



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

DEPARTAMENTO DE SUELOS



**MAESTRÍA EN CIENCIAS EN AGROFOTORESTRÍA PARA EL DESARROLLO
SOSTENIBLE**

EROSIÓN Y DINÁMICA DE NITRÓGENO Y CARBONO EN DOS SISTEMAS
AGROFORESTALES DE CAFÉ BAJO SOMBRA

TESIS

QUE COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS

EN AGROFOTORESTRÍA PARA EL DESARROLLO SOSTENIBLE

PRESENTA:

CAUICH CAN FRANCISCO



JUNIO 2015

CHAPINGO, ESTADO DE MÉXICO



DIRECCIÓN GENERAL ACADÉMICA
UNIDAD DE SERVICIOS ESCOLARES
E INSTRUCCIÓN PROFESIONAL

**EROSIÓN Y DINÁMICA DE NITRÓGENO Y CARBONO EN DOS SISTEMAS
AGROFORESTALES DE CAFÉ BAJO SOMBRA**

Tesis realizada por: **Cauich Can Francisco** bajo la supervisión del Comité Asesor
indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el
grado de:

**MAESTRO EN CIENCIAS EN AGROFORESTERÍA PARA EL DESARROLLO
SOSTENIBLE**

Dr. David Cristóbal Acevedo (Director):



Dr. Emiliano Pérez portilla (Co-Director):



Dra. Elizabeth Hernández Acosta (Asesor):



Dr. Ranferi Maldonado Torres (Asesor):



AGRADECIMIENTOS

Primeramente agradezco a la Universidad Autónoma Chapingo, por haberme brindado la oportunidad de desarrollarme profesionalmente. También al Centro Regional Universitario de Oriente (CRUO) por la facilidad para desarrollar mi estancia en el proyecto de investigación y fortalecer mis conocimientos.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el apoyo económico a través de la beca porque gracias a ello pude financiar mi proyecto de investigación.

Al posgrado de la Maestría en Agroforestería para el Desarrollo Sostenible, así como a su coordinador 2013-2014, Dr. David Cristóbal Acevedo y coordinadora 2014-2015, Dra. Ma. Edna Álvarez Sánchez por todo su apoyo para mi investigación.

A mi comité Asesor quiero expresar mi más sincero agradecimiento, especialmente al Dr. David Cristóbal Acevedo, Dr. Emiliano Pérez Portilla, Dr. Elizabeth Hernández Acosta y el Dr. Ranferi Maldonado Torres, por haberme brindado la oportunidad de trabajar con ellos, por haber tenido la paciencia necesaria para ayudarme, por transmitirme su conocimiento y por ser demasiado accesible en todo momento.

A la Maestra Irma Rodríguez Tello quien fue la persona que me aconsejó ingresar al posgrado y por sus múltiples consejos y regaños que me dio para lograr lo que ahora soy.

Al Dr. Edmundo quién me proporcionó todo lo necesario para los análisis de muestras en el Laboratorio de Química de Suelos, así como a la Ing. Elitania por su apoyo en las determinaciones de las variables. Al Dr. David Cristóbal por su apoyo en la determinación de variables físicas de suelos y a los laboratoristas José Luis y Araceli del Laboratorio de Física de Suelos.

A la Lic. Norma Lilian Martínez por su apoyo durante la estancia en el posgrado y por todos sus múltiples consejos y regaños que hicieron fortalecerme como persona.

A mi Familia, Hermanos y Amigos que me apoyaron para lograr lo que soy y lo que tengo, Gracias.

DEDICATORIAS

A mis padres Marcelino Cauich Quiab y María del Socorro Can Chan por su apoyo moral y económico que siempre me brindaron y sobre todo los consejos dados y por siempre creer en mí, esta tesis es por y para ustedes.

A mis Hermanos Víctor, Norma, Roger, Marilú, Marco, William, Miguel y Viviana, por sus consejos y apoyo económico y moral en todo momento.

A mis Cuñados por su apoyo económico y moral, que siempre me dieron y me dieron.

