

## CONOCIMIENTO DE LA COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL SUELO EN ÁREAS DE SUCESIÓN ECOLÓGICA DE BOSQUES DE ABETO (*Abies guatemalensis* REHDER)

### KNOWLEDGE OF THE SOIL CHEMICAL COMPOSITION IN AREAS OF ECOLOGICAL SUCCESSION FOREST FIR (*Abies guatemalensis* REHDER)

José Vicente **Martínez-Arévalo**<sup>1</sup>; Ovidio Aníbal **Sacbaja-Galindo**<sup>2</sup> y José Pablo **Prado-Córdova**<sup>3</sup>.  
<sup>1, 2, 3</sup> Profesores Facultad de Agronomía, Universidad de San Carlos de Guatemala, Edificio T8, Ciudad Universitaria, zona 12, Guatemala, Guatemala. <sup>1</sup>Sub área Ciencias Biológicas, josevm2000@yahoo.com, <sup>2</sup>Coordinador Laboratorio de Suelos y Agua, ovansal@hotmail.com <sup>3</sup>Director Escuela de Postgrado, josepaprado@yahoo.es

---

#### RESUMEN

Se estudió la composición química (pH, elementos mayores, menores, %S.B., CIC, %M.O. y N.T.), de los suelos de áreas abiertas y bosque de abeto (*Abies guatemalensis* Rehder) en un gradiente sucesional. Estos resultados se relacionaron con la vegetación a través de análisis de correlación y análisis Canónico de Correspondencias. El objetivo fue mostrar las relaciones presentes entre vegetación y composición química del suelo a través de la sucesión ecológica en áreas de clima frío. Los resultados indican que la vegetación está compuesta de 82 especies de las cuales 20 son del estrato herbáceo inferior, 34 del estrato herbáceo superior, 21 arbustos y siete árboles. Las características químicas del suelo a través de los cinco estadios sucesionales tienen pocas diferencias significativas y no muestran una tendencia clara al aumento de acuerdo con el grado de desarrollo del ecosistema. Se presenta un bajo porcentaje de correlaciones entre la parte vegetal y características químicas del suelo. El análisis canónico de correspondencias muestra que las características que más correlacionan con los sitios a través de la vegetación son el K, CIC y %SB y. Se puede concluir que el abordaje del estudio de la composición química de suelos, en áreas de sucesión ecológica es complejo, en especial en regiones de altitud donde, además de otros factores, la temperatura y la humedad juegan un papel importante en la dinámica suelo-vegetación.

**Palabras clave:** Sucesión ecológica, propiedades químicas del suelo, *Abies guatemalensis* Rehder, correlación suelo-vegetación, análisis Canónico de Correspondencias.

#### SUMMARY

The Chemical composition ( pH , elements major and minor , % S.B., CIC , % M.O. and N.T) on soils in open areas and forest fir (*Abies guatemalensis* Rehder ) in a successional gradient was studied. These results were related to vegetation through correlation analysis and Canonical Correspondence analysis. The aim was to show the relationships present between vegetation and soil chemistry through ecological succession in areas of cold climate. The results indicate that the vegetation is composed of 82 species of which 20 are the lower herbaceous layer, 34 the herbaceous layer of the upper, 21 shrubs and seven trees. The chemical characteristics of the soil through five successional stages have only few significant differences and not show a clear tendency to increase according to the degree of ecosystem development. A low percentage of correlations between vegetation and soil chemical characteristics are presented. The correspondence canonical analysis shows that the features that correlate with sites through vegetation are the K, and % S.B. and CIC. One can conclude that the approach of the study of the chemical composition of soils in areas of ecological sequence is complex, especially in high regions where, besides other factors, the temperature and humidity play an important role on the soil-vegetation dynamic.

**Key Word:** Ecological succession, soil chemical properties, *Abies guatemalensis* Rehder, soil-vegetation correlation, Canonical Correspondence Analysis.

#### INTRODUCCIÓN

El estudio de la sucesión vegetal es importante porque ayuda a mostrar las rutas que se pueden seguir para trabajos de restauración de ecosistemas dañados (Maestre, Jordi y Vallejo, 2006). La mayoría de estudios de la sucesión se centran en la vegetación, obviando a la fauna y las características físico-químicas del suelo. Sin embargo, hay algunos trabajos que han aportado tanto al conocimiento de la sucesión como de la restauración combinando los cambios en vegetación y los que se producen debajo en las características químicas del suelo (Mitchell, Marrs, Le Duc, y Auld, 1999). Es importante hacer el análisis de sucesión ecológica tomando en consideración los cambios sobre el suelo y aquellos que se producen debajo de este, de tal forma de profundizar en análisis como el de Arbelo, Rodríguez, Guerra, y Mora (2002), quienes señalan cómo la calidad del suelo varía conforme se lleva a cabo la sucesión vegetal.

Recibido: 15 de octubre de 2013. Aceptado: 18 de enero de 2014.

Publicado como ARTÍCULO CIENTÍFICO en Ra Ximhai  
10(3): 161-172.

En este artículo se presenta la información generada de la sucesión ecológica alrededor de bosques de abeto (*Abies guatemalensis* Rehder) especie endémica para la parte sur de México, occidente y oriente de Guatemala y parte norte de Honduras (Martínez, 2013). Actualmente está en la lista roja de la Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora (CITES) debido a que sus poblaciones han sido disminuidas, por la deforestación, cambio de uso en el suelo y sobrepastoreo, provocando un paisaje de parches aislados (CONAP, 2006, p.14). Tanto los bosques como sus alrededores son protegidos por las comunidades y municipalidades, de tal forma que se nota una fisonomía de sucesión vegetal. El estudio fue llevado a cabo en el departamento de San Marcos en áreas comprendidas entre 2800 a 3400 m de altitud, en las partes altas de las cuencas del río Coatán, Suchiate y Grijalva. Estas tierras tienen una historia de más de cuatro siglos de degradación debido al sobrepastoreo de ovejas, el que actualmente ha disminuido. El área está en una región fisiográfica de tierras altas cristalinas formada de montañas plegadas y colinas que han sido muy influenciadas por el volcán Tacana y Tajumulco. Presenta una precipitación promedio de 2000 mm anuales, temperatura de 12.5 a 8.5 °C, zonas de vida Bosque Húmedo y Muy Húmedo Montano Bajo Subtropical (bh-MB y bmh-MB). Los suelos pertenecen al orden Andisol y Entisol de acuerdo a la clasificación del USDA (1998, p.83-102).

