



Dinámica de la caída de hojarasca en un gradiente sucesional del bosque altoandino Colombiano.

Dynamic of the litterfall in a successional gradient of high andean forest of Colombia.

Murcia R. M. A.

Departamento de Biología, Facultad de Ciencias Básicas, Universidad de Pamplona, Colombia.

Resumen

Se analizó la caída de hojarasca fina (**CHF**) en un gradiente sucesional de bosque altoandino, con modelos lineales mixtos, y con regresión lineal múltiple en relación con variables meteorológicas. En el matorral de 20 años de regeneración natural, el rastrojo de 25, el bosque secundario de 40, el bosque maduro de 50, los bosques maduros tardíos de 60 y 62, y el bosque nativo de 69, cayeron respectivamente $\approx 504, 526, 718, 865, 660, 578$ y $746 \text{ g/m}^2/\text{año}$ de **HF**, en una tendencia no lineal. El recorrido del viento y la evaporación explicaron 58 % de la **CHF** en el matorral; el viento, la temperatura mínima del aire y la evaporación, 77 % en el rastrojo; el viento, el brillo solar y la humedad relativa 73% en el bosque secundario; la humedad relativa y el viento 45% en el bosque maduro; la evaporación, la temperatura mínima, la humedad relativa y el brillo solar 91% en el bosque maduro tardío entre 2010 y 2011, pero la temperatura máxima, la humedad relativa y el viento, 96 % entre 2012 y 2013; mientras que el bosque nativo de Monserrate (Bogotá DC) no se pudo modelar. La **CHF** crece sigmoideamente hasta los 50 años, pero desciende después, y sus oscilaciones dependerían menos de los factores meteorológicos a medida que la sucesión del zonorobioma altoandino avanza.

Palabras clave. Sucesión ecológica, modelos mixtos, respiración edáfica, restauración ecológica, bosque altoandino, cuenca del río Pamplonita.

Abstract

The fine litter fall (**CHF**) in a high Andean forest successional gradient was analyzed by means of linear mix models, and linear multiple regression when related to meteorological variables. In the shrub with 20 years of natural regeneration, the 25 years' stubble, the 40

fell respectively, following a nonlinear trend. The wind range and the evaporation years' secondary forest, the 50 years' mature forest, the 60 and 62 years' late mature forests, and the 69 years' forest, $\approx 504, 526, 718, 865, 660, 578$ y $746 \text{ g/m}^2/\text{year}$ of **HF** explained 58 % of the **CHF** in the shrub; the wind range, the minimum air temperature and the evaporation, 77 % in the stubble; the wind range, the sun bright and the relative humidity, 73% in the secondary forest; la relative humidity and the wind 45% in the mature forest; the evaporation, la minimum temperature, la relative humidity and the sun bright 91% in the late mature forest between 2010 and 2011, but the maximum temperature, the relative humidity and the wind 96 % between 2012 and 2013; meanwhile the native forest in Monserrate (Bogotá DC) could not be modeled. The **CHF** grows sigmoidally up to 50 years, though it declines then, and their oscillations would depend increasingly less to meteorological factors as the succession of the high Andean zonorobiome progresses.

Keywords: Ecological succession, mixed models, soil respiration, ecological restoration, high Andean forest, Pamplonita river basin.

Antecedentes.

Restaurar ecológicamente es reconstruir al máximo posible la estructuralidad y funcionalidad del ecosistema con base en la sinecología (“holista”) histórica y fisiológica, y la autoecología (“reduccionista”) de especies más importantes desde el punto de vista de la producción de hojarasca foliar y de detritus (Murcia 2010). Por lo tanto, el propósito de esta investigación en profundizar y complementar las tendencias sucesionales que se presentan en la franja altitudinal del bosque altoandino (Rangel 2000) con la intención de complementar el marco teórico de la restauración ecológica de los orobiomas neotropicales de Colombia.

Objetivo.

Modelar la tendencia del metabolismo ecosistémico, en la franja altitudinal del bosque altoandino colombiano, a través de la acumulación de la caída de hojarasca (anabolismo) y de la respiración edáfica nocturna (catabolismo) en función del gradiente sucesional de las sinecias fisonómicoestructurales de pastizal, matorral, rastrojo, bosque secundario, bosque maduro, bosque maduro tardío y bosque nativo de edad conocida en la cuencas de los ríos Pamplonita (Norte de Santander), Arzobispo y San Francisco (región de Monserrate, Bogotá DC)

181

Metodología.