A mis sobrinos que creen y confían en mí en todo lo que me propongo.

A mi amigo, casi hermano Juan Manuel Cohuo que siempre me apoyo además de sus consejos y el apoyo que siempre me ha dado.

A mis amigos Arely, Martin, Luis y Noemi por estar a mi lado en este periodo y aconsejarme positivamente.

A Milton, Emmanuel (Campe) y Eduardo (Chel) por sus consejos y momentos que pasamos, sobre todo por siempre creer en mí.

A mis Compañeros (Margartita, Olivia, Miriam, Paty, Laura Julio, Inocencio, Freddy y Camilo), Amigos y Profesores del posgrado que creyeron y creen en mí y siempre me han apoyado.

BIOGRAFÍA

El ingeniero Cauich Can Francisco, nació en la localidad de Dzitbalché, municipio de Calkiní, Campeche, el 3 de octubre de 1989.

Realizó su formación media superior en 2004 en la Preparatoria: Colegio de Bachilleres Plantel 13 Calkiní obteniendo el título de Técnico en Computación. En 2007 ingresa en la Universidad Autónoma Chapingo cursando el programa educativo Propedéutico perteneciente a la Preparatoria Agrícola, un año más tarde en 2008 cursó el programa educativo Ingeniero en Recursos Naturales Renovables egresando en 2012 y titulándose por unanimidad con felicitaciones en ese año. En 2013 ingresó en el posgrado de la Maestría en Ciencias en Agroforestería para el Desarrollo Sostenible.

RESUMEN GENERAL

EROSIÓN Y DINÁMICA DE NITRÓGENO Y CARBONO EN DOS SISTEMAS AGROFORESTALES DE CAFÉ BAJO SOMBRA

¹Cauich Can Francisco y ²Dr. David Cristóbal Acevedo.

La erosión del suelo es un proceso que disminuye la productividad, estudios señalan que en México el 44.9% de la superficie nacional se encuentra degradada debido a la erosión. También en la actualidad tiene importancia el estudio del C y el N en los sistemas agroforestales debido a aspectos nutrimentales y de impacto. El objetivo de esta investigación fue determinar el efecto de los sistemas agroforestales Café-Chalahuite (C-Ch) y Café-Grevilea (C-Gr), sobre las siguientes variables: precipitación bajo la cobertura vegetal, erosión hídrica, amonio (NH_4^+) y nitrato (NO_3^-) en el agua de lluvia, escorrentía y en el suelo; producción de biomasa, nitrógeno total y carbono en biomasa y suelo. Los resultados mostraron que ocurrieron 69 eventos de lluvia, con una precipitación bajo la cobertura vegetal de 307.4 mm en el sistema C-Ch y 369.8 mm en C-Gr, originando pérdidas de suelo de 131.45 y 257.10 kg/ha respectivamente; por su parte las mayores cantidades de NH_4^+ y NO_3^- en la lluvia se presentaron en C-Gr con valores de 30.37 y 26.64 kg/ha y se perdieron en escorrentía 2.724 y 2.031 kg/ha, respectivamente, mientras que en el suelo las concentraciones de $\text{NH}_4^+ + \text{NO}_3^-$ oscilaron entre 20-50 mg/kg en los primeros 20 cm de profundidad. La producción de biomasa fue mayor en el sistema C-Ch, con valores de 5510.37 kg/ha debajo de cafetos y en entresurcos de 1266.33 kg/ha, aportando 160.93 y 44.41 kg/ha de Nt y 2755.19 y 633.16 kg/ha de C respectivamente. La concentración de Nt y C en el suelo fue mayor a la profundidad de 0-20 cm. Concluyendo que existió una correlación evidente entre la cantidad de lluvia y pérdida de suelo, así mismo los contenidos de N y C aportados fueron directamente proporcionales con la biomasa defoliada, siendo el sistema C-Ch el más eficiente.

Palabras Clave: Agroforestería, Nitrato, Amonio, Defoliación y lixiviación.

¹Autor, ²Director.

