TASA ANUAL DE RESPIRACIÓN EDÁFICA EN CUATRO USOS DE SUELO EN EL CAMPUS DE LA UNIVERSIDAD DE SUCRE – SEDE PUERTA ROJA

LUIS EDUARDO SALCEDO MARTÍNEZ

UNIVERSIDAD DE SUCRE
FACULTAD DE EDUCACIÓN Y CIENCIAS
PROGRAMA DE BIOLOGÍA Y QUÍMICA
SINCELEJO
2017

TASA ANUAL DE RESPIRACIÓN EDÁFICA EN CUATRO USOS DE SUELO EN EL CAMPUS DE LA UNIVERSIDAD DE SUCRE – SEDE PUERTA ROJA

LUIS EDUARDO SALCEDO MARTÍNEZ

Trabajo de Grado
Modalidad trabajo investigativo para obtener título de biólogo

DIRECTOR:
EURIEL MILLÁN ROMERO
INGENIERO AGRÍCOLA M.Sc. SUELOS Y NUTRICIÓN VEGETAL

UNIVERSIDAD DE SUCRE
FACULTAD DE EDUCACIÓN Y CIENCIAS
PROGRAMA DE BIOLOGÍA Y QUÍMICA
SINCELEJO
2017

Nota de aceptación

_____

_____

_____

Presidente del jurado

_____

Jurado

_____

Jurado

_____

Sincelejo (07 de noviembre de 2017)

DEDICATORIA

A **DIOS** por darnos la vida y ser el apoyo incondicional que necesitamos para poder alcanzar cada una de nuestras metas y sueños, gracias DIOS, sin ti esto no hubiera sido posible. A mi familia, especialmente a mi madre, Lidia Estela Martínez, y mi padre, Luis Eduardo Salcedo quienes hicieron todo por ayudarme a seguir adelante en mi carrera estudiantil.

A mis hermanos, Lulidis Salcedo y Jesús Andrés Salcedo, a mis sobrinas Dayarlis Peñates y Lulibeth Peñates y a mi novia Yesica Paola Pérez Pacheco.

AGRADECIMIENTOS

A Dios en primera instancia.

A mi director, Euriel Millán Romero, por brindarme su confianza y apoyo para ver desarrollada esta investigación.

A, Yesica Paola Pérez, Gemmy Pérez, Hernando Cárcamo, Jair Merlano, Jaider Mercado, Luis Guzmán, Diomedes Guevara y Diego Acosta, gracias por brindarme un alojo en sus corazones, por ayudar y velar para lograr a cabalidad este trabajo, el cual, no solo me pertenece a mí, sino a todos los que con su apoyo incondicional fueron pieza clave para su ejecución.

INDICE DE CONTENIDO

Pág.

1. INTRODUCCION 12
2. OBJETIVOS 13
2.1. GENERAL 13
2.2. ESPECIFICOS 13
3. JUSTIFICACION 14
4. ESTADO DEL ARTE 16
4.1. Cambio climático y CO_2 16
4.2. Ciclo del Carbono 17
4.3. Componente Suelo 19
4.3.1. Elementos presentes en el suelo 19
4.4. Uso del Suelo 20
4.4.1. Pastizal 22
4.4.2. Bosque natural 22
4.4.3. Monocultivo 22
4.5. El papel del Suelo como sumidero terrestre 23
4.6. Respiración del Suelo 24
4.6.1. Factores que afectan la respiración del suelo 28
5. MATERIALES Y METODOS 30
5.1. Área de estudio 30
5.2. Equipos 33
5.2.1. Equipo de respiración de suelo PP-Systems EGM-4 33
5.2.2. Equipo de humedad de suelo ML3 ThetaKit (Soil Moisture Measurement Kit) 35
5.3. Trabajo en campo 35
5.4. Mediciones 36
5.4.1. Mediciones de respiración edáfica 36

5.4.1.1. Cálculo de respiración edáfica en µmolCO_2/m^2s 37
5.4.2. Mediciones de temperatura de suelo 37
5.4.3. Mediciones de humedad de suelo 38
5.5. Análisis físico-químico del suelo 38
5.6. Análisis estadísticos. 39
6. RESULTADOS 40
6.1. Variación anual de la temperatura, la humedad y la respiración del suelo en las áreas de estudio. 40
6.1.1. Variación de la Temperatura 40
6.1.2. Variación de la Humedad 42
6.1.3. Variación de la Respiración Edáfica 44
6.2. Relación entre la respiración edáfica y la temperatura en el suelo 47
6.3. Relación entre la respiración edáfica y la humedad en el suelo..... 48
6.4. Relación entre la respiración edáfica y las propiedades físicas del suelo 51
6.5. Determinación de tasa anual de respiración edáfica en los cuatro usos de suelo.....54
7. DISCUSION 57
7.1. Variación de la Temperatura y Humedad en el suelo. 57
7.2. Variación de la Respiración del Suelo y su relación con la Temperatura y la Humedad..... 59
7.3. Relación de la Respiración de suelo y las propiedades físico-químicas del suelo 65
7.4. Tasa anual de respiración 66
8. CONCLUSIONES 68
9. RECOMENDACIONES 70
10. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 71

INDICE DE TABLAS

Pág.

Tabla 1. Tasa de respiración del suelo en algunos biomas del mundo. Tomada de Murcia et al. (2012). 26
Tabla 2. Características del equipo de medición de respiración del suelo. Tomada de Oviedo (2007)..... 34
Tabla 3. Métodos para determinar las características edáficas..... 39
Tabla 4. P-valores obtenidos de la prueba U de Mann Whitney en los datos de temperatura por meses. 41
Tabla 5. Resultados de las pruebas estadísticas de normalidad y diferencias entre los datos de temperatura de los usos de suelo. 42
Tabla 6. Resultados de las pruebas estadísticas de normalidad y diferencias entre los datos de humedad de los usos de suelo. 44
Tabla 7. P-valores obtenidos de la prueba U de Mann Whitney en los datos de temperatura por meses. 45
Tabla 8. Resultados de las pruebas estadísticas de normalidad y diferencias entre los datos de respiración edáfica de los usos de suelo. 47
Tabla 9. Resultados de pruebas de correlación Spearman de los valores de respiración edáfica con la temperatura presente en cada uno de los usos de suelo. 48
Tabla 10. Resultados de pruebas de correlación Spearman entre la respiración edáfica con la humedad presente en cada uno de los usos de suelo. 49
Tabla 11. Características físicas y químicas de los cuatro usos de suelos. 52
Tabla 12. Resultados de pruebas de correlación Pearson entre las características físico-químicas y la respiración de suelo de cada uno de los usos de suelo. Donde RS: Respiración de suelo, CIC: Capacidad de intercambio catiónico. 54
Tabla 13. RSA promedios de los cuatro usos de suelo al interior de la Universidad de Sucre. *Letras diferentes en la misma columna significan diferencias estadísticas. 56

INDICE DE FIGURAS

Pág.

Figura 1. Esquema general del ciclo del carbono. Tomada de Belart (2008). 18
Figura 2. Ubicación de los usos de suelo al interior de la universidad de Sucre (Sede Puerta Roja). a: Vegetación nativa, b: Pasto, c: *T. grandis*, d. *H. crepitans*. Imagen modificada de Google earth. 31
Figura 3. Cuatro usos de suelo en el interior del campus de la Universidad de Sucre (Sede Puerta Roja). a: Vegetación nativa, b: Pasto, c: *Tectona grandis*, d: *Hura crepitans*. 33
Figura 4. Esquema de las parcelas y la ubicación de los collares..... 36
Figura 5. Variación de la temperatura del suelo a lo largo de 12 meses en cuatro usos de suelo al interior de la Universidad de Sucre..... 40
Figura 6. Variación de la humedad del suelo a lo largo de 12 meses en cuatro usos de suelo al interior de la Universidad de Sucre. 43
Figura 7. Variación de la respiración edáfica del suelo a lo largo de 12 meses en cuatro usos de suelo al interior de la Universidad de Sucre..... 46
Figura 8. Regresión polinomial entre los datos de Flujo de CO2 y los datos de humedad obtenidos en cada uno de los cuatro usos de suelo en el interior de la Universidad de Sucre. a: Vegetación nativa de la región, b: *T. grandis*, c: *H. crepitans*, d: Pasto..... 50
Figura 9. Respiración de suelo acumulada (RSA) en los cuatro usos de suelo al interior del campus universitario en los 360 días de investigación. Letra a: Vegetación nativa, b: *Tectona grandis*, c: *Hura crepitans*, d: Pasto. 55

RESUMEN

La respiración del suelo (RS) es la medida de la cantidad de CO_2 emitida desde el suelo hacia la atmosfera, lo que tiene implicación importante en el calentamiento global. Por lo cual, se determinó la RS en cuatro usos de suelo al interior del campus Puerta Roja de la Universidad de Sucre, analizando su relación con factores como temperatura, humedad y propiedades propias de los suelos. La materia orgánica en el suelo resultó ser el principal limitante de la respiración edáfica, mayor cantidad de materia orgánica favorece un mayor desarrollo de los microorganismos presentes en el suelo y se favorece la RS. La RS no se relacionó con la temperatura del suelo, en cambio la humedad del suelo puede considerarse como la segunda limitante de la RS, formándose “rangos de optimización” para la RS, cuando sus valores se encuentran en el rango la RS se ve favorecida, pero, cuando están por encima o por debajo del rango se ve reducida. Dentro de las medias mensuales de respiración en los cuatro usos de suelo, en la vegetación nativa fue mayor (61.9 $\mu molCO_2/m^2s$), seguido de *Hura crepitans* (58.7 $\mu molCO_2/m^2s$), Pasto (55.6 $\mu molCO_2/m^2s$) y *Tectona grandis* (54.2 $\mu molCO_2/m^2s$), estas diferencias se dieron por las características de cada suelo y la exposición que tiene cada uno al sol. La RS acumulada resulto tener una relación lineal directa con respecto al tiempo en los cuatro usos de suelo. La tasa anual de RS, con base a la RS acumulada, se estimó entre 295.7 y 296.5 mol CO_2/m^2 en el área con vegetación nativa de la región, 285 y 285.8 mol CO_2/m^2 en *H. crepitans*, 268.9 y 269.6 mol CO_2/m^2 en pasto, y 265.7 y 266.4 mol CO_2/m^2 en *T. grandis.*

Palabras claves: Respiración de suelo, CO_2, calentamiento global, temperatura, humedad.

SUMMARY

Soil respiration (RS) is the measure of the amount of CO_2 emitted from the soil to the atmosphere, which has important implication in global warming. Therefore, RS was determined in four land uses within the Puerta Roja campus of the Universidad de Sucre, analyzing its relation with factors such as temperature, humidity and properties of the soils. The organic matter in the soil proved to be the main limiting of edaphic respiration, more organic matter favors a greater development of the microorganisms present in the soil and favors RS. The RS was not related to the soil temperature, whereas the soil moisture can be considered as the second limiting of the RS, forming "optimization ranges" for the RS, when their values are in the range RS is favored, but when they are above or below the range is reduced. Among the monthly means of respiration in the four soil uses, the native vegetation was higher (61.9 μmolCO_2/m^2s), followed by *Hura crepitans* (58.7 μmolCO_2/m^2s), Pasto (55.6 μmolCO_2/m^2s) and *Tectona grandis* (54.2 μmolCO_2/m^2s), these differences were due to the characteristics of each soil and the exposure that each has to the sun. The accumulated RS resulted to have a direct linear relation with respect to the time in the four uses of soil. The annual rate of RS, based on the accumulated RS, was estimated between 295.7 and 296.5 mol CO_2/m^2 in the area with native vegetation of the region, 285 and 285.8 mol CO_2/m^2 in *H. crepitans*, 268.9 and 269.6 mol CO_2/m^2 in pasture, and 265.7 and 266.4 mol CO_2/m^2 in *T. grandis.*

Key words: Respiration soil, CO_2, global warming, temperature, moisture.

1. INTRODUCCION

La deforestación masiva de bosques para fines de expansión de la frontera agrícola y pecuaria es una actividad muy común hoy día en nuestra región. Esto contribuye con el calentamiento global y afecta todos los procesos físico-químicos que se dan en el suelo. Por ello, se hace necesario estudiar los factores que podrían estar incrementando el progreso del calentamiento global. Además, en la actualidad existe una necesidad de comprender los ciclos biogeoquímicos en los ecosistemas tropicales, entre los que se encuentra el ciclo del Carbono; donde el suelo constituye la mayor reserva de Carbono que se encuentra en interacción con la atmosfera, se hace imprescindible entender la dinámica de los componentes de este.

La respiración del suelo es una de las fases por las que pasa el Carbono desde el suelo hacia la atmosfera. Al estudiar este tipo de procesos se puede aportar conocimiento a las teorías ecológicas y tener referencias que permitan tomar decisiones y hacer recomendaciones a cerca de un uso sostenible del suelo y la importancia de su conservación en lugares donde se explota la madera, la ganadería y la agricultura. Tomando en cuenta que la respiración del suelo es una de las mayores incertidumbres en el ciclo del Carbono y desempeña un papel crítico en la regulación de la concentración del CO_2 en la atmosfera, en esta investigación se determinó la tasa anual de respiración edáfica para cuatro usos de suelo en el interior de la universidad de Sucre.

2. OBJETIVOS

2.1. GENERAL

- Determinar la tasa anual de respiración edáfica para cuatro usos de suelo dentro del campus de la sede Puerta Roja de la Universidad de Sucre.

2.2. ESPECIFICOS

- Comparar la variación anual de la temperatura, humedad y respiración en cuatro usos de suelo en el campus de la sede Puerta Roja de la Universidad de Sucre.
- Determinar la importancia relativa de la temperatura y la humedad en el suelo como factores predictores de la respiración del mismo.
- Comparar el efecto en la tasa de respiración anual edáfica de un suelo antropizado con diferentes usos (área con vegetación nativa, pastizal, área con siembra de Teca *Tectona grandis* y de Ceiba de leche *Hura crepitans*)
- Estimar el efecto de las propiedades físicas y químicas del suelo sobre la tasa de respiración anual de este.

3. JUSTIFICACION

El suelo es un componente principal para todos los organismos representando una fuente de soporte, nutrientes y hábitat, así mismo lo es para algunos de los ciclos biogeoquímicos, en el cual ocurren varios procesos de movimientos, interacciones y transformaciones de elementos químicos esenciales para la vida. Esta disponibilidad de organismos, nutrientes, alimentos y elementos químicos depende de la forma en que se haga uso de un determinado suelo. La expresión “uso del suelo” se considera la forma cómo y para qué el hombre está haciendo uso de la cobertura de este, es decir, de los elementos que se encuentran encima (Velázquez *et al*., 2010).

Cada una de las modificaciones del suelo y su cobertura trae consecuencias adversas para el planeta y todos los seres vivos que en él se encuentran, provocando pérdida de la diversidad biológica (Vitousek, 1994; Sala *et al*., 2000); degradación del suelo (Tolba y El-Kholy, 1992; IGAC, 2004); variaciones en la cantidad de carbono (Vitousek *et al*., 1997; Vesterdal y Leifeld, 2007); y con ello la alteración y desequilibrio de los ciclos biogeoquímicos, entre ellos el del carbono siendo el suelo una de las más grandes fuentes de este elemento, lo que acentúa los efectos del cambio climático regional y global (Chase *et al*., 2000).

Uno de los procesos que pueden verse afectados por el cambio del uso del suelo es la emisión de CO_2 hacia la atmosfera, también llamada Respiración del Suelo (RS) y se considera como uno de los parámetros para cuantificar la actividad microbiana, representando la oxidación de la materia orgánica hasta la formación

de CO_2 por organismos aeróbicos del suelo (Moreira y Siqueira, 2002; Krebs, 2003); y un pequeño cambio en esta respiración puede tener una profunda influencia en la concentración de CO_2 en la atmosfera (Kane *et al.,* 2005; Dias *et al.,* 2010).

A nivel nacional solo se han desarrollado trabajos como los de Ramírez y Moreno (2008) en los Andes colombianos (Antioquia), Murcia y Ochoa (2008) y Murcia *et al*. (2012) en Pamplona (Norte de Santander), es decir, solo se tienen reportes de la respiración edáfica en zonas de vida bosque muy húmedo premontano y bosques alto andino y páramo, respectivamente, según la clasificación ecológica de Holdridge (1978), no existiendo información en relación al bosque seco tropical que presenta unas características totalmente diferentes.

Con base en lo anterior, el presente estudio pretende determinar la tasa anual de respiración de un suelo antropizado con cuatro usos al interior de la Universidad de Sucre, evaluando las variaciones que se dan en temperatura, humedad y respiración del suelo durante doce meses, así mismo, comparando los efectos que tiene el uso del suelo sobre dicha tasa anual y estimando si las propiedades de cada suelo pueden influir en esta misma. Esto con el fin de obtener datos que ayuden a referenciar lo que puede o podría estar ocurriendo en los suelos del departamento de Sucre al estar deforestando bosques para usarlos en agricultura, ganadería o minería y con ello proponer posibles acciones de manejo sostenible parta evitar la pérdida de la fertilidad de los suelos a nivel departamental y mitigar los efectos del calentamiento global.

4. ESTADO DEL ARTE

4.1. Cambio climático y CO_2

El término “cambio climático” es considerado como un cambio en el clima producido por variaciones de los valores promedios o la variabilidad de los factores climáticos de la tierra. Presentándose cambios en la composición atmosférica que pueden deberse a procesos estocásticos naturales o a la acción del hombre (IPCC, 2001). En relación con este último, para la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (1998) y Velázquez (2005) el responsable principal del cambio climático drástico que se está presentando es el hombre, esto considerando la deforestación y quema de bosques, y la contaminación atmosférica producida por el uso de combustibles fósiles.

El aumento de la temperatura en el ambiente y las acciones antrópicas desde los años de la revolución industrial, han ocasionado lo que hoy se conoce como Calentamiento Global (Menghi, 2007). Produciéndose el aumento de la temperatura media atmosférica y oceánica, originando el deshielo de los glaciares y de las zonas polares e incrementándose paulatinamente el nivel del mar. Por estas y otras razones, se ha considerado en la actualidad como uno de los problemas que más preocupa a toda la humanidad, tanto científica como no-científica, constatándose esto en el protocolo de Kioto (1998). Además, Según la IPCC (2007) para América latina los aumentos de temperatura y la disminución de humedad producirán la aparición de sabanas en lugares donde antes existían bosques en la región de la Amazonia.

