

Recuperación de la fertilidad de suelos en bosques secundarios, Monteagudo - Chuquisaca

Recovery of soil fertility in secondary forests, Monteagudo Chuquisaca

Vedulia Coronado^{1*} & E. Noellemeyer²

¹ BEISA 3. Instituto de Agroecología y Seguridad Alimentaria. Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Mayor, Real y Pontificia de San Francisco Xavier de Chuquisaca, Casilla Postal 1046, Calle Calvo N° 132, Sucre-Bolivia.

² Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de la Pampa (UNL Pam), Santa Rosa – Argentina.

*vedulia.coronado@gmail.com

Resumen

Los bosques secundarios juegan un papel importante en la recuperación de la fertilidad de suelos, sobre todo en aquellas regiones donde se practica la agricultura migratoria no sustentable de rosa-tumba y quema, en la cual la tierra se cultiva por periodos cortos bajando su rendimiento y productividad. Se evaluó el proceso de recuperación de las propiedades edáficas en distintas edades de bosques secundarios estratificados en cuatro sucesiones: bosque inicial (BI) 1-7 años, bosque medio (BM) 8-13 años, bosque maduro (BMa) 14-25 años y bosque tardío (BT) > 25 años. La evaluación se llevó a cabo en la comunidad de Zapallar del Parque Nacional y Área de Manejo Integrado Serranía del Inño, Bolivia, donde se seleccionaron 20 sitios, con 4 puntos de muestreo por sitio a una profundidad de 0-5 cm. Los resultados se analizaron mediante pruebas ANOVA, test de medias de Tukey ($\alpha < 0,05$) para evaluar la relación entre edad del bosque y variables indicadoras de calidad de suelo se utilizó análisis de regresión. Los resultados indicaron que dentro y entre sitios existe alta variabilidad en la textura, materia orgánica y otras propiedades del suelo. La relación de MO y la edad del BS ($R^2=0,45$) fue significativo ($p=0,001$) mientras que el P disponible y N total no fue significativo. Entonces se concluye que los contenidos de MO y otros micronutrientes aumentan conforme avanza la edad del bosque secundario en una misma clase textural.

Palabras clave: Edad del bosque, materia orgánica, sucesión vegetal, restauración.

Abstract

Secondary forests play an important role in the recovery of soil fertility, above all in those regions where non-sustainable agriculture is practiced of slash and burn, where the soil is cultivated for short periods lowering its yield and productivity. The process of recovery was evaluated for soil properties in distinct ages of secondary forests stratified in four successions: Initial forest (IF) 1-7 years, Medium forest (MF) 8-13 years, Mature forest (MaF) 14-25 years and Late forest (LF) > 25 years. The evaluation was carried out in the community of Zapallar of the Serranía del Inño National Park and Integrated Area, Bolivia, where 20 sites were selected with 4 sampling points per point to a depth of 0-5 cm. The results were analyzed using ANOVA tests, Tukey tests ($\alpha < 0,05$), to evaluate the relation between forest age and for the indicative variables of soil quality a regression analysis was used. The results indicate that within and between sites, there exists a high variability in the texture, organic material and other properties of the soil. The relationship of MO and the age of the secondary forest ($R^2=0.45$) was significant ($p=0,001$), while the available P and total N was not significant. It was therefore concluded that the content of MO and other micronutrients increase in conformance with the increasing age of the secondary forest in the same texture class.

Key words: Forest age, organic matter, restoration, vegetation succession.

Introducción

La recuperación de suelos abandonados o la sucesión secundaria después de una actividad agrícola, juega un papel importante en la recuperación de la fertilidad de suelos y regulación del ecosistema (Buol 1994, Daubenmire 1974). Numerosos autores (Chang et al. 1999, Lovich & Bainbridge 1999, Wang et al. 2002, Stolte et al. 2003, Fu et al. 2003, An et al. 2009) coinciden en que la sucesión de vegetación secundaria, aporta a la recuperación de la fertilidad de los suelos, a través de los aportes de residuos vegetales y la ausencia de remoción por labranzas, que a su vez son estudiados principalmente en regiones tropicales y sub-tropicales, también afirman que las grandes extensiones de suelos arables son abandonados, por las prácticas agrícolas no sustentables.

Por otro lado, otros autores como Zhang et al. (2005 y 2006) resaltan que la mejora de la fertilidad de los suelos estaría directamente relacionada a la edad de la vegetación secundaria. Varios estudios muestran resultados sobre el incremento del carbono (C), tanto en el suelo como en la biomasa (Sedjo 1992, Kauppi et al. 1992, Dixon et al. 1994, Huntington & Ryan 1995). Sin embargo, el análisis de los trabajos citados revela que los procesos de re-vegetación y los cambios en las propiedades de los suelos, dependen fuertemente de prácticas regionales y, otros como, las características del clima, las propiedades intrínsecas de los suelos, el uso y manejo del suelo en la fase agrícola y en la vegetación sucesional.

Por la multiplicidad de factores que actúan resulta complicado determinar el grado de beneficio del bosque secundario en la recuperación de la fertilidad (Rivera et al. 1986, Soto et al. 1986), especialmente en regiones frágiles de clima árido, semiárido y áreas sub-tropicales con pendiente, donde es mayor la susceptibilidad a la desertificación. La práctica más común en áreas sub-tropicales es la agricultura migratoria que funciona como un sistema de producción secuencial milenario. En este sistema parches de bosques son tumbados, quemados y cultivados por un periodo transitorio corto, entre tres y cuatro años, hasta que los rendimientos caen y luego se los abandona y se procede a realizar igual práctica en otro lugar (Bautista et al. 2003). En base a lo expuesto se plantea el siguiente objetivo: evaluar el estado de las propiedades edáficas en distintas edades de bosques secundarios y así establecer la tasa de

acreción de carbono orgánico del suelo en las distintas fases de los bosques secundarios.

