

CONTRIBUCIÓN DEL MUSGO *FISSIDENS TAXIFOLIUS*
EN ALGUNAS PROPIEDADES DEL SUELO UBICADO
EN EL PARQUE NACIONAL EL GUÁCHARO, VENEZUELA

CONTRIBUTIONS TO MOSS *FISSIDENS TAXIFOLIUS* IN THE SOILS PROPERTIES
IN THE GUACHARO NATIONAL PARK, VENEZUELA

FRANKLIN NÚÑEZ RAVELO, MARÍA UGAS PÉREZ Y MICHEL HERNÁNDEZ

RESUMEN

La investigación tuvo como propósito reconocer la influencia de la presencia de parches del musgo *Fissidens taxifolius* en algunas propiedades del suelo tipo Inceptisol, en el Parque Nacional El Guácharo, Venezuela. Para ello se ejecutaron tres fases: (a) *campo*, a fin de colectar las muestras de suelo con y sin presencia del referido parche biológico en su superficie; (b) *laboratorio*, permitió determinar el % Humedad, pH, CO₂ liberado, COs, MOs y potencial Redox del suelo; y (c) análisis de datos, con el fin de llevar a cabo las estimaciones estadísticas. Los resultados indican que existen diferencias significativas entre ambos grupos muestrales para las propiedades CO₂ liberado, COs, MOs y potencial Redox, siendo que la referida especie de briofita constituye un microhábitat para los organismos responsables de incorporar la MO al suelo, además genera condiciones de reducción focalizadas.

Palabras clave: propiedades edáficas, suelo, Briofita, parches biológicos

ABSTRACT

The research was aimed to recognize the influence of the presence of patches of moss *Fissidens taxifolius*, in the Guacharo National Park, Venezuela, in some properties inceptisol type. For this, three phases were performed: (a) field, to collect soil samples with and without the presence of said biological patch on its surface;

(B) laboratory, allowed to determine the% humidity, pH, CO₂ released, COs, MOs and Redox soil; and (c) data analysis, in order to carry out the statistical estimates. The results indicate that there are significant differences between the two sample groups for CO₂ properties released, COs, MOs and Redox, being that that species of bryophyte is a microhabitat for bodies responsible for incorporating the MO to the ground, also it generates reducing conditions you focused.

Keywords: soil properties, soil, bryophytes, biological crusts

INTRODUCCIÓN

El suelo es quizás uno de los principales sistemas naturales sobre el cual se han generado múltiples investigaciones, atendiendo a la naturaleza de diversas disciplinas. Siendo así, las referencias sobre este resultan variadas, por ejemplo, desde la óptica de la agronomía, el concepto de suelo está vinculado con la vida vegetal, por lo que se puede afirmar que el primer componente se relaciona con las condiciones que favorecen el desarrollo de la agricultura (Rebolledo *et al.*, 2005). En efecto, es el sitio donde viven y crecen las plantas y animales (Casanova 2005). Desde una aproximación geológica es considerado como la capa más superficial del regolito (Robinson, 1967).

Por su parte, en el área de la ecología se concibe el suelo como un ecosistema en el sentido restringido del término, un “microecosistema” puesto que se engloba dentro de uno más amplio (Rebolledo *et al.*, 2005).

Siendo así, el suelo como microsistema y, más específicamente sus propiedades, suelen ser susceptibles a cambios introducidos por elementos antrópicos o naturales, afectando no solo su calidad, sino el desarrollo de cobertura vegetal.

En este orden de ideas, algunas investigaciones han identificado el impacto de la incorporación de fertilizantes naturales o técnicas de reforestación, a fin de incidir en las propiedades físicas, químicas y bioquímicas del suelo con miras a mejorar su uso e incrementar la productividad de los cultivos (Rivera *et al.*, 2004; Suárez Guerrero y Equihua, 2009; Lozano *et al.*, 2010; Moreno Pérez *et al.* 2011; Ávila-Campuzano *et al.*, 2011; Vera *et al.*, 2012; López *et al.*, 2012; Jaurixje *et al.*, 2013 y Sánchez Núñez *et al.*, 2015).

Ahora bien, en correspondencia con una visión más vinculada al uso sustentable, se evidencian estudios que buscan conocer cómo algunas especies de flora y fauna, crecen sobre el suelo, introduciendo modificaciones en sus propiedades y contribuyendo en consecuencia con su calidad y desarrollo (Calva-Benítez y Torres-Alvarado 2011; Funk *et al.* 2012; Palma-López *et al.*, 2015).

Considerando este referente, y con miras a contribuir con estudios que apunten hacia la calidad del suelo y minimicen su degradación, se han empleado técnicas de cobertura y de incorporación de materia orgánica, así como el uso reciente de acondicionadores, con el fin de estabilizar la estructura y mejorar la porosidad y la infiltración del agua (Lentz *et al.*, 1992). Esta cobertura debe plantearse, entre otros criterios, a partir de la disponibilidad de organismos que se adaptan a las condiciones físico – geográficas del área y que generen la menor cantidad de impacto negativo en el microsistema.

En tal sentido, Johansen (citado en Hawkes, 2003), Toledo y Urbina (2008), Concostrina-Zubiri *et al.* (2013), entre otros, han estudiado una cobertura o costra biológica que crece de forma natural sobre el suelo y se caracteriza por su carácter orgánico, constituida por macroorganismos y microorganismos fotosintéticos (cianobacterias, musgos – briofitas- y líquenes), que contribuyen no solo con la fertilidad, sino además en la estabilidad de los suelos.

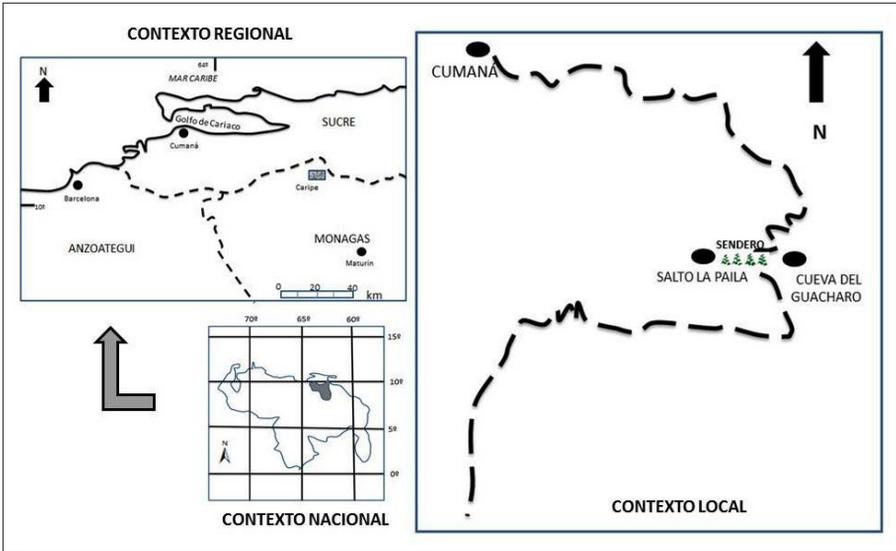
Núñez Ravelo (2013) analizó la influencia de las especies constitutivas de las costras microbióticas (líquenes y briofitas) en algunas propiedades fisicoquímicas del suelo en zonas áridas, concluyendo que la dominancia del liquen promueve una tendencia hacia valores más altos de alcalinización, mientras que las zonas que presentan solo briofitas tienden hacia pH neutro y valores significativamente mayores de CO, CO₂ y materia orgánica (MO). Asimismo, Núñez Ravelo (2014) señala que la presencia de la costra en la superficie del suelo, en zonas áridas, aumenta la actividad metabólica de los microorganismos, así como favorece la incorporación de CO y MO en la estructura edáfica.

