



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA  
DE MEXICO**

**FACULTAD DE CIENCIAS**

**EFFECTO DE LA RIZOSFERA Y DE LA EDAD DE CUATRO  
ESPECIES DE ARBOLES SOBRE LA DINAMICA DE  
NITROGENO Y CARBONO DEL SUELO PARA LA  
RECUPERACION DE UN SITIO PERTURBADO DE  
SELVA BAJA CADUCIFOLIA.**

**T E S I S**

**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:**

**B I O L O G A**

**P R E S E N T A :**

**YANI LAURA MONGES MORAN**



**DIRECTORA DE TESIS: DRA. MA. DEL PILAR HUANTE PEREZ**

**2005**



m. 347451



GOBIERNO NACIONAL  
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA

**ACT. MAURICIO AGUILAR GONZÁLEZ**  
**Jefe de la División de Estudios Profesionales de la**  
**Facultad de Ciencias**  
**Presente**

**Comunicamos a usted que hemos revisado el trabajo escrito:**

"Efecto de la rizósfera y de la edad de cuatro especies de árboles sobre la dinámica de Nitrógeno y Carbono del suelo para la recuperación de un sitio perturbado de selva Baja Caducifolia"

realizado por Yani Laura Monges Morán

con número de cuenta 9508522-7 , quien cubrió los créditos de la carrera de: Biología

Dicho trabajo cuenta con nuestro voto aprobatorio.

**Atentamente**

**Director de Tesis**

**Propietario** Dra. María del Pilar Huante Pérez

**Propietario** Dra. Eliane Cecon

**Propietario** M. en C. María Guadalupe Barajas Guzmán

**Suplente** Dr. Leopoldo Galicia Sarmiento

**Suplente** Dr. Juan Emmanuel Rincón Saucedo

**FACULTAD DE CIENCIAS**

**Consejo Departamental de Biología**

M. en C. Juan Manuel Rodríguez Chávez



**UNIDAD DE ENSEÑANZA DE BIOLOGÍA**

LA NATURALEZA ES COMO UNA BIBLIOTECA DE LIBROS SIN LEER,  
NI SIQUIERA HEMOS TERMINADO EL PRIMER CAPITULO.  
Y LA GRAN TRAGEDIA ES QUE ESTAMOS PERDIENDO  
LAS ESPECIES QUE NOS RODEAN ANTES QUE PODAMOS SIQUIERA,  
DARLE LA VUELTA A LA SIGUIENTE PAGINA.

Edward O. Wilson

HAY UNA FUERZA MOTRIZ  
MÁS PODEROSA QUE EL VAPOR,  
LA ELECTRICIDAD,  
Y LA ENERGÍA ATÓMICA:  
LA VOLUNTAD

Albert Einstein

DE QUE SIRVEN LOS GRANDES DESCUBRIMIENTOS SI,  
NO EXISTEN LOS MEDIOS PARA HACERLOS ACCESIBLES.

Alejandro Humbold

## *AGRADECIMIENTOS.*

A mi directora de tesis la Dra. Ma. del Pilar Huante Pérez, por sus enseñanzas, apoyo, comprensión, y sobre todo su paciencia e interés para la realización de este trabajo.

A mis sinodales: la Dra. Elianne Ceccon, la M. en C. Guadalupe Barajas, el Dr. Leopoldo Galicia, y del Dr. Emanuel Rincón: por su tiempo y paciencia para la revisión de este trabajo, así como por brindar sus conocimientos con los que cada uno de ellos se enriqueció enormemente este trabajo.

A la técnico académica Irma Costa Calixto, por su apoyo técnico en el laboratorio, así como su ayuda en el acervo bibliográfico y su trato siempre grato. A mis compañeros de laboratorio de ecofisiología del crecimiento: Bernardo, Germán, Esther por su apoyo en el campo y en el laboratorio.

A quienes me brindaron al apoyo económico para transportes, estancia en la estación, viáticos, material, etc., con las becas: DGAPA IN 232802-3, NSF DEB 9981607, de CONACYT y Probetel (G0011-N9607). Por las cuales fue posible la realización de este trabajo,

A la fundación Ecológica Chamela-Cuixmala por proporcionar los terrenos y el apoyo necesario para la realización de este trabajo.

Y a la Estación de Biología de Chamela por su apoyo logístico durante el trabajo de campo. En el campo la ayuda de Gustavo Verduzco fue de gran utilidad.

Y principalmente a la Universidad Nacional Autónoma de México por brindarme la oportunidad de ser parte de esta gran escuela y de la cual me siento orgullosa.

## *A mi familia y amigos*

A mis padres por darme la oportunidad, los medios y el apoyo para estudiar y que fueron esenciales para cumplir esta meta. Así como enseñarme valores personales, como la honestidad y la responsabilidad.

A mis herman@s por su apoyo incondicional, sus palabras, su tiempo y esfuerzo. Porque de cada un@ aprendí algo de admirarse, por enseñarme a enfrentar los problemas y saber que no estoy sola.

A mis sobrinos: Dik, Dora, Lolo, Burbujita, Nenuki y Umpa, por alegrarme la vida y porque los quiero mucho.

A Elvia por ser mi ejemplo a seguir y por su apoyo tanto académico como emocional, ya que me ha impulsado a crecer, a no conformarme y a tratar de ser mejor cada día, por ser una de las pocas estrellas que existen y que han guiado mi camino. Además de que sin su ayuda este trabajo no hubiera podido concluir.

A Genghis por ser mi superamigo, que llevo conmigo a todas partes, con el que siempre puedo compartir mis experiencias creciendo y superándonos juntos.

A Andres por ser un amigo incondicional y apoyarme en los momentos difíciles, su amor y porque es el mejor ejemplo de amistad que he conocido.

A Dulce por compartir su soledad con la mía, en una de las etapas más bonitas de mi vida. Y por su apoyo para la realización de este trabajo, así como también agradezco la ayuda de sus padres.

A todos mis amigos de la facultad con los que reí, llore, jugué, platique, etc.: Elvia, Andres, Dulce, Irais, Minako, Odeth, Serch, Jaime, Erick, Ela, Ramón, Pollo, Orestes, Luis, Denisse, Momotaro, Maggie, Violeta, Rafa, con los que viví una etapa muy importante de mi vida, gracias por todas esas aventuras que compartimos durante la carrera y que la UNAM nos brinda.

A mis amigos que aunque no fueron conmigo en facultad son personas que han dejado huella: Genghis, Juan K, Beto, Noe, Raquel, Felipe, Amado.

A Mobutu por ser como una hermana en la que siempre he podido confiar y por estar siempre conmigo y con mi familia en los momentos difíciles.

A Modesta por ser un trampolín importante en mi vida, por creer en mí y ayudarme a llegar más alto con sus sabios consejos y su sincera amistad.

A maniguis por su compañía, y su gran ayuda en mis dibujos y en el diseño.

Y en especial, quiero dedicar esta tesis a Marco quien llegó a mi vida en el momento preciso, proporcionándome amor, respeto, confianza y sobre todo libertad hacia una vida más plena, cambiando mis ideales, sueños y metas, devolviendo la confianza en mí y en los demás. Así como también, quiero agradecerle a su familia todas las atenciones y el apoyo que me han brindado todo este tiempo.

Y a todas aquellas personas importantes en mi vida, que son muchas y no puedo nombrar.

*Marco*

*Gracias por estar siempre conmigo,  
por compartir momentos inolvidables,  
por tu apoyo, cariño y paciencia,  
por confiar en mi,  
por hacerme feliz*

*Gracias por tu amor...*

## CONTENIDO

	Página
<b>Resumen</b>	1
I. Introducción	3
II. Antecedentes	4
II.1 Selva Baja Caducifolia	4
II.2 Perturbación de la Selva Baja Caducifolia	5
II.3 Restauración Ecológica	6
II.4 Suelo	7
II.4.1 Definición de suelo	7
II.4.2 Interacción planta-suelo	7
II.4.3 La rizósfera	8
II.4.4 Disponibilidad de nutrientes del suelo	9
II.5 Ciclos de nutrientes	9
II.5.1 Ciclo del Nitrógeno	9
II.5.1.1 Entradas de Nitrógeno a los ecosistemas	10
II.5.1.2 Limitantes y variaciones en la fijación Nitrógeno	12
II.5.1.3 Ciclo interno del Nitrógeno	13
II.5.2 Ciclo del Carbono	16
II.5.3 Relación C:N	18
II.6 Efecto de las especies sobre los ciclos de nutrientes	19
II.6.1 Efecto de las especies vegetales con capacidad simbiótica de fijar Nitrógeno en ecosistemas tropicales	21
III. Objetivos	22
IV. Hipótesis	23
V. Material y método	24
V.1 Especies de estudio	24
V.1.1 <i>Swietenia humilis</i>	24
V.1.2 <i>Acacia farnesiana</i>	25
V.1.3 <i>Caesalpinea platyloba</i>	26
V.1.4 <i>Guazuma ulmifolia</i>	26
V.2 Área de estudio	28
V.3 Diseño experimental	31
V.3.1 Muestreo de suelo	31
V.3.2 Análisis de suelo	33
V.3.2.1 Cuantificación de amonio	34
V.3.2.2 Cuantificación de nitratos	34
V.3.2.3 Cuantificación de N total, C total y de la relación C:N	35
V.3.2.4 Mineralización y Nitrificación	35
V.4 Procesamiento de los datos	35
VI. Resultados	37
VI.1 Dinámica de Nitrógeno y Carbono asociado a diferentes distancias en la zona de la rizosfera de las especies	37
VI.1.1 <i>Swietenia humilis</i>	37
VI.1.2 <i>Acacia farnesiana</i>	38
VI.2 Efecto de la composición de especies sobre la dinámica de nutrientes en la rizósfera de 3 especies en inicio y fin de la época seca	40

VI.2.1	<i>Swietenia humilis</i>	40
VI.2.2	<i>Acacia farnesiana</i>	41
VI.2.3	<i>Caesalpinea Platyloba</i>	42
VI.2.4	Comparación de las tres especies en las diferentes comunidades a finales de la época seca (junio)	42
VI.3	Efecto de la edad de 4 especies de árboles sobre la dinámica de Nitrógeno y Carbono	43
VI.3.1	<i>Swietenia humilis</i>	43
VI.3.2	<i>Acacia farnesiana</i>	43
VI.3.3	<i>Caesalpinea platyloba</i>	44
VI.3.4	<i>Guazuma ulmifolia</i>	44
VII.	Discusión	56
VII.1	Dinámica de Nitrógeno y Carbono asociado a diferentes distancias en la zona de la rizosfera de las especies.	56
VII.2	Efecto de la composición de especies sobre la dinámica de nutrientes en la rizósfera de 3 especies en inicio y fin de la época seca	59
VII.3	Efecto de la edad de 4 especies de árboles sobre la dinámica de Nitrógeno y Carbono	62
VIII.	Conclusiones	65
IX.	Literatura citada	66
Anexos		72
Lista de figuras		83
Tablas		84



## RESUMEN

En el presente trabajo se evaluó el efecto de cuatro especies vegetales: *Swietenia humilis*, *Caesalpineia platyloba* (crecimiento lento), *Acacia farnesiana*, *Guazuma ulmifolia* (crecimiento rápido), sobre la dinámica de de nitrógeno (N) y carbono (C) en un sitio perturbado de Selva Baja Caducifolia (SBC) en Chamela Jalisco. Este trabajo se dividió en 3 partes para su estudio:

En la primera parte se evaluó el área de influencia de la rizósfera de *S. humilis* y *A. farnesiana*, comparándose con el sitio perturbado dominado por la especie de pasto: *Panicum maximum*. Los resultados muestran que no existe una distancia específica donde exista un mayor efecto de las especies, pero si una mayor influencia de dichas especies bajo sus copas. Y al compararse con la especie de pasto, estas especies introducidas al pastizal están generando cambios en la dinámica de nitrógeno y carbono del suelo perturbado, mostrando un efecto positivo para la regeneración del sitio perturbado de SBC.

En la segunda parte se evaluó la dinámica de N y C en *S. humilis*, *A. farnesiana* y *C. platyloba*, dentro de comunidades con diferente composición de especies (crecimiento lento, rápido y mixto), a mediados y a finales de la época seca, encontrándose en esta última época los mayores valores en todos los parámetros observados. Para el caso de la especie de lento crecimiento: *S. humilis*, se encontraron los mayores valores cuando se encuentra dentro de la comunidad mixta por la influencia de especies rápidas y leguminosas. La especie de rápido crecimiento *A. farnesiana* presentó los mayores valores en la comunidad rápida debido a la descomposición más rápida de las mismas y a la presencia de especies fijadoras de nitrógeno. Mientras que la especie lenta: *C. platyloba*, no mostró diferencias dentro de las comunidades debido a ser una especie de tasa de crecimiento intermedia.

En la última parte de este estudio se evaluó la dinámica de nutrientes de *S. humilis*, *A. farnesiana* y *C. platyloba*, en árboles jóvenes y árboles adultos. Para la especie de lento crecimiento *S. humilis*, se observó que los árboles jóvenes presentaron mayores concentraciones de amonio y nitratos, tasas de nitrificación y mineralización, de N y C totales así como mayor su relación C:N. En la especie de rápido crecimiento *A. farnesiana*, el árbol adulto presento las mayores concentraciones de amonio, C y N total y de la relación C:N, y de la tasa de mineralización, lo que puede deberse a que esta especie con la edad tiene un mayor aporte de nitrógeno al suelo, así como de materia orgánica. Mientras que para la especie *C. Platyloba* de lento crecimiento, no se encontraron diferencias entre los árboles jóvenes y adultos, esto puede deberse a que la edad entre los organismos muestreados no

fue representativa. En el caso de la especie de rápido crecimiento *G. ulmifolia* se analizaron cuatro diferentes edades, para las formas disponibles de N se encontró una relación inversa con la edad, mientras que en los demás parámetros observados no se encontraron diferencias significativas, debido a que los intervalos de edad no fueron los adecuados para generar cambios.

En general se puede decir que las especies utilizadas en este estudio aún con pocos años de crecimiento (3 años) han modificado la dinámica de nutrientes del suelo positivamente, para la recuperación de un sitio perturbado de SBC. Cada especie tiene una dinámica propia del uso de recursos, dependiente de su tipo de crecimiento y de la comunidad en que se encuentren. El efecto de la edad sobre la dinámica de nutrientes del suelo, varía en función de las tasas de crecimiento de las especies y en sí son o no especies fijadoras de nitrógeno. Teniendo, solamente la especie fijadora de nitrógeno *A. farnesiana*, un efecto positivo entre la concentración de nutrientes y la edad, debido a su aporte extra de nitrógeno al suelo.

## **I. Introducción.**

Las Selvas Bajas Caducifolias están ampliamente distribuidas tanto en México (Rzedowski 1978), como en el mundo (Murphy & Lugo 1986); son sistemas muy diversos con gran número de endemismos (Gentry 1982) y son ecosistemas fuertemente amenazados principalmente por la deforestación y conversión en pastizales para la ganadería extensiva y agricultura (Janzen 1986). En México para el año de 1999 solo quedaba 19% de estas selvas, debido a la deforestación del 60% de su cobertura original (Trejo & Dirzo 2000). Aunado a esto, las SBC han sido poco estudiadas, por lo que no se conoce mucho acerca de su funcionamiento a nivel ecosistema (Castellanos 1991).

Los estudios de procesos biogeoquímicos en la Selva Baja Caducifolia (SBC) son escasos y han sido revisados de forma comparativa por Jaramillo y Sanford (1995), y recientemente se han realizado algunos trabajos donde se ha reconocido la importancia del efecto diferencial de las especies vegetales sobre los procesos que influyen a la calidad de la materia orgánica del suelo (MOS), influenciando así los ciclos biogeoquímicos (Binkley 1993, Vitousek & Hooper 1993, García-Montiel & Binkley 1998, Galicia 2001, Sachmann 2001). En estos estudios se ha documentado que existe una asignación diferencial de recursos y liberación de nutrimentos en las especies vegetales, dependiendo de su tasa de crecimiento, de si son especies fijadoras de nitrógeno (Chapin 1991), y de las características morfológicas de las especies vegetales como el tamaño de los individuos (Lodge et al. 1994, Bullock & Solis-Magallanes 1990).

De esto deriva el interés por realizar estudios que proporcionen información sobre el efecto de las especies para la recuperación de zonas perturbadas de SBC como es el caso del presente estudio, el cual se realizó en un sitio perturbado de SBC en Chamela, Jalisco durante la época de secas, debido a que se ha encontrado que en esa época se da una mayor acumulación de nutrientes en el suelo (Jaramillo & Sanford 1995, Sachman 2001). El objetivo principal fue evaluar el efecto de cuatro especies arbóreas con diferentes tasas de crecimiento sobre la dinámica de Nitrógeno y Carbono en el suelo, así como también analizar como dicho efecto se modifica cuando estas especies se encuentran con otras especies vecinas y en diferentes edades.

## II. Antecedentes.

### II.1 Selva Baja Caducifolia

La Selva Baja Caducifolia (SBC) es un ecosistema tropical estacional (ETE), que ocupa 42% de la superficie tropical mundial (Murphy & Lugo 1986), en México este ecosistema ocupa el 31% de la superficie del país (Masera et al 1997) y se distribuye principalmente por la costa del Pacífico y Península de Yucatán (Rzedowski 1978). Se caracteriza por presentar una marcada estación seca que puede durar de 7 a 8 meses, y por la corta altura de sus componentes arbóreos (normalmente de 4 a 10 m, muy eventualmente de hasta 15 m), lo cual provoca un contraste enorme en la fisonomía de la vegetación entre la temporada seca y la lluviosa (Pennington & Sarukhán 1998). Su temperatura promedio es de 22° a 26° C y su precipitación media anual varía de 400 a 1300 mm como máximo. Se distribuye desde el nivel del mar hasta los 1700 msnm (Rzedowski 1978, Trejo & Dirzo 2000).

Su flora es muy diversa, ocupa 47% del área forestal en Latino América (Houghton et al. 1991), y se estima que comprende 20% de la flora mexicana (aprox. 6000 especies) siendo 40% de sus especies endémicas en México (Rzedowski 1991). Las formas de vida predominantes son las suculentas, especialmente en los géneros de *Agave*, *Opuntia*, *Lemaireocereus*, *Pachycereus*, *Cephalorous*, y las epifitas se reducen a pequeñas Bromelias y Orquídeas. Esta selva se desarrolla preferentemente en terrenos de ladera, pedregosos, con suelos bastante someros arenosos o arcillosos con un fuerte drenaje superficial. Los sustratos geológicos de los que se derivan son muy variables (Pennington & Sarukhán 1998).

En México la distribución de la SBC ocupa extensiones considerables en la vertiente del Pacífico; en la Cuenca del río Balsas y en las laderas de la Sierra Madre Occidental. Mientras que en la vertiente del Golfo de México abarca los estados de Veracruz, Tamaulipas y San Luis Potosí, y la parte central de Veracruz, así como una región en la península de Yucatán (Pennington & Sarukhán 1998, Dirzo 1996, Rzedowski 1978)

La región de SBC de Chamela ubicada en el estado de Jalisco se caracteriza por tener una clara influencia de eventos aleatorios que hacen difícil pronosticar la lluvia (García-Oliva et al. 1991), llueven en promedio 679 mm (o litros por cada metro cuadrado de terreno), con una enorme variación anual. La flora de Chamela, es de gran diversidad, la familia más importante son las leguminosas (Noguera et al. 2002).

## **II.2 Perturbación de la SBC**

La Selva Baja Caducifolia (SBC) es uno de los ecosistemas más amenazados principalmente por la actividad del hombre, debido a la alta tasa a la que esta siendo talada, llegando a estimarse una transformación de selva a pastizal de 1.35 millones de hectáreas por año (Houghton et al. 1991), quedando en la actualidad sólo el 0.1% del total original. En México, la SBC ha sido alterada en diversas formas; la principal causa es la deforestación y conversión en pastizales para la ganadería extensiva y agricultura que constituye el 58%, posteriormente la extracción de maderas 21%, y los incendios forestales que constituyen el 7% (INE-SEDESOL, 1993). En el caso de la SBC de la región de Chamela la principal forma de la pérdida de la cubierta vegetal es mediante el sistema de roza-tumba-quema para la introducción de pastizales destinados a la ganadería extensiva (Noguera *et al.* 2002). Este método de deforestación después de 3 años hace decrecer la materia orgánica del suelo hasta en un 71% (García-Oliva *et al.* 1994, Maass 1995), lo cual trae consigo la disminución en la diversidad de muchos procesos como el ciclo de nutrimentos, desarrollo de la materia orgánica, es decir de procesos de los cuales depende el ecosistema (González 2002).

Por otra parte la perturbación de los ecosistemas naturales como el caso de la SBC, también es provocada por fenómenos naturales como huracanes, tormentas tropicales e incendios y son causa de pérdidas invaluable de la cubierta vegetal (Rincón *et al.* 1999). Estos fenómenos naturales han presentado modificaciones en su intensidad, cantidad, duración, etc., principalmente al cambio climático global, el cual es producto del excesivo uso de energéticos (carbón mineral, petróleo y otros), que liberan a la atmósfera grandes cantidades de dióxido de carbono, y que en México se han acentuado por la deforestación de las selvas tropicales (Vázquez-Yañez & Orozco 1989).

Las consecuencias de la pérdida de la cubierta vegetal son severas; ya que no sólo implica la pérdida de un recurso económico potencial, sino que causa graves daños en el medio ambiente al provocar la transformación de ambientes naturales y consecuentemente la pérdida de hábitats y diversidad (Cervantes 1996). Adicionalmente, con la pérdida de la cubierta vegetal la materia orgánica del suelo disminuye considerablemente provocando una reducción de los nutrientes del suelo como nitrógeno, y a su vez esto limita el desarrollo de las plantas (Maass 1995).

El estado actual de perturbación de las Selvas Bajas Caducifolias y en general de las áreas naturales en México, requieren de la reestructuración de programas para la conservación, restauración y recuperación para evitar el deterioro progresivo de los recursos naturales (Rincón *et al.* 1999).

### ***II.3 Restauración Ecológica***

La restauración ecológica es la aproximación de un ecosistema a sus condiciones previas a la perturbación (National Research Council, 1991). Esto es la recuperación de un ecosistema autosustentable en el que los procesos pueden operar sin una continúa intervención del hombre (Berger 1993). La restauración tiene la finalidad de revertir el deterioro ambiental y mejorar las condiciones de vida de las especies (Vázquez-Yanes & Batis 1996).

Es necesario recuperar los suelos degradados y contribuir al mejoramiento del ambiente productivo, por esto es de suma importancia realizar estudios ecofisiológicos de especies útiles, para llevar a cabo la restauración se requiere de los siguientes procesos: la reconstrucción física, el restablecimiento de las condiciones hídricas y modificaciones químicas (Rincón *et al.* 1999).

De acuerdo con Vázquez-Yanes y Batiz (1996) las especies vegetales utilizadas en la restauración, idealmente deberían ser de fácil propagación, resistentes a condiciones limitantes, como baja fertilidad, sequía, suelos compactados, salinidad entre otros; un rápido crecimiento de las especies elegidas ayudaría a la producción rápida de materia orgánica y de hojarasca, aunque deben evitarse aquellas que presenten tendencias a adquirir una propagación invasora e incontrolable. La presencia de nódulos fijadores de nitrógeno o de asociaciones micorrízicas podría compensar los bajos niveles nitrógeno, fósforo y otros nutrimentos en el suelo. Particularmente resulta importante que las especies utilizadas favorezcan el establecimiento de las especies nativas, tanto de flora como de fauna, proporcionándoles hábitat y alimento (Rincón *et al.* 1999).

Sin embargo, las características ideales de plantas utilizadas para la restauración mencionadas anteriormente, difícilmente se encuentran en una misma especie, por lo cual es necesario buscar la combinación de especies que reúnan todas las características, que permitan la rápida sucesión y regeneración de las zonas perturbadas (Rincón *et al.* 1999).

## **II.4 Suelo**

### **II.4.1 Definición de suelo**

La definición más generalizada de suelo es la de una capa (cuyo espesor puede variar de unos pocos centímetros a varios metros) entre la corteza continental (roca madre) y la atmósfera. Es un medio para el crecimiento de las plantas y tiene una importante función en el reciclaje de recursos necesarios para las plantas (Plaster 2000).

Popularmente, el suelo se conoce como el estrato que existe por debajo de la vegetación y por encima de la roca sólida (Smith 2001). El suelo es el medio primario de nutrientes para las plantas. Los suelos pueden proveer no sólo un soporte físico, también proveen un medio con nutrientes inorgánicos, así como agua adecuados y un ambiente gaseoso conveniente para los sistemas de raíces (Roven 1992). La fertilidad del suelo se define como la calidad de un suelo que permita proveer los elementos químicos necesarios en cantidad y proporción para el crecimiento de una especie de planta en específico. Debido a los diferentes tipos y características de las plantas, lo que para una especie ciertas condiciones del suelo le son favorables para otras especies no lo son (Foth 1988).

### **II.4.2 Interacción planta-suelo**

Las raíces de las plantas son un hábitat propicio para el desarrollo de microorganismos. Son muchas y muy variadas las poblaciones microbianas que se encuentran asociadas a las raíces de las plantas. Las interacciones entre las raíces de las plantas y los microorganismos del suelo satisfacen requerimientos nutritivos básicos para la planta y para los microorganismos asociados con ella (Bowen & Rovira 1976, Harley & Rusell 1979).

Esto se evidencia por el elevado número de microorganismos que se hallan en el rizoplano, definido como la superficie de raíz que esta comprendida dentro de la rizósfera, siendo ésta la porción de suelo directamente influenciada por las raíces de las plantas (Campbell & Rovira 1973, Bowen & Rovira 1976).

### **II.4.3 La rizósfera**

La rizósfera es la zona de suelo donde interaccionan los microorganismos con las raíces de las plantas. El tamaño de la rizósfera depende de la estructura particular del sistema de raíces y generalmente la zona de contacto con el suelo suele ser grande (Bowen & Rovira

1976). En la rizósfera, las raíces de las plantas tienen una influencia directa en la composición y en la densidad de la microbiota del suelo; es lo que se conoce como efecto rizosférico. El alcance real del efecto rizosférico depende de cada planta en particular y de su estado de madurez fisiológica. En la zona de la rizósfera existen poblaciones microbianas 100 veces mayores que en el suelo de los alrededores. Las interacciones entre las raíces y los microorganismos de la rizósfera se basan principalmente en la modificación interactiva del ambiente del suelo por procesos como: captación de agua por la planta, liberación de compuestos orgánicos al suelo por las raíces y captura de nutrimentos minerales por parte de los microorganismos (Woldendorp 1978).

Los microorganismos de la rizósfera pueden sufrir cambios sucesivos a lo largo del desarrollo de la planta, desde la germinación de la semilla hasta la madurez. Se produce una clara sucesión de poblaciones microbianas oportunistas de crecimiento rápido que requieren determinados factores de crecimiento. Estos cambios sucesivos se corresponden con los cambios en los materiales secretados desde las raíces hacia la rizósfera a lo largo del proceso de maduración de la planta (Smith 2002). Estos materiales orgánicos liberados por las raíces son aminoácidos, cetoácidos, vitaminas, azúcares, taninos, alcaloides, fosfolípidos. Estos compuestos favorecen a los microorganismos con una elevada tasa intrínseca de crecimiento (Campbell & Rovira 1973).

Al igual que el sistema radical de las plantas causa un efecto directo sobre la microbiota colindante, los microorganismos ejercen una marcada influencia en el crecimiento de las plantas (Campbell 1985). Las poblaciones microbianas de la rizósfera benefician a las plantas, ya que: aumentan el reciclado y la solubilización de los nutrientes minerales; sintetizan vitaminas, aminoácidos, auxinas, citoquininas y giberelinas, que estimulan el crecimiento (Álvarez *et al.* 1995).