Materiales y Métodos

Área de estudio

La investigación se llevó a cabo en la comunidad del San Pedro del Zapallar, Provincia Hernando Siles. Zapallar es una de las comunidades que forma parte del Parque Nacional y Área Natural de Manejo Integrado Serranía del Iñao (ANMI-PN Serranía del Iñao), localizada al sur de la Cordillera de los Andes. Geográficamente ubicada al sur del departamento de Chuquisaca – Bolivia, entre las coordenadas 19°00'00" a 19°47'30" de latitud sur y entre 64°43'00" a 64°09'15" de longitud oeste (Serrano 2003) a una altitud entre 1100-1500 m.

Muestro de suelos

Se eligieron sitios de bosques secundarios de diferentes edades (3, 5, 6, 6, 7, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 19, 19, 22, 23, >25, 30, 35, >35, 50 años), las mismas se clasificaron en 4 categorías de edad: 1 - (BI 1-7 años); 2 - (BM 8-14 años); 3 - (BA 15-24 años) y 4 - (BT >25 años), para describir el sitio se realizó una entrevista informal directa a los dueños que han realizado actividad agrícola en los predios elegidos. En cada categoría de bosque secundario (BS), se estableció 5 parcelas de 1000m² (50 m X 20 m). Dentro de cada parcela se identificó 4 puntos de muestreo de 1m x 1m al azar, haciendo un total de 4 pseudo-réplicas por sitio y un total de 80 muestras en 20 sitios. Las muestras se colectaron a una profundidad de 0-5 cm, con la ayuda de un cilindro de densidad aparente, para los análisis físicos y químicos de suelos de bosques secundarios.

Análisis de suelos

Los resultados se analizaron mediante ANOVA y test Tukey de medias, para comparar diferencias de las medias de los valores de los parámetros edáficos (Carbono orgánico total: Ct, Carbono orgánico joven: Cj, Nitrógeno total: Nt, Fósforo disponible: Pdisp., pH, Densidad aparente: DA, Conductividad eléctrica: CE, Capacidad de intercambio catiónico: CIC y Arcilla mas Limo), entre categorías de edad a un nivel de significancia de $\alpha=0,05$. Por otra parte se realizaron análisis de desvío estándar para conocer

la variabilidad dentro de cada sitio y las diferencias entre sitios. Se realizaron análisis de regresión lineal simples, para evaluar la relación entre los contenidos de Materia orgánica total (MOT) y la edad del BS. Además se realizó un Análisis de Componentes Principales (ACP) (Figura 5) para obtener un número menor de variables capaces de expresar la variabilidad y la tendencia de los parámetros físico químicos del suelo (Ct, Cj, N, P, pH, DA, CE, CIC, Ca, Mg, Na, K y Arcilla + Limo) de los 20 sitios, para poder observar cómo se relacionan las variables con la edad del BS en los dos primeras componentes. Los análisis estadísticos se realizaron con el programa de InfoStat 2010.

Resultados

Valores de los parámetros edáficos en las 4 estratificaciones de bosques secundarios.

La única variable que se relacionó con la edad del BS fue Ct, por lo tanto la concentración de Ct se incrementó con la edad del BS mientras la variable Nt fue muy parejo en las primeras categorías e inexplicablemente disminuyó en la categoría de edad más añejo. De la misma manera los datos de DA, en lo general mostraron que a medida aumenta la edad del BS, la DA disminuye claramente, por lo tanto la DA se condice con la edad del BS. Esto era previsible ya que existe una estrecha relación inversa entre Ct y DA. En general, los datos de Pdisp y pH, no mostraron una tendencia clara de aumentar o disminuir de acuerdo a la categoría etaria del BS. Mientras los valores de N no mostraron diferencias entre las categorías de edad, ni un aumento con la edad del bosque secundario (Fig. 1).

