocidades

distintas, lo que posiblemente sea generado más por la orientación de la línea de costa, y su relación con los niveles de impacto en la base asociada a la acción del oleaje, que por los rasgos litológicos y las mismas condiciones climáticas, y c) el desarrollo de estas formas de erosión se genera sobre el regolito o material de alteración, producto de dos formaciones de litología sedimentaria, ambas impermeables. El regolito permite o no el paso de agua, condicionado por las propiedades que presenta: arcillas expansivas, presencia de grietas, suelo dispersivo y procesos de sofusión, pendientes accidentadas, entre otros factores.

Evolución de la zona apical del acantilado

En general se observa que el mayor retroceso se evidencia en la cárcava número 9, con un retroceso de 22.5 metros en 8 años, lo que supone una velocidad de 2.81 m/año, mientras que las zonas próximas a las cárcavas 1, 2, 3 y 8 han experimentado en el mismo periodo de estudio un retroceso de 11.2 metros, para una velocidad de retroceso de 1.4 m/año (Cuadro 1). Se estima que la línea apical del acantilado ha retrocedido 1.31 m*año⁻¹, lo cual resulta lenta si se compara con los 2.77 m*año⁻¹ reportado por González et al. (2001) para Punta Agüide, también constitui-

do por rocas sedimentarias, expuestas a condiciones de aridez.

Características físico-mecánicas del material

Textura

Estos suelos, de acuerdo con lo reportado en el apartado correspondiente, clasifican como Aridisols, presentan en su composición promedio un 21.67% de arenas, 70.36% de limos y 7.98% de arcilla, lo que les otorga una textura franco limosa (Cuadro 2).

Ahora bien, de acuerdo con lo expuesto por Casanova (2005), los suelos con textura franco limosa presentan niveles de compactación, permeabilidad y macroporosidad media. Esto, si bien favorece la retención de agua y su normal drenaje en condiciones de lluvias regulares, en zonas con relativas topografías aplanadas también puede afectar la estabilidad de los suelos ante la ocurrencia de lluvias torrenciales en zonas de mayor pendiente, ya que permitiría un mayor ingreso de agua a lo largo del perfil del suelo en comparación con los suelos arcillosos, lo que conduciría a fatigar la cohesión de los agregados, favoreciendo la erosión.

En efecto, Bayer (citado por Gavande, 1991) señala que es suficiente que el agua se desplace por la superficie del suelo a una velocidad de 7.62 centímetros por segundo para transportar las partículas de limo.

Porcentaje de dispersión

Las muestras analizadas revelan que se trata de un suelo dispersivo con un porcentaje promedio estimado de 95.57% y 78.82% para las cárcavas en estudio, y general, de 87.56% (Cuadro 3). Al

Cuadro 1. Velocidad del retroceso del borde apical del acantilado para el periodo 2003–2011.

Punto	Cárcava	Retroceso total en metros (2003 a 2011)	Velocidad de retroceso m*año ⁻¹
1	1	11.25	1.40
2	1	11.2	1.40
3	2	11.25	1.40
4	3	4.5	0.56
5	5	15.75	1.96
6	6	11.25	1.40
7	9	22.5	2.81
8	9	4.5	0.56
9	14	2.25	0.28
	Promedio	10.49	1.31

Cuadro 2. Distribución promedio de las partículas y determinación de la textura del suelo.

Cárcava	% Arena	% Limo	% Arcilla	Clase
1	20.00	73.96	6.04	F. limoso
2	23.89	65.56	10.56	F. limoso
General	21.67	70.36	7.98	F. limoso

Nota: en el cuadro la "F" hace referencia a la textura franco.

Cuadro 3. Porcentaje de dispersión del suelo.

Promedio por cárcava	arcilla + limo (c/d)	arcilla + limo (s/d)	%Dispersión	Clasificación
1	80.00	76.48	95.57	Dispersivos
2	76.25	59.20	78.82	Dispersivos
General	78.21	68.21	87.56	Dispersivos

Nota: en el cuadro la sigla "c/d" = con dispersante, mientras que s/d = sin dispersante.

contrastar la textura del suelo con su dispersión se puede afirmar que se trata de un suelo erodable, de limos no cohesivos, que resultan de una granulometría relativamente homogénea.

