

ARTÍCULO CIENTÍFICO

Lavado de nutrientes en plantaciones forestales de *Vochysia ferruginea* Mart. y *Vochysia guatemalensis* Donn. Sm., Sarapiquí, Costa Rica

César Jiménez Rodríguez¹
Julio César Calvo Alvarado¹
Dagoberto Arias Aguilar¹

Resumen

Este estudio evaluó la incorporación de nutrientes de la precipitación bruta (Pb) y el lavado de copas de un bosque secundario y de plantaciones forestales de *Vochysia guatemalensis* Donn. Sm. y *Vochysia ferruginea* Mart. en la Estación Biológica La Selva, Sarapiquí, Costa Rica. Se analizaron las concentraciones en mg/l de los nutrientes NH_4^+ , NO_3^- , K^+ , Ca^{2+} y Mg^{2+} , el pH y la conductividad eléctrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$). Los valores de pH y conductividad eléctrica del agua de lluvia, se incrementaron en su paso a través de las hojas y ramas de los árboles, debiéndose principalmente al aumento de bases, en donde el pH y la CE de la precipitación bruta fueron los valores más bajos. El bosque secundario mostró una remoción del 23.8% del NH_4^+ incorporado por la Pb mientras que *Vochysia ferruginea* removió el 21% del NO_3^- presente en la Pb; ambas retenciones se pueden originar por los requerimientos fisiológicos en la época de fructificación de los árboles dominantes en ambos ecosistemas y la posible presencia de hongos y bacterias que modificaron las formas complejas del nitrógeno a otras más sencillas. El lavado de elementos como K^+ , Ca^{2+} y Mg^{2+} se puede asociar con la deposición de partículas sólidas en las superficies del follaje y ramas.

Palabras clave: Lavado de copas, Remoción de nutrientes, *Vochysia ferruginea*, *Vochysia guatemalensis*, Bosque secundario, Lluvia, Costa Rica.

Abstract

Nutrient leaching from forest plantations of *Vochysia ferruginea* Mart. and *Vochysia guatemalensis* Donn. Sm., Sarapiquí, Costa Rica. In this study, nutrient incorporation by gross precipitation and throughfall was evaluated for two forest plantations of *Vochysia guatemalensis* Donn. Sm. and *Vochysia ferruginea* Mart. and a secondary forest in La Selva Biological Station, Sarapiquí, Costa Rica. Concentrations, in mg/l, of NH_4^+ , NO_3^- , K^+ , Ca^{2+} and Mg^{2+} were analyzed, in addition to the pH and the electrical conductivity ($\mu\text{S}/\text{cm}$). The values for pH and electrical conductivity in the rainwater increased as it passed through the canopy, due mainly to the increase in base cations concentrations, where the lowest values were found to be in the gross precipitation. The secondary forest showed a removal of 23.8% NH_4^+ of the input, incorporated by the rainfall, while *Vochysia ferruginea* removed 21% of the NO_3^- found in the gross precipitation; both reductions can be associated with physiological plant demands during the fructification stage of the dominant trees in both ecosystems and possibly, due to the presence of bacteria and fungi that could modify the forms of nitrogen from complex to simpler forms. The leaching of K^+ , Ca^{2+} and

¹ Instituto Tecnológico de Costa Rica, Escuela de Ingeniería Forestal. jcalvo@itcr.ac.cr (autor para correspondencia).

Mg²⁺ from the canopy could be explained by the deposition of aerosol particles on foliage and branches between periods of rain.

Key words: Throughfall, Nutrient leaching, *Vochysia ferruginea*, *Vochysia guatemalensis*, Secondary forest, Rainfall, Costa Rica.

INTRODUCCIÓN

El crecimiento de rodales puros, como las plantaciones forestales, se encuentra limitado por la disponibilidad de nutrientes, los cuales pueden afectar el crecimiento de los árboles si se presenta un exceso o déficit de los mismos (Binkley, 1993; Campo, 2003). En este tipo de ambientes, la exportación de nutrimentos generada por la remoción de materia orgánica y la biomasa puede superar las reservas de estos ecosistemas, poniendo en juego la sostenibilidad nutricional de las plantaciones (Gómez y Calvo, 2005).

La dinámica de los nutrientes en los ecosistemas se encuentra íntimamente relacionada con el ciclo hídrico en lo referente a lavado de nutrientes (McDowell, 1998); la presencia de eventos ácidos puede influir en el tipo de elementos que se movilizan del dosel (HouBao *et al*, 1999) o bien, el paso del agua a través de las hojas y ramas puede remover cantidades importantes de cationes básicos; sin obviar la relación existente en muchos casos de la disminución de concentración de nutrientes conforme aumenta el volumen del agua (McDowell, 1998; Filoso, Williams y Melack, 1999; Xue, 1996). Se ha documentado que el 28% del total de nutrientes son lavados en los primeros 5 mm de lluvia en las tormentas (Burch, Waldner y Fritschi, 1996), mostrando la relación directa que tiene el agua de lluvia en la movilización de elementos dentro de los ecosistemas.