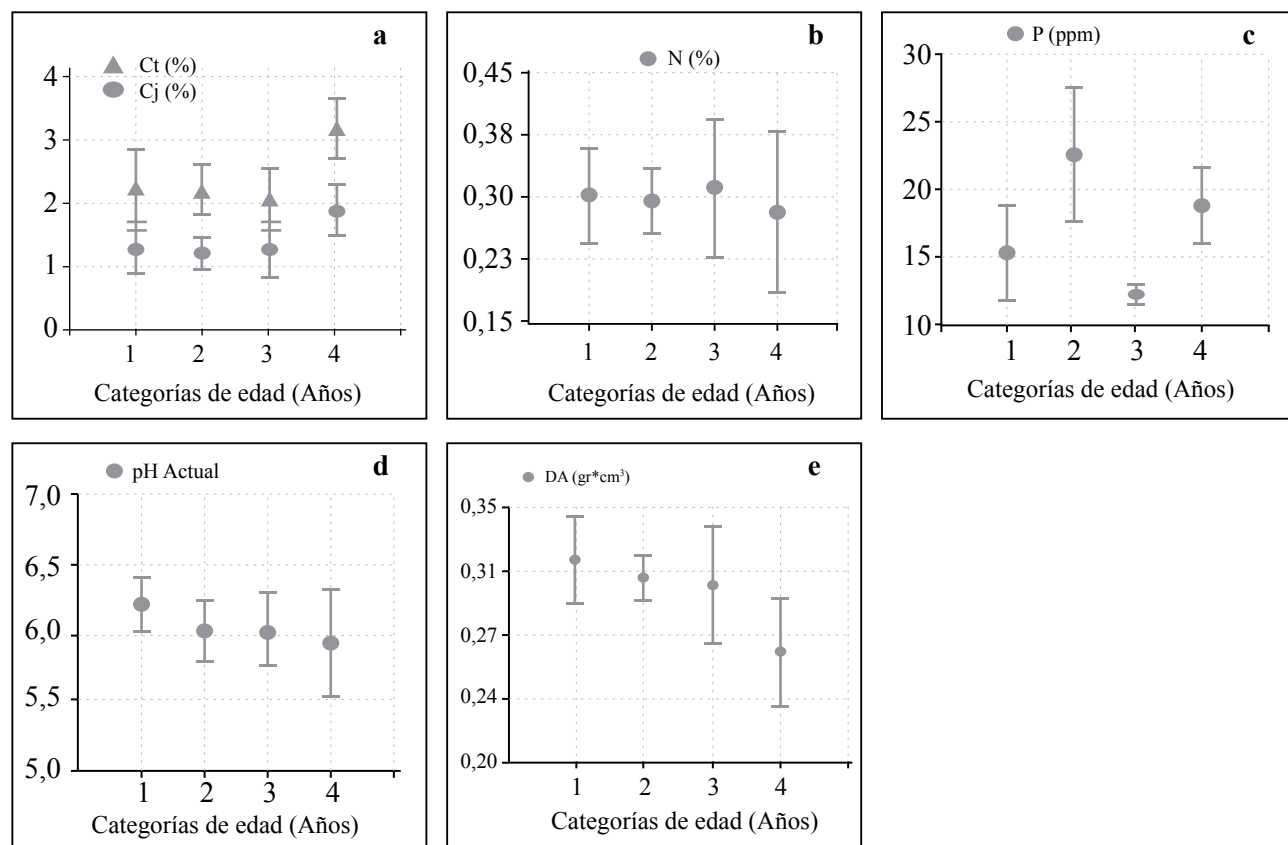


Figura 1. Valores de a) Carbono total (Ct), b) Carbono joven (Cj), c) Nitrógeno total (Nt), d) Fosforo disponible (PDisp.), e) pH Actual y f) Densidad aparente (DA), en función a las categorías de edad: 1: bosque inicial (BI), 2: bosque medio (BM), 3: bosque avanzado (BA) y 4: bosque tardío (BT). Las líneas verticales representan el desvío estándar.

Las variables CIC y Ca mostraron similar comportamiento entre sí y con la variable Ct, entonces en cuanto un aumento de la materia orgánica también conlleva a mayor capacidad de intercambio catiónico a medida que avanza la edad del BS (Fig. 2). Por

otra parte, los valores de Mg, Na y K en general no mostraron relación con las categorías etarias del BS (Tabla 1). La variable textura no mostro una relación con las categorías de edad, sin embargo dentro de cada categoría de edad el desvío estándar fue alto.

Tabla 1. Medias de los parámetros evaluados de 20 sitios estratificados en 4 categorías de edad. Letras diferentes en valores de una misma fila señalan diferencias significativas (Tukey, $p < 0,05$).

Parámetro	CV	DMS	1(3-8 años)	2(9-14 años)	3(15-24 años)	4(>25)
Ct (%)	21.27	0.92	2.21a	2.21a	2.05a	3.19b
Cj (%)	28.03	0.71	1.26a	1.19a	1.26a	1.86a
N (%)	24.4	0.13	0.30a	0.30a	0.31a	0.28a
P ppm	42.83	13.39	15.45a	22.58a	12.30a	18.80a
pH Actual	4.65	0.51	6.21a	6.01a	6.01a	5.92a
DA g/cm ³	9.25	0.04	0.32b	0.31ab	0.30ab	0.26a
Ca meq/100g	32.54	8.96	14.78a	12.97a	12.66a	20.49a
Mg meq/100g	35.19	1.59	1.95a	2.75a	2.37a	2.35a
K meq/100g	33.83	0.85	1.44a	1.19a	1.25a	1.66a
Na meq/100g	30.93	0.15	0.28a	0.28a	0.26a	0.24a
CIC meq/100g	28.04	11.38	20.83a	19.80a	19.03a	30.03a
Arcilla+Limo(%)	21.76	12.84	32.29a	30.84a	32.59a	34.74a