Por su parte, Chamizo *et al.* (2010) demostraron que características de la costra como la cobertura y rugosidad, aunadas a las condiciones del suelo sobre el que estas se desarrollan como la textura, el contenido en carbono orgánico y la conductividad eléctrica, y especialmente la pendiente, que aparece como una variable altamente predictiva, inciden en la respuesta hidrológica y explican las diferencias en las tasas de infiltración y erosión en suelos dominados por costras físicas y por costras biológicas.

En este orden de ideas, Toledo *et al.*, (2015), afirman que los parches microbióticos generan espesas texturas orgánicas constituidas por los rizoides que forman parte de las briofitas y ricinas de los líquenes, junto a empaquetamientos de hifas y cianobacterias en un micro-horizonte formando a partir de los componentes orgánicos, lo cual propicia la formación de una microestructura estable en la zona superficial del suelo que contribuye a mitigar su deterioro físico a consecuencia de la erosión hídrica.

En el caso particular de las briofitas, Estébanez Pérez *et al.*, (2011) y Freitas *et al.*, (2011) refieren su papel como estabilizador crecientemente reconocido, mientras que Troncoso *et al.* (2013) proponen su aporte en la fijación biológica del nitrógeno. De allí que, Delgadillo y Cárdenas (1990) señalan que en Suiza y Alaska, con fines de horticultura, son empleadas como protección contra los cambios bruscos de temperatura y como abono; mientras que en Japón se emplea el musgo del género *Octoblepharum sp.* como medio para germinar semillas y sembrar plantas, debido a su capacidad de retención de humedad así como sus propiedades antisépticas. Otros géneros de musgos, como *Hypopterygium sp.* y *Pogonatum sp.* (Rivera, 2014) son

Figura. 1.
Mapa de localización del área de estudio



frecuentemente empleados como sustrato para el cultivo comercial de orquídeas y otras plantas.

Ahora bien, el área objeto de estudio se ubica al oeste del Monumento Natural Alejandro Humboldt (cueva del Guácharo), en la Parroquia El Guácharo del Municipio Caripe en el estado Monagas, Venezuela a los $10^{\circ}07'59''N$ y $63^{\circ}2'13''O$. En general, se trata de una zona montañosa que supera los 1100 m snm, en plena franja térmica tropical, ubicada entre los cerros Negros, Papelón y Periquito del Macizo de Caripe (figura 1).

En este sector, afloran las calizas macizas, micritas y biomicritas de color negro a gris; *wackestone* de color gris y coquinas de bivalvos correspondientes al miembro El Guácharo de la Formación El Cantil de edad Cretácica Aptiense-Cenomaniense (Petróleos de Venezuela S.A. 2011).

En esta formación, las calizas constituyen el 70 %, con colores que varían de gris oscuro a gris claro y meteorizan de gris claro a gris amarillento, masivas, compactas, bien estratificadas, tabulares y de textura fina, generalmente con vetas de calcita y restos de conchas. Estas capas presentan un espesor entre 20 cm y 2 m más comúnmente hacia la base y tope de la formación donde se pueden encontrar

interestratificadas con areniscas de hasta 4 m de espesor con contactos abruptos entre las capas y con lutitas ocasionalmente limosas con espesores de hasta 5 m (Frías y Quintana 1983). Las evidencias litológicas y paleontológicas presentes en los afloramientos de la formación, indican que estas capas debieron depositarse en un ambiente marino nerítico de plataforma continental interior (Yoris, 1988).

En lo climático y atendiendo a los datos de la estación tipo C, Caripe (INAMEH 2014), ubicada a unos 960 m snm en el piso térmico subtropical, entre los 10°9'56"N y 63°30'00" O, el área se caracteriza por presentar precipitaciones anuales medias de 1129,2 mm, distribuidas en dos períodos: uno *lluvioso* que va de mayo a noviembre, en donde se concentra el 82,2 %, donde el mes de junio es el que presenta el valor más alto con 163 mm en promedio; y otro *seco*, que va de diciembre hasta abril, en donde se presentan el 17,8 % restante, y febrero es el que registra el menor promedio para apenas alcanzar los 28 mm de precipitación. Por su parte, la temperatura del aire presenta un comportamiento isotérmico con un promedio mínimo de 18 °C en el mes de febrero y una máxima de 21,3 °C en mayo, para una amplitud térmica de 3,3 °C y una media anual de 20,2 °C. Esto permite clasificar a la zona dentro del tipo climático tropical estacional isotérmico de altura (*Aw*i).

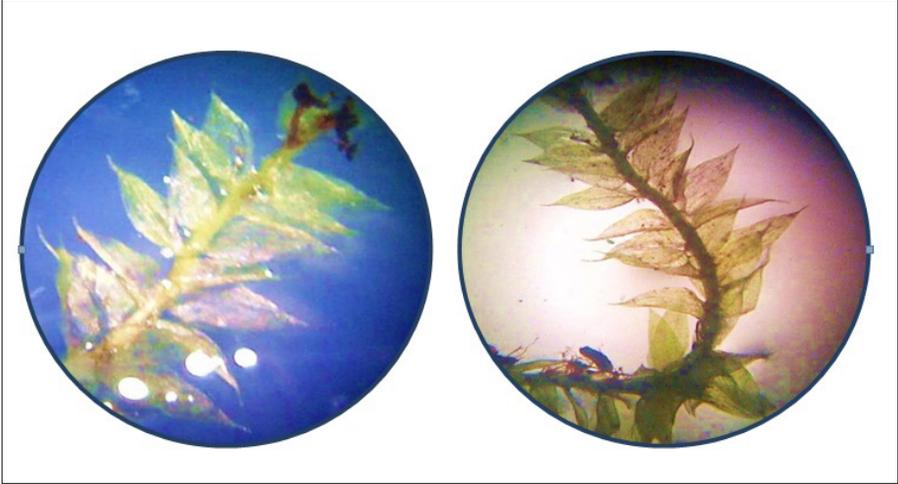
En cuanto a las condiciones del suelo, la geología aflorante y las pendientes superiores a los 45 %, originan suelos poco evolucionados, calcáreos, moderadamente profundos, algunas veces pedregosos (Larez *et al.* 2005), con moderada a baja fertilidad y alta susceptibilidad a la erosión (Instituto Nacional de Estadística, 2013).

