



Artículo de investigación

**Evaluación de la erosión física y química del suelo en la zona nor-occidental de la provincia Bolívar-Ecuador**

**Evaluation of physical and chemical erosion of soil in the north-western zone of the province of Bolivar-Ecuador**

**N. Monar Gaviláñez\*, M. González, V. González, S. Fierro, S. Llerena, I. Hidalgo**

Facultad de Ciencias Agropecuarias, Recursos Naturales y del Ambiente, Universidad Estatal de Bolívar. Campo Laguacoto II, Km 1.½ vía a San Simón. Guaranda, Ecuador

\* Autor para correspondencia: [monarnelson@yahoo.es](mailto:monarnelson@yahoo.es) (N. Monar Gaviláñez)

**Resumen**

Se realizó la evaluación de la erosión física y química del suelo en la zona nor - occidental de la provincia Bolívar-Ecuador, en las comunidades El Carbón, Culebrillas y Los Casaiches. Por su topografía se dividió cada localidad, en parte superior, media e inferior; para el análisis descriptivo-comparativo y dinámica de erosión en los perfiles A, B y C. Las variables físicas evaluadas fueron: procesos erosivos gravitacionales y denudativa, la morfogenética y textura del suelo; y las químicas pH y materia orgánica. El análisis de textura mostró heterogeneidad a distintas profundidades por comunidad: los Casaiches (15,66 %) suelo arenoso a profundidades de (0 – 10 cm), con crecimiento hasta profundidades de 30 cm (19,91 %) y decreciendo hasta los 50 cm (15,18%); la textura arenosa en El carbón y Culebrillas desciende a profundidad de 50 cm. Culebrillas presentó en todos los niveles contenidos de limo (14,14 % a 18,15%) superiores a las del Carbón y los Casaiches. El contenido de arcilla presentó similitudes a profundidad de 0- 10 cm (37,12 %), creciendo a medida que se incrementó la profundidad; El Carbón mostro el mayor contenido de arcilla con 52,27%. Los parámetros químicos indicaron suelos ligeramente ácidos, pH entre 5,60 y 6,45 e incrementos de materia orgánica en los horizontes eluviales. Los resultados reportaron que la erosión antrópica es el principal factor de degradación de los suelos (a profundidades de 0 – 30 cm) en la zona, generando cambios profundos en la topografía, biota y sobre las propiedades físicas y químicas del suelo.

**Palabras claves:** Proceso erosivo gravitacional, Textura del suelo, Evaluación fisicoquímica, Topografía

**Abstract**

Evaluation of physical and chemical soil erosion took place in the north-western zone of the province of bolivar-Ecuador, communities Coal, Culebrillas and Los Casaiches. By its topography each locality was divided into upper, middle and bottom; for descriptive-comparative and dynamic erosion profiles A, B and C. The physical variables were evaluated analysis: Gravitational and denudativa erosional processes, morphogenetic and soil texture; and chemical pH and organic matter. Texture analysis showed heterogeneity by various depths community: Casaiches (15.66%) sandy soil depths (0-10 cm), with growth to depths of 30 cm (19.91%) and decreasing to 50 cm (15.18%); sandy texture Coal and Culebrillas down to depth of 50 cm. Culebrillas provided at all levels of silt content (14.14% to 18.15%) higher than Coal and Casaiches. Clay content presented similarities 0- depth of 10 cm (37.12%), growing as the depth increased; Coal showed the higher clay content with 52.27%. The chemical parameters indicated slightly acidic soil pH between 5.60 and 6.45 and increases organic matter in the eluvial horizons. The results reported anthropic erosion is the main factor of degradation (to depths of 0-30 cm) in the area, generating profound changes in topography, biota and the physical and chemical properties of soil.

**Keywords:** Gravitational erosion process, soil texture, physical chemistry evaluation, Topography

## INTRODUCCIÓN

La erosión comprende el desprendimiento, transporte y posterior depósito de materiales de suelo o roca por acción de la fuerza de un fluido en movimiento; puede ser generada tanto por el agua como por el viento (Suárez, 1998 citado por Díaz, 2011). En la Argentina, Bolivia, Brasil, Chile y Paraguay, el 46 % en promedio de la extensión total de los suelos son degradados por diferentes agentes de erosión (Correa *et al.*, 2016). Así los eventos extremos de precipitación, pendientes pronunciadas, las características intensivas de labranza del suelo y de la superficie del suelo han sido reportados como los indicadores más relevantes para analizar y clasificar los procesos de erosión del suelo (Comino *et al.*, 2016). Las funciones naturales de los suelos están amenazadas por los cambios en el contexto del medio ambiente, estos cambios son con frecuencia humana inducida o humano influenciado (Foley *et al.*, 2005 citado por Blum 2013). Representando un peligro para el abastecimiento de alimentos y la seguridad, la protección de la salud humana y los ecosistemas naturales, y el desarrollo económico de los países (Ollobarren *et al.*, 2016).