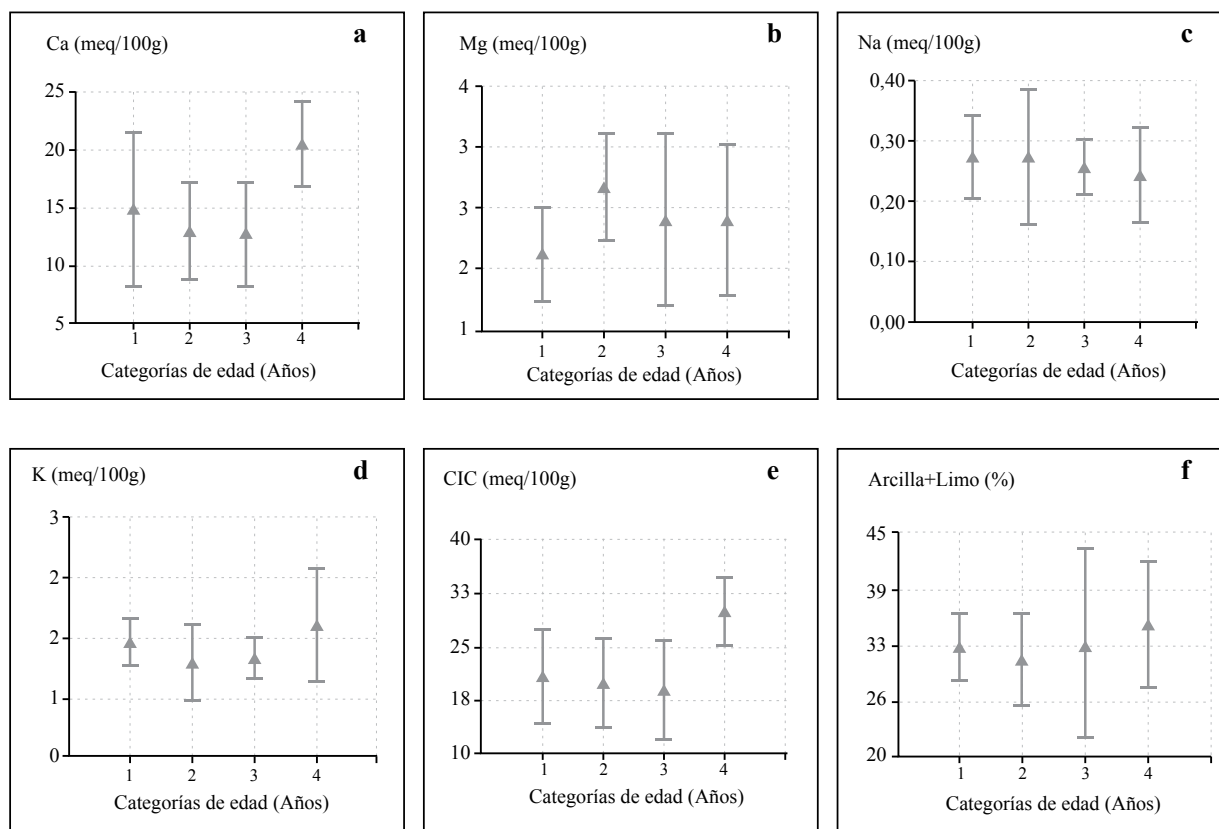


Figura 2. Valores de a) Calcio (Ca), b) Magnesio (Mg), c) Sodio (Na), d) Potasio (K), e) Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) y f) Arcilla + Limo, en función de las categorías de edad: 1: bosque inicial (BI), 2: bosque medio (BM), 3: bosque avanzado (BA). Las líneas verticales representan el desvío estándar.

De acuerdo a la comparación de medias los contenidos de Ct y Nt fueron los que mostraron buenas tendencias en función de la edad del bosque secundario, mientras la variable Pdisp no mostró ninguna tendencia con respecto a las categorías de edad. Las medias de los valores de Ct y Cj de las categorías de edad 1, 2 y 3, no mostraron diferencias entre sí, sin embargo la categoría de edad 4 tuvo un valor más alto con respecto a las primeras. La media de las demás variables ninguno mostro diferencia entre sí.

Los valores analizados por sitio mostraron diferencias entre sitios y dentro cada sitio, por la alta variabilidad espacial por lo que dificultó encontrar diferencias significativas para algunas de las variables evaluadas. Las variables que mostraron mayor diferencia dentro de un mismo sitio fueron Ct, Nt, Pdisp, textura, CIC, Na y Ca. En cambio las variables CE, DA, pH, Mg y K fueron más estables en cuanto a su distribución espacial (Fig. 1 y 2).

Relación entre materia orgánica total y edad del bosque secundario

Para relacionar los contenidos de MOt con la edad del bosque secundario, se realizó una regresión lineal simple (Fig. 3), la misma muestra que la tasa de cambio sobre los contenidos de MOT a lo largo del tiempo es de 0.05. La regresión es significativa y la edad del bosque explica el 18% de la variabilidad de los valores de materia orgánica. Esta falta de ajuste estaría relacionado con la variabilidad de los contenidos de A+L en los suelos.

Para explicar la influencia de la variabilidad textural sobre la MOt, se realizó una nueva regresión con los grupos texturales identificados. La regresión para el primer grupo textural con los más altos contenidos de A+L no mostro una buena explicación ni una p significativa ($R^2=28$ y $p=0,0277$). En cambio, el segundo análisis de regresión, con sitios que mostraron un rango más estrecho de A+L entre 28 y 33% (sitios 1, 2, 3, 4, 6, 9 y 11), muestra una mejor explicación ($R^2= 45\%$) y un valor de significancia ($p= 0,0001$) en comparación con las otras regresiones (Fig. 4).

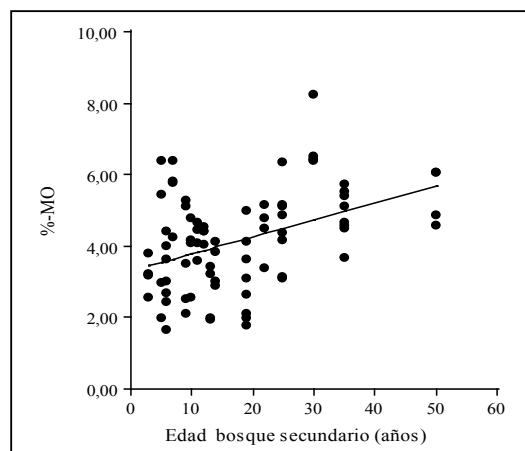


Figura 3. Distribución de la MO en función de la edad del bosque secundario. ($R^2=0,028$, $p=0,0277$, $n=80$).