El lavado de nutrientes en las regiones tropicales, ha sido objeto de estudio en bosques húmedos (Filoso, Williams y Melack, 1999; McDowell, 1998; Tobón, Sevink y Verstraten, 2004), bosques secos (Campo, 2003), bosques montanos (Schmid, 2004), entre otros. Sin embargo, en plantaciones forestales ha sido ampliamente desarrollada en las zonas templadas (Xue, 1996; HouBao *et al*, 1999; Chiwa *et al*, 2004; Gómez y Calvo, 2005). Estos estudios muestran la importancia que tiene la incorporación de nutrientes en los ecosistemas por medio del ciclo hidrológico.

En Costa Rica, se han realizado estudios nutricionales con un grupo importante de especies nativas como *Vochysia guatemalensis* Donn. Sm., *Jacaranda copaia* (Aubl.) D. Don, *Virola koschnyii* Warb. y *Vochysia ferruginea* Mart., los cuales se enfocan principalmente en el ciclaje de nutrientes por medio de la dinámica de la biomasa en plantaciones puras y mixtas (Arias y Calvo, 2003; Montagnini *et al*, 1991; Montagnini, 2001; Montagnini *et al*, 2004), pero no existe información relativa al lavado de nutrientes en estas especies, ni en las tasas de incorporación a través de la lluvia y su efecto en el suelo.

Schroth *et al* (2001), mencionan que la cuantificación de los flujos de nutrientes es un paso importante en el desarrollo de sistemas de manejo sostenible de la tierra, especialmente en los suelos de baja fertilidad como es el caso de los órdenes Ultisoles y Oxisoles, en los cuales, la manutención nutricional se basa principalmente en los procesos de ciclaje más que en la disponibilidad de los mismos (Montagnini y Jordan, 2002). En Costa Rica, el 39% de los suelos se clasifican como Ultisoles (Ortiz, 2000) y una gran parte se distribuye en las zonas Norte y Atlántica del país, sitios con características aptas para el desarrollo de plantaciones forestales con especies nativas y exóticas; donde la dinámica relacionada con nutrientes de los flujos de agua es poco conocida.

El objetivo de la presente investigación es valorar la incorporación de nutrientes mediante el lavado de copas en dos plantaciones forestales de *Vochysia guatemalensis* Donn. Sm. y *Vochysia ferruginea* Mart., en comparación con la remoción de nutrientes de un bosque secundario maduro.

MATERIALES Y MÉTODOS

Sitios de estudio

Los sitios de estudio se encuentran dentro de la Estación Biológica La Selva en Puerto Viejo de Sarapiquí, Heredia, Costa Rica ($10^{\circ}26'N$, $83^{\circ}59'W$) en la Zona de Vida Bosque Muy Húmedo Tropical, según la Clasificación de Zonas de Vida de Holdridge (Ortiz, 2000). Se seleccionaron dos plantaciones forestales de *Vochysia guatemalensis* Donn. Sm. (cebo) y *Vochysia ferruginea* Mart. (botarrama) y un bosque secundario (Figura 1). El área presenta una temperatura media mensual de $25^{\circ}C$ y una precipitación media anual de 4 429 mm.