Área de estudio

El presente estudio se realizó en la Reserva Natural El Volcán, Municipio de Pamplona (Norte de Santander, Colombia). La reserva se localiza en la cuenca alta del río Pamplonita, entre 2970 y 3450 m de altitud, con coordenadas geográficas (7° 20' 57.4" N, 72° 42' 12.2" W), y una extensión aproximada de 590 hectáreas (Murcia et al 2012). La región de Monserrate, cerca de Bogotá DC, se localiza a los 4° 36' N y 7° 02': el bosque nativo se sitúa entre los 3125 y 3250 msnm; el bosque de Eucaliptos entre 3050 y 3100 msnm, con una edad de regeneración natural de 69 años (Arenas 1995); mientras que, el pinar de *Pinus patula* entre 3219 y 3246 msnm con una edad de siembra de 16 años (Hernández y Murcia 1995).

La caída de hojarasca fina (hojas, ramas, troncos, estructuras reproductivas, líquenes y detritus) se determinó según lo propuesto por Vitousek (1984), Arenas (1995), Hernández y Murcia (1995) y Murcia (2010): se ubicaron aleatoriamente veinte recolectores de hojarasca a lo largo de un transecto de 100 m x 20 m sujetos a los arbustos a 70 cm del suelo. Estos fueron fabricados en lona plástica doble capaz de retener material vegetal de 0,1 mm y permitir drenar el agua lluvia. Las lonas se cosieron y se fijaron con un anillo de alambre dulce formando una trampa de 50 cm de profundidad, 50 cm de diámetro y 0,2 m² de área de colección. El material recogido se pesó en fresco y seco en balanza con precisión de 0,01mg.

La tasa de respiración edáfica (TRE) se calculó según el comportamiento anual de la concentración de dióxido de carbono con la "caja invertida" de Walter y Haber (1957) descrita por Medina y Zelwer (1972) y empleada por Cavelier y Peñuela (1990) en bosques de niebla y caducifolios en la Serranía de Macuira, Colombia. Se usaron frascos de compota con 10 ml de KOH 0,5 N (Murcia y Ochoa 2008) puestos en un trípode metálico de 2 a 3 cm sobre el suelo, cubiertos con cilindros de acero inoxidable de 30 cm de longitud y 15 cm de diámetro sellados con suelo alrededor del margen más bajo; existiendo una relación de 15:1 entre el área de emisión del suelo y el área de absorción de la solución (Cavelier y Peñuela 1990). Se distribuyeron cinco cilindros al azar y cercanos a los recolectores de hojarasca (Murcia 2010). Los cilindros invertidos se dejaron expuestos durante el día (desde las 6:00 hasta las 18:00 h) y la noche (desde las 18:00 hasta las 6:00 h) para determinar el comportamiento de la concentración de CO₂. Después de la exposición, el CO₂ fijado por el KOH se determinó por titulación con solución de H₂SO₄ 0,1 N, usando un titulador automático 702 SM Tritino. Se muestreó una vez por mes durante el año 2006 para un total de 360 titulaciones por fase sucesional en la cuenca del río Pamplonita. Los valores obtenidos de CO₂ se multiplicaron por 4/3

182

para nivelarlos con los que se habrían detectado mediante análisis de gases en el infrarrojo (Haber 1958, Medina y Zelwer 1972, Medina et al. 1980)

Análisis estadísticos.

La caída de hojarasca total (CHT) y las tasas de respiración edáficas nocturnas (TREN), acumuladas en el tiempo (años), y sus respectivas razones de cambio lineales (RC) se relacionaron con el tiempo de regeneración natural de las fases sucesionales del bosque altoandino (décadas) a través de modelos de regresión univariados de tipo no lineal; mientras que, la relación entre la TREN y la CHT se determinó por regresión lineal simple. Los estadísticos de prueba, que validan los modelos de regresión y sus respectivos parámetros, fueron determinados mediante el uso del programa SPSS versión 22 (2013)

Resultados y Discusión.