El objetivo de este trabajo es conocer la relación que existe entre los principales minerales del suelo, pH y Materia orgánica con la vegetación a lo largo de cinco estadios sucesionales.

## MATERIALES Y MÉTODOS

En los meses de julio y agosto de 2010 se realizó un levantamiento de la vegetación que crece alrededor de los parches de bosque de pinabete en alturas de 2900 a 3400 m de altitud en 10 localidades ubicadas en los municipios de San Marcos, Ixchiguan, Tacana, Sibinal y San José Ojetenam (*Cuadro 1*). En cada localidad se establecieron parcelas siguiendo un gradiente de sucesión vegetal reconocido a través de cinco estadios sucesionales (estadio 1 vegetación herbácea de 3 a 5 años, estadio 2 hierbas y arbustos 7 a 15 años, estadio 3 hierbas, arbustos y árboles de varias especies 15 a 40 años, estadio 4 árboles de varias especies y pinabete 20 a 80 años y estadio 5 bosque de pinabete mayor de 80 años).

Se ubicaron cinco parcelas por localidad, en un gradiente sucesional de etapas de hierbas hasta árboles. Cada parcela fue de 500m<sup>2</sup>, donde se registró la información para árboles, dentro de ella se establecieron cinco sub-parcelas (una en cada esquina y otra en el centro) de 1m<sup>2</sup> para hierbas y una sub-parcela en la esquina superior derecha de la parcela grande de 16m<sup>2</sup> para arbustos. Se recolectaron muestras de herbario, su determinación se realizó en el herbario BIGU de la Escuela de Biología de la Universidad de San Carlos de Guatemala. Por otra parte tomó muestra de suelo en las 50 parcelas a profundidad de 0 a 15 cm, para realizar análisis químico para pH (en escala de 1 a 14), P, K, Cu, Zn, Fe, Mn en ppm; Ca, Mg, CIC (Capacidad de Intercambio Catiónico), K y H+Al en Meq/100gr; SB (Saturación de Bases), MO (Materia Orgánica) y NT (Nitrógeno Total) en porcentaje, estos análisis fueron realizados en el Laboratorio de Suelos de la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

Con la información química de suelos se realizó un análisis de varianza por elemento para los cinco estadios sucesionales. Luego se efectuó un análisis de componentes principales (ACP) utilizando el método basado en la matriz de correlación, debido a que los datos para las características químicas del suelo no son dimensionalmente homogéneos. Este análisis se hizo con el objetivo de determinar cuáles variables explican mejor la fertilidad, con ellas se realizó: a) análisis de correlación por estadio sucesional con las siguientes características de vegetación: número de especies, índice de diversidad de Shannon, densidad y cobertura por estratos de vegetación y b) análisis canónico de

correspondencias entre la vegetación a través de las localidades de estudio y las variables químicas del suelo.

**Cuadro 1.- Información y ubicación de localidades estudiadas**

| No. | Localidad           | Municipio              | Grados sexagesimales |            | %     | Orientación | Fisonomía |
|-----|---------------------|------------------------|----------------------|------------|-------|-------------|-----------|
|     |                     |                        | Log. W               | Lat. N     |       |             |           |
| 1   | Camba<br>Los        | Sibinal                | 89°3'50''            | 14°57'50'' | 30    | Este        | Ondulada  |
| 2   | Cuervos             | Ixchiguan              | 88°56'52''           | 15°10'13'' | 25    | Noroeste    | Uniforme  |
| 3   | Ixcamal             | San Marcos<br>San José | 88°48'38''           | 14°55'32'' | 20    | Este        | Ondulada  |
| 4   | El Grande           | Ojetenam<br>San José   | 88°58'01''           | 15°13'23'' | 15-25 | Oeste       | Ondulada  |
| 5   | Las Nubes<br>Las    | Ojetenam<br>San José   | 88°57'24''           | 15°12'55'' | 20-30 | Norte       | Ondulada  |
| 6   | Ventanas            | Ojetenam               | 88°57'54''           | 15°12'34'' | 40-60 | Oeste y Sur | Ondulada  |
| 7   | Canatzaj<br>Flor de | Tacana                 | 88°57'13''           | 15°11'07'' | 25-30 | Oeste       | Uniforme  |
| 8   | Mayo                | Tacana                 | 88°57'38''           | 15°10'49'' | 35    | Oeste       | Uniforme  |
| 9   | Toribio             | Tacana                 | 88°58'06''           | 15°10'40'' | 35    | Este        | Ondulada  |
| 10  | San Luis            | Tacana                 | 88°57'56''           | 15°10'44'' | 25-35 | Sur         | Ondulada  |

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### a) Vegetación

El área de estudio tiene una vegetación montana compuesta por 82 especies que representa los estadios sucesionales y el bosque, la composición está acorde con la información obtenida por Véliz, Gallardo, Vásquez, y Luarca (2001). En el estudio de la vegetación montana de Guatemala y con otros autores en áreas similares (Quintana-Ascencio y González-Espinosa, 1993; Islebe y Hooghiemstra, 1995).