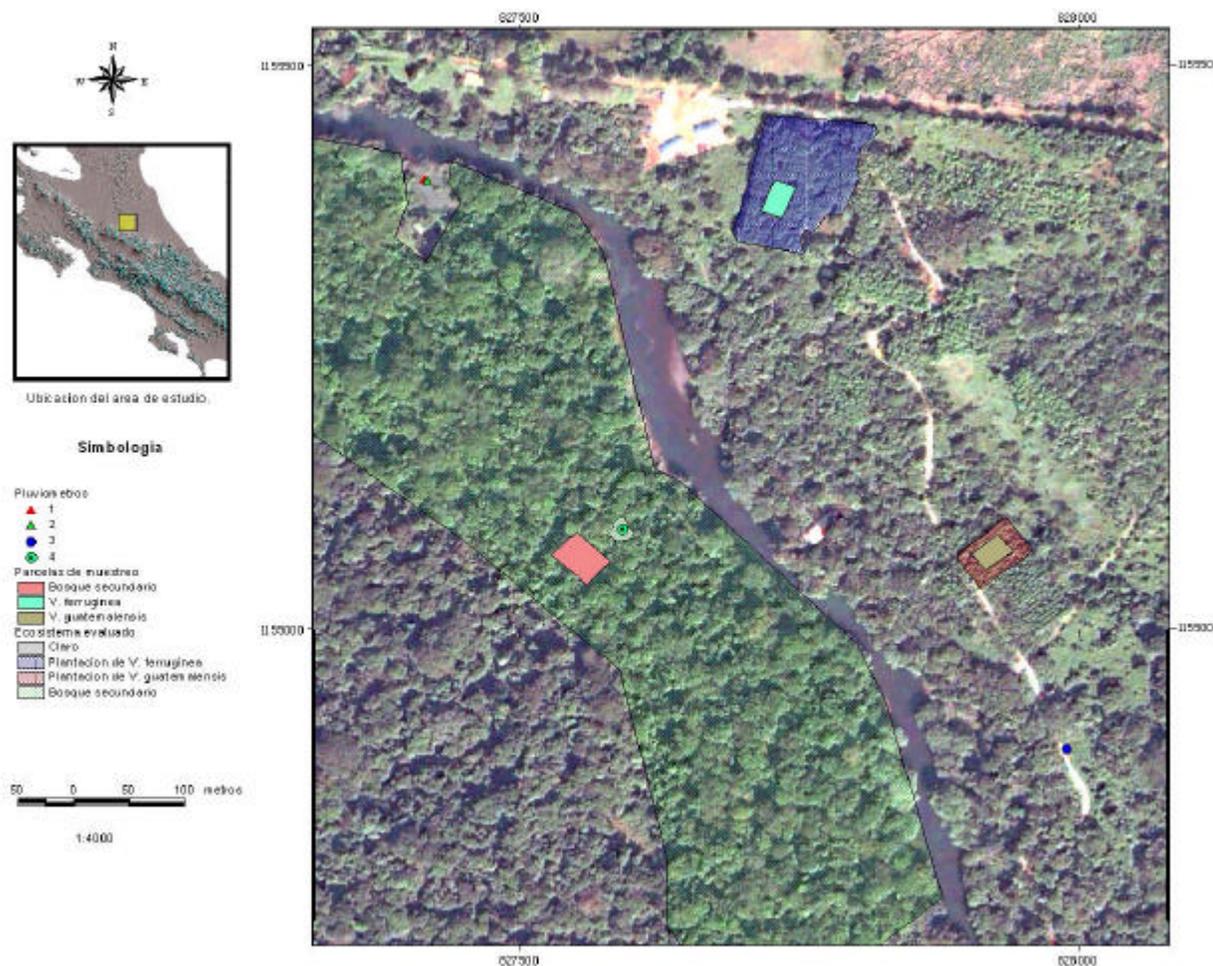


Figura 1. Ubicación de las parcelas dentro de los sitios de estudio en la estación biológica La Selva, Puerto Viejo de Sarapiquí, Costa Rica. 2005.

Las plantaciones de *V. guatemalensis* y *V. ferruginea* tienen 11 y 12 años respectivamente (Carvajal, 2004) y fueron establecidas a una densidad inicial de 625 árboles por hectárea (n/ha); en ambas especies no se han aplicado podas o raleos. Las plantaciones presentaban en el año 2005 una supervivencia del 98.7% para *V. guatemalensis* con 36.6 m²/ha, mientras que en *V. ferruginea* el 77.3% de los árboles se encontraban vivos con un área basal de 26.9 m²/ha. Debido al rápido crecimiento de ambas especies y a la falta de un manejo silvicultural adecuado, las copas de los árboles abarcaban un alto porcentaje del área total, donde *V. guatemalensis* muestra un 79.6% y *V. ferruginea* un 84.2% de cobertura de copas (Carvajal, 2004). El bosque secundario es el que presenta la mayor cobertura de copas (93.2%).

El ecosistema secundario estudiado tiene un área basal de 36.45 m²/ha y una densidad de 1058 n/ha (dap = 5 cm). Se encontraron 36 especies, siendo las más importantes en la estructura horizontal del bosque: *Castilla elastica* Sesse con un área basal de 15.16 m²/ha y *Prestoea decurrens* (H. Wendl. ex) Burret H. con una densidad de 408.3 n/ha (Cuadro 1). El bosque secundario presenta tres estratos verticales bien definidos, a diferencia de las plantaciones forestales, las cuales presentan solo un estrato dominado por la especie plantada. En este bosque, *Prestoea decurrens* (H. Wendl. ex) Burret H. domina el sotobosque y el estrato medio, mientras que *Castilla elastica*, *Bursera simarouba* (L.) Sarg. y *Virola koschnyii* Warb. dominan el dosel, alcanzando más de 25 m de altura.

Con respecto a las condiciones de sitio, el bosque secundario está ubicado sobre terrenos dedicados al cultivo de cacao que fueron abandonados hace aproximadamente 25-30 años. Ambas plantaciones fueron establecidas en áreas de pastoreo (Proyecto de Investigación: Domesticación de Especies Nativas de la Organización de estudios Tropicales, OET). Tanto el bosque secundario como la plantación de *V. guatemalensis*, están localizados sobre el área de inundación del río Puerto Viejo, mientras que la especie *V. ferruginea* está sobre una loma aleadaña al mismo río.

Cuadro 1. Estructura horizontal de un bosque secundario (dap = 5 cm) por medio de los valores de área basal (m²/ha) y densidad (n/ha). La Selva, Puerto Viejo de Sarapiquí, Costa Rica. 2005.

