



UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA

La Universidad Católica de Loja

ÁREA BIOLÓGICA Y BIOMÉDICA

TÍTULO DE INGENIERO EN GESTIÓN AMBIENTAL

Relación entre la conductividad eléctrica y las propiedades químicas del suelo a nivel de planta a lo largo de una gradiente altitudinal en la Zona Sur del Ecuador.

ARTÍCULO ACADÉMICO

AUTOR(A): Villarreal Ayala, Verónica Soledad

DIRECTOR(A): Jiménez Álvarez, Leticia Salomé, Ph. D.

CENTRO UNIVERSITARIO TULCÁN

2018



Esta versión digital, ha sido acreditada bajo la licencia Creative Commons 4.0, CC BY-NC-SA: Reconocimiento-No comercial-Compartir igual; la cual permite copiar, distribuir y comunicar públicamente la obra, mientras se reconozca la autoría original, no se utilice con fines comerciales y se permiten obras derivadas, siempre que mantenga la misma licencia al ser divulgada. <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/deed.es>

Loja, mayo del 2018

APROBACIÓN DE LA DIRECTORA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Doctora.

Leticia Salomé Jiménez Álvarez

DOCENTE DE LA TITULACIÓN

De mi consideración:

El presente artículo académico: “Relación entre la Conductividad Eléctrica y las Propiedades Químicas del suelo a nivel de planta a lo largo de una gradiente altitudinal en la Zona Sur del Ecuador” realizado por Villarreal Ayala Verónica Soledad ha sido orientado y revisado durante su ejecución, por cuanto se aprueba la presentación del mismo.

Loja, marzo de 2018

.....

DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS

“Yo Villarreal Ayala, Verónica Soledad, declaro ser autor(a) del presente artículo académico : “Relación entre la conductividad eléctrica y las propiedades químicas del suelo a nivel de planta a lo largo de una gradiente altitudinal en la Zona Sur del Ecuador”, de la Titulación de Gestión Ambiental, siendo Jiménez Álvarez, Leticia Salomé director (a) del presente trabajo; y eximo expresamente a la Universidad Técnica Particular de Loja y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales. Además certifico que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo son de mi exclusiva responsabilidad.

Adicionalmente, declaro conocer y aceptar la disposición del Art. 88 del Estatuto Orgánico de la Universidad Técnica Particular de Loja que en su parte pertinente textualmente dice: “Forman parte del patrimonio de la Universidad la propiedad intelectual de investigaciones, trabajos científicos o técnicos y tesis de grado que se realicen a través, o con el apoyo financiero, académico o institucional (operativo) de la Universidad”.

Autor : Villarreal Ayala Verónica Soledad

C.I. : 0401483557

DEDICATORIA

El presente trabajo se lo dedico a mi madre Irma Alexandra Ayala Guerrón quien con su fortaleza y apoyo ha sabido guiarme y apoyar cada uno de mis sueños, por ser una guerrera y no desfallecer nunca ante las adversidades; a mis hijos James y Emily, mi fuerza e inspiración quien me ha llevado asumir este reto tan importante en mi vida; a mi abuelita Martha Guerrón mi amiga e incondicional a quién le debo mi gratitud y esfuerzo, es por ellos que hoy día soy mejor madre y persona.

Villarreal Ayala Verónica Soledad

AGRADECIMIENTOS

Agradecer en primer lugar a Dios por obrar en mi vida de tal manera que hoy en día me ha llevado a lograr un gran sueño y por bendecirme en el día a día.

A mi familia por su apoyo incondicional.

A mi novio por sus consejos, preocupación, su amor incondicional y ayuda en este camino académico.

A mi Directora de Titulación, Dra. Leticia Salomé Jiménez Álvarez por la gran ayuda, consejos y guía, aportando sus conocimientos y experiencias en la realización de mi trabajo.

Al Doctor Juan Ignacio Burneo por facilitar mi experiencia en el laboratorio con sus explicaciones y paciencia.

Y expresamente agradezco a la Universidad Técnica Particular de Loja por facilitar sus instalaciones para la realización de mi proyecto.

Villarreal Ayala Verónica Soledad

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CONTENIDOS	Páginas
Carátula	i
Aprobación del director del trabajo de titulación	ii
Declaración de autoría y cesión de derechos	iii
Dedicatoria	iv
Agradecimientos	v
Índice de contenidos, cuadros, tablas o gráficos	vi
1. RESUMEN	1
2. ABSTRACT	2
3. INTRODUCCIÓN	3
 	5
4. MATERIALES Y MÉTODOS	5
4.1. Área de Estudio	5
4.2. Diseño y Método del Muestreo	6
4.3. Análisis de Laboratorio	6
4.4. Análisis Estadístico	7
 	8
5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	8
6. CONCLUSIONES	16
7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	17
Índice de tablas y figuras	
Tabla 1. Propiedades del suelo a lo largo de un gradiente altitudinal	10
Tabla 2. Coeficientes de correlación de Spearman entre las variables del área de estudio. Niveles de significación del 95 % * y del 99 % **.	10
Figura 1. Ubicación del matorral seco, en el cantón Catamayo Provincia de Loja.	5
Figura 2. Representación de las Clases texturales encontradas en la zona de estudio (fuente: USDA)	8

RESUMEN

Este estudio examinó la relación entre la conductividad eléctrica y la materia orgánica con las propiedades del suelo a nivel de la planta *Vachellia macracantha* (Humb. & Bonpl. ex Willd.) Seigler & Ebinger, a lo largo de una gradiente altitudinal en matorral seco, ubicado al sur de Ecuador en el sector de Catamayo. En el área de estudio se definieron cuatro pisos altitudinales (1200, 1400, 1600 y 1800 m.s.n.m); en cada gradiente se identificaron 20 árboles de *Vachellia macracantha*; con un total de 80 árboles, de los cuales se tomaron muestras de suelo y fueron determinadas las principales propiedades edáficas como textura, densidad aparente, humedad, pH, carbono, nitrógeno, fósforo, bases, conductividad eléctrica. Los resultados nos indican que las propiedades edáficas muestreadas a nivel de planta varían con la altitud. La conductividad eléctrica y la materia orgánica se relacionaron positivamente con algunas de las propiedades físico – químicas tales como: humedad, pH, N, P, Ca, Mg y Na del suelo a nivel de planta y de la altitud. Sorpresivamente el potasio, calcio y magnesio no se relacionaron con la conductividad eléctrica a lo que se atribuye la liberación de los mismos por causas como la lixiviación del dosel, la exudación de raíces, muerte y descomposición de raíces y organismos del suelo los cuales se relacionan con la textura del suelo y su estructura. Conocer las propiedades edáficas nos permite conocer la fertilidad de los suelos, punto base para la conservación del recurso edáfico.

Palabras claves: cationes base, pH, propiedades químicas.

ABSTRACT

This study examined the relationship between electrical conductivity and organic matter with soil properties at the level of the plant *Vachellia macracantha* (Humb. & Bonpl.ex Willd.) Seigler & Ebinger, along an altitudinal gradient in dry scrub, located south of Ecuador in the Catamayo sector. In the study area four altitudinal floors were defined (1200, 1400, 1600 and 1800 m.s.n.m); in each gradient, 20 trees of *Vachellia macracantha* were identified; with a total of 80 trees, from which soil samples were taken and the main edaphic properties such as texture, bulk density, humidity, pH, carbon, nitrogen, phosphorus, bases, electrical conductivity were determined. The results indicate that the edaphic properties sampled at the plant level vary with altitude. Electrical conductivity and organic matter were related. Electrical conductivity and organic matter were positively related to some of the physical and chemical properties such as: humidity, pH, N, P, Ca, Mg and Na of the soil at the plant level and of the altitude. Surprisingly potassium, calcium and magnesium were not related to the electrical conductivity to which the release of them is attributed to causes such as canopy leaching, root exudation, death and decomposition of roots and soil organisms which are related with the texture of the ground and its structure. Knowing the edaphic properties allows us to know the fertility of the soils, base point for the conservation of the edaphic resource.