El calentamiento global se ha incrementado con el aumento de CO_2, CH_4, N_2O y otros gases de efecto invernadero (GEI). El CO_2 aunque es el menos tóxico de los GEI antropogénicos, es el más importante y de mayor contribución al efecto invernadero debido a los altos volúmenes que son emitidos a la atmosfera (García, 2011), siendo su concentración mucho mayor en la actualidad teniendo presente que la población mundial aumentó abruptamente en un 200% desde el año 1961 hasta 2010, de 3080 millones a más de 6929 millones de habitantes (FAO, 2010), indicando que la intensificación de Dióxido de Carbono y otros gases en la atmosfera ha generado un desequilibrio energético en el sistema climático provocando un mayor calentamiento gradual (Cox *et al*., 2000; Caballero *et al*., 2007; García, 2011; Mendiara, 2012).

4.2. Ciclo del Carbono

Debido a la necesidad de regular el cambio climático, los conocimientos sobre el ciclo del carbono han aumentado en los últimos años, en especial respecto a la cuantificación e identificación de los mecanismos de intercambio terrestre, marino y atmosférico (Schimel, 1995). La causa de su relevancia en la actualidad radica en que el CO_2 atmosférico atrapa el calor que emite la tierra, calentando su superficie (Fernández y Leiva, 2003) y debido a que constituye el ciclo por el cual la energía solar se transfiere a los sistemas biológicos (Fournier, 1983).

En la Figura 1 se observa que el Carbono está en la atmosfera en forma de CO_2 gaseoso, parte de este se disuelve en el agua superficial y subterránea formándose HCO_3 o CO_2 acuoso molecular; otra parte, se fija en la fotosíntesis, por las plantas terrestres en forma de CH_2O y por las algas fotosintéticas,

consumiendo CO_2 para producir biomasa, ocasionando un aumento en el pH del agua y precipitación de $CaCO_3$ y $CaCO_3MgCO_3$ (Henry y Heinke, 1999; Manahan, 2006).

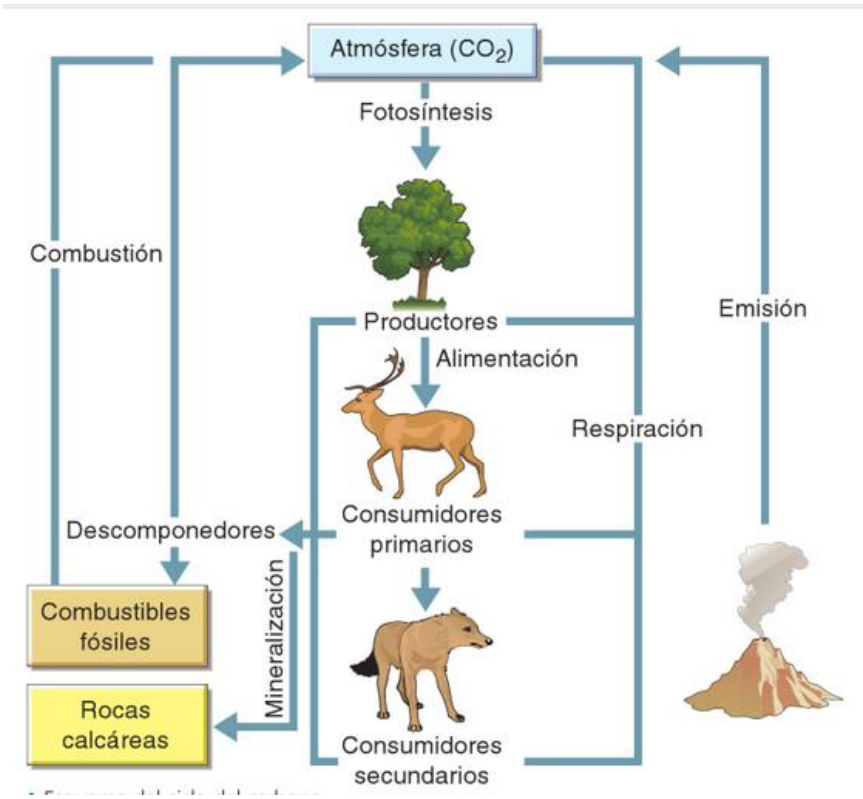

Figura 1. Esquema general del ciclo del carbono. Tomada de Belart (2008).

El CH_2O es la forma orgánica en la que llega el carbono a los animales, tiene la capacidad de reaccionar con el O_2 para generar nuevamente CO_2 y energía según lo expuesto por Manahan (2006); este proceso se da cuando ocurre la respiración de organismos, fermentación y combustión de combustibles fósiles o madera (Campos, 2002).

El carbono en el gas Metano, que es producido en medios anaerobios, rápidamente pasa a medios aerobios a través de humeros submarinos o

volcanismo, que al estar en presencia de O_2 es oxidado por microorganismos metanotrofos y metilotrofos para así formar CO_2 atmosférico y repetir el ciclo. El C en la biosfera se encuentra en delicado equilibrio entre sus formas oxidadas y reducidas gracias a las plantas, algas, bacterias del suelo y agua. Pero el hombre está produciendo desplazamientos del equilibro hacia CO_2 y CH_4 (Castillo, 2005).

4.3. Componente Suelo

En el sistema de clasificación de USDA (SSS, 1999) se define al suelo como "un cuerpo natural, compuesto de sólidos (materiales minerales y orgánicos), líquidos y gases que ocurren en la superficie de la tierra, ocupan espacio y se caracterizan por tener horizontes y/o capas diferenciables del material inicial como resultado de las adiciones, pérdidas, transferencias y transformaciones de energía y materia o por la habilidad para soportar plantas enraizadas en un ambiente natural". El cual se puede considerar como un sistema natural abierto y de alta complejidad en el que viven las plantas y una gran cantidad de animales, donde las características están determinadas por factores como el clima, relieve y drenaje (Malagón, 1998).

4.3.1. Elementos presentes en el suelo

El suelo está formado por tres fases: una sólida (50%), gaseosa (15-35%) y una liquida (15-35%). La fase sólida es la más estable de todas, en ella se puede hallar ***materia orgánica***, se estima que representa el 5%, la cual, es muy dinámica y puede varían en función de tiempo y espacio llegando a ser el 30% en un terreno pero en otro puede ser 0%; y ***materia inorgánica o minerales***, representando el 45% restante de la fase sólida y está integrada por: *rocas*, conjunto de minerales

íntimamente combinados y rara vez se compone de un solo mineral (Fassbender, 1987; Jordán, 2005; Cabrales, 2008).

La fase liquida está conformada básicamente por agua, elemento vital para la vida. En este, se encuentran sales, nutrientes, compuestos orgánicos solubles y contaminantes disueltos en diferentes concentraciones dependiendo el lugar. Este es tal vez el elemento más dinámico del suelo y puede afectar sus propiedades físicas y químicas (estructura, consistencia, plasticidad, etc.). La dinámica general y la variabilidad de cantidad presente van a variar con relación a las diferentes propiedades del suelo, aportes externos como lluvia o riegos, evaporación, clima, etc. (Seoánez, 1999; Cabrales, 2008).

Por último, la fase gaseosa, esta se encuentra en los poros del suelo junto a la fase liquida. Esta ocupa en promedio un 25%, pero algunas veces puede llegar a menos de 10% siendo nocivo para los organismos del suelo. Su composición es similar a la de la atmosfera, CO_2 y O_2, en concentraciones que varían con respecto a las temporadas del año (Fassbender, 1987; Jordán, 2005; Cabrales, 2008).

4.4. Uso del Suelo

Las expresiones “usos del suelo” y “cobertura del suelo” tienen una estrecha relación, aunque no se deben combinar o confundir. “Cobertura del suelo” hace referencia al estado biofísico en que se encuentra la superficie de la tierra y “uso del suelo” es el cómo y para qué el hombre hace uso de dicha cobertura (Velázquez *et al.,* 2010).

Siendo las coberturas terrestres el centro de numerosos procesos biológicos, físicos y químicos de gran importancia en el funcionamiento de los sistemas ambientales a nivel general, cada una de las modificaciones en el uso de estas afectará directamente a la biodiversidad mundial (Vitousek, 1994; Sala *et al*., 2000); contribuyen al cambio climático regional y global (Chase *et al*., 2000); son una fuente de degradación del suelo (Tolba y El-Kholy, 1992; IGAC, 2004) y conllevan a variaciones en la cantidad de Carbono que afectan la capacidad de los sistemas naturales de mantener las comunidades (Vitousek *et al*., 1997; Vesterdal y Leifeld, 2007).

En los cambios de uso del suelo que se presentan debido a eventos estocásticos de la naturaleza se producen efectos totalmente diferentes a los que suceden cuando son acciones humanas las que lo originan. Las perturbaciones naturales (inundaciones, tormentas, entre otros) influyen en la evolución histórica de los paisajes, pero generalmente las influencias humanas descontrolan estos procesos naturales dado a una mayor frecuencia e intensidad de ocurrencia (Luque *et al*., 1994).

En Colombia el uso del suelo se encuentra distribuido: 58% uso forestal, 4% conservación y recuperación de recursos hídricos, 6% sistemas agrosilvopastoril, 13% ganadería y silvopastoril, 19% agrícola y silvoagricola (IGAC, 2012). Sin embargo, Montenegro (2007) afirma que el 65% del total del suelo colombiano está en conflicto de uso, es decir, el uso del suelo no asegura ni favorece la conservación y protección del mismo como recurso por no estar acorde con la

aptitud de uso; lo que podría conllevar a una paulatina pero progresiva degradación y erosión de los suelos en el país.

4.4.1. Pastizal

Stoddart (1972) se refiere a un pastizal natural como toda área que sustenta vegetación nativa compuesta por hierbas de pradera y arbustos, que en su mayoría es empleada para el apacentamiento del ganado. En general dominan las especies de la familia de las Gramíneas (Poaceae) (Martin, 2009).

4.4.2. Bosque natural

Martin (2009) lo define como una asociación vegetal compuesta por varios estratos de vegetación, destacándose un estrato arbóreo alto y denso, acompañado por arbustos y pastos en los niveles inferiores. Tiene un potencial silvopastoril generalmente bueno, dependiendo su mayor aptitud hacia uno u otro caso, de las especies que lo componen y su distribución.

4.4.3. Monocultivo

El término monocultivo se denota a un área de terreno en el cual se hacen cambios y limpieza con el fin de cultivar solo una especie vegetal, que puede ser de interés agrícola, maderera o solo susbsistencial (George, 1991).

4.4.3.1. Tectona grandis L. f.

Es una especie perteneciente a la familia Lamiaceae y tiene como nombre común “Teca”, es un árbol con una madera muy apreciada a nivel mundial para la fabricación de muebles. La gran demanda de esta madera y el interés

medioambiental y económico de este cultivo, han hecho de la teca uno de los recursos más interesantes para el hombre (SEPHU, 2009; Blanco *et al.*, 2014).

4.4.3.2. Hura crepitans L.

Especie perteneciente a la familia Euphorbiaceae, llamada comúnmente como ceiba de leche, propia del neotrópico. Desde hace aproximadamente 40 años, esta especie ha sido aprovechada en Centroamérica y el Caribe para la construcción de canoas, las cuales son muy durables (Bolfor *et al.,* 2000).

4.5. El papel del Suelo como sumidero terrestre

Anteriormente se pensaba que el suelo era netamente una fuente de CO_2, pero a partir de investigaciones se cambió este concepto, considerando que los ecosistemas terrestres están cerca del equilibrio entre almacenamiento y la emisión de Carbono (Woodwell *et al*., 1978). Esto puede confirmarse al tener en cuenta que con las deforestaciones en áreas tropicales se producen emisiones de aproximadamente 1,5Pg/año ($1,5 * 10^{15}$ gr/año), y al mismo tiempo se acumulan en ecosistemas terrestres entre 1,8 – 2Pg/año ($1,8 – 2 * 10^{15}$ gr/año), mostrando claramente la existencia de un sumidero que almacena más Carbono que la cantidad arrojada a la atmosfera por dichas deforestaciones (Schindler, 1999; FAO, 2002).

Las zonas forestales son muy importantes como sumideros de Carbono al ocupar grandes extensiones del terreno en el planeta y presentar la capacidad de acumular cantidades considerables de Carbono procedente de la atmosfera, tanto en el suelo como en la vegetación (Figueroa y Redondo, 2007). En estos

ecosistemas se fija aproximadamente el 25% del CO_2 proveniente de la quema de combustibles fósiles (Malhi *et al*., 1999); por lo que la reforestación de zonas de baja cobertura forestal puede contribuir al aumento de los sumideros de Carbono (Zambrano *et al*., 2004).

Según Marland *et al*. (1994) en los años 80 hubo un incremento de 3.3±0,2 billones de toneladas métricas (Gigatons) de Carbono por año, pero el volumen de emisiones de CO_2 procedente de combustibles fósiles fue de 5,5±0,5 Gt C/año durante el mismo período, se nota que una cantidad de CO_2 no permanece en la atmósfera. Por ello se podría considerar que el océano y la biosfera estarían cumpliendo la función de sumideros. Sumado a esto, Gutiñas (2009) plantea 8 pruebas que evidencian y soportan el hecho de que los ecosistemas terrestres son más un sumidero que una fuente de CO_2.

4.6. Respiración del Suelo

La Respiración del Suelo (RS) es uno de los parámetros más antiguos para cuantificar la actividad microbiana, representando la oxidación de la materia orgánica hasta la formación de CO_2 por organismos aeróbicos del suelo que utilizan el O_2 como aceptor final de electrones (Moreira y Siqueira, 2002; Krebs, 2003). Mientras, autores como Ryan y Law, (2005) y Vargas *et al*. (2010) consideran que la RS es el flujo total de CO_2 producido por procesos metabólicos de los organismo, incluyendo la respiración heterotrófica (descomposición de materia orgánica por microorganismos) y la respiración autotrófica (respiración de las raíces y las micorrizas); y sumado a esto, Medina (2012) aclara que parte del CO_2 que se desprende desde suelo proviene de procesos distintos a la respiración

microbiana, como lo son los fermentativos y los procesos anaeróbicos que emplean NO_3 y SO_4 como aceptores de electrones.

La respiración del suelo es uno de los componentes que más aporta CO_2 a la respiración total del ecosistema mundial (Janssens *et al*., 2001; Rey *et al*., 2002; Ryan y Law, 2005); siendo considerada el eslabón principal que concluye el ciclo del carbono en el ecosistema terrestre, retornándolo a la atmosfera en forma de CO_2 (Schlesinger y Andrews, 2000). La medida de esta refleja la cantidad y calidad de las fuentes de Carbono presentes en el suelo, o dicho de otra forma, el Carbono que potencialmente puede mineralizarse al encontrarse en el suelo, y asimismo constituye un índice integrado del potencial de la microbiota para degradar la materia orgánica en condiciones específicas (Kennedy y Papendick, 1995). No obstante, debido que la presencia de los microorganismos se relaciona con la cantidad de componente orgánico presente en el suelo, al igual que la biomasa microbiana, la medición de la tasa de respiración en el suelo es un indicador sensible que permite valorar la respuesta de los ecosistemas a factores externos (Medina, 2012). En la tabla 1 se muestran valores de tasas de respiración del suelo de algunos biomas del mundo y los autores de los respectivos trabajos de investigación.

Tabla 1. Tasa de respiración del suelo en algunos biomas del mundo. Tomada de Murcia *et al*. (2012).

BIOMA		VEGETACION		TASA RS g C/m² año	PAIS	REFERENCIA
Tundra		Macollas		56	Alaska	Giblin *et al*. (1991)
		Arbustos		34		Poole y Miller (1982)
		Liquenes		42		Giblin *et al*. (1991)
		Juncos		53		
Pantanos y Cienagas		Ombrotrófica		33	Suecia	Svensson (1980)
		Sphagnum		46	Inglaterra	Clymo y Reddaway (1971)
Dehesas		*Brachypodium*		41	Francia	Billes *et al*., (1975)
Bosque	Alto andino	Pastizal		36.7	Colombia	Murcia y Ochoa (2008)
		Matorral		33.9		
	Andino	Bosque	*Chamaecyparis*	176	Taiwán	Chang *et al*. (2008)
		Nublado	*Gyranthera caribensis*	24.2	Venezuela	Medina y Zelwer (1972)

Continuación de Tabla 1.

BIOMA			VEGETACION	TASA RS g C/m^2 año	PAIS	REFERENCIA
Bosque	Andino	Nublado	*Podocarpus spp*	20.7	Venezuela	Medina y Zelwer (1972)
	Subandino	Semiarido	*Prosopis julifora*	36.6	Venezuela	Medina y Zelwer (1972), Medina *et al*. (1980)
		Lluvioso	*Anacardium rhinocarpus*	67.7		
	Tropical	Tierra firme	*Aspidosperma megalocarpum*	1000		
		Semidaciduo	*Cassia moschata*	82.1		
Páramo		Seco	*Espeletia schultzii*	11.5		
Plantación de Coníferas			*Larix olgensis*	830.7	China	Wang *et al*. (2010)
			Betula platyphylla	1477.9		
Bosque secundario			*Fraxinus mandshurica*	935.4		
Bosque primario mixto						

4.6.1. Factores que afectan la respiración del suelo

Las tasas de respiración dependen principalmente de la localidad, por lo general es más alta en áreas de clima cálido, estas tasas pueden variar de un lugar a otro por la temperatura, el pH, contenido de humedad, disponibilidad de Nitrógeno, la cantidad de materia orgánica (Krebs, 2003); la cantidad de hojarasca, carbono (McCulley *et al*., 2007); la porosidad, la textura y la densidad aparente del suelo (Vargas *et al*., 2010).

4.6.1.1. Temperatura

Esta se considera una variable de importancia debido a que un aumento en la temperatura podría aumentar el crecimiento de las bacterias (Thamdrup *et al*., 1998), junto con otros organismos presentes en el suelo lo que conllevaría a un aumento en la respiración del suelo.