Para Araya *et al.* (2016), las prácticas agrícolas convencionales generalmente intensiva tales como: labranza, eliminación completa de residuos de cosecha a cosecha, pastoreo y quema de rastrojos, y el uso de forraje para los animales y estiércol como combustible provoca un retorno orgánico limitado al suelo, así como la reposición de los nutrientes del suelo por fertilizantes inorgánicos. Mientras que para Ebrahimi *et al.* (2016), la gestión humana irracional de los recursos a dado lugar al deterioro de la calidad de los suelos. Según Blum (2013) las principales categorías de Órdenes de Suelos de la Taxonomía de Suelos son: los Ultisoles, Alfisoles, Inceptisoles y Entisoles tienen altas poblaciones. Para Deng *et al.* (2015) los Andosol son suelos agrícolas altamente productivos y se distribuyen en todo el mundo con alrededor del 0,8 % de la superficie total del suelo en la tierra. Se caracterizan por un alto contenido de materia orgánica, alta estabilidad, fuerte fijación de fósforo, alta porosidad, densidad aparente baja, alta retención de agua, y una buena permeabilidad.

La Cordillera de los Andes " se encuentra en el oeste de América del Sur, formado por montañas escarpadas y muy empinada mesetas alivio (Correa *et al.*, 2016). Para Camargo-García *et al.* (2012) los páramos son ecosistemas húmedos de alta montaña que se encuentran en la cordillera de los Andes entre Venezuela, Colombia, Ecuador y Perú, y se extienden en una franja altitudinal desde los 3500 msnm, conformado por lagos, humedales y turberas, con predominio de gramíneas con algunos fragmentos de arbustos y bosques de baja altura; que se han adaptado a condiciones específicas como baja temperatura, baja presión atmosférica, alta radiación ultravioleta y fuertes vientos que generan desecación. En estas condiciones, y debido a la fragilidad del ecosistema, la inclusión de nuevas especies, aun forestales, podría generar cambios no deseados. Para Stromsoe *et al.* (2016) a escala mundial, los paisajes alpinos son reconocidos como regiones de relativamente alta actividad geomorfológica. Esto se ha atribuido a su clima, que suele ser frío y húmedo, la actividad tectónica y altas elevaciones y pendientes pronunciadas (de alta energía potencial), que en combinación promueven la rápida erosión física y transporte de sedimentos. Especialmente en las cordilleras tectónicamente activas, la erosión puede ser tan rápida como para igualar o exceder la velocidad de elevación.

El uso principal del suelo en la zona en estudio son cultivos de ciclo corto, pastizales y bosques, conllevando a la expansión de la frontera agrícola, como consecuencia se tiene la afloración de otros tipos de suelos. El objeto de estudio fue la evaluación de la erosión física y química del suelo en la zona nor-occidental de la provincia Bolívar-Ecuador, en las Comunidades de: El Carbón, Culebrillas y Los Casaiches.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Área de estudio

Las comunidades en estudio se encuentran ubicadas en la parte nor-occidental de la Provincia de Bolívar en la parroquia Guanujo, entre altitudes de 3800 a 4000 msnm, siendo estas: El Carbón, Culebrillas y Los Casaiches. Constan de 500 familias con una población aproximada de 1500 habitantes en su mayoría indígenas. Los ingresos económicos fundamentalmente provienen de las actividades agropecuarias. La agricultura es la actividad predominante, pues más del 80% de la población económicamente activa (PEA) se dedica a ella. Esta situación define el alto grado de vulnerabilidad, riesgo social y económico que puede provocarse como consecuencia del manejo inadecuado del capital natural (recursos naturales), su degradación o efectos del cambio climático.

Por la variabilidad topográfica de los suelos en estudio se dividió a cada localidad, en parte superior, media e inferior; para examinar mediante análisis descriptivo-comparativo; la dinámica, manifestación e intensidad de la erosión en los perfiles A, B y C. Con este propósito se realizaron calicatas de 50x50 cm, y se tomaron muestras de suelos cada 10 cm hasta los 50 cm de profundidad en cada sección por comunidad, se homogenizaron las muestras por sección y por profundidad, mismas que fueron dispuestas en fundas de polietileno de 2kg y fueron secadas al ambiente, en las que se realizaron los análisis físicos y químicos. Como índices de referencia se eligieron los perfiles menos erosionados en gran parte sin árboles. Las variables evaluadas fueron procesos erosivos gravitacionales y denudativa, la morfogenética y los tipos de suelos en función de la textura.