Los microorganismos de la rizósfera determinan la disponibilidad de nutrientes minerales para las plantas, algunas veces utilizando concentraciones limitantes de nutrientes inorgánicos antes de que éstos puedan llegar al sistema radical, y en otros casos aumentando la disponibilidad de nutrientes inorgánicos para la planta (Barber 1978, Campbell 1985). La inmovilización de nitrógeno en la rizósfera es la causa de una preciable pérdida de nitrógeno, parte del cual se inmoviliza en forma de proteínas microbianas, pero otra se pierde hacia la atmósfera mediante el proceso de desnitrificación (Atlas 2002)



#### **II.4.4 La disponibilidad de nutrientes del suelo**

Las plantas incorporan los nutrientes del suelo mediante la absorción de los iones disueltos en la solución del suelo y a través de su difusión desde el suelo hacia el interior de las raíces. La absorción de un nutriente depende tanto de su disponibilidad como de la demanda existente. La disponibilidad de nutrientes tiene numerosos efectos directos sobre la supervivencia, el crecimiento y la reproducción de las plantas. El nitrógeno por ejemplo, es importante para ellas ya que la enzima Rubisco y el pigmento clorofila son compuestos esenciales para la fotosíntesis, y están constituidos en gran parte por nitrógeno. Por consiguiente, la falta de nitrógeno limitará el crecimiento de las plantas (Smith 2001).

### **II.5 Ciclos de nutrientes**

#### **II.5.1 Ciclo del Nitrógeno**

El nitrógeno es indispensable para la existencia de la vida, debido a que es un elemento esencial de las proteínas que tienen carácter vital en la química de todos los seres vivos. Es uno de los elementos esenciales de los dieciséis que existen y es el que está sometido a un mayor movimiento y transformación (Plaster 2000). El principal depósito de nitrógeno es la atmósfera terrestre, donde se encuentra un 79% de nitrógeno en forma de gas dinitrógeno ( $N_2$ ). Sin embargo, el nitrógeno al ser el macronutriente de mayor demanda para las plantas, es un limitante para éstas, esto se debe a que en su forma gaseosa las plantas no pueden utilizarlo (Porta 1999). Es por esto, que el nitrógeno para entrar a los ecosistemas terrestres necesita ser transformado a través de la fijación de nitrógeno, el cual es el principal camino por el que nuevo nitrógeno entra a los ecosistemas (Fig. 1).

Efecto de 4 especies vegetales sobre la dinámica de N y C en un sitio perturbado

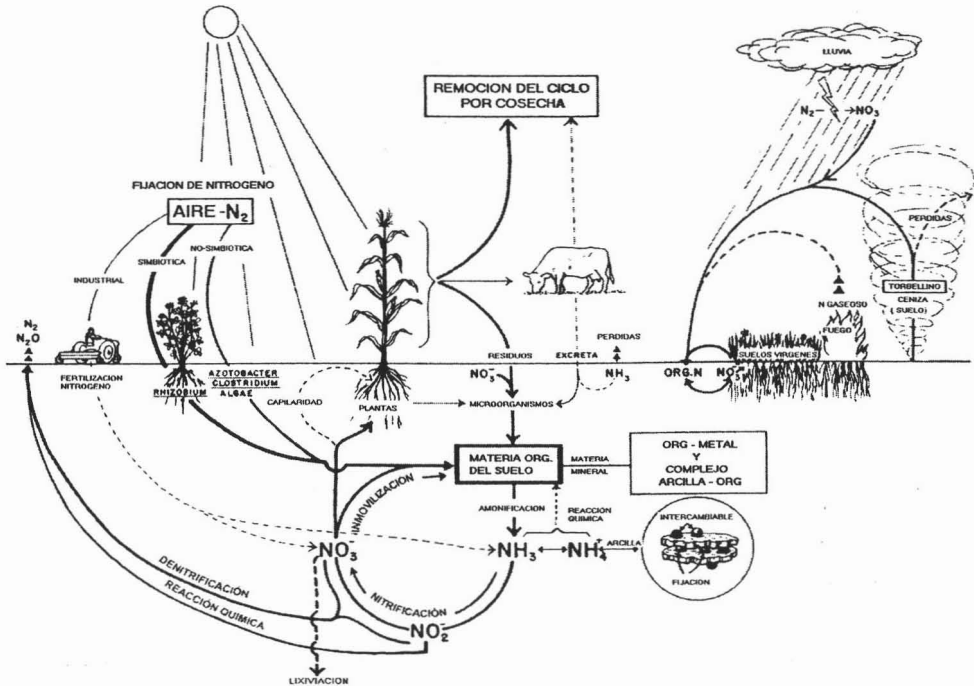


Fig. 1. Ciclo del nitrógeno en el suelo. En esta figura se muestran los cambios del nitrógeno al pasar por varios procesos biológicos, físicos y químicos (Tomado de Paul y Clark, 1989).

II.5.1.1 ENTRADAS DE NITRÓGENO A LOS ECOSISTEMAS

**FIJACIÓN BIOLÓGICA.** Es la principal vía de entrada de nitrógeno a los ecosistemas, y es realizada por algunos tipos de bacterias, conocidas como fijadoras, que tienen la capacidad de romper el triple enlace del gas dinitrógeno (N<sub>2</sub>) y fijarlo en amonio (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>), el cual es usado para su propio crecimiento y es disponible para las plantas.

La enzima que cataliza la reducción de N<sub>2</sub> a NH<sub>4</sub><sup>+</sup> es la nitrogenasa, y tiene un gran requerimiento de energía, por lo que ocurre sólo donde las bacterias tienen un gran suministro de carbohidratos. La enzima es muy sensible al oxígeno y se inactiva de manera irreversible si se expone a este gas, por lo que la fijación de nitrógeno suele restringirse a los hábitat donde la nitrogenasa pueda estar protegida del oxígeno molecular (Chapin 2002, Atlas 2002).

Los microorganismos fijadores de nitrógeno del suelo pueden actuar de dos maneras; simbióticamente o libremente:

**Simbiótica.** Representa las mayores tasas de fijación de nitrógeno (de 5 a 20 gm<sup>-2</sup>yr<sup>-1</sup>). Se realiza por la asociación simbiótica de plantas con bacterias fijadoras de nitrógeno, constituyendo nódulos (así la enzima nitrogenasa es protegida del oxígeno) que se unen a las raíces de las plantas, donde el huésped provee de nitrógeno a las plantas, mientras éstas le aportan carbono y fotosintatos. El más común simbiote son las especies del género *Rhizobium* asociadas con las leguminosas.

Existen también asociaciones simbióticas fotótrofas fijadoras de nitrógeno. Por ejemplo, líquenes fijadores de nitrógeno que están compuestos de (simbiotes fotosintéticos) algas verdes o cianobacterias que fijan el nitrógeno y hongos que proveen la protección física. Estos líquenes proveen una importante entrada en muchos ecosistemas sucesionales, ejemplo de esto es el helecho de agua dulce *Azolla* y las cianobacterias como *Nostoc* que forman una asociación fotótrofica en cultivos de arroz y en sistemas acuáticos tropicales (Chapin 2002).

**No simbiótica.** Se realiza mediante la acción de bacterias heterotróficas fijadoras de nitrógeno de vida libre en el suelo, dependientes de carbohidratos de las plantas, el género más estudiado es *Azotobacter*. Algunas de estas bacterias heterotróficas viven en la rizósfera y dependen del movimiento y la exudación de las raíces para su suministro de carbono. Estas bacterias tienen altas tasas de fijación en suelos o en sedimentos con altas concentraciones de materia orgánica, la cual provee el sustrato de carbono en forma de combustible para la reducción de nitrógeno. Las bacterias heterotróficas fijadoras de nitrógeno tienen tasas altas de fijación en ambientes aeróbicos, porque la respiración aeróbica da mucho más energía por gramo de sustrato que la respiración anaeróbica. También tienen varios mecanismos que reducen la concentración de oxígeno en la proximidad de la nitrogenasa como; altas tasas de respiración o reducción de la difusión de oxígeno a la enzima. Estos organismos de forma libre no pueden fijar N a la misma velocidad que los simbióticos, pero son capaces de hacer una contribución significativa (Chapin 2002).

**FIJACIÓN NO BIOLÓGICA.** Los suelos también ganan pequeñas cantidades de nitrógeno en forma de amonio (NH<sup>+</sup><sub>4</sub>) y nitratos (NO<sup>-</sup><sub>3</sub>) por otras formas no biológicas, como el intemperismo químico de las rocas y la fijación atmosférica.

La fijación no biológica, se realiza mediante un proceso fisicoquímico que se presenta cuando los rayos convierten el nitrógeno atmosférico en ácido nítrico. Este se disuelve en la lluvia y precipita a la tierra, donde las plantas lo adquieren al absorber el agua y otros minerales a través de sus raíces. Por esta forma de fijación, se incorpora aproximadamente el 28% del nitrógeno total del suelo, mientras que el 72% restante es debido a los fijadores biológicos.

#### **II.5.1.2 LIMITANTES Y VARIACIONES EN LA FIJACIÓN DE NITRÓGENO.**

La tasa de fijación del nitrógeno varía entre ecosistemas, en parte reflejando los tipos de fijadores de nitrógeno (Vitousek & Howarth 1991). La fijación de nitrógeno en muchos ecosistemas es limitada por la disponibilidad de otros nutrientes como el fósforo. Esto se debe a que las bacterias fijadoras de nitrógeno tienen un alto requerimiento por ATP (Adenosin Trifosfato) y otros componentes de fósforo que soportan las transformaciones de energía asociadas con la fijación de nitrógeno. El pastoreo intenso sobre muchas plantas fijadoras de nitrógeno reduce su capacidad para competir con otras plantas causando el decline de las entradas de nitrógeno a los ecosistemas (Chapin 2002).

El suministro de N disponible en el suelo controla fuertemente la fijación de N. Un suelo con gran suministro de N disponible puede no proveer una alta tasa de fijación, ya que los costos de fijación son tan altos que el N disponible del suelo es preferente para las raíces de las leguminosas que el nitrógeno atmosférico (Smith 2001). Las bacterias heterotróficas fijadoras de nitrógeno no simbióticas también son limitadas por la disponibilidad de carbono lábil. La fijación heterotrófica de nitrógeno también ocurre en sedimentos anaeróbicos, pero las pérdidas gaseosas por desnitrificación, usualmente exceden a las ganancias por fijación de nitrógeno.

También la fijación de nitrógeno es fuertemente restringida en los ambientes con mucha luz que se encuentran en la sucesión temprana o cuando los nutrientes, o la sequía limitan el desarrollo del dosel. En sabanas donde los ciclos del nitrógeno son relativamente abiertos existen grandes pérdidas de nitrógeno por fuego, los árboles de leguminosas son fuertemente nodulados y fijan cantidades substanciales de nitrógeno (Hogberg & Alexander 1995).

### II.5.1.3 CICLO INTERNO DEL NITRÓGENO

El nitrógeno al ser fijado, es decir incorporado al suelo a partir de la combinación con otras sustancias para formar compuestos inorgánicos como iones de nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) y amonio ( $\text{NH}_4^+$ ), puede ser utilizado en estas formas por las plantas y otros organismos. Este proceso es llamado **Mineralización** y se lleva a cabo por organismos heterótrofos.

El proceso de mineralización por el cual se forma amonio ( $\text{NH}_4^+$ ) se conoce como **Amonificación**. El amonio en los bosques y selvas es la forma más común, además que se debe considerar como una forma preferente de suministro al suelo, ya que las pérdidas son menores a las que sufren los nitratos y su acción es más prolongada (Wild 1992).

El nitrógeno en forma de amonio y nitratos es incorporado por las plantas para formar compuestos orgánicos como aminoácidos, proteínas y ácidos nucleicos principalmente. A este proceso se le conoce como **Inmovilización**, el cuál es un proceso opuesto a la mineralización. De esta forma, la materia orgánica del suelo y los organismos vivos pueden verse como medios de almacenaje de nutrientes (Wild 1992).

Posteriormente los compuestos de nitrógeno regresan al suelo con los residuos de hojas, plantas y animales muertos, liberando nitrógeno orgánico al medio. El nitrógeno es mineralizado a iones amonio ( $\text{NH}_4^+$ ), que pueden ser absorbidas nuevamente por las plantas (Pläster 1997).

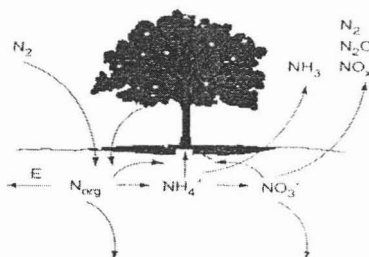
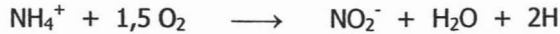


Fig. 2. Ciclo interno del nitrógeno. Muestra las entradas y salidas de las distintas forma de N. Tomado de Smith 2001.

La mayoría del nitrógeno en forma de amonio ( $\text{NH}_4^+$ ), es convertido en nitratos y en nitritos por bacterias autotróficas aeróbicas, mediante oxidación enzimática (Fig. 2). Este proceso biológico es conocido como **Nitrificación** y se da en dos etapas:

1. En la primera etapa el amonio es convertido a nitrito, al ser oxidado por un grupo de bacterias llamadas *Nitrosomonas* o *Nitrosolobus*.



2. En la segunda etapa los nitritos son oxidados a nitratos, por otras bacterias llamadas *Nitrobacter*.



Los iones nitrito son tóxicos para las plantas y los animales, pero residen en el suelo muy poco tiempo, mientras que los nitratos son una forma de nitrógeno disponible para el crecimiento de las plantas. Algunos de éstos iones nitrato son capturados por las plantas, completando así un ciclo en el suelo (Plaster 1997).

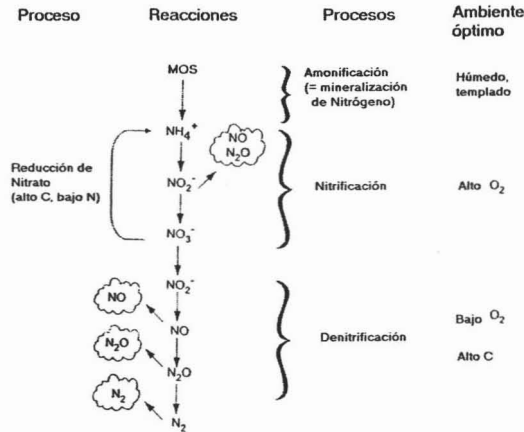


Fig. 3. Vías por los cuales se lleva a cabo la nitrificación y la denitrificación, y los gases emitidos por estos procesos. Tomado de Smith, 2001.

Algunos nitratos producidos por la nitrificación, son transformados por otros organismos a nitrógeno gaseoso, el cual escapa nuevamente a la atmósfera cerrando el ciclo. A este proceso se le llama **Desnitrificación** y consiste en la reducción de los nitratos (NO<sub>3</sub>) a nitritos (NO<sub>2</sub><sup>-</sup>), para pasar a ser gases de óxido nítrico (NO), óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), hasta gas dinitrógeno (N<sub>2</sub>), estos gases son altamente contaminantes.



Este proceso es una de las causas principales de las pérdidas del N en el suelo, y se realiza biológicamente principalmente por organismos anaerobios facultativos que utilizan el oxígeno de los nitratos, nitritos u óxidos de nitrógeno como aceptor de H (hidrógeno), pero sólo en ausencia de oxígeno, ya que las enzimas de la reducción son inhibidas por éste (Wild 1992). La desnitrificación, también puede realizarse por una ruta estrictamente química, en suelos ácidos donde los nitritos suelen ser inestables y se descomponen a óxido nítrico (Fig. 3).

### **Factores limitantes de la nitrificación**

Los factores limitantes de la nitrificación son: el agua, ya que ésta en su ausencia suprime la nitrificación y cuando se encuentra en exceso provoca que el oxígeno (O<sub>2</sub>) resultante de la nitrificación al no liberarse a la atmósfera, se vuelva tóxico para los organismos nitrificadores, las bajas temperaturas, el pH extremo y la salinidad.

El Nitrógeno del suelo también puede perderse por otro tipo de causas como:

**Lavado y escorrentía.** Los nitratos (NO<sub>3</sub>) debido a que su carga es negativa no pueden ser absorbidos por los coloides de suelo, ni son retenidos en el suelo por la materia orgánica u otros medios además de que son muy solubles, es por esto, que son más fáciles de lixiviarse o perderse por lo que son transferidos a las aguas freáticas (Wild 1992)

**Volatilización.** Los iones de amonio (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) aunque son más fáciles de conservarse debido a su carga positiva no se lixivian fácilmente ya que son absorbidos por los coloides del suelo, pero pueden perderse por volatilización del amoniaco. Durante la volatilización los iones amonio (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) reaccionan con los iones hidróxilo (OH<sup>-</sup>), produciendo amoniaco (NH<sub>3</sub>) y agua (H<sub>2</sub>O) (Plaster 2000).



Es por toda esta complejidad a la cual esta sujeta el nitrógeno, por la que es un elemento limitante para el desarrollo de los seres vivos, aún siendo uno de los elementos más abundantes sobre la Tierra, además de su importancia en la determinación de la tasa de descomposición de la materia orgánica.

### **II.5.2 Ciclo del Carbono**

El ciclo del carbono es el ciclo de la vida, debido a que el carbono es el elemento básico de todas las moléculas orgánicas (las cuales conforman a los seres vivos), como carbohidratos, lípidos, proteínas y ácidos nucleicos (Enkerlin, 1997). El ciclo del carbono está estrechamente vinculado al flujo de energía, de hecho la productividad de los ecosistemas se expresa en términos de gramo de carbono por metro cuadrado (Atlas & Bartha 2002).

La fuente de todo el carbono presente en los organismos vivos y en los depósitos fósiles (reserva fundamental de carbono) es el bióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) y se encuentra en la atmósfera. El  $\text{CO}_2$  es utilizado a través de la fotosíntesis, las plantas incorporan el  $\text{CO}_2$  de la atmósfera usando la energía solar, al transformarlo en compuestos orgánicos que pasan a formar parte de sus tejidos (fig. 4).

Los animales obtienen la energía y tejido del cuerpo a partir de los productos de las plantas, para después retornar el carbono al suelo por pérdida o desechos. También plantas y animales a partir de la respiración reincorporan una parte del  $\text{CO}_2$  a la atmósfera (Plaster, 2000). El ciclo se cierra gracias a los microorganismos descomponedores, que son los encargados de convertir los compuestos orgánicos de desechos y cuerpos de las plantas y animales muertos en materia orgánica y  $\text{CO}_2$ , completando así el ciclo. Ellos obtienen la energía liberada por el rompimiento del enlace C-H (Atlas & Bartha 2002).

El petróleo, carbón y la materia orgánica acumulados en el suelo son resultado de épocas en las que se ha devuelto menos  $\text{CO}_2$  a la atmósfera. El aumento actual en la utilización de éstos combustibles, aunado con la actividad humana y la deforestación (al eliminar un bosque se libera el carbono que formaba parte de la biomasa), ha provocado de forma creciente la liberación  $\text{CO}_2$  a la atmósfera. La concentración atmosférica ha aumentado de unas 260 a 300 partes por millón (ppm) estimadas en el periodo preindustrial, a más de 350 ppm en la actualidad. Este incremento representa sólo la mitad del dióxido de carbono que, se estima, se ha vertido a la atmósfera. El otro 50% probablemente haya sido absorbido y almacenado por los océanos. Aunque la vegetación del planeta puede absorber cantidades considerables de carbono, es también una fuente adicional de  $\text{CO}_2$  (Atlas 2002)

El exceso de  $\text{CO}_2$  en la atmósfera provoca la retención del calor, que es reflejado de la Tierra, incrementando así la temperatura global llegando a generar importantes cambios climáticos (Enkerlin 1997). Es por esto, que es necesario reconocer la importancia del ciclo del carbono debido a los efectos que trae consigo la ruptura del ciclo (Smith 2001)



*Efecto de 4 especies vegetales sobre la dinámica de N y C en un sitio perturbado*

La tasa a la cual el carbono circula a través de los ecosistemas queda determinada por una serie de procesos, particularmente por las tasa de producción primaria y descomposición. Ambos procesos están fuertemente influenciados por condiciones ambientales tales como la temperatura y la precipitación. En ecosistemas cálidos y húmedos, como una selva tropical, las tasas de producción y descomposición son elevadas, y el carbono circula rápidamente a través del ecosistema (Atlas 2002).

Los ciclos de nutrientes se encuentran estrechamente relacionados con el ciclo de carbono (C). El flujo de carbono a través de la materia orgánica proporciona energía para llevar a cabo la mineralización de la materia orgánica del suelo (MOS) y la liberación de nutrientes al suelo (Paul & Clark 1989).

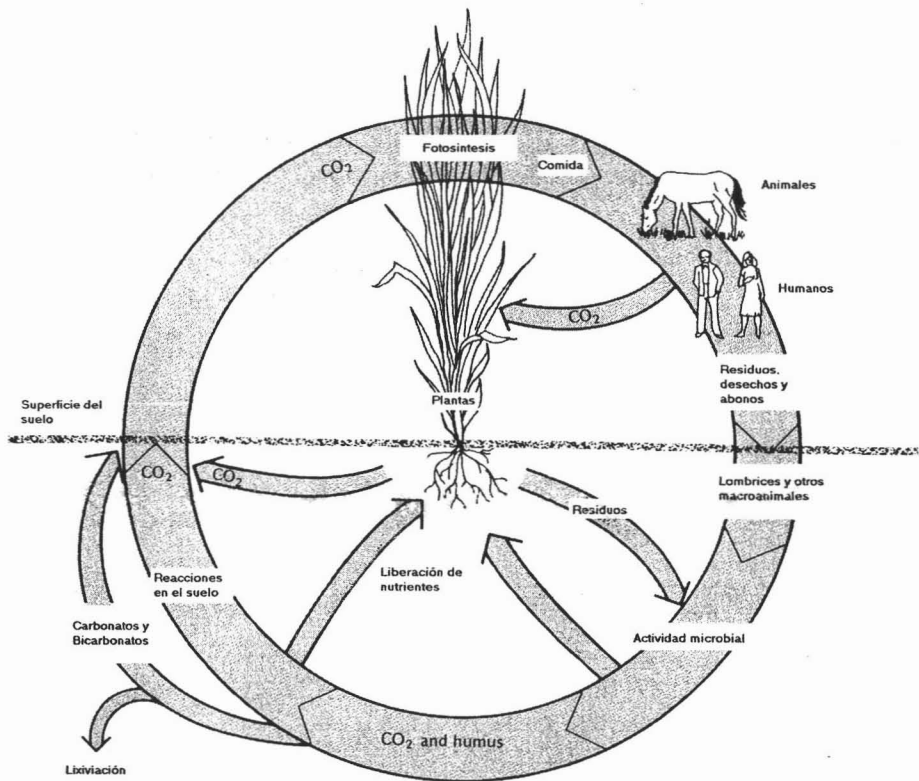


Fig. 4. Ciclo del carbono. Tomado de Nyle y Brady, 1990.

### **II.5.3 Relación C:N**

La proporción Carbono: Nitrógeno (C:N) indica la calidad de la Materia Orgánica del suelo (MOS), por sus efectos sobre la tasa de mineralización del nitrógeno, lo cual gobierna la descomposición. Es importante por la intensa competencia entre microorganismos que existe para obtener N disponible del suelo, que ocurre cuando los residuos tienen una alta proporción C:N.

La proporción C:N al ser relativamente constante en los suelos al igual que el mantenimiento de carbono, ocasiona que la MOS necesite un nivel de nitrógeno en el suelo (Nyle, 1990). La calidad del sustrato influye la tasa de mineralización del nitrógeno, no sólo a través de los efectos de la calidad del Carbono los cuales dirigen la tasa de descomposición, sino también afecta el balance entre la limitación de Carbono y Nitrógeno del crecimiento microbiano. Los microorganismos del suelo requieren sustratos con una proporción de 25:1 para encontrar sus requerimientos de nitrógeno (Chapin 2002), una proporción C:N se considera infértil cuando es mayor o igual a 30:1 (Paul & Clark 1989).

Al originarse un exceso en la mineralización, se da un aporte mayor de  $\text{NH}_4^+$  en el sustrato. Esto repercute en la proporción de C:N en el suelo, la cual disminuye por lo que aumenta el nitrógeno disponible y puede ser utilizado por las raíces favoreciendo así el crecimiento de las plantas. Cuando sucede lo contrario y aumenta la proporción C:N a niveles de 30:1 debajo de los requerimientos de la biomasa, las raíces mueren por falta de nitrógeno (Foth 1989).

Durante la descomposición de la MOS, hay una continua pérdida de  $\text{CO}_2$  acompañado por el aumento del porcentaje del nitrógeno y el decremento de la proporción de C:N (Smith 2002).

## **II.6 Efecto de las especies sobre los ciclos de nutrientes**

Recientemente se ha reconocido la importancia de las especies vegetales sobre los procesos que influyen en la estructura y el funcionamiento de los ecosistemas (Binkley 1993, García-Montiel & Binkley 1998, Vitousek et al. 1993), ya que una sola especie de planta tiene un papel importante para determinar la fertilidad del suelo en los ecosistemas naturales (Zinke 1962, en Sachman 2001). Se ha sugerido que algunas características de las especies vegetales como el uso de nutrientes y la ruta fotosintética influyen en los procesos biogeoquímicos del suelo, generando patrones de reciclado de nutrientes entre las especies (Galicia 2001, Binkley 1993, Vitousek *et al.* 1993).

Las plantas que crecen lento, producen pocas hojas que al caer al suelo se descomponen lentamente, (ya que la proporción C:N es alta) y por lo tanto la liberación de nutrimentos al suelo también es lenta (Chapin 1993). La ventaja de tener un crecimiento lento es que la planta puede evitar el estrés que suponen las condiciones de escasez de nutrientes de suelos pobres, a través de los siguientes mecanismos puede compensar el déficit: longevidad de las hojas y aumento en la masa radical para la obtención de nutrientes, es decir el carbono se invierte en la producción de raíces a costa de la producción de hojas, restringir el crecimiento a la cantidad promedio de recursos disponibles en el medio y en producir la menor cantidad posible de tejidos, de tal manera que no se llegue a una disfunción metabólica de los mismos (Chapin 1988). La disminución del área foliar implica, además una reducción del carbono total que fija la planta en la fotosíntesis. Este aumento de la masa radical es una causa importante de su baja tasa de crecimiento (Smith 2001).

Otra característica de las plantas que habitan en ambientes pobres en nutrientes es que sus hojas, tallos y ramas suelen contener bajas concentraciones de nutrientes, por consiguiente tienen un menor valor nutritivo para los organismos descomponedores. Éstos últimos tendrán que inmovilizar una mayor cantidad de nutrientes del suelo, reduciendo así la mineralización neta y la tasa a la que los nutrientes volverán a estar disponibles para las plantas. De este modo, la baja disponibilidad de nutrientes reforzará unas tasas de absorción bajas y una baja concentración de los mismos en los tejidos vegetales. Este circuito de retroalimentación positiva resulta particularmente importante en el caso del nitrógeno, cuya disponibilidad depende en gran medida de las tasas de circulación de los nutrientes (Smith 2001). En resumen, estas plantas responden a la baja disponibilidad de nutrimentos con tasas

de asimilación reducidas, bajas concentraciones tisulares de nutrimentos, crecimiento reducido o lento y con una retranslocación efectiva de nutrimentos de las hojas senescentes. Mientras que las especies con tasas relativas de crecimiento altas, muestran síntomas de deficiencia evidentes cuando crecen con bajas disponibilidades de nutrimentos (González 2002)

Por otro lado, las plantas con tasa de crecimiento rápido asignan más recursos a las partes aéreas, ya que éstas se han adaptado a condiciones fértiles y al caer al suelo se descomponen rápidamente, favoreciendo la liberación de nutrimentos al suelo, mismos que son capturados y aprovechados por la gran actividad de la biota del lugar, presentando altas tasas en la toma de nutrimentos por gramo de raíz por lo que sus hojas presentan una proporción C:N bajo (Chapin 1988). Por esto, recientemente se ha reconocido la importancia del efecto diferencial de las especies vegetales sobre los procesos que influyen a los ecosistemas, principalmente sobre la calidad de la materia orgánica del suelo (MOS), influenciando así los ciclos biogeoquímicos de los ecosistemas. Además se ha sugerido que algunas características específicas de las especies vegetales como el uso de nutrientes, la capacidad simbiótica de fijar nitrógeno y la ruta fotosintética también influyen en los procesos biogeoquímicos del suelo (Binkley 1993, García-Montiel & Binkley 1998, Vinton & Burke 1995, Vitousek & Hooper 1993).