4.6.1.2. pH

Este factor afecta a los metabolismos y crecimiento de los microorganismos en el suelo, el pH puede variar desde 2 en suelos ácidos hasta 9 en suelos alcalinos. Aunque existan microorganismos que soportan pH de los extremos, la mayoría de estos crece en condiciones óptimas en un pH entre 7 y 8 (Rodríguez *et al*., 2005), ciertos géneros de nematodos son sensibles a ligeros cambios de pH del suelo, presentan dependencia de la porosidad y humedad del suelo (Millán *et al*., 2016).

4.6.1.3. Humedad del Suelo

Esta tiene efectos sobre otras características del suelo como porosidad, textura, color, densidad aparente e incluso en proceso químicos y bioquímicos y la actividad microbial (Forsythe, 1985) lo que directamente influye en la tasa de respiración de un suelo. Un exceso de agua puede producir una reducción en la respiración aeróbica en el suelo (Linn y Doran, 1984) pero, al mismo tiempo una disminución extrema puede conllevar al rompimiento de los procesos de descomposición y metabolismo de microorganismos lo que reduciría la respiración en el suelo (Smith *et al*., 1993).

4.6.1.4. Materia Orgánica

Está presente en todos los suelos y desempeña un papel de importancia en los mismos, interviene de forma activa en la formación del suelo, condiciona el crecimiento de plantas y microorganismos presentes, influye en el almacenamiento y los movimientos del agua, el intercambio catiónico y siendo una fuente de nutrientes (Porta *et al*., 1994).

5. MATERIALES Y METODOS

5.1. Área de estudio

Universidad de Sucre

En el municipio de Sincelejo (Sucre), se seleccionó el campus de la Universidad de Sucre (Figura 2), en donde se establecieron cuatro parcelas durante un año, a partir del mes de Junio del 2015 al mes de Mayo del 2016. El área está ubicada a 09°19´01” de latitud norte y 75°23´16.39” de longitud oeste; la cual se encuentra enmarcada en una zona de vida de bosque seco tropical perteneciente al Caribe colombiano, con una altitud de 182 msnm. Sucre presenta una pluviosidad anual media desde 1000mm, para zonas menos húmedas en el norte, hasta 2800mm en zonas lluviosas del sur, y condiciones de piso térmico cálido con una temperatura que oscila entre 25,5°C - 28,7°C y una humedad relativa promedio de 80% (IGAC, 1998; Aguilera, 2005; Gaceta departamental de Sucre, 2010).

El bosque seco tropical de Montes de María se caracteriza por la dominancia de familias como Fabaceae, Anacardiaceae, Apocynaceae, Bignoniaceae y Sapindaceae (Galván *et al*., 2009; Sampedro *et al*., 2013; Olascuaga *et al*., 2016); y en el interior de la Universidad de Sucre predominan las familias Fabaceae, Euphorbiaceae, Malvaceae, Acanthaceae, Asteraceae y Anacardiaceae, y en menor proporción Amaranthaceae, Boraginaceae y Solanaceae según información dada por el herbario de la Universidad de Sucre (HEUS)*.

*Universidad de Sucre

En el interior del campus de la sede Puerta Roja de la Universidad de Sucre se seleccionaron cuatro áreas antropizadas con usos de suelo diferentes: área con presencia de plantas originarias de la región (“Vegetación nativa”) con una extensión de 3 hectáreas, un espacio de 0.31 hectáreas que está cubierto de pasto y otras herbáceas (“Pasto”), y dos áreas con monocultivos forestales, uno con Teca (*Tectona grandis*) de 0.3 hectáreas y otro con ceiba de leche (*Hura crepitans*) de 0.7 hectáreas (figuras 2 y 3).

Figura 2. Ubicación de los usos de suelo al interior de la universidad de Sucre (Sede Puerta Roja). a: Vegetación nativa, b: Pasto, c: *T. grandis*, d. *H. crepitans*. Imagen modificada de Google earth.

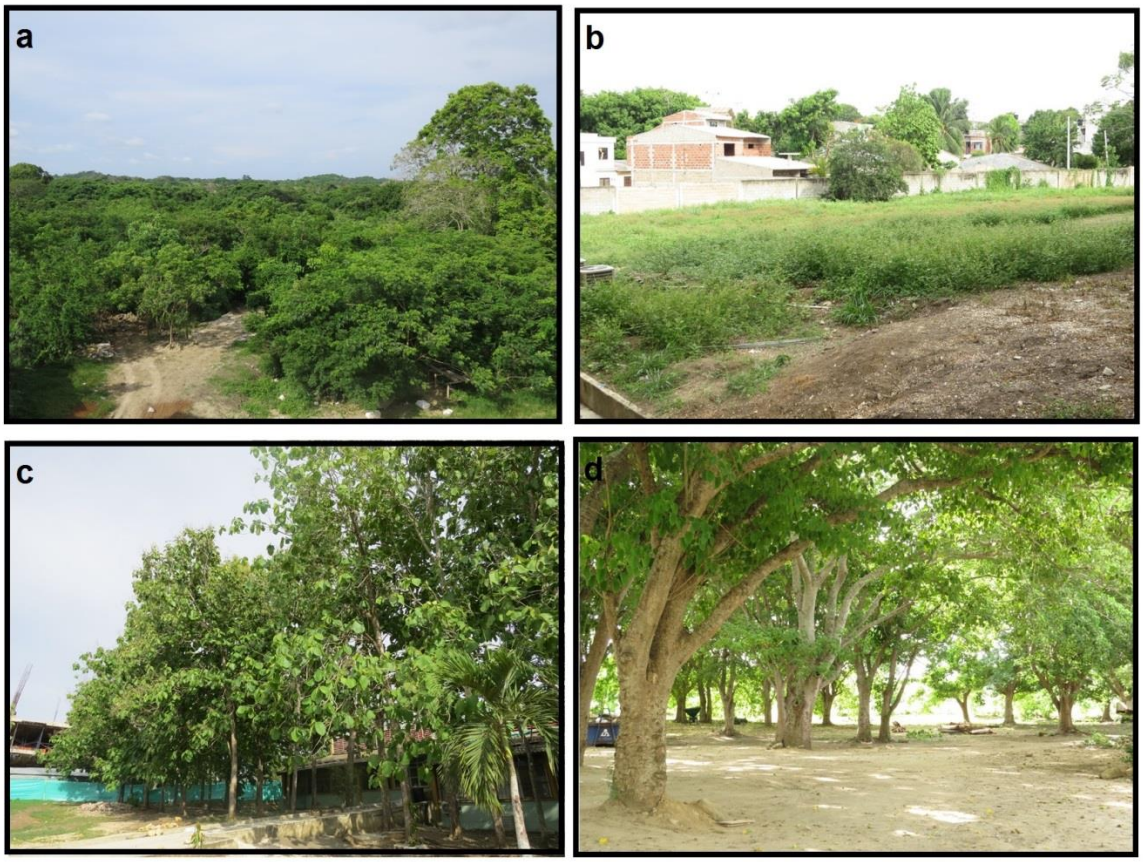

Figura 3. Cuatro usos de suelo en el interior del campus de la Universidad de Sucre (Sede Puerta Roja). a: Vegetación nativa, b: Pasto, c: *Tectona grandis*, d: *Hura crepitans*.

5.2. Equipos

5.2.1. Equipo de respiración de suelo PP-Systems EGM-4

Al igual que Oviedo (2007) se utilizó el equipo EGM-4 (PP-Systems) junto con una cámara de respiración de suelo SRC-1 (PP-Systems). La cámara tiene forma de cilindro, con 15 cm de alto por 10 cm de diámetro, viene equipado con un ventilador en su parte interna con el objetivo de mezclar el aire. Este instrumento es de la categoría cámaras dinámicas cerradas o DCC (por sus siglas del inglés Dynamic Closed Chamber) y que dispone de un analizador de gases en infrarrojo o IRGA (Infra Red Gases Analyzer); en donde el flujo de CO_2 se determina por el

incremento de la concentración en la cámara, colocándola en un área conocida por un período de tiempo determinado en donde la cámara actúa como un espacio cerrado entre el suelo y el analizador infrarrojo (Pumpanen *et al*., 2004).

Este tipo de cámaras presentan las ventajas de realizar mediciones instantáneas de la concentración de CO_2, ser portátiles y la posibilidad de automatizarlas para almacenar los datos *in situ*. Por lo tanto, las mediciones de respiración del suelo con estos equipos permiten una mayor rapidez, agilidad y capacidad de réplica, lo que reduce el porcentaje de error (Davidson *et al*., 2002).

Tabla 2. Características del equipo de medición de respiración del suelo. Tomada de Oviedo (2007).

Característica	PP-Systems
Precisión	1%
Funcionamiento	Manual
Aproximación	Lineal o cuadrática
Rango de medidas	CO2: 0 – 100000 ppm
Tipo IRGA	Rayo infrarrojo no dispersivo
Longitud de onda IRGA	4,26 µm
Movimiento del aire	Ventilador
Instrumentación en la cámara	No
Instrumentación en IRGA	Barómetro
Rectificación por humedad	No

5.2.1.1. Cálculo del flujo de CO_2 por el equipo

El flujo se puede expresar como, $F_c = \frac{\Delta\rho}{\Delta t} * \frac{V}{A}$, una masa de aire que atraviesa un área en un tiempo determinado. Para que el flujo esté bien definido, ρ debe estar medido en unidades de densidad (unidad de masa por unidad de volumen).

Este instrumento tipo IRGA es capaz de medir variaciones de ρ_c y como el PP-Systems tiene la capacidad de calcular la densidad del aire, gracias al barómetro

ubicado en el interior del banco óptico, ajustando la temperatura a 45°C da valores de X (Fracción molar), medido en ppm. Aunque el PP-Systems calcula el flujo, se hará usando como dato X y haciendo la transformación:

1 ppm CO2 = 1 µmol/mol aire

1 mol gas≈ 22,4141 en STP

$$1ppmCO_2 = 1\frac{\mu molCO_2}{mol\ aire} x \frac{1mol\ aire}{22{,}4141\ aire} x \frac{1l\ aire}{0{,}001m^3} = 44{,}6199\mu mol\ {}^{CO_2}/_{m^3}\ aire$$

Es decir que el flujo de CO2 queda determinado por:

$$CO_2 flux\left({}^{\mu mol}/_{m^2 s}\right) = \frac{\Delta CO_2\left({}^{\mu mol}/_{m^3}\right)}{\Delta t(s)} x \frac{volumen\ cámara\ (m^3)}{Superficie\ collar\ (m^2)}$$

Información tomada de Oviedo (2007).

5.2.2. Equipo de humedad de suelo ML3 ThetaKit (Soil Moisture Measurement Kit)

Para medir la humedad en el suelo, se usó un Kit de medida de humedad del suelo ML3 ThetaKit marca Delta-T Devices, el cual cuenta con un maletín de transporte conveniente, un medidor de humedad HH2 para la lectura instantánea y una herramienta de inserción para penetrar en los suelos duros.

5.3. Trabajo en campo

En cada una de las áreas con los distintos usos del suelo se establecieron tres parcelas permanentes durante un año (Gelvez, 2008). Éstas con un área de 160 m^2 con dimensiones de 8 x 20 m (modificado de Rey *et al*., 2002; Martínez *et al*., 2007; Oviedo, 2007; Gelvez, 2008; Ramírez y Moreno, 2008). La ubicación y la distancia entre las parcelas se adaptaron a las condiciones de las respectivas

áreas de trabajo. Como se observa en la figura 4, en las esquinas de las parcelas se instalaron “collares” PVC con un diámetro de 10.5cm, altura de 10 cm y una profundidad de 8 cm en el interior del suelo, esto con el fin de disminuir la perturbación en éste. En total se ubicaron 48 collares teniendo en cuenta los cuatro usos del suelo. La toma de medidas y muestreos se realizaron cada 4 semanas entre las 08:00 y 18:00 horas del día; cada parcela se visitó a una hora diferente entre muestreos para así tener en cuenta la variación ambiental en relación con la posición del sol al transcurrir el día.

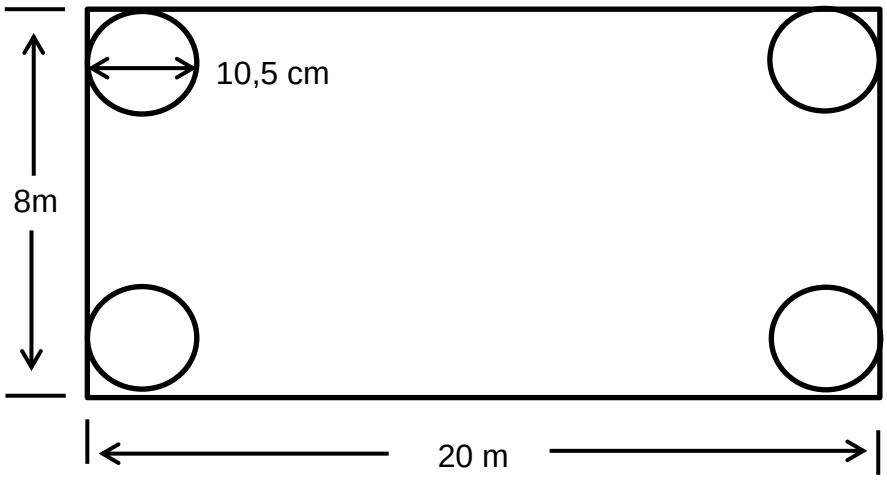

Figura 4. Esquema de las parcelas y la ubicación de los collares.

5.4. Mediciones

5.4.1. Mediciones de respiración edáfica.

Para medir la respiración del suelo, utilizando el PP-Systems EGM-4 conectado a la cámara, se enciende el equipo y se espera a que se regule y realice una verificación de cero. Estando el equipo preparado para la medición, se realizó una limpieza de todo material y restos biológicos que se encontraban encima del collar (hojarasca, plantas, raíces, restos animales, etc.), se posicionó la cámara sobre el

collar PVC y se midió el CO_2 por 90 segundos. Por cada collar se realizaron 3 medidas y entre cada una un intervalo de 5 minutos, es decir, un total de 12 medidas por cada parcela y 36 medidas por mes a cada área por uso de suelo.

5.4.1.1. Cálculo de respiración edáfica en µmolCO_2/m^2s

Tomando la formula expresada por Oviedo (2007) y reemplazando tenemos que:

Volumen de cámara =0,0011780972 m^3

Superficie de collar= 0,007853982 m^2

Δt= 90 segundos.

$$CO_2 flux\left({}^{\mu mol}/_{m^2 s}\right) = \frac{\Delta CO_2\left({}^{\mu mol}/_{m^3}\right)}{\Delta t(s)} x \frac{volumen\ cámara\ (m^3)}{Superficie\ collar\ (m^2)}$$

$$CO_2 flux\left({}^{\mu mol}/_{m^2 s}\right) = \frac{XppmCO_2\left(44{,}6199\ {}^{\mu mol}/_{m^3}\right)}{90\ seg} x \frac{0{,}0011780972\ m^3}{0{,}007853982\ m^2}$$

$$CO_2 flux\left({}^{\mu mol}/_{m^2 s}\right) = \frac{XppmCO_2\left(44{,}6199\ {}^{\mu mol}/_{m^3}\right)}{90\ seg} x 0{,}149973 m$$

5.4.2. Mediciones de temperatura de suelo

El PP-Systems EGM-4 cuenta con sensor de temperatura que se introduce en el interior del suelo unos 10 cm y las lecturas se realizan al mismo tiempo con la respiración del suelo.

5.4.3. Mediciones de humedad de suelo

Antes de hacer la medida de humedad se realizó una remoción o ablandamiento del suelo para que el componente de inserción del equipo ML3 ThetaKit (Soil Moisture Measurement Kit) pueda penetrar 10cm en el suelo con mayor facilidad sin dañar el sensor.

5.5. Análisis físico-químico del suelo

Para llevar a cabo el análisis de los suelos, se tomaron 4 submuestras por parcela en puntos al azar, de forma tal hasta llegar a una muestra de 1Kg por cada área con diferente uso de suelo (12 submuestras en total por cada área). Para cada punto de toma de submuestras se procedió a retirar la capa de vegetación y superficie del suelo, luego se hizo un hueco en forma de “V” con profundidad de 10 cm utilizándose un barretón. De inmediato se cortó una tajada del suelo de 2-3 cm de grosor de la pared del hueco, de dicha tajada se tomó la parte que estaba entre los 3 y 8 cm de profundidad del suelo eliminado los bordes laterales con un cuchillo y se agregó en un balde para homogenizar. Este procedimiento se repitió en todos los 12 puntos de toma de submuestras por cada área con diferente uso de suelo hasta llegar a tener la muestra homogénea que fue llevada al laboratorio para posterior procesamiento (Bernier, 1999).

Se tomaron 0.5 Kg de muestra homogénea de suelo y se realizaron las pruebas físico-químicas siguiendo las indicaciones y metodologías expuestas por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), (tabla 3).

Tabla 3. Métodos para determinar las características edáficas**.**

DETERMINACIÓN	METODOLOGÍA O FORMULA
Densidad aparente	Terrón parafinado
% Materia orgánica	Método indirecto, Carbón orgánico (Walkley y Black, 1934)
pH	Método potenciométrico (Willard *et al*., 1974; Bates, 1983)
Porosidad	P= 1- (ρa/ρr) ρa: Densidad aparente. ρr: Densidad real.
Textura	Bouyoucos

5.6. Análisis estadísticos.

Mediante el programa estadístico R versión 3.4.1 se evaluó la normalidad de los datos obtenidos con los test de Shapiro-Wilk y Kolmogorov-Smirnov con la corrección Lilliefors. Se utilizó la prueba de Kruskal Wallis para diferencias entre tratamientos y posteriormente se realizaron dos versiones de la prueba U de Mann-Whitney, una normal y la otra mediante desigualdades de la prueba de Tukey para determinar la diferencia entre las medias de los valores de cada uno de los usos de suelo. Además, se efectuó un análisis de coeficiente de correlación de Spearman en datos no paramétricos y correlación de Pearson cuando los datos lo permitieron, para determinar la relación entre la temperatura del suelo y RS, la humedad del suelo y RS, y las propiedades de los suelos y RS. En adición, se realizó un análisis de varianza (ANOVA) y una prueba de Tukey para ver la existencia de diferencias entre las RSA promedios de cada suelo.