Especie	Área basal		Especie	Densidad	
	(m ² /ha)	(%)		(n/ha)	(%)
<i>Castilla elastica</i>	15.16	41.59	<i>Prestoea decurrens</i>	408.3	38.58
<i>Bursera simarouba</i>	7.23	19.84	<i>Virola koschnyii</i>	100.0	9.45
<i>Virola koschnyii</i>	2.60	7.14	<i>Castilla elastica</i>	58.3	5.51
<i>Bravaisia integerrima</i>	1.52	4.17	<i>Bravaisia integerrima</i>	33.3	3.15
<i>Prestoea decurrens</i>	1.37	3.75	<i>Socratea exorrhiza</i>	33.3	3.15
<i>Sloanea geniculata</i>	1.33	3.64	<i>Geonoma interrupta</i>	33.3	3.15
<i>Tapirira guianensis</i>	0.93	2.55	<i>Piper reticulatum</i>	33.3	3.15
<i>Casearia corymbosa</i>	0.83	2.29	<i>Theobroma cacao</i>	25.0	2.36
<i>Pterocarpus rohrii</i>	0.76	2.09	<i>Virola sebifera</i>	25.0	2.36
<i>Inga sapindioides</i>	0.64	1.75	<i>Pachira aquatica</i>	25.0	2.36
Otras 26 especies	4.08	11.20	Otras 26 especies	283.3	26.77
Total	36.45	100	Total	1058	100

Diseño experimental

Precipitación de copas

En el bosque secundario se estableció una parcela de 1200 m² (30 m x 40 m), la cual fue dividida en 120 sub-parcelas de 10 m² (2 m x 5 m) distribuidas en dos secciones paralelas de 20 filas y tres columnas; se asignó a cada fila un pluviómetro circular de 103.87 cm², para un total de 40 colectores bajo el dosel del bosque. Dentro de la parcela se distribuyeron aleatoriamente los pluviómetros cada 10 eventos (aguaceros), utilizando una asignación de números al azar del 1 al 3 para cada fila en cada columna, con el fin de disminuir el error aportado por el dosel.

En las plantaciones forestales se establecieron las parcelas de 600 m² (30m x 20m) utilizadas por Carvajal (2004) en su estudio de intercepción de precipitación, se distribuyeron 15 pluviómetros circulares de 122.72 cm² para cada especie.

Para disminuir el crecimiento de hongos dentro de los recipientes colectores de precipitación de copas, se procedió a pintarlos de color negro para evitar la incidencia de luz en el contenido de agua de los mismos; mientras que los pluviómetros ubicados en el bosque secundario no requirieron de esta práctica por su tonalidad oscura.

Precipitación bruta

La precipitación bruta fue colectada por medio de cuatro pluviómetros; tres de ellos circulares de 103.87 cm² colocados a 1.8 m de altura en dos áreas abiertas de pasto, el cuarto era un colector circular de 314.16 cm², puesto a 10 m de altura en un claro aledaño a la parcela del bosque secundario.

Toma y preparación de muestras

El estudio se llevó a cabo entre el 4 de agosto y el 20 de octubre del 2005; durante este periodo se recopilaron 36 eventos para el análisis de lavado de nutrientes en las plantaciones y el bosque secundario. La recolección de datos se realizó diariamente; la información de precipitación bruta fue registrada en el mismo momento en que se colectaron las muestras de agua para el estudio de lavado de nutrientes, tanto para la precipitación bruta como para la precipitación de copas del bosque secundario.

En el estudio de lavado de nutrientes, se recolectaron por cada aguacero tres muestras de lavado de copas (una para el bosque y una por plantación) y una muestra de precipitación bruta, para un total de cuatro muestras por evento. Éstas fueron filtradas en el laboratorio de la Estación Biológica y se les determinó la conductividad eléctrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$) y el pH por medio de un pH-conductímetro OAKTON 10 portátil. Se envasaron 250 ml de cada muestra y se refrigeraron a 18°C hasta su traslado a San José, Costa Rica.

De los 39 eventos en que se recopilaron muestras de agua, se seleccionaron diez eventos para realizarles los análisis químicos; dichos eventos fueron seleccionados con base en la distribución del tamaño de la precipitación bruta muestreada; en total se seleccionaron 10 eventos distribuidos de la siguiente forma: tres muestras para lluvias entre 0–20 mm, dos muestras para 20-40 mm, tres muestras para 40-60 mm, una muestra para la categoría 80-100 mm y una muestra para la categoría 100-120 mm. Las muestras seleccionadas se llevaron al Laboratorio de Suelos y Foliare de la Compañía Costarricense del Café S.A., donde se estimaron las concentraciones en mg/l de los nutrientes: N-NH₄, N-NO₃, K, Ca y Mg.

Análisis de datos

Se estimó la **Incorporación de Nutrientes (IN)**, mediante los valores de concentración de nutrientes en la precipitación de copas y en la precipitación bruta², haciendo uso de la ecuación:

$$IN = Cn_{\text{variable}} - Cn_{\text{pb}}$$

(Cn_{variable} es la concentración del nutriente a evaluar en mg/l y Cn_{pb} es la concentración en mg/l presente en la precipitación bruta).