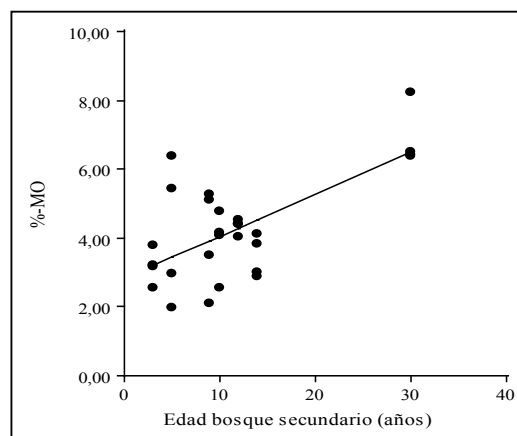


Figura 4. Distribución de la MO en función de la edad del bosque secundario en 7 sitios del grupo textural entre 28-33% de A+L. ($R^2=0,45$, $p=0,001$, $n=28$).

Variabilidad y tendencia de los parámetros físico-químicos

El CP1 y CP2 explicaron un 54,9% de la variabilidad total de los parámetros analizados en función a la edad del bosque secundario (Fig. 5). La primera componente (CP1), separa DA del resto de las variables, este parámetro agrupa las edades 10, 3, 12, 23, 6 y 5 años de BS. Las variables Cj, Ct, Nt, pH, Ca y CE agrupan a sitios de edad 7, >25, 22, 50 y 30 años, las mismas que pertenecen a bosques secundarios avanzados (14-24 años) y tardíos (>25 años) exceptuando la edad de 7 años que corresponde al bosque secundario inicial (3-7 años). Las variables Ct, Cj, Nt, aparentemente se asocian con la edad del bosque secundario. Mientras los parámetros P, Na, Mg, K, CIC y A+L agrupan las

edades 19, 11, >35 y 35 años, que corresponden a los bosques secundarios medio (8-13 años), avanzado (14-24 años) y tardío (>25 años), como se puede observar las variables mencionadas no se condicen con la edad del bosque secundario. Las edades de 19, 9, 6, 13 y 14 años, se relacionan a todas las variables en forma negativa. Por lo tanto los valores altos y bajos de las variables evaluadas como Pdisp., pH, CE, CIC, Ca, Mg, Na, K y Arcilla + Limo, no coincidieron con la edad del bosque secundario.

Discusión

Características de los suelos

La alta variabilidad espacial entre muestras tomadas en el mismo sitio dificultó encontrar diferencias significativas para algunas de las variables evaluadas. Las variables que mostraron mayor diferencia dentro de un mismo sitio fueron Ct, Nt, Pdisp, textura, CIC, Na y Ca. En cambio las variables CE, DA, pH, Mg y K fueron más estables en cuanto a su variabilidad espacial.

La tasa de acumulación de la materia orgánica en las selvas tropicales varía entre un 2 y 5% por año (Brown & Lugo 1982, Golley 1983, Anderson & Swift, 1983) y en regiones semiáridas varía entre 0,4 y 1% por año. Esta diferencia en las tasas de acumulación de materia orgánica refleja que, en general, los depósitos de C son mayores en regiones más húmedas (Cifuentes 2008, Gili et al. 2010) y que a mayor humedad del suelo se esperaría encontrar mayores contenidos de MO. Esto explicaría las diferencias de contenido de materia orgánica encontradas en muestras dentro de un mismo sitio, ya que los puntos de muestreo con mayor exposición al sol fueron más secos y éstos presentaron menores contenidos de MO. La variabilidad de los contenidos de MO, causada por diferencias en el régimen de humedad del suelo relacionado con la exposición de la pendiente, podría explicar en parte la baja relación entre contenidos de MO y edad del bosque secundario, que se halló cuando se utilizaron todos los sitios sin discriminar por textura.