ABSTRACT

EROSION AND DYNAMICS OF NITROGEN AND CARBON IN TWO SYSTEMS SHADED coffee AGROFORESTRY

¹Cauch Can Francisco y ²Dr. David Cristóbal Acevedo.

Soil erosion is a process that decreases its productivity, studies point that in Mexico 44.9% of the national area is degraded due to erosion. Also currently studying the matter C and N study in agroforestry systems due to nutritional aspects and impact. The objective of this research was to determine the effect of Café-Chalahuite (C-Ch) and Café-Grevilea (C-Gr) agroforestry on the following variables: precipitation in the vegetation cover, water erosion, ammonium (NH_4^+) and nitrate (NO_3^-) in rainwater, runoff and soil biomass production, total nitrogen and carbon in biomass and soil. The results showed that 69 rain events occurred, with precipitation in the vegetation cover of 307.4 mm in the C-Ch system and 369.8 mm in C-Gr, causing loss of soil 131.45 and 257.10 kg / ha respectively; meanwhile the largest amounts of NH_4^+ and NO_3^- in the rain appeared on C-Gr with values of 30.37 and 26.64 kg / ha and 2.724 were lost in runoff and 2,031 kg / ha, respectively, while the soil concentrations of NH_4^+ , NO_3^- ranged from 20-50 mg / kg in the first 20 cm deep. Biomass production was higher in the C-Ch system, with values of 5510.37 kg / ha under entresurcos of coffee plants and 1266.33 kg / ha, providing 160.93 and 44.41 kg / ha of Nt and 2755.19 and 633.16 kg / ha respectively C. The Nt and C concentration in the soil was greater than the depth of 0-20 cm. Concluding that there was a clear correlation between the amount of rainfall and soil loss, also the contents of N and C were provided directly proportional to biomass defoliated, C-Ch being the most efficient system.

Key words: Agroforestry, nitrate, ammonium, Defoliation and leaching.

¹Author, ²Director.

ÍNDICE GENERAL

1	INTRODUCCIÓN.....	7
2	MARCO TEÓRICO.....	10
2.1	Agroforestería como sistema de producción sustentable	10
2.1.1	Ventajas de los sistemas agroforestales	12
2.1.2	Desventajas de los sistemas agroforestales.....	13
2.2	Producción cafetalera como sistema agroforestal	13
2.3	Propiedades físicas y químicas del suelo.....	14
2.4	Pérdida de suelo.....	15
2.5	Ciclos del biogeoquímicos	16
2.5.1	Ciclo del Nitrógeno	16
2.5.2	Ciclo del Carbono	21
2.5.3	Dinámica de nutrientes en sistemas agroforestales	22
3	OBJETIVOS	24
3.1	Objetivo general.....	24
3.2	Objetivos específicos	24
4	MATERIALES Y MÉTODOS	25
4.1	Localización.....	25
4.2	Instalación de los dispositivos de medición.....	26
4.3	Variables medidas.....	28
4.3.1	Determinación de Escorrentía y Erosión.	29
4.3.2	Estimación de NH_4^+ y NO_3^- en agua escurrida y precipitación.	30
4.3.3	Estimación de Nitrógeno total (Nt) y C en vegetación	32
4.3.4	Estimación del N, NH_4^+ , NO_3^- y C en suelo.....	33
4.3.5	Análisis estadístico	35
5	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	36
5.1	Análisis de suelos.....	36
5.2	Resultado Escorrentía y Erosión.....	37
5.3	Amonio y Nitrato en Lluvia	43
5.4	Amonio y Nitrato en Escorrentía	48
5.5	Nitrógeno total y carbono en biomasa vegetal.....	51
5.5.1	Biomasa defoliada en debajo de cafetos.....	51
5.5.2	Biomasa defoliada en entre surcos	56

5.5.3	Contenido de carbono en vegetación.....	61
5.6	Nitrógeno y carbono en suelo.....	64
5.6.1	Nitrógeno total en suelo.....	64
5.6.2	Amonio en suelo	67
5.6.3	Nitrato en suelo	70
5.6.4	Carbono en suelo	73
6	CONCLUSIONES.....	76
7	LITERATURA CITADA	77
8	ANEXOS	88