En sistemas áridos y semiáridos la presencia de árboles y arbustos genera bajo sus copas patrones locales de disponibilidad de nutrientes en el suelo. Por ejemplo, la materia orgánica, la cantidad de biomasa microbiana y la disponibilidad de nitrógeno (N) y fósforo (P) en el suelo son significativamente mayores bajo el dosel de árboles y arbustos que en los pastizales abiertos (Belsky *et al.* 1993), generalmente esto se atribuye a la cantidad y la calidad del material orgánico que las especies vegetales retornan al suelo y por la influencia que estas tienen sobre la descomposición y la densidad de las comunidades microbianas del suelo (Binkley 1993).

En el caso de la SBC, se reporta que la biomasa microbiana almacena nutrientes en forma biológicamente activa en la época seca, cuando las plantas son poco activas; pero son liberados al inicio de la época de lluvias cuando las plantas inician su periodo de crecimiento. Sin embargo, la disponibilidad también está afectada por los cambios en la MOS, la entrada de carbono (C) al suelo, la composición de grupos microbianos y las características morfológicas

de las especies vegetales como el tamaño (Lodge et al. 1994, Bullock & Solís Magallanes 1990).

### ***II.6.1 Efecto de las especies vegetales con capacidad simbiótica de fijar nitrógeno en ecosistemas tropicales***

Las especies vegetales con capacidad simbiótica de fijar nitrógeno (N), tradicionalmente se han considerado como fuente de N disponible. Estas especies proporcionan recursos de mayor calidad (alta concentración de nitrógeno en las hojas) para los microorganismos, por lo que éstos liberan nitrógeno rápidamente. El estudio de las especies vegetales con capacidad simbiótica de fijar nitrógeno en zonas tropicales ha mostrado la entrada exógena de N incrementa la concentración y la acumulación de N en el suelo, además, acelera las tasas de descomposición debido a que no sólo entra N mineral sino, también cantidades considerables de C orgánico para los microorganismos (Palm & Sánchez 1990).

En estudios previos, el efecto de las especies con capacidad simbiótica de fijar nitrógeno sobre la actividad microbiana en selvas tropicales reflejaron un incremento de la circulación de nutrientes e influyeron en el ciclo de carbono; es decir estas especies estimulan la entrada de C al aumentar la productividad de hojas, tallos, raíces y productos de las raíces (ácidos orgánicos y exudados) (Palm & Sánchez 1990). Sin embargo, en algunas zonas tropicales se ha reportado que no todas las especies vegetales con capacidad simbiótica de fijar N aumentan el potencial de descomposición del mantillo; es decir no existen evidencias de que el incremento de N por algunas leguminosas acelere las tasas de mineralización aunque el cociente C:N sea reducido. Esto se debe a que ciertas plantas con capacidad simbiótica de fijar N presentan una alta cantidad de polifenoles, los cuales retardan la mineralización al inhibir la actividad enzimática, por lo que puede haber largos períodos de inmovilización (Palm y Sánchez 1990). La actividad enzimática se ve reducida porque los polifenoles producen polímeros estables con diferentes formas de N, reduciendo así la mineralización (Galicía 2001).

### III. Objetivos

#### III. 1 Objetivo general

Evaluar el efecto de la rizósfera y de la edad de cuatro especies de árboles (*Swietenia humilis*, *Caesalpineia platyloba*, *Acacia farnesiana*, *Guazuma ulmifolia*,) con diferente tasa de crecimiento, sobre la dinámica de Nitrógeno y Carbono del suelo para la recuperación del suelo en un sitio perturbado de Selva Baja Caducifolia en Chamela, Jalisco.

#### III. 2 Objetivos particulares:

1. Evaluar el área de influencia de la rizósfera de dos especies vegetales con distinta tasa de crecimiento (*Swietenia humilis* y *Acacia farnesiana*) introducidas a un pastizal, a través de la concentración de  $N_{total}$ ,  $C_{total}$  (de la proporción de C:N),  $NH_4^+$ ,  $NO_3^-$ , y las tasas de mineralización y de nitrificación del suelo. Y a su vez comparar la zona de influencia de dichas especies con el sitio perturbado donde predomina la especie de pasto: *Panicum maximum*.
2. Evaluar la dinámica de Nitrógeno y Carbono sobre la zona de la rizósfera de tres especies vegetales (*Swietenia humilis*, *Acacia farnesiana* y *Caesalpineia platyloba*), en comunidades con diferente composición de especies (crecimiento lento, rápido y mixto). Evaluar la dinámica de nutrientes a mediados y a finales de la época seca en *Swietenia humilis* y *Acacia farnesiana*.
3. Evaluar la dinámica de Nitrógeno y Carbono en la zona de la rizósfera de cuatro especies de árboles (*Swietenia humilis*, *Acacia farnesiana*, *Caesalpineia platyloba* y *Guazuma ulmifolia*), en diferentes edades.

#### IV. Hipótesis

1. La dinámica de nutrientes en la zona de la rizósfera de las especies será diferente al sitio perturbado.

\* Los niveles de  $N_{\text{total}}$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_3^-$  y de las tasas de mineralización y nitrificación serán mayores en la zona de la rizósfera de las especies que fuera de ella, o del sitio perturbado.

\* Los niveles de  $C_{\text{total}}$ , y de la proporción de C:N en la zona de la rizósfera, serán menores en la zona de la rizósfera de las especies que fuera de ella, o del sitio perturbado.

2. La dinámica de Nitrógeno y Carbono en la zona de la rizósfera de *Swietenia humilis*, *Acacia farnesiana* y *Caesalpineia platyloba*, será diferente en función de la comunidad (lenta, mixta o rápida) en que se encuentren.

\* Habrá mayores niveles de Nitrógeno total,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_3^-$ , de la tasa de mineralización y nitrificación y del cociente C:N en la composición de especies rápida que en la lenta.

\* Se infieren mayores niveles de Carbono total en la composición de especies lenta que en la rápida.

\* En la composición de especies mixta habrá una mayor influencia de las especies de rápido crecimiento, y de las especies fijadoras de nitrógeno (leguminosas).

3. Habrá una mayor influencia y concentración de nutrientes en la zona de la rizósfera de los individuos de mayor edad de; *Swietenia humilis*, *Acacia farnesiana*, *Caesalpineia platyloba* y *Guazuma ulmifolia*.

## V. Material y método

### V.2 Especies de estudio

Las especies de este estudio fueron seleccionadas principalmente por su tasa relativa de crecimiento, de las cuales *Swietenia humilis* y *Caesalpineia platyloba* se encuentran como especies de lento crecimiento y *Acacia farnesiana* y *Guazuma ulmifolia* especies de rápido crecimiento (Huante *et al.* 1991). Estas especies además fueron seleccionadas con base en la existencia de árboles adultos (remanentes) en la zona de estudio, así como en su desarrollo exitoso en el sitio perturbado y su papel en él, como es el caso de *Acacia farnesiana* que es una especie dominante y fijadora de nitrógeno, mientras que *Swietenia humilis* es una especie con una muy baja tasa de crecimiento y con alta mortandad al ser introducida a un pastizal, según estudios previos realizados por González en el 2002.

#### V.2.1 *Swietenia humilis*.

Familia Meliáceae

Nombre común: Caoba (nombre aplicado más comúnmente en toda su área de distribución), tzutzul (Chiapas), cobano (Mich., Guerrero y Oax), zapaton (Guatemala). Árbol caducifolio de hasta 7 m de altura y diámetro a la altura del pecho de hasta 3.5 m., con copa abierta y redondeada. Hojas dispuestas en espiral, paripinnadas o a veces imparipinnadas, de 12 a 14 cm de largo incluyendo el pecíolo; folíolos 3-5 pares, sentados, muy asimétricos. Especie monoica (flores de ambos sexos en una misma inflorescencia) las flores masculinas más abundantes que las femeninas. Los árboles de esta especie son caducifolios en las zonas más secas de su área de distribución. Se distribuye únicamente en la vertiente del Pacífico (Fig. 5)



Fig.5 *Swietenia humilis*: Mapa de distribución y A, rama con inflorescencia; B, cápsula. (Tomado de Pennington 1998)



### V.2.2 *Acacia farnesiana* (L.) Willd

Familia Leguminosae

Nombres comunes: huizache, espino y mimosa. Arbusto espinoso o árbol pequeño, perennifolio o subcaducifolio, de 1 a 2m de altura la forma arbustiva y de 3 a 10m la forma arbórea, con un diámetro de 40cm a la altura del pecho. Copa redonda, hojas plumosas, alternas, dispuestas en espiral, frecuente aglomeradas en las axilas de cada par de espinas, bipinnadas, de 2 a 8 cm de largo incluyendo el pecíolo, con 2 a 7 pares de folíolos primarios opuestos y 10 a 25 pares de folíolos secundarios. Tiene flores en cabezuelas originadas en las axilas de las espinas, solitarias o en grupos de 2 a 3. En Chamela, Jalisco, florece de diciembre a marzo. Sus frutos son vainas moreno rojizas, semiduras, solitarias o agrupadas en las axilas de las espinas, de 2 a 10cm de largo, casi cilíndricas, tardíamente dehiscentes (fig. 6).

Generalmente se desarrolla en terrenos con disturbios, terrenos sucesionales (acahuales). Se encuentra en climas cálidos, en una gran variedad de suelos desde muy arenosos hasta muy arcillosos, así como en suelos salinos, calcáreos, secos y extremadamente tolerables a la sequía. Originaria de América tropical, naturalizada en todo el mundo tropical y en el Mediterráneo. Su área de distribución es heterogénea; en la vertiente Pacífica desde el sur de Sonora hasta Chiapas y de manera discontinua en la vertiente Atlántica (Pennington 1968).

Importancia: es una especie con potencial para reforestación productiva en zonas degradadas de selva y ambientes áridos y salinos, debido a que es utilizada para la estabilización de bancos de arena, para control de la erosión, y para la recuperación de suelos químicamente degradados. Además es una especie secundaria que sucede al bosque tropical caducifolio, formando nódulos fijadores de nitrógeno en las raíces (a través de su simbiote *Rhizobium*). Sin embargo, tiene la desventaja de tener la tendencia a adquirir propagación malezoide invasora, se conoce como arbusto invasor de pastizales en todas las partes secas de América tropical (Pennington 1968).

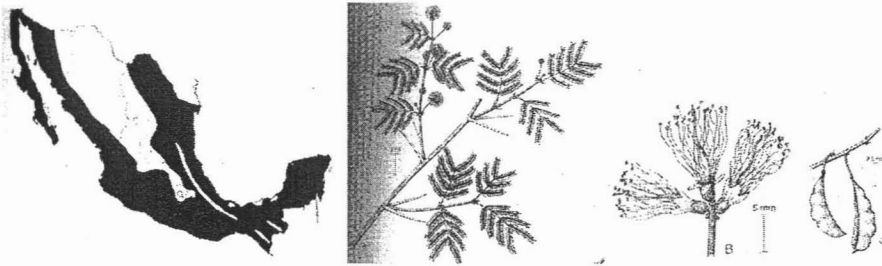


Fig. 6 *Acacia Farnesiana*: Mapa de distribución y A, rama con inflorescencias; B, Flores; C, vainas. (Tomado de Pennington 1998)

### V.2.3 *Caesalpinia platyloba*. (S. Wats)

Familia Leguminosae

Sinonimias: *Caesalpinia blasiana*, *Brasilettia platyloba*, *Brasilettia blasiana*, *Brasilettia pubescens* y *Brasilettia pilosa* (Contreras 1991).

Nombres comunes: Palo colorado (Sonora y Chiapas), Veylaquí (Chihuahua), Arellano (Sinaloa). (Lorente, 2001). Árbol o arbusto dioico, de corteza gris lisa o escamosa, de 2 a 10 metros de altura con un diámetro de 20 cm, hojas de 7.8cm de largo, puberulentas y triangulares, con inflorescencias axilares, racemosas, las masculinas de 5-17cm de largo, las femeninas de 9.5-13.6cm de largo. Sus semillas son ovaladas, planas de 9.3mm de largo por 12.7mm de ancho y 1.9mm de grosor, de color oliváceo oscuro, testa transversalmente fisurada. Florece de Enero a Mayo y fructifica a partir de Marzo; sus legumbres permanecen largo tiempo. Habita en la Selva Baja Caducifolia y Selva Baja Subcaducifolia y etapas sucesionales de éstos tipos de vegetación, en laderas pedregosas, en suelos arenosos o arcillosos. Se distribuye en la costa del Pacífico y estribaciones de la Sierra Madre Occidental y Sierra Madre del Sur, de Chihuahua a Oaxaca, de 0 a 110 msnm (Pennington 1998).

Importancia: Es una especie constituida por un complejo de poblaciones con caracteres muy variables que se entremezclan, haciendo difícil su delimitación; la variación influye la forma. Frecuentemente es utilizada como cerca viva en huertos y en las orillas de potreros (Contreras 1991).

### V.2.4 *Guazuma ulmifolia*.

Familia Sterculiaceae

Nombres comunes: Guácima y Guazuma (Sinaloa), Uacima y Palote negro (Michoacán), Yaco granadillo y Yaco del venado (Oaxaca). (Lorente 2001). Árbol caducifolio de hasta 8 m y

diámetro a la altura del pecho (d.a.p.) de hasta 70 cm, normalmente de menor talla, frecuentemente ramificado de la base, copa dispersa.

Corteza externa ligeramente fisurada, pardo grisácea, corteza interna de color amarillento, fibrosa, hojas alternas, simples, ovaladas. Flores en inflorescencia de color crema, frutos en cápsula, crecen en infrutescencias de hasta 10cm, ovoide, de color oscuro a negro, de olor y sabor dulce. Florece casi todo el año, especialmente de abril a octubre. Se distribuye en la costa del Pacífico, en la costa del Golfo de México y estribaciones de la Sierra Madre del Sur (Fig. 7).

Especie muy abundante en la vegetación secundaria, especialmente en zonas con la temporada seca bien marcada o en zonas con vegetación sabanoide o potreros de casi toda el área cálido-húmeda. Puede presentarse como especie importante de etapas secundarias muy avanzadas de selvas medianas subperennifolias, dando la impresión de ser elemento primario. Importancia: Los frutos se utilizan como alimento para el ganado y consumo humano. La madera se usa en ocasiones para producir carbón o herramientas de trabajo.

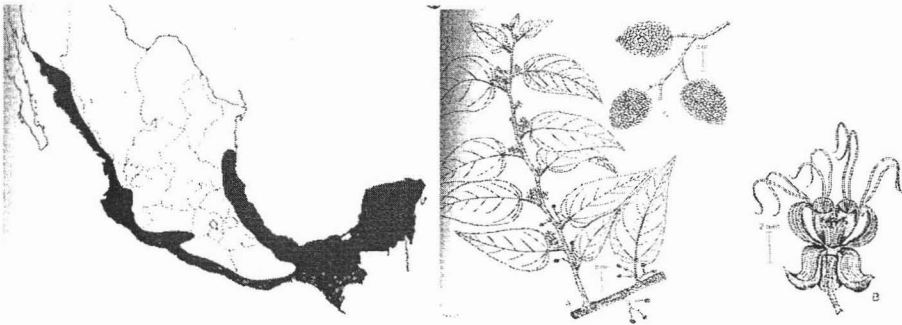


Fig. 7 *Guazuma ulmifolia*: Mapa de distribución y A, rama con inflorescencia; B, Flor; C, infrutescencia. (Tomado de Pennington 1998)

### ***Panicum maximum***

Su nombre común es pasto guinea, es una gramínea introducida que se caracteriza por su resistencia a la sequía estacional y su baja tolerancia a la sombra (Martínez-Yrizar 1984). Generalmente esta especie, se utiliza para la alimentación del ganado.



Efecto de 4 especies vegetales sobre la dinámica de N y C en un sitio perturbado

y con una distancia entre individuos de 1m. A cada cuadrante se le asigno un tipo de comunidad con diferente composición de especies: 1) el LEN con plantas de lento crecimiento, 2) el RAP con plantas de rápido crecimiento, 3) el MIX con plantas de lento y rápido 4) el SPAS en el que se podó totalmente el pasto y se roció herbicida (roundup) sin la introducción de árboles, 5) y el PAS dejando el pasto original sin la introducción de árboles (Fig. 9). Esto fue realizado previamente para investigaciones del Laboratorio de Ecofisiología de Crecimiento de la UNAM. Para este estudio sólo se utilizaron 5 cuadrantes (dos de LEN, dos de RAP y un MIX), en los cuales se trabajó con 5 replicas de cada especie estudiada (*Swietenia humilis*, *Acacia farnesiana*, *Caesalpinea platyloba* y *Guazuma ulmifolia*) (Fig. 10), además de 6 árboles adultos de éstas mismas especies que se encontraban en la misma área pero fuera de los cuadrantes.

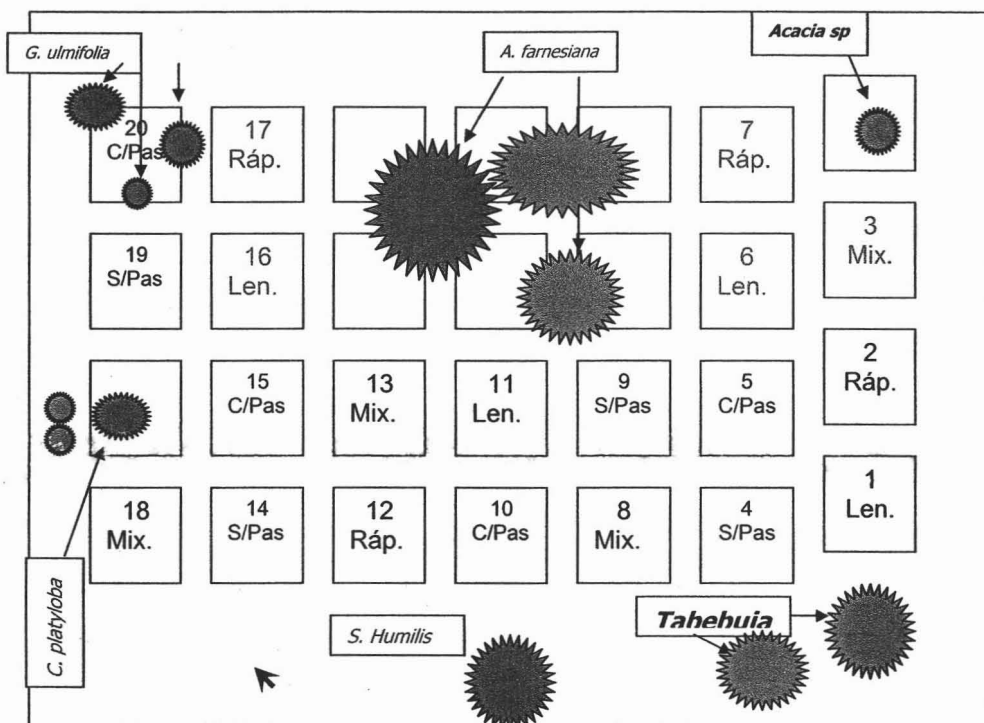
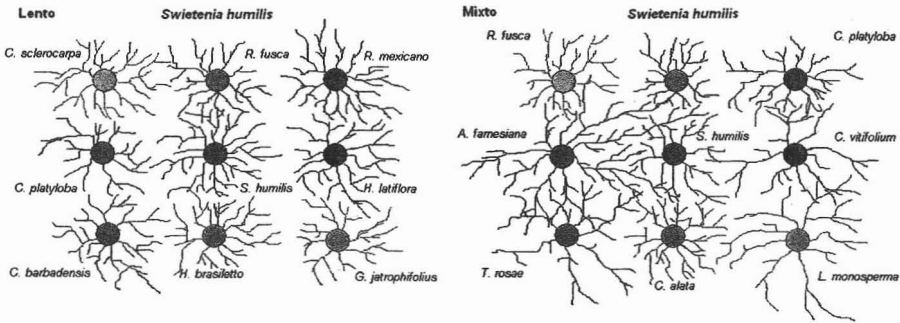


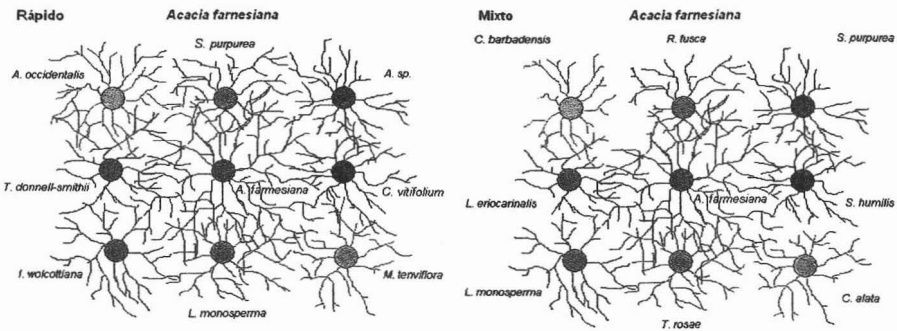
Fig. 9 Distribución de las comunidades en el área de trabajo: plantas de lento crecimiento (LEN), plantas de rápido crecimiento RAP, plantas de lento y rápido (MIX), sin plantas y con herbicida (SPAS) y con el pasto original (PAS). Evitando que quedarán juntos los mismos tratamientos y los cuadros con sombra de árboles. Los cuadros y los árboles remanentes utilizados para el presente estudio están marcados en rojo (Tomado de González, 2002 y modificado)

**ORGANIZACIÓN DE LAS ESPECIES EN LAS DISTINTAS COMUNIDADES.**

***Swietenia humilis***



***Acacia farnesiana***



***Caesalpinea platyloba***

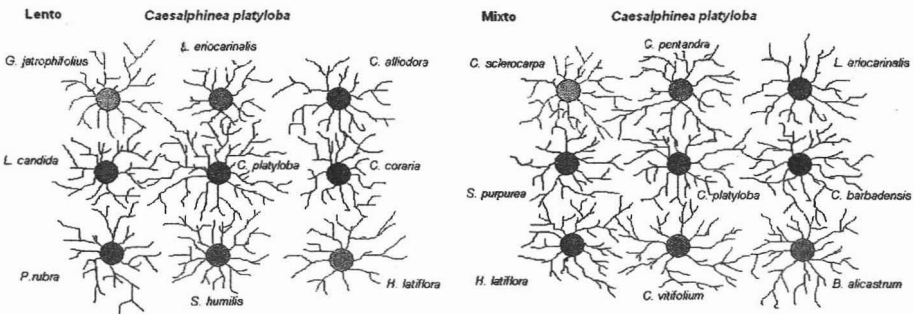


Fig.10 Organización de las especies que rodean a *Swietenia humilis*, *Acacia farnesiana* y a *Caesalpinea platyloba*, en las distintas comunidades o cuadros. Donde: **Lento** corresponde a la comunidad con especies lentas, **Rápido** corresponde a la comunidad con especies rápidas y **Mixto** a la comunidad con especies rápidas y lentas.

### V.3. Diseño experimental

Se realizaron dos muestreos de suelo; el primer muestreo (M1) a mediados de la época seca (Febrero); y el segundo muestreo (M2) a finales de la época seca (Junio) del 2002. Este calendario se realizó en base a estudios previos donde se observó una mayor acumulación de nutrientes durante la época de sequía (Lodge *et al.* 1994, Sachman 2001).

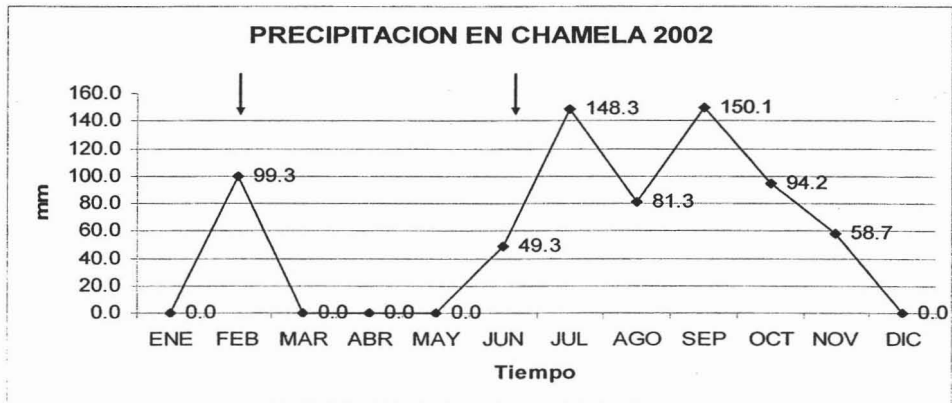


Fig. 11 Gráfica que muestra la precipitación en Chamela, Jalisco durante el año del estudio (2002, I. Biología UNAM)

#### V.3.1 Muestreo de suelo

La zona de estudio es de origen aluvial, con nitidez de los horizontes y profundidad hasta 213 cm, el suelo se clasificó como; Fluvisol eutrítico (FAO 1980).

El muestreo de suelo se realizó en base a la NOM 123 (en proceso de aprobación por el H. Congreso de la Unión), la cual consiste en tomar un centro como referencia en el área que se quiere muestrear y a partir de éste trazar los 8 puntos cardinales de la rosa de los vientos. En este estudio se utilizó el tallo del árbol como centro y de ahí se muestreó en las ocho diferentes orientaciones (Norte, Sur, Este, Oeste, Noreste, Noroeste, Sureste, Suroeste).

Para evaluar el efecto de la rizósfera en diferentes distancias, en este estudio se utilizó el tallo del árbol como centro y se muestreó en cuatro diferentes distancias (fueron variables de acuerdo al tamaño de los individuos) del tallo hacia la copa, en las ocho orientaciones. Para evaluar el efecto de la composición de especies y de la edad, se tomó como centro el tallo del árbol y se muestreó en una distancia intermedia entre el tallo y la copa de los individuos en cada dirección de la rosa de los vientos (Fig. 12). Se realizaron muestras compuestas a partir de los 5 individuos (replicas) de cada cuadro para cada especie y en la

misma distancia. Esto se realizó tanto para los árboles jóvenes (dentro de los cuadrantes) como para los árboles adultos (Tabla 1 y 2).

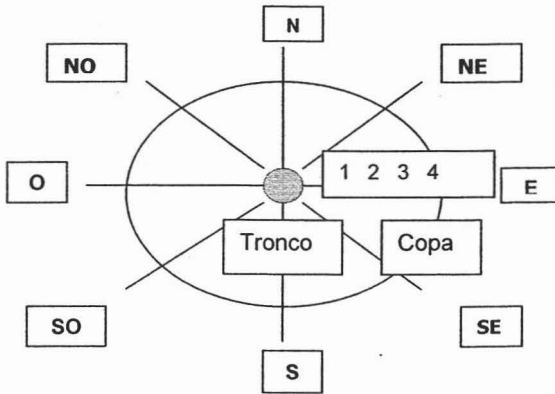


Fig.12 Muestreo de suelo según la NOM 123, en las cuatro distancias a través de las 8 orientaciones: Norte (N), Sur (S), Este (E), Oeste (O), Noreste (NE), Noroeste (NO), Sureste (SE), Suroeste (SO).

Especie	Edad	Altura	Cobertura	Copa	Diámetro
<i>Swietenia humilis</i>	Joven (2 años)	163.00	125.27	633.44	3.63
	Árbol (5 años)	384.43	210.52	104	8.5
<i>Acacia farnesiana</i>	Joven (2 años)	326.80	693.30	22.02	5.95
	Árbol (9 años)	1000.25	1120.58	56.78	48.95
<i>Caesalpineia platyloba</i>	Joven (2 años)	481.40	489.25	256.11	13.90
	Árbol (6 años)	740.02	750	110	27.1

Tabla 1. Muestra las medidas de los individuos adultos (árboles) y los promedios de las medidas de los individuos jóvenes de las especies: *Swietenia humilis*, *Acacia farnesiana* y *Caesalpineia platyloba*. Los promedios corresponden a las replicas del tratamiento lento para *S. humilis* y *C. platyloba* y al tratamiento rápido para *A. farnesiana*. \*Las edades de los individuos adultos, son aproximadas.

Especie	Edad	Altura	Cobertura	Copa	Diámetro
<i>Guazuma ulmifolia</i>	Árbol (4 años *)	610	430	48	11
	Mediano (3 años *)	450	390	110	10
	Pasa viejo (2 años *)	380	267	10	7
	Rápido (1 año *)	324	310	10	6

Tabla 2. Muestra las medidas de los árboles de la especie de rápido crecimiento *G. ulmifolia*, en las distintas edades: 1, 2, 3 y 4 años aproximadamente. \*Las edades no son reales, son aproximadas en base a sus medidas.