La vegetación se clasificó en cuatro estratos: a) el herbáceo inferior que corresponde de acuerdo con Alcaraz (2013, p.5) aquellas plantas que crecen pegado al suelo y que por lo tanto tienden a cubrirlo, tienen una función especial, ya que en el ambiente del área de estudio especies de musgos y otras retienen humedad y materia orgánica. Varias de estas especies tienen estolones, rizomas y/o tubérculos con los que sobreviven de una época seca a la otra, tal como lo indican Vargas, Premauer y Cárdenas, (2002) las hierbas estoloníferas rastreras se asocian con los sitios más intensamente pastoreados, tal es el caso de área de estudio; b) el estrato herbáceo superior, está compuesto por plantas anuales o semi perennes presentes principalmente en la época lluviosa e inicios de la época secas; c) arbustos, compuesto por especies perennes y semiperennes, que juegan un papel muy importante en la sucesión ecológica, tienen la función de nodrizas que ayuda al establecimiento tanto de especies de arbustos como de árboles; y d) árboles compuesto por siete especies, adaptadas a ambientes de altura, tienen un papel importante en las fases finales de la sucesión y en la recuperación de áreas boscosas.

**Cuadro 2.- Resumen de la información vegetal encontrada las áreas de sucesión alrededor de bosques de pinabete (*Abies guatemalensis* Redher)**

|                           |  |
|---------------------------|--|
| No. de especies           | 82   |
| Estrato herbáceo inferior | 20   |
| Estrato herbáceo superior | 34   |
| Arbustos                  | 21   |
| Árboles                   | 7  |
| No. Familias botánicas    | 41   |
| Familias más comunes      | Asteraceae, Poaceae, Lamiaceae, Rosaceae, Solanaceae   |
| Especies más frecuentes   | <i>Alchemilla guatemalensis</i> Rothm; <i>Brachypodium mexicanum</i> (Roem. & Schult.) Link; <i>Smilacina scilloidea</i> Martens & Galiotti; <i>Salvia</i> sp. L.; <i>Senecio callosus</i> Sch. Bip.; <i>Acaena elongata</i> L.; <i>Roldana heterogama</i> (Benth.) H. Rob. & Brettell; <i>Rubus trilobus</i> Ser.; <i>Stevia polycephala</i> Bertol.; <i>Symphoricarpos microphyllus</i> HBK; <i>Pinus ayacahuite</i> Ehrenb. ex Schldl. y <i>Abies guatemalensis</i> Rehder. |

b) *Composición química del suelo*

En el Cuadro 3 se presenta la información del análisis químico del suelo a través de los cinco estadios sucesionales. El pH promedio fue de 5.72, que se considera ácido, puede atribuirse, primero al material superficial del suelo que está comprendido en el orden Andisol (USDA, 1998, p.83-102), segundo al alto contenido de materia orgánica (13 a 17%), en proceso parcial de descomposición por las condiciones del clima de baja temperatura y alta precipitación. Así, se espera una baja disponibilidad y fijación de varios de los minerales, principalmente de P (Alcalá de Jesús, Hidalgo y Gutiérrez, 2009). No hay una tendencia clara del cambio de pH a través de la sucesión, sin embargo, de acuerdo con Bautista, Del Castillo y Gutiérrez, (2003) se esperaría una tendencia hacia la acidificación en los estadios maduros, pero en este caso puede notarse un leve ascenso de pH de 5.72 en los estadios 1 a 6.00 en los estadios 5.

En el caso del fósforo (P), en promedio, se encontraron valores más altos en los primeros estadios sucesionales, donde es más reciente el abandono de pastoreo ovino, estas cantidades disminuyen en los estadios 4 y 5, lo que está acorde a lo señalado por Arbelo et al., (2002), en el sentido de que en áreas con árboles, hay menos aporte de fósforo al suelo, en el caso de los bosques de abeto el comportamiento es perennifolio, lo que apoya lo anterior. No hubo diferencia significativa en el análisis de varianza para P, y solo en el estadio 1, su valor está levemente por arriba de la cantidad mínima recomendada por el laboratorio de suelos para el desarrollo de las plantas (12-16 ppm); sin embargo, el valor de la desviación estándar, indica la alta variación a través de los diferentes sitios muestreados.

De acuerdo con los valores de pH, la disponibilidad del P es baja, ya que el rango óptimo para su asimilación está en valores de pH de 6 a 7. Se esperaría entonces, que haya fijación, lo que debe tomarse en consideración para fines de manejo. A esto hay que agregar que siendo suelos de origen volcánico, presentan complejos de humus-aluminio y de arcillas amorfas que tienden a influir en la mayor fijación del P. Así también por el bajo pH, se reduce la solubilidad de fosfatos de hierro y aluminio y aumenta la solubilidad de las formas ligadas al calcio que no permiten que el P se asimile (Fassbender, 1975, p.255-283).

**Cuadro 3.- Promedio de valores de las variables químicas del suelo a través de cinco estadios sucesionales de bosque de pinabete**