Para la elaboración de gráficas y el análisis de regresión entre las variables se utilizó el programa Microsoft Excel 2010.

6. RESULTADOS

6.1. Variación anual de la temperatura, la humedad y la respiración del suelo en las áreas de estudio.

6.1.1. Variación de la Temperatura

En la figura 5 se observa que el suelo donde está *T. grandis* presentó temperaturas mayores que los valores presentados en los otros tres usos de suelo en seis de los doce meses del año (Septiembre, Octubre, Diciembre, Enero, Febrero, Marzo y Abril). Además, los suelos con vegetación nativa, *H. crepitans* y pasto mantuvieron una temperatura muy similar el mayor tiempo del año.

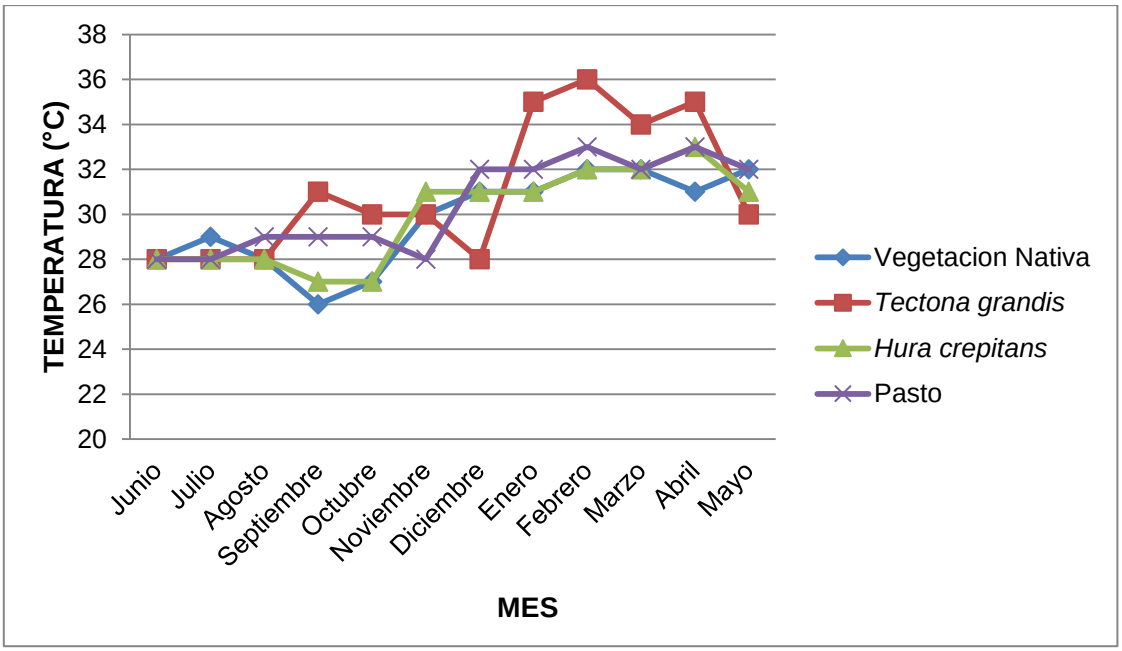

Figura 5. Variación de la temperatura del suelo a lo largo de 12 meses en cuatro usos de suelo al interior de la Universidad de Sucre.

La temperatura en los cuatro usos de suelo al interior de la Universidad tuvo un promedio entre los 29°C y los 31°C. Los valores más altos se encontraron en suelo de *T. grandis*, con 36°C en el mes de febrero y 35°C en los meses de enero

y abril, el valor más bajo fue de 26°C en el suelo con vegetación nativa en el mes de septiembre. En la figura 5, asimismo se puede decir que los meses de febrero, marzo, abril y mayo fueron los de mayores temperaturas en el interior de los cuatros usos de suelo, y que, los meses de junio, julio, agosto, septiembre y octubre fueron los de menor temperatura comprobándose esto estadísticamente en la tabla 4 con los p-valor obtenidos.

Tabla 4. P-valores obtenidos de la prueba U de Mann Whitney en los datos de temperatura por meses.

	Ene	**Feb**	**Mar**	**Abr**	**May**	**Jun**	**Jul**	**Agos**	**Sept**	**Oct**	**Nov**
Ene	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Feb	1.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Mar	1.00	1.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Abr	1.00	1.00	1.00	-	-	-	-	-	-	-	-
May	1.00	0.06	0.20	0.01	-	-	-	-	-	-	-
Jun	0.00054	0.00054	0.0008	0.001	0.0005	-	-	-	-	-	-
Jul	0.0012	0.0012	0.0003	0.0005	0.001	1.0	-	-	-	-	-
Agost	0.0012	0.0012	0.0008	0.001	0.001	1.0	0.001	-	-	-	-
Sept	0.012	0.0019	0.001	0.001	0.04	1.0	1.0	1.0	-	-	-
Oct	0.0017	0.0017	0.001	0.001	0.004	1.0	1.0	1.0	1.0	-	-
Nov	0.011	0.0017	0.001	0.001	0.2	0.02	0.14	0.14	1.0	0.5	-
Dic	1.00	0.011	0.01	0.004	1.0	1.0	1.0	0.004	1.0	0.5	1.0

La temperatura en los usos de suelos se organizó de la siguiente forma, el mayor fue en la Teca (31°C), seguido del pasto (30.42°C), Ceiba de leche (29.92°C) y por último el de vegetación nativa (29.83°C). Al evaluar la normalidad de los datos de la temperatura de los cuatro suelos se obtuvieron valores por debajo de 0.05 lo que nos indica que no tienen una distribución normal como se muestra en la tabla 5. Con respecto a la prueba de diferencia entre la temperatura de los cuatro usos de suelos, esta arrojo un *p*-valor de 0.335 por lo que podemos inferir que no

existieron diferencias significativas entre las temperaturas de un suelo y otro a lo largo del año.

Tabla 5. Resultados de las pruebas estadísticas de normalidad y diferencias entre los datos de temperatura de los usos de suelo.

PRUEBA	USO DE SUELO			
	VEGETACIÓN NATIVA	***T. grandis***	***H. crepitans***	**PASTO**
Shapiro-Wilk	0.0002944	0.0003673	0.0001514	0.00001475
Kolmogorov-Smirnov	0.0003285	0.000343	0.00000009358	0.00000005592
Kruskal Wallis	*p – value*: 0.335			

6.1.2. Variación de la Humedad

Con respecto a la humedad presente en el suelo durante el período de los 12 meses, se puede afirmar, según la figura 6, que el valor de la humedad del suelo con Teca siempre se mantuvo por debajo de los valores encontrados en el resto de los usos de suelo estudiados. Además, con base a la figura 6, se puede presumir un patrón de la humedad a lo largo del año, siendo mayor entre los meses de julio a noviembre pero, al llegar el mes de diciembre hasta el mes de mayo este valor va disminuyendo progresivamente para nuevamente aumentar en el mes de junio.

La humedad en los cuatro usos de suelo osciló entre 30% - 40%. Sin embrago, se registraron valores muy bajos de humedad entre 5% y 9% en los meses de abril,

marzo y febrero en el suelo con *T. grandis*. En contraste, los valores más altos estuvieron en el suelo con vegetación nativa, con cifras entre 58%, 52% y 50% en los meses de septiembre, agosto y octubre.

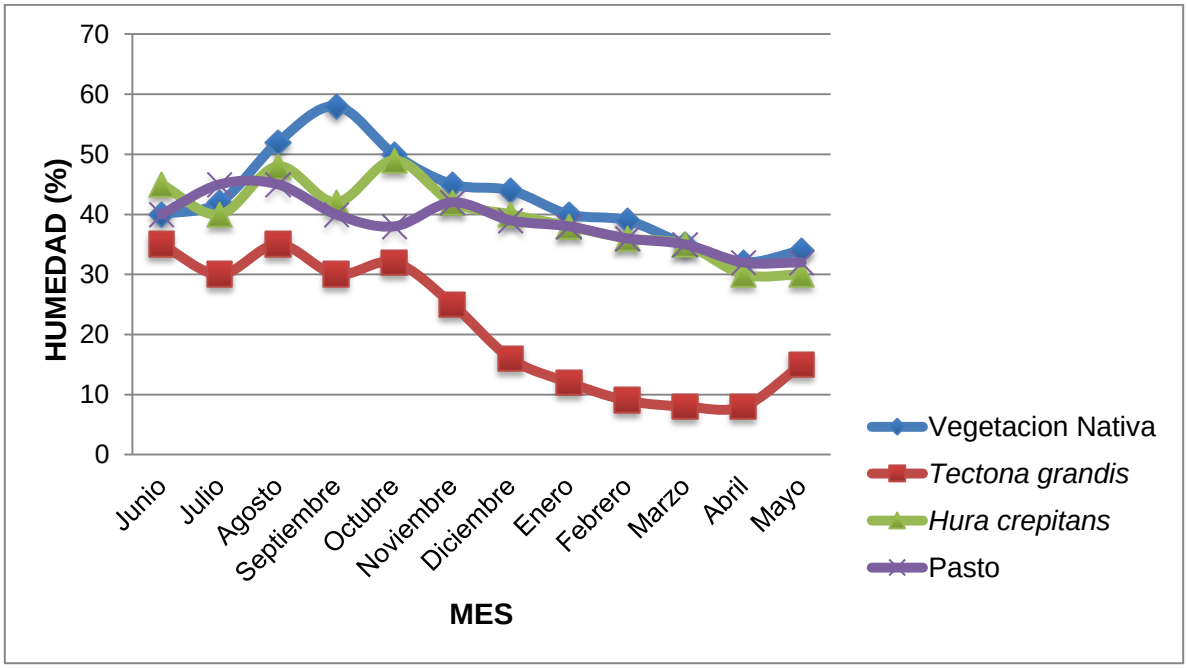

Figura 6. Variación de la humedad del suelo a lo largo de 12 meses en cuatro usos de suelo al interior de la Universidad de Sucre.

Los promedios de la humedad anual en cada uno de los suelos estuvieron dados de la siguiente forma: Vegetación nativa con un 42.4%, *H. crepitans* con 39.58%, pasto 38.0% y por último *T. grandis* con 20.17%. En la tabla 6 se muestran los datos de normalidad de la humedad, obteniéndose valores por debajo del 0.05, esto indica que no se da una distribución normal de los valores. Sin embargo la prueba de Kruskal Wallis arrojo un p-valor igual a 5.225 e^{-16} (<0.05) demostrando la existencia de diferencias significativas entre los valores de humedad en los cuatro usos de suelo.

Tabla 6. Resultados de las pruebas estadísticas de normalidad y diferencias entre los datos de humedad de los usos de suelo.

PRUEBA	USO DE SUELO			
	VEGETACIÓN NATIVA	*T. grandis*	*H. crepitans*	PASTO
Shapiro-Wilk	0.0244	0.002865	0.02992	0.08024
Kolmogorov-Smirnov	0.185	0.003918	0.3117	0.02512
Kruskal Wallis	*p – value*: 5.225 e^{-16}			

Existe diferencia significativa estadísticamente en los valores de humedad del área sembrada Teca respecto a los otros tres usos de suelo, es decir, el suelo con teca tuvo una humedad más baja que el resto de los suelos (Figura 6).

6.1.3. Variación de la Respiración Edáfica

La respiración edáfica siguió un comportamiento similar en los cuatro usos de suelo en el campus universitario (Figura 7), teniendo que en los meses de junio a octubre sus valores fueron similares entre sí, es decir, no existe diferencia estadísticas entre los valores registrados (Tabla 7), mientras en los meses de noviembre y diciembre estos valores se elevaron drásticamente en los cuatro usos de suelo, es decir, existió diferencia significativa al compararlos con los demás meses del año (Tabla 7). Interesantemente, al llegar enero el valor de la respiración empieza a descender gradualmente hasta los meses de marzo y abril, alcanzándose los valores más bajos del año, mostrando diferencias significativas a

nivel estadístico (Tabla 7), mientras en el mes de mayo el registro de la respiración vuelve a tomar valores cercanos a los registrados para los meses de junio y julio.

Tabla 7. P-valores obtenidos de la prueba U de Mann Whitney en los datos de temperatura por meses.

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Agos	Sept	Oct	Nov
Ene	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Feb	0.02	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Mar	0.002	0.003	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Abr	0.002	0.002	1.00	-	-	-	-	-	-	-	-
May	0.096	0.61	1.00	0.02	-	-	-	-	-	-	-
Jun	0.0026	0.15	0.46	0.003	1.0	-	-	-	-	-	-
Jul	0.1	1.0	0.034	0.002	1.0	1.0	-	-	-	-	-
Agost	1.0	0.002	0.002	0.002	0.13	0.077	0.60	-	-	-	-
Sept	0.008	1.0	0.005	0.002	1.0	1.0	1.0	0.02	-	-	-
Oct	0.002	0.5	0.012	0.002	1.0	1.0	1.0	0.011	1.0	-	-
Nov	0.008	0.002	0.002	0.002	0.039	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	-
Dic	0.0063	0.002	0.002	0.002	0.038	0.002	0.002	0.003	0.002	0.002	1.0

La figura 7 muestra que los valores de la respiración edáfica en los suelos con vegetación nativa y *H. crepitans* están por encima de los valores obtenidos en los suelos con *T. grandis* y pasto en la gran parte del tiempo. Lo anterior se ratifica al observar los valores promedios de la respiración por mes en las cuatro áreas de estudio siendo para vegetación nativa de 61.91 μmolCO_2/m^2s, seguido de *H. crepitans* con 58.74 μmolCO_2/m^2s, pasto con 55.59 μmolCO_2/m^2s y *T. grandis* con 54.21 μmolCO_2/m^2s. Dentro de los valores registrados durante el tiempo del estudio, se obtuvo una medida de 36.43 μmolCO_2/m^2s, siendo esta el valor más bajo y fue medido en el suelo sembrado con Teca, mientras que el más alto fue hallado en el suelo con vegetación nativa con 88.35 μmolCO_2/m^2s. Cabe resaltar que el mes de diciembre fue el único donde la respiración del suelo con

vegetación nativa estuvo por debajo de la respiración registrada para *H. crepitans y T. grandis* (Figura 8).

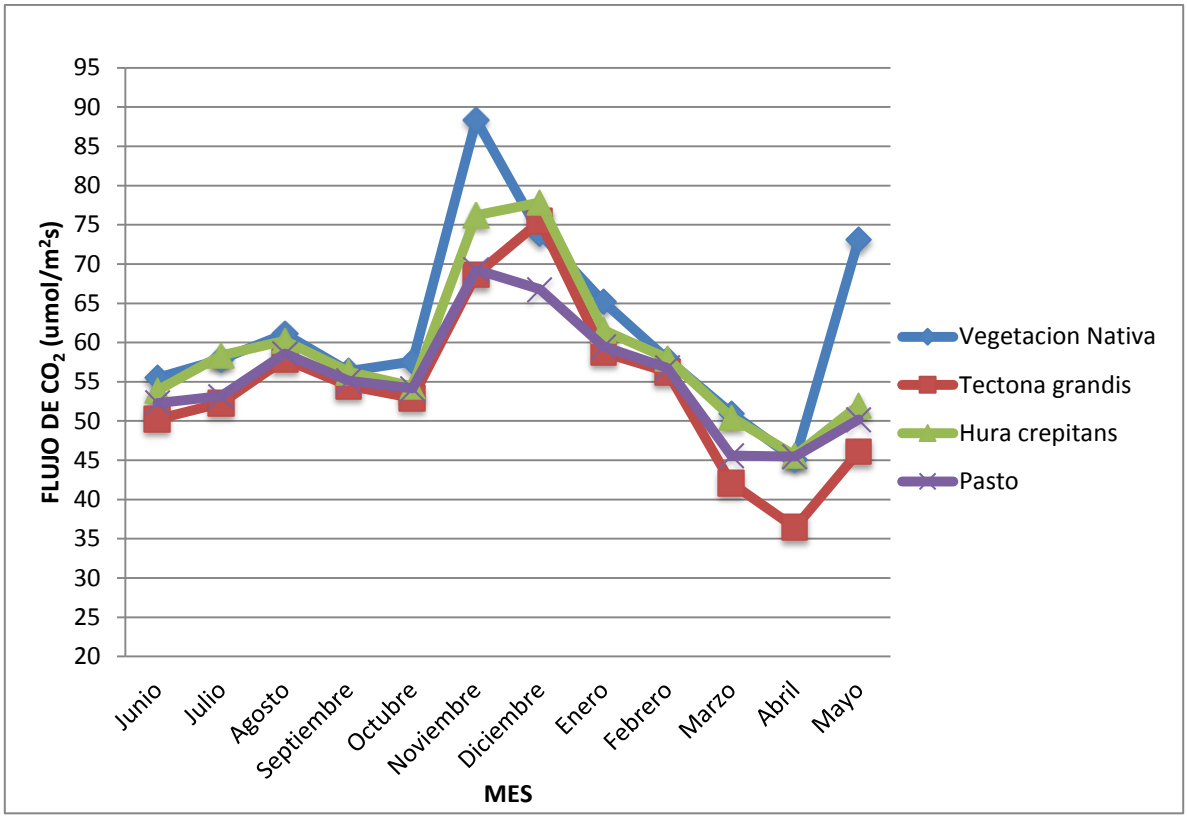

Figura 7. Variación de la respiración edáfica del suelo a lo largo de 12 meses en cuatro usos de suelo al interior de la Universidad de Sucre.

Referente a la variación registrada mes a mes, en marzo y abril se obtuvieron los menores flujos de dióxido de carbono con 42.08 y 36.43 µmolCO_2/m^2s respectivamente, y los meses de mayores flujos fueron noviembre y diciembre con 88.35 y 77.82 µmolCO_2/m^2s respectivamente.

Teniendo en cuenta las figuras 5, 6 y 7 de temperatura, humedad y respiración de suelo, se observar que el valor del flujo de CO_2 aumentó después de un evento de lluvia ocurrido en los meses secos como diciembre, enero y mayo; lo que ocurrió

también en el primer mes luego de empezar la temporada de lluvia de los meses de junio, julio, agosto y octubre.