Valores de incorporación de nutrientes positivos representan incorporación de nutrientes, mientras que los negativos hacen referencia a la remoción de nutrientes.

Se procedió a comparar el efecto de los árboles sobre los valores del pH y CE de la precipitación bruta y los otros flujos de agua y, la variación en función del tamaño de las precipitaciones de estas dos variables. El lavado de nutrientes fue valorado a través del IN.

Para los análisis estadísticos, se utilizó el programa JMP 5.1.2, para valorar la normalidad de los datos y hacer los análisis de varianza; para aquellas variables que presentaban diferencias, se les aplicó la prueba de medias de TUKEY para determinar los grupos homogéneos ($p = 0,05$).

RESULTADOS

Los valores de la incorporación de nutrientes por medio de la precipitación bruta, son congruentes con algunos de los valores anuales publicados por Parker (1994), donde los valores de pH, CE y concentración de los nutrientes Ca^{2+} , Mg^{2+} y K^+ , se encontraban cercanos a los reportados para el área; mientras que la incorporación de NH_4^+ y NO_3^- se mostró mayor en este muestreo (Cuadro 2).

Cuadro 2. Valores promedio y desviación estándar de la incorporación de nutrientes del presente estudio y Parker (1994).

Variable	Incorporación de nutrientes			
	Parker		Presente estudio	
	x	s	x	s
pH	5.15	0.35	5.58	0.33
CE	14.3	10.4	10.46	5.75
Ca^{2+}	0.144	0.182	0.181	0.317
Mg^{2+}	0.108	0.145	0.120	0.120
K^+	0.505	1.160	0.240	0.759
NH_4^+	0.036	0.088	0.211	0.319
NO_3^-	0.021	0.050	0.100	0.087

El pH de la precipitación bruta mostró un valor de 5.58 y aumentó significativamente en su paso por las copas de los árboles en el bosque y las plantaciones, hasta alcanzar valores de pH de la precipitación bruta de 5.58 a 5.83 en *V. ferruginea*, a 5.98 en *V. guatemalensis* y a 5.96 en el bosque secundario; dichos valores no presentaron diferencias significativas entre sí. Esta

² Los valores de trazas (tr) en las concentraciones de nutrientes fueron tomados como 0 mg/l.

tendencia de incremento del pH en su paso por hojas y fustes, también ha sido documentada en diferentes ambientes alrededor del mundo (HouBao *et al*, 1999; Laclau *et al*, 2003, Chiwa *et al*, 2004), donde se incrementa el pH, debido al intercambio catiónico mostrado con la adición de Ca^{2+} , Mg^{2+} y K^+ , los cuales son removidos de las superficies de las hojas, ramas, frutos y flores de los árboles (Cuadro 3).

Cuadro 3. Valores promedio del pH, conductividad eléctrica (CE) e incorporación de nutrientes en la precipitación bruta y el lavado de copas del bosque secundario y las plantaciones forestales de *Vochysia ferruginea* y *Vochysia guatemalensis*. Estación Biológica La Selva, Sarapiquí, Costa Rica. 2005.

Ecosistema	n	pH	CE ($\mu\text{S/cm}$)	n	Nutrientes				
					NH_4^+ (mg/l)	NO_3^- (mg/l)	K^+ (mg/l)	Ca^{2+} (mg/l)	Mg^{2+} (mg/l)
Precipitación Bruta	36	5.58 ^a	10.46 ^a	10	0.21	0.10 ^a	0.24	0.18 ^a	0.12 ^a
<i>Vochysia ferruginea</i>	36	5.83 ^b	16.49 ^b	10	0.01	-0.02 ^b	0.48	0.18 ^{ab}	0.12 ^{ab}
<i>Vochysia guatemalensis</i>	36	5.98 ^b	14.37 ^b	10	0.02	0.15 ^a	0.14	-0.001 ^b	0.10 ^{ab}
Bosque secundario	36	5.96 ^b	26.44 ^c	10	-0.05	0.46 ^a	1.92	0.76 ^a	0.31 ^b

Nota: valores en la misma columna con diferente literal presentan diferencias significativas ($p = 0.05$).

Por otra parte, la conductividad eléctrica se ha relacionado linealmente con la concentración de iones neutralizadores en el agua de lluvia y del lavado de copas como lo son el Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} y NH_4^+ (HouBao *et al*, 1999); no obstante, las relaciones lineales obtenidas en este estudio indican valores de correlación (r) inferiores a 0.7, lo cual se pudo deber al faltante de información de Na^+ en los análisis químicos y al bajo número de muestras colectadas.