El suelo se muestreó en los primeros 5 cm de profundidad con un tubo de PVC de 2 pulgadas de diámetro por 20 cm de longitud y con un martillo de goma, guardándose



posteriormente en bolsas de plástico para evitar la deshidratación en el traslado. Las bolsas se marcaron con tinta indeleble, con la siguiente información: número de cuadro, tipo de tratamiento, especie y distancia (Fig. 13).

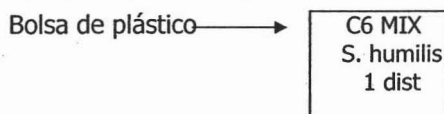


Fig. 13 Las bolsas fueron marcadas con el número de cuadro (C6), tipo de comunidad (MIX), especie (*S. humilis*) y número de distancia (1 dist.).

Inmediatamente después de hacer la colecta de suelo, las muestras se metieron en hieleras con una temperatura de 8 a 10°C donde se transportaron a la estación Biología de Chamela para ser refrigeradas a 4°C, y al día siguiente fueron transportadas en hieleras al Instituto de Ecología de la UNAM en Ciudad Universitaria.

### **V.3.2 Análisis de suelo**

En el Laboratorio de Ecofisiología del Crecimiento del Instituto de Ecología, las muestras compuestas de suelo se tamizaron con una malla de 1 mm. Posteriormente se realizaron 3 replicas de cada muestra para el análisis estadístico.

#### **V.3.2.1 INCUBACIÓN**

Posteriormente una pequeña porción de cada muestra fue puesta a incubar en vasos de gelatina previamente perforados lateralmente para la ventilación, guardándose éstos a su vez en envases tipo copro.

Los envases contenían papel filtro humedecido en la base para evitar que se deshidratara el suelo y mantener la humedad constante. Las muestras se dejaron en una cámara de incubación Lab-Line, a una temperatura de 25°C. Las tapas fueron marcadas con tinta indeleble señalando el número de réplica (R1, R2, R3), número de muestreo, número de cuadro, especie y distancia.

#### **V.3.2.2 FILTRACIÓN.**

Para cada una de las muestras, se pesaron 20g de suelo colectado, se le agregaron 100 ml. de KCl a 2M y se agitó durante 30 minutos a 250 r.p.m. Inmediatamente se filtraron con papel Whatman del No.1 y el sobrenadante se guardó en frascos de Nalgene de 200 ml a 4°C (Alef y Nannipieri, 1995).

### **V.3.2.3 CUANTIFICACIÓN DE AMONIO POR COLORIMETRÍA**

El sobrenadante se dejó en reposo durante 24 hrs. El día en que se elaboró la técnica, se prepararon los reactivos:

- Se disolvieron 62.6 g de fenol en etanol, y se le agregaron 18.5 ml. de acetona, aforándolo hasta 100 ml. con etanol guardándolo a 4° C.
- Se disolvieron 27 g, de hidróxido de sodio en agua desionizada y se aforo a 100 ml.
- Se disolvieron 16.6 ml. de cloralex en agua desionizada y se aforo a 100 ml.

Poco antes de ser usados, se mezclaron 20 ml. de las soluciones de fenol e hidróxido de sodio, aforándolos a 100 ml. con agua desionizada. del sobrenadante, se tomaron 50 ml., y se le agregaron 4 ml. de NaOH/Fenol, más 3 ml. del Hipoclorito (cloralex), se dejó reposar durante 90 min. y después se leyó en el espectrofotómetro (SPECTRONIC GENESYS 2 1999 E.U.) a 630 nm, en el modo de concentración.

Simultáneamente a las muestras, se elaboró a partir de Sulfato de Amonio la curva patrón, con las soluciones de 0.5 ug-1 g, 1 ug-1 g, 1.5 ug-1 g y 2 ug-1 g; el blanco fue la solución de KCl al 2M y se les realizaron los mismos pasos de la técnica arriba descrita (Alef y Nannipieri 1995). Se hizo una curva de relación concentración-absorbancia, resultando una recta. Debido al número tan grande de muestras, fue necesario corroborar si el resultado de la técnica cambiaba en el tiempo que transcurría para realizar la medición en el espectrofotómetro. Con la curva patrón y 10 muestras, se corrió la técnica y durante 3 horas se leyeron en el espectrofotómetro. No se presentó ningún cambio significativo en la concentración (datos no presentados).

### **V.3.2.4 CUANTIFICACIÓN DE NITRATOS POR COLOMETRÍA.**

Para la cuantificación de nitratos, se tomaron 2.5 ml. del sobrenadante.

- Se le añadieron 5 ml. de ácido salicílico, se agitó levemente y dejó reposar durante 30 min.
- Después se le agregaron 50ml. de hidróxido de sodio 4M.
- Se dejó reposar una hora y se leyeron las muestras en el espectrofotómetro (SPECTRONIC GENESIS 2 1999 E. U.) a una longitud de onda de 410 nm., en el modo de concentración.

Como curva de calibración se prepararon varias concentraciones de Nitrato de Potasio, 0.5 ug-1 g, 1 ug-1 g, 1.5 ug-1 g y 2 ug-1 g; el blanco consistió en sólo KCl 2M, y se siguió de la

misma forma que en la determinación de amonio (Alef y Nannipieri 1995). Además se realizó una curva absorbancia-concentración, obteniendo como relación una recta. Debido al número tan grande de muestras, fue necesario corroborar si el resultado de la técnica cambiaba en el tiempo. Con la curva patrón y 10 muestras, se corrió la técnica, y durante 3 horas se leyeron las muestras en el espectrofotómetro, sin presentar ningún cambio significativo en la concentración (datos no presentados).

#### **V.3.2.5 CUANTIFICACIÓN DE $N_{total}$ , $C_{total}$ , PROPORCIÓN C:N .**

De cada muestra, además de los 20g de suelo pesados para la cuantificación de nitratos y amonio, se tamizó con una abertura de 2 mm, guardándose en frascos de plástico.

Posteriormente, en una microbalanza (Thermo Quest) se pesaron las muestras en un rango de 5 a 6 miligramos, en cápsulas de estaño para muestras sólidas (CE instruments). Las muestras ya pesadas, se analizaron en el autoanalizador elemental (NC2500 de Thermo Quest, CE instruments), para cuantificar  $N_{total}$  y  $C_{total}$ . Se usó como estándar Ciclohexanona-2,4-dinitrofenilidrazona el cual tiene 51.79% de carbono y 20.14% de nitrógeno (CEDFNI de CE instruments). Para calcular la proporción de C:N, se dividió el carbono total entre el nitrógeno total (Alef y Nannipieri 1995).

#### **V.3.2.6 MINERALIZACIÓN Y NITRIFICACIÓN.**

La mineralización, fue determinada por la fórmula:

Mineralización=  $[(NH_4^+-Na \text{ y } NO_3^-Na)-(NH_4^+-Nb \text{ y } NO_3^-Nb)] / t \times \text{peso seco de 1 g de suelo}$  (Alef y Nannipieri 1995).

La nitrificación fue determinada por la fórmula:

Nitrificación=  $[(NO_3^-Na)-(NO_3^-Nb)] / t \times \text{peso seco de 1 g de suelo}$  (Robertson y Vitousek 1981). En donde:

$NO_3^-Na$  = es la concentración inicial de nitratos después de la incubación

$NH_4^+-Nb$  = es la concentración control de amonio

$NO_3^-Nb$  = es la concentración control de nitratos

t = tiempo de incubación

dwt = es el peso de 1 g de suelo seco

#### V.4 Procesamiento de los datos

En el primer muestreo realizado en la época seca en febrero del año 2002, para evaluar los efectos de las especies (*Acacia farnesiana* y *Swietenia humilis*) en diferentes distancias (en la zona de la rizósfera) y compararse con el sitio perturbado, se realizaron análisis de varianza (ANOVAS) y cuando la interacción resultó significativa se hicieron comparaciones múltiples con la prueba de Tukey.

El segundo muestreo fue realizado a finales de la época seca en el mes de Junio del 2002. En este muestreo se incluyeron dos nuevas especies: *Caesalpinea platyloba* (crecimiento lento) y *Guazuma ulmifolia* (crecimiento rápido).

*C. platyloba* se evaluó al igual que *S. humilis* y *Acacia farnesiana* dentro de tres comunidades (cuadros) con diferente composición de especies: de crecimiento lento, rápido y mixto respectivamente, para conocer como éstas especies son influenciadas por otras especies que las rodean, se realizaron ANOVAS múltiples, y para conocer que interacción era diferente de otra se realizaron comparaciones múltiples con la prueba de Tukey. En el caso de *Acacia farnesiana* y *Swietenia humilis*, se realizaron ANOVAS de medidas repetidas para conocer como cambia la dinámica de nutrientes en el tiempo durante los dos muestreos de la época seca. Posteriormente se compararon las tres especies dentro de la comunidad mixta, del mes de junio con el pasto, para esto se realizaron ANOVAS múltiples, y para conocer que interacción era diferente de otra se realizaron comparaciones múltiples con la prueba de Tukey.

*G. ulmifolia* por otra parte se evaluó en cuatro diferentes edades (1, 2, 3, y 4 años respectivamente) (Tabla 2), para esto se realizaron ANOVAS múltiples y pruebas de Tukey para conocer que edades eran diferentes. También con base al segundo muestreo, siguiendo el mismo diseño experimental y tomando en cuenta una distancia como la zona de mayor sensibilidad de las especies, se compararon individuos jóvenes (dos años) y adultos (de entre 5 y 9 años) (Tabla 1), en tres especies arbóreas: *A. farnesiana*, *S. humilis*, *C. platyloba*, para analizar como cambia la dinámica con la edad. Para evaluar estadísticamente los datos obtenidos de estas tres especies se realizaron pruebas de "T" para comparar la dinámica de nutrientes en ambas edades. Todas las pruebas estadísticas fueron realizadas con el programa de STATISTICA de Stat Soft, Inc. 1984-1999. M. R.

## VI. Resultados

### VI.1 DINÁMICA DE NITRÓGENO Y CARBONO ASOCIADO A DIFERENTES DISTANCIAS EN LA RIZOSFERA DE LAS ESPECIES

En general, los resultados de las dos especies *S. humillas* y *A. farnesiana* nos muestran que no hay diferencias entre las distancias, solo en algunos casos se observa una mayor influencia de dichas especies bajo la copa que fuera de ella, y en general se observan diferencias entre las especies y el sitio perturbado (pasto).

#### VI.1.1 *Swietenia humilis*

##### Amonio ( $\text{NH}_4^+$ ) y Nitratos ( $\text{NO}_3^-$ )

En la concentración de amonio se encontró que no hay diferencias significativas entre las distancias de *S. humillas*, pero si de esta especie con el pasto, siendo menores sus concentraciones que en el pasto ( $p=0.000012$ , Anexo 1), ( $p=0.011232$ , Anexo 2), ( $p=0.000043$ , Anexo 3).

En la concentración de nitratos en *S. humillas* al igual que en la concentración de amonio, no se encontraron diferencias entre las distancias, sin embargo si se encontraron diferencias significativas entre las dos primeras distancias cercanas a la base del tronco y el pasto, en las dos comunidades (mixta y lenta) y en el individuo adulto ( $p=0.005311$ , Anexo 4), ( $p=0.012435$ , Anexo 5), ( $p=0.018277$ , Anexo 6).

##### Mineralización y Nitrificación

En el caso de la tasa de mineralización y nitrificación de *Swietenia humilis*, los resultados fueron similares a sus productos amonio y nitratos respectivamente. En la tasa de mineralización de los individuos de la comunidad mixta se encontraron diferencias significativas entre las distancias 1, 2, y 3 con el pasto ( $p=0.006968$ , Anexo 7). En la comunidad lenta y en el individuo adulto se encontraron diferencias en todas las distancias (1, 2, 3, 4) con el pasto ( $p=0.007861$ , Anexo 8), ( $p=0.006211$ , Anexo 9).

La tasa de nitrificación fue significativamente menor en el pasto que en *Swietenia humilis*, mientras que en esta última el proceso de nitrificación es mayor cerca de la base del tronco que en el pasto (Fig. 14). Se encontraron diferencias significativas en la comunidad mixta entre las distancias 1, 2, 3 con el pasto ( $p=0.008519$ , Anexo 10). En la comunidad lenta

y en el individuo adulto se encontraron diferencias en las distancias 1 y 2 con el pasto ( $p=0.028884$ , Anexo 11), ( $p=0.042120$ , Anexo 12).

### **C total, N total y C:N**

La concentración de C total fue significativamente menor en *Swietenia humilis* que en el pasto, sin mostrar diferencias entre las distancias (Fig. 14). Se encontraron diferencias significativas en la comunidad lenta, mixta y en el individuo adulto en todas las distancias (1, 2, 3 y 4) con el pasto ( $p=0.000001$ , Anexo 13); ( $p=0.000001$ , Anexo 14);  $p=0.000000$ , Anexo 15).

La concentración de N total fue significativamente menor en *S. humillas* que en el pasto. Se encontraron diferencias significativas en la comunidad lenta de las distancias con el pasto ( $p=0.000039$ , Anexo 16). En la comunidad mixta no se encontraron diferencias en las distancias, solo de éstas con el pasto ( $p=0.000016$ , Anexo 17) y en el individuo adulto se encontraron diferencias entre todas las distancias y el pasto ( $p=0.000004$ , Anexo 18)

La relación Carbono:Nitrógeno es mayor en la zona perturbada que en *Swietenia humilis*, sin encontrar diferencias entre las distancias (Fig. 14). Se encontraron diferencias significativas la comunidad lenta, mixta y el individuo adulto entre las distancias (1, 2, 3 y 4) con el pasto ( $p=0.000064$ , Anexo 19), ( $p=0.000003$ , Anexo 20), ( $p=0.000008$ , Anexo 21).

Por lo anterior se puede decir que no se encontraron diferencias entre la especie de lento y de rápido crecimiento, debido a que presentan una dinámica de nutrientes similar. Aunque con ligeras diferencias en cuento a la zona de mayor influencia, en donde en la especie lenta se observa que existe una mayor influencia de la especie cerca de la base a comparación de la especie rápida.

### **VI.1.2 Acacia farnesiana**

#### **Amonio ( $\text{NH}_4^+$ ) y Nitratos ( $\text{NO}_3^-$ )**

La concentración de amonio fue significativamente menor en *Acacia farnesiana* que en el pasto, sin encontrar diferencias entre las distancias (Fig. 15). Se encontraron diferencias significativas en la comunidad mixta, rápida y en el individuo adulto de las cuatro distancias con el pasto ( $p=0.000245$ , Anexo 22), ( $p=0.000068$ , Anexo 23), ( $p=0.000669$ , Anexo 24).

La concentración de nitratos fue significativamente menor en el pasto que en *Acacia farnesiana*, aunque no se encontraron diferencias entre las distancias, se observa un mayor efecto de la especie bajo la copa (Fig. 15). En la comunidad mixta, rápida y en el individuo

adulto se encontraron diferencias de las distancias 1, 2 y 3 con el pasto ( $p=0.000537$ , Anexo 25), ( $p=0.005827$ , Anexo 26), ( $p=0.008307$ , Anexo 27).

### **Mineralización y Nitrificación**

La tasa de mineralización fue significativamente menor en *Acacia farnesiana* que en el pasto y la influencia de dicha especie es mayor en las distancias bajo la copa de los árboles (Fig. 15). En la comunidad mixta se encontraron diferencias significativas en las cuatro distancias con el pasto ( $p=0.03744$ , Anexo 28). En la comunidad rápida se encontraron diferencias las distancias 1, 2 y 3 con el pasto ( $p=0.004235$ , Anexo 29) y en el individuo adulto se encontraron diferencias entre las distancias 1, 2 y 3 con el pasto ( $p=0.000556$ , Anexo 30).

La tasa de nitrificación fue significativamente mayor *Acacia farnesiana* en la comunidad rápida con el pasto, y aunque no se observan diferencias entre las distancias la influencia de dicha especie es mayor en las distancias cercanas a la base del tronco (Fig. 15). La comunidad mixta, en el rápido y en el individuo adulto se encontraron diferencias en las distancias 1, 2 y 3 con el pasto ( $p=0.006854$ , Anexo 31), ( $p=0.004655$ , Anexo 32) ( $p=0.004015$ , anexo 33).

### **C total, N total y C:N**

La concentración de C total fue significativamente menor en *Acacia farnesiana* que en el pasto, sin mostrar diferencias entre las distancias (Fig. 15). En la comunidad mixta, en el tratamiento rápido y en el individuo adulto se encontraron diferencias significativas en las cuatro distancias con el pasto ( $p=0.000042$ , Anexo 34), ( $p=0.000002$ , Anexo 35), ( $p=0.000002$ , Anexo 36).

La concentración de C total fue significativamente menor en *Acacia farnesiana* que en el pasto, sin mostrar diferencias entre las distancias. En la comunidad mixta, rápida y en el individuo adulto se encontraron diferencias de todas las distancias (1, 2, 3, y 4) con el pasto ( $p=0.000025$ , anexo 37), ( $p=0.020973$ , Anexo 38), ( $p=0.002104$ , Anexo 39).

La relación C:N fue significativamente menor en *Acacia farnesiana* que en el pasto, aunque no se encontraron diferencias entre las distancias. En la comunidad mixta, rápida y en el individuo adulto se encontraron diferencias significativas en las cuatro distancias con el pasto ( $p=0.000019$ , Anexo 40), ( $p=0.000959$ , Anexo 41), ( $p=0.000006$ , Anexo 42).

## VI.2 EFECTO DE LA COMPOSICIÓN DE ESPECIES SOBRE LA DINÁMICA DE NUTRIENTES EN LA RIZOSFERA DE 3 ESPECIES EN INICIO (Febrero) Y FIN (Junio) DE LA ÉPOCA SECA

### VI.2.1 *Swietenia humilis*

#### Amonio ( $\text{NH}_4^+$ ) y Nitratos ( $\text{NO}_3^-$ )

Los valores significativos más altos de amonio del mes de febrero (fig. 16), se encontraron en los individuos de *S. humillas* de la comunidad mixta, mientras que los del mes de junio se encontraron en los individuos de la comunidad lenta ( $p=0.000001$ , Anexo 43). Se encontraron los mayores valores en el mes de junio ( $p=0.000007$ , Anexo 44).

Los valores más altos significativos de nitratos los presentaron los individuos de *S. humillas* en la comunidad lenta en ambos muestreos: febrero y junio (fig. 16). ( $p=0.019429$ , Anexo 45). También se encontraron los mayores valores en el mes de junio ( $p=0.002661$ , Anexo 46).

#### Mineralización y Nitrificación

Los resultados de ambos muestreos (fig. 16), nos muestran una mayor tasa de mineralización en los individuos de *S. humillas* de la comunidad lenta ( $p=0.019429$ , Anexo 47). Se encontraron los mayores valores en el mes de junio ( $p=0.001217$ , Anexo 48).

En la tasa de nitrificación, los valores más altos de febrero también los presentaron los individuos de *S. humillas* de la comunidad mixta, mientras que en junio fueron mayores en la comunidad lenta ( $p=0.005412$ , Anexo 49). No se encontraron diferencias entre muestreos (febrero y junio).

#### C total, N total y C:N

La concentración de Carbono total no fue estadísticamente diferente entre los individuos de *S. humillas* dentro de las comunidades (fig. 16), sólo se encontraron diferencias significativas entre muestreos, presentándose los mayores valores en el mes de junio ( $p=0.033855$ , Anexo 50). Los valores significativos más altos de Nitrógeno total de febrero los presentaron los individuos de *S. humillas* en la comunidad mixta, mientras que los más altos de junio los presentaron los individuos de la comunidad rápida ( $p=0.019160$ , Anexo 51). Se encontraron los mayores valores en el mes de junio (fig. 16).

Los valores significativos más altos del cociente C:N se encontraron en los individuos de *S. humillas* de la comunidad lenta en ambos muestreos ( $p=0.000511$ , Anexo 52). Los muestreos no fueron estadísticamente diferentes (fig. 16).



## VI.2.2 *Acacia farnesiana*

### Amonio ( $\text{NH}_4^+$ ) y Nitratos ( $\text{NO}_3^-$ )

En ambos muestreos: febrero y junio (Fig. 17), los valores significativos más altos de amonio los presentaron los individuos de *A. farnesiana* de la comunidad rápida ( $p=0.000001$ , Anexo 53). Se encontraron los mayores valores en el mes de junio ( $p=0.020631$ , Anexo 54).

En febrero los valores más altos de nitratos los presentaron los individuos de *A. farnesiana* de la comunidad mixta, mientras que en junio los presentaron los individuos de la comunidad rápida ( $p=0.004032$ , Anexo 55). Los muestreos no fueron estadísticamente diferentes (Fig. 17).

### Mineralización y Nitrificación

La mayor tasa de mineralización en febrero la presentaron los individuos de *A. farnesiana* de la comunidad rápida, mientras que en junio la presentaron los individuos de la comunidad mixta ( $p=0.000028$ , Anexo 56). Se encontraron los mayores valores en el mes de junio ( $p=0.030019$ , Anexo 57). En la tasa de nitrificación se obtuvieron resultados contrarios; en febrero la mayor tasa de nitrificación la presentaron los individuos de *A. farnesiana* de la comunidad mixta, mientras que en junio la presentaron los individuos de la comunidad rápida ( $p=0.000094$ , Anexo 58). Se encontraron los mayores valores en el mes de junio ( $p=0.037302$ , Anexo 59).

### C total, N total y C:N

Los valores más altos de carbono total de *A. farnesiana* en ambos muestreos los presentaron los individuos de la comunidad mixta ( $p=0.000073$ , Anexo 60). Se encontraron los mayores valores en el mes de junio ( $p=0.000012$ , Anexo 61). La mayor concentración de N total en febrero la presentaron los individuos de *A. farnesiana* de la comunidad mixta, mientras que la mayor de junio la presentaron los individuos de la comunidad rápida ( $p=0.000003$ , Anexo 62). Se encontraron los mayores valores en el mes de junio ( $p=0.000025$ , Anexo 63).

El mayor cociente C:N en febrero la presentaron los individuos de *A. farnesiana* en la comunidad rápida y en junio la presentaron los individuos de la comunidad mixta ( $p=0.00003$ , Anexo 64). El mayor cociente se encontró en febrero ( $p=0.036054$ , Anexo 65).

Estos resultados muestran que todos los parámetros observados a excepción del cociente C:N, aumentaron significativamente en el mes de Junio para las los individuos de ambas especies en las comunidades: rápida y mixta (Fig. 17).

### **VI.2.3 *Caesalpinea platyloba***

Los resultados de los individuos de la especie lenta *C. platyloba*, dentro de las comunidades lenta y mixta no mostraron diferencias significativas en ninguno de los parámetros evaluados: concentraciones de amonio ( $\text{NH}_4^+$ ) y nitratos ( $\text{NO}_3^-$ ), tasas de mineralización nitrificación, concentración de carbono y nitrógeno totales, ni del cociente C:N. Solo se muestreo a finales de la época seca: junio (fig. 18).

## **COMPARACIÓN DE LAS TRES ESPECIES EN LAS DIFERENTES COMUNIDADES A FINALES DE LA EPOCA SECA (junio)**

### **Amonio ( $\text{NH}_4^+$ ) y Nitratos ( $\text{NO}_3^-$ )**

Los valores significativos más altos de amonio los presentaron las especies: de rápido *A. farnesiana* y de lento crecimiento *C. platyloba* sin presentar diferencias entre éstas, mientras que los más bajos los presentó la especie de lento crecimiento *S. humillis* ( $p=0.006380$ , Anexo 66). En contraste, los valores más altos de nitratos los presentó la especie de lento crecimiento *S. humillis* ( $p=0.000027$ , Anexo 67) y los más bajos las especies: *A. farnesiana* y *C. platyloba* sin diferencias entre ellas (fig. 19).

### **Mineralización y Nitrificación**

Los valores significativamente más altos de las tasas de mineralización y nitrificación las presento la especie de rápido crecimiento *A. farnesiana*, contrario a las especies de lento crecimiento: *S. humillis* y *C. platyloba* ( $p=0.000000$ , Anexo 68), ( $p=0.000003$ , Anexo 69).

### **C total, N total y C:N**

La mayor concentración de N total la presentaron las especies de lento y rápido crecimiento respectivamente: *S. humillis* y *A. farnesiana* sin mostrar diferencias entre ellas y los más bajos la especie de lento *C. platyloba* ( $p=0.000080$ , Anexo 70). Los valores más altos de N total los presento la especie *A. farnesiana* ( $p=0.000000$ , Anexo 71) y los más bajos las especies *S. humillis* y *C. platyloba* sin presentar diferencias entre ellas.

El cociente carbono:nitrógeno más alto lo presentaron las dos especies de lento crecimiento: *S. humilis* y *C. platyloba* sin mostrar diferencias entre ellas, y el más bajo la especie de rápido crecimiento *A. farnesiana* ( $p=0.000001$ , Anexo 72).

Especie	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> promedio	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> promedio	Miner promedio	Nitrif promedio	Ct promedio	Nt promedio	C:N promedio
<i>S. humilis</i>	0.45	1.65	1.14	0.52	4.17	0.34	12.10
<i>A. farnesiana</i>	1.05	0.5	2.09	2.30	3.87	0.76	5.15
<i>C. platyloba</i>	0.86	0.78	0.67	0.51	2.4	0.23	10.21
<i>P. maximum</i>	0.09	0.26	0.19	0.07	7.09	0.28	26.24

Tabla 3. Resultados de la comparación entre especies. Se muestra las concentraciones de: NH<sub>4</sub><sup>+</sup> (amonio), NO<sub>3</sub><sup>-</sup> (nitratos), C total (carbono total), N total (nitrógeno total), C:N (cociente carbono:nitrógeno), y de las tasas de Mineralización y Nitrificación, de la comunidad mixta de las especies: *S. humilis*, *A. farnesiana*, *C. platyloba* y el pasto (*Panicum maximum*).

## VI.3 EFECTO DE LA EDAD DE CUATRO ESPECIES DE ÁRBOLES SOBRE LA DINAMICA DE N Y C.

### VI.3.1 *Swietenia humilis*

#### Amonio (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>), Nitratos (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>), Mineralización y Nitrificación, C total, N total y C:N

Los valores significativos más altos de todos los parámetros observados: concentración de amonio ( $p=0.002035$ , Anexo 72) y nitratos ( $p=0.0001653$ , Anexo 73), tasas de mineralización ( $p=0.000565$ , Anexo 74) y nitrificación ( $p=0.000895$ , Anexo 75), concentración de carbono ( $p=0.001133$ , Anexo 76) y nitrógeno total ( $p=0.003587$ , Anexo 77) y de la relación carbono:nitrógeno ( $p=0.000912$ , Anexo 78), de la especie de lento crecimiento *Swietenia humilis*, se encontraron en los individuos jóvenes (Fig. 20).

### VI.3.2 *Acacia farnesiana*

#### Amonio (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>), Nitratos (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>), Mineralización y Nitrificación

Los valores significativos más altos de amonio ( $p=0.001133$ , Anexo 79) y de la tasa de mineralización ( $p=0.001133$ , Anexo 80) se encontraron en el árbol adulto, contrario a los resultados de los valores la tasa de nitrificación los cuales fueron mayores en los individuos jóvenes de la especie de rápido crecimiento *A. farnesiana* ( $p=0.001133$ , Anexo 81), mientras

que en la concentración de nitratos no se encontraron diferencias entre individuos jóvenes y el adulto (fig. 21).

### **C total, N total y C:N**

Los mayores valores significativos de carbono y nitrógeno total ( $p= 0.000722$ , Anexo 82), ( $p= 0.003453$ , Anexo 83), y del cociente C:N se encontraron en el árbol adulto ( $p= 0.000416$ , Anexo 84).

### **VI.3.3 *Caesalpinea platyloba***

En la especie *Caesalpinea platyloba*, no se encontraron diferencias en la dinámica de nutrientes entre edades (individuos jóvenes y el adulto). La concentración de amonio ( $\text{NH}_4^+$ ), Nitratos ( $\text{NO}_3^-$ ), C total, N total, la tasa de mineralización, la tasa de nitrificación y la concentración C:N no fueron estadísticamente diferentes entre edades (fig.22).