| Variable                            | Estadio sucesional |               |               |              |                  |
|-------------------------------------|--------------------|---------------|---------------|--------------|------------------|
|                                     | 1                  | 2             | 3             | 4            | 5                |
| pH                                  | 5.72 ± 0.51        | 6.07 ± 0.67   | 5.75 ± 0.37   | 5.83 ± 0.29  | 6.00 ± 0.42 N.S  |
| P (ppm)                             | 12.86±28.53        | 10.609±9.45   | 9.89 ± 9.97   | 4.84 ± 2.35  | 8.36 ± 8.40 N.S. |
| K (ppm)                             | 53.10±33.94b       | 90.90±40.60ab | 88.80±43.92ab | 69.9±23.48b  | 138.00±78.19a**  |
| Ca (Meq*100g <sup>-1</sup> )        | 4.74 ± 2.27        | 7.02 ± 3.41   | 5.87 ± 3.20   | 6.18 ± 2.83  | 8.36 ± 3.51 N.S. |
| Mg (Meq*100g <sup>-1</sup> )        | 0.64 ± 0.38b       | 0.99 ± 0.52b  | 1.00 ± 0.37b  | 1.03 ± 0.43b | 1.38 ± 0.54a*    |
| Cu (ppm)                            | 0.29 ± 0.60        | 0.18 ± 0.17   | 0.18 ± 0.17   | 0.22 ± 0.19  | 0.26 ± 0.21 N.S. |
| Zn ppm)                             | 2.65 ± 1.76        | 3.05 ± 1.86   | 2.25 ± 1.48   | 2.40 ± 1.53  | 2.30 ± 0.95 N.S. |
| Fe (ppm)                            | 4.55 ± 6.60        | 5.55 ± 3.01   | 6.50 ± 4.71   | 5.10 ± 3.00  | 7.35 ± 2.81 N.S. |
| Mn (ppm)                            | 14.90 ± 7.19       | 19.95 ± 5.84  | 17.40 ± 9.20  | 20.95±8.04   | 23.95 ±7.05 N.S. |
| CIC (Meq*100g <sup>-1</sup> )       | 36.29±13.08        | 34.33±11.27   | 34.07±12.55   | 39.04±7.45   | 35.58 ±9.94 N.S. |
| Ca int. (Meq*100g <sup>-1</sup> )   | 6.14 ± 3.22        | 8.31 ± 4.05   | 7.33 ± 4.39   | 8.46 ± 3.90  | 10.88 ±4.85 N.S. |
| Mg int. (Meq*100g <sup>-1</sup> )   | 0.85 ± 0.51b       | 1.47 ± 0.83b  | 1.39 ± 0.69b  | 1.58 ± 0.72b | 1.99 ± 0.96a*    |
| Na int. (Meq*100g <sup>-1</sup> )   | 0.25 ± 0.04        | 0.33 ± 0.16   | 0.24 ± 0.07   | 0.24 ± 0.04  | 0.24 ± 0.04 N.S. |
| K int. (Meq*100g <sup>-1</sup> )    | 0.34 ± 0.17        | 0.44 ± 0.20   | 0.45 ± 0.16   | 0.45 ± 0.16  | 0.652 ±0.43 N.S  |
| Al+H int. (Meq*100g <sup>-1</sup> ) | 0.26 ± 0.44        | 0.09 ± 0.22   | 0.07 ± 0.19   | 0.02 ± 0.04  | 0.00 ± 0.00 N.S. |
| SB (%)                              | 25.86±19.49        | 34.61±26.44   | 27.14± 9.89   | 26.60±8.17   | 39.18±13.11N.S.  |
| M.O. (%)                            | 13.88 ±6.00        | 17.96 ± 8.80  | 13.34± 8.64   | 16.69±4.64   | 15.65 ±7.40 N.S. |
| N.T. (%)                            | 0.57 ± 0.26        | 0.59 ± 0.20   | 0.65 ± 0.16   | 0.60 ± 0.21  | 0.51 ± 0.13 N.S. |

Valores con signo ± corresponden desviación estándar. N.S.: No significativa, \*\* altamente significativo ( $p < 0,01$ ) y \* significativos ( $p < 0,05$ ) ( $n=10$ ). pH: potencial de hidrógeno; P: fósforo disponible; K: potasio disponible; Ca: calcio disponible; Mg: magnesio disponible; Cu: Cobre disponible; Zn: zinc disponible; Fe: hierro disponible; Mn: manganeso disponible; CIC: capacidad de intercambio catiónico; Ca int.: calcio intercambiable; Mg int.: magnesio intercambiable; Na int.: sodio intercambiable; K int.: potasio intercambiable; Al+H int.: aluminio intercambiable; SB: porcentaje de saturación de bases; M.O.: porcentaje de materia orgánica; N.T.: porcentaje de nitrógeno total.

Para el contenido de potasio (K) se encontró diferencia altamente significativa a través de los estadios sucesionales. El estadio 5 es el que tiene las cantidades mayores seguido por el estadio 2 y 3, y luego los estadios 1 y 4 tienen menores valores. Las cantidades promedio que se presentan, están por debajo de las recomendadas por el laboratorio de suelos (120-150 ppm) para áreas cultivadas. Por ser suelos cubiertos con material de erupciones volcánicas, se esperaría tener alta cantidad disponible de K; pero debe considerarse también la evolución del material parental original, que no es volcánico, y esto influye estrechamente con las cantidades presentes (Mengel y Rahmutullan, 1994). Además se trata de suelos franco arenosos con bajo porcentaje de arcilla, que es la fuente principal de K en el suelo (Sardi y Debreczeni, 1992, Buhmann, 1993).

El calcio (Ca) y magnesio (Mg) están en cantidades adecuadas para el suelo, según el rango que maneja el laboratorio de suelos para áreas cultivadas (6-8 y 1.5-2.5 Meq\*100g<sup>-1</sup> para Ca y Mg respectivamente) y tienen una relación cercana a la recomendada (Ca:Mg=6), (Stevens, Gladbach, Motavalli, y Du, 2005). Para Ca no se encontró diferencia significativa en el análisis de varianza y el menor valor está en el estadio 1. Para Mg se tiene diferencia significativa, el estadio 1 es el que tiene el valor más bajo y es significativamente diferente a los demás, además se puede notar tendencia al aumento conforme el estadio sucesional es más maduro.

La cantidad de los demás elementos químicos disponibles en el suelo, incluidos en el análisis presentado en el *Cuadro 3* (Cu, Zn, Fe, Mn), están en los rangos recomendados para áreas cultivadas (Kass, 1998 p.19-23, Miranda, 1989, p.10-14). Para ninguno de ellos hay diferencia significativa en el análisis de varianza. La tendencia general fue de valores bajos en el estadio 1, con tendencia al aumento hacia el estadio 5. En cuanto a los cationes intercambiables (Ca, Mg, Na, K, Al+H) el análisis de varianza no mostró diferencia significativa, a excepción del magnesio. Todos los valores de los cationes intercambiables, en los cinco estadios sucesionales se pueden considerar de medios a bajos (Kass 1998, p.40-47, Miranda 1989, p.10-14). Cabe señalar que la acidez intercambiable representada por el valor de Al+H está en un rango bajo en todos los estadios, a pesar que el pH es ácido. En el caso de la capacidad de intercambio catiónico (CIC), los valores se pueden considerar de altos a muy altos (Fassbender, 1975, p.136), lo que significa que hay una adsorción de cationes, influenciada principalmente por el contenido de materia orgánica (Kass, 1998, p.40-47), esto a pesar de una textura franco arenosa en todas las localidades y los valores de pH ácido, que no favorece valores altos de CIC.