En opinión de Arulanandan y Heinzen (1977), los suelos dispersivos suelen ser afectados por corrientes de agua de menor caudal, inclusive con bajos niveles del gradiente hidráulico, lo que favorece la pérdida de cohesión de las arcillas y contribuye a la formación de cárcavas.

Contenido de humedad higroscópica

De acuerdo con los resultados obtenidos, en general los suelos de esta zona presentan una humedad estimada de 7.32% en promedio para la cárcava 1 y de 6.09% en la cárcava 2, para una media general de 6.73%.

Estos valores son similares a los reportados por Toledo (1997), quien precisa montos entre 2.8% y 7.1% para los suelos de la zona semiárida entre Susucal y La Candelaria, en el estado Lara, así como los reseñado por Gómez (2000), quien estimó para suelos franco limosos en condiciones semiáridas en el Mediterráneo, con valores entre 16% y 18% luego de un evento lluvioso.

En atención con lo antes expuesto, es importante destacar que: a) si bien ya se ha mencionado en el apartado referido al clima que el área de estudio se caracteriza por ser árida, no es menos cierto que se ha señalado un incremento en las precipitaciones locales entre los meses de julio a noviembre (según el coeficiente de Angot), por lo que es posible que las condiciones de humedad en el suelo sean ligeramente menores durante el período diciembre a junio, cuando tienden a disminuir las precipitaciones y a aumentar la temperatura, y b) los resultados permiten rati-

ficar la tendencia de los suelos franco limosos para retener niveles de humedad e hincharse, los cuales resultan intermedios si se comparan con los reportados por González *et al.* (2002) para las arenas (5%), las arcillas (60 y 70%) y los suelos orgánicos (300-400%).

Características químicas-mineralógicas del material

Análisis de rocas totales

El análisis por difracción de rayos X permitió identificar cómo componentes principales de las muestras, en promedio de abundancia: minerales de arcilla (52 %), óxido de silicio o cuarzo (28%), carbonato de calcio o calcita (18 %), plagioclasa o feldespatos-Na (5 %), sulfuro de hierro o pirita (5%), carbonato de hierro o siderita (2 %) (Figura 5).

Mineralogía de las arcillas

El análisis de minerales de arcilla fracción menor a dos micrómetros ($<2\mu$) presenta, en promedio, como predominantes: caolinita (47%), ilita (39%), clorita (14 %), esmectita (1%) (Figura 6). Dentro de este grupo de arcillas destacan: a) la caolinita, siendo moderadamente plásticas y de mayor permeabilidad y b) la ilita, cuya permeabilidad es menor que la caolinita pero mayor a la esmectita. Este grupo de arcillas no solo se presenta en el suelo en estudio en mayor abundancia sino, además, al clasificar como expansivas, generan grietas en el terreno y se relacionan con el acceso de agua en el regolito, además de ser dispersivas, lo que las caracteriza por presentar un mínimo de atracción electroquímica, razón por la que no se adhieren con facilidad a otras partículas dentro de la estructura del suelo.

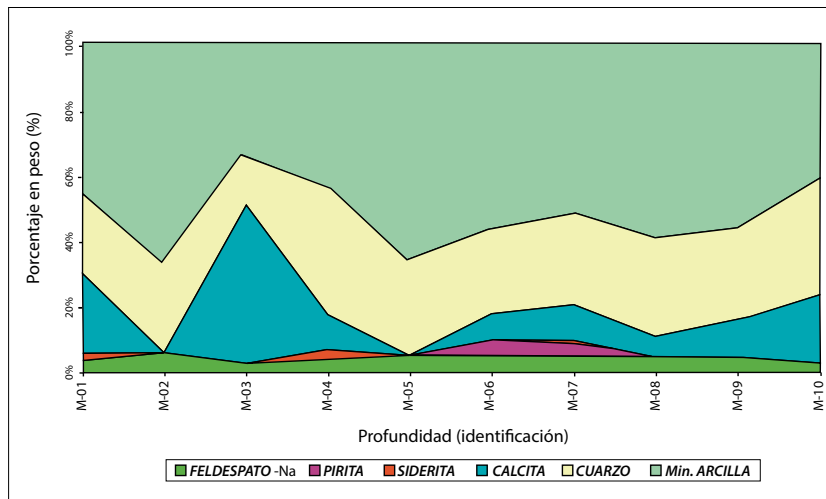


Figura 5. Distribución de los minerales por análisis de roca totales por difracción de rayos-X. Muestras de suelo, Sur del Castillo de Araya, estado Sucre.