### **VI.3.4 *Guazuma ulmifolia***

#### **Amonio ( $\text{NH}_4^+$ ) y Nitratos ( $\text{NO}_3^-$ )**

En la especie de rápido crecimiento *Guazuma ulmifolia*, la mayor concentración de amonio la presentó el individuo de 1 año y la menor concentración el de 4 años ( $p=0.000043$ , Anexo 85). Los valores de nitratos significativamente mayores en *G. ulmifolia*, los presentaron los individuos de 1 y 2 años con respecto a los de 3 y 4 años ( $p=0.000356$ , Anexo 86).

#### **Mineralización y Nitrificación**

La tasa de mineralización no fue significativamente diferente entre las diferentes edades de *G. ulmifolia* (Fig. 23). La tasa de nitrificación fue significativamente mayor en el individuo de 3 años en relación a los de 1 y 4 años ( $p=0.011362$ , Anexo 87).

#### **C total, N total y C:N**

Las concentraciones de carbono y nitrógeno totales no fueron significativamente diferentes entre edades (Fig. 23). El cociente C:N fue significativamente mayor en el individuo de 2 años con respecto a los de 1 y 3 años ( $p=0.032173$ , Anexo 88).

Efecto de 4 especies vegetales sobre la dinámica de N y C en un sitio perturbado

Especie	Edad	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Mineralización	Nitrificación	C total	N total	C:N
<i>Swietenia humilis</i>	Joven	0.60	1.95	1.71	0.75	4.76	0.35	13.33
	árbol	0.37	1.21	1.38	0.056	2.34	0.27	8.78
<i>Acacia farnesiana</i>	Joven	1.14	0.69	1.87	2.61	3.47	0.71	4.88
	árbol	2.20	0.58	2.93	1.92	5.19	0.83	6.25
<i>Caesalpinea platyloba</i>	Joven	0.91	0.81	0.75	0.60	2.51	0.23	10.58
	árbol	0.72	0.34	0.98	1.00	4.38	0.29	14.65

Tabla 4. Resultados del efecto de la edad. Se muestra los promedios del muestreo de junio de la concentración de amonio, nitratos, C total, N total y de las tasas de nitrificación y mineralización, así como la relación C:N, de las especies *S. humilis*, *A. Farnesiana* y *C. Platyloba*. Las concentraciones del individuo joven se obtuvieron del promedio de las concentraciones de las comunidades (len y mix) y (rap y mix) respectivamente.

Especie	Edad	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Mineralización	Nitrificación	C total	N total	C:N
<i>Guazuma ulmifolia</i>	Árbol (4años)	0.57	0.50	0.57	0.20	2.82	0.60	4.72
	Mediano (3 años)	0.81	0.32	0.41	0.64	2.66	0.64	4.22
	Rápido (2 años)	0.84	1.09	0.28	0.30	2.97	0.44	6.93
	P. V (1año)	1.15	1.06	0.14	0.17	2.51	0.60	4.20

Tabla 5. Resultados del efecto de la edad de la especie: *Guazuma ulmifolia* en cuatro diferentes edades (1, 2, 3, y 4 años respectivamente). Muestra los promedios de las concentraciones de: amonio, nitratos, C total, N total, tasa de nitrificación y mineralización, así como la relación C:N.

Efecto de 4 especies vegetales sobre la dinámica de N y C en un sitio perturbado

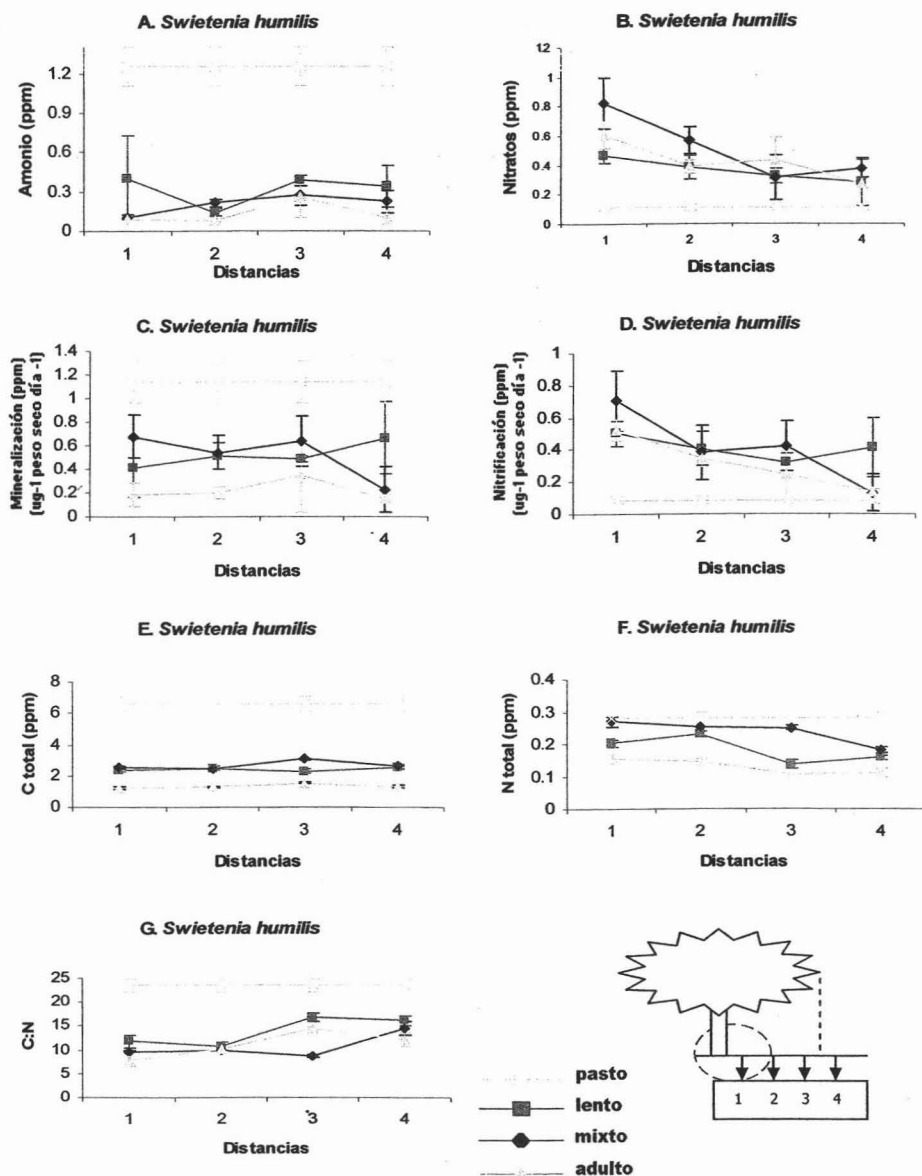


Figura 14. Resultados del efecto de la distancia sobre la dinámica de nutrientes en el suelo de *Swietenia humilis* (caoba), muestreados en Febrero. Las gráficas muestran: A) Concentración de amonio, B) concentración de nitratos, C) tasa de nitrificación, D) tasa de mineralización, E) concentración de Carbono total, F) concentración de Nitrógeno total y G) relación Carbono:Nitrógeno. Donde: mixto corresponde a las caobas muestreadas en la comunidad con especies de lento y rápido crecimiento, lento a la comunidad con especies lentas, adulto corresponde al individuo adulto (árbol) de *S. humilis* y pasto al pasto original (*Panicum maximum*) del sitio perturbado. En el árbol de la derecha se representa marcado en rojo la zona de mayor influencia de *S. humilis*.

Efecto de 4 especies vegetales sobre la dinámica de N y C en un sitio perturbado

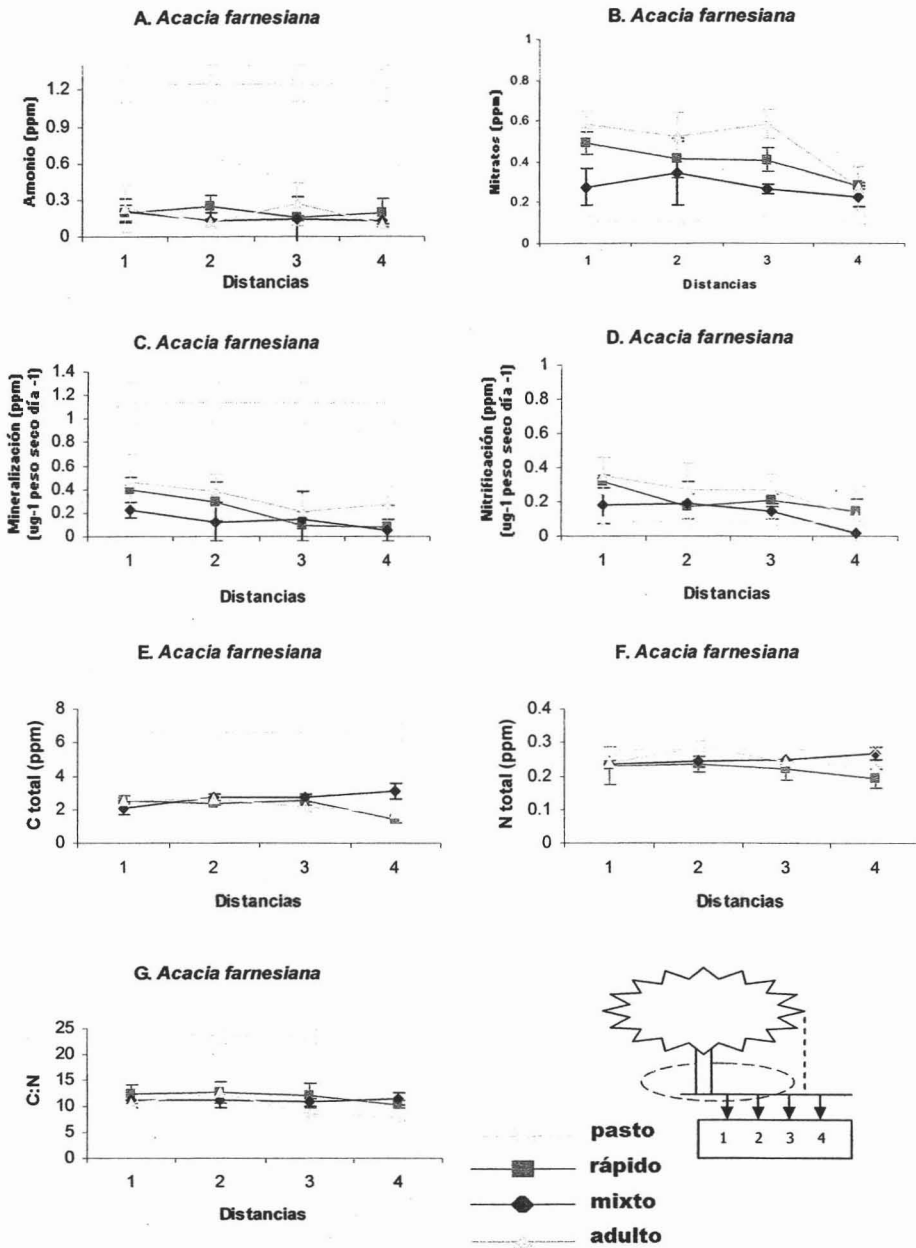


Figura 15. Resultados del efecto de la distancia sobre la dinámica de nutrientes en el suelo de *Swietenia humilis* (caoba), muestreados en Febrero. Las gráficas muestran: A) Concentración de amonio, B) concentración de nitratos, C) tasa de nitrificación, D) tasa de mineralización, E) concentración de Carbono total, F) concentración de Nitrógeno total y G) relación Carbono:Nitrógeno. En el árbol de la derecha se representa marcado en rojo la zona de mayor influencia de *S. humilis*.

Efecto de 4 especies vegetales sobre la dinámica de N y C en un sitio perturbado

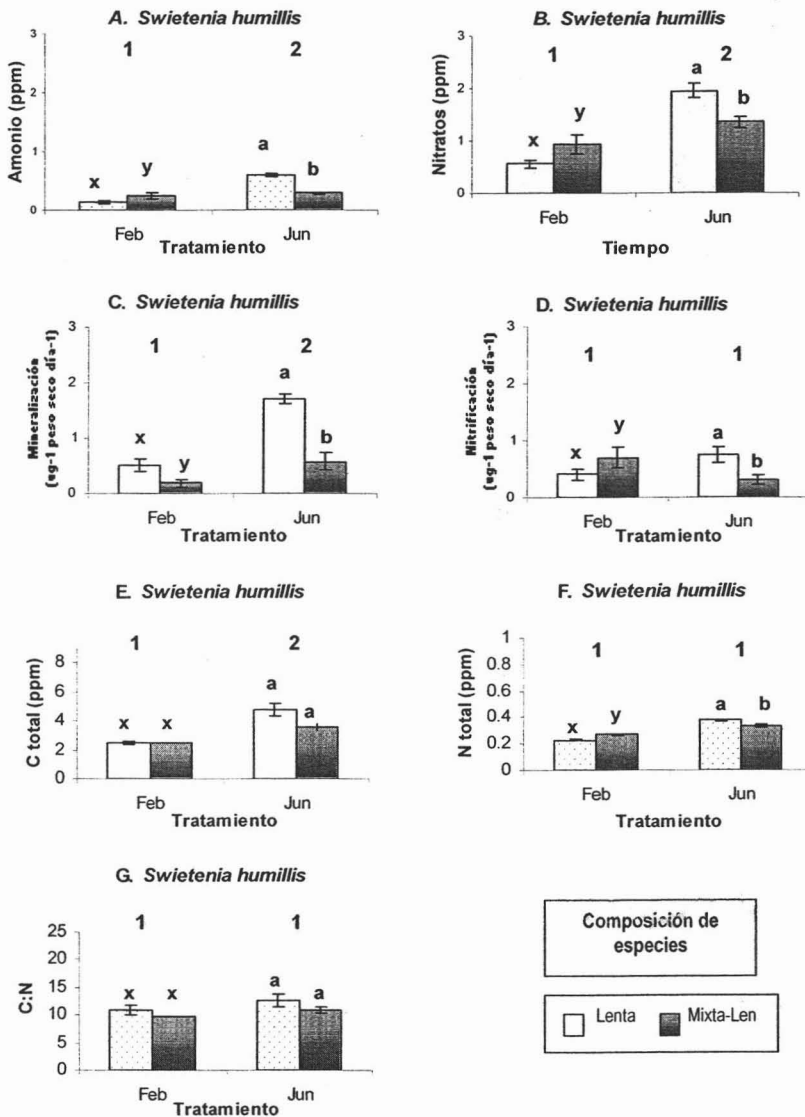


Figura 16. Resultados del efecto de la composición de especies de dos tratamientos **lento** (especies de tasa de crecimiento lento) y **mixto** (especies de tasa de crecimiento lento y rápido), sobre la dinámica de nutrientes en el suelo de *Swietenia humilis*, muestreadas a mediados (Febrero) y a finales (Junio) de la época seca y comparado con un sitio perturbado (**pasto**): A) Concentración de amonio, B) concentración de nitratos, C) tasa de nitrificación, D) tasa de mineralización, E) concentración de Carbono total, F) concentración de Nitrógeno total y G) relación Carbono:Nitrógeno.



Efecto de 4 especies vegetales sobre la dinámica de N y C en un sitio perturbado

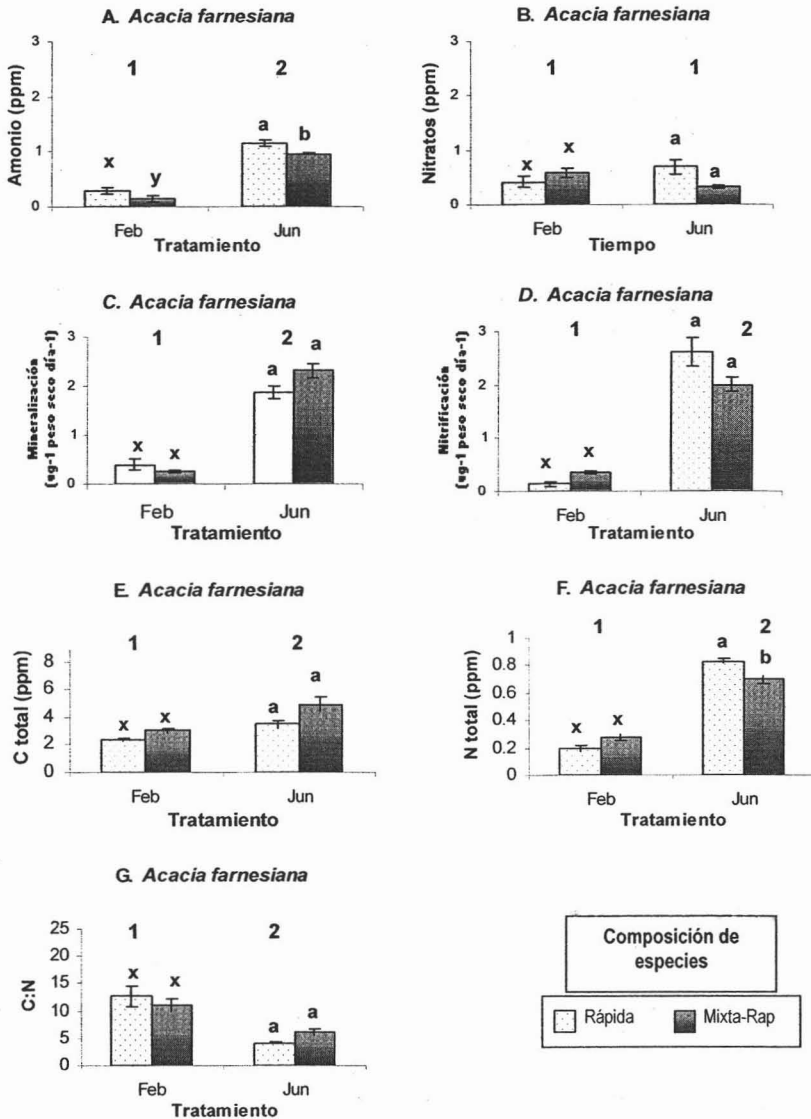


Figura 17. Resultados del efecto de la composición de especies de dos tratamientos rápido (especies de tasa de crecimiento rápida) y mixto (especies de tasa de crecimiento lento y rápido), sobre la dinámica de nutrientes en el suelo de *Acacia farnesiana*, muestreadas muestreadas a mediados (Febrero) y a finales (Junio) de la época seca y, y comparado con un sitio perturbado (pasto): A) Concentración de amonio, B) concentración de nitratos, C) tasa de nitrificación, D) tasa de mineralización, E) concentración de Carbono total, F) concentración de Nitrógeno total y G) relación Carbono:Nitrógeno.

Efecto de 4 especies vegetales sobre la dinámica de N y C en un sitio perturbado

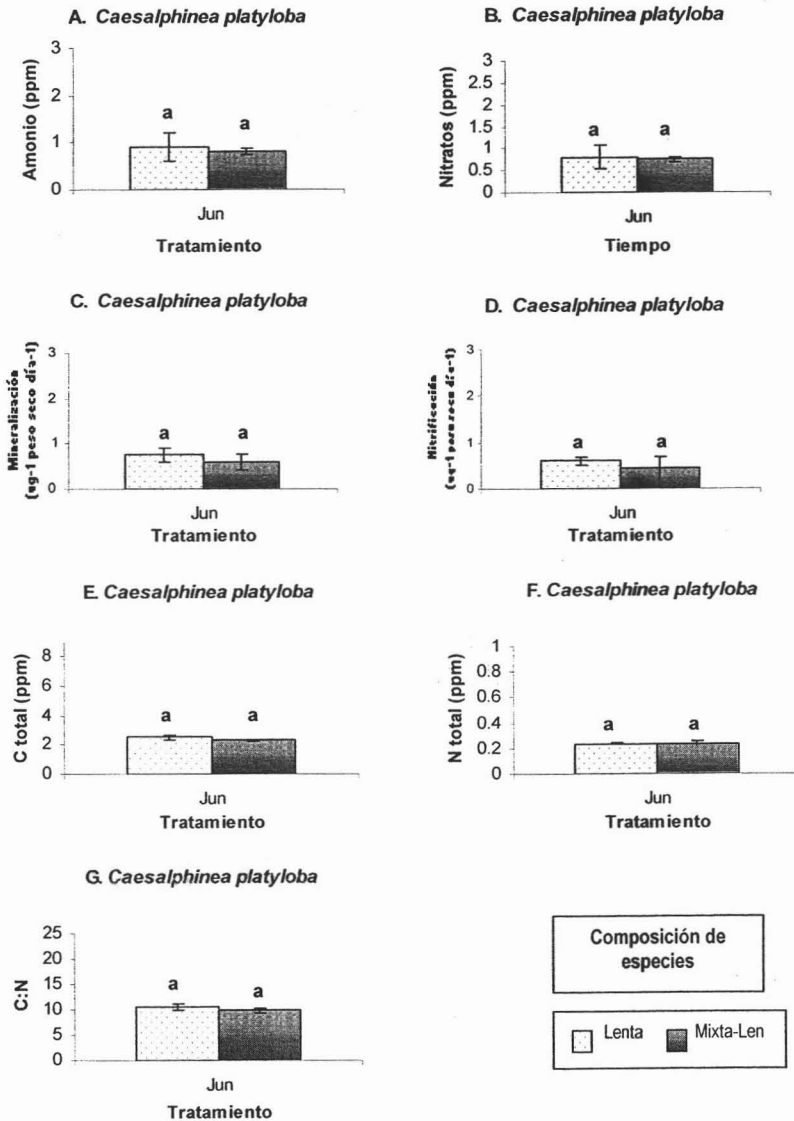


Figura 18. Resultados del efecto de la composición de especies de dos tratamientos **lento** (especies de tasa de crecimiento lento) y **mixto** (especies de tasa de crecimiento lento y rápido), sobre la dinámica de nutrientes en el suelo de *Caesalpinea platyloba*, muestreadas a finales de la época seca (Junio), y comparado con un sitio perturbado (**pasto**) en : A) Concentración de amonio, B) concentración de nitratos, C) tasa de nitrificación, D) tasa de mineralización, E) concentración de Carbono total, F) concentración de Nitrógeno total y G) relación Carbono:Nitrógeno.

Efecto de 4 especies vegetales sobre la dinámica de N y C en un sitio perturbado

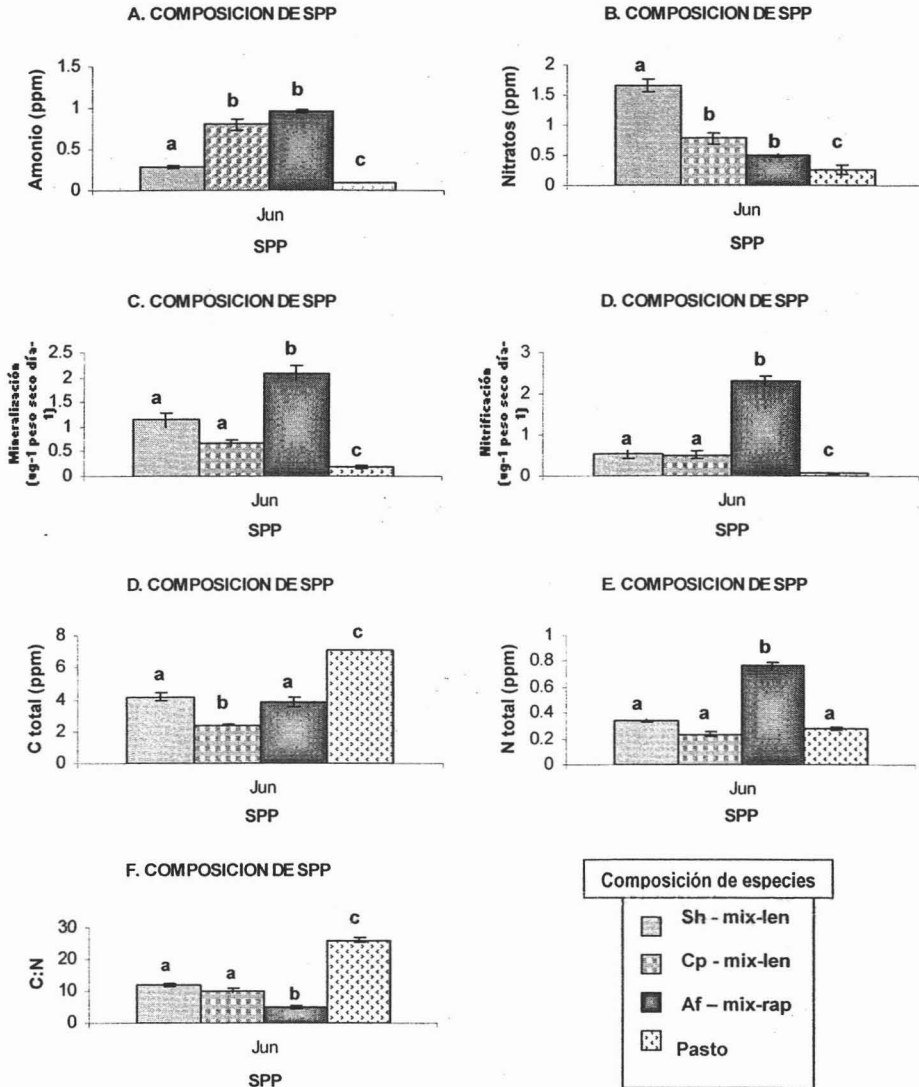


Figura 19. Resultados de la dinámica de nutrientes del suelo, al comparar a las especies: *S. humillas*, *C. platyloba* y *A. farnesiana*, dentro de la comunidades mixtas: **mix-len** (corresponde a las especies de tasa de crecimiento lento, con especies vecinas de rápido), **mix-rap** (especie de rápido con especies vecinas de lento crecimiento) y el pasto, muestreadas a finales de la época seca (Junio). Donde: A) Concentración de amonio, B) concentración de nitratos, C) tasa de nitrificación, D) tasa de mineralización, E) concentración de Carbono total, F) concentración de Nitrógeno total y G) relación Carbono:Nitrógeno.

Efecto de 4 especies vegetales sobre la dinámica de N y C en un sitio perturbado

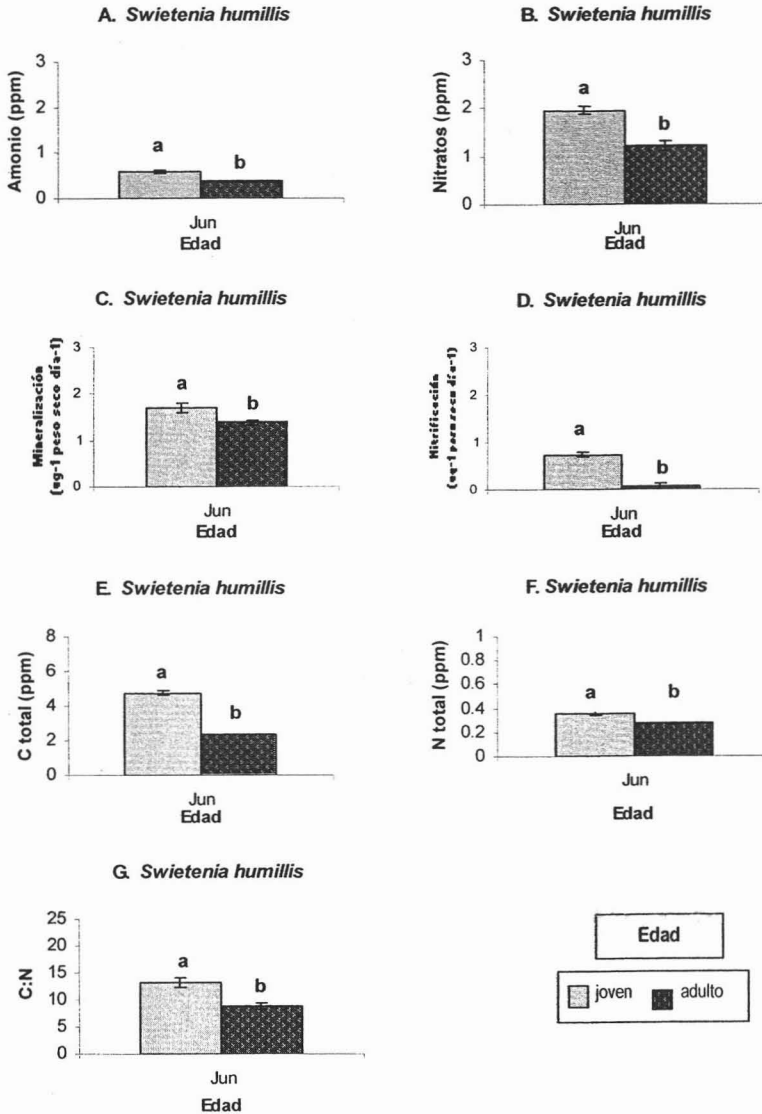


Figura 20. Resultados del efecto de la edad de *Swietenia humilis* en dos edades **joven** (2 años) **adulto** (5 años), muestreadas a finales de la época seca (Junio): A) concentración de amonio, B) concentración de nitratos, C) tasa de nitrificación, D) tasa de mineralización, E) concentración de Carbono total, F) concentración de Nitrógeno total y G) relación Carbono:Nitrógeno.