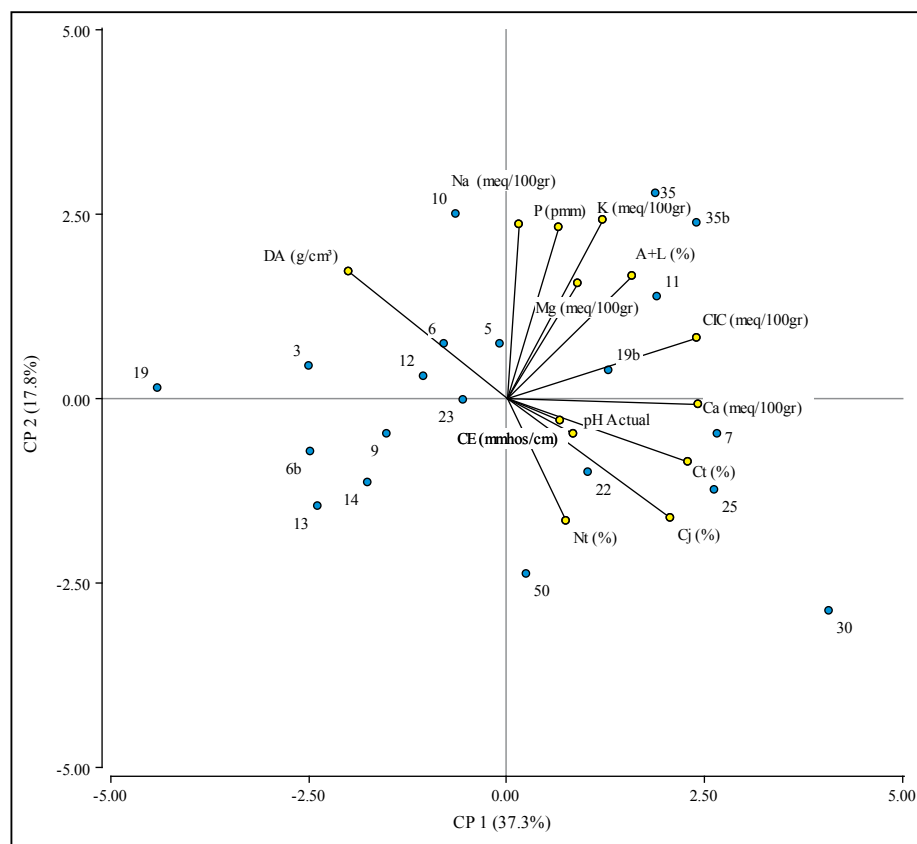


Figura 5. Análisis de componentes principales de parámetros físico químicos del suelo en bosques secundarios de los 20 sitios con diferentes edades de bosque.

El contenido de Pdisp en el suelo está definido por el material parental (Tisdale et al. 1993, Bertrand et al. 2003), algunos autores observaron un marcado efecto del clima, siendo las zonas más húmedas las más deficientes en este nutriente (Antonini et al. 2012). En ninguno de los sitios evaluados los contenidos de Pdisp se asociaron con los contenidos de MO. Por otra parte, los contenidos de Nt estarían relacionados con los contenidos de MO y sobre todo con la abundancia de las leguminosas (Resh et al. 2002, Griscom & Ashton 2011).

Relación entre la edad del bosque y contenidos de materia orgánica, nitrógeno total y fósforo disponible

Las variables evaluadas en gran parte no mostraron una tendencia positiva en función de la edad del bosque. No obstante, analizando los promedios de la variable Ct se halló una relación con respecto a la edad del BS a partir de los 25 años (sitio 16) pero con algunas excepciones como el sitio 18 (35 años). Sin embargo, por categorías de edad del bosque, las medias de las variables Ct y Nt fueron las que mostraron las mejores relaciones y no así la variable Pdisp, que no mostró ninguna tendencia. Este comportamiento en apariencia incongruente podría explicarse por diferencias en la clase textural de los sitios. Varios estudios han establecido que dentro de una región climática los contenidos de MO dependen principalmente de la textura (Quiroga et al. 1998). Por lo que, a una similar textura la variación en los contenidos de MO es causada por los cambios en el manejo (Quiroga et al. 1998, Feldpausch et al. 2004). Esto conforme a los resultados encontrados cuando se dividieron los sitios en grupos texturales, definidos arbitrariamente por el rango estrecho que mostraban. Dentro de cada rango textural, se encontraron relaciones positivas y significativas entre los contenidos de MO y la edad de BS. Varios autores afirman que COS (Carbono Orgánico del Suelo) en los primeros años de sucesión aumenta conforme la edad del bosque (Zou & Bashkin 1997, Guo & Gifford 2002, Fonseca et al. 2008, Wang et al. 2011). Mientras que otros (Alfaro et al. 2001, Wang et al. 2002) afirman que la recuperación de COS se incrementa rápidamente en los primeros años de vida del BS y que después es variable o incluso disminuye la tasa de incremento de COS según avanza la edad del BS. Scott y Morgan (2012) presentaron resultados similares a los resultados encontrados en el presente estudio.

Otros de los efectos que podría afectar la acumulación de COS en estas regiones susceptibles a la erosión hídrica y con precipitaciones intensas, son las pendientes abruptas, ya que la erosión hídrica y eólica pueden ser procesos importantes en la removilización de suelo y de MO. En el presente estudio se tomaron las muestras en una misma cota altitudinal para evaluar en similares condiciones los contenidos de COS y demás propiedades de los suelos. (Galdo et al. 2003) indicaron que la tasa de acumulación estaba inversamente relacionada con la magnitud de erosión a la escala de cuenca.

Otras investigaciones indican que la acumulación de COS en los bosques secundarios de áreas proclives a la erosión, estarían sujetas a la efectividad de la cobertura vegetal en reducir la pérdida de partículas del suelo (Ritchie & McCarty 2003, Zhang et al. 2005 & Zhang et al. 2006). Por ejemplo, la re-vegetación de suelos severamente degradados y erosionados de las planicies loessicas de China, produjo un aumento en los contenidos de materia orgánica y la estabilidad de los agregados, a pesar de la pendiente y la práctica de manejo (Matsumoto et al. 2005).

Los contenidos de Nt en los suelos de los BS mostraron tendencias similares a la del COS. Pero el contenido de Nt en la categoría de edad 4 fue bajo, con respecto a las otras categorías. En general, los valores de Nt fueron altos en todos los sitios (entre 0,19 y 0,45%) comparado con los valores encontrados en la bibliografía (Matsumoto et al. 2005, McLaughlin & Phillips 2006, Jiao et al. 2011). Esto podría estar relacionado con un rápido retorno de nitrógeno a través de la hojarasca en la poca profundidad que fue tomada la muestra (0-5cm). En el estudio de Ichikogu (2012) las medias de los valores de Nt para BS de 1, 5 y 10 años y para bosque natural fueron de 0,18; 0,22; 0,34 y 0,53% respectivamente, para la capa superficial y a 0-30 cm de profundidad del suelo fueron de 0,11; 0,16; 0,19 y 0,31%, respectivamente, valores muy parecidos a los encontrados en el presente estudio.