Keywords: base cations, pH, chemical properties.

INTRODUCCIÓN

La provincia de Loja ubicada al sur del Ecuador forma parte del Bosque Seco Ecuatorial, lo que la ha convertido en poseedora de ecosistemas tanto de la vertiente occidental como oriental de los Andes, constituyéndose en una de las zonas más interesantes, desde el punto de vista biológico (Aguirre & Delgado, 2005). Cuenta con valles secos como el de Catamayo, cuya vegetación presenta distribución parchada dentro de una matriz de suelo, la vegetación está dominada por un complejo de arbustos de hoja perene (*Croton spp. aff. thurifer Kunth* y *Croton sp. aff. ferrugineus Kunth*) de hasta 2 m de altura, cubriendo el 40% de la cobertura total y formando parches intercalados sobre toda el área. Otras especies comunes son: *Euphorbia weberbaueri Mansf., Repert. Spec* y *Acacia macracantha* Humb. & Bonpl. ex Willd (Castillo & Benítez, 2015). En los bosques secos la densidad, la diversidad y la continuidad del dosel arbóreo se va perdiendo a medida que el periodo seco se va extendiendo, hasta dar paso a lo que se conoce como tierras secas (Maestre *et al.*, 2011).

La mayor parte de familias de plantas de los bosques secos aparecen bien representadas, la familia dominante en la mayoría de los bosques estudiados en regiones muy diferentes es la Fabaceae, representada por un gran número de géneros y especies, y siempre con abundancias muy elevadas a nivel local (Linares-Palomino & Ponce-Álvarez, 2005; Pérez-García *et al.*, 2010; Linares-Palomino *et al.*, 2010; Meira-Arruda *et al.*, 2011). En los valles secos de Catamayo ubicados en la provincia de Loja, se constata la presencia de la familia Fabaceae representada por la especie *Vachellia macracantha* (Humb. & Bonpl. ex Willd.) Seigler & Ebinger. En este valle el fenómeno de la desertificación se ve más acentuado en los extremos occidentales y suroccidental, el cual se debe entre otras causas al paso que la cuenca del Catamayo permite el paso del aire cálido y seco desde el desierto del sur.

Varios estudios han mostrado la importancia de la variación topográfica en la distribución de plantas en los bosques secos (Balvanera & Aguirre 2006; Alvarez-Yepiz *et al.*, 2008; Espinosa *et al.*, 2011), identificándose también gradientes de diversidad asociados a la altitud, al menos a escalas regionales (Trejo & Dirzo 2002; Espinosa *et al.*, 2011). Los efectos de la topografía están asociados a la generación de heterogeneidad a pequeña escala, ligada en última instancia a la disponibilidad de agua y nutrientes; así, las zonas con mayor pendiente poseen menor disponibilidad de agua, luz y una capa de suelo menos profunda, lo que permite explicar por qué a escalas locales la diversidad se reduce con el aumento de la pendiente (Linares-Palomino *et al.*, 2010; Espinosa *et al.*, 2011). El suelo es un objeto muy difícil de caracterizar, por cuanto muchas de sus propiedades relevantes varían de forma acusada en el espacio y en el tiempo (Porta *et al.*, 2009; Seoane, 2013).

Entre las propiedades edáficas se mencionan el contenido de materia orgánica, potasio (K) intercambiable, fósforo (P) disponible, magnesio (Mg) intercambiable, textura, conductividad eléctrica y pH (Kravchenko *et al.*, 2003; Kaspar *et al.*, 2004; Terra *et al.*, 2010), estas propiedades están claramente asociadas con la salinidad del suelo, su estimación y predicción espacial representan un especial interés científico, para nuevas aplicaciones agrícolas o ambientales (Allaire *et al.*, 2015). Indicadores importantes del comportamiento químico de todos los suelos, incluidos los suelos forestales, son el pH, capacidad de intercambio catiónico, capacidad intercambio aniónico, porcentaje de saturación de base intercambiable, porcentaje de sodio, conductividad eléctrica y potencial redox. Estos índices caracterizan los suelos forestales y afectan el crecimiento y la distribución de las especies de árboles forestales (Osman, 2013).

La conductividad eléctrica del suelo (CE), ha sido muy utilizada con el fin de caracterizar la variabilidad espacial de las principales propiedades del suelo (Sudduth *et al.*, 2005). Por ejemplo hay una relación positiva entre CE y los atributos del suelo pH, textura, capacidad de intercambio catiónico, capacidad intercambio aniónico, porcentaje de saturación de base intercambiable, porcentaje de sodio etc. (McBride *et al.*, 2014); además esta relación se confirma con la actividad forestal.

Los nutrientes de las plantas como Ca, Mg, K, P y S están presentes en los minerales, como complejos absorbidos y en la solución del suelo. La solución del suelo es entidad dinámica, por lo tanto, los iones se eliminan continuamente de la solución de suelo por raíces de plantas, al mismo tiempo los iones se transportan a través del suelo hacia las aguas subterráneas, o son eliminados a través de los procesos de escorrentía superficial. Los microorganismos pueden eliminar los iones de la solución del suelo y cuando mueren y se descomponen, los iones se liberan a la solución del suelo (Sparks, 2003).

No hemos encontrado información sobre las propiedades del suelo en relación a los árboles individuales de *Vachellia macracantha* a nivel de una gradiente altitudinal, que permita conocer las características edáficas a nivel local. Por esa razón, el objetivo de este estudio es establecer la relación entre la conductividad eléctrica y la materia orgánica con las propiedades del suelo a nivel de planta a lo largo de una gradiente altitudinal en la Zona Sur del Ecuador, debido a que estos parámetros edáficos a nivel de campo parecen ser una herramienta útil para la descripción del estado general del suelo (Johnson, 2001).

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El estudio se realizó en una zona de matorral seco, sector conocido como “Alamala” del cantón Catamayo, provincia de Loja. El rango altitudinal se extiende desde los 1200 a 1800 msnm, entre las coordenadas 03° 58' 29" de latitud sur y 01° 25' 22" de longitud oeste. La estacionalidad del sector influye directamente en la riqueza de especies, el 50 % de las especies reportadas para el sitio de estudio, emergen solamente en la época lluviosa (diciembre – mayo). La mayoría de especies son arbustos (incluida la especie en análisis *Vachellia macracantha*), aunque existen al menos 12 especies de árboles con individuos muy dispersos, el 50% de las especies encontradas son hierbas (Ginocchio, 2005). La temperatura media es de 20 °C, con precipitaciones medias anuales alrededor de 600 mm. El déficit hídrico varía entre 6 y 9 meses del año, en valores entre 200 y 600 mm de lluvia anuales (Ginocchio, 2005). Generalmente los suelos sobre los cuales se desarrollan son franco arenosos, con pH entre 7,09 y 8,27 considerados como alcalinos (Castillo-Monroy *et al.*, 2016). En general el relieve del cantón Catamayo es irregular, limitado por un sistema montañoso alargado, que se extiende en dirección noreste suroeste (Galindo, 1998). Conforme se avanza del valle hacia las laderas circundantes el relieve, comienza a tornarse cada vez más irregular evidenciándose pendientes montañosas en el 15 % del territorio cantonal, y pendientes mayores a 70 % en el 60% del área (Espinosa, 1997).