Para el mapeo de suelos geomorfológicos se utilizó cartas topográficas, fotografías y mapa de cuencas de la zona estudiada. Los elementos incluidos están a la orden del suelo (Kneisel *et al.*, 2015), la profundidad del suelo relevantes para el crecimiento de la planta, la vegetación, la topografía, la hidrología del suelo y la forma del terreno. Para determinar la textura y granulometría del suelo se usó el método de análisis del densímetro de Bouyoucos (Porta *et al.*, 2003).

## Métodos analíticos

La composición mecánica se determinó por el método de Kachinskii (Dolgov, 1966) aunque en el perfil C se usó el pirofosfato de sodio como dispersante. El pH fue determinado por el método potenciométrico (Willard *et al.*, 1974; Bates, 1983). La materia orgánica por el método Walkley y Black (Balanta, Pantoja y Castillo, 2013).

### Evaluación de la erosión

De cara a la intervención del territorio en el marco de la gestión remedial de procesos erosivos, es indispensable contar con herramientas de cuyo empleo se obtenga una caracterización primaria de tales procesos; para esto es posible emplear escalas de evaluación que si bien su misma elaboración las impregna diferencialmente de subjetividad, por otra parte son de gran utilidad dada su facilidad de empleo y utilidad para la escala de trabajo en tales estadios de la intervención, posibilitando incluso el desarrollo de cartografía temática. Una de tales guías (Tabla 1) fue desarrollada a partir de adaptaciones hechas por Gómez y Alarcón (1975) a la metodología del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos para la calificación de la erosión según su intensidad.

Tabla 1. Grados de erosión según su intensidad

Grados de erosión hídrica	Proceso que ocurre
No hay No se aprecia pérdida de suelo por arrastre superficial	Soliflucción Hundimientos
Erosión ligera La capa arable, cuando existe, se adelgaza uniformemente; no se aprecian huellas visibles de erosión. La erosión laminar se presenta en menos del 25% del área del lote.	Erosión laminar Erosión pluvial
Erosión moderada La capa arable ha perdido espesor; se aprecian surquillos. Se presenta entre el 25 y 75% del área del lote.	Erosión laminar severa Soliflucción con pequeños hundimientos en semicírculo. Terracetas
Erosión severa Pérdida casi total del horizonte orgánico; se presentan surcos frecuentes y cárcavas aisladas. Ocurre en más del 75% del área del lote.	Erosión combinada (laminar, surcos, cárcavas), Coladas de barro. Deslizamientos y derrumbes.
Erosión muy severa Cárcavas en una red densa; paisaje sin vegetación, derrumbes, deslizamientos, coladas de barro, frecuentes y grandes.	Erosión en cárcavas. Remociones masales.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el reconocimiento morfogénico (Figura 1) de las localidades, mediante la observación directa, se distinguió dos superficies básicas: la erosivo-denudativa y la erosiva, lo que permitió examinar a nivel de microrelieves la totalidad de los fenómenos que se desarrollan como consecuencia de la erosión. A parte de las condiciones geomorfológicas, climáticas y de las propiedades hidrofísicas del suelo, un factor muy importante es la influencia de la cobertura vegetal, régimen de humedad y en general la pendiente, confirmando lo descrito por Baruck *et al.* (2015), siguiendo el sistema morfológico - genético, en el que la clasificación debe adaptarse a la situación fisiográfica única de un país. La variabilidad topográfica de los suelos y sus características: tamaño de grano y contenido de grava, como el grado y la profundidad de la erosión. Los perfiles A, B y C se deben principalmente a la topografía irregular de los suelos en las comunidades nor-occidental de la Provincia de Bolívar.

La topografía (Figura 2) heterogénea de las comunidades nor-occidental de la Provincia de Bolívar mostró mayor deposición de productos de escorrentías en los valles que son zonas bajas y planas, mientras que en las crestas existe alta erosión, consecuentemente empobrecimientos de suelos y disminución de la cobertura vegetal. Se encontró similitud con el estudio de Zi *et al.* (2016) donde la mayor deposición se produjo cerca de la zona de ribera de la corriente, debido a su topografía relativamente plana. Las pérdidas erosivas se encuentran principalmente en la zona de transición entre la ladera y la zona de ribera, que tenía amplia zona de acumulación de flujo y la pendiente relativamente pronunciada.