ÍNDICE DE CUADROS

1	INTRODUCCIÓN.....	7
	Cuadro 1. Propiedades físicas y químicas determinadas a dos profundidades en los sistemas café-chalahuite y café-grevilea en Huatusco, Veracruz, México.	36
	Cuadro 2. Promedio de volumen escurrido (m^3) en los tratamientos de cafetales bajo sombra durante el periodo experimental.	40
	Cuadro 3. Análisis de varianza (ANOVA) del escurrimiento presentado en los sistemas café-chalahuite y café-grevilea en Huatusco, Veracruz, México.	40
	Cuadro 4. Prueba Tukey del escurrimiento presentado en los sistemas café-chalahuite y café-grevilea en Huatusco, Veracruz, México.	40
	Cuadro 5. ANOVA de la erosión en los sistemas café-chalahuite y café-grevilea en Huatusco, Veracruz, México.....	43
	Cuadro 6. ANOVA de la concentración de amonio en escorrentía en los sistemas café-chalahuite y café-grevilea en Huatusco, Veracruz, México.	49
	Cuadro 7. ANOVA de la concentración de nitrato en la escorrentía en el sitio experimental en cafetales bajo chalahuite y grevilea en Huatusco, Veracruz, México.....	51
	Cuadro 8. ANOVA de concentración (kg/ha) de N total en biomasa vegetal estrato arbóreo y arbustivo en el área de copa de cafetos bajo chalahuite y grevilea en Huatusco, Veracruz, México.....	56
	Cuadro 9. ANOVA de concentración (kg/ha) de N total en biomasa vegetal estrato arbóreo y arbustivo en el área de entresurcos en cafetales bajo chalahuite y grevilea en Huatusco, Veracruz, México.....	61
	Cuadro 10. ANOVA de concentración (kg/ha) de N total en biomasa vegetal producido en cafetales bajo chalahuite y grevilea en Huatusco, Veracruz, México.	63
	Cuadro 11. ANOVA de concentración (mg/kg) de N total en suelo a dos profundidades bajo la cobertura de café-chalahuite y café-grevilea en diferentes tiempos en Huatusco, Veracruz, México.....	66
	Cuadro 12. ANOVA de concentración (mg/kg) de NH_4^+ en suelo a dos profundidades bajo la cobertura de café-chalahuite y café-grevilea en diferentes tiempos en Huatusco, Veracruz, México.....	69
	Cuadro 13. ANOVA de concentración (mg/kg) de NO_3^- en suelo a dos profundidades bajo la cobertura de café-chalahuite y café-grevilea en diferentes tiempos en Huatusco, Veracruz, México.....	72
	Cuadro 14. ANOVA de concentración (mg/kg) de C en suelo a dos profundidades bajo la cobertura de café-chalahuite y café-grevilea en diferentes tiempos en Huatusco, Veracruz, México.....	74