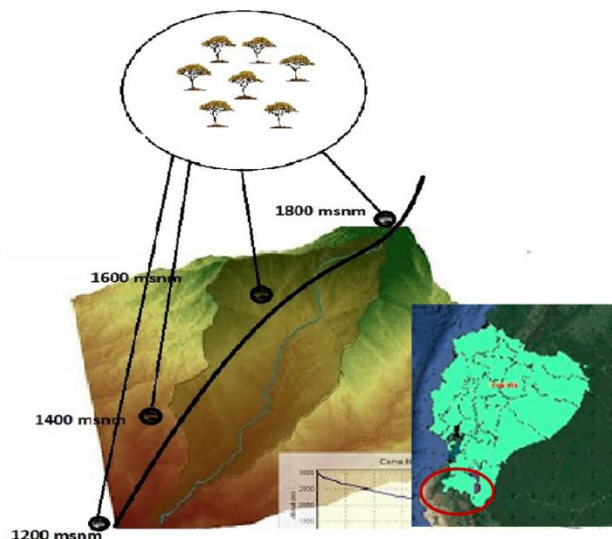


Figura 1. Ubicación del matorral seco, en el cantón Catamayo Provincia de Loja.

Fuente: Sierra, R. (1999).

Elaborado por: Verónica Villarreal

Diseño y método de muestreo

En el área de estudio se definió cuatro pisos altitudinales 1200, 1400, 1600 y 1800 msnm como lo indica (Burt, 2004). En cada piso se identificaron aleatoriamente 20 árboles de *Vachellia macracantha* (antes *Acacia macracantha*), con un total de 80 árboles (Fig. 1). Mientras que la distancia del fuste fue estudiada bajo tres niveles: uno, dos y tres metros.

Se seleccionaron 20 árboles por cada altitud; de los cuales diez de ellos fueron árboles con un DAP mayores a 5 cm de altura y diez con un DAP menor a 5 cm (en total se seleccionaron 80 árboles).

Para la selección de los individuos forestales se consideró que la distancia entre los árboles sea de al menos 6 m. El muestreo de suelos por cada árbol se lo realizó tomando una submuestras en cuatro direcciones (norte, sur, este y oeste) desde el fuste del árbol. Las submuestras fueron mezcladas para formar una muestra compuesta por cada distancia, obteniéndose un total de en total de 240 muestras compuestas de suelos.

Las submuestras fueron tomadas a 20 cm de profundidad con un barreno y para la densidad aparente se utilizó un anillo muestreador, tomando en cuenta la actividad agropecuaria de la zona se procedió a tomar las muestras con mucho cuidado debido a la presencia de excretas del ganado vacuno con la finalidad de evitar errores en el laboratorio, las muestras fueron tomadas en época seca.

Análisis de Laboratorio

Los análisis físico-químicos se realizaron en el Laboratorio de Química de suelos de la Universidad Técnica Particular de Loja. Las muestras se secaron al aire y se tamizaron en un tamiz (> 2 mm). La textura se determinó por el método del hidrómetro, la densidad aparente se realizó utilizando el método del cilindro (peso sobre volumen) y la humedad del suelo a través del método gravimétrico.

El pH del suelo se midió utilizando una solución de 5 g de suelo en 25 ml de agua por el método de (Suspensión y determinación Potenciométrica). El carbono se lo determinó a través del método de ignición, el nitrógeno se analizó a través del método de Kjeldahl. El fósforo se realizó mediante el método de Bray y Kurtz. También se analizó los respectivos cationes presentes en las muestras de suelo guiados por el método de BaCl₂(Hendershot *et al*, 1986). El análisis de los cationes Ca, Mg, K, y Na se realizaron por espectrofotometría de absorción atómica (Perkin Elmer Analyst 400) y el análisis de conductividad eléctrica se llevó a cabo por el método del conductímetro, en una solución de 5 g en 25 ml de agua destilada (Vogeler & Clothier ,1996).

Análisis estadístico

Para determinar si existieron diferencias estadísticas entre las características físicas y químicas del suelo según los pisos altitudinales, se utilizó la prueba de Kruskal-Wallis ($P < 0,05$); la relación entre la conductividad eléctrica y la materia orgánica del suelo con las otras propiedades edáficas (Densidad aparente, porcentaje humedad, pH, nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio, sodio) fue determinada por análisis de correlación de Spearman ($P < 0,05$).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La textura del suelo es una propiedad clave que afecta muchos procesos en el medio ambiente edáfico (Sparks, 2003). Las clases texturales en la zona de estudio cambian a lo largo del gradiente altitudinal (figura 2), en la zona de 1200 msnm el suelo presentó textura franco arenoso, en cambio entre los 1400 y 1600 msnm se localizó textura franco arcilloso, pero a medida que se incrementa la altitud cambia la textura del suelo observando suelos franco arcillosos y arcillosos, éste claro patrón altitudinal podría ser el resultado de una fuerte meteorización que implica una mayor lixiviación (Zehetner & Miller, 2006). Los porcentajes más altos de limo y arcilla en las zonas más altas proporcionan mejores condiciones para retener el agua y por lo tanto para el desarrollo de la vegetación. Muenchow *et al.* (2013) encontraron que la textura del suelo es una de las propiedades más importantes en los ambientes áridos que afectan a la vegetación. La textura del suelo a 1200 msnm presentó más arena que los suelos a mayor altitud, este hecho influye en su drenaje, aireación y habilidad para retener nutrientes (Plaster, 2000). Schawe *et al.* (2006) también encontró la misma tendencia en un estudio realizado a lo largo de una gradiente climática en Bolivia.

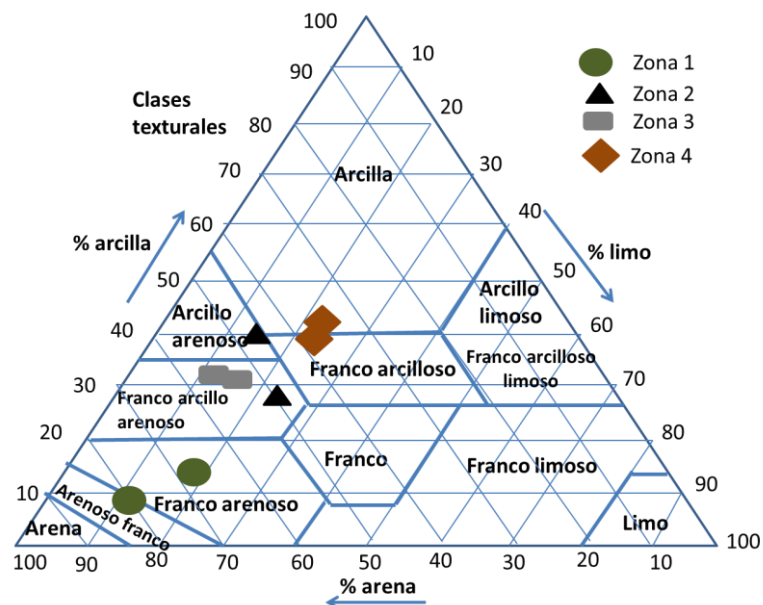


Figura 2. Representación de las Clases texturales encontradas en la zona de estudio.