El porcentaje de saturación de bases (SB), muestra valores relativamente bajos (<50% con lixiviación moderada) lo que indica que las posiciones de cambio están ocupadas principalmente por H<sup>+</sup> y Al<sup>+++</sup>, que representan la acidez intercambiable (Fassbender, 1975, p.136), esto es corroborado por los valores ácidos de pH. Se podría considerar un suelo pobre en nutrientes (Kass, 1998, p.40-47), sin embargo, con manejo, en especial con la corrección de pH, puede responder bien a la aplicación de fertilizante, lo cual debe considerarse en el manejo de restauración de bosques, con el establecimiento de pinabete y otras especies forestales.

El porcentaje de materia orgánica en todos los estadios, presenta valores por arriba del medio óptimo (5%), que está acorde a la función de Yenny que indica que el contenido de materia orgánica es mayor de acuerdo con la altitud y precipitación (Fassbender, 1975, p.45-87). Sin embargo, el grado de descomposición se supone bajo, característico de los ambientes de altitud y fríos (Fassbender, 1975, p.45-87).

El análisis desde la materia orgánica del suelo y en otros casos desde carbono orgánico (Martínez, Fuentes y Acevedo, 2008), sirve para integrar la discusión del comportamiento de la vegetación y los nutrientes y microorganismos del suelo. La dinámica de descomposición de la materia orgánica en el clima del área de estudio tiene características especiales (Aranguren y Monasterio 1997, Drewnik 2006, Rivas et al., 2007), pues la temperatura y humedad de las tierras altas provoca que aunque la cantidad presente sea elevada, el nivel de mineralización sea bajo, pues como lo demuestran Klimek y Niklińska (2010) y Lillo, Ramírez, Reyes, Ojeda y Alvear (2011), disminuye la tasa de respiración, es decir la actividad microbiana, y por lo tanto la velocidad de descomposición disminuye conforme la altitud. En este escenario, como lo explican Bottner, Hervé, Callisaya, Metselaar, y Pansu (2006), lo que se presenta es una alta fijación de materia orgánica que se evidencia por la desfavorable microestructura del suelo y acidez, que inhiben la actividad física y química de los microorganismos.

Aunque las cantidades de elementos químicos del suelo puedan considerarse adecuadas, debe tomarse en cuenta la disponibilidad de los mismos. De acuerdo al ambiente, el ciclaje de nutrientes está regido en especial, por la temperatura y humedad, a lo que debe agregarse la influencia de la naturaleza física y química de la materia orgánica del suelo (Ehrenfeld, Ravit y Elgersma, 2005). Por ejemplo, en el caso del fósforo (P), las cantidades encontradas representan P orgánico, ya que la actividad de las enzimas fosfatasas provenientes de la actividad bacteriana actúan en baja velocidad para liberar el orto fosfato mineral, que es la forma asimilable (Criquet, Ferre, Farne y Petit, 2004); además con el valor de pH cercano a seis se inhibe su asimilación hacia las plantas.

c) *Análisis de componentes principales para selección de variables*

Al efectuar el análisis de componentes principales se encontró que el 94.42% de la varianza se acumula en los dos primeros ejes de ordenación, por lo tanto, es en ellos que hay que buscar las características de los suelos que mejor representan a esos ejes.

En el *Cuadro 4*, se presenta la participación en de varianza en los dos primeros ejes de ordenación, de cada una de las características químicas del suelo. Se consideró como criterio escoger aquellas que tengan valores altos de varianza tanto en el primero como en el segundo eje, de tal forma que se seleccionó al P, K, CIC, SB y MO.

**Cuadro 4.- Valor de la varianza explicada por cada característica química en los dos primeros componentes principales**

| Característica química del suelo | Componentes Principales |       | Característica química del suelo | Componentes Principales |       |
|----------------------------------|-------------------------|-------|----------------------------------|-------------------------|-------|
|                                  | 1                       | 2     |                                  | 1                       | 2     |
| pH                               | 2,14                    | 0,09  | CIC                              | -9,51                   | 6,24  |
| P                                | 1,50                    | -1,09 | Ca int.                          | 1,48                    | 0,17  |
| K                                | -22,18                  | 4,19  | Mg int.                          | 3,88                    | -0,59 |
| Ca                               | 2,13                    | -0,08 | Na int.                          | 4,28                    | 0,65  |
| Mg                               | 4,03                    | -0,62 | K int.                           | 4,22                    | -0,67 |
| Cu                               | 4,30                    | 0,69  | Al+H                             | 4,32                    | -0,62 |
| Zn                               | 3,38                    | 0,14  | SB                               | -6,14                   | 0,98  |
| Fe                               | 2,36                    | 0,59  | M.O.                             | -1,82                   | 2,39  |
| Mn                               | -2,53                   | 0,61  | N.T.                             | 4,14                    | -0,57 |

d) *Análisis de correlación de vegetación y características químicas del suelo*

En general se encontró baja correlación entre las variables de vegetación y las características químicas del suelo. En el *Cuadro 5* se presenta de manera resumida las correlaciones significativas y altamente significativas, a la par de cada valor se indica en que estadio sucesional se encontró esa correlación.