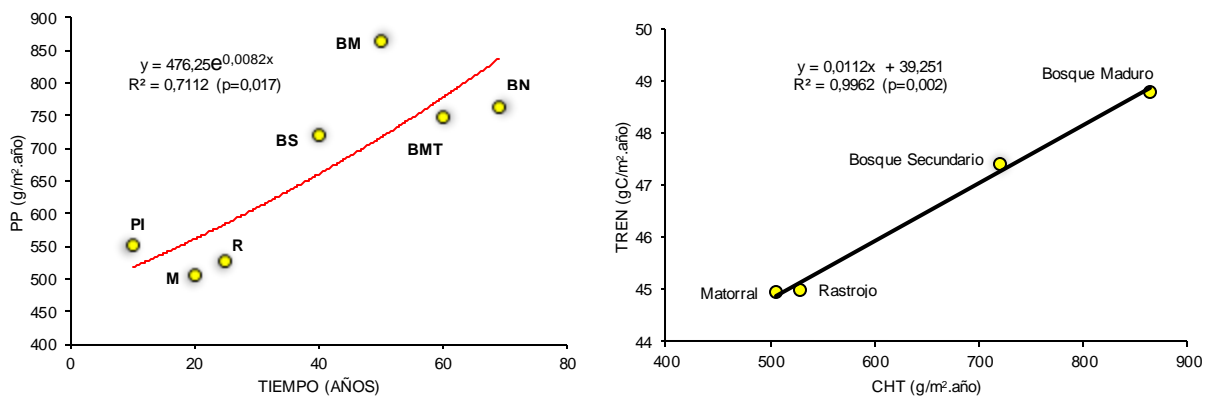
La productividad primaria de las fases sucesionales del bosque altoandino, en el ámbito cordillerano de Colombia, exhibió una marcada tendencia a incrementarse exponencialmente con respecto al paso del tiempo de quietud o regeneración natural: donde el matorral y el bosque maduro altoandino se ubican en los extremos (figura 1a). El pinar de *Pinus patula* supera notoriamente la producción de hojarasca del matorral debido a su alta densidad de siembra (Hernández y Murcia 1995). El bosque maduro tardío de *Miconia orcheotoma* y *Weinmannia fagaroides*, con 60 años (Caicedo et al 2012), se ubicó muy por debajo de la producción del bosque maduro de 50 años de *Schefflera* sp. y *Clusia multiflora* (Murcia 2010) con una diferencia de casi 116 g/m².año. Esta diferencia contrasta con lo esperado por el modelo polinómico propuesto por Murcia (2010), ya que se esperaría un valor promedio de alrededor de 900 g/m².año, es decir, 152,5 g/m².año de desfase. Sin embargo, la inclusión del bosque maduro tardío permitió tener una visión más completa y compleja de la posible tendencia sucesional. Estamos a la espera de nuevos registros en esta comunidad para el 2012-2013.

Si se relaciona las razones de cambio (RC: g/m².día) con el gradiente sucesional se puede apreciar una clara tendencia a variar con una amplitud marcada de tipo polinómico, en la cual las primeras fases sucesionales del bosque altoandino tienden a acelerar sus velocidades de producción segregándose así de las últimas que tienden a exhibir un comportamiento desacelerado (figura 1c), de tal forma que el bosque maduro tardío ahora solo está desfasado en aproximadamente 0,1 unidad de RC y no como lo predecía el modelo de Murcia (2010) que tenía un desfase de 0,2 unidades de RC que es el equivalente a la diferencia entre las dos últimas fases sucesionales del bosque altoandino en la cuenca del río Pamplonita.

La caída de hojarasca total (CHT) en las fases sucesionales del bosque altoandino, en la cuenca alta del río Pamplonita, se relacionó estrecha y directamente con sus

respectivas tasas de respiración edáficas nocturnas (figura 1b): ordenando el matorral y el rastrojo en la parte inferior del gradiente de sucesión, mientras el bosque secundario quedó circunscrito a la parte media y el bosque maduro a la superior (Murcia 2010). Este tipo de relación también permitió, mediante el comportamiento multianual de la caída de detritus, determinar que las tasas de respiración edáficas en el matorral altoandino durante el 2005 podrían ser 50% mayores que el 2006 (Murcia et al 2012).