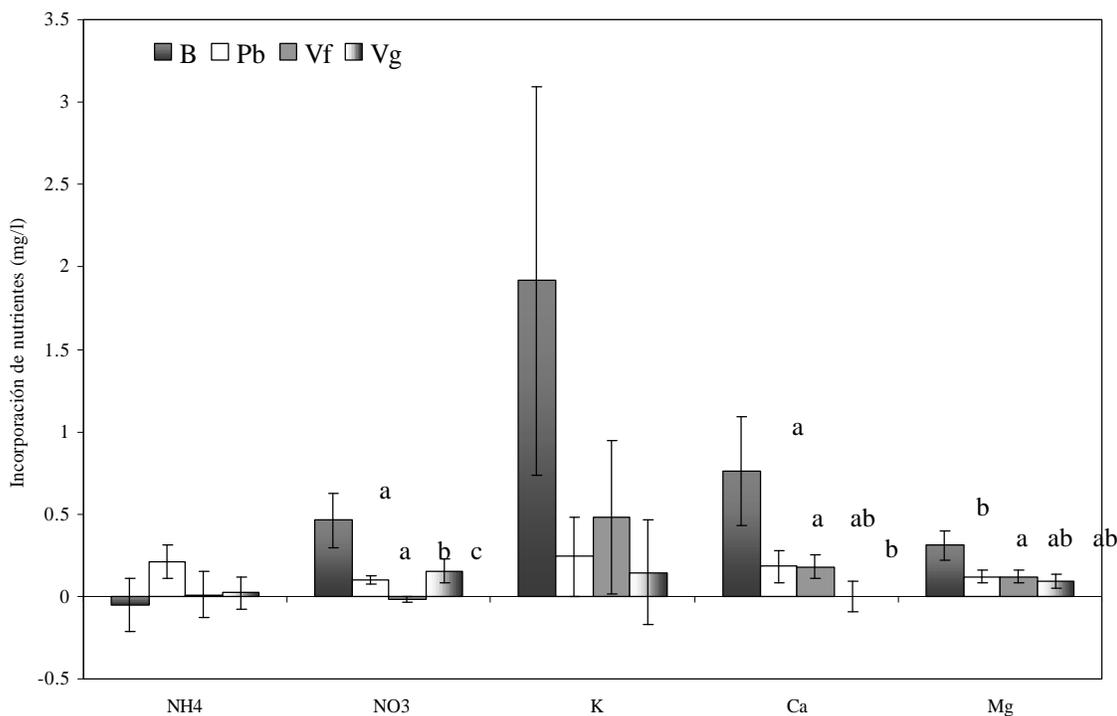
Con respecto a la absorción de nutrientes por su paso por las hojas, es importante destacar que todas las plantas tienen la capacidad de absorber los elementos que requieren para sus procesos fisiológicos mediante los estomas, ectodesmos y cutícula de las hojas, que son estructuras que por medio de la difusión y captura logran obtener un suplemento alimenticio importante (Ramírez, 2005). Dicha absorción se ve favorecida por condiciones de alta humedad relativa, como la que se obtiene durante y después de las lluvias y de pH entre el 4.5 – 6, ámbito en el que se encuentra el pH de la precipitación bruta observada durante el muestreo (5.58).

Una tendencia importante de mencionar, es la remoción de compuestos presentes en el agua de lluvia, en su paso por las copas de los árboles, como el caso del NH_4^+ en el bosque y el NO_3^- en la plantación de *V. ferruginea* y el bosque. Para el primer nutriente no se mostraron diferencias significativas entre el lavado de copas del bosque y plantaciones con la precipitación bruta, pero muestra una remoción del 23.8% (0.05 mg/l) de lo aportado por la precipitación bruta, mientras que la sustracción mostrada por la plantación de *V. ferruginea* de NO_3^- mostró diferencias significativas con las demás variables, removiendo el 21% (0.021 mg/l) de lo incorporado por la precipitación bruta (Cuadro 3).

El comportamiento anterior se puede deber a dos factores que tienen una fuerte influencia en el ciclo del nitrógeno: el primero hace referencia a la oxidación microbiana producida en la superficie de las hojas, en la cual el amonio es reducido a nitratos, agua e iones libres de hidrógeno de la siguiente forma: $\text{NH}_4^+ + 2\text{O}_2 \Rightarrow \text{NO}_3^- + \text{H}_2\text{O} + 2\text{H}^+$ (Binkley, 1993), donde la reducción del amonio a nitratos, con la subsecuente liberación de hidrógeno podría influir en el aumento del nitrato incorporado por el bosque, el cual es 4.6 veces mayor al de la precipitación bruta (Cuadro 3), lo cual explica parcialmente la disminución de amonio y el aumento de nitratos en este ecosistema.

La segunda hipótesis de la absorción de estos compuestos nitrogenados (NH_4^+ y NO_3^-), se puede originar por el requerimiento de nitrógeno que tienen las plantas en su crecimiento, principalmente en la época de producción de frutos, los cuales son muy ricos en nitrógeno (Binkley, 1993) y los árboles de *V. ferruginea* se encontraban fructificados, al igual que las especies *Prestoea decurrens* (H. Wendl. ex) Burret H. y *Bursera simarouba* (L.) Sarg. del bosque secundario. Estas dos especies son dominantes para este ecosistema, elevan los requerimientos de este nutriente, lo que disminuye la cantidad de nitrógeno incorporado por la precipitación bruta y retenida en los árboles.