El fósforo únicamente tiene una correlación positiva y significativa con la densidad de herbáceas del estrato superior en el estadio 5, este elemento en general está en bajas cantidades en estos suelos. El K solo tiene una correlación positiva y significativa en el estadio 4 con la densidad de arbustos. En cuanto a la capacidad de intercambio catiónico (CIC) hay correlaciones significativas con la diversidad, número de especies y la densidad de arbustos en el estadio 3, lo que puede interpretarse que es en esta fase de desarrollo del ecosistema donde la diversidad es mayor y por lo tanto el número de especies es alto y hay los arbustos que contribuyen significativamente con el aporte de hojarasca.

El porcentaje de saturación de bases (%SB) es el que presenta la mayor cantidad de correlaciones positivas en los estadios 4 y 5, que es donde la fertilidad natural de estos ecosistemas es mayor dado a la acumulación de hojarasca y materia orgánica. Sin embargo las correlaciones con la M.O. son solo dos a pesar que los contenidos son altos en todos los estadios sucesionales. En resumen se puede indicar que los elementos químicos del suelo tuvieron correlaciones significativas con la

densidad y cobertura de arbustos, diversidad y riqueza de especies similar a lo encontrado por Coccon, Olmsted y Campos (2002).

**Cuadro 5.- Correlación de variables vegetación y características químicas del suelo seleccionadas en el análisis de componentes principales, en cinco estadios sucesionales**

|           | P           | K           | CIC         | %SB                          | %M.O.        |
|-----------|-------------|-------------|-------------|------------------------------|--------------|
| Div.      |             |             | 0.703(*) E3 | 0.659(*) E4                  |              |
| Esp.      |             |             | 0.737(*) E3 | 0.654(*) E3;<br>0.882(**) E4 | -0.653(*) E1 |
| Deninf.   |             |             |             |                              | 0.651(*) E2  |
| Densup.   | 0.712(*) E5 |             |             |                              |              |
| Denarb.   |             | 0.702(*) E4 | 0.676(*) E3 | 0.873(**) E4                 |              |
| Cobarb.   |             |             |             | 0.968(**) E4                 |              |
| Denarbol. |             |             |             | 0.807(**) E5                 |              |
| Cobarbol. |             |             |             | 0.809(**) E5                 |              |

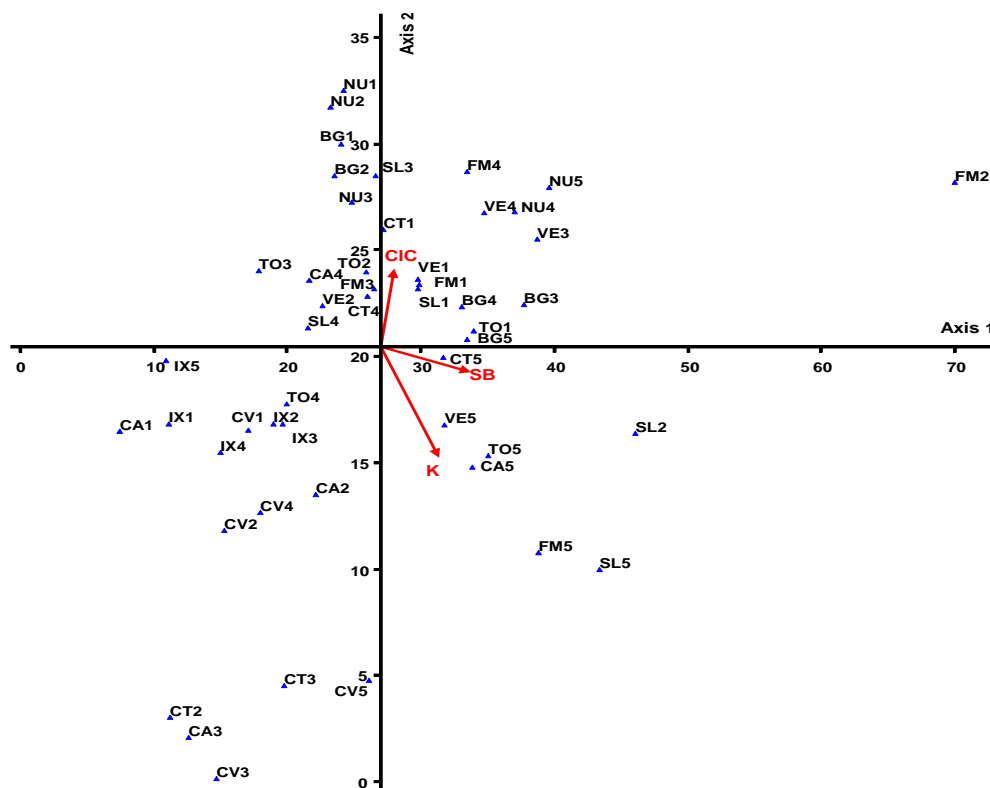
Div.: Índice de diversidad de Shannon; Esp: Número de especies; Deninf: Densidad estrato herbáceo inferior; Densup: Densidad estratoherbáceo superior;; Denarb: Densidad de arbustos; Cobarb: Cobertura de arbustos; Denarbol: Densidad de árboles; Cobarbol: Cobertura de árboles. \*\* Correlación significativa al nivel del 0.01 (2-colas); \* Correlación significativa al nivel del 0.05 (2-colas). E1: Estadio sucesional 1; E2: Estadio sucesional 2; E3; Estadio sucesional 3; E4 Estadio sucesional 4; E5 Estadio sucesional 5.

*e) Análisis canónico de correspondencias*

El análisis canónico de correspondencias que se presenta en la *Figura 1*, muestra la distribución en los dos primeros ejes de ordenación, de la correspondencia de las variables químicas del suelo, representadas por vectores, respecto a las localidades de muestreo a través de los cinco estadios sucesionales y su composición florística. De las cinco características químicas utilizadas solo K, CIC y SB, muestran correlación. El CIC tiene una correlación con las localidades que presentan mejores características de fertilidad natural, hay algunos estadios 1 pero en especial son los estadios 3 y 5; y la SB y K están asociados a los estadios cinco de varias localidades, similar a lo presentado en el *Cuadro 5*.