Los procesos erosivos dominantes están considerados teniendo en cuenta los factores que los originan (Figura 3); la distribución natural, (deslaves), los desarrollados a partir del uso del suelo y los procesos vinculados con la actividad agropecuaria, obteniéndose los resultados siguientes: erosión por escurrimiento, páramo andino (3800 - 4500 msnm.), donde las prácticas de cultivos (papa y pastos) remueven una pequeña capa cada año (0-40 cm) lo que activa la acción

del proceso con deposiciones laminares arcillo-limosos enriquecidas en materia orgánica. La erosión por escurrimiento lineal, las laderas exponen varias formas de pendientes, lo que favorece la profundidad de las cárcavas donde tiene lugar la concentración del escurrimiento y donde el suelo no ofrece resistencia, siendo frecuente observar en los taludes el afloramiento de la cangahua, contrastando lo definido por Dixon (2015) los factores que interactúan para explicar la variabilidad natural en las propiedades del suelo a diferentes escalas espaciales son: el clima, la actividad orgánica, alivio o topografía, material parental, y el tiempo. Estos factores están incidiendo negativamente en la cobertura vegetal, textura y estructura del suelo, producción agropecuaria, poniendo en riesgo el equilibrio ecosistémico y la soberanía alimentaria.

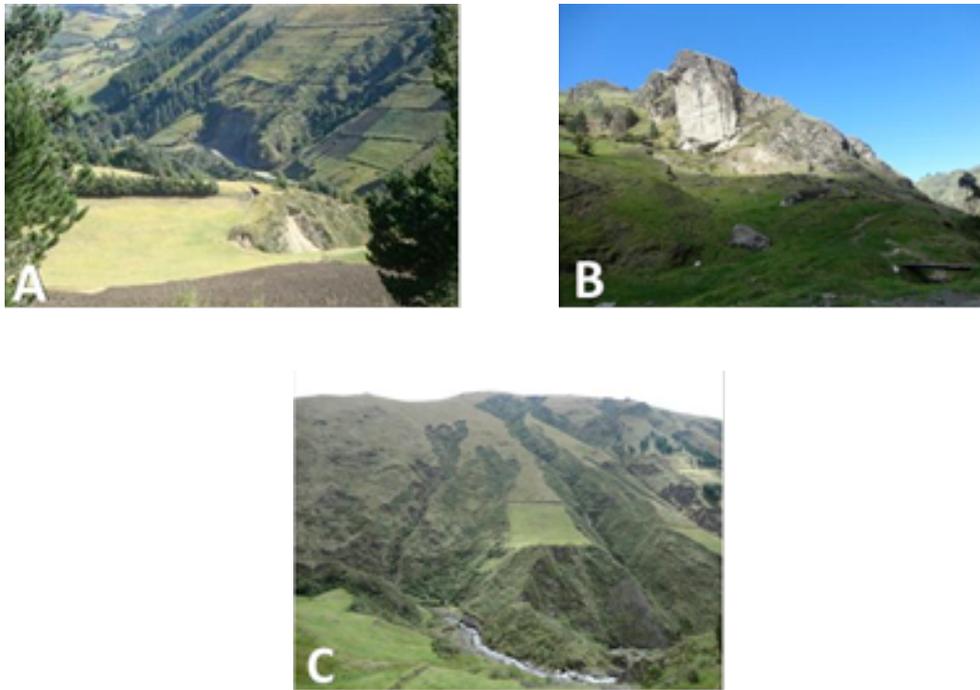


Figura 1. Reconocimiento morfogenético de los suelos de las comunidades nor-occidental de la Provincia de Bolívar: A) Los Casaiches, B) Culebrillas y C) El Carbón.

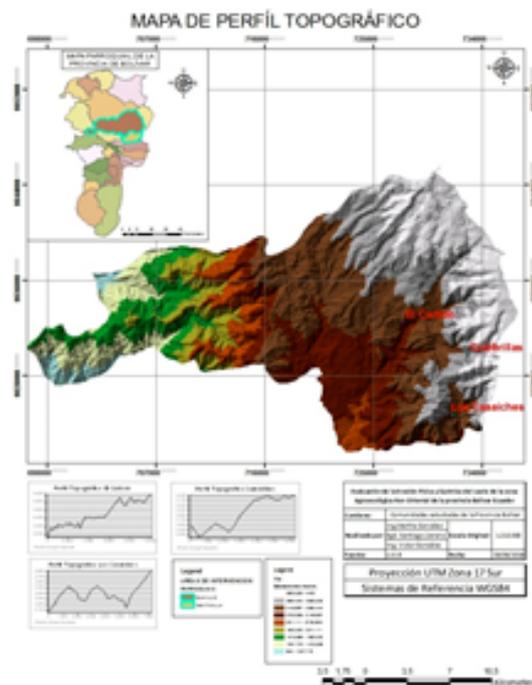


Figura 2. Topografía de los suelos de las comunidades El Carbón, Culebrillas, Los Casaiches de la zona nor-occidental de la provincia Bolívar-Ecuador.