Fuente: McBride, A.; Gordon, M.; Shrive, C. (2014).

Elaborado por: Leticia Jiménez

Los valores más bajos de la Da se observaron a 1800 m.s.n.m, esta Da se incrementó a medida que disminuyó la altitud hasta 1400 msnm, luego se observó un ligero incremento en la altitud más baja (tabla.1). En general, se observó que la Da en los suelos arcillosos fue

menor que en los suelos francos, es bien sabido que suelos arcillosos retienen más MO que suelos arenosos, a pesar de haber sido sometidos al mismo aporte de materia orgánica (Jenkinson, 1988; Amato & Ladd, 1992; Hassink, 1994), lo cual se explica porque esas zonas presentaron mayor contenido de materia orgánica. La textura de los suelos, originan estructuras diferentes en cuanto a porosidad y agregación, que dan lugar a posibles problemas de: endurecimiento, aireación, capacidad de retención hídrica, permeabilidad, etc. (Lacasta & Meco 2005). Por otra parte el agua, esencial tanto para la producción vegetal como para la actividad biológica edáfica, depende de la capacidad del suelo para almacenarla y está dominada por las texturas, su capacidad para conducirla depende en gran medida de la estructura. En consecuencia, los factores principales a los que cabe atribuir la disminución de la porosidad total son, por un lado, la reducción del contenido de materia orgánica hasta niveles que puedan determinar la eventual inestabilidad de los agregados, estos resultados, que están de acuerdo con los presentados por Guerif & Paz (1989) y Guerif (1993). De acuerdo con ello, los suelos más ricos en materia orgánica presentarían, a priori, mayor aptitud para la fragmentación y para el manteniendo o regeneración de una estructura de buena calidad se han interpretado como una consecuencia de la presencia de partículas de materia orgánica libre que actuarían sobre la arquitectura de los agregados de un modo similar a las partículas de arena y limo, modificando la organización textural en el sentido de incrementar el volumen ocupado por los poros. Se observó asociación negativa entre la densidad aparente y la materia orgánica (MO) (tabla 2), es decir, a mayor contenido de materia orgánica menor densidad aparente. Si tenemos un suelo más denso será más compacto, por lo tanto menos poroso. García & Schlatter (2012) también reportaron en suelos a lo largo de una gradiente altitudinal en Ecuador que a mayor contenido de carbono menor densidad aparente.

En la gradiente altitudinal el pH osciló entre 7,47 y 8,05, presentando el valor más alto a los 1600 msnm (Tabla 1), lo que conlleva a demostrar que el suelo en las diferentes altitudes es ligeramente alcalino. Consentino & Constantini (2000) afirman que si el pH del suelo se encuentra en el rango óptimo la mayoría de los nutrientes mantiene su máximo nivel de solubilidad, por debajo de este rango, pueden presentarse deficiencias de nitrógeno, potasio, calcio y magnesio; mientras que por encima, puede disminuir la solubilidad del hierro, fósforo, manganeso, zinc y cobre. El pH controla las reacciones químicas que determinan si los nutrientes van a estar o no disponibles (solubles o insolubles) para su absorción. No hay diferencias importantes del pH; sin embargo, a lo largo del gradiente altitudinal el pH es ligeramente mayor a los 1600 msnm (tabla 1). Según Benavides (2000) esto se debe al efecto de la materia orgánica y la meteorización. Esos resultados podrían darse por la correlación negativa entre la MO y el pH, a mayor contenido de MO menor pH

debido a que en el proceso de descomposición de la materia orgánica se forman ácidos tanto orgánicos como inorgánicos (Iñiguez, 1999).

Tabla 1. Propiedades del suelo a lo largo de un gradiente altitudinal.

Propiedades del suelo	Gradiente altitudinal			
	1200	1400	1600	1800
Da g/cc	1,24±0,19ab	1,30±0,25c	1,17±0,24b	0,99±0,24a
Humedad %	3,68±1,55a	4,45±2,13b	9,95±3,03c	11,03±3,73c
pH	7,91±0,63b	7,47±0,50a	8,05±0,43b	7,67±0,42a
MO %	3,27±0,61a	5,09±0,85b	4,67±2,04b	8,14±2,03c
N %	0,17±0,02a	0,20±0,02b	0,22±0,06b	0,28±0,06c
P ppm	23,88±12,50b	19,24±5,69a	18,45±8,84a	19,15±6,43a
K ppm	4,60±3,80a	6,93±3,27bc	8,87±4,92c	5,73±4,08ab
Ca ppm	44,67±22,31a	71,38±10,50c	72,53±29,08a	103,78±32,18c
Mg ppm	2,46±1,30a	10,02±1,81c	3,32±3,05a	7,17±2,96b
Na ppm	11,09±8,47a	10,77±10,65a	8,56±5,49a	10,49±12,19a
CE uS/cm	1091,57±776b	113,45±39a	205,35±51a	224,69±65a

Fuente: Laboratorio de Química Aplicada de la Universidad Técnica Particular de Loja (UTPL), 2017

Elaborado por: Verónica Villarreal

En cuanto al porcentaje de materia orgánica (MO) se encontró diferencias estadísticas a nivel del gradiente altitudinal, a excepción de las altitudes de 1400 y 1600 msnm, a medida que se incrementó la altitud se incrementó la materia orgánica. Ese incremento de la MO con la altitud fue asociado a una disminución de la temperatura fundamentalmente para las regiones altas, superiores a 1800 msnm (Nanzyo, 2002).

Tabla 2. Coeficientes de correlación de Spearman entre las variables del área de estudio. Niveles de significación del 95 % * y del 99 % **.

Variables	Da	Humedad	pH	MO	N	P	K	Ca	Mg	Na
CE	-0,157* 0,015	0,046 0,481	0,113 0,080	-0,187** 0,004	-0,080 0,216	- 0,047 0,472	-0,34 0,600	-0,72 0,268	-0,466** 0,001	0,073 0,259
MO	-0,368** 0,001	0,530** 0,001	- 0,143* 0,027	-	0,700** 0,001	0,034 0,602	- 0,046 0,479	0,598** 0,001	0,498** 0,001	-0,50 0,439

Fuente: Laboratorio de Química Aplicada de la Universidad Técnica Particular de Loja (UTPL), 2017.

Elaborado por: Verónica Villarreal

Resultados similares se encontraron en diferentes pisos altitudinales con una variación en la altitud de aproximadamente 400 msnm en la Península de Paraguaná en Venezuela (Mogollón *et al.*, 2015). Relaciones similares encontraron entre la altitud y el carbono orgánico del suelo (Mogollón *et al.* 2015). La disminución de la MO con la altitud en el matorral seco (tabla 2), podría darse porque a medida que cambia el gradiente cambian también la temperatura y precipitación. Datos registrados del 2014 (Castro & Espinoza,

2016) demuestran que la temperatura varía en aproximadamente 2,58 °C disminuyendo ésta variable climática desde la altitud de 1200 a 1800 msnm, esto concuerda con otros estudios en donde por cada 10 °C de incremento de temperatura, la tasa de descomposición de la materia orgánica se duplica (Schawe *et al.*, 2006, Hart & Perry, 1999; Zehetner *et al.*, 2003; Kane *et al.*, 2005). Se observó un patrón diferente para la precipitación, reportando los valores más altos a mayor altitud y los valores más bajos a los 1200 msnm, esa variación fue de aproximadamente 180 mm/anuales. Otro factor que pudo influir es la textura del suelo, así lo reporta Bechtold & Naiman (2006), quienes encontraron que el almacenamiento de carbono total y nitrógeno total están fuertemente relacionados a la concentración de partículas finas, así se pudo evidenciar en la zona de estudio, en las lugares en donde se incrementó la arcilla se observó los mayores valores de materia orgánica.