Tabla 8. Resultados de las pruebas estadísticas de normalidad y diferencias entre los datos de respiración edáfica de los usos de suelo.

PRUEBA	USO DE SUELO			
	VEGETACIÓN NATIVA	*T. grandis*	*H. crepitans*	PASTO
Shapiro-Wilk	0.0001607	0.1304	0.002377	0.2133
Kolmogorov-Smirnov	$2.859e^{-5}$	0.07773	0.0001907	0.3456
Kruskal Wallis	*p – value*: 0.01718			

Al momento de evaluar la normalidad de los datos, las pruebas dieron resultados negativos para distribución normal (Tabla 8). Asimismo, se muestra el p-valor igual a 0.01718 (<0.05) obtenido en la prueba de Kruskal Wallis, mostrando la existencia de diferencias significativas entre el flujo de CO_2 de las cuatro áreas con los diferentes usos. Al comparar entre si los valores de respiración edáfica de los cuatro usos de suelo, se encontró diferencias estadísticas entre el suelo de vegetación nativa y suelo sembrado con teca con un p-valor de 0.038 (<0.05).

6.2. Relación entre la respiración edáfica y la temperatura en el suelo

Al llevar a cabo la evaluación del coeficiente de correlación que existe entre los valores de la respiración edáfica y los de la temperatura encontrada en los usos de suelo estudiados se observa que los cuatro presentaron una correlación en

sentido negativo, sin embargo, ninguna de estos coeficientes de correlación tuvo significancia teniendo p-valores por encima del 0.05, por lo que se puede inferir que no existió relación significativa entre la temperatura y los valores de RS (Tabla 9).

Tabla 9. Resultados de pruebas de correlación Spearman de los valores de respiración edáfica con la temperatura presente en cada uno de los usos de suelo.

RESPIRACION EDAFICA – TEMPERATURA DE SUELO	VEGETACION NATIVA	*T. grandis*	*H. crepitans*	PASTO
SPEARMAN	-0.1146	-0.2476	-0.1913	-0.2115
P-VALOR DE CORRELACIÓN	0.5058	0.1454	0.2637	0.2156

6.3. Relación entre la respiración edáfica y la humedad en el suelo

La relación obtenida entre la cantidad de CO_2 que emite el suelo con la humedad fue de sentido positivo en los cuatro usos de suelos. La tabla 10 refleja los coeficientes de correlación de los diferentes usos de suelo, así como el p-valor correspondiente, siendo mayor en el suelo con pasto (0,5841), seguido de *H. crepitans* (0,3975), Teca (0,3528) y por último el suelo con vegetación nativa. Todos estos valores indican tener un p-valor de una relación significativa y moderada-baja entre las variables (según clasificación de Martínez *et al*. 2009), por lo que se puede decir que hay una correlación mayor y significativa entre la

humedad presente en el suelo y el flujo de CO_2 comparada con los valores de la correlación de temperatura y flujo de CO_2 donde ninguno de los coeficientes tuvo significancia.

Tabla 10. Resultados de pruebas de correlación Spearman entre la respiración edáfica con la humedad presente en cada uno de los usos de suelo.

RESPIRACION EDAFICA – HUMEDAD DE SUELO	VEGETACION NATIVA	*T. grandis*	*H. crepitans*	PASTO
SPEARMAN	0,3509	0,3528	0,3975	0,5841
P—VALORES DE CORRELACION	0.0359	0.0348	0.0164	0.0002

En este caso, la prueba nos dice que siempre que la humedad en el suelo aumentó se aumentó la emisión de CO_2 desde el suelo hacia la atmósfera, esto no indica la existencia de dependencia directa por parte del flujo de CO_2 y la humedad, pero sí que existe una relación entre ellas.

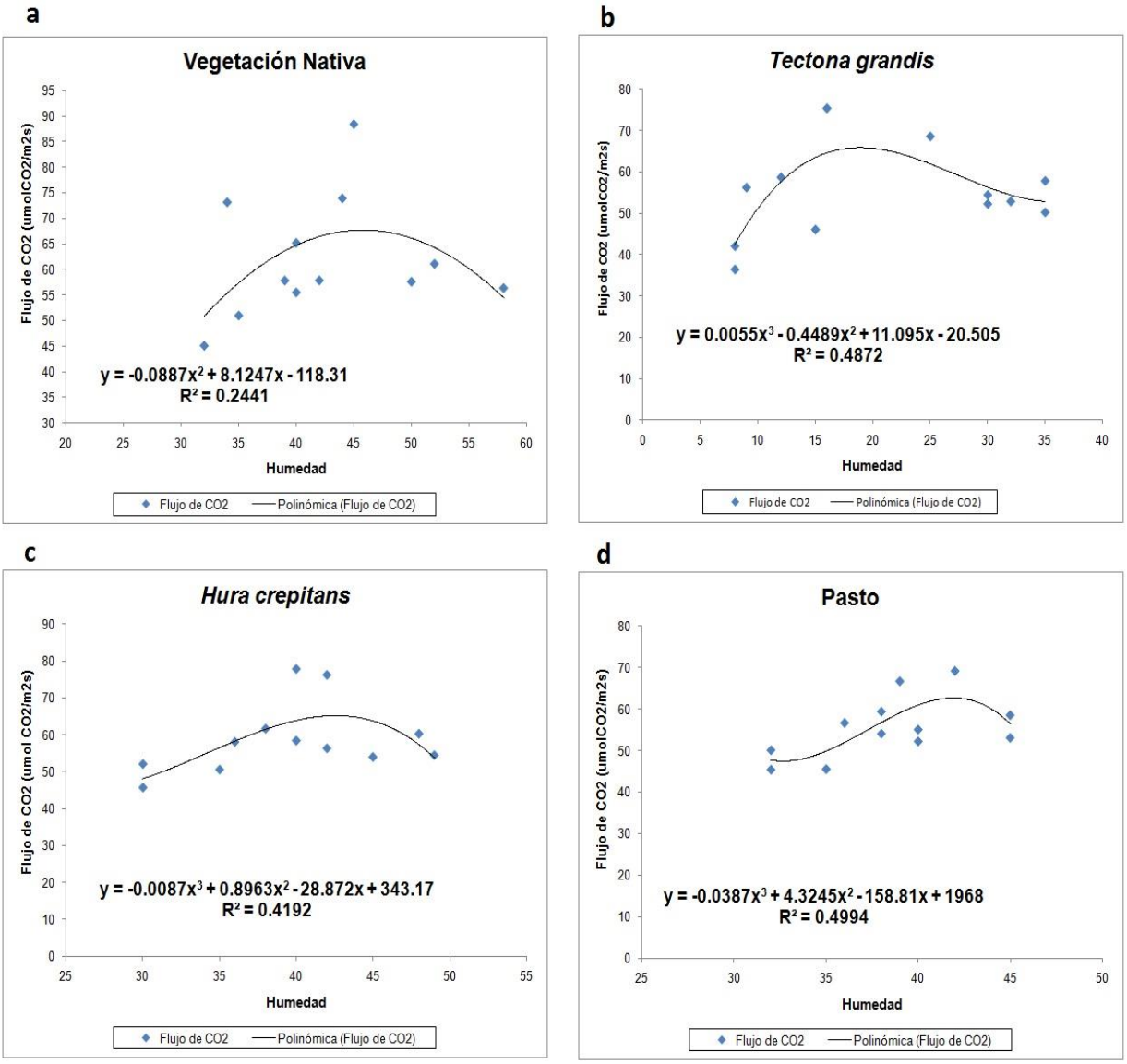

Figura 8. Regresión polinomial entre los datos de Flujo de CO2 y los datos de humedad obtenidos en cada uno de los cuatro usos de suelo en el interior de la Universidad de Sucre. a: Vegetación nativa de la región, b: *T. grandis*, c: *H. crepitans*, d: Pasto.

Los datos de humedad y respiración de suelo tendieron a una relación polinómica y no se ajustaron linealmente como lo demuestra la figura 8. Teniendo en los cuatro usos de suelo que el valor de la respiración de suelo se redujo en los valores extremos (los más bajos y los más altos) de la humedad de cada uso de suelo. En la vegetación nativa la respiración del suelo se redujo cuando la humedad estuvo por debajo del 40% y por encima del 50%, en teca se redujo por

debajo del 15% y por encima del 32%, en *H. crepitans* por debajo del 35% y por encima del 48% y en pasto por debajo del 25% y por encima del 42% y aumentado su valor solo cuando la humedad estuvo entre los dos valores mencionados en cada uso de suelo.

De lo anterior, se puede deducir que la humedad fue un factor limitante en la respiración del suelo sin importar el uso que tenga, la cual si está muy por debajo o muy por encima va a limitar los valores de CO_2 emitidos desde el suelo. Por ello en los meses de marzo y abril, donde la humedad llego a 8% en la teca, se tuvieron los valores más bajos de todo el año. Formándose aquí un “rango de humedad optimizante y otro limitante” para la respiración del suelo.

6.4. Relación entre la respiración edáfica y las propiedades físicas del suelo

Al realizar los análisis de las respectivas muestras de los cuatro usos de suelo se logró obtener su caracterización. En la tabla 11, se puede notar que la textura es muy similar en todas las muestras, es decir, que la interior del campus Puerta Roja de la Universidad de Sucre predominan suelos arcillosos; siendo esta una razón por la cual presentan una porosidad baja con respecto a suelos de otro tipo. Tres de los usos de suelo en estudio presentan un pH ligeramente alcalino (*Hura crepitans*, vegetación nativa y pasto) mientras que el suelo con monocultivo de *Tectona grandis* es un suelo medianamente ácido. Con respecto a la materia orgánica, se obtuvieron valores bajos en las muestras *H. crepitans* y pastizal, valores muy bajos para *T. grandis*, mientras que en la muestra de suelo con vegetación nativa fue media o regular.

Tabla 11. Características físicas y químicas de los cuatro usos de suelos.

DETERMINACIÓN	VEGETACIÓN NATIVA	*Tectona grandis*	*Hura crepitans*	PASTIZAL
Densidad Aparente (gr/cm^3)	1.60	1.64	1.35	1.27
pH	7.57	6.05	7.69	7.80
Textura	Arcilloso	Arcilloso	Arcilloso	Franco Arcilloso
Porosidad total (%)	30.63	38.11	49.05	52.07
Materia Orgánica (%)	2.45	0.45	2.00	1.91
Capacidad de Intercambio Catiónico (meq. /100gr de suelo)	24.00	21.50	29.00	23.50

Según la tabla 11, podemos resaltar que en lugares donde se realizan siembra de árboles de la especie *T. grandis* posiblemente con los años se dan cambios en el suelo tanto en el pH (acidificación) como en las cantidades de materia orgánica; lo cual, puede ser no favorable para la verdadera conservación de los suelos y los componentes de la biodiversidad. En nuestra región, la siembra de grandes áreas con este tipo de planta ha tomado auge pensando en una reforestación, pero no se han tenido en cuenta los cambios que puede traer para el suelo y el ecosistema en general al llevar esto a cabo.

Para establecer la existencia de una relación entre las características de cada uso de suelo se utilizaron los valores promedio de respiración de suelo (RS) y se efectuó la prueba de correlación Pearson (Tabla 12). Los coeficientes de correlación más altos estuvieron entre RS y materia orgánica en las dos pruebas,

0.8263 considerándose una correlación positiva muy buena según la clasificación de Martínez *et al*. (2009). Siendo la materia orgánica la única propiedad del suelo que tiene una relación significativa con la RS y con un coeficiente mayor que los que se obtuvieron con relación a la temperatura y la humedad, se puede inferir que la presencia de materia orgánica haya sido el principal factor que condicionó la cantidad de CO2 emitido por las cuatro áreas de estudio, y no así, la temperatura y la humedad.

El promedio de RS más alto estuvo en el suelo con vegetación nativa (61.91 $\mu molCO_2/m^2s$) seguido de *Hura crepitans* (58.74 $\mu molCO_2/m^2s$), los cuales también presentan los valores más altos en materia orgánica, 2.45 y 2.0 respectivamente, y el suelo con menor cantidad de materia orgánica resulto ser el de *T. grandis* que también tuvo el promedio de RS más bajo.

Además, aunque no se haya encontrado significancia en la correlación de RS con pH, esta resulta ser de interés al tener una relación positiva moderada, con el segundo valor más cercano a uno (1), considerando que a pH más básicos la RS puede aumentar. En este caso los suelos de vegetación nativa, *H. crepitans* y pasto presentaron un pH por encima de 7, cercanos a un pH neutro, siendo los valores de RS mayor que en el suelo de Teca donde se encontró un pH por debajo de 7.

Tabla 12. Resultados de pruebas de correlación Pearson entre las características físico-químicas y la respiración de suelo de cada uno de los usos de suelo. Donde RS: Respiración de suelo, CIC: Capacidad de intercambio catiónico.

VARIABLES	CORRELACION PEARSON	P-VALORES DE LA CORRELACION
RS – Densidad aparente	0.1325	0.7545
RS – pH	0.5703	0.1399
RS – Porosidad total	-0.4704	0.2395
RS – Materia orgánica	0.8263	0.0115
RS - CIC	0.4612	0.2501

6.5. Determinación de tasa anual de respiración edáfica en los cuatro usos de suelo.

La respiración del suelo acumulada (RSA) o también llamada tasa anual de respiración del suelo está relacionada directamente con el tiempo, a través de un modelo de regresión lineal (Figura 9), encontrándose valores superiores al transcurrir el año en los cuatro usos de suelo, es así, que en vegetación nativa y *H. crepitans* se presentaron los mayores promedios de respiración de suelo por mes.

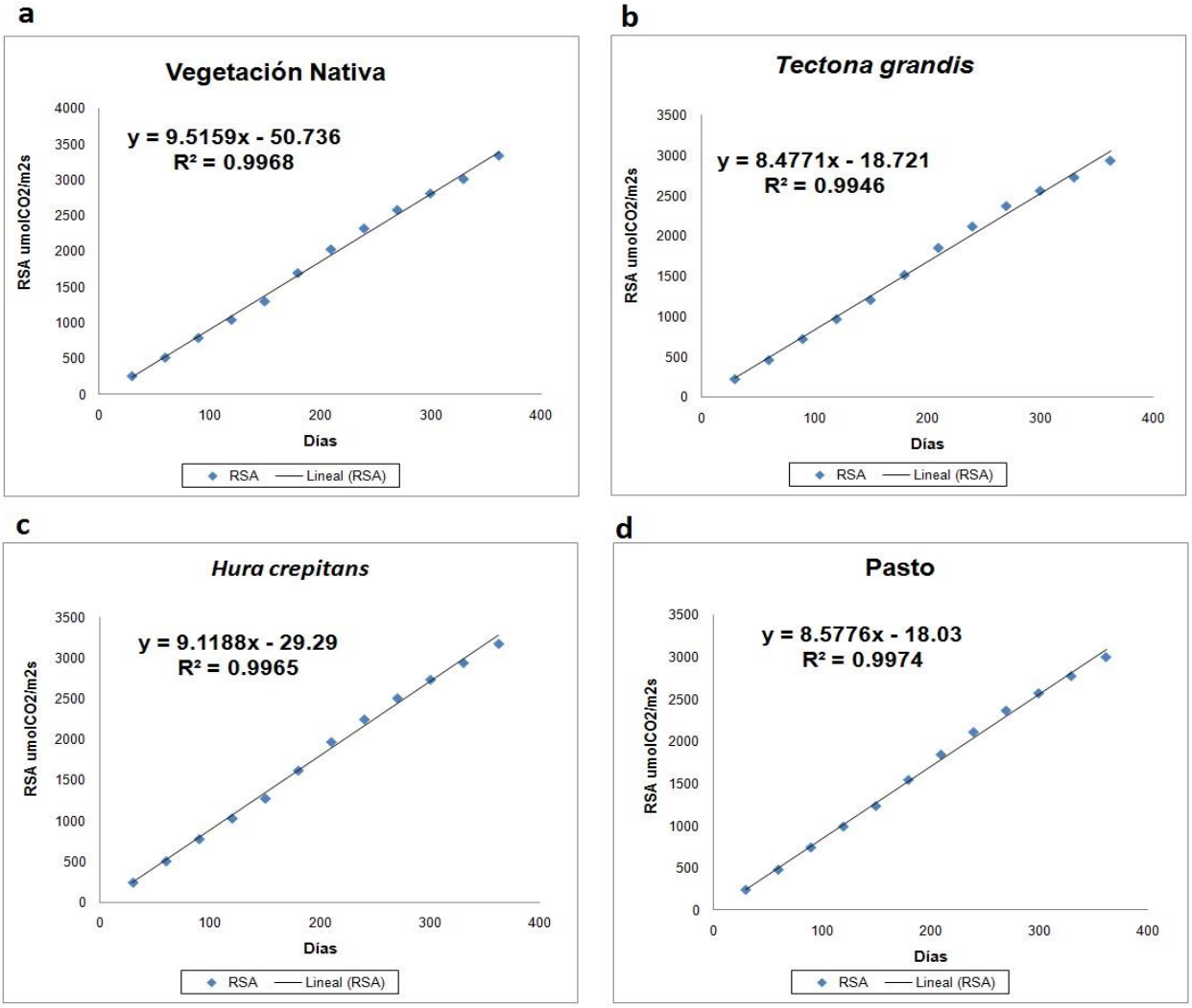

Figura 9. Respiración de suelo acumulada (RSA) en los cuatro usos de suelo al interior del campus universitario en los 360 días de investigación. Letra a: Vegetación nativa, b: *Tectona grandis*, c: *Hura crepitans*, d: Pasto.

Para calcular la RSA (Figura 9) en los cuatro suelos con diferente uso, se utilizaron las siguientes ecuaciones:

Ecuación de uso de suelo vegetación nativa: $\boldsymbol{RSA = 9.5159 * D - 50.736}$

Ecuación de uso de suelo *T. grandis*: $\boldsymbol{RSA = 8.4771 * D - 18.721}$

Ecuación de uso de suelo *H. crepitans*: $\boldsymbol{RSA = 9.1188 * D - 29.29}$

Ecuación de uso de suelo pasto: $\boldsymbol{RSA = 8.5776 * D - 18.03}$

Donde, RSA es la respiración de suelo acumulada promedio expresada en este caso en µmolCO_2/m^2s, y D el tiempo transcurrido en días.