El Pdisp mostró valores muy variables dentro de un mismo sitio y entre sitios, siendo una de las variables estudiadas más inestables, donde la diferencia fue amplia, variando desde 8,5 a 36,7 ppm. No se halló ninguna tendencia con los bosques secundarios, similar a los resultados de Ichikogu (2012). Estos resultados se contraponen a lo encontrado por Ceccon et al. (2002), donde la variable P aumentó con la edad,

pero los parámetros Ct y Nt del suelo no cambiaron con la edad de los bosques.

Conclusiones

Los contenidos de MO aumentan conforme avanza la edad del bosque secundario dentro de una misma clase textural. Los contenidos de Nt y Pdisp fueron muy variables al igual que el resto de los parámetros evaluados. Los niveles de CIC no se relacionaron con los contenidos de la MOt, pero si con los contenidos de arcilla + limo. La variación de los valores de los parámetros estudiados dentro de los sitios y entre sitios se debe a la variabilidad textural y a las prácticas del manejo e historia de uso.

Agradecimientos

La elaboración de la presente investigación forma parte del Proyecto Agro-ecología: Alivio de la Pobreza en Bolivia (BEISA3), de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Mayor, Real y Pontificia de San Francisco Xavier de Chuquisaca, cofinanciado por la universidad de Aarhus – DINAMARCA, a quienes agradecemos por el apoyo conceptual, económico y su buena predisposición, durante el ciclo de formación y realización y ejecución de esta investigación en el marco de una investigación de maestría. Al MSc. Jaime Bernados y Drs. Alberto Quiroga y Alfredo Bono por sus aportaciones y comentarios para la realización del documento.

Referencias

Alfaro, E. A., A. Alvarado & A. Chaverri. 2001. Cambios edáficos asociados a tres etapas sucesionales de bosque tropical seco en Guanacaste, Costa Rica. *Agronomía Costarricense*. 25(1): 7-20.

An, S. S., Huang, Y. M. & Zheng, F. L. 2009. Evaluation of soil microbial indices along a revegetation chronosequence in grassland soils on the Loess Plateau, Northwest China. *Applied Soil Ecology*. 41: 286-292.

Anderson, J. & M. Swift. 1983. Descomposición in tropical forest. En Sutton, S. Whitmore, T. & Chadwick, A. *Tropical rain forest: ecology and management*. Oxford: Blackwell Scientific Publications. 287-309.

Bautista, A., R. Del Castillo. & C. Gutiérrez. 2003. Patrones de desarrollo del suelo asociados con sucesión secundaria en un área originalmente ocupada por bosque mesófilo de montaña.

Instituto de Recursos Naturales, colegio de posgraduados. Montecillo-México. 5-6.

Bertrand, I., R.E. Holloway, R.D. Armstrong & M.J. McLaughlin. 2003. Chemical characteristics of phosphorus in alkaline soils from southern Australia. *Australian Journal of Soil Research*. 41: 61-76.

Brown, S. & A. Lugo. 1982. The storage and production of organic matter in tropical foresta and their role in the global carbon cycle. *Biotropica*. Vol. 14: 161-187.

Buol, S. W. 1994. Environmental consequences: Soils. 211-229. In: Meyer, W.B. y B.L. Turner (eds.). *Changes in land use and land cover: A global perspective*. Cambridge University Press. Cambridge-UK.

Ceccon, E., I. Olmsted & J. Campo. 2002. Vegetación y propiedades del suelo en dos bosques tropicales secos de diferente estado regeneracional en Yucatán, Agrociencia. *Texcoco, México*. 36(005): 621-631.

Chang, Q. R., S.S. An, J. Liu, B. Wang, & Y. Wei. 1999. Study on benefits of recovering vegetation to prevent land deterioration on Loess Plateau. *Journal of Soil Erosion and Soil and Water Conservation*. 5(4): 6-9.

Dixon, R. K., S. Brown, R.A. Houghton, A.M. Solomon, M.C. Trexler & J. Wisniewski. 1994. Carbon pools and -flux of global forest ecosystems. *Science*. 263: 185-190.

Febles, J. M., M.B. Vega, G. Febles, A. Tolón y L. Jerez. 2007. Criterios de selección para determinar valores umbrales de sostenibilidad de los suelos en áreas piloto de la Habana, Cuba. *Almeria*. Presentado en el I Seminario de cooperación y desarrollo en espacios rurales Iberoamericanos. *Sostenibilidad e indicadores*. 16-27.

Feldpausch, T. R., E.C. Rondon, E. Fernandes, S.J. Riha & E. Wandelli. 2004. Carbon and nutrient accumulation in secondary forests regenerating on pastures in central Amazonia. *Ecological Applications*. 14: 164-176.

Fonseca, W., J.M.R. Benayas, & F.E. Alice. 2011. Carbon accumulation in the biomass and soil of different aged secondary forests in the humid tropics of Costa Rica- *Forest Ecology and Management*. Vol. 262: 1400-1408.