La comunidad El Carbón mostró susceptibilidades erosivas entre alta a baja, la de Culebrillas presentó susceptibilidad erosiva moderada y baja, y Los Casaiches con susceptibilidad baja (Figura 4). La cobertura vegetal predominante en la actualidad en las comunidades es cultivo de ciclo corto, pastizales y especies arbustivas (Figura 5). La cartografía permitió identificar que a mayor nivel altitudinal incrementa la presencia de los procesos erosivos (hídrica, eólica, gravitacional y antrópica) y viceversa con la cobertura vegetal nativa. Para Correa *et al.* (2016) la erosión del suelo en las montañas más altas del planeta se puede generar no sólo por la lluvia (erosión hídrica), sino también por la caída de nieve acumulada sobre el suelo.

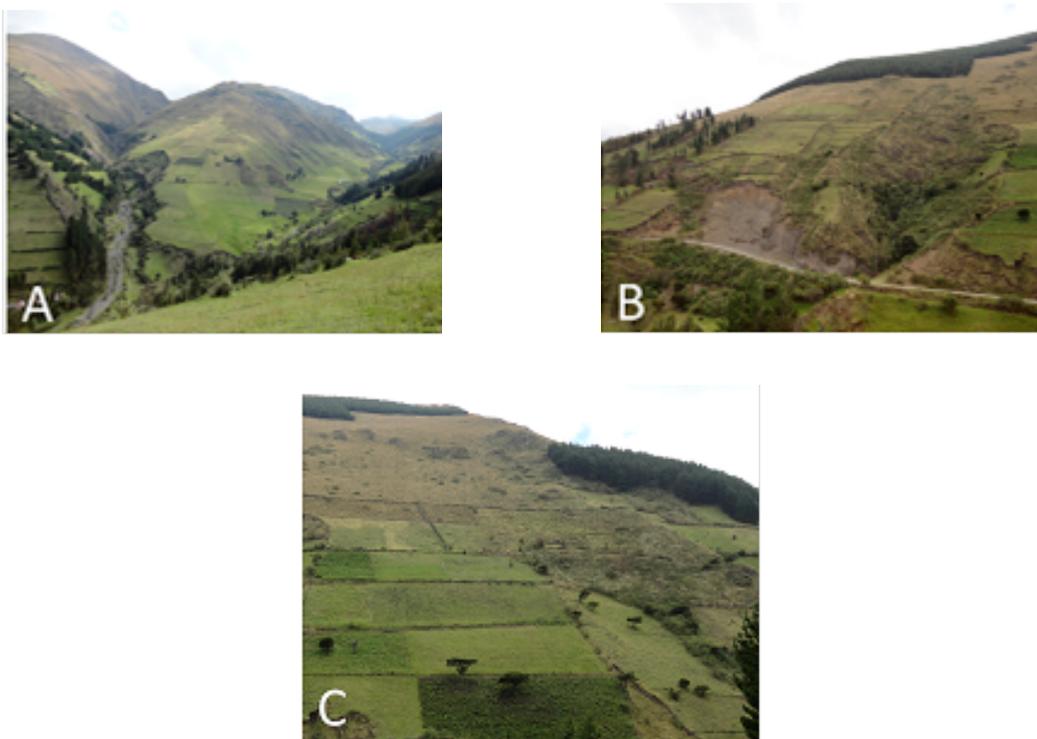


Figura 3. Procesos de erosión presentes en los perfiles A, B y C de las comunidades nor-occidental de la Provincia de Bolívar: A) fluviales, B) erosivo gravitacional (pendiente y deslaves), y C) erosivo antrópico.