Según las ecuaciones obtenidas de la regresión, la tasa anual de respiración del suelo para el uso de suelo con vegetación nativa fue de 295.7 y 296.5 mol de CO_2/m^2 por año, seguido del suelo con de *H. crepitans* entre 285 y 285.8 mol de CO_2/m^2 por año, en suelo con pasto entre 268.9 y 269.6 mol de CO_2/m^2 por año y con un valor menor en *T. grandis* entre 265.7 y 266.4 mol de CO_2/m^2.por año. Según la Tabla 13, el promedio de la tasa de respiración anual (RSA) en vegetación nativa tuvo diferencias significativas con los demás suelos.

Tabla 13. RSA promedios de los cuatro usos de suelo al interior de la Universidad de Sucre. *Letras diferentes en la misma columna significan diferencias estadísticas.

Uso de Suelo	RSA promedio en mol de CO_2/m^2
Vegetación nativa	296.1 a
Hura crepitans	285.4 b
Pasto	269.2 c
Tectona grandis	266.1 c
P – Valor	1.6 e^{-6}

7. DISCUSION

7.1. Variación de la Temperatura y Humedad en el suelo.

La temperatura promedio general encontrada en el suelo a lo largo del año fue similar al promedio de temperatura ambiental que el IDEAM maneja para el departamento de Sucre (27 – 34°C IDEAM). El comportamiento de la temperatura con diferencias entre meses, pero no diferencias entre promedios anuales de los usos de suelo puede deberse a la cercanía de las áreas, estando expuestos a las mismas fluctuaciones mensuales de temperatura ambiental y radiación solar que llega al suelo.

Teniendo en cuenta que el calentamiento del suelo depende directamente de la cantidad de radiación que llegue a su superficie (Allen *et al.*, 2000), en el suelo con Teca la temperatura llego hasta los 35 y 36°C, más alta que en el resto de usos de suelos, básicamente por las características que presenta esta área y la especie *T. grandis* muestreada al interior del campus universitario. En el área con teca, el suelo presenta una superficie sin existencia de otra especie vegetal, eso combinado con características fisionómicas como el fuste cilíndrico y falta de ramas hasta los primeros 20 o 25 m del fuste, las cuales no se expande más allá de tres o cuatro metros en circunferencia del tronco del árbol (SEPHU, 2009), hacen que la superficie del suelo se encuentre expuesta al sol la mayor parte del tiempo y en un mayor porcentaje de área. Además, esta es una especie caducifolia (FUCOL, 2008; SEPHU, 2009), lo que significa que pierde sus hojas en los meses de verano y con ello habría una exposición del suelo al sol total lo que

aumentaría la temperatura considerablemente en meses como enero, febrero, marzo y abril.

Considerando lo anterior, podemos inferir que son las mismas razones por las que los contenidos de humedad en el suelo con teca fueron menores comparados con los otros tres usos de suelo. Adicionalmente, esta área presentó muy poca presencia de hojarasca y ello puede llevar a que la humedad del suelo disminuya considerablemente con respecto a suelos donde hay hojarasca (Han *et al*., 2015; Xiong *et al.,* 2015). Entonces, un aumento de temperatura y una exposición directa al sol hace que el agua retenida en su interior se evapore con más facilidad y rapidez, lo que conlleva a un bajo contenido de humedad. De manera que, los meses en que la temperatura aumentó registrando los valores más altos, el porcentaje de humedad fue menor.

En contraste, el suelo de la zona con vegetación nativa tuvo menor temperatura promedio y mayor porcentaje de humedad igual que lo evidencio Mendiara (2012) para las zonas más verdes de su estudio, por tener características contrarias al suelo de *T. grandis*. En esta zona el suelo está más cubierto tanto por arboles de gran porte como por diversas especies vegetales con crecimientos arbustivos y herbáceos que se mantienen siempre verdes a lo largo del año evitando que el sol llegue directamente a la superficie del suelo casi en su totalidad por lo que puede variar menos la temperatura y mantenerse más la humedad (Ferreras *et al*., 1999), lo que, acompañado de una mayor cantidad de materia orgánica y menor porosidad en comparación con los otros tres suelos, favorece la retención de una

mayor cantidad del agua al interior de la matriz suelo (Liebig *et al*., 2004; Salcedo *et al*., 2007).

El suelo con *H. crepitans*, aunque es un monocultivo, presenta una fisionomía más robusta con ramas de mayor alcance de cobertura lo que hace que abarquen una mayor área de la superficie del suelo por lo que está más protegida de la radiación solar en comparación con la teca. En el suelo con pasto, a diferencia de la teca, el pasto y las herbáceas que lo acompañan permanecieron gran parte del tiempo verdes y evita que el sol penetré en suelo directamente.

7.2. Variación de la Respiración del Suelo y su relación con la Temperatura y la Humedad

Todos los valores de RS obtenidos fueron mayores a los reportados en Canadá (Gaumont *et al*., 2006), China (Jin *et al*., 2013; Han *et al*., 2014; Bosch *et al*., 2016; Han *et al*., 2015; Fan *et al*., 2015; He *et al*., 2015 Chang *et al*., 2016), Corea (Kang *et al*., 2003); Eslovaquia (Gáfriková y Hanajík, 2015), España (Martínez *et al*., 2007; Marañón *et al*., 2009; Mendiara, 2012; Barba *et al*., 2016), Hungría (Kotroczó *et al*., 2014; Balogh *et al*., 2015; Koncz *et al*., 2015), Italia (Rey *et al*., 2002), Japón (Ohashi *et al*., 2000); México (Cueva *et al*., 2012), USA (Irvine y Law, 2002; Curiel *et al*., 2007; McCulley *et al*., 2007; Pacific *et al*., 2011; Berryman *et al*., 2015; Borkhuu *et al*., 2015; Decina *et al*., 2016) y los datos presentados para Colombia hasta la fecha (Murcia y Ochoa, 2008; Ramírez y Moreno, 2008; Murcia *et al*., 2012). Tal vez, porque en los ecosistemas de climas cálidos o tropicales, como los de esta investigación, la RS aumenta en comparación con suelos de clima frio y templado (Krebs, 2003), viéndose afectada por la altitud del suelo,

siendo mayor en altitudes bajas como la de la presente investigación y menores en latitudes altas como en los suelos de los trabajos mencionados (Marañón *et al*., 2009; Luo *et al*., 2015). Además de las características climáticas, el método de medición puede tener efectos en los resultados (Davidson *et al*., 2002; Pumpanen *et al*., 2004). En investigaciones llevadas a cabo en laboratorio se ha demostrado que la RS *in situ* es mayor a lo esperado por muestras en laboratorios (Kang *et al*., 2003; Curiel *et al.,* 2007; Guerrero *et al*., 2012) o lo estimado por modelos matemáticos (Ryan y Law, 2005; Bosch *et al*., 2016).

La RS tuvo un patrón, similar a un ciclo, donde por meses de lluvia se mantiene, luego en los primeros meses sin lluvias incrementa, más tarde al llegar los meses secos se reduce, para luego incrementarse con nuevas lluvias (Guntiñas, 2009). En los meses de lluvia, la RS es mayor luego de las primeras lluvias en junio, lo que coincide con lo reportado por Tucker y Reed (2016), esto ocurre debido a la activación de los procesos metabólicos de las bacterias presentes en el suelo (Guntiñas, 2009), pero al seguir las lluvias, la temperatura llega a los valores más bajos y la humedad a los más altos y la RS se reduce, lo que es similar a lo encontrado por Jin *et al*. (2013), Knowles *et al*. (2015) y Koncz *et al*. (2015), trabajos en los cuales, la emisión de CO_2 del suelo se reduce en tiempos de invierno lo que sería en nuestro ecosistema los meses de lluvia.

En los meses secos donde la temperatura llega a los valores más altos y la humedad se hace más baja, la respiración de suelo se vio reducida significativamente con relación a los valores de meses de lluvia, coincidiendo esto con otras investigaciones, dado que en sequia las actividades en el interior del

suelo se reducen por falta de agua o humedad (Huxman *et al*., 2004; Curiel *et al*., 2007; Cueva *et al*., 2012; Balogh *et al*., 2015; Han *et al*., 2015; Tucker y Reed, 2016). En la literatura se han encontrado casos extremos donde la RS puede llegar a ser casi nula debido al bajo contenido de humedad (Guntiñas, 2009; Cueva *et al*., 2012); por lo cual, es importante realizar estudios en este campo para mejorar el entendimiento de ecosistemas tropicales.

Dentro del periodo de sequía se notó que la RS aumentó luego de un evento de lluvia, esto mismo ha sido observado por Huxman *et al*. (2004), Marañón *et al*. (2009), Jin *et al*. (2013) y Borkhuu *et al*. (2015), este hecho se explica debido a que cuando llueve, el agua ayuda a activar los procesos metabólicos en las raíces y bacterias dentro del suelo (Belnap *et al*., 2003; Marañón *et al*., 2009). Adicionalmente, hace que el gas guardado en los poros del suelo salga a la superficie (se conoce como desgasificación), provocando un aumento en RS (Cueva *et al*., 2012). En general, las precipitaciones tienen un importante efecto en la RS y en el balance de Carbono de los ecosistemas (Rey *et al*., 2002).

En esta investigación se encontró una correlación significativa de la respiración con la humedad y no significativa con la temperatura del suelo, similar a lo reportado por Rey *et al*. (2002), Curiel *et al*. (2007), Jin *et al*. (2013), Berryman *et al*. (2015) y Wang *et al*. (2016) donde, siempre la RS estuvo más relacionada a la humedad del suelo que a la temperatura. Aunque la temperatura no tuvo significancia en este trabajo, tal vez debido al pequeño tamaño de las áreas y su cercanía, en la literatura se encuentran reportes donde la relación entre la RS y la

temperatura del suelo siempre fue mayor que con cualquier otra variable (Gaumont *et al*., 2006; Xu *et al*., 2015; Kotroczó *et al*., 2014).

Al mismo tiempo puede decirse que esto ocurrió porque en áreas de temperaturas bajas, la relación RS-Temperatura se ve mejor marcada en comparación con climas cálidos (Lloyd y Taylor, 1994) y en adición a ello, Tucker y Reed (2016) afirman que en suelos de clima caliente la RS se relaciona más a la humedad que al resto de factores. También pueden citarse autores que no encontraron ninguna relación con la temperatura o la humedad (Martínez *et al*., 2007; Borkhuu *et al*., 2015). Sin embargo, la variación de la cantidad de RS se explica mejor al tomar en cuenta tanto la humedad como la temperatura (Fan *et al*., 2015).

Teniendo en cuenta el patrón de la respiración del suelo a lo largo del año y su relación con la humedad, se formaron rangos de humedad que favorecen la RS (Guntiñas, 2009). Los valores de humedad determinados como rangos que optimizan la RS en esta investigación pueden tener mucha relación con la capacidad de campo de cada uso de suelo, Gaumont *et al*. (2006) y Guntiñas (2009) expresan que cuando el suelo tiene una humedad a capacidad de campo la RS se incrementa, pero cuando es muy baja o superior a la capacidad de campo la RS se reduce. Por lo que se puede considerar, que la humedad es uno de los factores principales que limitan y determinan la cantidad de RS en cada tipo de suelo (Shi y Jin, 2016).

Entre los suelos, se conoce que los tipos de vegetación presente alteran la cantidad de emisión de CO_2 (Han *et al*., 2014). En la Vegetación nativa y en *H.*

crepitans el promedio de RS se mantuvo por encima de los otros usos de suelos, debido a la mayor protección que tiene el suelo por parte de la presencia de los árboles y hojarasca (Arévalo *et al*., 2012; Liu *et al*., 2013), lo que incrementa una mayor biomasa microbiana y biomasa de raíces, favoreciendo aún más la RS (McCulley *et al*., 2007). En los trabajos de Pietikäinen *et al*. (2005), Martínez *et al*., (2007), McCulley *et al*., (2007), Bosch *et al*., (2016) y Muñoz *et al*., (2016) se evidencia que suelos de bosque más conservado siempre presentaron mayor RS al compararlos con pastizales y suelos desnudos. En contraste con esto, existen otras investigaciones donde la RS fue menor en espacios de bosques que otro ecosistema (Mendiara, 2012; Chang *et al*., 2016), pero estos autores afirman que esto puede deberse a una temperatura muy baja que produce una reducción significativa en la respiración por parte de las bacterias del suelo.

Aunque sin diferencias significativas, el hecho que la RS fue mayor en el suelo con pasto que en el suelo con Teca se debe a que en este último no hay presencia de ninguna otra especie vegetal que ayude a cubrir la superficie del suelo ya que la RS se hace mayor en suelos con vegetación en comparación con suelos semi-desnudos (Marañón *et al*., 2009; Han *et al*., 2014). Además, en el área de teca, la gran parte de la hojarasca es removida por personal de la universidad que se moviliza por la zona y esa hojarasca que se limpia podría ayudar a que la RS aumente hasta un 60-70% en cantidad por un crecimiento en la actividad de los microorganismos en el suelo (Kotroczó *et al*., 2014; Han *et al*., 2015, Luo *et al*., 2015). En el mes de diciembre donde la RS fue mayor en Teca que en suelo de vegetación nativa, puede deberse a la respiración heterotrófica, que se vio

favorecida por un periodo donde incremento la temperatura y aún la humedad era favorable (Balogh *et al*., 2015).

Las cuatro áreas seleccionadas en el estudio han sufrido cambios al interior de la universidad por efecto del hombre, pero el que la RS haya sido mayor en la zona con mayor cobertura y diversidad de plantas nativas es de mucho interés al momento de efectuar cambios en el uso del suelo. Por ejemplo, la deforestación de bosques para sembrar Teca como actividad económica y las reforestaciones de áreas solo con una especie no son una actividad que ayude a la conservación de un ecosistema, es decir, la presencia de un mayor número de especies nativas en un área puede conllevar a una mejor conservación del suelo, así como el equilibrio de los ciclos biogeoquímicos y por ende una conservación de los demás componentes de la biodiversidad.

La RS se considera como una medida de la actividad de los microorganismos (Moreira y Siquiera, 2002; Krebs, 2003) así como de la cantidad de Carbono disponible y de la calidad de suelo (Anderson y Domsch, 1990; Kennedy y Papendick, 1995), por lo que se infiere que el suelo con Vegetación nativa y de *H. crepitans* resultaron estar en mejor condición y más conservados que los suelos de pasto y teca. De igual modo, la RS puede variar mucho dentro un mismo ecosistema, por ello, su estudio y la explicación de su comportamiento se hace difícil (Cueva *et al*., 2012).

7.3. Relación de la Respiración de suelo y las propiedades físico-químicas del suelo

Al igual que la humedad, la cantidad de CO_2 emitida desde el suelo se ve relacionada con características físicas del suelo. Entre ellas, la cantidad de materia orgánica presente en cada suelo, siendo esta la característica que más influyó en la RS de los mismos. La RS se incrementa cuando hay mayor cantidad de material orgánico, siendo esto reportado por Krebs (2003); Martínez *et al*., (2007); Arévalo *et al*., (2012); Kotroczó *et al*., (2014); Fan *et al*., (2015); Gáfriková y Hanajík (2015), debido a que el porcentaje de materia orgánica aumenta la producción y descomposición por parte del elemento microbiano en el suelo lo que ayuda a un incremento en la RS.

Como la materia orgánica fue la única propiedad físico-química que tuvo correlación significativa con la RS y su índice de correlación fue mucho más alto que el de la humedad de los suelos y la RS, la materia orgánica resultó ser el principal factor limítate de la RS de los cuatro usos de suelo en el campus de la universidad de Sucre, seguida de la humedad en el suelo.

La cantidad de materia orgánica fue mayor en la vegetación nativa que en los dos usos de suelo con monocultivos (*T. grandis* y *H. crepitans*) dado que la reposición de esta en monocultivos es deficiente en comparación a los suelos con variedad de vegetación por la especialización del suelo y la no rotación del uso (CCE, 2002).

Por otro lado, dado que dentro de la respiración de suelo se cuenta la respiración por parte de las bacterias presentes en el suelo (Vargas *et al*., 2010), las cuales pueden verse afectadas por cambios de pH, siendo mayor la respiración en pH alcalinos entre 7 y 8 (Ramos y Zuñiga, 2008; Rodríguez *et al*., 2008), es importante tener presente que solo el suelo con teca fue el único que tuvo un pH ácido, ya que la siembra de Teca ha tomado auge en algunas partes de la región caribe y esta práctica puede traer consecuencias a futuro como lo es la posible acidificación de los suelos y sus efectos negativos tanto en la respiración del suelo como en la biodiversidad en general.

Aunque la materia orgánica haya sido la única propiedad con una relación significativa con la respiración edáfica, para la interpretación de la RS se hace necesario ver otros caracteres que trabajan en conjunto en el suelo para optimizar o limitar la emisión de CO_2 a la atmosfera. Esto indica que, aunque la porosidad, el pH, la densidad aparente y la capacidad de intercambio catiónico hayan tenido pequeños valores en sus índices de correlación están ejerciendo algún efecto a la RS en conjunto con los demás factores. Además de las evaluadas aquí, también se puede relacionar con la biomasa del suelo (Bosch *et al*., 2016; Koncz *et al*., 2015), biomasa de raíces (Han *et al*., 2014), contenido de C orgánico (Liang *et al*., 2015; Shi y Jin, 2016), entre otras.

7.4. Tasa anual de respiración

En general se espera que el calentamiento global impulse el incremento anual de la RS (Lloyd y Taylor, 1994). Se evidenció que la tasa anual de respiración de los suelos con vegetación nativa de la región del Caribe y del bosque seco tropical

tiene una mayor tasa anual de respiración que los suelos con monocultivo de teca y de ceiba de leche así como suelos con pastizales. Lo anterior se debió a las características del suelo y la no erosión, gracias a la cantidad de plantas presentes por las que conserva un buen contenido de materia orgánica y los procesos metabólicos de los organismos, bacterias, hongos y raíces presentes en el suelo se mantienen activos y en balance comparados con suelos que han sido modificados y se encuentran erosionados por falta de cobertura vegetal. Según Raich *et al*. (2002) las zonas boscosas tienen una mayor tasa de respiración de suelo que cualquier otro tipo, siendo la zona con vegetación natural lo más similar a un pequeño fragmento de bosque.

