

Algunas consideraciones sobre los métodos de estimación de biomasa vegetal subterránea

Argenis Montilla

Universidad Pedagógica Experimental Libertador, Instituto Pedagógico de Barquisimeto "Luis Beltrán Prieto Figueroa", Departamento de Ciencias Sociales, e-mail: argenismontilla@hotmail.com

RESUMEN

El recalentamiento global, producto del efecto invernadero por el uso indiscriminado de combustibles fósiles y otros procesos industriales se manifiesta en el incremento de la temperatura atmosférica debido a la acumulación de gases tales como dióxido de carbono, metano, óxido nitroso y clorofluorocarbonos, lo cual podría originar importantes cambios climáticos con graves implicaciones para la productividad agrícola a escala mundial. Esta situación ha despertado preocupación y un gran interés en la comunidad científica internacional por el estudio de la dinámica del carbono en los ecosistemas, principalmente en lo que tiene que ver con la estimación de la producción primaria neta (PPN) que es con frecuencia subestimada, debido a la deficiente determinación de la biomasa vegetal subterránea (BVS), aún cuando ésta es parte importante de la totalidad de la producción primaria neta (PPN). Al parecer, esta deficiencia en la estimación de la biomasa vegetal subterránea (BVS) es producto de las múltiples limitaciones que poseen la mayoría de las metodologías existentes para su cuantificación. En tal sentido, el propósito de este trabajo es analizar algunos métodos para la estimación de la biomasa vegetal subterránea, desde los más clásicos hasta los más recientes, así como hacer algunas consideraciones generales acerca de ellos.

Palabras clave: Métodos, estimación, determinación, biomasa subterránea, carbono.

Some considerations on the methods of estimate of underground vegetable biomass

ABSTRACT

The global warming, product of the effect hothouse for the indiscriminate use of fossil fuels and other industrial processes is manifested in the increment of the atmospheric temperature

due to the accumulation of gases hothouse, such as dioxide of carbon, methane, nitrous oxide and chlorofluorocarbons, that which could originate important climatic changes with serious implications for the agricultural productivity to world scale. This situation has wakened up concern and a great interest in the international scientific community for the study of the dynamics of the carbon in the ecosystems, mainly in what has to do with the estimate of the net primary production (PPN) that is frequently underestimated, due to the absentee or faulty determination of the underground vegetable biomass (BVS), still when this is important part of the entirety of the production it would prevail net (PPN). To the view, this deficiency in the estimate of the underground vegetable biomass (BVS) it is product of the multiple limitations that possess most of the existent methodologies for its quantification. In such a sense, the purpose of this work is to analyze some methods for the estimate of the underground vegetable biomass, from the most classic until the most recent, as well as to make some general considerations about them.

Key words: Methods, estimate, determination, underground biomass, carbon.

INTRODUCCIÓN

El calentamiento global se manifiesta en el aumento de la temperatura del aire debido al uso de combustibles fósiles y a otros procesos industriales que llevan a una acumulación de gases invernadero en la atmósfera, entre ellos, dióxido de carbono, metano, óxido nitroso y clorofluorocarbonos. Desde finales del siglo XIX se sabe que el dióxido de carbono ayuda a impedir que los rayos infrarrojos escapen al espacio, lo que hace que se mantenga una temperatura atmosférica relativamente alta. En tal sentido, el incremento de los niveles de dióxido de carbono puede provocar un aumento de

la temperatura global, que originaría importantes cambios climáticos con graves implicaciones para la productividad agrícola. En consecuencia, es evidente el reciente interés tanto de la comunidad científica mundial como de diferentes entes gubernamentales frente al problema del calentamiento global. Es así como se han orientado importantes recursos económicos y esfuerzos de investigación sobre la dinámica del carbono en los ecosistemas, todo lo cual, ha conllevado entre otras cosas, a una revisión de los métodos de estimación de la producción primaria neta de los ecosistemas (PPN).

La producción primaria neta de la planta (PPN) está compuesta por la producción de la parte aérea (APPN) y por la subterránea (BPPN), de forma tal que la biomasa en ambas condiciones es importante en su estimación. Sin embargo, en contraste con la relativa abundancia de información sobre biomasa aérea, la información sobre biomasa radical es limitada, aunque el sistema de raíces es una fracción de la biomasa vegetal que juega un papel primordial en la PPN de los ecosistemas (Cañellas et al., 2000).

A pesar que la importancia de la biomasa radical es bien reconocida a nivel científico (Cañellas et al., 2000; Range et al., 2001), los principales métodos para la determinación de la PPN dan poco interés a este componente (Long et al., 1989). Investigaciones recientes sugieren una seria subestimación de la PPN en los métodos que no consideran, entre otros factores, la biomasa subterránea (Scurlock et al., 2002).