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ciclo del Nitrógeno (Fuente: Guerrero, 2006).....	17
Figura 2. Ciclo del carbono (Fuente: Porta et al., 1994).	22
Figura 3. Localización de la zona de estudio.....	25
Figura 4. Parcelas de escurrimiento usadas en el sitio experimental.	27
Figura 5. Colectores usados en el sitio experimental, cuadrados debajo de cafetos y circulares entre surcos.	28
Figura 6. Parcelas Escurrimiento, toma y almacenamiento de muestras para determinar pérdida de suelo.	29
Figura 7. Proceso metodológico para la obtención de la pérdida de suelo.	30
Figura 8. Medición y muestras de precipitación en el sitio experimental.	31
Figura 9. Determinación de nitrato y amonio por arrastre de vapor.....	32
Figura 10. Proceso de pesado, secado y molido de material vegetal.	33
Figura 11. Proceso de digestión acida y determinación de N de material defoliado.....	33
Figura 12. Muestreo y toma de datos de suelo en el área de estudio.....	34
Figura 13. Comportamiento de la precipitación registrada en cafetales bajo sombra de chalahuite y grevilea en Huatusco, Veracruz.....	38
Figura 14. Comparación de la precipitación mensual registrada en el sitio experimental con dos tratamientos y la estación meteorológica CRUO.	39
Figura 15. Pérdida de suelo (kg/ha) suscitado durante el periodo experimental en los sistemas Café-chalahuite y café-grevilea en Huatusco, Veracruz, México.	41
Figura 16. Comportamiento de la concentración de NH_4^+ y NO_3^- en agua de lluvia en los sistemas café-chalahuite y café-grevilea en Huatusco, Veracruz, México.	44
Figura 17. Contenido total de NH_4^+ en agua de lluvia en los sistemas café-chalahuite y café-grevilea en Huatusco, Veracruz, México.	45
Figura 18. Contenido total de NO_3^- en el agua de lluvia en los sistemas Café-chalahuite y café-grevilea en Huatusco, Veracruz, México.	46
Figura 19. Contenido total de NH_4^+ y NO_3^- disuelto en agua de lluvia en los sistemas Café- chalahuite y café-grevilea en Huatusco, Veracruz, México.	47
Figura 20. Contenido de NH_4^+ disuelto en agua de escorrentía en los sistemas café- chalahuite y café-grevilea en Huatusco, Veracruz, México.	48
Figura 21. Concentración de NO_3^- disuelto en la escorrentía en los sistemas café- chalahuite y café-grevilea en Huatusco, Veracruz, México.	50
Figura 22. Comportamiento del contenido (g/m^2) de la biomasa defoliada debajo del área foliar de cafetos en sistema café-chalahuite en Huatusco, Veracruz, México.	52
Figura 23. Comportamiento del contenido (g/m^2) de la biomasa defoliada debajo del área foliar de cafetos en el sistema café-grevilea en Huatusco, Veracruz, México.	53

Figura 24. Producción de biomasa defoliada (kg/ha) en cafetales bajo chalahuite y grevilea captada debajo del área foliar de cafetos en Huatusco, Veracruz, México.	54
Figura 25. Comportamiento del contenido (g/m ²) de la biomasa defoliada en el área de entresurcos en tratamiento café-chalahuite en Huatusco, Veracruz, México.....	57
Figura 26. Comportamiento del contenido (g/m ²) de la biomasa defoliada en el área de entresurcos del sistema café-grevilea en Huatusco, Veracruz, México.	58
Figura 27. Producción de biomasa defoliada (kg/ha) captado en el área de entre surcos en cafetales bajo chalahuite y grevilea en Huatusco, Veracruz, México.	59
Figura 28. Contenido de C (kg/ha) aportado por la biomasa defoliada en cafetales bajo chalahuite y grevilea en Huatusco, Veracruz, México.	62
Figura 29. Comportamiento de la concentración de N total a profundidades de 0-20 cm y 20-50 cm bajo la cobertura de café-chalahuite y café-grevilea en diferentes tiempos en Huatusco, Veracruz, México.	65
Figura 30. Comportamiento de la concentración de NH ₄ ⁺ a profundidades de 0-20 cm y 20-50cm bajo la cobertura de café-chalahuite y café-grevilea en diferentes tiempos en Huatusco, Veracruz, México.	68
Figura 31. Comportamiento de la concentración de NO ₃ ⁻ en el suelo a las profundidades de 0.20 cm y 20-50 cm bajo la cobertura de café-chalahuite y café-grevilea en diferentes tiempos en Huatusco, Veracruz, México.	71
Figura 32. Comportamiento de la concentración de C almacenado en suelo a las profundidades de 0-20 cm y 20-50 cm bajo la cobertura de café-chalahuite y café-grevilea en diferentes tiempos en Huatusco, Veracruz, México.	73