La adición de bases como el K^+ , Ca^{2+} y Mg^{2+} presentes en el lavado de copas del bosque y las plantaciones (Cuadro 3, Figura 4), pueden originarse de dos fuentes, la primera de ellas es la deposición seca producida por el viento y la actividad biológica de organismos en las copas de los árboles, la cual ha sido documentada en diversas regiones del mundo (Laclau *et al*, 2003; Tobón *et al*, 2004; Xue, 1996; Filoso *et al*, 1999); mientras que la segunda hace referencia a la movilización de los nutrientes que conforman los tejidos vegetales, a la cual se ha hecho mucha referencia pero no se han encontrado estudios que cuantifiquen el intercambio neto realizado por las plantas.



Nota: barras con diferente literal en el mismo nutriente presentan diferencias significativas ($p = 0.05$)

Figura 4. Valores promedio y error estándar ($p = 0.05$) de la incorporación de nutrientes del lavado de copas. Valores para el bosque secundario (B), plantaciones forestales (Vg, Vf) y precipitación bruta (Pb), en la Estación Biológica La Selva, Puerto Viejo de Sarapiquí, Costa Rica. 2005.

Por otra parte, de acuerdo la teoría de la movilidad de nutrientes presentes en los tejidos vegetales, al agua de lluvia podría lavar el potasio del follaje dado que es un elemento de mucha movilidad dentro de las plantas, ya que su función como regulador osmótico de la planta facilitaría su paso de las estructuras celulares con mayor concentración al agua de lluvia, la cual se muestra deficiente en K^+ (Binkley, 1993; Levia, 2003) (Cuadro 2).

El lavado de Mg^{2+} en el bosque secundario, muestra altas concentraciones en relación a lo aportado por la precipitación bruta; este flujo de agua se enriquece en su paso por las hojas y ramas, en donde la remoción de este elemento se puede originar por la incorporación de partículas sólidas provenientes del mar Caribe, influenciado por las corrientes de aire creadas por las tormentas tropicales que se ubicaron en el norte de Colombia y Panamá.

La deposición seca en el periodo de estudio pudo ser influenciada por la gran cantidad de tormentas tropicales que se presentaron en el Caribe durante el año 2005, las cuales, cuando se encuentran al norte de Colombia y Panamá influyen en la creación de lluvias convectivas en el Caribe de Costa Rica (Brenes y Saborío, 1995). Los vientos del noreste probablemente traen lluvias con concentraciones importantes de potasio, calcio y magnesio provenientes del mar Caribe, depositados no necesariamente por la precipitación, sino por el paso de corrientes de aire entre las copas y fustes de los árboles.

CONCLUSIONES

La precipitación bruta fue la principal fuente de amonio para el bosque y las plantaciones, presentando el bosque secundario una retención importante de este compuesto y una adición de nitratos; mientras que la plantación de *Vochysia ferruginea* mostró una absorción estadísticamente significativa de nitrógeno en forma de nitratos en el flujo de copas. El bosque secundario presenta las mayores incorporaciones de NO_3^- , K^+ , Ca^{2+} y Mg^{2+} , siendo estadísticamente significativas para los dos últimos elementos. El paso del agua de lluvia por las ramas y hojas de los árboles en las plantaciones y el bosque produjo un aumento en los valores de pH ($p_b < V_f = V_g = B$) y en conductividad eléctrica ($p_b < V_f = V_g < B$).

RECOMENDACIONES

Se recomienda realizar este mismo estudio en plantaciones de diferentes edades para observar el efecto de las prácticas silviculturales en el lavado de nutrientes. Se debe poner énfasis en la remoción de compuestos nitrogenados.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Organización de Estudios Tropicales (OET), mediante el programa "Experiencias de investigación en Biología Tropical en Costa Rica para Estudiantes de Pre-grado (REU)" y a la Vicerrectoría de Investigación y Extensión del Instituto Tecnológico de Costa Rica (Proyecto VIE-5402.1401-8201), por el financiamiento del estudio.

BIBLIOGRAFÍA

- Arias, D; Calvo, J. 2003. Pérdida de nutrientes a través de la exportación de biomasa en plantaciones forestales con especies de rápido crecimiento (CD-ROOM). *In* IV Congreso Forestal Nacional, (2003, San José, CR). MINAE.
- Binkley, D. 1993. Nutrición forestal. Prácticas de manejo. México, MX, Editorial Limusa. 340 p.
- Brenes, A; Saborío, V. 1995. Elementos de climatología; su aplicación didáctica a Costa Rica. San José, CR, EUNED. 104 p.