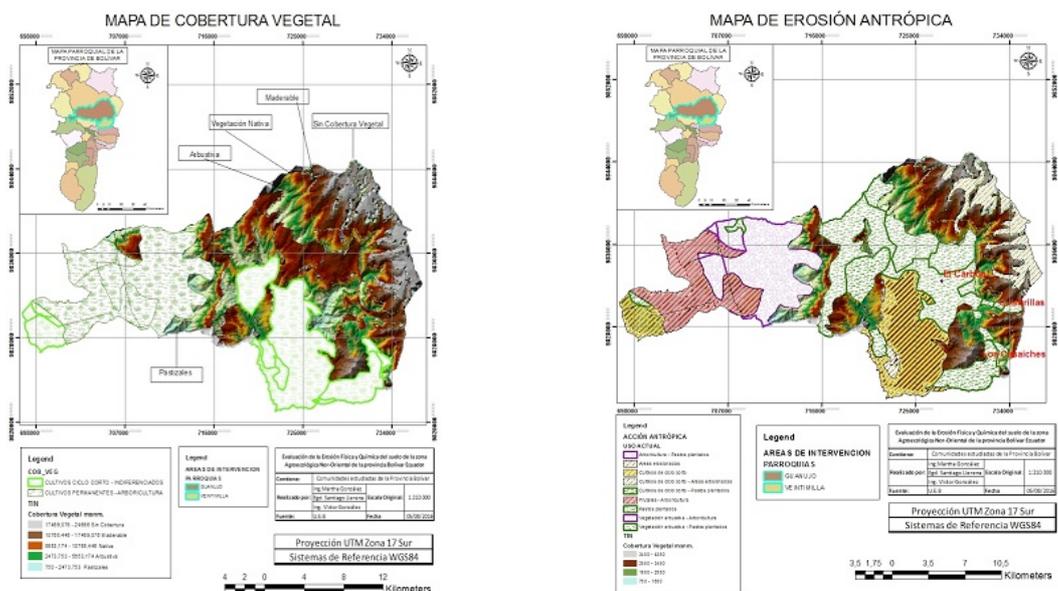


Figura 5. Cobertura vegetal y procesos erosivos de las comunidades: El Carbón, Culebrillas, Los Casaiches de la zona nor-occidental de la provincia Bolívar-Ecuador.

Contrastándose con los resultados reportados por Latocha *et al.* (2016) los materiales cartográficos permitieron la distribución espacial de los cambios de uso de la tierra y cobertura vegetal. El generalizado deterioro de las tierras cultivables es el factor más importante de la erosión del suelo, como motivo de arado son por lo general las fuentes más eficaces para el transporte de material de las pistas. La distribución espacial de las zonas de mayor pérdida de tierras cultivables se correlaciona fuertemente con la altitud.

El análisis de la textura del suelo mostró, por comunidades, un comportamiento heterogéneo a distintas profundidades; la comunidad los Casaiches con 15,66 % de suelo arenoso a profundidades de (0 – 10 cm) presentó el suelo menor contenido de arena (Tabla 2), se observó un crecimiento ascendente hasta profundidades de 30 cm (19,91 %) y decrecimiento textural hasta los 50 cm (15,18%). En general la textura arenosa de las comunidades El carbón y Culebrillas descienden hasta profundidad de 50 cm. Culebrillas presentó a nivel de todas las profundidades un mayor contenido de limo (14,14 % a 18,15%) a diferencia del Carbón y los Casaiches. En base al contenido de arcilla, inicialmente las comunidades presentaron similitudes a profundidad de 0- 10 cm (37,12 %), mostrando un crecimiento a medida que se incrementa la profundidad; la comunidad El Carbón mostro el mayor contenido de arcilla con 52,27%. El estudio reportó que en las comunidades El Carbón, Culebrillas y los Casaiches, la textura del suelo que gobierna a diferentes profundidades es la arcilla (Tabla 2). A diferencia del estudio de Poulénarda *et al.* (2003), el perfil del suelo Cuencano (CUE) mostró superior a 30 cm de profundidad el incremento de suelo arenoso y pedregoso. Por otro lado, el contenido de cristal en el limo más arena fracciones de este perfil muestra también una tendencia a disminuir con la profundidad.

Tabla 2. Composición textural de los suelos de las localidades: el Carbón, Culebrillas y los Casaiches de la zona agroecológica nor-oriental de la provincia Bolívar - Ecuador.

	Profundidad (cm)	Arena 2 – 0,02	Limo 0,02 – 0,002	Arcilla < 0,002
El Carbón	10	19,95	11,99	37,12
	20	16,53	14,37	38,18
	30	14,78	13,69	43,09
	40	13,57	11,86	49,13
	50	11,45	12,43	52,27
Culebrillas	10	19,28	14,14	33,15
	20	17,02	15,77	35,07
	30	11,84	19,07	38,18
	40	10,29	19,13	41,17
	50	7,79	18,15	48,13
Los Casaiches	10	15,66	11,45	37,88
	20	19,4	11,48	37,25
	30	19,91	13,51	41,17
	40	15,92	11,96	42,04
	50	15,18	13,36	42,93

El examen de las propiedades químicas (Tabla 3) reveló un medio ligeramente ácido encontrándose entre 5,8 a 6,45 unidades de pH, por efecto enérgico del lavado vertical y oblicuo que experimentan las bases. Sin embargo, la materia orgánica disminuye en forma proporcional al incremento de la profundidad (6,69 – 2,73 %), estos niveles pudieran atribuirse al régimen térmico isofrigid incidentes en la provincia de Bolívar y a la fitogeografía del páramo andino con su vegetación característica; mientras que Perdrial *et al.* (2015) en su estudio reportó datos de materia orgánica evaluados en la capa superficial del suelo.