La estimación de biomasa vegetal subterránea en los distintos ecosistemas ha sido un problema un tanto difícil de resolver, sobretodo cuando se quieren obtener datos reales y confiables, ya que la mayoría de los métodos de estimación poseen importantes limitaciones, que restringen su precisión en la mayoría de los casos. En ese sentido, el presente trabajo tiene como objetivo hacer un análisis de los métodos de estimación de biomasa vegetal de raíces y su utilización en investigaciones recientes mediante la revisión de la literatura.

Antecedentes

Böhn (1979), hace una descripción de la historia del estudio de las raíces en la cual señala la existencia de los estudios sistemáticos en el siglo XVIII (1727-1764), con métodos de excavación y de barreno para estudiar la morfología de las raíces de algunos cultivos. Sin embargo, señala que no se reportan trabajos de importancia sino a partir de la segunda mitad del siglo XIX motivados por el creciente interés agronómico debido a la incorporación del uso de fertilizantes en los cultivos, donde los trabajos más importantes de esa época, ya mencionan las técnicas de lavado de raíces con agua (1870-1914). En esa misma época (1862-1911) comenzaron también las evaluaciones y cuantificaciones de biomasa de raíces en plantas cultivadas en contenedores o materos de arcilla. En América (1892-1909), surge y se desarrolla la técnica de estimación de raíces de plantas creciendo en grandes contenedores, en este caso, construidos de metal (materos cerrados), de los cuales, se obtenían las raíces por procesos de lavado del suelo. Igualmente, en el año 1873 se introdujo en Europa, principalmente en Alemania, la técnica de observación de raíces en paneles de vidrio. Alrededor de 1950, en la Universidad de Nebraska (EEUU), se realiza una descripción detallada del método clásico de excavación, que se convierte en una herramienta muy utilizada en la mayoría de las investigaciones desarrolladas en aquel entonces.

En 1929 aparece el primer método indirecto mediante la estimación del contenido de agua en el suelo y paralelamente en este período se mejoran de forma considerable, las técnicas de muestreo con barreno u otras herramientas y el posterior lavado de raíces. El uso de marcadores radiactivos en el estudio de raíces aparece en 1953 y a partir de este momento se emprenden combinaciones y mejoras en los métodos de estudio de fisiología y ecología de raíces hasta llegar a los que actualmente se utilizan. La descripción y mejoramiento de técnicas de evaluación de biomasa subterránea han sido discutidos en numerosos trabajos y publicaciones desde 1957 (Böhn, 1979), hasta nuestros días.

MÉTODOS PARA LA DETERMINACIÓN DE BIOMASA SUBTERRÁNEA

Método de Cosecha o Extracción Completa

Constituye el método más clásico de evaluación de raíces, al cual se le han realizado numerosas mejoras y modificaciones. Este método suele utilizarse de forma más apropiada para cuantificar biomasa subterránea compuesta por raíces gruesas (diámetro > a 5 mm) y consiste en extraer por completo el sistema radical de los árboles que previamente han sido seleccionados, determinar su biomasa y estimar ecuaciones que la relacionen con algún elemento dendrométrico de fácil medición (Orrego et al., 2003). La cuantificación se hace en campo pesando en una balanza las raíces del árbol y después en laboratorio las muestras son sometidas a un tratamiento que permitirá una estimación más real. Éste, al igual que la mayoría de los demás métodos directos, permite obtener buenas estimaciones, pero la desventaja fundamental consiste en lo laborioso que es el proceso de extracción del material radicular, sobretudo cuando se trata de árboles de gran tamaño.

Este método de extracción ha sido modificado, anteriormente la extracción de la biomasa radical se hacía en seco, ahora se hace en mojado, aunque debe señalarse que esta técnica de excavación en mojado ya había sido usada desde hace un buen tiempo en investigaciones en Rusia y Alemania, pero la misma no era aplicada a grandes escalas, ahora se hace utilizando agua y aire a presiones altas.

Para aplicar este método es necesario remover cuidadosamente las partículas del suelo para evitar la destrucción de las raíces, especialmente cuando se trata de formas biológicas de tamaño reducido. Como quiera que sea posible, las partículas del suelo serán removidas en dirección paralela a las raíces, lo cual facilita y asegura el éxito del trabajo. Como las raíces de los árboles y arbustos son generalmente fuertes y más resistentes que la de las hierbas, se debe tener especial cuidado con el manejo de estas últimas, a fin de evitar que puedan romperse y subestimar los valores. Este método en términos generales, como veremos más adelante, posee variantes para tipos de vegetación arbórea o herbácea.