Efecto de 4 especies vegetales sobre la dinámica de N y C en un sitio perturbado

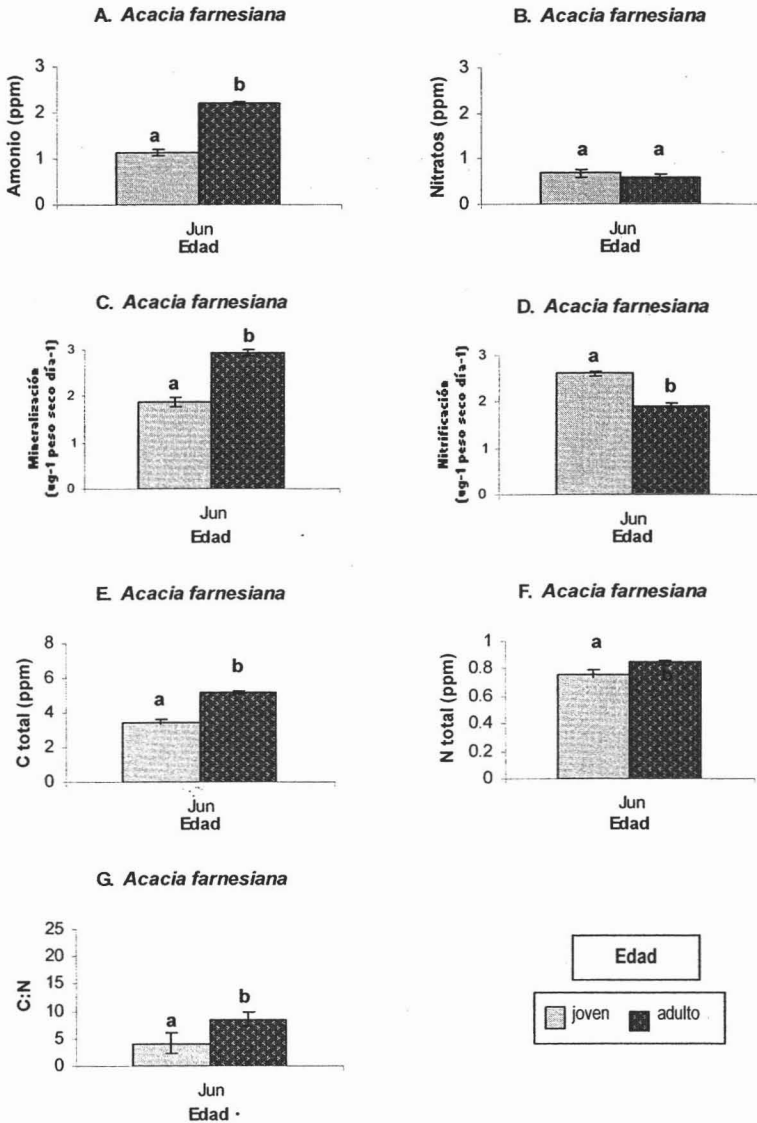


Figura 21. Resultados del efecto de la edad de *Acacia farnesiana* en dos edades **joven** (2 años) y **adulto** (9 años), muestreadas a finales de la época seca (Junio): A) concentración de amonio, B) concentración de nitratos, C) tasa de nitrificación, D) tasa de mineralización, E) concentración de Carbono total, F) concentración de Nitrógeno total y G) relación Carbono:Nitrógeno.

Efecto de 4 especies vegetales sobre la dinámica de N y C en un sitio perturbado

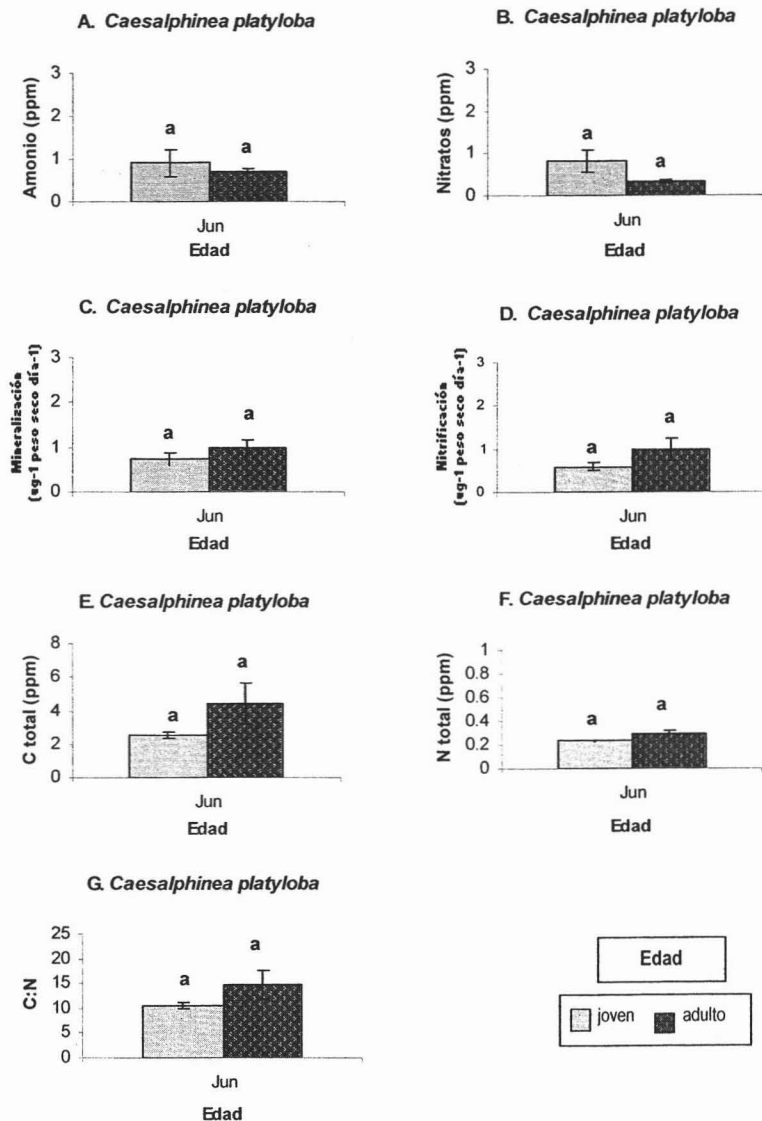


Figura 22. Resultados del efecto de la edad de *Caesalpinea platyloba* en dos edades **joven** (2 años) y **adulto** (7 años), muestreadas a finales de la época seca (Junio): A) concentración de amonio, B) concentración de nitratos, C) tasa de nitrificación, D) tasa de mineralización, E) concentración de Carbono total, F) concentración de Nitrógeno total y G) relación Carbono:Nitrógeno.

Efecto de 4 especies vegetales sobre la dinámica de N y C en un sitio perturbado

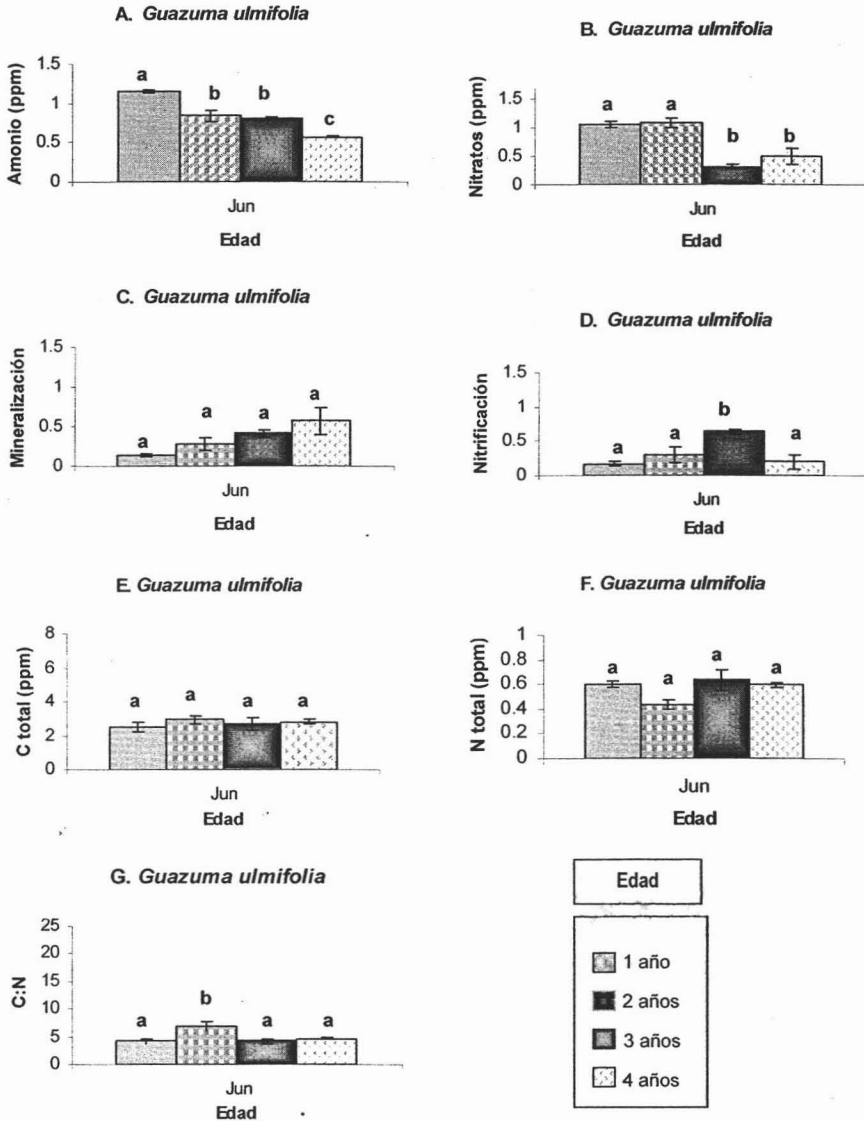


Figura 23. Resultados del efecto de la edad de *Guazuma ulmifolia* muestreadas a finales de la época seca (Junio) en cuatro edades diferentes: 1, 2, 3 y 4 años aproximadamente: A) concentración de amonio, B) concentración de nitratos, C) tasa de nitrificación, D) tasa de mineralización, E) concentración de Carbono total, F) concentración de Nitrógeno total y G) relación Carbono:Nitrógeno.

## VII. Discusión

### VII.1 DINÁMICA DE NITRÓGENO Y CARBONO ASOCIADO A DIFERENTES DISTANCIAS EN LA RIZÓSFERA DE LAS ESPECIES.

En la primera parte de este estudio se encontró que no existe una distancia específica en la que exista un mayor efecto de las especies *S. humillas* y *A. farnesiana* sobre la disponibilidad de nutrientes; aunque en el caso de *S. humilis* se logró observar una mayor concentración de nitratos cerca de la base del tronco (20 cm). Esto se debe probablemente a que al ser una especie de lento crecimiento su sistema de raíces todavía no es tan abundante y necesita más tiempo para poder establecerse y tener una mayor influencia. A pesar de que no hay una distancia específica de mayor influencia, se observó que el efecto de ambas especies es mayor bajo la copa que fuera de ella. Lo anterior, es apoyado con la clara diferencia de la dinámica de nutrientes que existe en la zona de la rizosfera de los árboles y la que existe en la zona perturbada habitada por la especie de pasto *P. maximum*, y nos demuestra que las especies estudiadas efectivamente están alterando la dinámica de nutrientes y la disponibilidad de éstos en el suelo.

Una manera de ver como las especies alteran la dinámica de nutrientes, es analizar el cociente C:N, el cual es un indicador de la calidad de la Materia Orgánica del Suelo (MOS), por sus efectos sobre la tasa de mineralización del nitrógeno, siendo esta última la que gobierna la descomposición. Este cociente fue en promedio 12 bajo las especies y en el pasto fue 23. Según Chapin (2002) cuando este cociente es menor de 25 los microorganismos pueden cubrir satisfactoriamente sus requerimientos de nitrógeno, lo cual a su vez indica una mayor descomposición por los microorganismos del suelo (Smith, 2002). Por otra parte, Paul y Clark (1989) consideran que un cociente C:N mayor a 30 puede considerarse como un suelo infértil. Por esto podemos decir que existe una adecuada tasa de descomposición tanto bajo el pasto como bajo la copa de ambas especies estudiadas, sin embargo es importante resaltar que la tasa de descomposición bajo las últimas es significativamente mayor. Con esto podemos darnos cuenta que el pasto de alguna forma mantiene mejor el suelo que si eliminamos cualquier cobertura vegetal, aunque nunca va a ser igual a mantener las especies nativas. Por otro lado, también es importante considerar el límite inferior de este cociente, el cual si es menor o igual a 10, estaría indicando que existe poca energía para que los microorganismos tengan una adecuada tasa de descomposición.



Esto apoyan estudios realizados en sistemas áridos y semiáridos donde la presencia de árboles y arbustos genera bajo sus copas patrones locales de disponibilidad de nutrientes en el suelo. Es decir, la disponibilidad de nitrógeno y carbono en el suelo es significativamente mayor bajo el dosel de árboles y arbustos que en los pastizales abiertos (Belsky *et al.* 1993), generalmente esto se atribuye a la cantidad y calidad del material orgánico que las especies vegetales retornan al suelo y por la influencia que estas tienen sobre la descomposición y la densidad de las comunidades microbianas del suelo (Binkley 1993).

Si además del cociente C:N se analiza por separado la concentración de carbono total del suelo, se observa que existe una mayor concentración bajo el pasto que bajo la copa de las especies, esto puede explicarse debido a la descomposición más lenta que presentan las gramíneas como se ha visto en otros estudios (Primavesi 2001), y a un mayor aporte de materia orgánica al suelo por parte del pasto. En el caso de la concentración de nitrógeno total (el cual se acumula fijándose en forma de materia orgánica) (Dobson *et al.* 1997), se observó que existe una menor concentración bajo la zona de la rizósfera de las especies que en el pasto. Lo anterior, sugiere un alto consumo de nitrógeno de estas formas arbóreas dando como resultado una alta inmovilización de este nutriente. Además esto puede deberse a la competencia entre la biomasa microbiana y a las raíces finas de la planta por los nutrimentos (Haynes 1986). La importancia de la inmovilización radica en la retención de nitrógeno en el ecosistema (Paul y Clark, 1989).

Al analizar las formas disponibles de nitrógeno (amonio y nitrato), se encontró que en el caso del nitrato existe una mayor concentración bajo la zona de la rizósfera de las especies que bajo el pasto, aunque entre ambas especies fueron similares las concentraciones. Esta mayor concentración de nitratos esta relacionada también con que existe una mayor tasa de nitrificación, la cual se discutirá más adelante pero puede indicarnos una mayor actividad microbiana. El hecho de que existan más nitratos, puede ser un posible indicador de la recuperación de la dinámica del nitrógeno, ya que el nitrato es la forma dominante del nitrógeno mineral en el suelo (Hook y Burke 1005). Además la presencia de las formas arbóreas mantiene una mayor concentración de este nutriente como se observó en los resultados. Por otro lado, el decremento de nitratos encontrado en el pastizal puede concordar con la teoría de Yáñez (1986), la cual predice la pérdida de nitrógeno en forma de nitratos después de un disturbio. Esto puede ser debido a que los nitratos se pierden muy

fácilmente por lixiviación y escurrentía, procesos que aunque siempre están presentes, aumentan o se promueven al perderse la cobertura vegetal (Chapin *et al.* 2002).

La otra forma disponible de nitrógeno que se analizó fue el amonio, la forma preferente para las plantas, para la cual se encontró que su concentración fue menor bajo ambas especies de árboles que bajo el pasto. Este resultado es contrario a los resultados reportados por Sachman en el 2002 en la misma zona, donde se obtuvo una mayor concentración de amonio bajo las especies arbóreas que en el pasto. Sin embargo, en el seguimiento de ese estudio se ha visto que ha habido un decremento de amonio entre los datos de 1999 a 2002, debido probablemente a la menor precipitación en este último año (1162 mm en 1999 vs. 681 en 2002), por lo que la menor concentración de amonio en las formas arbóreas puede explicarse por la inmovilización de esta forma por la vegetación o por de los microorganismos.

Otra manera de analizar la dinámica de nutrientes es analizar no solo sus concentraciones, sino los procesos que se están llevando a cabo en el suelo bajo ambos tipos de vegetación, con respecto a esto, se encontró que la tasa de mineralización y nitrificación coincidieron con sus productos amonio y nitratos respectivamente. El hecho de que la tasa de mineralización sea menor bajo la rizósfera de las especies y la tasa de nitrificación sea mayor coincide con lo encontrado en estudios en la selva madura donde se ha visto que la tasa de mineralización es baja en la época seca y alta en áreas deforestadas (Matson y Vitousek, 1981), mientras que la tasa de nitrificación es variable durante esta época (Gonzalez-Ruiz, 1997 en Noguera et al. 2002). También los resultados concuerdan con lo esperado por el ciclo del nitrógeno donde se presenta una relación inversa de amonio y nitratos, debido a que en la nitrificación se producen nitratos a partir del amonio previamente mineralizado (Wild, 1992, Smith 2001). Entonces la menor concentración de amonio bajo las especies, y su mayor tasa de nitrificación también podría indicarnos que una parte del amonio se puede estar utilizando para producir nitratos. Un factor importante que también podemos considerar para explicar el efecto anterior, es que puede haber un descasamiento en los procesos entre la zona de la rizósfera de las especies y el sitio perturbado, siendo en éste último el proceso más lento, coincidiendo con estudios previos (Borman & Likens 1979; Sachman 2001). Además de estar desfasado el ciclo, el hecho de que en el sitio perturbado se este produciendo mayor concentración de amonio en época seca podría estar promoviendo su evaporación por

volatilización debido al aumento de precipitación en ese mes, provocando mayores pérdidas de este elemento.

## **VI.2 EFECTO DE LA COMPOSICIÓN DE ESPECIES SOBRE LA DINÁMICA DE NUTRIENTES EN LA RIZOSFERA DE 3 ESPECIES**

Se ha propuesto que las especies individuales pueden influir de manera diferencial sobre los procesos de los ecosistemas (Ewel 1991, Hooper 1998), y a su vez la composición de especies también puede influir los procesos de los ecosistemas como es el caso de los ciclos de nutrientes (Hooper 1991, Sachman 2001). Es por esto que en este trabajo, una vez determinado que la dinámica de nutrientes es alterada por la zona de influencia de las especies y que ésta difiere con respecto al pasto, se evaluó si la dinámica también es alterada por la composición de especies. Esto considerando que las especies no se encontraban solas sino que cohabitaban con otras. Las especies estudiadas habitaban en tres tipos de comunidades: a) solo especies de lento crecimiento (en el caso de *S. humilis* y *C. platyloba*), b) sólo de rápido crecimiento (*A. farnesiana*) y (3) una comunidad mixta donde coexistían especies con ambos tipos de crecimiento (*S. humilis*, *C. platyloba* y *A. farnesiana*). En general, se encontró que en efecto, existen diferencias significativas en la dinámica de N y C, entre estos tipos de comunidades con diferente composición de especies, además de que se encontraron diferencias en ambas fechas muestreadas, a mediados (febrero) y a finales de la época seca (junio), donde los mayores valores de las variables observadas se encontraron a finales de ésta época (junio). Las diferencias entre épocas encontradas en este estudio apoyan lo que se ha encontrado en otro trabajo realizado en la selva de Chamela para medir los flujos de óxido nitroso, donde también se observó que las concentraciones de amonio ( $\text{NH}_4^+$ ) y nitratos ( $\text{NO}_3^-$ ) aumentaban conforme avanzaba la estación seca (García-Méndez *et al.* 1991). Para analizar la diferencia entre muestreos también hay que tomar en cuenta que la precipitación en Chamela en el año de muestreo (2002) (fig 11), registró eventos de precipitación justo unos días después de realizados los muestreos; de forma que se tienen valores de precipitación promedio para ambos meses de 99.3mm (Febrero) y 49.3mm (Junio), tomándose este último como fin de la temporada de sequía. El aumento de la humedad dado por los eventos de precipitación en el mes de junio como preludeo de la temporada lluviosa, favorecen que a finales de la época seca las plantas empiecen a utilizar la humedad que

tienen de reserva y se de un aumento de rocío, lo que se ve reflejado en el brote de yemas de muchas especies (Bullock & Solís Magallanes 1990, Barradas & Medellín-Glez 1999)

Por su parte, cada una de las especies utilizadas en este estudio, mostraron un comportamiento distinto dependiendo de la comunidad en que se encontraban, es decir, la composición de especies si influyo en la dinámica de las especies. Para la especie de lento crecimiento *Swietenia humilis*, en el mes de Febrero se encontró que las formas disponibles de nitrógeno, la tasa de nitrificación y nitrógeno total mostraban mayores valores cuando *S. humilis* habitaba dentro de una comunidad mixta (especies lentas y rápidas). Este aumento de nitrógeno podría explicarse debido al hecho que dentro de la comunidad mixta donde se encuentra, junto a ella se encuentra la especie leguminosa: *A. farnesiana* (fig. 10), la cual al ser una especie fijadora de nitrógeno, favorece el aumento de este nutriente en el suelo, en especial en este mes cuando los nutrientes se encuentran almacenados en el suelo. En el mes de junio se encontró el patrón contrario ya que las formas disponibles de nitrógeno, la tasa de nitrificación y nitrógeno total, mostraron valores más altos cuando la especie se encontraba con especies de la misma tasa de crecimiento (comunidad lenta), esto puede deberse a que las especies de lento crecimiento tienen una captura más lenta dejando una mayor disponibilidad de nutrientes los cuales son liberados al inicio de la época de lluvias, ya que en otros estudios se ha visto que en el fin de la época de secas, la biomasa microbiana almacena nutrientes en forma biológicamente activa, cuando las plantas son poco activas; pero son liberados al inicio de la época de lluvias cuando las plantas inician su periodo de crecimiento (Lodge et al. 1994; Bullock & Solís Magallanes 1990)

Para la especie de rápido crecimiento; *Acacia farnesiana*, pocos parámetros fueron significativos entre comunidades, solamente se encontraron mayores valores en la concentración de amonio (en ambos muestreos) y en la concentración de nitrógeno total (del mes de junio), cuando *A. farnesiana* se encontraba en la comunidad rápida con especies de su misma tasa de crecimiento. Este aumento en las concentraciones de nitrógeno, cuando se encuentra en la comunidad rápida puede explicarse debido a que esta especie es fijadora de nitrógeno y además en esta comunidad se encuentra junto a otras dos especies leguminosas (*Albizia occidentales* y *Acacia sp*) que pudieran estar incrementando la concentración de nitrógeno en el suelo en forma de amonio (fig.10). El hecho de que no se encuentren diferencias entre las comunidades en los demás parámetros observados puede deberse a que

las especies de lento crecimiento de la comunidad mixta no están reflejando una influencia sobre las especies rápidas, debido tal vez a que estas últimas son más competitivas en el uso de recursos, además por el menor volumen que ocupan sus raíces (Flores 2000).

Para la especie de lento crecimiento; *Caesalpinea platyloba*, no se encontraron diferencias en la dinámica de nutrientes cuando se encontraba en las comunidades lenta y mixta. *C. platyloba* aunque es considerada como una especie lenta en el grupo de las 40 especies introducidas al sitio, su tasa de crecimiento es intermedia respecto a las especies: *S. humilis* (de lento crecimiento) y *A. farnesiana* (de rápido crecimiento). El hecho de que *C. platyloba* no tenga una tasa de crecimiento rápida, puede ser la razón por la que se no se observe una gran influencia de las otras especies. Además en ambas comunidades donde se encuentra, esta rodeada de especies que no son leguminosas lo que pudiera estar de alguna manera reduciendo los efectos.

Al comparar las especies dentro de las diferentes comunidades es complicado decir que unas comunidades sean más eficientes unas que otras, sin embargo con base en este estudio se puede sugerir que la comunidad mixta por tener especies con características de ambos tipos de crecimiento, pueden tener las ventajas de ambas, mostrando un uso complementario de los recursos más que un uso competitivo como es el caso de la comunidad rápida. Por su parte, las diferencias que se encontraron entre los muestreos fueron muy variables, lo que nos indica que el momento del año en que se muestrea juega un papel muy importante, y puede enmascarar las tendencias de los resultados por comunidades, por lo que sería conveniente realizar más estudios sobre esto, donde se realicen más muestreos a lo largo del año. Además sería útil realizar estudios paralelos con las especies en monocultivos para poder diferenciar más claramente los efectos de las especies por sí solas o por la composición de especies en que se encuentren.

También es importante mencionar que para la especie lenta *S. humilis*, la introducción de especies rápidas influyó considerablemente en la mayoría de las variables observadas, mientras que la especie rápida *A. farnesiana* no fue afectada por las especies lentas. Es por esto, que se puede decir que las especies lentas muestran diferencias en actividad y tienen una mayor interferencia de raíces cuando se encuentran con especies rápidas, mientras que las especies rápidas no tienen gran influencia de las especies lentas. Considerando esto, para la restauración de un sitio sería conveniente utilizar especies con rangos amplios de tasas

rangos amplios de tasas (que vayan de rápidas, pasando por intermedias hasta lentas) de crecimiento, para crear un ambiente equilibrado en cuanto al uso de nutrientes, al espacio por las raíces, y así generar heterogeneidad y mayor disponibilidad de nutrientes en un sitio.

Por otra parte, al comparar el comportamiento de cada una de las tres especies (*S. humilis*, *C. platyloba* y *A. farnesiana*), dentro de una mismo tipo de comunidad la mixta; en general, lo que se pudo observar y que coincide con lo reportado por Sachman (2002) es que cada especie tiene una dinámica propia del uso de recursos, dependiente de su tipo de crecimiento (fig. 19). Ya que al analizar el cociente C:N se observó que las tres especies tienen un cociente entre 5 y 15, lo que indica que favorece la disponibilidad de nitrógeno en el suelo (Chapin, 2002). Sin embargo, este cociente va en decremento conforme las especies son de mayor tasa de crecimiento o si son leguminosas, ya que el mayor cociente lo presentan la especies lentas *S. humilis*, y *C. platyloba* y el menor cociente lo presenta la especie leguminosa y de rápido crecimiento *A. farnesiana*. Esto coincide con los mayores niveles de amonio encontrados en estas dos últimas especies, indicando que se esta produciendo una mayor concentración de nitrógeno en forma de amonio debido a que son especies fijadoras de nitrógeno y pueden estar adicionando nitrógeno extra al suelo. Principalmente esto se observa en la especie *A. farnesiana* que tiene los mayores valores de nitrógeno total y de las tasas de mineralización y nitrificación, lo que puede deberse a que tiene una mayor descomposición por ser una especie de rápido crecimiento.

En la especie de lento crecimiento *S. humilis* se observa una aceleración de los procesos ya que muestra una notable mayor concentración de nitratos que en las otras dos especies, reduciendo así el riesgo de que el nitrógeno se pierda por volatilización en forma de amonio, lo que refuerza la idea de la introducción de comunidades mixtas en programas de restauración.

### **VII.3 EFECTO DE LA EDAD DE CUATRO ESPECIES SOBRE LA DINÁMICA DE NITRÓGENO Y CARBONO.**

Se ha documentado que las características fenológicas y morfológicas de las especies vegetales como el tamaño (Bullock y Solís-Magallanes 1990), pueden afectar la captura, el uso y el retorno de nutrientes, sin embargo no existen estudios previos donde se evalúe la

dinámica de nutrientes en diferentes edades. Por esto, en este trabajo se evaluó la dinámica de nutrientes en diferentes edades, con las especies utilizadas anteriormente (*S. humilis*, *A. farnesiana* y *C. platyloba*), donde se comparó la dinámica de nutrientes en individuos de dos edades diferentes: árboles jóvenes (3 años) y árboles adultos (entre 10 a 30 años). Así como de la especie *G. ulmifolia* en cuatro diferentes edades.