Con base en la ecuación de la figura 1b, se configuró la tendencia hipotética del comportamiento sucesional de la respiración del suelo nocturno en algunas fases serales de la cordillera oriental de Colombia incluyendo el pinar de *Pinus patula* (figura 1d): en contraste con modelo productivo, la liberación del CO₂ del suelo a la atmosfera, en la franja altoandina, tiende a incrementarse asintóticamente alrededor de los 51,11 gC/m².año en un periodo de aproximadamente 120 años. Esta modelación esta intuitivamente coherente con lo que Kira & Shidei (1967) predijeron en selvas bajas del Asia Suroriental. Sin embargo, una característica notoria del bosque maduro, de 50 años de regeneración natural en la cuenca alta del río Pamplonita, es la presencia de una gran cantidad de epifitas vasculares (Murcia 2010) que podrían estar reciclando el exceso de CO₂ edáfico que se produce durante la noche debido a su metabolismo CAM, y así actuar como un verdadero sumidero de carbono. No obstante, conviene analizar más comunidades de bosque maduro mucho más tardías como de matorrales mucho más jóvenes.



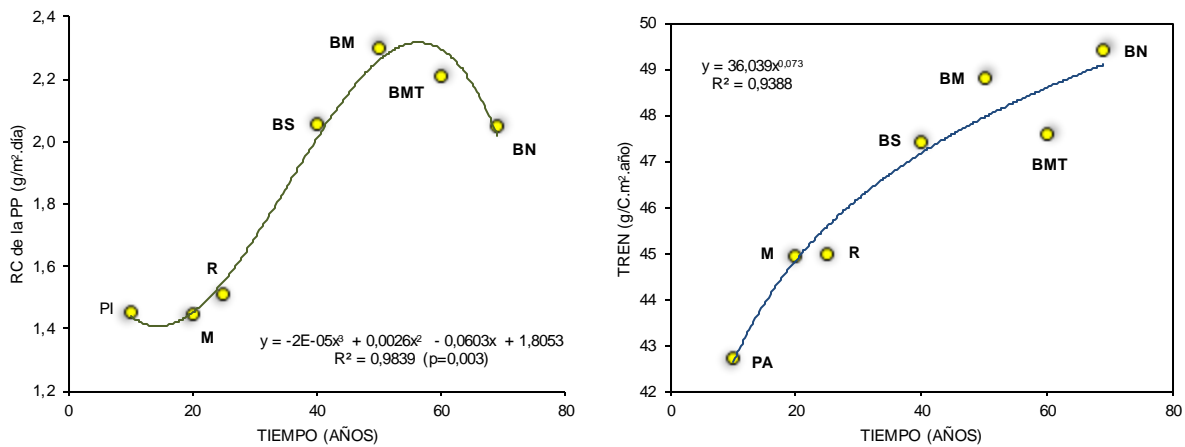


Figura 1. Tendencia sucesional de (a) la productividad primaria anual, (b) relación entre la tasa de respiración edáfica nocturna y la caída de hojarasca total anual, (c) las razones de cambio de la productividad primaria diaria y (d) de las tasas de respiración edáficas nocturnas en la franja de bosque altoandino de la cordillera oriental de Colombia. (PI: pinar, PA: pastizal, M: matorral, R: rastrojo, BS: bosque secundario, BM: bosque maduro, BMT: bosque maduro tardío, BN: bosque nativo)

Conclusiones.

Las razones de cambio (RC: g/m².día) son mucho más robustas que las constantes de las ecuaciones de regresión y menos susceptibles de variación lo cual permiten visualizar más claramente la tendencia y la complejidad de la gran variabilidad sucesional del bosque altoandino. Mientras que, las tasas de respiración edáficas nocturnas (TREN) permiten modelar la tendencia de todas las posibles fases serales de la franja del bosque altoandino de Colombia.

Referencias Bibliográficas.

Arenas, H. 1995. Dinámica de la hojarasca en un bosque nativo altoandino y en un bosque de eucaliptos en la Región de Monserrate, Colombia. En: Mora L.E. & H. Sturm (editores). Estudios ecológicos del páramo y del bosque altoandino cordillera Oriental de Colombia, Tomo II. Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Colección Jorge Álvarez Lleras 6:457-484.