Cañellas et al., (2000), indica que con el método de cosecha o extracción completa, determinaron la biomasa radical de *Quercus coccifera* (planta arbustiva), y encontraron en esa investigación limitaciones clásicas al momento de hacer el muestreo total de raíces. Al respecto, Sims y Singh, (1978); y Sims y Bradford, (2001) aseveran que tales limitaciones clásicas se traducen en dificultad para el muestreo en la medida que aumenta la profundidad de las raíces. Ellos muestrearon en tres diferentes perfiles de suelo. (0-15, 15-30 y 30-45 cm) y encontraron que la mayor presencia de raíces ocurría en las dos primeras capas, mientras que en la última el muestreo se hacía sumamente difícil por lo profundo y por la presencia de rocas grandes y sugieren en su metodología una clasificación por tamaño de raíces mediante tamizado (pequeñas y finas: < 5 mm, grandes: > 5 mm), descartando su separación en vivas y muertas por no tener un criterio claro para realizarlo y porque las proporciones de ambas son cambiantes durante el año, por lo que contrariamente, realizan una separación de las raíces de la especie de interés de otras, por características morfológicas bien definidas.

En el caso de plantas arbóreas, Ranger et al., (2001), señalan que cosecharon plantas de *Pseudotsuga menziesii* de una plantación. Allí excavaron una trinchera de 1 m de profundidad aproximadamente alrededor de las plantas seleccionadas, luego atándolas con un cable y utilizando una excavadora mecánica extrajeron el sistema radical. Retzlaff et al., (2001), en plantas de *Pinus taeda* excavaron 1 x 1 m² alrededor de la planta. En ambas investigaciones se clasificaron las raíces por tamaño, las partes grandes y sobresalientes del suelo no se consideraron como raíces y en su mayoría fueron asignadas a la parte aérea. A esta biomasa sumaron las raíces grandes que se encontraban presentes en la trinchera cavada alrededor del árbol. Este tipo de muestreo presenta como limitaciones más importantes, en primer lugar, que no toma en cuenta las raíces finas, las que pueden representar una parte importante del total de biomasa subterránea, y segundo, sólo consideran las raíces que están presentes dentro del área cosechada. Otras modificaciones a este método son:

Excavación con Presión de Agua

Esta técnica viene a ser una modalidad del método de extracción. La cantidad de presión de agua requerida depende de las condiciones del suelo y de la naturaleza del sistema de raíces. La finalidad es utilizar suficiente presión de agua para descubrir y lavar las raíces, pero siempre cuidando que no se escapen las partes más pequeñas con el agua. Después de algunos experimentos, los investigadores rápidamente adquieren destrezas más efectivas para controlar adecuadamente la presión del agua. Este método tiene entre sus ventajas que es de fácil aplicación, y no se requiere de equipos altamente sofisticados.

Excavación con Presión de Aire

La excavación con presión de aire es otra de las modalidades del método. Para remover las partículas del suelo alrededor del sistema de raíces puede también ser realizado por el movimiento del aire en una o dos maneras, bien por soplado, o aspirado por presión, utilizando compresores de aire recomendados. Una ventaja de este método es que puede ser utilizado con buena efectividad prácticamente en todos los tipos de suelo, aun cuando no da buenos resultados en suelos mojados.

Excavación en Plano Horizontal

Las excavaciones en planos horizontales sin remoción profunda son preferibles para especies de plantas que principalmente presenten un crecimiento de raíces en forma horizontal. Este procedimiento fue demostrado inicialmente con éxito excavando sistemas de raíces en numerosas plantas de desiertos. Más tarde fue utilizado por muchos investigadores para otras especies de plantas no productoras de madera. Las mayores aplicaciones de excavaciones de raíces en planos horizontales se encuentran en estudios de raíces de árboles, donde la excavación comienza desde el tronco, y por razones de seguridad se debe remover gradualmente de acuerdo a la remoción de las capas del suelo hasta que la raíz principal esté expuesta.

Método de Volúmenes de Crecimiento

Al igual que el método anterior, éste posee importantes variantes, la primera es la remoción de las raíces de un volumen de suelo conocido para evaluar el posterior rebrote de raíces (Jordan y Escalante, 1980, citado por Böhn, 1979). Las porciones volumétricas son removidas del suelo y se les elimina por extracción o tamizado de todas las partes radicales. Una vez que la muestra está limpia de raíces se coloca en una bolsa de malla y se ubica otra vez en el sitio del cual fue anteriormente removida. Transcurrido un periodo de tiempo, son de nuevo cosechadas las bolsas y entonces se determina las raíces que han crecido en la muestra, lo que representa un estimado de la cantidad de raíces producidas en este periodo de tiempo. Dependiendo de los objetivos de la investigación, se puede variar el tamaño de las bolsas, su profundidad, número de muestras o la frecuencia de muestreo.