Las correlaciones encontradas están en el cuadrante superior e inferior del lado derecho, del lado izquierdo no se encuentra ninguna correlación. En el lado superior izquierdo se encuentran principalmente parcelas de los estadios 1, 2 y 3 de varias localidades. Las parcelas de los cinco estadios sucesionales de las localidades Ixcamal, Camba y Cuervos se agrupan en el cuadrante inferior del lado izquierdo de la figura, estos son los tres lugares más deteriorados del estudio y por lo tanto con los valores más bajos de elementos químicos.





**Figura 1.-** Análisis Canónico de Correspondencias de los sitios de estudio de sucesión ecológica y características químicas del suelo.

Nombre de las localidades y el estadio sucesional de acuerdo a la abreviaturas utilizadas: Bosque Grande BG1, BG2, BG3, BG4, BG5; Las Nubes NU1, NU2, NU3, NU4, NU5; Las Ventanas VE1, VE2, VE3, VE4, VE5; San Luis SL1, SL2, SL3, SL4, SL5; Canatzaj CT1, CT2, CT3, CT4, CT5; Toribio TO1, TO2, TO3, TO4, TO4; Flor de mayo FM1, FM2, FM3, FM4, FM5; Camba CA1, CA2, CA3, CA4, CA5, Ixcamal IX1, IX2, IX3, IX4, IX5 y Los Cuervos CV1, CV2, CV3, CV4, CV5.

Los resultados obtenidos en el análisis Canónico de Correspondencias vienen a corroborar, lo que se había encontrado en el análisis de componentes principales y de correlación, de donde se puede indicar que la correlación de las características químicas del suelo con la vegetación es escasa y sin una tendencia definida en cuanto a los estadios sucesionales.

La mayoría de elementos químicos analizados estuvieron por arriba de los rangos críticos (al menos los recomendados para suelos cultivados), a lo largo de los estadios sucesionales, sin presentar una tendencia sucesional clara, pues hay casos en que los primeros estadios tienen mejores condiciones nutricionales que los estadios intermedios y maduros. Mitchell et al. (1999), encontraron para el caso del nitrógeno, fósforo, calcio y magnesio que en muchas ocasiones hay remanentes de las áreas que han sido manejadas y que por lo tanto los niveles pueden ser mayores que los estadios maduros de sucesión.

El tema de la dinámica de nutrientes a lo largo de la sucesión tiene escaso apoyo en estudios científicos, como señala Walker (2005). Llambi y Sarmientos (1998) encontraron resultados afines en condiciones de suelos de los Andes que son regiones que pueden considerarse similares a los de este estudio. De tal forma, que la complejidad de estos resultados contribuyen a comprender mejor el fenómeno y a considerar una serie de factores, tanto de la vegetación y del suelo al momento de realizar intervenciones como en el caso de la restauración ecológica.

## AGRADECIMIENTOS

Se agradece a la Secretaria de Ciencia y Tecnología (SENACY) por el apoyo económico brindado a la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala por medio del proyecto FODECYT 055-2009, para realizar este estudio.

## LITERATURA CITADA

- Alcaraz, F. J. (2013). *Formas vitales, estratificación y fenología*. Tema 8. ICE Universidad de Murcia y Diego Marín. España: Universidad de Murcia.
- Alcalá de Jesús, M., Hidalgo, M. C, y Gutiérrez, C. M. C. (2009). Mineralogía y retención de fosfatos en Andisoles. *Terra Latinoamericana*, 27(4), 275-286.
- Aranguren, A. y Monasterio, M. (1997). *Aspectos de la dinámica del nitrógeno de parcelas con diferentes tiempos de descanso en el páramo de Gavidia (Andes venezolanos)*. En M. Liberman y C. Baied, (Eds.), *Desarrollo sostenible de ecosistemas de montaña: manejo de áreas frágiles en los Andes* (pp. 171-179). Mérida. Venezuela: Universidad de las Naciones Unidas.
- Arbelo, C. D., Rodríguez, A., Guerra, J. A. y Mora, J. L. (2002). Calidad del suelo y sucesión vegetal en andosoles forestales de las islas Canarias. *Edafología*, 9(1), 31-38.
- Bautista, A., Del Castillo, R. F., Gutiérrez, C. (2003). Patrones de desarrollo del suelo asociados con sucesión secundaria en un área originalmente ocupada por bosque mesófilo de montaña (en línea). *Ecosistemas* 12(3). Disponible en: <http://www.aeet.org/ecosistemas/033/investigacion1.htm>
- Bottner, P., Hervé, D., Callisaya, R., Metselaar, K. y Pansu, M. (2006). Modelización de la evolución de la materia orgánica en suelos en descanso (altiplano seco boliviano). *Ecología en Bolivia*, 41(3), 117-133.
- Buhmann, C. (1993). K-fixing phyllosilicates in soils: the role of inherited components. *Journal Soil Science*, 44, 347-360.
- Coccon, E., Olmsted, I. y Campos, J. (2002). Vegetación y propiedades del suelo en dos bosques tropicales secos de diferente estado de regeneración en Yucatán. *Agrociencia*, 36(5), 621-631.
- CONAP (Consejo Nacional de Áreas Protegidas). (2006). *Listado de especies de flora y fauna silvestres cites de Guatemala*. Convención sobre el comercio internacional de especies amenazadas de fauna y flora silvestres. Guatemala: CONAP.
- Criquet, S., Ferre, E., Farne, A. M. y Petit, J. L. (2004). Annual dynamics of phosphatase activities in an evergreen oak litter: influence of biotic and abiotic factors. *Soil Biology and Biochemistry*, 36(7), 1111-1118.
- Drewnik, M. (2006). The effect of environmental conditions on the decomposition rate of cellulose in mountain soils. *Geoderma*, 132(1-2), 116-130.