Para la especie de lento crecimiento *Swietenia humilis* se observó que los árboles jóvenes presentaron los mayores valores evaluados de carbono y nitrógeno total, así como de la relación de estos, de las concentraciones de amonio y nitratos, y de sus procesos: mineralización y nitrificación. Esto probablemente se debe a que los individuos jóvenes han tenido un menor consumo de las reservas de nutrientes del suelo, con el paso del tiempo lo que podemos observar es que los árboles adultos presentan una concentración de nutrientes menor lo que nos puede indicar que han utilizado sus reservas de nutrientes del suelo de forma más lenta, probablemente por ser una especie de lento crecimiento y tener un menor consumo y una descomposición más lenta. A pesar de las diferencias en las concentraciones de nutrientes se observa una buena tasa de descomposición porque en ambas edades su cociente se encuentra cercano a 10, el cual es un valor óptimo para los microorganismos del suelo en sus requerimientos de nitrógeno y carbono según Chapin (2002).

Los resultados encontrados por la especie lenta *S. humilis*, fueron contrastantes con la especie fijadora de nitrógeno *Acacia farnesiana*, la cual es de rápido crecimiento, en este caso se observó que bajo el árbol adulto existía mayor concentración de nitrógeno, en especial en la concentración de amonio lo cual es muy importante porque nos indica que aunque es una especie rápida y tiene un alto consumo de nitrógeno, al paso del tiempo esta aportando nitrógeno al suelo. También observamos que bajo el árbol adulto existe una mayor cantidad de carbono total, lo cual podría explicarse debido a que con el aumento de la edad también aumenta la cantidad de materia orgánica. Por otra parte, al analizar la relación C:N, se observa que habría una menor descomposición bajo el individuo adulto, aunque tenga una mayor concentración de amonio y de carbono total (Smith 2001). Sin embargo, de acuerdo con este estudio se notan efectos positivos de esta especie sobre el suelo, de hecho si comparamos la relación C:N promedio de la especie *S. humilis* contra *A. farnesiana* observamos que en general este coeficiente nos está indicando que existe mayor contenido de nitrógeno bajo la leguminosa.

En el caso de *Caesal pinea platyloba* no se encontraron diferencias entre los árboles jóvenes y adultos, por lo que la diferencia en la edad entre el individuo adulto con respecto al joven, no generó un efecto significativo en la dinámica de N y C en el suelo. Esto puede deberse a que los intervalos de edad no fueron suficientes para generar efectos significativos, debido tal vez al hecho de que *C. platyloba* tiene una tasa de crecimiento intermedia y tal vez el tamaño de los individuos y el volumen de raíces entre ambas edades no varió lo suficiente para causar efectos.

Por último, para la especie de rápido crecimiento *Guazuma ulmifolia*, se utilizaron cuatro edades diferentes (1, 2, 3 y 4 años aproximadamente). En esta especie, las únicas diferencias entre edades, se encontraron en las formas disponibles de nitrógeno (amonio y nitratos), y la tendencia fue una relación inversa con la edad, es decir al aumentar la edad disminuyó la concentración de amonio y nitratos. Esto puede deberse a una mayor consumo de nitrógeno, o a la inmovilización de este nutriente en los individuos adultos de esta especie. Lo anterior, es contrario a lo encontrado en la otra especie de rápido crecimiento *A. farnesiana*, en la cual los mayores valores los presenta el individuo adulto, sin embargo, es importante tomar en cuenta que *G. ulmifolia* al contrario de ésta última, no es una especie fijadora de nitrógeno lo que pudiera explicar el hecho de que esta especie no este proporcionando un aporte de nitrógeno extra con la edad y si tenga gran consumo. También, esto aunado a que no se encontraron diferencias en los demás parámetros observados en *G. ulmifolia*, pudiera deberse a que los intervalos de edad que se utilizaron, no fueron los adecuados para presentar cambios significativos en esta especie, por lo que sería necesario realizar más estudios relacionados.

En general, al analizar el efecto de la edad, se observó que los resultados varían de acuerdo a las diferentes tasas de crecimiento de las especies y en base a si son o no especies fijadoras de nitrógeno. Presentando únicamente un efecto positivo entre la concentración de nutrientes y la edad, solamente la especie fijadora de nitrógeno *A. farnesiana*, debido a su aporte extra de nitrógeno al suelo.



## VIII. Conclusiones

- 1) No existe una distancia específica de mayor influencia de las especies, aunque la zona de la rizósfera de las especies, introducidas en el sitio de estudio, aún con pocos años de crecimiento (3 años) han modificado el suelo positivamente, provocando cambios importantes para la recuperación del suelo en un sitio perturbado. La rizósfera bajo las especies estudiadas muestra un cociente C:N menor que en el sitio perturbado lo cual indica una mayor descomposición bajo éstas. Sin embargo, los valores de C:N en ambos casos, se encuentran dentro de los parámetros en los cuales los microorganismos satisfacen sus requerimientos de nitrógeno. Por lo cual se puede decir que la especie de pasto *P. maximum* que se encuentra en el sitio perturbado, mantiene de alguna forma los nutrientes del suelo, aunque nunca va a ser igual a mantener las especies nativas.
- 2) Cada especie tiene una dinámica propia del uso de recursos, dependiente de su tipo de crecimiento y de la comunidad en que se encuentren. En general, no se puede decir que una comunidad de especies sea más eficaz que otra porque los resultados fueron variables, sin embargo centrándonos en un objetivo de restauración de un sitio perturbado, se sugiere la comunidad mixta por tener especies con características de ambos tipos de crecimiento (rápida y lenta, así como especies intermedias), creando un ambiente equilibrado o complementario más que un uso competitivo, en cuanto al uso de nutrientes y al espacio de las raíces, generando heterogeneidad y mayor disponibilidad de nutrientes en un sitio.
- 3) Existe un efecto de la edad sobre la dinámica de nutrientes del suelo, y este varía en función de las tasas de crecimiento de las especies y en si son o no especies fijadoras de nitrógeno. Teniendo, solamente la especie fijadora de nitrógeno *A. farnesiana*, un efecto positivo entre la concentración de nutrientes y la edad, debido a su aporte extra de nitrógeno al suelo.
- 4) Es importante realizar nuevas investigaciones para conocer más, el uso diferencial de recursos de nuevas especies, así como observar la dinámica de nutrientes dichas especies a través del tiempo. Este tipo de estudios, son de suma importancia para la restauración de la SBC específicamente de Chamela, para identificar especies que puedan beneficiar el sitio, principalmente porque que es uno de los ecosistemas más amenazados producto de la perturbación provocada por la actividad antrópica.

## IX. Literatura citada

- Alef K. & Nannipieri. 1995. Methods in applied soil microbiology and biochemistry. Academic Press. Inglaterra. 576pp
- Alvarez M. A., Gagné S & Antoun H. 1995. Effect of compost on rhizosphere microflora of the tomato and on the incidence of plant growth-promoting rhizobacter. Applied and environmental Microbiology. 61:194-199.
- Atlas R. & Bartha R. 2002. Ecología microbiana y microbiología ambiental. Pearson Educación S.A., España. 696pp.
- Barber D. A. & J. M. Lynch. 1977. Microbial growth in the rhizosphere. Soil Biology and Biochemistry. 9:305-308.
- Bardgett R., L. R. & Hobbs P. J. 1999. Seasonal changes in soil microbial communities along a fertility gradient of temperate grasslands. Soil Biology & Biochemistry 31. Pergamon. U.K. 1021-1030.
- Belsky A.J., F.G. Amudson, J.M. Duxbury, & Ali A.R. 1993. Comparative effects of trees on their physical, chemical and biological environments in a semi-arid savanna in Kenya. Journal of Applied Ecology 26: 1005-1024. En: Galicia S. L. 2001. Efecto de dos especies de árboles remanentes en la entrada de C y N al suelo en una pradera de un ecosistema tropical estacional. Tesis de Maestría. Instituto de Ecología, UNAM. México.
- Berger J. 1993. Ecology Restoration and Nonindigenous Plant Species. A review. Restoration Ecology. (Junio) 74-82.
- Binkley, D. 1993. Nutrición forestal. Editorial Limusa, S.A. de C.V., México. D.F. 518pp.
- Binkley D. & Giardina C. 1998. Why do tree species affect soils? The warp and Woof of tree-soil interactions. Biogeochemistry. 42:89-106. USA.
- Borman F.H. & Likens G.E. 1979. Pattern and Process in a Forested Ecosystem. Springer-Verlag, Berlin y Nueva York.
- Bowen G. D. y A. D. Rovira .1976. Microbial colonization of plant roots. Annual Review of Phytopathology. 14:121-144
- Bradshaw A. D. 1965. Evolutionary significance of phenotypic plasticity in plants. Advances in genetics. 13:363-392
- Brady N.C. 1990. The nature and properties of soils. Macmillan Publishing Company. E.U.A. 621pp.
- Bullock S. H, Mooney S, Harold A & Medina,E. 1995. Seasonally dry tropical forests. Cambridge University Press. E.U.A. 450pp. 346-358
- Bullock S. H. & Solis-Magallanes J. A. 1990. Phenology of canopy trees of a tropical deciduous forest in Mexico. Biotropica. 21:22-35.

*Efecto de 4 especies vegetales sobre la dinámica de N y C en un sitio perturbado*

- Campbell R. & Rovira A. D. 1973. The study of the rhizosphere by scanning electron microscopy. Soil Biology and Biochemistry 5: 747-752
- Campbell, R. 1985. Plant Microbiology. Blackwell, Oxford, Inglaterra.
- Castellanos, J. 1997. Efecto de la roza, tumba y quema sobre la dinámica de las raíces finas de una selva baja caducifolia. Tesis de Maestría. Facultad de ciencias. UNAM. México.
- Cervantes V. 1996. La reforestación en la montaña de Guerrero: Una estrategia alternativa con leguminosas nativas. Tesis de Maestría. México. Facultad de Ciencias. 127pp.
- Chapin F. S. 1988. Ecological aspects of plants mineral nutrition. Advances in mineral nutrition. 3:161-169.
- Chapin F. S. 1993. The evolutionary basis of biogeochemical soil development. Geoderma. 7: 223-227.
- Chapin S., Matson P & Mooney H. 2002. Principles of terrestrial Ecosystem Ecology. ed; Springer, E.U. A. pp 436.
- Diaz A. S. 1997. Dinámica de nitrógeno y fósforo en la hojarasca de una selva caducifolia en Chamela, Jalisco. México. Tesis de Licenciatura. ENEP. Iztacala. UNAM. México, D. F.
- Dirzo R. 1996. Mexican diversity of flora. Ed. P. Robles. CEMEX. Singapore.
- Dobson *et al.* 1997. Hopes for the future : Restoration ecology and conservation biology. Science. 263 : 185-190.
- Dockersmith C. 1999. Persistence of three related patterns in soil nutrients following slash-and-burning disturbance. Plant and soil. 209 :137-156.
- Enkerlin H. A. *et al.*, 1997. Ciencia ambiental y desarrollo sostenible. México. 690.
- Ewel J. *et al.*, 1991. Tropical soil fertility changes monocultures and successional communities of different structure. Ecological Applications. Vol. 1. No3. pp. 289-302
- Flores P. T., 2000. Disponibilidad de nutrimentos, diseño funcional de raíces y tasa de crecimiento de 39 especies de plántulas de la Selva Baja Caducifolia en Chamela Jalisco, México. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias. UNAM. México, D.F.
- Foth D. H & G. Boyd. 1989. Soil Fertility. John Wiley & Sons, Inc. E.U. 212pp.
- Freifelder R., & P. Vitousek, P.M. 1998. Microclimate change and effect on fire following forest-grass conversion in seasonally dry tropical woodland. Biotropica. 30 (2).
- Galicia S. L. 2001. Efecto de dos especies de árboles remanentes en la entrada de C y N al suelo en una pradera de un ecosistema tropical estacional. Tesis de Maestría. Instituto de Ecología. UNAM. México, D.F.
- García-Méndez G., J. M. Maass, P. Matson & P. Vitousek. 1991. Nitrogen transformations and nitrous oxide flux in a tropical deciduous forest in México. Oecologia 88:362-366.
- García-Méndez G., J. M. Maass, P. Matson & P. Vitousek. 1992. Transformaciones de Nitrógeno y flujos de óxido nitroso en un bosque tropical deciduo. Ciencias 46 (numero especial):49-52.

*Efecto de 4 especies vegetales sobre la dinámica de N y C en un sitio perturbado*

- García-Montiel D. & D Binkley. 1998. Effect of *Eucalyptus saligna* and *Albizia falactaria* on soil proceses and nitrogen supply in Hawai. *Oecologia*. 113:547-556.
- García-Oliva F., I. Casar. P. Morales & M. Maass. 1994. Forest to pasture conversion influences on soil organism carbon dynamics in a tropical deciduos forest. *Oecologia*, (99), 392-396.
- García-Oliva F., & J. M. Maass. 1998. Efecto de la transformación de selva a pradera sobre la dinámica de nutrientes del suelo en un ecosistema tropical estacional en México. *Boletín de la sociedad Botánica de México* 62:39-48.
- Gentry, A. H.1982. Patterns of neotropical plant species diversity. *Evolutionary Biology*. 15:1-84.
- Gonzalez D. G. 2002. Restauración de la Selva Baja Caducifolia en la Reserva de la Biosfera Chamela-Cuixmala, Jalisco: Un enfoque experimental usando comunidades sintéticas. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias. UNAM. México, D.F.
- Grime J., C. Crick & E. Rincón. 1986. The ecological significance of plasticity. In Jennings, D. y A. Trewavas (eds.) *Plasticity in plants*. Proceedings of the society for experimental biology. 40<sup>th</sup> symposium. University of Cambridge. U.K. 350p.
- Harley J. L. & R. S. Rusell. 1979. The Soil-Root Interface. Academic Press, Londres. En: Atlas, Ronald & Bartha Richard (eds.) 2002. *Ecología microbiana y microbiología ambiental*. Pearson Educación S.A., España. 696pp.
- Haynes, R. J. 1986. Mineral nitrogen in the Plant-soil system. Academic Press Inc. E.U. 483pp.
- Hooper D. U. & Vitousek P. M. 1998. Effects of plant composition and diversity on nutrient cycling. *Ecological Monographs*. 68 (1). 121-149pp.
- Houghton, R. A., D. S. Lefkowitz y D. L. Skole. 1991. Changes in the landscape of Latin America between 1850 and 1985. I. Progressive loss of forest. *Forest Ecology and Managment* 38: 143-172.
- Huante P., Rincón E. & M. Gavito. 1992. Root system analysis of seedlings of seven tree species from a tropical dry forest in Mexico. *Trees*. (6) 77-82.
- Huante P., Rincón E. & I. Acosta. 1995. Nutrient availability and growth rate of 34 woody species from a tropical deciduos forest. *Functional ecology*. (9) 849-858.
- Huante P., Rincón E. & F. S. Chapin III. 1998. Foraging for nutrients, responses to changes in light, and competition in tropical deciduos tree seedlings. *Oecologia*. 117: 209-216.
- Hudson, N. 1981. Soil conservation. Cornell university Press. Ithaca. USA. 320p
- Janzen D.H 1986 Tropical dry forest, the most endangered major tropical estacional. P130-137 In: Wilson, E. O. (Ed). *Biodiversity*. National Academy Press, Washington, D.C.
- Jaramillo V. J. 1992. El fuego y la biogeoquímica en un ecosistema tropical estacional. *Ciencias* 43 (número especial):41-43.
- Jaramillo, V., & Sanford, R. 1995. Nutrient cycling in tropical deciduos forests. In S. H. Bullock, H. A. Mooney and E. Medina (eds.) *Seasonally dry tropical forest*. Cambridge University Press. Cambridge. U.K. 450p.

*Efecto de 4 especies vegetales sobre la dinámica de N y C en un sitio perturbado*

- Lambers, Chapin & Pons, 1998. Plant physiological ecology. Springer. 540
- Lodge D. J., W. H. McDowell & C. P. McSwiney. 1994. The importance of nutrient pulses in tropical forests. Trends in Ecology and Evolution 9:384-387.
- Lorente, H. J. 2001. Biblioteca de la agricultura: suelos, carbonos y materia orgánica. Los frutales. 3ª ed; Ideabooks. Tomo I. España. pp. 264.
- Lott E. J., 1985. Listados florísticos de México III. La estación de Biología, Chamela, Jalisco. Herbario Nacional. Instituto de Biología. UNAM. México.
- Masera O. R., M. J. Ordóñez & R. Dirzo. 1997. Carbon emissions from Mexican Forests: current situation and longterm scenarios. Climate change 35: 265-295.
- Maass J. M. & García-Oliva. 1990 La conservación de suelos en zonas tropicales: el caso de México. Ciencia y Desarrollo 15(90):21-36.
- Maass J. M. y Martínez-Yrizar. 1990. Los ecosistemas: definición, origen e importancia del concepto. Ciencias 4 (número especial):10-20.
- Maass M. 1995. Conversion of tropical dry forest to pasture and agriculture. In Wilson, E. y F. Peter. (eds). Biodiversity. National Academic Press. Washington. D.C., USA.
- Maass J. M. 1999. Criterios ecológicos en el manejo sustentable de los suelos. P.337-360. In: Bullock, S. H., Stephen, H. A. Mooney., & E. Medina (Eds.) Seasonally dry tropical forests. Cambridge University Press. E.U.A. 450pp.
- Martínez-Yrizar A. 1984. Procesos de producción y descomposición de hojarasca en selvas estacionales. Tesis de Maestría. Facultad de ciencias. UNAM. México.
- Mendez G., Maass M., Matson, P., & Vitousek, P. 1991. Nitrogen transformations and nitrous oxide flux in a tropical deciduous forest in México. Oecologia. Standford University. E.U.A. 88:362-366.
- Murphy P. G. & A. E. Lugo. 1986. Ecology of tropical dry forest. Annual Review of Ecology and Systematics 17:67-88.
- Noguera F., Vega, J., García, A., & Quesada, M. 2002. Historia natural de Chamela. Instituto de Biología. UNAM. México. 568pp 525-545.
- Nyle C. & R. Brady. 2002. The nature and properties soils. Prentice Hall. E.U. pp. 960.
- Palm, C.A. & P.A. Sánchez. 1990. Descomposition and nutrient release patterns of the leaves of three tropical legumes. Biotropica. 22:330-338.
- Paul E. & Clark F. 1989. Soil microbiology and biochemistry. Academic. Press, Inc. E.U. 273pp.
- Plaster J. E., 2000. La ciencia del suelo y su manejo. Paraninfo. México.
- Penington T. & J. Sarukhán. 1998. Árboles tropicales de México, manual para la identificación de las principales especies. Fondo de Cultura Económica. México D.F. 521.
- Porta J. *et al.*, 1999. Edafología para la agricultura y el medio ambiente. Mundi-Prensa. España.
- Primavesi, A. 1984. Manejo ecológico dos solos; A agricultura em regiões tropicais. 7a ed. São Paulo: Nobel 1984. 549p.

*Efecto de 4 especies vegetales sobre la dinámica de N y C en un sitio perturbado*

- Rincón E. & Huante P. 1994. Influence of mineral nutrient availability on growth of tree seedlings from the tropical deciduous forest. *Trees: Structure and Function* (9): 93-97
- Rincón E., M. Álvarez A., G. González D., P. Huante & Hernández A. 1999. Restauración de selvas bajas caducifolias. *Gaceta Ecológica. INE-SEMARNAP*. 53:62-71.
- Roven H. Peter, Evert F. Ray, Eichnom & Susan E. 1992. Biology of plants. ed; Sed, worth publishers, 593-791pp.
- Rzedowski J. 1978. Vegetación de México. Editorial. Limusa. México, D.F.
- Rzedowski J. 1991. Diversidad y orígenes de la flora fanerogámica de México. *Acta Botánica Mexicana*. 14:3-21.
- Sachman, R. B. 2001. Dinámica de nitrógeno y carbono en un sitio perturbado de Selva Baja Caducifolia en Chamela, Jalisco. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias. UNAM. México, D.F.
- Sarmiento G. L. 2001. Efecto de dos especies de árboles remanentes en la entrada de C y N al suelo en una pradera de un ecosistema tropical estacional. Tesis de Doctorado. Instituto de Ecología. UNAM. México, D.F. 128.
- Sarukhán J. y J. M. Maass. 1990. Bases ecológicas para un manejo sostenido de los ecosistemas: el sistema de cuencas hidrológicas. P.81-114. En: Leff, E. (Eds.) *Medio ambiente y Desarrollo en México*, Vol. I. UNAM. (CICH)-Porrúa México, D.F.
- Smith R. & Smith T. 2002. Ecología. 4ª ed; Pearson educación S.A. España, 664.
- Stewart John. 1984. Interrelation of carbon, nitrogen, sulfur and phosphorus cycles during decomposition processes in soil. 446.
- Solís V. E. 1993. Variaciones espaciales y temporales en las características físicas y químicas de los suelos en una selva baja caducifolia, en Chamela Jalisco. Tesis de licenciatura. Facultad de Ciencias. UNAM. México, D.F.
- Swaminathan, M. S. 1982. Biotechnology research and third world agriculture. *Science*. 218:967-972.
- Toledo, V. 1988. La diversidad biológica de México. *Ciencia y desarrollo*. (8) 7-16.
- Trejo I. & R. Dirzo. 2000. Deforestation of seasonally dry tropical forests: a national and local análisis in México. *Biological Conservation*. 94:133-142.
- Vázquez-Yañes C. & A. Orozco. 1989. La destrucción de la naturaleza. Fondo de Cultura Económica. México, D.F. 102.
- Vázquez-Yañes C. & Batis, I. 1996. Adopción de árboles nativos valiosos para la restauración ecológica y la reforestación. *Boletín de la sociedad botánica de México*. 58:75-84.
- Vázquez-Yañes C., A. Batis, I. Alcocer, M. Gual y C. Sánchez. 1999. Árboles y arbustos nativos potencialmente valiosos para la restauración ecológica y la restauración. Reporte técnico del proyecto J-084-CONABIO-Instituto de Ecología, UNAM.

*Efecto de 4 especies vegetales sobre la dinámica de N y C en un sitio perturbado*

- Vinton M. A., & Burke I. 1995. Interactions between individual plants species and soil nutrient status in shortgrass steppe. Ecology 76:1116-1133.
- Vitousek P., Matson, P., Volkman, C., Maass, J. & Garcia. G. 1989. Nitrous oxide flux from dry tropical forests. Global Biochemical Cycles. 3:, 375-382
- Vitousek P. M & Hooper. D. U. 1993. Biological diversity and terrestrial ecosystem biogeochemistry. In: Biodiversity and Ecosystem Function. Schuize E.D. y H.A. Monney (eds). Springer Verlag.
- Wild A., 1992. Condiciones del suelo y desarrollo de las plantas según Russell, 1045.
- Woldendorp J. W. 1978. The rhizosphere as part of the plant-soil system. En: Atlas, Ronald., & Bartha Richard (eds.) 2002. Ecología microbiana y microbiología ambiental. Pearson Educación S.A., España. 696.

● [www.conabio.com.mx](http://www.conabio.com.mx)

● [www.ine.gob.com.mx](http://www.ine.gob.com.mx)

● [www.semarnat.gob.com.mx](http://www.semarnat.gob.com.mx)

● [www.maya.ucr.edu/pril/reservas/chamela-cuixmala/chamela-cuixmala6](http://www.maya.ucr.edu/pril/reservas/chamela-cuixmala/chamela-cuixmala6)

## Anexos.

### ANEXO 1. Prueba de ANOVA en *Swietenia humilis* para amonio en el tratamiento mixto

AMONIO. Summary of all Effects; design: (caoba.sta)

	df	MS	df	MS	F	p-level
	Effect	Effect	Error	Error		
1	4	.667452	10	.021198	31.48654	.000012

### ANEXO 2. Prueba de ANOVA en *Swietenia humilis* para amonio en el tratamiento lento

AMONIO. Summary of all Effects; design: (caolen.sta)

	df	MS	df	MS	F	p-level
	Effect	Effect	Error	Error		
1	4	.554911	10	.095913	5.785569	.011232

### ANEXO 3. Prueba de ANOVA en *Swietenia humilis* para amonio en el árbol

AMONIO. Summary of all Effects; design: (caoarb.sta)

	df	MS	df	MS	F	p-level
	Effect	Effect	Error	Error		
1	4	.761946	10	.032113	23.72718	.000043

### ANEXO 4. Prueba de ANOVA en *Swietenia humilis* para nitratos en el tratamiento mixto

NITRATOS. Summary of all Effects; design: (caoba.sta)

	df	MS	df	MS	F	p-level
	Effect	Effect	Error	Error		
1	4	.289293	10	.040080	7.217924	.005311

### ANEXO 5. Prueba de ANOVA en *Swietenia humilis* para nitratos en el tratamiento lento

NITRATOS. Summary of all Effects; design: (caolen.sta)

	df	MS	df	MS	F	p-level
	Effect	Effect	Error	Error		
1	4	.129363	10	.023073	5.606633	.012435

### ANEXO 6. Prueba de ANOVA en *Swietenia humilis* para nitratos en el árbol

NITRATOS. Summary of all Effects; design: (caoarb.sta)

	df	MS	df	MS	F	p-level
	Effect	Effect	Error	Error		
1	4	.102805	10	.020726	4.960096	.018277

### ANEXO 7. Prueba de ANOVA en *Swietenia humilis* para tasa de mineralización en el trat. mixto.

MINERALIZACION. Summary of all Effects; design: (caoba.sta)

	df	MS	df	MS	F	p-level
	Effect	Effect	Error	Error		
1	4	.622468	10	.093263	6.674297	.006968

### ANEXO 8. Prueba de ANOVA en *Swietenia humilis* para tasa de mineralización en el trat. lento

NITRATOS. Summary of all Effects; design: (caoba.sta)

	df	MS	df	MS	F	p-level
	Effect	Effect	Error	Error		
1	4	.289293	10	.040080	7.217924	.007861



Efecto de 4 especies vegetales sobre la dinámica de N y C en un sitio perturbado

**ANEXO 9.** Prueba de ANOVA en *Swietenia humilis* para tasa de mineralización en el trat. árbol

MINERALIZACION. Summary of all Effects; design: (caoarb.sta)

	df	MS	df	MS	F	p-level
Effect	Effect	Error	Error			
1	4	.517003	10	.074915	6.901206	.006211

**ANEXO 10.** Prueba de ANOVA en *Swietenia humilis* para tasa de nitrificación en el trat. *mixto*

NITRIFICACION. Summary of all Effects; design: (caoba.sta)

	df	MS	df	MS	F	p-level
Effect	Effect	Error	Error			
1	4	.379098	10	.060269	6.290123	.008519

**ANEXO 11.** Prueba de ANOVA en *Swietenia humilis* para tasa de mineralización en el trat. lento

NITRIFICACION. Summary of all Effects; design: (caolen.sta)

	df	MS	df	MS	F	p-level
Effect	Effect	Error	Error			
1	4	.135149	10	.031790	4.251276	.028884

**ANEXO 12.** Prueba de ANOVA en *Swietenia humilis* para tasa de mineralización en el árbol

NITRIFICACION. Summary of all Effects; design: (caoarb.sta)

	df	MS	df	MS	F	p-level
Effect	Effect	Error	Error			
1	4	.064605	10	.017408	3.711302	.042120

**ANEXO 13.** Prueba de ANOVA en *Swietenia humilis* para C total en el tratamiento lento

Summary of all Effects; design: (caobadistm1len.sta)

	df	MS	df	MS	F	p-level
Effect	Effect	Error	Error			
1	4	10.36644	10	.184592	56.15876	.000001

**ANEXO 14.** Prueba de ANOVA en *Swietenia humilis* para C total en el tratamiento mixto

Summary of all Effects; design: (caobadistm1.sta)

	df	MS	df	MS	F	p-level
Effect	Effect	Error	Error			
1	4	9.340482	10	.170508	54.78039	.000001

**ANEXO 15.** Prueba de ANOVA en *Swietenia humilis* para C total en el árbol

Summary of all Effects; design: (caobadistm1arb.sta)

	df	MS	df	MS	F	p-level
Effect	Effect	Error	Error			
1	4	16.47476	10	.159342	103.3927	.000000