En general, las arcillas dispersivas se encuentran asociadas fundamentalmente a suelos alcalinos, formados en climas áridos y semiáridos (Knodel, 1991).

También destacan por su condición de expansivas la esmectita, la cual puede presentar fases de hinchamiento del espacio interlamilar, asociado a la hidratación ante la presencia de H_2O , seguida de una fase de contracción en períodos de extrema sequía. Estos sucesivos episodios, aunados a la presencia de arcillas dispersivas, contribuyen a generar agrietamientos, evidenciados en la zona superficial

del suelo, propiciando condiciones que favorecen el proceso de erosión retrógrada.

Características bioquímicas del suelo

Carbono orgánico en el suelo (COs)

El análisis de contenido del contenido de carbono orgánico indica la presencia promedio de 0.05% (Cuadro 4), lo cual es típico en suelos del orden Aridisoles (0.03%) de acuerdo con lo reportado por Martínez *et al.* (2008). En efecto, en suelos bajo condiciones de aridez, la presencia de CO suele ser baja, ya que por lo general este provie-

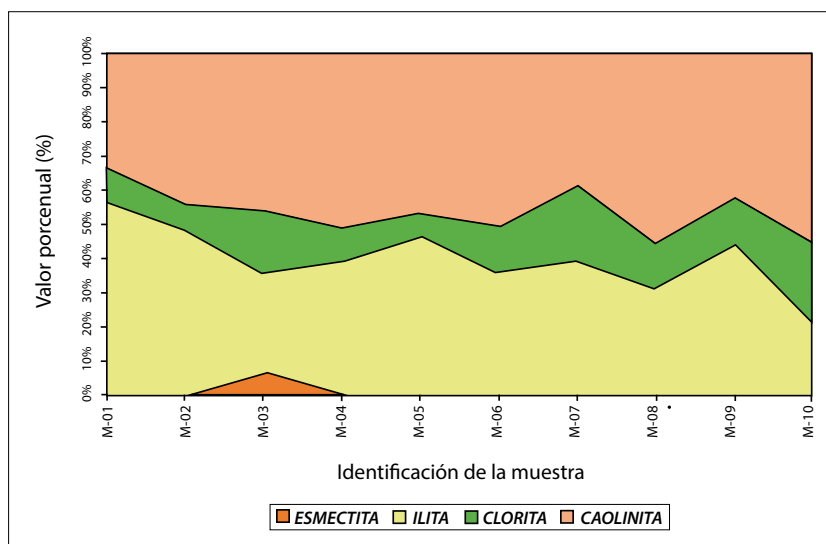


Figura 6. Distribución mineralógica de las arcillas. Análisis de minerales de arcilla fracción menor a dos micras. Muestras de suelo, sur del Castillo de Araya, estado Sucre.

Cuadro 4. Contenido de carbono orgánico en el suelo.

Promedio por cárcava	Contenido de C orgánico (%)
Cárcava 1	0.07
Cárcava 2	0.03
Promedio General	0.05

Cuadro 5. Contenido de materia orgánica en el suelo.

Promedio por cárcava	% MO	Clasificación
Cárcava 1	0.11	Muy bajo
Cárcava 2	0.05	Muy bajo
General	0.08	Muy bajo

ne de un balance dinámico entre la absorción de material vegetal, fundamentalmente de la vegetación muerta, y la pérdida por la descomposición o mineralización.