Las comunidades estudiadas presentaron diferentes órdenes de suelos como entisol, inceptisol y mollisol, pertenecientes a las familias de los Hapludoll, Criandep y Eutrandedep. La designación de la familia delimita el contenido en arcilla, limo y arena, especifica que la temperatura media anual del suelo oscila entre de 2 – 13 °C. Los nombres, por encima del nivel de familia, especifican automáticamente los correspondientes a todas las categorías superiores. Contrastándose la designación del sistema de nomenclatura de los suelos con Thompson y Troeh (2004).

En efecto, el análisis del comportamiento de las propiedades físicas (Tabla 2) reveló la pérdida de las fracciones inferiores a 0,002 mm en tamaño de partícula, mostrando menores porcentajes a mayores profundidades, el consecuente incremento de la proporción de arenas a esos mismos niveles, los cuales conjuntamente con las gravas pudieran actuar como una capa de protección de la superficie respecto a la erosión, coincidiendo con las observaciones reportadas por Barrera *et al.* (2008). Coherente a lo anterior, es el comportamiento de las propiedades físico-químicas (Tabla 3) mostrando valores más bajos de pH (ligeramente ácido) e incrementos de materia orgánica en los horizontes eluviales, lo cual tiende a compensarse gradualmente para toda la zona. El origen de tal diferenciación pudiera relacionarse tanto con los efectos del lavado lateral que experimenta el suelo como por los efectos de la erosión subsuperficial (solifluxión).

El estudio constituyó para la zona un elemento de referencia para la determinación de la susceptibilidad de la tierra a diferentes usos, planteando alternativas de manejo de una agricultura sostenible (forestación, reforestación, obras de conservación de suelos y agroforestería); presentándose similitudes teóricas con Baruck *et al.* (2015), a medida que la degradación del suelo en todo el mundo se lleva a cabo mucho más rápido que el suelo puede desarrollar, este recurso requiere una gestión sostenible.

Tabla 3. Propiedades químicas de los suelos según profundidad en las localidades: El Carbón, Culebrillas, Los Casaiches de la zona nor-occidental de la provincia Bolívar-Ecuador

Localidad grado de erosión	Profundidad (cm)	pH		MO (%)	
		Andic		a* Hapludoll	
El Carbón (Medianamente Erosionado)	0 - 10		5,8		6,69
	10 - 20		5,6		6,40
	20 - 30		5,8		5,82
	30 - 40		5,8		4,74
	40 - 50		6,0		4,64
Culebrillas (Moderadamente Erosionado)		Entic		b* Criandept	
	0 - 10		5,7		4,70
	10 - 20		6,0		4,62
	20 - 30		6,3		4,49
	30 - 40		5,7		4,17
Los Casaiches (Moderadamente Erosionado)	40 - 50		5,8		4,04
		Udic		c* Eutrandept	
	0 - 10		6,0		3,53
	10 - 20		6,6		3,01
	20 - 30		6,2		2,47
	30 - 40		6,15		2,85
	40 - 50		6,45		2,73

a, b y c = Ordenes de suelos, a\*, b\* y c\* = familias de suelos

Los resultados del proceso de erosión del suelo en la zona nor-occidental de la provincia de Bolívar, revelaron que los principales agentes erosivos actuantes, determinan el en él su perfil formativo, corroborándose el fundamento teórico de Dixon (2015), la formación del suelo implica fundamentalmente la transformación de material de origen. Los suelos se forman y cambian con el tiempo, y cómo los factores formadores del suelo interactúan para producir la variabilidad en las propiedades del suelo.

## CONCLUSIONES

Los suelos en las comunidades estudiadas experimentan dos tipos de erosión superficial básica: la erosivo-denudativa y la erosiva. De conformidad a la estructura del suelo y su topografía; las acequias, cañadas y cursos de aguas correspondientes a la zona hidrodinámica de circulación superficial representan las vías de drenaje y evacuación de los productos generados por erosión, realizando una diferenciación geográfica de la cobertura.