En el cálculo de la BPPN, este método ha demostrado que sus estimados son similares a los de biomasa extraída directamente con barreno (Neill, 1992), sin embargo la extracción inicial de las raíces puede causar un efecto de estimulación o depresión del crecimiento posterior en la muestra, tampoco se puede estimar el recambio de raíces simultáneamente al igual que la porción de biomasa que se pierde por herbivoría. En general la principal limitante es la incertidumbre sobre el efecto que tiene en el desarrollo de las raíces el crecer en un suelo libre de ellas (Neill, 1992). La segunda variante es la más utilizada actualmente, es similar a la anterior, sólo que en vez de retirar todas las raíces de la muestra y ver el rebrote, se cosecha el volumen de suelo en un contenedor, con frecuencia metálico, y se extraen las raíces por procesos de lavado o con aire comprimido.

Carvalho et al., (2001), determinaron la biomasa radical en ecosistemas de sabanas, utilizando este método de manera secuencial, extrayendo de forma consecutiva, mediante un muestreador de metal, volúmenes de 1.000 cm³ de suelo a diferentes capas, en este estudio en particular se extrajeron tres capas (0-12, 12-24 y 24-36 cm). Posteriormente se tamizó la muestra para separar las raíces (finas) y se clasificó en raíces muertas y vivas mediante

la técnica de reducción de TTC (Tetrazolium) ya mencionada por otros autores (San José et al., 1982; Rada et al., 1987), para descartar el material muerto. Encontraron que la biomasa radical se distribuye en las 3 capas evaluadas en 58, 25 y 17%, respectivamente.

La metodología aplicada por estos autores es limitada en el sentido de que únicamente les permite el análisis de raíces con diámetro inferior a 20 mm, lo que descarta una cantidad importante de raíces. Sin embargo, en este estudio el tipo de vegetación predominante era herbácea, de tal manera que, la mayoría de las raíces estaba en el rango evaluado. El mismo método fue utilizado por Mapfumo et al., (2002) en similares condiciones de vegetación, sólo que aplican la extracción del suelo con un muestreador hidráulico de 5,1 cm de diámetro para obtener una sola muestra hasta 60 cm y posteriormente separar las raíces con un sistema hidroneumático (Elutration System). Curcó et al., (2002), agregan a esta técnica una serie de muestreos iniciales en profundidad, a fin de determinar de manera más precisa la zona del suelo donde existe la mayor cantidad de raíces (95%) y sugieren en su trabajo, la necesidad de sellar la muestra antes de removerla del suelo, ya que la misma pudiera ser alterada al momento de su extracción.

Otra modificación útil en condiciones de vegetación herbácea consiste en hacer crecer las especies en grandes contenedores tratando de reproducir la densidad de la vegetación en el campo y colocar el muestreador de suelo en el centro del contenedor. Posteriormente se cosecha el sistema de raíces total del contenedor y su biomasa se ajusta a una ecuación lineal con la contenida en el muestreador colocado previamente, de modo tal que se obtiene una función que permite la estimación de la biomasa total de raíces a partir de la extraída con el muestreador (He, et al., 2002). En términos generales este método es sumamente útil, pero está limitado prácticamente a tipos de vegetación herbácea, pues debe entenderse que trabajar con árboles grandes, bien sea en materos o contenedores no daría buenos resultados, pues el crecimiento de la planta y de su sistema radicular no sería igual al que puede alcanzar cuando crece directamente sobre el terreno.

Método de los Contenedores

El método de los contenedores también ha sido utilizado en múltiples ocasiones para estima de biomasa subterránea, éste contempla varios tipos, tales como el de pequeños potes o materos, tubos y cajas. Ellos se utilizan para cultivar la planta y ver a lo largo de su desarrollo, el crecimiento de las raíces. Las clases más simples de envases para los estudios de las raíces son potes ordinarios de arcilla así como de plástico transparente, comúnmente de forma redonda o cuadrada. Al comparar los potes de arcilla con los de plástico, se nota que el suelo en los primeros se mantiene más fresco. En este caso, la diferencia de la temperatura es atribuible a los efectos del enfriamiento por el proceso de evaporación del agua a través de los poros de las paredes de arcilla del contenedor (Böhn, 1979).

Este método de los contenedores es muy accesible y fácil de aplicar a la hora de estima de biomasa subterránea, pero su limitación está en que se restringe a plantas de tamaño relativamente pequeñas, tales como hierbas y cañas. Petra et al., (2002), utilizando este método cultivaron en contenedores y en condiciones de fertilización, plantas de 6 especies (2 especies forrajeras nativas de zona templada y 4 especies de malezas, todas herbáceas). Extrajeron el sistema radical con el método de lavado de raíces y encontraron que la relación biomasa aérea - radical es afectada (disminuye) al incrementar el nitrógeno disponible en el suelo. En este tipo de ensayos la metodología de contenedores es la más adecuada, debido a que permite ajustar de manera muy precisa las cantidades de nutrientes por volumen de suelo.