Lo referido en el párrafo anterior coincide con lo expuesto por Elizalde *et al.*, (2005), quienes advierten para la zona en estudio, la presencia de los suelos del suborden *Ustepts*, del orden Inceptisoles con un régimen de humedad ústico (en regiones tropicales y subtropicales el régimen de humedad es ústico, si tiene al menos una estación lluviosa de 3 meses o más. Esto favorece una humedad en el suelo durante 3 y 9 meses del año) y tienen un régimen de temperatura isomésico, hipertérmico o templado.

Ahora bien, las condiciones anteriormente descritas se constituyen en elementos que propician el crecimiento de manera natural de parches de *Fissidens taxifolius*, los cuales, aunados a las condiciones calcáreas del suelo, posiblemente se constituyen en elementos importantes para el desarrollo del Bosque Ombrófilo montano semidecídúo que domina el paisaje en el sector objeto de estudio. Este tipo de bosque se extiende entre los 800 y 1.500 m snm, bajo condiciones pluviométricas óptimas y se caracteriza por presentar de 2 a 3 estratos arbóreos y sotobosque relativamente denso; adicionalmente, la vegetación presenta hojas anchas, las cuales puede perder parcialmente en el período seco, no obstante, no todas las especies pierden las hojas en la misma época, lo que le confiere la condición de semidecídúo.

Figura. 2

Micrografía (45x) de *Fissidens taxifolius* que crece sobre el suelo en el sendero La Paila, Parque Nacional El Guácharo, estado Monagas, Venezuela



Es importante señalar que en lo taxonómico, *Fissidens taxifolius* se ubica en el reino *Plantae*, división *Bryophyta*, clase *Bryopsida*, subclase *Dicranidae*, en el orden *Dicranacer*, familia *Fissidentaceae*, género *Fissidens*. Como formas biológicas, estas clasifican entre las edaofitas por crecer sobre suelo húmedo (Sánchez, 1998), de allí que se adapten a condiciones de poca iluminación, lo que les permite crecer en grupos de muchos individuos a manera de gruesas alfombras superficiales (Mazparrote y Delascio, 1998).

Esta especie de musgo presenta hasta 2 cm de largo, con hojas que se estrechan bruscamente hacia la punta, hasta donde crece su nervio longitudinal, presentando bajo el microscopio, bordes finamente dentados (figura 2). Habita en suelos calcáreos, bajo el resguardo de la sombra del bosque (Orange s/f).

Por su condición de briofita, estas se caracterizan por ser poiquilohídrica, lo que supone que su contenido hídrico depende de la humedad ambiental (Zuñiga *et al.*, 2012) y suelen tolerar varios niveles de desecación en su cuerpo vegetativo, sin perecer (Lindorf *et al.*, 2006), lo que explica su capacidad de reponerse al período de descenso de las precipitaciones, registrado entre diciembre y abril.

Es por ello que la presente investigación se planteó como propósito reconocer la influencia de *Fissidens taxifolius* sobre algunas propiedades (física, química,

fisicoquímica y bioquímicas) del suelo como sustrato natural que sostiene al bosque ombrófilo montano semidecídúo en el sector La Paila, Parque Nacional El Guácharo, estado Monagas, Venezuela.

METODOLOGÍA EMPLEADA

La investigación se ejecutó en tres fases: (a) fase de campo, (b) fase de laboratorio, y (c) fase de oficina.

Fase de campo

Durante este período, se llevó a cabo un único trabajo de campo al área de estudio en febrero de 2015, en el mes de menor precipitación de acuerdo con los datos climáticos, ya que interesa conocer los posibles aportes de esta especie a las propiedades edáficas del suelo, y por ende, al bosque que sobre este se desarrolla en el momento de mayor déficit de agua. En tal sentido, se asumió muestreo probabilístico y sistemático, que permitió coleccionar las muestras de briofitas y suelo así como también tomar porciones del sustrato edáfico superficial (0 - 5 cm) libre de briofita, esto con el propósito de comparar las variables en estudio en los dos tipos de muestras.

En el área de estudio, y de manera paralela al sendero que conduce hacia el salto La Paila, se realizó una sección transversal de 420 m y a partir de este cada 20 m se coleccionaron dos muestras de suelo superficial, con apoyo de una cuadrata de 5 x 5 y con base en los valores obtenidos de la tabla de dígitos aleatorios. Este procedimiento permitió captar un total de 42 muestras: 11 muestras de suelo desnudo o libre de briofita en su zona superficial y 31 muestras con presencia de *Fissidens taxifolius*. Las muestras fueron refrigeradas y transportadas en cava hasta el laboratorio para su posterior análisis.

Fase de laboratorio

Tuvo como propósito ejecutar las determinaciones de laboratorio a fin de conocer las propiedades físicas (% humedad higroscópica), química (pH), fisicoquímica (potencial Redox) y bioquímicas (Dióxido de carbono liberado, carbono orgánico y materia orgánica) en las muestras de suelo desnudo y de suelo dominado por *Fissidens taxifolius*.

Propiedad física

% de humedad higroscópica: esta propiedad hace referencia a la cantidad de agua que es retenida por las partículas del suelo, que se encuentra en equilibrio con el potencial hídrico medio de la atmósfera (Rojas 1985), la cual, atendiendo a lo referido por Núñez Solís (2000), no es biológicamente útil, ya que está tan fuertemente adherida a las partículas que no puede ser aprovechada por las plantas, sin embargo, conocer su contenido puede ser un indicador indirecto del comportamiento del agua en el suelo, esto si se considera que el coeficiente higroscópico puede tomarse como la mitad del correspondiente al de marchitez permanente, así como la cuarta parte de la capacidad de campo o humedad equivalente. Por otra parte, se considera como una variable indispensable para determinar otras propiedades del suelo como el carbono orgánico y la materia orgánica. Para su determinación: las muestras previamente secadas a temperatura ambiente durante 48 horas, fueron tratadas mediante el protocolo establecido en el método NCh 1515 Of. 79 (Instituto Nacional de Normalización 1978). Este método permite estimar el contenido de agua presente en una muestra de suelo mediante su desecación en el horno a 120 °C, durante 24 horas, por diferencias de peso.

Propiedad química

pH en el suelo: de acuerdo con lo expresado por Fernández *et al.*, (2006), el pH es una propiedad química del suelo con un importante efecto en el desarrollo de los seres vivos y su medición hace referencia a la concentración de iones hidrógeno activos (H⁺) que se da en la interfase líquida del suelo, por la interacción de los componentes sólidos y líquidos. Por su parte, Köster y Leser (1976) advierten que este análisis del suelo resulta importante no solo porque permite conocer el grado de acidez de la muestra, sino porque además existe una gran interdependencia entre el contenido de CaCO₃ y esta variable, ya que los clastos calcáreos reaccionan alcalinamente. Para su determinación se adoptó el método del potenciómetro, con apoyo del instrumento modelo Oakton pH serie 700-Benchtop, atendiendo al protocolo reportado por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de Norteamérica (USDA, 1999).

Propiedad físico-química

Potencial Redox: Albarrán (2008) lo refiere como la capacidad de reacción que tienen las sustancias para oxidarse y/o reducirse, lo cual implica una transferencia

de electrones y va acompañada por un intercambio de energía química, ya sea que se libere o que se almacene en los compuestos químicos implicados en el proceso.