**Conflicto de intereses:** Los autores declaran que no tienen conflicto de intereses.

## REFERENCIAS

- Araya T., Nyssen J., Govaerts B., Deckers J., Sommer R., Bauer H., Gebrehiwot K., Cornelis W. 2016. Seven years resource-conserving agriculture effect on soil quality and crop productivity in the Ethiopian drylands. *Soil & Tillage Research*. 163: 99–109.
- Balanta O., Pantoja A., Castillo J. 2013. Validación del método Walkley y Black para valoración de suelos contaminados con carbono orgánico. *Ingenium*. 7(16): 73-77.
- Barrera V., Cárdenas F., Monar C. 2008. Diagnostico participativo con enfoque de género para la subcuenca hidrográfica del río Chimbo. INIAP-SANREM CRSP-SENACYT. Quito, Ecuador. p 87.
- Baruck J., Nestroy O., Sartori G., Baize D., Traidl R., Vrščaj B., Bräm E., Gruber F., Heinrich K., Geitner C. 2015. Soil classification and mapping in the Alps: The current state and future challenges. *Geoderma*. 30: 1-20.
- Blum W.E. 2013. Soil and land resources for agricultural production: General trends and future scenarios - A worldwide perspective. *International Soil and Water Conservation Research*. 1(3):1-14.
- Camargo-García J., Dossman M., Rodríguez J., Arias L., Galvis-Quintero J. 2012. Cambios en las propiedades del suelo, posteriores a un incendio en el Parque Nacional Natural de Los Nevados, Colombia. *Acta Agronómica*. 61(2): 151-165.

- Comino J., Iserloh T., Lassu T., Cerdá A., Keestra S.D., Prosdocimi M., Brings C., Marzen M., Ramos M.C., Senciales J.M., Ruiz-Sinoga J.D., Seeger M., Ries J.B. 2016. Quantitative comparison of initial soil erosion processes and runoff generation in Spanish and German vineyards. *Science of the Total Environment*. 565: 1165–1174.
- Correa W., Mello C., Chou S., Curi N., Norton L.I. 2016. Soil erosion risk associated with climate change at Mantaro River basin, Peruvian Andes. *Catena*. 147: 110–124.
- Deng M., Bellingrath-Kimura S., Zeng L., Hojito M., Zhang T., Yoh M. 2015. Evaluation of N environmental risks on Andosols from an intensive dairy farming watershed using DNDC. *Science of the Total Environment*. 512–513: 659–671.
- Díaz C. 2011. Alternativas para el control de la erosión mediante el uso de coberturas convencionales, no convencionales y revegetalización. *Ingeniería e Investigación*. 31(3): 80-90.
- Dixon J. 2015. Soil Morphology in the Critical Zone: The Role of Climate, Geology, and Vegetation in Soil Formation in the Critical Zone. *Developments in Earth Surface Processes*. 19: 147 – 172.
- Dolgov S. 1966. Métodos agrofísicos de investigación de los Suelos. (En ruso). Miesniereba, Tibilisi. p150.
- Ebrahimi M., Khosravi H. y Rigi M. 2016. Short-term grazing exclusion from heavy livestock rangelands affects vegetation cover and soil properties in natural ecosystems of southeastern Iran. *Ecological Engineering*. 95: 10–18.
- Gómez A., Alarcón H. 1975. Erosión, Manual de Conservación de Suelos de Ladera. Federación Nacional de Cafeteros de Colombia.
- Kneisel C., Emmert A., Polich P., Zollinger B., Egli M. 2015. Soil geomorphology and frozen ground conditions at a subalpine talus slope having permafrost in the eastern Swiss Alps. *Catena* 133: 107–118.
- Latocha A., Szymanowski M., Jeziorska J., Stec M., Roszczewska M., 2016. Effects of land abandonment and climate change on soil erosion—An example from depopulated agricultural lands in the Sudetes Mts., SW Poland. *Catena*. 145: 128–141
- Ollobarren P., Capra A., Gelsomino A., La Spada C. 2016. Effects of ephemeral gully erosion on soil degradation in a cultivated area in Sicily (Italy). *Catena*. 145: 334–345
- Perdrial J., Thompson A., Chorover J. 2015. Soil Geochemistry in the Critical Zone: Influence on Atmosphere, Surface- and Groundwater Composition. *Developments in Earth Surface Processes*. 19: 173 – 201.
- Porta J., López-Acevedo M., Roquero C. 2003. Edafología para la agricultura y el medio ambiente. 3ra Edición. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España. p 960.
- Poulenarda J., Podwojewski P., Herbillon A. 2003. Characteristics of non-allophanic Andisols with hydric properties from the Ecuadorian páramos. *Geoderma*. 117: 267–281.
- Stromsoe N., Marx S., Callow N., McGowana H., Hejnis H. 2016. Estimates of late Holocene soil production and erosion in the Snowy Mountains, Australia. *Catena*. 145: 68–82.
- Thompson L., Troeh F. 2004. Los suelos y su fertilidad. 4ta edición. Barcelona, España.
- Willard H., Merrit L., Dean J. 1974. Instrumental methods of analysis. 5th edition. Van Nostrand.
- Zi T., Kumar M., Kiely G., Lewis C., Albertson J. 2016. Simulating the spatio-temporal dynamics of soil erosion, deposition, and yield using a coupled sediment dynamics and 3D distributed hydrologic model. *Environmental Modelling & Software*. 83: 310 – 325.