Métodos de Observación de Raíces con Tubos de Vidrio

Este fue un método propuesto por Bates en 1963, para hacer observaciones de raíces de plantas in situ. Él sugirió realizar agujeros en el suelo e introducir los tubos de cristal a un lado de las raíces para hacer observaciones a través del vidrio y recomendó esta técnica como una alternativa económica. La poca divulgación de este método hizo que se olvidara o dejara de un lado y desde hace un buen tiempo sólo se ha citado en pocas

publicaciones referidas a la cuantificación y estudio de raíces. El método consiste en abrir un agujero con un diámetro de 70 mm hasta una profundidad de 110 cm. utilizando un taladro. En éste se inserta un tubo con una escala graduada en la que se introduce un dispositivo compuesto por una pequeña lámpara y un espejo que se encarga de reflejar hacia el exterior la imagen que permite al observador apreciar a través del tiempo el crecimiento de la raíz. Normalmente las raíces pueden ser cuantificadas con observaciones simples, es decir sin ningún equipo especializado hasta profundidades de 1 metro. Según Böhn, (1979), la longitud del tubo y el diámetro puede variar de acuerdo a cada propósito en particular.

Método del Monolito

Este método requiere la toma de monolitos del suelo, separando la raíz del suelo por medio de lavado con abundante agua. Se puede realizar directamente en campo, pero cuidando que las muestras de suelo sean transportadas para un lugar especial y seguro de lavado. Este método es frecuentemente utilizado para la investigación en las pocas estimaciones de biomasa vegetal subterránea y se toman en cuenta puntualmente como una determinación cuantitativa de las raíces, pero en algunos casos, éste es sustituido por fotografías. Los monolitos grandes pueden ser tomados con herramientas simples como palas, pero con el incremento del tamaño de los monolitos las máquinas de fuerte conducción mecanizada son más usadas. En el mayor de los casos las zanjas son utilizadas como punto de partida para la toma de muestras. El método de monolito es usado principalmente en la agricultura. Algunos variantes de este método son los siguientes:

Método Simple de la Pala

Para obtener información preliminar de las raíces en los horizontes superiores del suelo, los monolitos grandes, cerca de 20 cm cuadrados pueden ser tomados con pala (Böhn, 1979). Estos bloques de suelo son agitados lentamente sobre la superficie de la tierra hasta que el sistema radicular de las plantas queda expuesto para ser determinado. Generalmente se coloca el monolito en una caja grande con un tamiz; para luego remojarlo y

lavar el sistema radicular con una bomba de riego o un spray haciendo que éste quede libre. El sistema radicular puede ser clasificado visualmente por tamaño.

Método Común del Monolito de Bloque Cuadrado

Esta técnica consiste en cavar una calicata aproximadamente de 1 m² de profundidad radicular, luego sacar los monolitos del perfil del suelo, capa por capa (0-10 cm). El peso del bloque depende de la densidad de la distribución radicular en el perfil del suelo determinado. Si se toman muestras de 10 cm, por lo general, son tomadas cerca de 5 o más sub-muestras de 10 cm de grosor y de 1 m de largo. El tamaño puede variar, desde pequeñas prismas de suelo 10 x 10 x 10 cm hasta de 1m o más para bloques grandes; dependiendo de la especie de planta y de lo puntual de la investigación.

Generalmente el volumen de un bloque común varía entre los 1.000 y 5.000 cm³. Antes de remover el bloque del suelo, el muro del perfil debe estar aplanado (usando plomada). Todo el suelo disgregado debe ser removido desde el fondo de la calicata. El tamaño del bloque debe ser marcado antes de ser tomado inútilmente.

Para extraer el monolito se ensancha por uno de los lados con cuchillos y hojas de metal, con lo que se puede usar un martillo para desmoronar el suelo. El desmoronamiento es necesario cuando el suelo está seco. Es conveniente colocar papel en el fondo de la calicata para que el suelo disgregado de los bloques pueda ser colectado fácilmente; la muestra completa de suelo se coloca dentro de una cubeta y las raíces son separadas y lavadas. Es usado especialmente en la investigación de raíces de plantas agrícolas.