Se encontraron los valores más bajos de densidad aparente en las zonas que presentaron mayor contenido de materia orgánica, reflejando el bien conocido efecto positivo de la MOS sobre esta propiedad (Archie, 1942). Otra característica edáfica que mostró correlación positiva es la humedad del suelo, a mayor MOS mayor humedad, debido a que la materia orgánica puede almacenar varias veces su peso en agua. Por otro lado, fuerte asociación positiva se encontró entre la materia orgánica y el N, Ca y Mg, probablemente porque en la transformación de la materia orgánica se libera estos elementos y si existe mayor cantidad de MO habrá mayor contenido de los parámetros mencionados (tabla 2).

Los valores de nitrógeno (N) oscilaron entre de 0,17 a 0,28 %; presentando valores similares en 1400 y 1600 m de altura, con un incremento a los 1800 msnm y un decremento a los 1200 msnm. Se observó una tendencia similar de la materia orgánica con el nitrógeno, estos dos parámetros se incrementaron con la altitud, los valores más bajos de N coinciden con el porcentaje de materia orgánica más bajos, a diferencia de los valores de temperatura más altas, sumado a la textura arenoso podrían aumentar la velocidad de mineralización de la materia orgánica del suelo y una mayor proporción de compuestos nitrogenados los cuales podrían perderse por lixiviación (Navarro & Navarro, 2000).

A los 1200 msnm presentó diferencias significativas con las otras zonas, el valor más alto del fósforo en la zona más baja podría darse porque existe menor cantidad de precipitación con una menor lixiviación. Campo *et al.*, (1998) mencionan que el fósforo del suelo se inmoviliza en respuesta a eventos de precipitación que puede evitar la pérdida de nutrientes, además sugiere que los mecanismos de retención de P son menos eficientes durante la estación seca y el aumento de humedad del suelo, como sucede en las zonas más altas podría facilitar la toma del P por parte de las plantas. De forma similar, en las zonas más

altas presentaron mayor porcentaje de materia orgánica lo que origina una alta población de microorganismos, quienes utilizan el fósforo para el desarrollo de su ciclo vital, lo que retiene temporalmente parte del fósforo que luego podría ser utilizado por el cultivo (Navarro & Navarro 2000).

El potasio (K) analizado presentó un rango de valores que va desde 4,60 a 8,87 ppm, presentando el valor más bajo en la zona de 1200 msnm, incrementando su máximo valor hasta llegar a la zona de 1600 msnm para luego reportar un decremento en este parámetro en la altitud de 1800 msnm. Los valores más altos se los encontró en los lugares con textura franco arcilloso y el menor valor se reportó en la zona con textura arenosa (1200 msnm). Así para Zamudio *et al.* (2007) y Ramírez & Rodríguez (1999), la disminución de los niveles de K se asocia con la textura del suelo, con predominio de partículas gruesas, donde el nutriente tiende a perderse por lixiviación. Lo contrario ocurre en los suelos arcillosos que favorecen la retención del potasio y no permiten que se pierda fácilmente por lavado (Arias *et al.*, 2010), además el K no siempre presenta “dependencia espacial definida” lo que indica que la distribución del K en el suelo es aleatoria (Garzón *et al.*, 2010), esto se comprobó con los resultados de nuestro estudio.

Observamos un aumento progresivo de los niveles de calcio, en un rango de 44,67 a 103,78 ppm, conforme la altitud se acrecienta. Esto podría darse por el mayor porcentaje de arcilla y limo presente en estas zonas (García & Schlatter, 2012), además del contenido de materia orgánica que presentan estos suelos a medida que se incrementa la altitud, evitando la lixiviación de este nutriente.

El magnesio es suficiente en la mayoría de los suelos, pero puede ser deficiente en suelos arenosos, donde se pueden lixiviar fácilmente (Harris *et al.*, 1999). Este nutriente no presentó mayor variación respecto a la altitud, observando que no sigue algún patrón específico. Tal como podemos ver en la tabla 1 los pisos 1200 y 1600 msnm no presentan diferencias significativas entre ellos, pero si con el piso 1400 y 1800, así mismo podemos indicar que el piso donde se observó mayor acumulación de Mg fue a los 1400 msnm, mostrando significancia estadística frente a los demás. El rango de valores reportado en nuestro estudio está entre los 2,32 a 10,02 ppm. Pritchett & Fisher (1987), García & Schlatter (2012) observaron una clara tendencia del aumento de magnesio y potasio a menores altitudes, lo relacionaron con la arcilla y limo presentes. Aunque en nuestro trabajo se reportaron los mayores valores de calcio y de manera menos marcada el magnesio y

potasio a medida que se incrementó la altitud, presentando diferencia significativa estadística a nivel de gradiente, ello coincidió con los suelos con mayor porcentaje de arcilla. El sodio (Na) presentó una tendencia opuesta a las otras bases, específicamente el calcio (tabla 1), esta característica edáfica fue mayor en la zona más baja y con incremento leve hasta la zona de 1600 msnm, no presentando diferencia significativa estadística.

La conductividad eléctrica es una de las propiedades del suelo, que están asociados con la naturaleza de la composición del suelo y estructura (Archie, 1942). Esta propiedad está influenciada por una combinación de propiedades físico-químicas como pueden ser la textura del suelo, el contenido de materia orgánica, humedad del suelo, capacidad de intercambio catiónico, salinidad, pH, Ca^{+2} y Mg^{+2} , tipos de suelo, entre otras (Corwin & Lesch, 2005; Sudduth *et al.*, 2005; Serrano *et al.*, 2010; Terrón *et al.*, 2011; Peralta *et al.*, 2013). Muenchow *et al.* (2013) sugiere que se producen los valores más bajos de conductividad eléctrica a mayor altitud. Nuestros resultados difirieron el valor más alto se encontró en la zona de 1200 m.s.n.m presentando diferencia estadística significativa con el resto de las zonas. Smith *et al.* (2002) encontraron que la conductividad eléctrica aumentó con la altitud, datos opuestos a los resultados encontrados en nuestra investigación. Una de las propiedades que parece influir en la conductividad eléctrica es la textura del suelo, coincide que los valores más altos están en las altitudes con mayor porcentaje de arcilla (1600 y 1800 msnm), sin embargo es sorprendente que en la zona de 1200 msnm se encontraran valores mucho más altos que las zonas de 1400 a 1800 msnm. Peralta *et al.* (2013), mencionó que diferencias en los valores promedios de la CE, están asociados a diferentes tipos de suelo, principalmente por la diferencia en el tamaño de partículas del suelo. Los suelos con mayor porcentaje de partículas finas tienen un importante contacto partícula-partícula y mayor número de poros pequeños que retienen agua con mayor fuerza y por más tiempo, que permiten conducir mejor la electricidad, comparado con los suelos que tiene mayor contenido de partículas de arena (Rhoades *et al.*, 1989; Farahani *et al.*, 2007; Shaner *et al.*, 2008). Encontrar diferencias significativas entre la zona de 1200 m.s.n.m frente al resto de zonas nos indica que existe acumulación de bases a lo largo de la gradiente altitudinal.