- Ehrenfeld, J. G, Ravit, B. y Elgersma, K. (2005). Feedback in the plant-soil system. *Annu. Rev. Environ. Resour*, 30, 75-115.
- Fassbender, H. W. (1975). *Química de suelos con énfasis en los suelos de América Latina*. Turrialba, Costa Rica: IICA.
- Islebe, G. A. y Hooghiemstra, H. (1995). Recent pollen spectra of Highland Guatemala. *Journal of Biogeography*, 22, 1091-1099.
- Kass, D. C. L. (1998). *Fertilidad de suelos*. San José, Costa Rica: Editorial Universidad Nacional a Distancia (EUNED).
- Klimek, B. y Niklińska, M. (2010). How decomposition of organic matter from two soil layers along an altitudinal climatic gradient is affected by temperature and moisture. *Polish J. of Environ. Stud.*, 19(6), 1229-1237.
- Lillo, A., Ramírez, H., Reyes, F., Ojeda, N. y Alvear, M. (2011). Actividad biológica del suelo de bosque templado en un transecto altitudinal, Parque Nacional Conguillío (38° S), Chile. *Bosque*, 32(1), 46-56.
- Llambi, L. D. y Sarmientos, L. (1998). Biomasa microbiana y otros parámetros edáficos en una sucesión secundaria de los páramos venezolanos. *Ecotrópicos*, 11(1), 1-14.
- Maestre, F. T., Jordi, C., J. y Vallejo, R. (2006). Are Ecosystem Composition, Structure, and Functional Status Related to Restoration Success? A Test from Semiarid Mediterranean Steppes. *Restoration Ecology*, 14(2), 258-266.
- Martínez, E., Fuentes, J. P. y Acevedo, E. (2008). Carbono orgánico y propiedades del suelo. *Suelo y Nutrición Vegetal*, 8(1), 68-96.
- Martínez, J. V. (2013). Plantas asociadas a los bosques de *Abies guatemalensis* (Pinaceae) del occidente de Guatemala. *Revista de Biología Tropical*, 61(1), 321-333.
- Mengel, K. y Rahmatullah, C. (1994). Exploitation of K by various crops species from primary minerals in soils rich in micas. *Biol.Fertili. Soils*, 17, 75-79.
- Miranda, A. A. (1989). *Consideraciones para informar los resultados de un análisis químico de suelos*. San José, Costa Rica: IICA.
- Mitchell, R. J., Marrs, R. H., Le Duc, M. G. & Auld, M. H. D. (1999). A study of the restoration of heathland on successional sites: changes in vegetation and soil chemical properties. *Journal of Applied Ecology*, 36(5), 770-783.
- Quintana, A. P y González, E. M. (1993). Afinidad fitogeográfica y papel sucesional de la flora leñosa de los bosques de pino encino de los altos de Chiapas, México. *Acta Botánica Mexicana*, 21, 43-57.
- Rivas, Y., Godoy, R., Valenzuela, E., Leiva, J., Oyarzún, C., y Alvear, M. (2007). Actividad biológica del suelo en dos bosques de *Nothofagus* del centro sur de Chile. *Gayana Botany*, 64(1), 81-92.

- Sardi, K. y Debreczeni, K. (1992). Comparison of methods evaluating the plant available potassium content in soils of different types and potassium levels. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.* 23, 26, 13-2632.
- Stevens, G., Gladbach, T., Motavalli, P. y Du, D. (2005). Soil calcium: magnesium ratios and lime recommendations for cotton. *The Journal of Cotton Science*, 9:65-71.
- USDA (United States, Department of Agriculture). (1998). *Keys to soil taxonomy*, 8 ed. Washington, D.C, US: Soil Survey Staff, Natural Resources Conservation Service.
- Vargas, O., Premauer, J. y Cárdenas, C. (2002). Efecto del pastoreo sobre la estructura de la vegetación de un páramo húmedo de Colombia. *Ecotropicos*, 15(1), 35-50.
- Véliz, M. E., Gallardo, N. R., Vásquez, M. G., y Luarca, R. (2001). *La vegetación Montana de Guatemala*. Informe Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología -CONCYT. Guatemala: CONCYT.
- Walker, L. R. (2005). Margalef y la sucesión ecológica. *Ecosistemas*, 14(1), 66-78. Disponible en: <http://www.revistaecosistemas.net/articulo.asp?Id=70>

## **Síntesis curricular**

### **José Vicente Martínez Arévalo**

Doctorado en Ciencias Naturales para el Desarrollo con énfasis en Gestión de Recursos Naturales Renovables. Maestría en Botánica del Colegio de Postgraduados, México. Ingeniero Agrónomo, Facultad de Agronomía, Universidad de San Carlos de Guatemala. Profesor Titular VII de la Sub área de Ciencias Biológicas de la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos (USAC), impartiendo los cursos de Ecología General y Ecología Vegetal. Investigador en los campos de recursos fitogenéticos, etnobotánica, plantas medicinales y ecología.

### **Ovidio Aníbal Sacbaja Galindo**

Doctorado en Ciencias de la Universidad de Ciego de Avila, Cuba, Maestro en Ciencias del programa de Suelos del Colegio de Postgraduados, Mexico. Ingeniero Agrónomo de la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala. Profesor Titular VI de la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala, Coordinador del Laboratorio de Suelos y Agua. Investigador en el área de suelos con énfasis en contaminación por minerales del suelo.

### **José Pablo Prado Córdova**

Tiene un PhD en Ecología de la Conservación por la Universidad de Copenhague, un grado de MSc en Sostenibilidad Ambiental por la Universidad de Edimburgo, y una licenciatura en ingeniería agronómica en recursos naturales renovables por la USAC. Es profesor titular VI de la Facultad de Agronomía de la USAC donde dirige actualmente la Escuela de Estudios de Postgrado e imparte clases de Metodología científica e Historia medioambiental. Sus intereses de investigación incluyen la conservación de la diversidad vegetal, la ética medioambiental, la ecología política y la gestión colectiva de los bosques.