Ahora bien, en condiciones aeróbicas el suelo puede estar conformado entre un 18 y 20 % de oxígeno, el cual se va renovando en la medida en que este va siendo consumido por las raíces y biotas y este seguir en contacto directo con la atmósfera. Esta condición favorece la oxidación o pérdida de electrones por parte de algunos elementos. Por el contrario, si el suelo se encuentra saturado de agua, presenta fracciones considerables de materia orgánica o condiciones anaeróbicas, entonces se genera la reducción o ganancia de electrones por el elemento que se reduce (Porta *et al.*, 2013).

Para su estimación, las muestras de suelo fueron mezcladas con agua destilada en una solución 1:1, removiendo intermitentemente durante una hora. Antes de proceder a determinar el potencial Redox mediante el instrumento modelo Oakton serie 700 previamente calibrado, se dejó reposar la solución suelo-agua durante 10 minutos para luego introducir el electrodo y registrar el valor reportado en pantalla del equipo, luego de su estabilización.

Propiedades bioquímicas

CO₂ liberado: Como ya es conocido, los suelos como sistemas edáficos cuentan con una flora microbiana propia, la cual, dependiendo de su actividad metabólica, puede ser un indicador indirecto de la calidad del suelo en términos de aporte de nutrientes. Lo anterior se debe a que durante la descomposición de la materia orgánica una parte del carbono es devuelto a la atmósfera en forma de CO₂, mientras que otra se transforma en otros compuestos más sencillos o se almacena en las propias estructuras microbianas (Pérez *et al.*, 1998). De allí que, como lo afirman Fernández *et al.* (2006), la actividad metabólica de los microorganismos aerobios y de algunos anaerobios del suelo puede ser cuantificada por medio de la producción de CO₂, el cual es un producto de la respiración de dichos microorganismos. En tal sentido, la determinación del CO₂ liberado, se llevó a cabo el método de respiración basal, siguiendo el protocolo referido por Anderson (1982).

% CO en el suelo (COs): se vincula con la cantidad y disponibilidad de nutrientes del suelo, al aportar elementos como el Nitrógeno (N) cuya contribución mineral es normalmente deficitaria, y puede llegar a modificar la acidez y la alcalinidad hacia valores cercanos a la neutralidad. Esta propiedad asociada a la materia orgánica del suelo proporciona coloides de alta capacidad de intercambio catiónico, generando

efectos sobre algunas propiedades físicas, las cuales se manifiestan mediante la modificación de la estructura y la distribución del espacio poroso del suelo (Martínez *et al.* 2008). Para su estimación, se asumió el método de Walkley y Black reportado por Toledo (2008) y se empleó un espectrofotómetro modelo Cole Parmer 1100.

MO en el suelo (MOs): Las propiedades químicas y coloidales de la materia orgánica (MO) pueden ser estudiadas solo en el estado libre; es decir, cuando es separada de los compuestos inorgánicos, y su reconocimiento como indicador de la calidad del suelo es importante, ya que contribuye con el crecimiento de las plantas a través de sus efectos sobre las propiedades físicas, químicas y biológicas. Este último, tiene una función nutricional sirviendo como fuente de nitrógeno (N), fósforo (P) y azufre (S) para el crecimiento de las plantas, desde el punto de vista biológico, el contenido de MOs incide profundamente sobre la actividad de la microflora y la microfauna, y en cuanto a su incidencia en la física del suelo, favorece una buena estructura de su perfil, con lo cual mejora las labores de labranza, aireación y la retención de humedad. Ahora bien, para efectos de la presente investigación, el % de MOs para cada muestra fue estimado de manera indirecta, a partir del método del factor convencional de Vammelen (citado en Navarro 2007; Toledo, 2008) que supone multiplicar el % COs en cada caso por 1.724.

Fase de oficina

Se procedió a determinar la posible variación introducida por la presencia de *Fissidens taxifolius* en las propiedades del suelo consideradas en esta investigación. Para ello se realizó una correlación múltiple de todas las variables, utilizando el programa estadístico SPSS versión 22 (SPSS Inc., 2015). Los datos fueron analizados mediante la *t-student* y prueba de Levene, para determinar las diferencias entre las medias de ambos grupos de muestras.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para las propiedades pH y humedad higroscópica, por presentar en la prueba de Levene significancias superiores a 0,05, no se precisa la diferencia entre las medias en ambos grupos de muestras, por lo que se admite que *Fissidens taxifolius* no incide en la modificación de estas propiedades del suelo. En efecto, las muestras de suelo desnudo presentaron un pH promedio de 6,33 mientras que las muestras de suelo con presencia de la referida especie de briofita, obtuvo una media estimada de 6,84 y

pese a que existe una diferencia numérica entre ambos grupos, estos califican como suelos ligeramente ácidos, típicos de zonas subhúmedas.

En cuanto al contenido de humedad higroscópica, en los suelos desprovistos de briofitas se estimó una fracción promedio de 7,21 % mientras que para el grupo que si presenta el parche superficial presentó un promedio de 7,36 %. Esto se corresponde con las condiciones clima-suelo, en donde los 7 meses lluviosos del año generan el aporte de agua a suelos fundamentalmente arcillosos, capaces de retener suficiente humedad en su estructura, aun en el período de menor precipitación.

Por su parte, para las propiedades edáficas CO_2 liberado, COs, MOs y Potencial Redox, las significancias obtenidas mediante la prueba de Levene, indican que es poco probable que las muestras con presencia de *Fissidens taxifolius* en contraste con el suelo que no lo presentan, muestren varianzas iguales (cuadro 1). Lo cual se ratifica mediante la prueba *t* para las referidas propiedades bioquímicas, química y fisicoquímica, cuando se evidencia que presentan en todos los casos significancias inferiores a 0,05, lo que permite afirmar la existencia de diferencias significativas entre ambos grupos de muestras.

En el caso particular del CO_2 liberado, permite estimar de manera indirecta la actividad microbiana en el suelo, lo cual constituye un indicador de calidad, tal como lo plantean Thompson y Troe (1982), quienes afirman que la actividad microbiana es la responsable de descomponer gradualmente los materiales orgánicos complejos en iones inorgánicos simples para que estos puedan ser utilizados por las plantas, de allí que dependiendo de la velocidad con la que estos ejerzan su acción, mayor será la disponibilidad de nutrientes que podrán ser aprovechados por las plantas.

Cabe agregar que, atendiendo al propósito fundamental de la presente investigación, se estimó que las muestras correspondientes a suelo desnudo, presentan en promedio una respiración basal de 2.33 mg C- $\text{CO}_2\text{g}^{-1}\text{h}^{-1}$, mientras que las muestras de suelo con presencia de *Fissidens taxifolius*, el valor promedio alcanza los 7,7 mg C- $\text{CO}_2\text{g}^{-1}\text{h}^{-1}$. Esta diferencia significativa entre ambos grupos, deja en evidencia las potencialidades de esta briofita como microhábitat para organismos tales como bacterias, hongos y actinomicetos, los cuales aportan el dióxido de carbono en su actividad metabólica, siendo de gran importancia; sobre todo en suelos incipientes como el ubicado en el sendero La Paila, ya que posiblemente contribuyan al sostenimiento del bosque ombrófilo montano semidecídúo, al estar vinculados en una gran variedad de reacciones bioquímicas, así como participar en el proceso de formación de humus, la mineralización de la materia orgánica del suelo y la progresiva liberación de nutrientes, que serán aprovechados en la alimentación de las plantas.