**ANEXO 16.** Prueba de ANOVA en *Swietenia humilis* para N total en el tratamiento lento

Summary of all Effects; design: (caobadistm1len.sta)

	df	MS	df	MS	F	p-level
Effect	Effect	Error	Error			
1	4	.009787	10	.000402	24.37149	.000039

**ANEXO 17.** Prueba de ANOVA en *Swietenia humilis* para C total en el tratamiento mixto

Summary of all Effects; design: (caobadistm1.sta)

Efecto de 4 especies vegetales sobre la dinámica de N y C en un sitio perturbado

	df	MS	df	MS	F	p-level
	Effect	Effect	Error	Error		
1	4	.011171	10	.000374	29.83466	.000016

**ANEXO 18.** Prueba de ANOVA en *Swietenia humilis* para N total en el árbol

Summary of all Effects; design: (caobadistm1arb.sta)

	df	MS	df	MS	F	p-level
	Effect	Effect	Error	Error		
1	4	.015542	10	.000388	40.02895	.000004

**ANEXO 19.** Prueba de ANOVA en *Swietenia humilis* para C:N en el tratamiento lento

Summary of all Effects; design: (caobadistm1len.sta)

	df	MS	df	MS	F	p-level
	Effect	Effect	Error	Error		
1	4	75.99326	10	3.490866	21.76917	.000064

**ANEXO 20.** Prueba de ANOVA en *Swietenia humilis* para C: N en el tratamiento mixto

Summary of all Effects; design: (caobadistm1.sta)

	df	MS	df	MS	F	p-level
	Effect	Effect	Error	Error		
1	4	115.0681	10	2.630393	43.74559	.000003

**ANEXO 21.** Prueba de ANOVA en *Swietenia humilis* para C: N en el árbol

Summary of all Effects; design: (caobadistm1arb.sta)

	df	MS	df	MS	F	p-level
	Effect	Effect	Error	Error		

**ANEXO 22.** Prueba de ANOVA en *A. farnesiana* para amonio en el tratamiento mixto

AMONIO. Summary of all Effects; design: (acmix.sta)

	df	MS	df	MS	F	p-level
	Effect	Effect	Error	Error		
1	4	.678156	10	.042602	15.91844	.000245

**ANEXO 23.** Prueba de ANOVA en *A. farnesiana* para amonio en el tratamiento rápido

AMONIO. Summary of all Effects; design: (acrap.sta)

	df	MS	df	MS	F	p-level
	Effect	Effect	Error	Error		
1	4	.627709	10	.029307	21.41863	.000068

**ANEXO 24.** Prueba de ANOVA en *A. farnesiana* para amonio el árbol

AMONIO. Summary of all Effects; design: (acarb.sta)

	df	MS	df	MS	F	p-level
	Effect	Effect	Error	Error		
1	4	.704509	10	.057084	12.34158	.000699

**ANEXO 25.** Prueba de ANOVA en *A. farnesiana* para nitratos en el tratamiento mixto

AMONIO. Summary of all Effects; design: (acrap.sta)

	df	MS	df	MS
--	----	----	----	----

*Efecto de 4 especies vegetales sobre la dinámica de N y C en un sitio perturbado*

	Effect	Effect	Error	Error	F	p-level		
1	4	.627709		10	.029307		21.41863	.000537

**ANEXO 26.** Prueba de ANOVA en *A. farnesiana* para nitratos en el tratamiento rápido

NITRATOS. Summary of all Effects; design: (acrap.sta)

	df	MS	df	MS	F	p-level		
1	4	.066962		10	.009526		7.029077	.005827

**ANEXO 27.** Prueba de ANOVA en *A. farnesiana* para nitratos en el árbol

NITRATOS. Summary of all Effects; design: (acarb.sta)

	df	MS	df	MS	F	p-level		
1	4	.135242		10	.021340		6.337529	.008307

**ANEXO 28.** Prueba de ANOVA en *A. farnesiana* para mineralización en el tratamiento mixto

MINERALIZACIÓN. Summary of all Effects; design: (acmix.sta)

	df	MS	df	MS	F	p-level		
1	4	.572593		10	.071918		7.961740	.003744

**ANEXO 29.** Prueba de ANOVA en *A. farnesiana* para mineralización en el tratamiento rápido

MINERALIZACION. Summary of all Effects; design: (acrap.sta)

	df	MS	df	MS	F	p-level		
1	4	.471901		10	.061333		7.694087	.004235

**ANEXO 30.** Prueba de ANOVA en *A. farnesiana* para mineralización en el árbol

MINERALIZACION. Summary of all Effects; design: (acarb.sta)

	df	MS	df	MS	F	p-level		
1	4	1.063688		10	.081431		13.06240	.000556

**ANEXO 31.** Prueba de ANOVA en *A. farnesiana* para nitrificación en el tratamiento mixto

MINERALIZACIÓN. Summary of all Effects; design: (acmix.sta)

	df	MS	df	MS	F	p-level		
1	4	.572593		10	.071918		7.961740	.006854

**ANEXO 32.** Prueba de ANOVA en *A. farnesiana* para nitrificación en el tratamiento rápido

NITRIFICACION. Summary of all Effects; design: (acrap.sta)

	df	MS	df	MS	F	p-level		
1	4	.064987		10	.008674		7.492460	.004655

**ANEXO 33.** Prueba de ANOVA en *A. farnesiana* para nitrificación en el tratamiento en el árbol

MINERALIZACION. Summary of all Effects; design: (acrap.sta)

	df	MS	df	MS	F	p-level		
1	4	.471901		10	.061333		7.694087	.004015

*Efecto de 4 especies vegetales sobre la dinámica de N y C en un sitio perturbado*

**ANEXO 34.** Prueba de ANOVA en *A. farnesiana* para C total en el tratamiento mixto.

Summary of all Effects; design: (acaciadistm1.sta)

1-DIST

	df	MS	df	MS		
	Effect	Effect	Error	Error	F	p-level
1	4	9.700233	10	.405585	23.91662	.000042

**ANEXO 35.** Prueba de ANOVA en *A. farnesiana* para C total en el tratamiento rápido.

Summary of all Effects; design: (acaciadistm1rap.sta)

	df	MS	df	MS		
	Effect	Effect	Error	Error	F	p-level
1	4	11.98439	10	.260166	46.06437	.000002

**ANEXO 36.** Prueba de ANOVA en *A. farnesiana* para C total en el árbol

Summary of all Effects; design: (acaciadistm1arb.sta)

	df	MS	df	MS		
	Effect	Effect	Error	Error	F	p-level
1	4	11.43980	10	.241407	47.38809	.000002

**ANEXO 37.** Prueba de ANOVA en *A. farnesiana* para N total en el tratamiento mixto.

Summary of all Effects; design: (acaciadistm1.sta)

1-DIST

	df	MS	df	MS		
	Effect	Effect	Error	Error	F	p-level
1	4	9.700233	10	.405585	23.91662	.000025

**ANEXO 38.** Prueba de ANOVA en *A. farnesiana* para N total en el tratamiento rápido.

Summary of all Effects; design: (acaciadistm1rap.sta)

	df	MS	df	MS		
	Effect	Effect	Error	Error	F	p-level
1	4	.016139	10	.003404	4.740460	.020973

**ANEXO 39.** Prueba de ANOVA en *A. farnesiana* para N total en el árbol.

Summary of all Effects; design: (acaciadistm1arb.sta)

	df	MS	df	MS		
	Effect	Effect	Error	Error	F	p-level
1	4	.006413	10	.000689	9.305321	.002104

**ANEXO 40.** Prueba de ANOVA en *A. farnesiana* para C:N total en el I tratamiento mixto.

Summary of all Effects; design: (acaciadistm1mix.sta)

	df	MS	df	MS	F	p-level
	Effect	Effect	Error	Error		
1	4	109.2481	10	3.815720	28.63106	.000019

**ANEXO 41.** Prueba de ANOVA en *A. farnesiana* para C:N total en el tratamiento rápido

Summary of all Effects; design: (acaciadistm1rap.sta)

	df	MS	df	MS		
	Effect	Effect	Error	Error	F	p-level
1	4	103.3667	10	9.065461	11.40226	.000959

*Efecto de 4 especies vegetales sobre la dinámica de N y C en un sitio perturbado*

**ANEXO 42.** Prueba de ANOVA en *A. farnesiana* para C:N total en el árbol.

Summary of all Effects; design: (acaciadistm1arb.sta)

	df	MS	df	MS	F	p-level
Effect	Effect	Effect	Error	Error		
1	4	133.1789	10	3.663434	36.35357	.000006

**ANEXO 43.** Prueba de ANOVA en *S. humilis* para amonio en los tratamientos mixto y lento.

Summary of all Effects; design: (datoscompossp.sta)

	Wilks' Lambda	Rao's R	df 1	df 2	p-level
1	.002214	50.63533	4	10	.000001

**ANEXO 44.** Prueba de ANOVA de mediciones repetidas en *S. humilis* para amonio en los muestreos de Feb y Junio

Summary of all Effects; design:

1-TRATAM, 2-MUESTREO

	df	MS	df	MS	F	p-level
Effect	Effect	Effect	Error	Error		
1	2	.036171	12	.001497	24.1640	.000062
2	1	.335108	12	.001497	223.8694	.000000
12	2	.056371	12	.001497	37.6587	.000007

**ANEXO 45.** Prueba de ANOVA en *S. humilis* para nitrato en los tratamientos mixto y lento.

Summary of all Effects; design: (datoscompossp.sta)

	df	MS	df	MS	F	p-level
Effect	Effect	Effect	Error	Error		
1	2	.425100	6	.052100	8.159309	.019429

**ANEXO 46.** Prueba de ANOVA de mediciones repetidas en *S. humilis* para nitratos en los muestreos de Feb y Junio

Summary of all Effects; design:

1-TRATAM, 2-MUESTREO

	df	MS	df	MS	F	p-level
Effect	Effect	Effect	Error	Error		
1	2	.192639	12	.038794	4.96563	.026835
2	1	2.896022	12	.038794	74.65044	.000002
12	2	.392506	12	.038794	10.11757	.002661

**ANEXO 47.** Prueba de ANOVA para *S. humilis* de mineralización en los tratamientos mix y len.

Summary of all Effects; design: (datoscompossp.sta)

	df	MS	df	MS	F	p-level
Effect	Effect	Effect	Error	Error		
1	2	1.861154	6	.029111	63.93370	.000090

**ANEXO 48.** Prueba de ANOVA de mediciones repetidas en *S. humilis* para mineralización en los muestreos de Feb y Junio.

1-TRATAM, 2-MUESTREO

	df	MS	df	MS	F	p-level
Effect	Effect	Effect	Error	Error		
1	2	.794194	12	.025564	31.0672	.000018
2	1	3.848659	12	.025564	150.5516	.000000
12	2	.316035	12	.025564	12.3626	.001217

**ANEXO 49.** Prueba de ANOVA en *S. humilis* para nitrificación en los tratamientos mix y len.

Efecto de 4 especies vegetales sobre la dinámica de N y C en un sitio perturbado

Summary of all Effects; design: (datoscompossp.sta)

	df	MS	df	MS	F	p-level
Effect	Effect	Error	Error			
1	2	.352497	6	.025022	14.08734	.005412

**ANEXO 50.** Prueba de ANOVA de mediciones repetidas en *S. humilis* para C total en los muestreos de Febrero y Junio.

Summary of all Effects; design: (distcomp-spp.sta)

1-MUESTRA, 2-MUESTREO

	df	MS	df	MS	F	p-level
Effect	Effect	Error	Error			
1	2	25.83751	6	.337133	76.63883	.000053
2	1	8.07338	6	.170091	47.46510	.000462
12	2	1.06708	6	.170091	6.27361	.033855

**ANEXO 51.** Prueba de ANOVA en *S. humilis* para N total en los tratamientos mix y len.

Summary of all Effects; design: (caobacomp-spp.sta)

	df	MS	df	MS	F	p-level
Effect	Effect	Error	Error			
1	2	.003874	6	.000472	8.211271	.019160

**ANEXO 52.** Prueba de ANOVA en *S. humilis* para la relación C:N en los tratamientos mix y len.

Summary of all Effects; design: (caobacomp-spp.sta)

	df	MS	df	MS	F	p-level
Effect	Effect	Error	Error			
1	2	175.2771	6	5.075473	34.53414	.000511

**ANEXO 53.** Prueba de ANOVA en *A. farnesiana* para amonio en los tratamientos mix y len.

Summary of all Effects; design: (datoscompossph2.sta)

	df	MS	df	MS	F	p-level
Effect	Effect	Error	Error			
1	2	.909701	6	.003458	263.0545	.000001

**ANEXO 54.** Prueba de ANOVA de mediciones repetidas en *A. farnesiana* para amonio en los muestreos de Febrero y Junio

1-TRATAM, 2-MUESTREO

	df	MS	df	MS	F	p-level
Effect	Effect	Error	Error			
1	2	.615019	12	.138334	4.44591	.035911
2	1	7.282200	12	.138334	52.64228	.000010
12	2	.754861	12	.138334	5.45681	.020631

**ANEXO 55.** Prueba de ANOVA en *A. farnesiana* para nitratos en los tratamientos mix y rap.

Summary of all Effects; design: (datoscompossph2.sta)

	df	MS	df	MS	F	p-level
Effect	Effect	Error	Error			
1	2	.667033	6	.042089	15.84820	.004032

**ANEXO 56.** Prueba de ANOVA en *A. farnesiana* para la tasa de mineralización en los tratamientos mixto y rápido.

Summary of all Effects; design: (datoscompossph2.sta)

	df	MS	df	MS	F	p-level
Effect	Effect	Error	Error			
1	2	3.763664	6	.039130	96.18246	.000028

*Efecto de 4 especies vegetales sobre la dinámica de N y C en un sitio perturbado*

**ANEXO 57.** Prueba de ANOVA de mediciones repetidas en *A. farnesiana* para la tasa de mineralización en los muestreos de Febrero y Junio.

Summary of all Effects; design:

1-TRATAM, 2-MUESTREO

	df	MS	df	MS		
Effect	Effect	Error	Error	F	p-level	
1	2	.26346	12	.131373	2.0054	.177256
2	1	19.82651	12	.131373	150.9179	.000000
12	2	.62568	12	.131373	4.7626	.030019

**ANEXO 58.** Prueba de ANOVA en *A. farnesiana* para nitrificación en los tratamientos mix y rap.

Summary of all Effects; design: (datoscomposph2.sta)

df	MS	df	MS	F	p-level	
Effect	Effect	Error	Error			
1	2	5.275072	6	.083719	63.00932	.000094

**ANEXO 59.** Prueba de ANOVA de mediciones repetidas en *A. farnesiana* para la tasa de nitrificación en los muestreos de Feb y Junio.

1-TRATAM, 2-MUESTREO

	df	MS	df	MS	F	p-level
Effect	Effect	Error	Error			
1	2	.18823	12	.056158	3.3519	.069746
2	1	17.58378	12	.056158	313.1114	.000000
12	2	.24597	12	.056158	4.3800	.037302

**ANEXO 60.** Prueba de ANOVA en *A. farnesiana* para C total en los tratamientos mix y rap

Summary of all Effects; design: (distcomp-spp.sta)

df	MS	df	MS	F	p-level	
Effect	Effect	Error	Error			
1	2	11.50046	6	.166855	68.92477	.000073

**ANEXO 61.** Prueba de ANOVA de mediciones repetidas en *A. farnesiana* para Ctotal en los muestreos de Feb y Jun.

1-MUESTRA, 2-RFACTOR1

	df	MS	df	MS	F	p-level
Effect	Effect	Error	Error			
1	2	4.22220	6	.191403	22.0592	.001716
2	1	86.38634	6	.130292	663.0209	.000000
12	2	16.50552	6	.130292	126.6810	.000012

**ANEXO 62.** Prueba de ANOVA en *A. farnesiana* para Ntotal de *A. farnesiana* en los tratamientos mix y rap.

Summary of all Effects; design: (distcomp-spp.sta)

df	MS	df	MS	F	p-level	
Effect	Effect	Error	Error			
1	2	.243072	6	.001166	208.5462	.000003

**ANEXO 63.** Prueba de ANOVA de mediciones repetidas en *A. farnesiana* para N total de los muestreos de Feb y Jun.

1-MUESTRA, 2-MUESTREO

df	MS	df	MS	F	p-level
Effect	Effect	Error	Error		

*Efecto de 4 especies vegetales sobre la dinámica de N y C en un sitio perturbado*

1	2	.090837	6	.000768	118.2173	.000015
2	1	.595320	6	.001573	378.4345	.000001
12	2	.157731	6	.001573	100.2666	.000025

**ANEXO 64.** Prueba de ANOVA en *A. farnesiana* para la relación C:N en los tratamientos mix y rap.

Summary of all Effects; design: (distcomp-spp.sta)

	df	MS	df	MS	F	p-level
	Effect	Effect	Error	Error		
1	2	411.9286	6	2.032568	202.6642	.000003

**ANEXO 65.** Prueba de ANOVA de mediciones repetidas en *A. farnesiana* para la relación C:N de los muestreos de Feb y Jun.

Summary of all Effects; design: (distcomp-spp.sta)

1-MUESTRA, 2-MUESTREO

	df	MS	df	MS	F	p-level
	Effect	Effect	Error	Error		
1	2	507.1626	6	2.302596	220.2569	.000002
2	1	66.8654	6	6.876832	9.7233	.020632
12	2	41.8184	6	6.876832	6.0811	.036054

**ANEXO 66.** Prueba de ANOVA entre especies para amonio, en junio.

Summary of all Effects; design: (comp-entrespp.sta)

1-VAR1

	df	MS	df	MS	F	p-level
	Effect	Effect	Error	Error		
1	6	.232434	14	.046796	4.966974	.006380

**ANEXO 67.** Prueba de ANOVA entre especies para nitratos, en junio.

Summary of all Effects; design: (comp-entrespp.sta)

1-VAR1

	df	MS	df	MS	F	p-level
	Effect	Effect	Error	Error		
1	6	.855778	14	.058814	14.55051	.000027

**ANEXO 68.** Prueba de ANOVA entre especies para tasa de mineralización, en junio.

Summary of all Effects; design: (comp-entrespp.sta)

1-VAR1

	df	MS	df	MS	F	p-level
	Effect	Effect	Error	Error		
1	6	1.872031	14	.042892	43.64492	.000000

**ANEXO 69.** Prueba de ANOVA entre especies para tasa de nitrificación, en junio.

Summary of all Effects; design: (comp-entrespp.sta)

1-VAR1

	df	MS	df	MS	F	p-level
	Effect	Effect	Error	Error		
1	6	2.567574	14	.057256	44.84361	.000003

**ANEXO 70.** Prueba de ANOVA entre especies para C total, en junio.

Summary of all Effects; design: (comp-entrespp.sta)

1-VAR1

	df	MS	df	MS	F	p-level
	Effect	Effect	Error	Error		
1	6	2.400569	14	.199835	12.01273	.000080



Efecto de 4 especies vegetales sobre la dinámica de N y C en un sitio perturbado

**ANEXO 71.** Prueba de ANOVA entre especies para N total, en junio.

Summary of all Effects; design: (comp-entrespp.sta)

1-VAR1

	df	MS	df	MS	F	p-level
Effect	Effect	Error	Error			
1	6	.160256	14	.001360	117.8102	.000000

**ANEXO 72.** Prueba de ANOVA entre especies para C:N, en junio.

Summary of all Effects; design: (comp-entrespp.sta)

1-VAR1

	df	MS	df	MS	F	p-level
Effect	Effect	Error	Error			
1	6	30.61430	14	1.107326	27.64705	.000001

**ANEXO 72.** Prueba de T en *S. humilis* para amonio en dos edades.

Mean	Mean	t-value	df	p	Valid N	Valid N	Std.Dev.	Std.Dev.	F-ratio	p
C C6 len	C árbol				C C6 len	C árbol	C C6 len	C árbol	variances	variances
.599667	.371333	8.250617	4	.001177	3	3	.035218	.032517	1.173077	.0020354

**ANEXO 73.** Prueba de T en *S. humilis* para nitratos en dos edades

Mean	Mean	t-value	df	p	Valid N	Valid N	Std.Dev.	Std.Dev.	F-ratio	p
C C6 len	C árbol				C C6 len	C árbol	C C6 len	C árbol	variances	variances
1.950000	1.210000	5.110543	4	.006932	3	3	.240208	.072111	11.09615	.0001653

**ANEXO 74.** Prueba de T en *S. humilis* de la tasa de mineralización en dos edades.

Mean	Mean	t-value	df	p	Valid N	Valid N	Std.Dev.	Std.Dev.	F-ratio	p
C C6 len	C árbol				C C6 len	C árbol	C C6 len	C árbol	variances	variances
1.711572	1.382003	3.228854	4	.032010	3	3	.149702	.094043	2.533977	.000565

**ANEXO 75.** Prueba de T en *S. humilis* de la tasa de nitrificación en dos edades.

Mean	Mean	t-value	df	p	Valid N	Valid N	Std.Dev.	Std.Dev.	F-ratio	p
C C6 len	C árbol				C C6 len	C árbol	C C6 len	C árbol	variances	variances
.747496	.055959	5.275990	4	.006187	3	3	.221883	.048039	21.33380	.000895

**ANEXO 76.** Prueba de T en *S. humilis* de C total en dos edades.

Mean	Mean	t-value	df	p	Valid N	Valid N	Std.Dev.	Std.Dev.	F-ratio	p
C C6 len	C árbol				C C6 len	C árbol	C C6 len	C árbol	variances	variances
4.760064	2.346938	5.813977	4	.004356	3	3	.716858	.054118	175.4600	.001133

**ANEXO 78.** Prueba de T en *S. humilis* de la relación C:N en dos edades.

Mean	Mean	t-value	df	p	Valid N	Valid N	Std.Dev.	Std.Dev.	F-ratio	p
C C6 len	C árbol				C C6 len	C árbol	C C6 len	C árbol	variances	variances
13.33531	8.778967	4.005234	4	.016060	3	3	1.331116	1.452761	1.191122	.000912

**ANEXO 79.** Prueba de T para *Acacia farnesiana* para amonio por edades.

Note: Variables were treated as independent samples

Mean	Mean	t-value	df	p	Valid N	Valid N	Std.Dev.	Std.Dev.	F-ratio	p
C C6 len	C árbol				C C6 len	C árbol	C C6 len	C árbol	variances	variances
3.477409	5.197042	-4.20888	4	.013598	3	3	.425362	.565563	1.767849	.000567

**ANEXO 80.** Prueba de T para *Acacia farnesiana* de la tasa de mineralización por edades.

Note: Variables were treated as independent samples

Mean	Mean	t-value	df	p	Valid N	Valid N	Std.Dev.	Std.Dev.	F-ratio	p
C C6 len	C árbol				C C6 len	C árbol	C C6 len	C árbol	variances	variances
3.477409	5.197042	-4.20888	4	.013598	3	3	.425362	.565563	1.767849	.000368

**ANEXO 81.** Prueba de T para *Acacia farnesiana* de la tasa de nitrificación por edades.

Note: Variables were treated as independent samples

Mean	Mean	t-value	df	p	Valid N	Valid N	Std.Dev.	Std.Dev.	F-ratio	p
C C6 len	C árbol				C C6 len	C árbol	C C6 len	C árbol	variances	variances
3.477409	5.197042	-4.20888	4	.013598	3	3	.425362	.565563	1.767849	.005263

Efecto de 4 especies vegetales sobre la dinámica de N y C en un sitio perturbado

**ANEXO 82.** Prueba de T para *Acacia farnesiana* de C total por edades.

Note: Variables were treated as independent samples

Mean	Mean	t-value	df	p	Valid N	Valid N	Std.Dev.	Std.Dev.	F-ratio	p
C C6 len	C árbol				C C6 len	C árbol	C C6 len	C árbol	variancs	variancs
3.477409	5.197042	-4.20888	4	.013598	3	3	.425362	.565563	1.767849	.000722

**ANEXO 83.** Prueba T para *Acacia farnesiana* de N total por edades.

Mean	Mean	t-value	df	p	Valid N	Valid N	Std.Dev.	Std.Dev.	F-ratio	p
C C6 len	C árbol				C C6 len	C árbol	C C6 len	C árbol	variancs	variancs
.830635	.612247	5.407978	4	.005662	3	3	.029063	.063621	4.791809	.003453

**ANEXO 84.** Prueba de T para *Acacia farnesiana* de la relación C:N por edades.

Mean	Mean	t-value	df	p	Valid N	Valid N	Std.Dev.	Std.Dev.	F-ratio	p		
C C6 len	C árbol				C C6 len	C árbol	C C6 len	C árbol	variancs	variancs		
I.		4.178549	8.507153	-9.31818	4	.000738	3	3	.367038	.716000	3.805443	.000416

**ANEXO 85.** Prueba de ANOVA para *Guazuma ulmifolia* de amonio por edades.

Summary of all Effects; design: (datosedadguazuma.sta)

	df	MS	df	MS	F	p-level
Effect	Effect	Error	Error			
1	3	.168918	8	.004409	38.31419	.000043

**ANEXO 86.** Prueba de ANOVA para *Guazuma ulmifolia* de nitratos por edades

	df	MS	df	MS	F	p-level
Effect	Effect	Error	Error			
1	3	.460500	8	.021558	21.36065	.000356

**ANEXO 87.** Prueba de ANOVA para *Guazuma ulmifolia* de la tasa de nitrificación por edades.

Summary of all Effects; design: (datosedadguazuma.sta)

1-MUESTRA

	df	MS	df	MS	F	p-level
Effect	Effect	Error	Error			
1	3	.137090	8	.018889	7.257738	.011362

**ANEXO 88.** Prueba de ANOVA para *Guazuma ulmifolia* de la relación C:N por edades.

Summary of all Effects; design: (guazanovaedad.sta)

1-MUESTRA

	df	MS	df	MS	F	p-level
Effect	Effect	Error	Error			
1	3	5.042583	8	1.029478	4.898192	.032173

## Lista de figuras.

- Figura 1. Ciclo del nitrógeno
- Figura 2. Ciclo interno del nitrógeno
- Figura 3. Vías de la nitrificación y denitrificación
- Figura 4. Ciclo del carbono
- Figura 5. Mapa de distribución y morfología de *S. humillis*
- Figura 6. Mapa de distribución y morfología de *A. farnesiana*
- Figura 7. Mapa de distribución y morfología de *G. ulmifolia*
- Figura 8. Mapa de ubicación del área de trabajo
- Figura 9. Distribución de las comunidades en el área de trabajo
- Figura 10. Organización de las especies en las comunidades
- Figura 11. Gráfica de precipitación en Chamela en 2002
- Figura 12. Esquema de forma de obtención de las muestras (orientaciones)
- Figura 13. Esquema del marcaje de las bolsas
- Figura 14. Resultados del efecto de la rizósfera en diferentes distancias sobre la dinámica de nutrientes del suelo de *S. humillis*.
- Figura 15. Resultados del efecto de la rizósfera en diferentes distancias sobre la dinámica de nutrientes del suelo de *a. farnesiana*.
- Figura 16. Resultados del efecto de la composición de especies de *Swietenia humilis*,
- Figura 17. Resultados del efecto de la composición de especies de *A. farnesiana*,
- Figura 18. Resultados del efecto de la composición de especies de *C. platyloba*,
- Figura 19. Resultados de la comparación de *S. humilis*, *A. farnesiana* y *C. platyloba*
- Figura 20. Resultados del efecto de la edad de *Swietenia humilis*
- Figura 21. Resultados del efecto de la edad de *A. farnesiana*
- Figura 22. Resultados del efecto de la edad de *C. platyloba*
- Figura 23. Resultados del efecto de la edad de *G. ulmifolia*

## Tablas.

- Tabla 1. Medidas de los individuos adultos y jóvenes de *S. humillis*, *A. farnesiana*, *C. platyloba*
- Tabla 2. Medidas de individuos adultos y jóvenes de *S. humillis*, *A. farnesiana*, *C. platyloba*
- Tabla 3. Resultados de la comparación entre especies de *S. humillis*, *C. platyloba* y *A. farnesiana*
- Tabla 4. Resultados del efecto de la edad de *S. humillis*, *C. platyloba* y *A. farnesiana*
- Tabla 5. Resultados del efecto de la edad de *G. ulmifolia*