ANEXOS

Cuadro 15. Precipitación diaria y mensual (mm) registrada durante el periodo experimental.....	88
Cuadro 16. Pérdida de suelo mensual (kg/ha) durante el periodo experimental.	90
Cuadro 17. Defoliación ton/ha) durante periodo experimental.....	90
Cuadro 18. Contenido de N y C (kg/ha) en material defoliado por estratos en área foliar debajo de café y entre surcos.	90
Cuadro 19. Contenido de Nt en suelo a dos profundidades en el sitio de estudio.	91
Cuadro 20. Contenido de NH_4^+ en suelo a dos profundidades en el sitio de estudio.	91
Cuadro 21. Contenido de NO_3^- en suelo a dos profundidades en el sitio de estudio.....	91
Cuadro 22. Contenido de C en suelo a dos profundidades en el sitio de estudio.	91
Cuadro 23. Prueba Tukey de concentración (kg/ha) de pérdida de suelo en sitio experimental.....	91
Cuadro 24. Prueba Tukey de concentración (kg/ha) de amonio escurrido en sitio experimental.....	92
Cuadro 25. Prueba Tukey de concentración (kg/ha) de nitrato escurrido en sitio experimental.....	92
Cuadro 26. Prueba Tukey de concentración (kg/ha) de nitrato escurrido en sitio experimental.....	92
Cuadro 27. Prueba Tukey de concentración de Nt en material defoliado en entre surco. .	93
Cuadro 28. Prueba Tukey de la concentración de N t en material defoliado en área foliar café.	93
Cuadro 29. Prueba Tukey de la concentración de Cen material defoliado.....	93
Cuadro 30. Prueba Tukey de las concentraciones de N total (mg/kg) a diferentes profundidades de suelo y en tres diferentes tiempos.	94
Cuadro 31. Prueba Tukey de las concentraciones de NH_4^+ (mg/kg) a diferentes profundidades de suelo y en tres diferentes tiempos.	95
Cuadro 32. Prueba Tukey de las concentraciones de nitrato (mg/kg) a diferentes profundidades de suelo y en tres diferentes tiempos.	95
Cuadro 33. Prueba Tukey de las concentraciones de carbono total (mg/kg) a diferentes profundidades de suelo y en tres diferentes tiempos.	96

1 INTRODUCCIÓN

La degradación del suelo es un proceso inducido por las actividades humanas que disminuye la productividad del medio en tiempo actual y futuro. Los estudios más recientes señalan que este problema en México corresponde al 44.9% de la superficie nacional, siendo la degradación química y la erosión hídrica los procesos más importantes, las principales causas asociadas a éste problema se derivan de las actividades agrícolas, pecuarias y la deforestación (SEMARNAT, 2009).

Las características del medio como: la orografía, precipitación y cobertura vegetal juegan un papel muy importante en cuanto al proceso erosivo del suelo. En zonas donde se presentan precipitaciones intensas, regularmente generan grandes pérdidas de suelo, aumentando los índices de erosividad; ejemplo de ello, es el caso de la región de la frailesca en Chiapas, donde en 1991 se tiene registro de una precipitación anual de 831 mm que generó un 63% de erosividad por efecto de la lluvia (Pérez *et. al*, 2005). Mientras que en Veracruz la erosión se estima con 34% del total de la superficie estatal, generando pérdidas de suelo de 300 t/ha anuales; debido a la capacidad erosiva del suelo y altas pendientes (Turrentet *al.*, 2002).

Por otro lado, la pérdida nutrimental y flujo de energía dentro de los sistemas agroforestales puede ocurrir de tres maneras: por percolación en el perfil del suelo; en solución y absorbidos en sedimentos arrastrados por el flujo de agua en escorrentía.

Estudios sobre flujo nutricional basados en sistemas agroforestales con cafetales orgánicos en el poblado de la Unión, Chiapas, demostraron que los nutrientes, que entran al sistema como el caso de K son muy deficientes, mientras en el caso de Ca, Mg, Fe, Zn y Mo mantienen un reciclaje superior a las cantidades extraídas, esto se debe al papel que juega la hojarasca aportadas por los árboles en el reciclaje de nutrientes y compatibilidad de las compostas agregadas al suelo,

originando menos degradación y sustentabilidad a la producción de café (Yépez *et al.*, 2006).