Cuadro 1.
Prueba t para muestras independientes

	Prueba de Levene de calidad de varianzas		Prueba t para la igualdad de medias	
	F	Sig.	t	Sig. (bilateral)
CO ₂	4,918	0,032	12,718	0,000
			16,502	0,000
Humedad	1,387	0,246	0,167	0,868
			0,219	0,828
COs	15,993	0,000	7,101	0,000
			11,944	0,000
MO	16,062	0,000	6,976	0,000
			11,731	0,000
pH	1,432	0,239	15,017	0,000
			19,366	0,000
Redox	13,024	0,001	-18,173	0,000
			-13,699	0,000

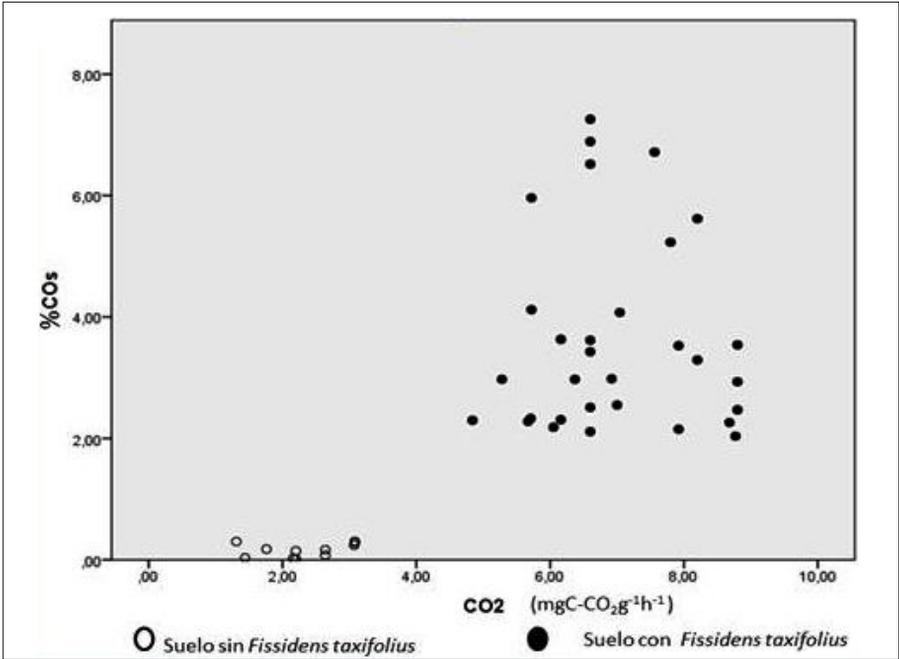
Por otra parte, el *contenido de CO* en muestras de suelos desnudos, alcanza en promedio un 0,19 %, mientras que aquellos que están dominados por las briofitas registran en promedio de 3,32 %, lo cual se traduce en un incremento importante en el aporte de CO al suelo a partir de la presencia de *Fissidens taxifolius*. Lo anterior puede estar indicando la efectividad de la referida especie de briofita en la captura del CO y su posterior aporte al suelo, lo cual está asociado con su capacidad de apropiarse de elementos minerales y aportar fracciones orgánicas y exudados.

En suelos del orden Inceptisoles y suborden *Ustepts*, como los reportados para el sendero de La Paila, el aporte de CO resulta de gran importancia al contribuir con la calidad edáfica, ya que favorece positivamente otras propiedades como la estabilidad estructural, porosidad, capacidad de agua disponible y capacidad de intercambio catiónico.

En la figura 3, se evidencia que las muestras de suelo con presencia de *Fissidens taxifolius* presentan los mayores niveles de liberación de CO₂ y aportan el mayor contenido de CO al suelo, mientras que las muestras de suelo desnudo se ubican en los valores más bajos para ambas propiedades. El coeficiente de Pearson estimado

Figura. 3

Correlación de las variables CO₂ y CO en muestras de suelo con y sin *Fissidens taxifolius* en su superficie



muestra una correlación moderadamente positiva entre ambas propiedades ($r = 0,6$), lo que ratifica que la presencia de la especie de briofita como tapete biológico natural en la superficie del suelo, favorece el incremento de microorganismos responsables del aporte CO al suelo y en consecuencia contribuye con su calidad, como medio para el sostenimiento de las diversas especies de plantas que constituyen el bosque. Se encontraron diferencias significativas en el contenido de materia orgánica entre las muestras de suelo desnudo con los que presentan parches de la briofita en su superficie.

En las muestras de suelo desnudo el promedio de materia orgánica fue de 0,32 %, lo cual resulta bajo de acuerdo con lo establecido en la calificación de PALMAVEN (1992), mientras que en el suelo con parches de la briofita, el contenido promedio asciende a 5,72 % calificando como muy alto de acuerdo a la referida escala. En el

caso del área de estudio, este aporte es importante debido a que se trata de un suelo reciente de poco desarrollo, por lo que la mineralización de la MO posiblemente estaría generando cantidades considerables de Nitrógeno (N), con lo cual se estaría contribuyendo al crecimiento de las estructuras arbóreas y arbustivas, con hojas de mediano a gran tamaño y favoreciendo el proceso de síntesis de la clorofila, evitando la clorosis o el color amarillento en la vegetación y beneficiando la condición semidecídua del bosque.