Johnson (2001) encontró una correlación positiva de la conductividad eléctrica con la densidad aparente, sin embargo en nuestro caso la correlación fue negativa; ya que la CE se ve influenciada por el contenido de agua, el de arcilla y la presencia de iones intercambiables en el suelo (Corwin *et al.*, 2005), es por ello que a las altitudes de 1600 y 1800 m.s.n.m presentaron mayor contenido de humedad y menor densidad aparente, alcanzando valores más altos de conductividad eléctrica (Samouëlian *et al.*, 2005), a

diferencia de los 1200 y 1400 m.s.n.m cuya textura influye mucho en la retención de humedad, a esto le sumamos un desbalance en el contenido de sales disueltas (Rhoades & Corwin, 1981) las cuales son difícilmente retenidas sobre todo a menores altitudes (1200 y 1400 m.s.n.m) que inciden en la capacidad de conducir la corriente eléctrica.

La humedad presentó correlación positiva con la conductividad en la mayoría de zonas a excepción de la zona 1 (1200 msnm). Se pudo determinar que la conductividad eléctrica con el pH presentaron una correlación significativa, estas correlaciones ya han sido reportadas previamente por otros autores como Molín & Nunes de Castro (2008).

Martínez *et al.*, (2009), explicaron que la correlación entre la conductividad eléctrica y la materia orgánica es debido a que la MO juega un rol significativo en el mantenimiento de las propiedades físicas del suelo, comparando con nuestro estudio obtuvimos una respuesta opuesta a tal afirmación ya que los datos registrados nos muestran una correlación negativa con respecto a la CE; los suelos ubicados en las partes altas a 1600 y 1800 m.s.n.m son los que presentaron mayor porcentaje de partículas finas debido a su textura, tienen un importante contacto partícula-partícula y mayor número de poros pequeños que retienen agua con mayor fuerza y por más tiempo, por lo que permiten conducir mejor la electricidad (Rhoades *et al.*, 1989), comparado con los suelos que tiene mayor contenido de partículas de arena los cuales se ubican a 1200 y 1400 m.s.n.m (Farahani *et al.*, 2007; Shaner *et al.*, 2008). Además, los contenidos de partículas finas están asociados positivamente con el contenido de MO del suelo responsables de la formación y estabilización de los agregados del suelo, generando poros y macroporos continuos (Lal, 2004), aumentando la capacidad de conducir la corriente eléctrica del suelo, esta inexistente correlación entre la CE y MO en nuestro estudio es debido a las diferencias en el contenido de MO a lo largo del gradiente altitudinal ya que la MO está asociada a una acumulación de nutrientes y retención de agua, factores que tienen relación directa con la CE.

La conductividad eléctrica presentó una correlación negativa baja con el calcio y alta con el magnesio. Nos parece sorprendente que se reporten correlaciones significativas negativas con el magnesio, debido a que varios trabajos reportan correlaciones generalmente positivas entre la CE y el Mg (Molín & Nunes de Castro, 2008), dado que la conductividad eléctrica es influenciada por la concentración y composición de las sales disueltas, a mayor valor de CE mayor es la salinidad presente, en este sentido se explica la negativa correlación entre el Mg y la CE debido a las deficiencias de Mg^{2+} (tabla 1) que tienden a ocurrir cuando los suelos son ácidos, arenosos, altamente lavados y con baja Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC); en suelos calcáreos el nivel de Mg^{2+} es inherentemente bajo (Havlin *et al.*, 1999). Tal como lo afirma Barber (1995) como consecuencia de la meteorización de minerales de Mg relativamente solubles, su concentración en los suelos es de tan solo 0,5%, hecho que

indica una pérdida de éste representada en $\frac{3}{4}$ partes del total. Dados los diferentes grados de meteorización y materiales parentales en los diferentes gradientes altitudinales, los contenidos de Mg^{2+} varían enormemente (Barber, 1995). Los suelos generalmente contienen menos Mg que Ca debido a que el Mg no es absorbido tan fuertemente como el Ca por los coloides del suelo y puede perderse más fácilmente por lixiviación.

CONCLUSIONES

En el matorral seco las propiedades como la textura, el porcentaje de la humedad, la densidad aparente, pH, MO, nitrógeno, fósforo, potasio, calcio y la conductividad eléctrica pueden ser un predictor del cambio del suelo a lo largo del gradiente altitudinal. Siendo uno de las más importantes la textura por su variación a nivel de la gradiente, por ello consideramos importante para futuros estudios incrementar el número de muestras analizadas en este parámetro.

En las zonas más altas se encontraron los valores más altos de humedad, materia orgánica, nitrógeno y calcio.

La conductividad eléctrica y la materia orgánica se relacionaron con algunas de las propiedades físico – químicas tales como: humedad, pH, N, P, Ca, Mg y Na del suelo a nivel de planta y de la altitud. Sorpresivamente el potasio, calcio y magnesio no se relacionaron con la conductividad eléctrica, pero si se pudo evidenciar las relaciones de la conductividad eléctrica y la materia orgánica con el resto de propiedades edáficas. Algunos nutrientes también pueden ser liberados por la lixiviación del dosel y la exudación de raíces y muerte y descomposición de raíces y organismos del suelo.

Hubo diferencias claras en la distribución vertical y horizontal de las propiedades del suelo en relación con los árboles individuales estudiados siendo estos resultados una primera aproximación al análisis del estado general del suelo por lo que no es posible en este momento dar una descripción general del estado del suelo.

REFERENCIAS

- Aguirre, Z. & Delgado, T. (2005). Vegetación de los bosques secos de Cerro Negro-Cazaderos, occidente de la provincia de Loja. Quito: EcoCiencia, MAE y Proyecto Bosque Seco.
- Álvarez-Yepiz, C., Martínez-Yrizar, A., Búrquez, A., Lindquist, C. (2008). Variation in vegetation structure and soil properties related to land use history of old-growth and secondary tropical dry forests in northwestern Mexico. *Forest Ecology and Management* 256:355-366.
- Amato, M. and Ladd, J. N. (1992). Decomposition of labelled glucose and legume material in soils: Properties influencing the accumulation of organic residue C and microbial biomass C. *Soil Biol. Biochem.* 24:455-464.
- Allaire, S., Lange, F., Auclair, I., Quinche, M., Greffard, L. (2015) Report: Analyses of soil properties. CRMR-2015-SA-5. Centre de Recherche sur les Matériaux Renouvelables, Université Laval, Québec: Canada.
- Archie, G. (1942). The electrical resistivity log as an aid in determining some reservoir characteristics. *Trans., Am. Inst. Mining metallurg. Eng.* Vol.146. 54-62 p.
- Arias, F.; Mata, A.; Alvarado, E. & Laguna, J. (2010). Mineralogía de la fracción arcilla de algunos suelos cultivados con banano en las llanuras aluviales del caribe de Costa Rica. *Agronomía Costarricense*.
- Balvanera, P. & Aguirre, E. (2006). Tree diversity, environmental heterogeneity, and productivity in a Mexican tropical dry forest. *Biotropica* 38:479-491.
- Barber, R. (1995). Soil degradation in the tropical lowlands of Santa Cruz, eastern Bolivia. In: *Land degradation and Rehabilitation*, 6: 95-107.
- Bechtold, J. & Naiman, R. (2006). Soil texture and nitrogen mineralization potential across a riparian toposequence in a semi-arid savanna. *Soil Biology & Biochemistry* 38: 1325-1333.
- Benavides, C. (2000). Caracterización de sitios con *Pinus radiata* D. Don en un transecto altitudinal con suelos vitrans de los páramos del Cotopaxi, Ecuador. Valdivia: Universidad Austral de Chile.
- Castillo-Monroy, A.; Maestre, F.; Rey, A.; Soliveres, S.; García-Palacios, P. (2011). "Biological Soil Crust Microsites Are the Main Contributor to Soil Respiration in a Semiarid Ecosystem". *Ecosystems*, 14(5):835–847.
- Castillo-Monroy, A., Benítez, A. (2015). Patrones de abundancia y riqueza de componentes de la costra biológica del suelo en un matorral seco del sur de Ecuador. *Av. Cienc. Ing.* (Quito)