La existencia de cobertura vegetal actúa directamente en la reducción de la degradación, control de pérdida del suelo y nutrientes hasta en un 95%, siempre y cuando las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo se encuentren estables en la aplicación de técnicas agroforestales (Sánchez, 1987).

Cañetas y San Miguel (1993); mencionan que el aporte al suelo de restos vegetales es un proceso que se relaciona con la dinámica, renovación y mantenimiento del ecosistema, ya que comprende flujos de energía y nutrientes para el buen funcionamiento del medio, a través del proceso de bombeo de nutriente en el interior del agroecosistema.

Para evitar desastres de esta índole es necesario realizar prácticas de manejo que permitan la conservación del mismo y a su vez, ayuden a controlar la erosión a niveles aceptables, reducir el impacto producido por las corrientes de agua y evite la pérdida de nutrientes en los sistemas agroforestales (Krishnamurty y Ávila, 1999). Lo anterior debe basarse en técnicas con principios de Agroforestería, que es definido como un sistema dinámico en el manejo combinado de sistemas tradicionales de producción agrícola y pecuaria, en una unidad de tierra, alternada con el fin de proveer estabilidad ecológica y beneficios sostenibles, integrando árboles perenes y arbustos de usos múltiples en terrenos agrícolas y al hombre como manejador de los recursos (Meza, 2003).

Por ello el objetivo de este trabajo de investigación fue estudiar el comportamiento de algunas variables hídricas, el nitrógeno y carbono en dos sistemas agroforestales de café-chalahuite (C-Ch) y café-grevilea (C-Gr) utilizando parcelas de escurrimiento, colectores de biomasa vegetal y pluviómetros, para determinar el efecto de las diferentes coberturas vegetales de los sistemas sobre: precipitación bajo cubierta vegetal, escorrentía, erosión, N que entra en forma de amonio (NH_4^+) y nitrato (NO_3^-) en el agua precipitada, las salidas de N en forma NH_4^+ y NO_3^- en el agua de escorrentía, aportes de C y N por residuos vegetales

proveniente de la defoliación y Nt , NH_4^+ , NO_3^- y COS en suelo a dos profundidades, todo lo anterior para determinar cuál sistema es más eficiente.

2 MARCO TEÓRICO

2.1 Agroforestería como sistema de producción sustentable

En los últimos años la producción agrícola ha impactado negativamente al ambiente, especialmente los sistemas tradicionales de producción agropecuaria, hoy en día surge la necesidad de producir bajo sistemas sustentables y prácticas eficientes basadas en principios agroforestales de producción integral que ayuden a mantener la productividad, proteger los recursos naturales, minimizar los impactos ambientales y satisfacer las necesidades económicas y sociales de la gente (Meza, 2003).

Un sistema agroforestal es un término acuñado para calificar las prácticas de producción agropecuaria, por lo que según Budowsky (1993), define a la Agroforestería como una disciplina joven o especialidad en crecimiento que se caracteriza por ser un sistema que ofrece una opción de producción sustentable y accesible hacia los productores, para conservar los sistemas de producción tradicional y manejarlos sustentablemente.

Por otra parte los sistemas agroforestales son formas de uso y manejo de los recursos naturales, en las cuales especies leñosas perennes (árboles o arbustos) son utilizadas en asociación deliberada con cultivos agrícolas o con animales en una unidad de tierra o terreno, de manera simultánea o en una secuencia temporal para producir sustentablemente (Navia *et al.*, 2003).

La clasificación de los sistemas agroforestales toma en cuenta los componentes que los conforman y la distribución que tienen en el espacio y tiempo. De acuerdo con el espacio y tiempo los sistemas agroforestales se clasifican en sistemas agroforestales secuenciales, simultáneos, cercas vivas y cortinas rompevientos (López, 1999).