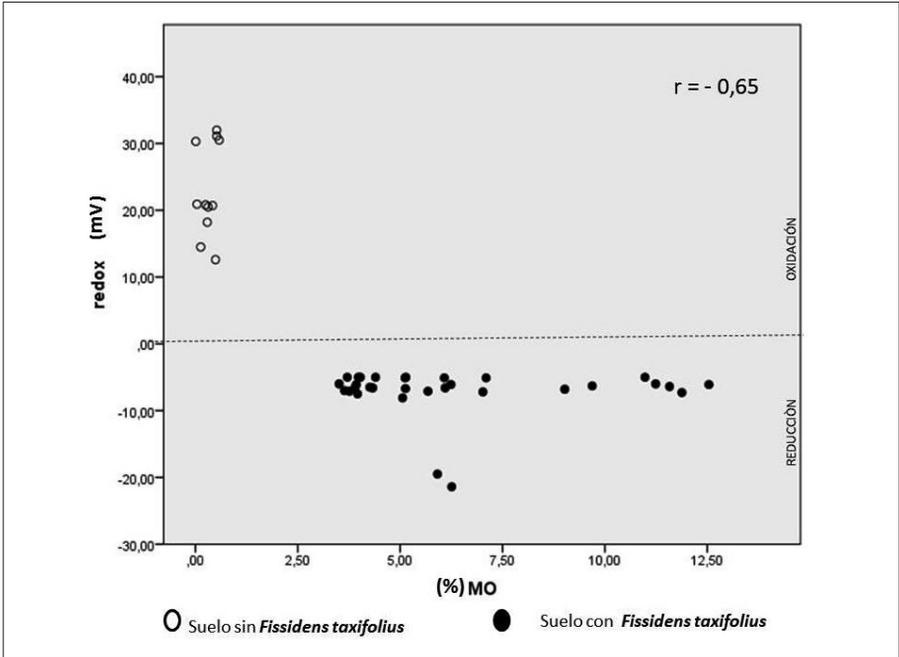
Por otro lado, con el aporte de MO al suelo como consecuencia de la presencia de la briofita *Fissidens taxifolius* es posible que se produzca una contribución importante de Azufre (S) asociado a compuestos orgánicos propios de la materia orgánica, con lo cual se estaría fortaleciendo no solamente la coloración de las hojas más jóvenes hacia los tonos verdes, tallos largos en las plantas adultas, sino a la mayor probabilidad de fijación del nitrógeno atmosférico en las plantas. Adicionalmente, aunada a la MO, se genera un incremento en el aporte de Fósforo orgánico (P) el cual, al mineralizarse, repone en el suelo la fracción soluble y en consecuencia, queda disponible para su aprovechamiento por las plantas para el desarrollo de sus raíces así como su maduración y formación de flores. En definitiva, el incremento de la materia orgánica en el suelo, asociada a la presencia de *Fissidens taxifolius*, posiblemente favorece la generación de algunos macronutrientes esenciales para el crecimiento de las estructuras arbóreas y arbustivas que integran el bosque.

En otro orden de ideas, en el contexto fisicoquímico, el potencial Redox promedio para muestras de suelos desnudo estimado es de 22,92 mV lo que indica que al menos en la zona superficial, se hayan en estado de oxidación, mientras que en aquellas que presentan en la zona superficial parches de briofitas el promedio estimado es de -7,1 mV lo que indica un estado de reducción bajo, en donde las condiciones aeróbicas, están ligeramente suprimidas. En efecto, es posible que la presencia en la zona superficial del suelo de los parches de *Fissidens taxifolius* reduzca ligeramente el ingreso de oxígeno a su estructura y favorezca la acumulación de una fina lámina de agua pluvial, lo que guarda correspondencia con lo referido para otra especie de musgos por Merchán-Gaitán *et al.* (2011), con lo cual se esté propiciando de manera superficial, focos en estado de reducción.

Ahora bien, en la figura 4 se evidencia como las muestras de suelo que presentan de manera superficial parches de briofita, no solamente coinciden con el mayor aporte de materia orgánica, sino que también son las que se encuentran en estado ligeramente reducido, mientras que las muestras de suelo desnudo presentan menor contenido de MO y se ubican hacia la zona de oxidación.

Figura 4.

Correlación de las variables Redox (mV) y (%) MO en muestras de suelo con y sin *Fissidens taxifolius* en su superficie



Para lo anterior se ha estimado una correlación moderadamente negativa ($r = -0,65$), donde la presencia de la materia orgánica reduce las condiciones de oxígeno, mientras que su reducción favorece un incremento en las condiciones aeróbicas, lo cual posiblemente está determinado por la condición reductora de la MO, que al oxidarse, debe reducir otros elementos dentro de la estructura del suelo. Este ligero estado de reducción en el suelo favorece la solubilidad de micronutrientes como el hierro (Fe^{2+} ó Fe^{++}) y de manganeso (Mn^{2+} ó Mn^{++}), los cuales constituyen cationes fundamentales para el desarrollo de la cobertura vegetal. En efecto, el ion de hierro II (Fe^{2+}) es necesario para la generación de la clorofila, además de ser un constituyente importante de algunas proteínas y enzimas, además de contribuir como catalizador en los procesos de oxidación-reducción en las plantas. Por su parte, el ion hipomanganeso o manganeso II (Mn^{2+}), propicia la captura y asimilación del

dióxido de carbono en el proceso de fotosíntesis y facilita el aprovechamiento del nitrógeno activando la nitrificación, así como estimula la formación de carotenoides, rivo flavina (vitamina B) y ácido ascórbico (vitamina C) por parte de las plantas.

CONCLUSIONES

El *Fissidens taxifolius* constituye un fertilizante natural fundamental para el sostenimiento del bosque ombrófilo montano semidecídúo ubicado en el sector La Paila, Parque Nacional El Guácharo, en el estado Monagas en Venezuela, ya que como parche biológico que crece de manera espontánea sobre la superficie del suelo, induce modificaciones en algunas propiedades bioquímicas y fisicoquímica del Inceptisol, generando condiciones que optimizan su calidad y favoreciendo el desarrollo de las estructuras arbóreas y arbustivas. En efecto, en cuanto a las variaciones bioquímicas introducidas, se tiene que los tapetes de *Fissidens taxifolius*: (a) constituyen microhábitat para organismos tales como bacterias, hongos y actinomicetos, los cuales, no solamente aportan el dióxido de carbono en su actividad metabólica, sino que además son los responsables de una gran variedad de reacciones bioquímicas así como de participar en el proceso de formación de humus, mineralización de la materia orgánica del suelo y la progresiva liberación de nutrientes, que serán aprovechados en la alimentación de las plantas; (b) favorecen el aporte de CO al suelo, ello incide de manera positiva en otras propiedades como la estabilidad estructural, porosidad, capacidad de agua disponible y capacidad de intercambio catiónico, y (c) contribuye al incremento de la mineralización de la MO, por tanto, posiblemente se estaría generando nitrógeno (N), azufre (S) y fósforo (P), como macronutrientes indispensables para la salud de la vegetación que constituye el referido bosque.