La importancia del CO para la estabilidad de las vertientes es muy alta; no obstante, Martínez *et al.* (2008) sostienen que este tiene un efecto importante en la agregación de las partículas, sugiriendo la existencia de una relación entre tamaño de los agregados y contenido de CO: mientras mayor es el contenido de CO lábil, mayor es el tamaño de los agregados, y con ello mayor será la resistencia del suelo a los procesos erosivos.

De allí que se pueda inferir que debido a la poca presencia de carbono orgánico en los suelos de la zona de estudio, la formación de agregados en este pueda verse limitada, lo que contribuye a generar condiciones que lo hacen vulnerable a los procesos de erosión.

Materia orgánica en el suelo (MO)

La importancia de la materia orgánica en el suelo, generada a partir de la cobertura vegetal, es resumida por Gavande (1991), quien sostiene que las plantas ayudan a agregar las partículas del suelo en muchas formas, siendo la más importante la excreción de compuestos orgánicos gelatinosos por las raíces, lo que sirve como ligamento entre las sustancias orgánicas y ayuda a estabilizar la estructura del suelo. Ahora bien, para la zona objeto de este estudio, caracterizada por la aridez de su clima y por poseer un suelo mineral con textura franco limosa, el promedio estimado de materia orgánica es de 0.08% (Cuadro 5), clasificado como muy bajo de acuerdo con lo establecido en la escala propuesta por Palmaven (1992). Esto se debe, en atención a lo expuesto por Gavande

(1991), a que las zonas que presentan climas con precipitaciones reducidas tienen poco intemperismo químico, por lo que son propensas a la poca formación de materia orgánica en el suelo y, consecuentemente, a la poca vida microbiana.

En atención a lo expuesto por Gavande (1991) es necesario resaltar que la actividad microbiana en el suelo es un elemento fundamental para la formación de materia orgánica, no solo por los exudados que generan sino además por su responsabilidad en la descomposición de los residuos orgánicos y su transformación en humus.

Ahora bien, otro elemento vinculado con la relación entre el clima y la generación de materia orgánica es el comportamiento de la temperatura, ya que de acuerdo con lo planteado por Robinson (1967), una zona con registros térmico elevado puede generar, en condiciones de alta humedad atmosférica y libre aireación, una rápida descomposición oxidativa de los residuos vegetales, generando un bajo contenido de materia orgánica en el suelo.

De allí que se pueda afirmar que la ausencia de cobertura vegetal en el suelo en la zona de estudio, como consecuencia de las condiciones climáticas, minimiza el contenido de materia orgánica, afecta la estabilidad de los agregados y contribuye a la vulnerabilidad del material expuesto a la erosión.

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos a partir de este estudio permiten formular las siguientes conclusiones:

1. El sistema de cárcavas que se desarrolla sobre el acantilado presenta diferentes grados de evolu-

- ción, los cuales se evidencian en la diversidad de formas que los valles presentan en superficie. En general, la evolución de las coronas de las cárcavas en sentido de retracción hacia el continente es el factor principal que ha contribuido al retroceso del contorno apical del acantilado.
2. A partir del análisis de las imágenes satelitales para los años 2003, 2006, 2009 y 2011, se estimó en promedio la velocidad de retroceso de la zona apical del acantilado en 1.31 m/año.
 3. El suelo presenta una composición franco limosa, caracterizados por ser altamente dispersivos, lo cual está asociado a la presencia de arcillas tipo caolinita e ilita, lo que aunado a las arcillas expansivas, como la clorita y esmectita, y el bajo contenido de carbono orgánico y materia orgánica, pueden desarrollar un comportamiento dúctil que favorece el desplazamiento del material por gravedad y en consecuencia el incremento de la inestabilidad de la vertiente, afectando la zona alta por el desprendimiento de la roca,
 4. Mineralógicamente el suelo está constituido por minerales de arcilla (52%), óxido de silicio (28%), carbonato de calcio (18%), plagioclasa (5%), sulfuro de hierro (5%), carbonato de hierro (2%), lo cual se corresponde con el material parental, lo que aunado a las condiciones climáticas durante la mayor parte del año, como consecuencia de las altas temperatura y la escasa precipitación, suelen formar costras superficiales en el suelo.
 5. Se infiere que la activación del proceso de erosión retrógrada ocurre entre los meses de julio a noviembre, cuando se experimenta un ligero incremento de las lluvias. Aunque esta temporada, no constituye un verdadero período lluvioso, su concentración en estos meses puede ser un factor detonante que favorece la erosión.
- REFERENCIAS**
- Angot, A. (1897). Régime des pluies de Léurope occidentale. *An. Bur. Central Mët.* 1, 155-192.
- Arulanandan, K. y Heinzen, R. (1977). Factors influencing erosion in dispersive clays and methods of identification. Erosion and solid matter transport in inland waters. En *International Association of Hydrological Sciences*, 122, 75-81.
- Andressen, R. (2007). Circulación Atmosférica y tipos de climas. En Fundación Empresas Polar (Comp.), *GeoVenezuela. Tomo 2: Medio Físico y Recursos Ambientales* (pp. 238-328). Caracas: Fundación Empresas Polar.
- Arrieche, I. y Pacheco Y. (s.f.). Determinación de Carbono Orgánico en muestras de suelos mediante dos procedimientos analíticos. *Revista Venesuelo*, 6 (1-2). Recuperado de http://avepagro.org.ve/venesuel/v06_1-2/v612a020.html. Consultado el: 22 de marzo de 2012.
- Bermúdez, P. (1966). Consideraciones sobre los sedimentos del mioceno medio reciente de las costas central y oriental de Venezuela. *Boletín de Geología*, VII(14), 333-411.
- Bautista, M. (2006). *Manual de metodología de la investigación*. Venezuela: Talitip.
- Campos, H. (1963). *Estudio micropaleontológico de las formaciones jóvenes de la Península de Araya. Estado Sucre-Venezuela*. Trabajo de grado no publicado. Caracas: Universidad Central de Venezuela.
- Cárdenas, A. (1967). *Geografía Física de Venezuela*. Barcelona: Ariel.
- Casali, J., López, J. y Giráldez, J. (1999). Erosión por cárcavas efímeras en el sur de Navarra (España): Descripción y cuantificación. *Ingeniería del Agua*, 6. Recuperado de: <http://polipapers.upv.es/index.php/IA/article/view/2789/2767>. Consultado el: 26 de noviembre de 2015.
- Casanova, E. (2005). *Introducción a la ciencia del suelo*. Venezuela: Universidad Central de Venezuela.
- Castro, C. y Vicuña, P. (1990). Caracterización de la erosión lineal en planicies costeras en Chile Central. *Revista de Geografía Norte Grande*, 17. Recuperado de: http://revistanortegrande.cl/archivos/17/05_17_1990.pdf. Consultado el: 26 de noviembre de 2016.
- Delgado, J., Hernández, M. y Pérez, A. (2004). Caracterización de los conglomerados de la Formación Coche. Trabajo de grado no publicado. Caracas: Universidad Central de Venezuela.
- Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de Norteamérica – USDA (1999). *Guía para la Evaluación de la Calidad y Salud del Suelo*. Recuperado de http://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/stelprdb1044786.pdf. Consultado el: 20 de noviembre de 2015].
- Fernández R. (2006). *Evaluación espacial de procesos erosivos y su influencia sobre el corredor de comercio Las Leñas, VI Región del Libertador Bernardo O'Higgins*. Trabajo de grado no publicado. Universidad de Chile.