Método Común del Monolito de Bloques Circulares

Este método se utiliza en el estudio de raíces de árboles, consiste en cavar una calicata circular alrededor del tronco para que quede un bloque cilíndrico de suelo bajo el árbol muestreado. Se puede estandarizar de manera semejante a un cilindro y el monolito siempre debe tener el diámetro de 112,5 cm. y un área de 1 m.2

Método de Caja

En contraste con el método común del monolito, el método descrito acá, consiste en la preparación de un monolito grande de suelo enmarcado en cajas donde el sistema radicular es lavado, libre de divisiones dentro de la sección del monolito. En este sentido puede ser obtenida por completo o en gran parte el sistema radicular de una o más plantas. El método originalmente llamado "Método del lavado del bloque del suelo" consiste en poner al sol (insolar) un monolito cuadrado de los alrededores de una planta, de tamaño grande que contiene el sistema radicular completo. Para plantas de cereal, por ejemplo, a los 40 días de crecimiento, se sugiere usar monolitos de 65 x 65 x 105 cm, mientras que para plantas adultas lo más indicado son monolitos de 80 x 80 x 165 cm.

Método de la Tabla Perforadora

Este método combina la presentación visual con la determinación cuantitativa del sistema radicular. Requiere varios procedimientos, uno de ellos es la construcción y preparación de la tabla, la que debe tener una dimensión acorde al tamaño del sistema radicular muestreado. Para tomar un monolito de tamaño grande, lo más común es que la tabla sea de 50 x 50 X cm. Para poder ser usado en muestras de grandes dimensiones el tamaño de la tabla debe ser de 60 x 100 X 20 cm.

En la excavación del monolito, La primera calicata se construye de 1 m de profundidad por 1 m de ancho. Alrededor de la planta a ser excavada se construyen hileras en forma de trincheras (calicatas) y montículos paralelos o transversales a las hileras. La distancia desde la calicata al tronco de la planta a ser muestreada está determinada por la corona en el medio del bloque (monolito) hasta el borde de la excavación.

Si el monolito es de contenido arenoso o limoso, es sumergido directamente en el tanque de agua hasta que el suelo este saturado, generalmente una lavada por una noche es suficiente. Cuando el monolito tiene alto contenido de arcilla su lavado es sumamente costoso fuera del suelo y la obtención es posible con una pérdida considerable de raíces. Otra técnica para el lavado de monolitos con alto contenido de arcilla se facilita con el congelado del mismo a -25 °C y luego descongelado para sacarlo del tanque.

Antes de que el sistema radicular sea lavado por completo, éste tiene que ser fotografiado sin ser movido de la tabla. La mejor forma de obtener una foto del sistema radicular es dejándolo en su posición natural sobre la tabla perforada. Una técnica rápida para utilizar la tabla perforada fuera del H₂O es colocarla en un lugar de manera vertical. Para mantener las raíces finas lo más cercano posible en su posición natural sobre la tabla, hay que tomarlas y acomodarlas antes que el nivel del agua las cubra por completo.

Hay algunas modificaciones especiales, es decir, en lugar de excavar el suelo, el monolito puede ser estudiado naturalmente en su sitio con una variación de la tabla perforadora. La modificación de este método fue realizada para emplearla en bloques grandes de suelo, los cuales requieren de mucho esfuerzo para su transporte manual. Las mismas fueron introducidas y aplicadas en campo para el estudio ecológico de raíces por Nelson y Allmarg en 1961.

Si evaluamos este método, se debe resaltar que es más atractivo para numerosas investigaciones y trabajos, ya que es factible realizar diversos estudios cualitativos y cuantitativos de raíces de manera simultánea, y así se pueden estudiar los perfiles de suelo de manera más fácil.

Comparado con otros métodos de estudios radicales, este es el más ventajoso, respecto a la limpieza del procedimiento del lavado de raíces, reduciendo considerablemente el material edáfico. Una desventaja de este método, es que se requiere de una labor muy dispendiosa y altamente costosa. Los resultados obtenidos pueden ser extrapolados y cuantificar áreas más grandes, generalmente estos métodos conllevan a estimar biomasa subterránea con buenas aproximaciones.

Método de Barreno

De todas las técnicas de estima de biomasa subterránea, el método de barreno es el más efectivo para tomar muestras volumétricas de raíces en el suelo. Pero como todos, requiere de algunas técnicas específicas para su implementación. El trabajo del barreno consiste en introducir un tubo cilíndrico de 25 cm de longitud con un diámetro in-

terior de 7 cm, este tubo, al final está provisto de un mango en forma de T, con el cual es posible rotar el taladro y conducirlo dentro y fuera del suelo de forma continua. En el interior del taladro se contiene un dispositivo cilíndrico acerado, en el que se toma la muestra de suelo, que posteriormente debe ser retirada.

Para el estudio de raíces de árboles, el taladro puede usarse en la toma de muestras del suelo, ya que permite determinar el contenido de raíces finas verticales. Esta técnica de estudio de la distribución espacial de las raíces en árboles, fue propuesta por Weller en 1964, quien estudió la distribución de raíces en sembradíos de árboles.