Por otro lado, el aporte a la condición fisicoquímica del suelo se ve determinado por la incidencia de manera focal en el proceso de óxido-reducción. Es posible que la costra de esta especie de briofita, propicie la acumulación de una delgada lámina de agua pluvial, entre esta y la superficie del suelo, que aunada a la presencia de la MO, contribuye a reducir ligeramente el ingreso de oxígeno a la estructura del suelo, así favorece levemente la anoxia, y con ello, se estaría promoviendo la solubilidad de micronutrientes como el hierro (Fe^{2+} ó Fe^{++}) y de manganeso (Mn^{2+} ó Mn^{++}), elementos que constituyen cationes fundamentales para el desarrollo de la cobertura vegetal.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALBARRÁN, E. (2008). El potencial redox y la espontaneidad de las reacciones electroquímica. *Revista Latinoamericana de Física Educativa* 2: 336-345
- ANDERSON, J. (1982). Soilrespiration. [Cap. 9] In: A.L. Page, R.H Miller y D. Keeney. (Comp.). *Methods of soil analysis, part 2*. Madison, USA. ASA and SSSA. Pp.837-871
- ÁVILA-CAMPUZANO G., GUTIÉRREZ, M., ORTIZ, C., ÁNGELES, E. y SÁNCHEZ. P. (2011). Evolución de las reforestaciones en la formación de suelo a partir de tepetates. *Revista Chapingo, serie de Ciencias Forestales y del Ambiente* 17 (3): 303-3011.
- CALVA-BENÍTEZ, L.G. y TORRES-ALVARADO, R. (2011). Carbono Orgánico y características texturales de sedimentos en áreas de pasto marino *Thalassiatestudinum* en ecosistemas costeros del suroeste del Golfo de México. *Universidad y Ciencia. Tópicos Húmedos* 2: 134-144.
- CASANOVA, E. (2005). *Introducción a la ciencia del suelo*. UCV. Caracas, Venezuela.
- CHAMIZO, S. RODRÍGUEZ, E., MIRALLES, I., AFANA, A., LÁZARO, R., DOMINGO, F., CALVO-CASES, A., SOLE-BENET, A. y CANTÓN, Y. (2010). Características de las costras físicas y biológicas del suelo con mayor influencia sobre la infiltración y la erosión en ecosistemas semiáridos. *Revista de Ecología de Montaña* 165: 69-96.
- CONCOSTRINA-ZUBIRI, L., MARTÍNEZ, I., HUBER, E., y ESCUDER, A. (2013). Efectos y respuestas de las costras biológicas del suelo en ecosistemas áridos: avances recientes a nivel de especie. *Ecosistemas, revista científica de ecología y medio ambiente* 22(3): 95-100.
- DELGADILLO C. y CÁRDENAS. A (1990). *Manual de Briofitas*. Instituto de Biología. Universidad Nacional Autónoma de México.
- DEPARTAMENTO DE AGRICULTURA DE LOS ESTADOS UNIDOS DE NORTEAMÉRICA (USDA). (1999). *Guía para la Evaluación de la Calidad y Salud del Suelo*.

- ELIZALDE, G., VILORIA, J. y ROSALES, A. (2005). *Mapa de asociación de subórdenes de suelo*. Fundación Empresas Polar. Venezuela.
- ESTÉBAÑEZ PÉREZ, B., DRAPER, I. y MEDINA, R. (2011). Briofitos: una aproximación a las plantas terrestres más sencillas. *Memorias de la Real Sociedad Española de Historia Natural* 9: 19-73.
- FERNÁNDEZ, L., ROJAS, N., ROLDÁN, T., RAMÍREZ, M., ZEGARRA, H., URIBE, R., REYES, R., FLORES, D. y ARCE, J. (2006). *Manual de técnicas de análisis de suelo aplicadas a la remediación de sitios contaminados*. Instituto Mexicano del Petróleo. D.F. México.
- FREITAS, L., REGO, I. y FERNANDES. D. (2011). Levantamento de briofitas do distrito Bananal, município de Governador Edison Lobão, Maranhão, Brasil. *Revista de Biologia e Ciências da Terra* 2: 88-92.
- FRÍAS R. y Quintana, J. (1983). *Estudio geológico de una zona ubicada entre Aragua de Maturín y Caripe, estado Monagas*. Trabajo Especial de Grado, Universidad Central de Venezuela, Departamento de Geología.
- FUNK, F., PETER, G., LOYDI, A., KRÖPFL, A. y DISTEL, R. (2012). Recuperación estructural y funcional de los espacios entre arbustos al cabo de 10 años de exclusión del pastoreo en una estepa semiárida del noreste de la Patagonia. *Ecología Austral* 22: 195-202.
- HAWKES, C. (2003) .Microorganismos del suelo, plantas en peligro de extinción y la conservación del Matorral de Florida. *Ecosistemas. Revista científica y técnica de ecología y medio ambiente*2: 1-6
- INAMEH. (2014). *Datos de temperatura media y precipitación media mensual la estación climatológica Caripe*. Datos en Línea.
- INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA (2013). *Síntesis estadística del estado Monagas*. Datos en Línea. Disponible en: <http://www.ine.gov.ve/documentos/Demografia/CensodePoblacionyVivienda/pdf/monagas.pdf>
- INSTITUTO NACIONAL DE NORMALIZACIÓN (1978). *Mecánica del suelo-Determinación de humedad*. NCh 1515 Of.79

- Jaurixje, M., Torres, D., Mendoza B., Henríquez M., y Contreras, J. (2013). Propiedades físicas y químicas del suelo y su relación con la actividad biológica bajo diferentes manejos en la zona de Quíbor, Estado Lara. *Bioagro* 25(1): 47-56.
- Johansen, J. R. (1993). Cryptogamic crusts of semiarid and aridlands of North America. *Journal of Phycology* 29: 140-147.
- Köster, E. y Leser, H. (1976). *Trabajos Prácticos de Geomorfología*. Valencia, España.
- Larez, A., Mayz, J. y Arconcés, N. (2005). Fenología reproductiva de árboles y otros biotipos en el municipio Caripe del estado Monagas. *Revista ERNSTIA* 15 (1-4): 107-128
- Lentz, R., Shainberg, I., Sojka, R. y Carter, D. (1992). Preventing irrigation furrow erosion with small applications of polymers. *Soil Science Society of America Journal* 6: 1926-1932.
- Lindorf, H., Parisca, L. y Rodríguez, P. (2006). *Botánica: clasificación, estructura y clasificación*. Ediciones de la biblioteca-UCV. Caracas, Venezuela.
- López, D., Fernández, M. y Verga, A. (2012). Respuesta diferenciada a la sequía de plantas jóvenes de *Prosopis Chilensis*, *P. Flexuosa* y sus híbridos interespecíficos: implicaciones para la reforestación en las zonas áridas. *Ecología Austral* 22:43-52.
- Lozano, Z., Mogollón, A., Hernández, R., Bravo, C. y Ojeda, A. (2010) Cambios en las propiedades químicas de un suelo de sabana luego de la introducción de pastura mejorada. *Bioagro* 22 (2):135-144.
- 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.
- Maizparrote, S. y Delascio, F. (1998). *Botánica*. Editorial Biosfera. Miranda, Venezuela.

- MERCHÁN-GAITÁN J, ÁLVAREZ, J. y DELGADO M. (2011) Retención de agua en musgos de páramo de los municipios de Siachoque, Toca y Pesca (Boyacá). *Revista colombiana de ciencias hortícolas* 2:295-302.
- MORENO PÉREZ, R., GARCÍA, T., STORCH, J., MUÑOZ, M. y YÁÑEZ, E. (2011). Fertilización y corrección edáfica de suelos agrícolas con productos orgánicos. *Revista de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente*. IX: 3-34
- NAVARRO, J. (2007). *Variación del Contenido de Materia Orgánica de suelos volcánicos sometidos a distintos manejos agrícolas*. Tesis de Grado, Universidad Austral de Chile.
- NÚÑEZ RAVELO, F. (2013) Composición de las costras microbióticas y su influencia en algunas propiedades del suelo en una zona semiárida. *Revista de investigación* 80: 91-115
- NÚÑEZ RAVELO, F. (2014). Efectos de la costra microbiótica en algunas propiedades del suelo en el sur de la quebrada Los Barrancos, Valle de Quíbor, Venezuela, *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía*, 84: 5-19
- NÚÑEZ SOLÍS, J. (2000). *Fundamentos de edafología*. Editorial Universidad, San José, Costa Rica.
- ORANGE, A. (s/f). *Fissidens taxifolius* var. *taxifolius*/ var. *Pallidicaulis*. *Dicranales*. Datos en Línea.
- PALMA- LÓPEZ, D., SALGADO, S., MARTÍNEZ, G., ZAVALA, J. y Lagunes, L. (2015). Cambios en las Propiedades del suelo en plantaciones de eucalipto de Tabasco, México. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios* 2(5): 163-172.
- PALMAVEN, FILIAL DE PETRÓLEOS DE VENEZUELA (1992). *Análisis de suelo y su interpretación, serie técnica, publicaciones de divulgación científica*. Caracas, Venezuela.
- PETRÓLEOS DE VENEZUELA S.A. (2011). *Código Geológico de Venezuela*.
- PÉREZ, P., OURO, G., MERINO, A. y MACÍAS, F. (1998). Descomposición de materia orgánica, biomasa microbiana y emisión de CO₂ en un suelo forestal

bajo diferentes manejos silvícolas. *Revista de Edafología de la Universidad de Santiago de Compostela* 5: 83-93.