- Recuperado de: http://repositorio.uchile.cl/tesis/uchile/2006/fernandez_r2/sources/fernandez_r2.pdf. Consultado el: 25 de noviembre de 2015.
- Foghin, S. (2002). *Tiempo y clima en Venezuela: Aproximación a una geografía climática del territorio venezolano*. Colección Clase Magistral. Venezuela: Instituto Pedagógico José Manuel Siso Martínez.
- Gavande, S. (1991). *Física de suelos: Principios y aplicaciones*. México: Limusa, Grupo Noriega Editores.
- Gómez, A. (2000). *Variabilidad espacio temporal del contenido de humedad del suelo en una zona mediterránea semiárida. Efecto de las condiciones antecedentes en la respuesta hidrológica*. Trabajo de grado no publicado. Universidad Politécnica de Madrid, Madrid. Recuperado de <http://oa.upm.es/709/1/07200004.pdf>. Consultado el: 25 de noviembre de 2015.
- González de Juana, C. (1947). Elements of diastrophic history of northeastern Venezuela. *Geological Society of America Bulletin*, 58, 689-702.
- González, L., Ferrer, M., Ortuño, L. y Oteo, C. (2002). *Ingeniería Geológica*. España: Pearson.
- González, L., Lara, S., Marciano, A. y Núñez, F. (2001). *Deslizamiento en la vertiente de la costa de Punta Agüide, Estado Falcón, Venezuela*. Ponencia presentada en la Novena Jornada Anual de Investigación del Instituto Pedagógico de Caracas, Venezuela.
- Grajales, T. (2000). Tipos de Investigación. Recuperado de <http://www.tgrajales.net/investipos.pdf>. Consultado el: 20 de junio de 2010.
- Henao, J. (1998). *Introducción al manejo de cuencas hidrográficas*. Santa Fe de Bogotá: Universidad Santo Toma.
- Hernández, R., Fernández, C. y Baptista, P. (2010). *Metodología de la Investigación*. Perú: McGraw Hill.
- Knodel, P. (1991). *Characteristics and Problems of Dispersive Clay Soils*. U.S. Department of the Interior, Bureau of Reclamation, Denver Office, Research and Laboratory Services Division, Materials Engineering Branch.
- Koppen, W. (1923). *Die Klimate der Erde, Grundriss der Klimakunde*. Berlín, Leipzig.
- Lara, S. (1985). *Técnica del hidrómetro*. Material didáctico para el curso seminario de investigación (no publicado). Venezuela: UPEL-IPC.
- Maloney, N. (1965). Geomorfología de la costa central de Venezuela. *Boletín del Instituto Oceanográfico de la Universidad de Oriente*, 4, 246-256.
- Martínez, E., Fuente, J. y Acevedo, E. (2008). Carbono Orgánico y propiedades del suelo. *Revista de Ciencias del Suelo y Nutrición Vegetal*, 8(1), 68-96. Recuperado de http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/120129/Martinez_Eduardo.pdf?sequence=1. Consultado el: 15 de abril de 2015.
- Ministerio de Agricultura y Cría, Oficina Nacional de Catastro de Tierra y Agua (1999). Carta Catastral: Punta Caracare (Hoja 7347-IV-SE), Escala 1:25 000. Caracas, Venezuela.
- Ministerio de Minas e Hidrocarburos, Dirección de Geología (1968). Mapa Geológico de la Península de Araya Lámina I – N° 03948, Escala 1:25 000. Caracas, Venezuela.
- Ministerio de Obras Públicas, Dirección de Cartografía Nacional (1964). Mapa Topográfico de Cumana (Hoja 7347), Escala: 1:100 000. Caracas, Venezuela.
- Navarro, J. (2007). *Variación del Contenido de Materia Orgánica de suelos volcánicos sometidos a distintos manejos agrícolas*. Tesis de grado no publicada. Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias Agrarias, Escuela de Agronomía. Recuperado de http://cybertesis.uach.cl/tesis/ua_ch/2007/fan936v/doc/fan936v.pdf. Consultado el: 12 de abril de 2012.
- Palmaven, Filial de Petróleos de Venezuela (1992). *Análisis de suelo y su interpretación*. Serie Técnica. Venezuela: Publicaciones de divulgación científica.
- Petróleos de Venezuela S. A. (2011). Código Estratigráfico de Venezuela [datos en línea] en PDVSA. Recuperado de <http://www.pdv.com/lexico/lexicoh.htm>. Consultado el: 21 de febrero de 2014.
- Porteros, H. y Alva, J. (1999). Identificación y ensayos en suelos dispersivos. Ponencia presentada en el XII Congreso Anual de Ingeniería Civil, Huánuco. Recuperado de http://www.cismid.uni.edu.pe/descargas/a_labgeo/labgeo18_p.pdf. Consultado el: 19 de marzo de 2015.
- Rivera, L., Goyal, M. y Crespo, M. (2006). Métodos para medir la humedad en el suelo. Recuperado de http://www.ece.uprm.edu/~m_goyal/gota2006/cap02humedadppt.pdf. Consultado el: 12 de junio de 2009.
- Robinson, G. (1967). *Los suelos: su origen, constitución y clasificación. Introducción a la edafología*. Barcelona: Omega.
- Ruiz, K. y Holmquist, H. (2010). Propuesta de sistema de control de erosión en la descarga de alcantarilla ubicada en el sector Mi Campito, en la urbanización El Perú, Ciudad Bolívar, Municipio Heres, Estado Bolívar. Recuperado de <http://ri.bib.udo.edu.ve/bitstream/123456789/1515/1/084-TesisPropuesta%20de%20Sistema%20de%20Control.pdf>. Consultado el: 26 de noviembre de 2015.
- Santamaría, F. y Schubert, C. (1974). Geochemistry and Geochronology of the Southern Caribbean- Northern Venezuela Plate Boundary. *Geological Society of America Bulletin*, 7, 1085-1098.