La muestra puede ser tomada a 1 m de profundidad, usando el taladro de mano, pero debido a su dificultad se ha preferido mecanizar esta técnica. Existen varias formas de mecanización como la usada por Veihmeyer en 1929, con el famoso tubo Veihmeyer de 2 cm de diámetro y 180 cm de largo de sección. A tales efectos, se construyó una máquina especial para tomar muestras profundas y más distribuidas de suelo, usadas en ingeniería agrícola.

Otra técnica es rompiendo el pedón en campo luego de ser tomado con un taladro de mano mecanizado con un aproximado de 10 cm. El pedón es roto aproximadamente en partes iguales dependiendo del número de raíces contadas en sus caras.

Una ventaja de este procedimiento en el muestreo de núcleos o edafones en campo, realizado con taladros de mano y equipos mecanizados es que se hace razonablemente rápido. Con él es posible llegar a la descripción de la biomasa subterránea, así como su incremento y descenso a medida que aumenta la profundidad. A pesar de esto, una de sus desventajas es que no da muestras exactas y sus resultados son poco satisfactorios en las raíces verticales de los árboles, debido a la dificultad de cortar tales raíces.

Método Tradicional de Perfiles en Calicatas

Este método se aplica haciendo una excavación en el suelo alrededor de la planta, lo suficiente para que se exponga parte del sistema radical.

Es semejante al método de excavación parcial sectorizada, pero en éste hay algunas modificaciones, entre ellas, que se remueve el suelo apenas algunos centímetros desde el perfil de la pared para hacer un grabado de las raíces expuestas. Para obtener datos cuantitativos de raíces, es necesario remover únicamente unas pequeñas capas de suelo de cerca de 1 cm, de espesor y de largo desde el perfil del muro.

El método precisa del conteo y mapeo, con lo que se hace viable determinar el número de raíces. Este conteo y mapeo debe ser realizado inmediatamente después de la exposición de las raíces. La dimensión de la grilla depende del tamaño del muro y del número de raíces expuestas. Para raíces de árboles la medida del cuadrado por lo general debe ser de 10 x 10 cm o de 20 x 20 cm; para plantas fibrosas en su sistema radicular, el cuadrado será de 5 x 5 cm para una prueba satisfactoria. El camino clásico para exponer las raíces en el mapeo, es dejándolas en su posición natural y colocándolas sobre una sección de papel milimetrado con una escala de 1:10 a 1:15.

En cuanto a la evaluación y aplicación de este método en la determinación y conteo de número de raíces, pensamos que tiene buen uso desde el punto de vista ecológico, al tiempo que ayuda a obtener un material básico para la interpretación de los datos de sistemas radiculares, especialmente para confrontarlas con resultados obtenidos en diferentes sitios. En comparación, pudiéramos señalar que, ciertamente las distribuciones radiculares entre montículos puede ser bien determinada por el método del barreno, pero es más instructivo el de las raíces expuestas en perfiles. Muchos trabajos han ayudado a determinar la distribución radicular en los perfiles del suelo, sin necesidad de replicas.

CONCLUSIONES

Existe un buen número de métodos para estimar biomasa vegetal subterránea, sin embargo, las mediciones de este parámetro vegetal han sido omitidas por la mayoría de los investigadores en gran parte de sus trabajos, aún cuando según Billing (1979), se considera que ésta es parte importante de la biomasa total. Por lo general, el sistema de raíces alcanza un 25% del total de la planta.

En tal sentido, Orrego et al., (2003), sugieren que en los bosques tropicales se pueden encontrar en un rango entre 30 y 120 Megagramos (Mg) de raíces por hectárea, con promedio de 54,8 Megagramos (Mg) de raíces por hectárea, aportando en promedio 20% de la biomasa total, con un amplio rango entre 11 y 54%. Estas consideraciones sugieren que necesariamente debe estimarse la biomasa vegetal subterránea siempre y cuando se quieran obtener resultados ajustados a la realidad, pues la medición de la biomasa vegetal aérea solamente, sería una subestimación de la biomasa total del ecosistema.

Creemos que muchos de los métodos tradicionales para estimar biomasa vegetal precisan de la recolección, la cual resulta trabajosa y restringida, especialmente a superficies muy pequeñas, teniendo además como limitante los altos costos que esta práctica representa. Sin embargo, estos métodos son ventajosos porque ofrecen, al contrario de otros, como por ejemplo los indirectos, resultados más reales.