PORTA, J., LÓPEZ, M. y POCH, R. (2013). *Edafología, uso y protección del suelo*. Mundi-Prensa. Madrid, España.

REBOLLEDO, M., PRIETO, T. y BRERO, V. (2005). Aproximación a la historia y epistemología del concepto de suelo: Implicaciones didácticas. *Enseñanza de las Ciencias*. Número Extra- Congreso: 1-5. Disponible en línea.

RIVERA, I. (2014). Las pequeñas gigantes del bosque: las briofitas. *Desde el herbario CICY* 6:106-106.

RIVERA, V., MANUEL, I. y GODÍNEZ, H. (2004). Las costras biológicas del suelo y las zonas áridas. *Ciencias* 75:24-27.

ROBINSON, G. (1967) *.Los suelos: su origen, constitución y clasificación*. Ediciones Omega. Barcelona, España.

ROJAS, O. (1985). Estudio de las condiciones hídricas para los cantones: Esparta, San Mateo, Atenas, Orotina, Garabito, Turrubares, Puriscal, Acosta, Mora y Aserri. *Serie de publicaciones misceláneas* 616.

SÁNCHEZ, C. (1998). *Enfoque fisiónómico en el estudio de las formaciones vegetales de los biomas venezolanos*. Trabajo de Ascenso. Universidad Pedagógica Experimental Libertador, Instituto Pedagógico de Caracas.

SÁNCHEZ NÚÑEZ, D., PINILLA, G. y MANCERA PINEDA, J (2015). Efectos del uso del suelo en las propiedades edáficas y la escorrentía superficial en una cuenca de la Orinoquia colombiana. *Colombia forestal* 2: 255-272

SUÁREZ GUERRERO, A. y EQUIHUA, M. (2009). Rehabilitación de algunas propiedades químicas de los suelos y del bosque de niebla en Veracruz, con ensamble experimental de leñosas nativas y *Casuarina equisetifolia* L, Amo en. *Interciencia* 7:471-478

TOLEDO, V. (2008). *Determinación de Carbono Orgánico en muestras de Suelos por la técnica colorimétrica, en el método de combustión húmeda de Walkley*

- *Black*. Línea de Investigación Ambientes Áridos y Semiáridos en Venezuela, UPEL – IPC.

TOLEDO, V., FLORENTINO, A. y URBINA DE NAVARRO, C. (2015). Interpretación de la microestructura orgánica en la costra microbiótica del suelo en Quíbor, estado Lara, utilizando microscopia electrónica de barrido. *Acta Microscópica*: 32 – 40.

TOLEDO, V. y URBINA DE NAVARRO, C. (2008). Estudio Preliminar de la influencia de la costra macrobiótica en los suelos de Quíbor, Estado Lara, Venezuela, mediante microanálisis de rayos X (EDS). *Acta microscópica* 17(1): 77-84.

THOMPSON, L. y TROEH F. (1982). *Los suelos y su fertilidad*. 4ª Edición. Ed. Reverté. Barcelona, España.

TRONCOSO, P., PÉREZ, C., LARRAIN, J. y ARDILES, V. (2013). Desarrollo de la fijación simbiótica de nitrógeno en una cronosecuencia primaria en la Isla Santa Inés, Región de Magallanes, Chile. *Revista Chilena de Historia Natural* 86:345-355

VERA, S., LOZANO, Z., LOBO, D., BRAVO, C. y HERNÁNDEZ, R. (2012). Propiedades físicas del suelo y distribución de raíces de maíz bajo diferentes tipos de cobertura y fertilización en un sistema conservacionista cereal-ganado. *Revista de la Facultad de Agronomía (UCV)* 38(2):49-63

YORIS, F. (1988). Localidades tipo y secciones de referencia para los miembros de la Formación El Cantil en la Serranía del Interior, Venezuela nororiental. *Boletín de la Sociedad Venezolana de Geología*.34: 52-70.

ZUÑIGA, G., PIZARRO, M., CONTRERAS, R. y KOHLER. H. (2012). Tolerancia la desecación en Briofitas. Participación de azúcares. *Caderno de Pesquisa* 1:146-154

FRANKLIN NÚÑEZ RAVELO. Profesor en la especialidad de Geografía e Historia, Magister en Geografía, mención Geografía Física, Doctor en Educación Ambiental. Investigador B del PEII (Convocatoria 2015-Ministerio del Poder Popular para la Educación Universitaria, Ciencia y Tecnología). Investigador activo del Centro de Investigaciones “Estudio del Medio Físico Venezolano”. Profesor Agregado a dedicación exclusiva, y Jefe de la Cátedra de Geografía Física de la UPEL-IPC. Coordinador General de Investigación de la UPEL-IPC. Jefe del Departamento de Geografía e Historia (UPEL-IPC). Coordinador de la línea de estudios ecogeográficos. Ponente en diversos eventos científicos y académicos en los ámbitos nacional venezolano e internacional. Autor y coautor de diversas publicaciones científicas en revistas especializadas, de circulación nacional e internacional.

franklingeove@hotmail.com

MARÍA UGAS PÉREZ. Profesora en la especialidad de Geografía e Historia, Magister en Geografía, mención Geografía Física. Investigadora activa del Centro de Investigaciones “Estudio del Medio Físico Venezolano”. Profesora en la Cátedra de Geografía Física de la UPEL-IPC. Investigadora en las líneas de Ecogeografía y Biogeografía. Ponente en diversos eventos científicos y académicos en los ámbitos nacional.

mariaelenaugas_88@hotmail.com

MICHEL HERNÁNDEZ. Profesora en la especialidad de Geografía e Historia, Magister en Geografía, mención Geografía Física. Investigadora A1 del PEII (Ministerio del Poder Popular para la Educación Universitaria, Ciencia y Tecnología). Investigadora activa del Centro de Investigaciones “Estudio del Medio Físico Venezolano”. Profesor Instructor a tiempo completo adscrita a la Cátedra de Geografía Física de la UPEL-IPC. Ponente en diversos eventos científicos y académicos en los ámbitos nacional. Coautora de diversas publicaciones científicas en revistas especializadas, de circulación nacional e internacional.

michelahernandez@hotmail.com