- Castillo-Monrroy, P., Maestre, F., Delgado- Baquerizo, M. & Gallardo, A. (2016). Biological soil crusts modulate nitrogen availability in semi-arid ecosystems: Insights from a Mediterranean grassland. *Plant and Soil* 333: 21-34.
- Castro, H. & Espinoza, J. (2016). Actualidad y tendencias del uso de enmiendas calcáreas en Colombia. En: Actualización en fertilización de cultivos y uso de fertilizantes. Soc. Col. de la Ciencia del Suelo. p.141-153.
- Campo, J.; Jaramillo, J. & Maass M. (1998). Pulses of soil phosphorus availability in a Mexican tropical dry forest: effects of seasonality and level of wetting. *Oecologia* 115:167-172.
- Consentino, J. & Costantini, A. (2000). Evaluación de algunas formas de carbono como indicadores de degradación en Argüidores vérticos de Entre Ríos, Argentina. *Revista de la Facultad de Agronomía (UBA)* 20(1): 31-34.
- Corwin, D. & Lesch, S. (2005). Apparent soil electrical conductivity measurements in agriculture. *Comp. Electron. Agric.* 46:11-43.
- Espinosa, C. (1997). What Factors Affect Diversity and Species Composition of Endangered Tumbesian Dry Forests in Southern Ecuador. *Biotropica* 43:15-22.
- Espinosa, I.; Cabrera, O.; Escudero, A.; Luzuriaga, A. (2011). What Factors Affect Diversity and Species Composition of Endangered Tumbesian Dry Forests in Southern Ecuador. *Biotropica* 43:15-22.
- Farahani H. & Flynn F. 2007. Map quality & zone delineation as affected by width of parallel swaths of mobile agricultural sensors. *Precision Agric.* 96: 151-159.
- Farahani, H.; Izzi, P.; Steduto, N & Oweis, T. (2007). Parameterization and evaluation of FAO AquaCrop model for full and deficit irrigated cotton. Abstract in Proc. Symp. Yield Response to Water: Examination of the Role of Crop Models in Predicting Water Use Efficiency. Madison, Wisc.: ASA-CSSA-SSSA
- Galindo, G. (1998). Homovalent and heterovalent cation exchange equilibria in soils with variable surface charge. *Soil Sci Soc Amer J* 40:883-886
- García, C. & Schlatter, E. (2012). Caracterización de suelos a lo largo de un gradiente altitudinal en Ecuador. *Revista Brasileira de Ciencias Agrarias* vol. 7, nº 3, págs. 456-464.
- Garzón, A.; Cortés, A.; Camacho, H. (2010). Variabilidad espacial de algunas propiedades químicas de un entisol. *Rev.U.D.C.A Act. & Div. Cient. (Colombia)*. 13(1):87-95.
- Ginocchio, R. (2005). Tecnología de fitoestabilización en Chile: un aporte al cierre y abandono de depósitos relaves mineros. *Revista Punto Minero*. Ministerio de Minería de Chile. (7):11.

- Guerif, J. (1989). Effects of changing straw disposal on soil physical properties. In «Energy saving by reduced soil tillage». Report EUR 11258 CEE. pp. 117-126.
- Hassink, J. (1994). Effects of soil texture and grassland management on soil organic C and N and rates of C and N mineralization. *Soil Biol. Biochem.* 26: 1221-1231.
- Hart, C. & Perry, A. (1999). Transferring soils from high- to low-elevation forests increases nitrogen cycling rates: climate change implications. *Global Change Biology*. Recuperado de: <<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1046/j.1365-2486.1998.00196.x/pdf>>.
- Harris, W.; Clark, R.; Matheny, N. (1999). Nutrient management. In: *Arboriculture, Integrated Management of Landscape Trees, Shrubs, and Vines*. 3rd ed. Charles Stewart: 331–372
- Havlin, J., Beaton, S., Tisdale, R. and W.L. Nelson. (1999). *Soil Fertility and Fertilizers*. 6th Edition. Prentice Hall. Upper Saddle River, NJ. 499 p.
- Hendershot, H.; Lalande, H. & Duquette, M. (1986). Soil reaction and exchangeable acidity. Pages 141–145 in M. R. Carter, ed. *Soil sampling and methods of soil analysis*. Canadian Society of Soil Science, Lewis Publishers, Boca Raton, FL.
- Iñiguez, M. (1999). *Manejo y conservación de suelos y aguas*. Universidad Técnica de Machala. Loja.
- Jenkinson, D. (1988). Soil organic matter and its dynamics. In: Wild, A. (Ed.). *Russel's soil conditions and plant growth*. 11th ed. Longman. New York.
- Johnson, D. (2001). Anion mobility in soils: relevance to nutrient transport from forest ecosystems. *Environ. Int.* 3: 79–90.
- Kane, S.; Valentine, W.; Schuur, G.; Dutta, K. (2005). Soil carbon stabilization along climate and stand productivity gradients in black spruce forests of interior Alaska. *Canadian Journal of Forest*. Recuperado de <http://www.nrcresearchpress.com/doi/pdf/10.1139/x05-093>>.
- Kaspar, C.; Pulido, D.; Fenton, T.; Colvin, S.; Karlen, L.; Jaynes, D. & Meek, D. (2004). Relationship of corn and soybean yield to soil and terrain properties. *Agron. J.* 96:700-709.
- Kravchenko, N.; Thelen, K.; Bullock, D.; Miller, R. (2003). Relationship among crop grain yield, topography, and soil electrical conductivity studied with cross-correlograms. *Agronomy Journal*, 95(5): 1132 - 1139.
- Lal, R. (2004). Soil carbon sequestration impacts on global change & food security. *Science* 304: 1623-1627.
- Linares-Palomino, R. & Ponce Alvarez, S. (2005). Tree community patterns in seasonally dry tropical forests in the Cerros de Amotape Cordillera, Tumbes, Peru. *Forest Ecology and Management* 209:261-272.