- Fu, B. J., J. Wang, L.D. Chen, & Y. Qiu. 2003. The effects of land use on soil moisture variation in the Danangou catchment of the Loess Plateau, China. *Catena*. 54: 197-213.
- Galdo, I. D., J. Six, A. Peressotti, y M.F. Cotrufo. 2003. Assessing the impact of land-use change on soil C sequestration in agricultural soils by means of organic matter fractionation and stable C isotopes. *Glob. Change Biol.* 9: 1204-1213.
- Griscom, H. P. & M.S. Ashton. 2011. Restoration of dry tropical forests in Central America: A review of pattern and process. *Forest Ecology and Management* Vol. 261: 1564-1579.
- Golley, F. 1983. Descomposición En: tropical rain forest ecosystems: structure and functions. *Ecosystems of the world 14^a*. New York: Elsevier. pp. 117-136.
- Guo, L. B. y R.M. Gifford. 2002. Soil carbon stocks and land use change: a meta-analysis. *Glob. Change Biol.* 8: 345-360.
- Huntington, T. G. y Ryan, D. F. 1995. Whole-tree-harvesting effects on soil nitrogen and carbon. *Forest Ecology and Management*. 31: 193-204.
- Ichikogu, V. I. 2012. Total nitrogen and available phosphorus dynamics in soils regenerating from degraded abandoned rubber plantation in orogun area of the rainforest zone of Southern Nigeria. *Ethiopian Journal of environmental studies and management*. 5 N° 1.
- Jiao, F., Wen M. Z., y A.S. Shan. 2011. Changes in soil properties across a chronosequence of vegetation restoration on the Loess Plateau of China. *Institute of Soil and Water Conservation, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi, China. Catena*. 86: 110-116.
- Kauppi, P. E., K. Mielikanen, K. Kuusela. 1992. Biomass and carbon budgets of European forests. *Science*. 256: 70-74.
- Lovich, J. E. y Bainbridge, D., 1999. Anthropogenic degradation of the Southern California Desert ecosystem and prospects for natural recovery and restoration. *Environmental Management*. 24: 309-326.
- Matsumoto, L. S., A. M. Martinez, M.A. Avanzia, U.B. Albino, C.B. Brasil, D.P. Saridakis, L.G. Rampazo, W. Zangaro & G. Andrade. 2005. Interactions among functional groups in the cycling of, carbon, nitrogen and phosphorus in the rhizosphere of three successional species of tropical woody trees- Brasil, *Applied Soil Ecology*. Vol. 28: 57-65.
- McLaughlin, J. W. & S.A. Phillips. 2006. Soil carbon, nitrogen, and base cation cycling 17 years after whole-tree harvesting in a low-elevation red spruce (*Picea rubens*)-balsam fir (*Abies balsamea*) forested watershed in central Maine, USA. *Forest Ecology and Management*. 222: 234-253.
- Quiroga, A. R., Buschiazzi D. E. y Peinemann N. 1998. Management Discriminant properties in Semiarid Soil. *Soil Science*. 136 (7):1266-1279.
- Resh, S. C., B. Binkley y J. Parrotta. 2002. Greater Soil Carbon Sequestration under Nitrogen-fixing Trees Compared with Eucalyptus Species. *Ecosystems*. Vol. 5: 217-231.
- Ritchie, J. C. y G.W. McCarty. 2003. Using Cesium to understand soil carbon redistribution on agricultural watersheds. *Soil and Tillage Research*. 69: 45-51
- Rivera, J. H., Amariz, M. F. & W.R. Álvarez. 1986. Plan de uso, manejo y conservación de los suelos del centro experimental Cotové. Universidad Nacional de Colombia, Medellín.
- Scott, A. J. & J.W. Morgan. 2012. Recovery of soil and vegetation in semi-arid Australian old fields. *Journal of Arid Environments* 76: 61-71.
- Sedjo, R. A. 1992. Temperate forest ecosystems in the global carbon cycle. *Ambio*. 21: 274-277.
- Soto, M. M., A. Arbelaez, G.A. Pérez & L.C. Raciny. 1986. Levantamiento semi - detallado de los suelos de la finca Paysandú. Universidad Nacional de Colombia, Medellín.
- Stolte, J., V. Van, B.G. Zhang, K.O. Trouwborst, G. Liu, C.J. Ritsema & R. Hessel. 2003. Landuse induced spatial heterogeneity of soil hydraulic properties on the Loess Plateau in China. *Catena*. 54: 59-75.
- Tisdale, S., W. Nelson, J. Beaton & J. Havlin. 1993. Soil Fertility and fertilizers, ed: Macmillan Publishing Company. Vol. 10: 364-404.
- Wang, G. L., G.B. Liu y M.X. Xu. 2002. Effect of vegetation restoration on soil nutrient change in Zhifanggou watersheds of loess hilly region. *Bulletin of Soil and Water Conservation*. 22: 1-5.
- Wang, Y., B. Fu, B. Lü. & L. Chen. 2011. Effects of vegetation restoration on soil organic carbon sequestration at multiple scales in semi-arid Loess Plateau, China. *Catena* 85: 58-66.

- Zhang, J. H., S. Z. Liu & X. H. Zhong. 2005. Distribution of soil organic carbon and phosphorus on an eroded hillslope of the rangeland on the northern Tibet Plateau, China. *Eur. J. Soil Sci.* 57: 365-371.
- Zhang, J. H., T. A. Quine, S.J. Ni, & F.L. Ge. 2006. Stocks and dynamics of SOC in relation to soil redistribution by water and tillage erosion. *Glob. Change Biol.* 12: 1834-1841.
- Zou, X. & M. Bashkin. 1997. Soil carbon accretion and earthworm recovery following revegetation in abandoned sugarcane fields - Puerto Rico. *Soil Biol. Biochem.* 30, No. 6: 825-830.