Dado que la RS fue mayor en vegetación nativa, al paso del tiempo la cantidad de CO_2 emitida por estos iba a ser mayor, pero se presume que por la variedad de especies vegetales y la cobertura del suelo, la captura del carbono y de CO_2 es mayor que el expulsado a la atmosfera, así lo afirman Schindler (1999) y FAO (2002). Notándose que el cambio en el uso del suelo puede afectar directamente la respiración de este y con ello el equilibrio de los ecosistemas, por ello se debería reconsiderar el uso y los cambios que se están haciendo en el interior del campus de la universidad y en toda la región en general.

8. CONCLUSIONES

- La variación de la respiración del suelo a lo largo del año va a depender del uso y del grado de antropización que se le hace a un determinado suelo.
- Al interior del campus de la Universidad de Sucre, la temperatura y la humedad del suelo tuvieron patrones similares en los cuatro usos de suelo en el tiempo de la investigación debido a su cercanía y su tamaño.
- La respiración edáfica en suelos con variedad de especies vegetales nativas de la región es mayor a los otros suelos con cultivo de teca, *H. crepitans* y pasturas, en gran parte del año debido a las propiedades intrínsecas de dichos suelos, así mismo, se considera que esta área es la que más contribuye a la captura de CO_2.
- Cambiar el uso de suelos de vegetación nativa a monocultivos y pastos lleva a modificaciones en la cantidad de nutrientes, materia orgánica, entre otros, y asimismo a efectos en procesos físico-químicos como lo es la respiración del suelo.
- Las plantaciones de Teca pueden tener posibles efectos negativos en las propiedades del suelo, como el pH (produciendo acidificación) y la capacidad de retención de materia orgánica, y al mismo tiempo producir un desequilibrio en el intercambio de CO_2 de los suelos y con ello afectar los demás seres vivos.
- El factor limitante principal fue el porcentaje de materia orgánica presente en el suelo, a mayor porcentaje mayor respiración de suelo, esto se da por el incremento en número y actividad de microorganismos y todo organismo

presente en el suelo. De este modo, los suelos conservados con vegetación nativa de la región tienen mayores valores de RS que cualquier otro tipo de vegetación.

- La humedad del suelo resultó ser el segundo posible factor limitante de la respiración del suelo después de la materia orgánica, formándose “rangos de humedad de optimización a la RS”, dentro de los cuales RS se favorece y fuera de ellos decrece. Estos rangos de optimización van a depender directamente del uso que se le dé al suelo.
- La respiración del suelo siempre se vio incrementada luego de un evento de lluvia, por la activación de las actividades metabólicas de los microorganismos presentes del suelo luego de un periodo de sequía mostrándose así la importancia de las lluvias en los procesos de los ciclos biogeoquímicos al interior del suelo.
- El pH resulta ser un posible limitante a la cantidad de la respiración del suelo por afectar las actividades de las bacterias presentes en dicho suelo. Siendo mayor la respiración en suelos de pH alcalinos y menor en pH ácidos.

9. RECOMENDACIONES

- Promover las investigaciones con trabajos de respiración de suelo en el bosque seco tropical del departamento de Sucre.
- Llevar a cabo estudios temporales sistemáticos para evaluar la variación de la tasa anual de respiración y realizar comparaciones año a año, para evidenciar posibles efectos del cambio climático y por ende del calentamiento global.
- Sensibilizar a la población de lo que se pierde en cuanto a calidad y salud del ambiente con los cambios de uso del suelo, ya que la sustentabilidad depende de las acciones que se realicen en pro de la conservación del suelo en la región Caribe.

10. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aguilera, M. (2005). *La Economía del Departamento de Sucre: Ganadería y Sector Público*. Documento de Trabajo sobre Economía Regional. Nº63. Banco de la República. Centro de Estudios Económicos CEE.

Allen, R., Pereira, L., Raes, D. y Smith, M. (2000). *Crop evapotranspiration. Guidelines for computing crop wáter requirements. FAO. Irrigation and drenaige paper*. FAO, Roma. 329 págs.

Anderson, T. y Domsch, K. (1990). Application of echo-physiological quotients (qCO_2 and qD) on microbial biomass from soils of different cropping histories. *Soil Biology and Biochemistry*, 22: 251-255.

Arévalo, C.; Chang, S.; Bhatti, J. y Sidders, D. (2012). Mineralization potential and temperature sensitivity of soil organic carbon under different land uses in the Parkland region of Alberta, Canada. *Soil Science Society of America Journal*, 76: 241–251.

Balogh, J.; Papp, M.; Pintér, K.; Fóti, S.; Posta, K.; Eugster, W. y Nagy, Z. (2015). Autotrophic component of soil respiration is repressed by drought more than the heterotrophic one in a dry grassland. *Biogeosciences Discuss*, 12: 16885-16911.

Barba, J.; Curiel, J.; Poyatos, R.; Janssens, I. y Lloret, F. (2016). Strong resilience of soil respiration components to drought-induced die-off resulting in forest secondary succession. *Oecologia*, 182(1): 27 – 41.

Belnap, J.; Hawkes, C.; Firestone, M. (2003). Boundaries in miniature: two examples from soil. *Bioscience*, 53: 739–749.

Bernier, R. (1999). Técnicas de muestreo de suelo para análisis de fertilidad. Págs.: 2-14 en: Bernier, R. curso de capacitación para operadores del programa de recuperación de suelos degradados INDAP, décima región. Centro regional de investigación Remehue, Chile.

Berryman, E.; Barnard, H.; Adams, H.; Burns, M.; Gallo, E. y Brooks, P. (2015). Complex terrain alters temperature and moisture limitations of forest soil respiration across a semiarid to subalpine gradient. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*, 120: 707-723.

Billes, G., Cortez, J., Lossaint, P., Lafont, F. y Prioton, J. (1975). Etude comparative de l'activité biologique des sols sous peuplements arbustifs et herbacés de la garrigue méditerranéenne. (I). Minéralisation du carbone et de l'azote. *Revue d´Écologie et de Biologie du Sol*, 12: 115-139.

Blanco, J.; Fernando, P.; Tarcisio, J.; Cherardi, P. y Moreira, J. (2014). Caracterización de la madera joven de *Tectona grandis* L. f. plantada en Brasil. *Madera y Bosques*, 20(1): 11-20.

BOLFOR (Proyecto de Manejo Forestal Sostenible); Justiniano, M. y Fredericksen, T. (2000). *Ecología y silvicultura de especies menos conocidas – Ochoó Hura crepitans L. Euphorbiaceae*. Editorial El País. Santa Cruz, Bolivia, 49 págs.

Borkhuu, B.; Peckham, S.; Ewers, B.; Norton, U. y Pendall, E. (2015). Does soil respiration decline following bark beetle induced forest mortality? Evidence from a lodgepole pine forest. *Agricultural and Forest Meteorology*, 214–215: 201–207.

Bosch, A.; Dörfera, C.; He, J.; Schmidt, K. y Scholten, T. (2016). Predicting soil respiration for the Qinghai-Tibet Plateau: An empirical comparison of regression models. *Pedobiologia – Journal of Soil Ecology*, 59: 41-49.

Caballero, M.; Lozano, S. y Ortega, B. (2007). Efecto invernadero, Calentamiento global y cambio climático: Una perspectiva desde las ciencias de la Tierra. *Revista Digital Universitaria*, 8(10): 11 págs.

Cabrales, E. (2008). *Introducción a los suelos para la acuicultura*. Universidad de Córdoba. Córdoba, Colombia. 120 págs.

Campos, P. (2002). *Biología 1*. Editorial Limusa S.A. Grupo Noriega Editores, México. 200 págs.

Castillo, F. (2005). *Biotecnología Ambiental.* Editorial Tébar, Madrid. 614 págs.

CCE (Comisión de las Comunidades Europeas). (2002). Hacia una estrategia temática para la protección del suelo. Comunicación de la comisión al consejo, el Parlamento Europeo, el comité económico y social y el comité de las regiones. Bruselas. Recuperado de: http://www.oei.es/salactsi/ue.htm en 29 de julio 2017.

Chang, S.; Tseng, K.; Hsia, K. y Wang, C. (2008). Soil respiration in a subtropical montane cloud forest in Taiwan. *Agricultural and Forest Meteorology*, 148: 788-798.

Chang, S.; Shi, Z. y Thomas, B. (2016). Soil respiration and its temperatura sensitivity in agricultural and afforested poplar plantation systems in northern Alberta. *Biology and Fertility of Soils*, 52(5): 629-641.

Chase, T.; Pielke, R.; Kittel, T.; Nemani, R. y Running, S. (2000). Simulated impacts of historical land cover changes on global climate in northern winter. *Climate Dynamics*, 16: 93-105.

Clymo, R. y Reddaway, E. (1971). Productivity of *Sphagnum* (bog-moss) and peat accumulation. *Hidrobiologia*, 12: 181-192.

CONVENCION MARCO DE LAS NACIONES UNIDAS SOBRE EL CAMBIO CLIMATICO (UNFCC). (1992). Naciones Unidas, 50 págs.

Cox, J.; Betts, R.; Jones, C.; Spall, S. y Totterdell, I. (2000). Acceleration of global warming due to carbon-cycle feedbacks in a coupled climate model. *Nature*, 408(9): 184-187.

Cueva, A.; Yépez, E.; Garatuza, J.; Watts, C. y Rodríguez, J. (2012). Diseño y uso de un sistema portátil para medir la respiración del suelo en ecosistemas. *Terra Latinoamericana*, 30(4): 327-336.

Curiel, J.; Baldocchi, D.; Gershnson, A.; Goldstein, A.; Misson, L. y Wong, S. (2007). Microbial soil respiration and its dependency on carbon inputs, soil temperature and moisture. *Global Change Biology*, 13: 1-18.

Davidson, E.; Savage, K.; Verchot, L. y Navarro, R. (2002). Minimizing artifacts and biases in chamber-based measurements of soil respiration. *Agricultural and Forest Meteorology*, 113: 21-37.

Decina, S.; Hutyra, L.; Gately, C.; Getson, J.; Reinmann, A.; Short, A. y Templer, P. (2016). Soil respiration contributes substantially to urban carbon fluxes in the greater Boston area. *Environmental Pollution*, 212: 433-439.

Dias, A.; Ruijven, J. y Berendse, F. (2010). Plant species richness regulates soil respiration through changes in productivity. *Oecologia*, 163: 805-813.

Fan, L.; Yang, M. y Han, W. (2015). Soil Respiration under Different Land Uses in Eastern China. *PLoS ONE*, 10(4): e0124198. doi:10.1371/journal.pone.0124198

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura). (2002). *Captura de carbono en los suelos para un mejor manejo de la tierra*. FAO, Roma, Italia. 83 págs.

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura). (2009). *Guía para la descripción de suelos 4ta edición*. FAO, Roma, Italia, 111 págs.

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura). (2010). *Food and agriculture organization of the United Nations Statical Database*. Recuperado de: http://faostat.fao.org/ Visitado en: 20/12/2015.

Fassbender, H. (1987). *Química de suelos, con énfasis en los suelos de América Latina* 2ª edición. Ed. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de la OEA. Turrialba, costa Rica. 420 págs.

Fernández, R. y Leiva, M. (2003). *Ecología para la agricultura*. Ediciones Mundi-Prensa, España.

Ferreras, L.; Costa, J. y García, F. (1999). Temperatura y contenido hídrico del suelo en la superficie durante el cultivo de trigo bajo dos sistemas de labranza. *Ciencia del Suelo*, 17(2): 39-45.

Figueroa, M. y Redondo, S. (2007). *Los sumideros naturales de CO_2, una estrategia sostenible entre el cambio climático y el protocolo de Kyoto desde las perspectivas urbana y territorial*. Editorial de la Universidad de Sevilla, Sevilla, España. 218 págs.

Forsythe, W. (1985). *Física de suelos: prácticas de laboratorio* 1ª ed. 2da reimpresión. IICA, San José, Costa Rica. 212 págs.

Fournier, L. (1983). *Recursos naturales*. Editorial Universidad Estatal a Distancia, Costa Rica. 216 págs.

FUCOL. (2008). *Teca.* Recuperado el 26 de julio de: www.fucolgroupcapital.com

Gaceta Departamental de Sucre. (2010). *Plan vial departamental de Sucre*. Gobernación de Sucre, Sucre, Colombia, 139 págs.

Gáfriková, J. y Hanajík, P. (2015). Soil respiration, microbial abundance, organic matter and C, H, N, S contents among recovering windthrow sites in Tatra National Park. *Phytopedon (Bratislava)*, 14(1): 7–14.

Galván, S.; Sierra, I.; Gómez, H.; De La Ossa, J. y Fajardo, A. (2009). Biodiversidad en el área de influencia de la estación primates de Colosó, Sucre, Colombia. *Revista Colombiana de ciencias Animales*, 1(1): 98-121.

García, C. (2011). El cambio climático: Los aspectos científicos y económicos más relevantes. Nómadas. *Revista Crítica de Ciencias Sociales y Jurídicas*, 32: 28 págs.

Gaumont, D.; Black, T.; Riffis, T.; Barr, A.; Jassal, R. y Nesic, Z. (2006). Interpreting the dependence of soil respiration on soil temperature and water content in a boreal aspen stand. *Agricultural and Forest Meteorology*, 140: 220-235.

Gelvez, I. (2008). Efecto del uso del suelo sobre la descomposición de hojarasca y grupos funcionales microbianos (Cuenca del Rio La Vieja, Quindío). Tesis de grado, Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá, 79 págs.

George, J. (1991). *Diccionario Akal de geografía*. Ediciones Akal, 624 págs.

Giblin, A.; Nadelhoffer, K.; Shaver, G.; Laundre J. y Mckerrow, A. (1991). Biogeochemical diversity along a riverside toposequence in arctic Alaska. *Ecological Monographs*, 61: 415-435.

Guerrero, P.; Quintero, R.; Espinoza, V.; Benedicto, G. y Sánchez, M. (2012). Respiración de CO_2 como indicador de la actividad microbiana en abonos orgánicos de Lupinus. *Terra Latinoamerica*, 30(4): 355-362.

Guntiñas, M. (2009). Influencia de la temperatura y de la humedad en la dinámica de la materia orgánica en los suelos de Galicia y su relación con el cambio climático. Tesis doctoral, Universidad de Santiago de Compostela, España. 749 págs.

Han, G.; Xing, Q.; Luo, Y.; Rafique, R.; Yu, J. y Mikle, N. (2014). Vegetation Types Alter Soil Respiration and Its Temperature Sensitivity at the Field Scale in an Estuary Wetland. *PLoS ONE*, 9(3): e91182. doi:10.1371/journal.pone.0091182.

Han, T.; Huang, W.; Liu, J.; Zhou, G. y Xiao, Y. (2015). Different soil respiration responses to litter manipulation in three subtropical successional forests. *Scientific Reports*, 5, 18166; doi: 10.1038/srep18166.

He, X.; Lv, G.; Qin, L.; Chang, S.; Yang, M.; Yang, J.; y Yang, X. (2015). Effects of Simulated Nitrogen Deposition on Soil Respiration in a *Populus euphratica* Community in the Ebinur Lake Area, a Desert Ecosystem of Northwestern China. *PLoS ONE* 10(9): e0137827. doi:10.1371/journal.pone.0137827.

Henry, J. y Heinke, G. (1999). *Ingeniería ambiental* 2a edición. Prentice hall, México. 800 págs.

Huxman, T.; Cable, J.; Ignace, D.; Eilts, J.; English, N.; Weltzin, J. y Williams, D. (2004). Response of net ecosystem exchange to a simulated precipitation pulse in a semi-arid grassland: The role of native versus non-native grasses and soil texture. *Oecologia* 141: 295-305.

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC). (1998). *Estudio general de suelos y zonificación de tierras en el departamento de Sucre*. IGAC. Bogotá, Colombia. 124 págs.

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC). (2004). *Línea de base de ordenamiento territorial en los distritos mineros*. Manual de acompañamiento. Bogotá, Colombia. 15 págs.

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC). (2012). Encuentro internacional sobre asociatividad regional y ordenamiento territorial, Hacia un dialogo entre regiones [diapositivas de PowerPoint]. Recuperado en 27 agosto 2016 de: http://www.igac.gov.co/wps/wcm/connect/c89ec3004d88b52fb0bbb25fb5b7b042/Presentacion_seminario_OT_2012.pdf?MOD=AJPERES

IPCC. (2001). *Summary for policymakers. Climate change 2001: Mitigation. A report of working Group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Accra, Ghana, 15 págs.

IPCC. (2007). *Cambio climático 2007: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Cuarto Informe de evaluación el Grupo Intergubernamental de expertos sobre el Cambio Climático* [Equipo de redacción principal: Pachauri, R. K. y Reisinger, A. (editores de la publicación)]. IPCC, Ginebra, Suiza, 104 págs.

Irvine, J. y Law, B. (2002). Contrasting soil respiration in young and old-growth ponderosa pine forests. *Global Change Biology*, 8: 1183-194.

Janssens, I.; Lankreijer, H.; Matteucci, G.; Kowalski, A.; Buchmann, N.; Epron, D.; Pilegaard, K.; Kutsch, W.; Longdoz, B.; Grunwald, T.; Montagnani, L.; Dore, S.; Rebmann, C.; Moors, E.; Grelle, A.; Rannik, U.; Morgenstern, K.; Oltchev, S.; Clement, R.; Gudmundsson, J.; Minerbi, S.; Berbigier, P.; Ibrom, A.; Moncrieff, J.; Aubinet, M.; Bernhofer, C.; Jensen, N.; Vesala, T.; Granier, A.; Schulze, E.; Lindroth, A.; Dolman, A.; Ceulemans, R. y Valentini, R. (2001). Productivity overshadows temperature in determining soil and ecosystem respiration across European forests. *Global Change Biology*, 7: 269-278.