En torno a la aplicación y utilización de los métodos, es importante recalcar, que fue a partir de la segunda mitad del siglo XX, cuando el sistema radicular se comenzó a estudiar en la zona templada con mayor interés (Bray, 1963), como un esfuerzo para entender el ecosistema boscoso como un todo. Mientras tanto, en la zona tropical apenas se han realizado pocos trabajos sobre las características de la biomasa aérea, siendo marcadamente más escasos aquellos relacionados con la cuantificación de la biomasa subterránea.

En los últimos años se han dado avances significativos en la cuantificación de biomasa vegetal subterránea y aérea, específicamente con la utilización de nuevas plataformas tecnológicas como la computación y la percepción remota, sin embargo, con estas tecnologías se esperan mayores refinamientos, que sin duda, se experimentarán en el futuro (Schlesinger, 2000).

Finalmente, después de estudiar y analizar diferentes métodos para estimar biomasa vegetal subterránea, puede señalarse que es factible emprender investigaciones que conlleven a determinaciones suficientemente próximas a la realidad

de dicho componente, aún cuando se parte del principio de que todo método genera cierto margen de error. En todo caso, lo más importante reside en saber seleccionar el más apropiado para cada estima.

REFERENCIAS

- Billings, W. (1977). *Las plantas y el ecosistema*. México: Herrera Hermanos.
- Böhn, W. (1979). *Methods of studying root systems*. New York: Springer-Verlag.
- Bray, J. (1963). *Root production and the estimation of net productivity*. Can. J. Bot, 41, 65 – 72.
- Cañellas, I., y San Miguel, A. (2000). Biomass of root systems of *Quercus coccifera* shrublands in Eastern Spain. *Annals of Forest Science*, 57, 803-810.
- Carvalho, W., García, J., Moreira, D. (2001). Below-ground biomass seasonal variation in two Neotropical savannas (Brazilian Cerrados) with different fire histories. *Annals of Forest Science*, 58, 713-721.
- Curcó, A., Ibáñez, C., Day, J., Prat, N. (2002). Net primary production and decomposition of Salt Marshes of the Ebre Delta (Catalonia, Spain). *Estuaries*, 25, 309-324.
- He, J., Bazzaz, F., Schmid, B. (2002). Interactive effects of diversity, nutrients and elevated CO₂ on experimental plant communities. *Oikos*, 97, 337-348.
- Jordan, C., Escalante G. (1980). Root productivity in an Amazonian rain forest. *Ecology*, 61, 14-18.
- Long, S., García, E., Imbamba, S. (1989). Primary productivity of natural grass ecosystems of the tropics: a reappraisal. *Plant and Soil*, 115, 155-166.
- Mapfumo, E., Naeth, M., Baron, V., Dick, A., & Chanasnyk, D. (2002). Grazing impacts on litter and roots: perennial versus annual grasses. *Journal of Range Management*, 55, 16-22.

- Neill, C. (1992). Comparison of soil coring and in-growth methods for measuring belowground production. *Ecology*, 79, 1822-1825.
- Orrego, S., Del Valle, J., y Moreno, F. (2003). *Medición de la captura de Carbono en ecosistemas forestales tropicales de Colombia*. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.
- Petra, L., Lauenroth, W., & Burke, I. (2002). Effects of nitrogen availability on the growth of native grasses exotic weeds. *Journal of Range Management*, 55, 94-98.
- Rada, F., Goldstein, G., Azocar, R., & Torres, F. (1987). Supercooling along an altitudinal gradient in *Espeletia schultzei*, a caulescent giant rosette species. *Journal of Experimental Botany*, 188, 491-497.
- Range, J., & Gelhaye, D. (2001). Belowground biomass and nutrient content in a 47-year-old Douglas-fir plantation. *Annals of Forest Science*, 58, 423-430.
- Retzlaff, W., Handest, J., O'Malley, D., McKeand, S., & Topa, M. (2001). Whole-tree biomass and carbon of loblolly pine (*Pine taeda*): influence of genetics and fertilization. *Canadian Journal of Forest Science*, 31, 960-970.
- San José, J., Barrade, F., & Ramírez, J. (1982). Seasonal changes of growth mortality and disappearance of belowground root biomass in *Trachypogon savanna* grass. *Acta Ecológica*, 3, 347-358.
- Schlesinger, W. (2000). *Biogeoquímica. Un análisis del cambio global*. Berlin: Ariel Ciencia.
- Scurlock, J., Johnson, K. and Olson, J. (2002). Estimating net primary production from grassland biomass dynamics measurements. *Global Change Biology*, 8, 736-753.
- Sims, P., & Bradford, J. (2001). Carbon dioxide fluxes in a southern plains prairie. *Agricultural and Forest Meteorology*, 109, 117-134.
- Sims, P., Singh, J. (1978). The structure and function of ten western North American grasslands. III Net primary production, turnover and efficiencies of energy capture and water use. *Journal of Ecology*, 66, 73-97.