- Linares-Palomino, R.; Aguirre-Mendoza, Z. & Gonzales-Inca, C. (2010). Diversity and endemism of woody plant species in the Equatorial Pacific seasonally dry forests, *Biodiversity and Conservation*, volumen (19).169-185.
- Maestre, T.; Bowker, A.; Cantón, Y.; Castillo-Monroy, P.; Cortina, J; Escolar, C.; Escudero, A.; Lázaro, R.; Martínez, I. (2011). Ecology and functional roles of biological soil crusts in semi-arid ecosystems of Spain. *Journal of Arid Environments*. Recuperado de doi:10.1016/j.jaridenv.2010.12.008.
- Martínez, E.; Jorquera-Jaramillo, C & Chia, E. (2009). El futuro de la quínoa en la región árida de Coquimbo: Lecciones y escenarios a partir de una investigación sobre su biodiversidad en Chile para la acción con agricultores locales. *Revista Geográfica de Valparaíso* 42: 95-111.
- McBride, A.; Gordon, M.; Shrive, C. (2014). Estimating forest soil quality from terrain measurements of apparent electrical conductivity. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 54(1):290-293.
- Meira-Arruda, D.; Oliveira, D.; Vieira, F.; Soares, G.; Duque, R.; Ângelo, S.; Ferreira, R. (2011). Structural Aspects and Floristic Similarity Among Tropical Dry Forest Fragments with Different Management Histories. *Revista Árvore* 35:131-142.
- Mogollón, P.; Torres, D. & Martínez, A. (2015). Cambios en algunas propiedades biológicas del suelo según el uso de la tierra en el sector El Cebollal, Estado Falcón, Venezuela. *Bioagro* 22(3): 217-222.
- Molin, J. & Nunes de Castro, C. (2008). Establishing management zones using soil Electrical conductivity and other soil Properties by the fuzzy clustering technique. *Sci. Agric. (Piracicaba, Braz.)*, v.65, n.6, p.567-573.
- Muenchow, J.; Feilhauer, H.; Brauning, A.; Rodríguez, F.; Bayer, F.; Rodríguez, A. (2013). Coupling ordination techniques and GAM to spatially predict vegetation assemblages along a climatic gradient in an ENSO-affected region of extremely high climate variability. *Journal of Vegetation Science*.
- Nanzyo, M. (2002). Unique Properties of Ash Volcanic Soils. *Global Environmental Research*, 6, 99-112
- Navarro, S. & Navarro, G. (2000) *Química agrícola*. Segunda edición. España: Editorial Mundiprensa.
- Osman, T. (2013). *Soils: principles, properties and management*. Dordrecht: Springer. pp. 274.
- Paz, A. & Guerif, J. (1993). Influencia de la carga y el potencial hídrico durante la compactación sobre la resistencia a la tracción de unidades estructurales de suelo en estado seco. *Suelo y Planta*, 2: 459-473.

- Peralta, R.; Castro, F.; Herber, J. (2013). La conductividad eléctrica aparente: una herramienta para reducir la escala del mapa de suelos y delimitar zonas de manejo sitio-específico. XXIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Mar del Plata, Buenos Aires, Argentina.
- Pérez-García, A.; Meave, A.; Villaseñor, L.; Gallardo-Cruz, A.; Lebrija-Trejos, E. (2010). Vegetation Heterogeneity and Life-Strategy Diversity in the Flora of the Heterogeneous Landscape of Nizanda, Oaxaca, Mexico. *Folia Geobotanica* 45:143-161
- Plaster, E. (2000). La ciencia del suelo y su manejo. Madrid: Paraninfo.
- Pritchett, W. & Fisher, R. (1987). Properties and management of forest soils. 2d ed. John Wiley & Sons, New York
- Porta, J.; López-Acevedo, M.; Roquero, C. (2009). Edafología para la agricultura y el medio ambiente. 3.ed. Madrid: Mundi- Prensa.
- Ramírez, H. & Rodríguez I. (1999). Effect of gypsum on furrow erosion and intake rate. *Soil Sci.* 164: 351-357.
- Rhoades, J., Corwin, L. (1981). Determining soil electrical conductivity-depth relations using an inductive electromagnetic soil conductivity meter. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 45, 255–260.
- Rhoades, J.; Chanduvi, F.; Lesch, S. (1989). Soil salinity assessment: Methods and interpretation of electrical conductivity measurements (Vol. 57). Food & Agriculture Org. Ross F.
- Samouëlian, A., Cousin, A., Tabbagh, A., Bruand, G. & Richard, G. (2005). Electrical resistivity survey in soil science: a review. *Soil and Tillage research*, 83(2), 173-193
- Schawe, M.; Glatzel, S.; Gerold, G. (2006). Soil development along an altitudinal transect in a Bolivian tropical montanera inforest: Podzolization vs. hydromorphy. Recuperado de: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0341816206001044>>.
- Schawe, M.; Glatzel, S.; Gerold, G. (2011). Soil development along an altitudinal transect in a Bolivian tropical montane rainforest: Podzolization vs. hydromorphy. *Catena*.
- Shaner, L.; Brodahl, M. & Buchleiter, G. (2008). How well does zone sampling based on soil electrical conductivity maps represent soil variability. *Agron. J.* 100: 1472-1480.
- Sparks, M. (2003). Young, Control on the emplacement of the andesite lava dome of the Soufriere Hills Volcano by EPSL 6602 16-4-03 Cyan Magenta Geel Zwart 14 R.S.J. Sparks / *Earth and Planetary Science Letters* 210.
- Seoane, J. (2013). Modelo extractivo y acumulación por despojo. En Seoane, J., Taddei, E. & Algranati, C. (Eds.). *Extractivismo, despojo y crisis climática* (pp. 21-41). Buenos Aires: Editorial El Colectivo.

- Serrano, M.; Marques, S. & Shaidian, S. (2010). Mapping soil and pasture variability with an electromagnetic induction sensor. *Computers Electronics Agric.* 73: 7-16.
- Sierra, R. (1999). Propuesta preliminar de un sistema de clasificación de vegetación para el Ecuador continental. 2da. Impresión (2001). Proyecto INEFAN/GEF y EcoCiencia. Quito.
- Smith, F.; Grace, E.; Smith, S. (2002) More than a carbon economy: nutrient trade and ecological sustainability in facultative arbuscular mycorrhizal symbioses. *New Phytol* 182:347–358
- Sparks L. (2003). *Environmental soil chemistry*. Amsterdam: Academic Press.
- Sudduth ,A.; Kitchen, N.; Wiebold ,W.; Batchelor ,W.; Bollero ,G.; Bullock ,D.; Clay ,E.; Palm ,H.; Pierce ,F.; Schuler, R. & Thelen ,K. (2005). Relating apparent electrical conductivity to soil properties across the north-central USA. *Computers Electronics Agric.* 46: 263-283.
- Terra, J.; Melo,D.; Sawchik ,J. (2010). Atributos edáficos y topográficos relacionados a los patrones de variación de rendimiento de cultivos agrícolas en Uruguay En: 1a Reunión Técnica Sociedad Uruguaya de las Ciencias del Suelo: Dinámica de las propiedades del suelo bajo diferentes usos y manejos, Montevideo.
- Terrón, M.; Marques, S.; Moral, F. & García-Ferrer, A. (2011). Soil apparent electrical conductivity and geographically weighted regression for mapping soil. *Precision Agric.* 12: 750-761
- Trejo I. & Dirzo R. (2002). Floristic diversity of Mexican seasonally dry tropical forests. *Biodiversity and Conservation* 11:2063-2084.
- Vogeler, I. & Clothier, E. (1996). Characterizing water and solute movement by TDR and disk permeametry. *Soil. Sci. Soc. Am. J.* 60(1):5-12.
- Zamudio, B.; Vázquez, J.; Salazar, J.; Hernández, G. & Alcantar, L. (2007). Disponibilidad y Movimiento vertical de potasio en Fluvisoles con riego por goteo simulado *Terra Latinoamericana* 25(3): 287-295.
- Zehetner, F.; Miller, P.; West, T. (2003). Pedogenesis of volcanic ash soils in Andean Ecuador. *Soil Science Society of America Journal*. Recuperado de <<https://www.soils.org/publications/sssaj/articles/67/6/1797>>.
- Zehetner ,F. & Miller, P. (2006). Pedogenesis of volcanic ash soils in Andean Ecuador. *Soil Science Society of America Journal*. Recuperado de <<https://www.soils.org/publications/sssaj/articles/67/6/1797>>.