- Soriano, D. (2009). *Identificación y análisis de corrientes de derrubio en el macizo de Monserrat mediante Google Earth y SIG*. Tesina. Universidad Politécnica de Cataluña. Recuperado de <http://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/8612/1/00.pdf>. Consultado el: 15 de marzo de 2012.
- Sotomonte, S. (2001). Aplicación y ajuste del modelo de distribución de cárcavas de Vázquez – Selem y Zinck, caracterizando la susceptibilidad de erosión en el piedemonte de la zona sur, Sacaba (Cochabamba – Bolivia). Recuperado de <http://www.umss.edu.bo/epubs/earts/downloads/70.pdf>. Consultado el: 21 de noviembre de 2011.
- Suárez, C. y González, L. (1996). Geomorfología de los acantilados marinos de Agüide, Facón Nororiental. *Acta científica venezolana*, 47(3), 185-190.
- Tarback, E. y Lutgens, F. (2008). *Ciencias de la Tierra una introducción a la geología física*. Madrid: Pearson Prentice Hall.
- Toledo, V. (1997). *Estudio de la erosión del suelo en el sector comprendido entre Susucal, La Candelaria y Muñoz, Edo. Lara*. Trabajo de grado de Maestría no publicado. Universidad Pedagógica Experimental Libertador, Instituto Pedagógico de Caracas, Caracas.
- Toledo, V. (2008). *Determinación de Carbono Orgánico en muestras de Suelos por la técnica colorimétrica, en el método de combustión húmeda de Walkley–Black*. Trabajo no publicado. Línea de Investigación Ambientes Áridos y Semiáridos en Venezuela. Venezuela: UPEL-IPC.
- Toledo, V. (2009). *Medición de la Humedad del Suelo*. Trabajo no publicado. Curso Manejo de Instrumento de Laboratorio y Métodos de Cuantificación, Maestría en Geografía Física. Venezuela: UPEL-IPC.
- Universidad Pedagógica Experimental Libertador (2008). Manual de Trabajo de Grado de Especialización y Maestría y Tesis Doctoral, Venezuela.
- Vázquez, L. y Zinck, A. (1994). Modelling gully distribution on volcanic terrains in the Huasca area, Central Mexico. *ITC Journal*, 3, 238-251.
- Vicente, F., Vela, A., Sanz, M., Martín, C. y Martín, J. (2008). *Origen, evolución y dinámica actual del piedemonte norte de Guadarrama. Métodos de estudio y criterios para su gestión con bases ecológicas*. Ponencia presentada en el Noveno Congreso Nacional del Medio Ambiente, Madrid. Recuperado de http://www.conama9.org/conama9/download/files/CTs/985824_MVi%20cente.pdf. Consultado el: 26 de noviembre de 2011.
- Vignali, M. (1965). Estudio geológico de las rocas sedimentarias de Araya. *Revista Geos*, 13, 23-36.
- Vila, M. (1965). *Aspectos geográficos del Estado Sucre*. Caracas: Corporación Venezolana de Fomento.
- Wolf, P. y Ghilani, C. (2008). *Topografía*. México: Alfaomega.