- Burch, H; Waldner, P; Fritschi, B. 1996. Variation of pH concentration of nutrients and minerals during rain-events. *In* Ecohydrological Processes in Small Basins. Conference of the European Network of Experimental and Representative Basins (ERB). (6th, Strasbourg, FR). Eds. D. Viville; I. Littlewood. Paris, FR, UNESCO. Vol. 14. p. 59-64.
- Campo, J. 2003. Disponibilidad de nutrimentos en una toposecuencia con bosque tropical seco en México. *Agrociencia* 37:211-219.
- Carvajal, D. 2004. Intercepción de precipitación en dos especies forestales nativas: *Vochysia guatemalensis* y *Vochysia ferruginea* (Vochysiaceae). Informe de práctica de especialidad. Cartago, CR, Instituto Tecnológico de Costa Rica. Escuela de Ingeniería Forestal. 45 p.
- Chiwa, M; Crossley, A; Sheppard, L; Sakugawa, H; Cape, J. 2004. Throughfall chemistry and canopy interactions in a Sitka spruce plantation sprayed with six different simulated polluted mist treatments. *Environmental Pollution* 127:57-64.
- Filoso, S; Williams, M; Melack, J. 1999. Composition and deposition of throughfall in a flooded forest archipelago. *Biogeochemistry* 45:169-195.
- Gómez, M; Calvo, R. 2005. Ciclo del agua y elementos en suelos forestales (*Pinus radiata*) de Galicia. (en línea). Consultado 21 jun. 2006. Disponible en www.juntadeandalucia.es
- HouBao, F; Wei, H; Zhuang, M; Kosuke, W. 1999. Acidity and chemistry of bulk precipitation, throughfall and stemflow in a Chinese fir plantation in Fujian, China. *Forest Ecology & Management* 122:243-248.
- Laclau, J; Ranger, J; Bouillet, J; Nzila, J; Deleporte, P. 2003. Nutrient cycling in a clonal stand of *Eucalyptus* and an adjacent savanna ecosystem in Congo. *Forest Ecology & Management* 176:105-119.
- Levia, D. 2003. Winter stemflow nutrient inputs into a southern New England broadleaved deciduous forest. *Geografiska Annaler* 85A(1):13-20.
- McDowell, W. 1998. Internal nutrient fluxes in a Puerto Rican rain forest. *Journal of Tropical Ecology* 14:521-536.
- Montagnini, F. 2001. Strategies for the recovery of degraded ecosystems: experiences from Latin America. *Interciencia* 26(10):498-503.
- Montagnini, F; Jordan, C. 2002. Reciclaje de nutrientes. *In* Ecología y conservación de bosques neotropicales. Eds. M. Guariguata; G. Kattan. Cartago, CR, Editorial Tecnológica de Costa Rica. p. 147-165.
- Montagnini, F; Kanninen, M; Montero, M; Alice, F. 2004. Sostenibilidad de las plantaciones forestales: ciclaje de nutrientes y efectos de las especies sobre la fertilidad de los suelos (en línea). *In* Primer congreso sobre suelos forestales, (Heredia, CR). UNA-INISEFOR. 13 p. Disponible en www.una.ac.cr/inis/docs/suelos/Florenia.pdf
- Montagnini, F; Sancho, F; Ramstad, K; Stijfhoorn, E. 1991. Multipurpose trees for soil restoration in the humid lowlands of Costa Rica. *In* Proceedings of an International Symposium (1990, Los Baños, PH). Research on multipurpose trees in Asia. Eds. DA. Taylor; KG. Mc Dickens. Bangkok, TH. Winrock Int. Inst. Agric. Develop. S1011. 41- 58p.
- Ortiz, E. 2000. Atlas digital de Costa Rica 2000. (CD-ROM). Cartago, CR. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Escuela de Ingeniería Forestal. 1 CD-ROM.
- Parker, G. 1994. Soil fertility, nutrient acquisition, and nutrient cycling. *In* La Selva. Ecology and natural history of a neotropical rain forest. Eds. L. McDade; KS. Bawa; HA. Hespeneide; GS. Harshorn. Chicago, US, University of Chicago Press. p. 53-63.



- Ramírez, F. 2005. Fertilización foliar. (en línea). Consultado 25 nov. 2005. Disponible en www.corpmisti.com.pe
- Schmid, S. 2004. Water and ion fluxes to a tropical montane cloud forest ecosystem in Costa Rica. Bern, CH. Universität Bern. 77 p.
- Scroth, G; Elias, M; Uguen, K; Seixas, R; Zech, W. 2001. Nutrient fluxes in rainfall, throughfall and stemflow in tree-based land use systems and spontaneous tree vegetation of Central Amazonia. *Agriculture Ecosystems and Environment* 87:37-49.
- Tobón, C; Sevink, J; Verstraten, J. 2004. Solute fluxes in throughfall and stemflow in four forest ecosystems in northwest Amazonia. *Biogeochemistry* 70:1-25.
- Xue, L. 1996. Nutrient cycling in a chinese-fir (*Cunninghamia lanceolata*) stand on a poor site in Yishan, Guangxi. *Forest Ecology & Management* 89:115-123.