Jin, G.; Zhao, X.; Kang, F. y Wang, J. (2013). The great rainfall effect on soil respiration of Pinus tabulaeformis plantation in Taiyue Mountain. *Acta Ecologica Sinica*, 33(6): 1832−1841.

Jordán, A. (2005). *Manual de edafología*. Universidad de Sevilla, España. 143 págs.

Kane, E.; Valentine, D.; Schuur, E. y Dutta, K. (2005). Soil carbon stabilization along climate and stand productivity gradients in black spruce forests or interior Alaska. *Canadian Journal of Forest Research,* 35(9): 2118-2129.

Kang, S.; Doh, S.; Lee, D.; Lee, D.; Jin, V. y Kimball§, J. (2003). Topographic and climatic controls on soil respiration in six temperature mixed-hardwood forest slopes, Korea. *Global Change Biology*, 9: 1427-1437.

Kennedy, A. y Papendick, R. (1995). Microbial characteristics of soil quality. *Journal of Soil and Water Conservation*, 50: 243-248.

Knowles, J.; Blanken, P. y Williams, M. (2016). Wet meadow ecosystems contribute the majority of overwinter soil respiration from snow-scoured alpine tundra. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*, 121, doi:101002/2015JG003081.

Koncz, P.; Balogh, J.; Papp, M.; Hidy, D.; Pintér, K.; Fóti, S.; Klumpp, K. y Nagy, Z. (2015). Higher soil respiration under mowing than under grazing explained by biomass differences. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 103(2): 201-215.

Kotroczó, Z.; Veres, Z.; Biró, B.; Attila, J. y Feketec, I. (2014). Influence of temperature and organic matter content on soil respiration in a deciduous oak forest. *Eurasian Journal of Soil Science*, 3: 303 – 310.

Krebs, L. (2003). Respiración del suelo como herramienta para evaluar calidad de fondos en acuicultura. I. Desarrollo de un protocolo estándar para medir

dióxido de carbono. Tesis de Grado, Escuela superior politécnica del litoral, Guayaquil, Ecuador. 67 págs.

Liang, G.; Houssou, A.; Wu, H.; Cai, D.; Wu, X.; Gao, L.; Li, J.; Wang, B. y Li, S. (2015). Seasonal Patterns of Soil Respiration and Related Soil Biochemical Properties under Nitrogen Addition in Winter Wheat Field. *PLoS ONE,* 10(12): e0144115. doi:10.1371/journal.pone.0144115

Liebig, M.; Tanaka, D. y Wienhold, B. (2004). Tillage and cropping effects on soil quality indicators in northern Great Plains. *Soil Tillage Res*, 78: 131-141.

Linn, D. y Doran, J. (1984). Aerobic and anaerobic microbial populations in no-till and plowed soil. *Soil Science Society of America Journal,* 48: 794-799.

Liu, Y.; Liu, S.; Wang, J.; Zhu, X.; Zhang, Y. y Liu, X. (2013). Variation in soil respiration under the tree canopy in a temperate mixed forest, central China, under different soil water conditions. *Ecological Research*

Lloyd, J. y Taylor, J. (1994). On the temperature dependence of soil respiration. *Functional Ecology*, 8(3): 315-323.

Luo, S.; Liu, G.; Li, Z.; Hu, C.; Gong, L.; Wang, M. y Hu, H. (2015). Soil respiration along an altitudinal gradient in a subalpine secondary forest in China. *iForest - Biogeosciences and Forestry,* 8: 526-532.

Luque, S.; Lathrop, R. y Bognar, J. (1994). Temporal and spatial changes in an Area of the New Jersey Pine Barrens Landscape. *Landscape Ecology*, 9(4): 287-300.

Malagón, D. (1998). El recurso suelo en Colombia –Inventario y Problemática-. *Revista de la Academia colombianas de ciencias exactas*, 22(82): 13-52.

Malhi, Y.; BaldocchI, D. y Jarvis, P. (1999). The carbon balance of tropical, temperate and boreal forests. *Plant, Cell and Environment*, 22: 715-740.

Manahan, S. (2006). *Introducción a la química ambiental*. Editorial Reverte S.A., México. 760 págs.

Marañón, S.; Castro, J.; Kowalski, A.; Serrano, P.; Sánchez, E. y Zamora, R. (2009). *Efecto de los tratamientos forestales post-incendio sobre los flujos de CO2 de respiración del suelo. 5° congreso Forestal Español*. Sociedad española de Ciencias Forestales, 13 págs.

Marland, G.; Andres, R. y Boden, T. (1994). Global, regional and national CO_2 emissions. Págs 505-581 en: Boden, T.A., Kaiser, D.P., Sepanski, R.J., Stoss, R.W. (Eds.) Trends'93, publicación nº ORNL/CDIAC-65, Carbon Dioxide Information Centre, Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, USA.

Martin, G. (2009). *Estructura y composición del pastizal natural.* Universidad Nacional de Tucumán, Argentina. 35 págs.

Martínez, T.; González, L. y Delgado, J. (2007). Respiración del suelo en zonas riparias. Efecto de la materia orgánica, de la vegetación herbácea y de la biomasa de raíces. En: Los sistemas forrajeros: entre la producción y el paisaje. Actas de la XLVI Reunión científica de la SEEP. Ed. Neiker. Vitoria. pp. 665-670. ISBN: 978-84-614-8713.

Martínez, R.; Tuya, L.; Martínez, M.; Pérez, A. y Cánovas, A. (2009). EL COEFICIENTE DE CORRELACION DE LOS RANGOS DE SPEARMAN CARACTERIZACION. *Revista Habanera de Ciencias Médicas*, 8(2). Recuperado en 17 de junio de 2017 de: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1729-519X2009000200017&lng=es&tlng=es.

McCulley, R.; Boutton, T. y Archer, S. (2007). Soil respiration in a Subtropical Savanna Parkland: response to water additions. *Soil Science Society of America Journal*, 7(3): 820-828.

Medina, M. (2012). *Caracterización bioquímica y microbiológica de un suelo de pradera de «Dactylis glomerata» y «Medicago sativa» bajo diferentes proporciones de siembra*. Ediciones Universidad de Salamanca, España. 364 págs.

Medina, E.; Klinge, H.; Jordan, H. y Herrera, R. (1980). Soil respiration in amazonian rain forest in the Rio Negro basin. *Flora*, 170: 240-250.

Medina, E. y M. Zelwer. (1972). Soil respiration in tropical plants communities. Págs.: 245-269 en: Golley, P. y Golley, F. (Eds). Proceedings of the second international symposium of tropical ecology, Athens, Georgia. University of Georgia Press, Athens, Georgia.

Mendiara, S. (2012). Efecto de los usos del suelo en la emisión de Dióxido de carbono del suelo a la atmósfera en un agroecosistema semiárido del Valle del

Ebro. Tesis para especialización en Industrias Agrarias y Alimentarias. Universidad de VIC, Escola Politécnica Superior.

Menghi, C. (2007). Calentamiento global: el riesgo oculto para la salud. *Revista Argentina de Microbiología*, 39 (3): 131-132.

Millán, E; Castilla, E. y Millán, C. (2016). Comunidades de nematodos de vida libre del suelo y su correspondencia con la calidad. *Revista Ingeniería y Región*, 16(1): 16-28.

Montenegro, J. (2007). *Geopolítica y medio ambiente*. Semana Geomática (IGAC). Bogotá, Colombia. 27 págs.

Moreira, M. y Siqueira, J. (2002). *Microbiología e bioquímica do solo*. Ed. UFLA. Brazil.

Muñoz, M.; Lewandrowski, W.; Erickson, T.; Dixon, K. y Merritt, D. (2016). Soil respiration dynamics in fire affected semi-arid ecosystems: Effects of vegetation type and environmental factors, *Science of the Total Environment*,

Murcia, M. y Ochoa, M. (2008). Respiración del suelo en una comunidad sucesional de pastizal del bosque altoandino en la cuenca del río Pamplonita, Colombia. *Caldasia*, 30(2): 337-353.

Murcia, M.; Ochoa, M. y Poveda, E. (2012). Respiración del suelo y caída de hojarasca en el matorral del bosque altoandino (cuenca del río Pamplonita, Colombia). *Caldasia*, 34(1): 165-185.

Ohashi, M.; Gyokusen, K. y Saito, A. (2000). Contribution of root respiration to total soil respiration in a Japonese cedar (*Cryptomeria japonica* D. Don) artificial forest. *Ecological research*, 15: 323-333.

Olascuaga, D.; Mercado, J. y Sánchez, L. (2016). Análisis de la vegetación sucesional en un fragmento de bosque seco tropical en Toluviejo-Sucre (Colombia). *Colombia Forestal*, 19(1): 23-40.

Oviedo, L. (2007). Medición de la respiración del suelo en ecosistemas mediterráneos con sistemas de cámaras y analizadores tipo IRGA. Tesis de Maestría. Universidad de Granada, España. 32 págs.

Pacific, V.; McGlynn, B.; Riveros, D.; Welsch, D. y Epstein, H. (2011). Landscape structure, groundwater dynamics, and soil water content influence soil respiration across riparian-hillslope transitions in the Tenderfoot Creek Experimental Forest, Montana. *Hydrological Processes*, 25: 811-827.

Pietikäinen, J.; Pettersson, M. y Bååth, E. (2005). Comparison of temperature effects on soil respiration and bacterial and fungal growth rates. *FEMS Microbiology Ecology*, 52: 49-58.

Poole, D. y Miller, P. (1982). Carbon dioxide flux from three arctic tundra types in north-central Alaska, U.S.A. *Arctic and Alpine Research*, 14: 27-32.

Porta, J.; López, M. y Roquero, C. (1994). *Edafología para la agricultura y el medio ambiente*. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid, España. 807 págs.

PROTOCOLO DE KYOTO DE LA CONVENCIÓN MARCO DE LAS NACIONES UNIDAS SOBRE EL CAMBIO CLIMÁTICO. (1998). Naciones Unidas. 25 págs.

Pumpanen, J.; Kolari, P.; Ilvesniemi, H.; Minkkinen, K.; Vesala, T.; Niinisto, S.; Lohila, A.; Larmola, T.; Morero, M.; Pihlatie, M.; Janssens, I.; Curiel, J.; Grünzweig, J.; Reth, S.; Subke, J.; Savage, K.; Kutsch, W.; Østreng, G.; Ziegler, W.; Anthoni, P.; Lindroth, A. y Hari, P. (2004). Comparison of different chamber techniques for measuring soil CO_2 efflux. *Agricultural and forest Meteorology*, 123: 159-176.

Raich, J.; Potter, C. y Bhagawati, D. (2002). Interannual variability in global soil respiration, 1980-94. *Global Change Biology*, 8: 800-812.

Ramírez, A. y Moreno, F. (2008). Respiración microbial y de raíces en suelos de bosques tropicales primarios y secundarios (Porce, Colombia). *Revista Facultad Nacional de Agronomía, Medellín*, 61(1): 4381-4393.

Ramos, E. y Zuñiga, D. (2008). Efecto de la humedad, temperatura y pH del suelo en la actividad microbiana a nivel de laboratorio. *Ecología aplicada*, 7(1,2): 123-130.

Rey, A.; Pegoraro, E.; Tedeschi, V.; De Parri, I.; Jarvis, P. y Valentini, R. (2002). Annual variation in soil respiration and its components in a coppice oak forest in Central Italy. *Global Change Biology*, 8: 851-866.

Rodríguez, E.; Gamboa, M.; Hernández, F. y García, J. (2005). *Bacteriología general, Principios y prácticas de laboratorio*. Editorial Universidad de Costa Rica, Costa Rica. 475 págs.

Ryan, M. y Law, B. (2005). Interpreting, measuring and modeling soil respiration. *Biogeochemestry*, 73: 3-27.

Sala, O.; Chapin, F.; Armesto, J.; Berlow, E.; Bloomfield, J.; Dirzo, R.; Huber-Sanwald, E.; Huenneke, L.; Jackson, R.; Kinzig, A.; Leemans, R.; Lodge, D.; Mooney, H.; Oesterheld, M.; Poof, N.; Sykes, M.; Walker, B.; Walker, M. y Wall, D. (2000). Global biodiversity scenarios for the year 2100. *Science*, 287: 1170-1174.

Salcedo, E.; Galvis, A.; Hernández, T.; Rodríguez, R.; Zamora, F.; Bugarin, R. y Carrillo, R. (2007). La humedad aprovechable y su relación con la materia orgánica y superficie específica del suelo. *Terra Latinoamericana*, 25(4): 419-425.

Sampedro, A.; Álvarez, A.; Domínguez, L. y Herrera, I. (2013). Especies promisorias para el ecoturismo en “Campo Aventura Roca Madre”, Toluviejo-Sucre, Colombia. *Revista MVZ Cordoba*, 18(1): 3387-3398.

Schimel, D. (1995). Terrestrial ecosystems and the carbon cycle. *Global Change Biology,* 1: 77-95.

Schindler, D. (1999). The mysterious missing sink. *Nature*, 398: 105-107.

Schlesinger, W. y Andrews, J. (2000). Soil respiration and the global carbon cycle. *Biogeochemestry*, 48(1): 7-20.

Seoánez, M. (1999). *Contaminación del suelo: Estudios, tratamiento y gestión.* Ed. Mundi-prensa S.A. España. 352 págs.

SEPHU (Sociedad Española de Productos Húmicos). (2009). *El cultivo de la Teca.* Noticias SEPHU, Sociedad española de productos húmicos S. A. Zaragoza, España, 10 págs.

Shi, B. y Jin, G. (2016). Variability of soil respiration at different spatial scales in temperate forests. *Biology and Fertility of Soils*, 52: 561–571.

Smith, J.; Papendick, R.; Bezdicek, D. y Lynch, J. (1993). Soil organic matter dynamics and crop residue management. Págs: 65-94 En: Soil Microbial Ecology, F. B. Metting, Jr., ed. Marcel Dekker, New York.

Soil Survey Staff (SSS). (1999). *Soil Taxonomy. A basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys*. 2ª Ed. Agriculture Handbook N° 436. Soil Survey Staff. Washington D. C. 869 págs.

Stoddart, L. (1972). *¿Qué es el manejo de pastizales? Rendimiento del pastizal*. Galve S. A., México, 354 págs.

Svensson, B. (1980). Carbon dioxide and methane fluxes from the ombrotrophic parts of a subarctic mire. *Ecological Bulletin*, 30: 235-250.

Thamdrup, B.; Hansen, J. y Jorgensen, B. (1998). Temperature depedence of aerobic respiration in coastal sediment. *FEMS microbiology ecology*, 25: 189-200.

Tolba, M. y El-Kholy, O. (Eds). (1992). *The world environment 1972-1992: Two decades of challenge*. Chapman & Hall, Londres, Inglaterra.

Tucker, C. y Reed, S. (2016). Low soil moisture during hot periods drives apparent negative temperature sensitivity of soil respiration in a dryland ecosystem: a multi-model comparison. *Biogeochemistry*, 128 (1-2): 155-169.

Vargas, R.; Detto, M.; Baldocchi, D. y Allen, M. (2010). Multiscale analysis of temporal variability of soil CO_2 production as influenced by weather and vegetation. *Global Change Biology*, 16: 1589-1605.

Vargas, R.; Baldocchi, D.; Allen, M.; Bahn, M.; Black, T.; Collins, S.; Curiel, J.; Hirano, T.; Jassal, R.; Pumpanen, J. y Tang, J. (2010). Looking deeper into the soil: biophysical controls and seasonal lags of soil CO_2 production and efflux. *Ecological Applications*, 20(6): 1569-1582.

Velázquez, A.; Duran, E.; Larrazábal, A.; López, F. y Medina, C. (2010). La cobertura vegetal y los cambios de uso del suelo. Págs. 28-32 en: Mendoza, M.; Velázquez, A.; Larrazábal, A. y Toledo, A. (Compiladores), *Atlas fisicogeográfico de la cuenca de Tepalcatepec*. Universidad Autónoma de México, México.

Velázquez, J. (2005). Cambio climático y protocolo de Kioto. Ciencias y estrategias: Compromisos para España. *Revista Española de Salud Pública*, 79(2): 191-201.

Vesterdal, L. y Leifeld, J. (2007). Land-use change and managment effects on soil carbon sequestration: Forestry and agriculture. Págs: 25-32 En: Jandl, R. y Olsson, M. (Eds). Greenhouse-gas budget of soils under changing climate and land use (BurnOut). COST Action, Vienna.

Vitousek, P. (1994). Beyond global warning: Ecology and global change. *Ecology*, 75(7): 1861-1876.

Vitousek, P.; Mooney, H.; Lubchenco, J. y Melillo, J. (1997). Human domination of earth's ecosystems. *Science*, 277: 494-499.

Wang, X.; Jiang, Y.; Jia, B.; Wang F. y Zhou, G. (2010). Comparison of soil respiration among three temperate forests in Changbai Mountains, China. *Canadian Journal of Forest Research*, 40: 788-795.

Wang, Z.; Ji, L.; Hou, X. y Schellenberg, M. (2016). Soil Respiration in Semiarid Temperate Grasslands under Various Land Management. *PLoS ONE* 11(1): e0147987. doi:10.1371/journal.pone.0147987.

Woodwell, G.; Whittaker, R.; Reiners, W.; Likens, G.; Delwiche, C. y Botkin, D. (1978). The biota and the World Carbon budget. *Science*, 199: 141-146.

Xiong, L.; Xu, Z.; Yang, W.; Yin, R.; Tang, S.; Wang, B.; Xu, L. y Chang, C. (2015). Aboveground litter contribution to soil respiration in a subalpine dragon spruce plantation of western Sichuan. *Acta Ecologica Sinica*, 35(14): 4678-4686.

Xu, Z.; Zhou, F.; Yin, H. y Liu, Q. (2015). Winter soil CO_2 efflux in two contrasting forest ecosystems on the eastern Tibetan Plateau, China. *Journal of Forestry Research*, 26(3): 679–686.

Zambrano, A.; Franquis, F. y Infante, A. (2004). Emisión y captura de carbono en los suelos en ecosistemas forestales. *Revista Forestal*, 35: 11-20.