El primero agrupa sistemas con tecnologías cuando existe una relación cronológica entre las cosechas anuales y productos arbóreos (primero existe plantación arbórea, luego cultivos), otras fases están constituidos de una

asociación entre los árboles y otros componentes. Dentro de esta clasificación encontramos la agricultura migratoria o de tumba y quema, consiste en la corta y quema de áreas forestales naturales para plantar cultivos temporales. Las primeras estaciones de cultivo son generalmente muy buenas porque las plantas se benefician del suelo residual forestal rico en nutrientes. Sin embargo, este suelo es víctima seria del proceso de erosión cuando queda desnudo y su fertilidad disminuye después de 3 ó 4 cultivos temporales, por lo que es más provechoso para los agricultores abandonar las parcelas mudándose y talando otras (Torquebiau, 1990); también se encuentra el Sistema Taungya donde los árboles y cultivos crecen de manera simultánea durante el periodo de establecimiento de las plantaciones forestales, en este sistema la obtención de madera como producto final es lo primordial, pero los ingresos a corto plazo son los motivantes para los agricultores (Musálem, 2002).

Las interacciones sobresalientes en estos sistemas son las interacciones entre cultivos y árboles (competencia y efectos alelopáticos), y la provisión de sombra de los árboles para los cultivos. La competencia por agua, luz, nutrimentos y espacio depende de las especies involucradas, la densidad y el tipo de manejo. La competencia excesiva puede ocasionar bajos rendimientos y mayores predisposiciones de las plantas a enfermedades o al ataque de plagas (CATIE, 1986).

Por otro lado los sistemas agroforestales simultáneos la siembra de cultivos, árboles y ganadería son en forma simultánea y continua. En estos sistemas se incluyen asociaciones de árboles con cultivos perennes, en franjas asociadas con cultivos anuales, huertos caseros, etc. Dentro de esta clasificación se adapta el cultivo en callejones que consiste en hileras de plantas o árboles dentro de parcelas donde los cultivos también se desarrollan, así que los cultivos se encuentran en callejones o surcos. El concepto de cultivo en callejones ha sido inicialmente creado para tratar de resolver de una manera espacial, el crecimiento del cultivo y el problema de disminución de fertilidad del suelo observado en la agricultura migratoria. Aunque se pierde parte de la tierra con los setos o cerca de

árboles, se espera que esto se equilibre con un aumento en el rendimiento del cultivo por unidad de área, obtenida por el efecto de la fertilidad del acolchado, a partir de los setos y posiblemente por el efecto anti erosivo de los setos o cercas, de tal manera que se evita un barbecho (Torquebiau, 1990).

El huerto casero o también llamado huertos familiares o simplemente huertos domésticos, se encuentran dentro de esta categoría. La característica de este sistema son las plantas útiles cerca de la casa. Estos sistemas necesitan poco ingresos y tienen la capacidad de generar ingresos constantemente, dependiendo de la mano de obra familiar, siendo económicamente viables por la diversificación de los productos finales (Torquebiau, 1990).

Finalmente la última clasificación de los sistemas agroforestales son las cercas vivas y cortinas rompevientos, que se caracterizan por tener forma lineal, desde surcos alternos a cultivos y árboles podados para cercas, hasta animales pastando debajo de los árboles.

Según Mendieta (2007), una cerca viva es una línea de árboles o arbustos que delimitan un área de terreno o propiedad. Además de estos servicios, se produce forraje, leña, madera, flores para miel, frutos, postes, etc., donde el árbol no solo soporta los alambres de los postes, sino que actúa como rompevientos y protector de la parcela contra depredadores. Las cortinas rompevientos son plantaciones de árboles y arbustos de manera lineal en dirección a la pendiente que se realiza para proteger un sitio y normalmente el nivel de la agricultura y ganadería se mejoran con esta práctica.

2.1.1 Ventajas de los sistemas agroforestales

Los principales beneficios de la agroforestería se manifiestan en el incremento de la productividad de suelo a través del reciclaje de nutrientes y protección del suelo, debido a la existencia de un arreglo espacial de árboles y arbustos con bajo capital y costo operativo. La diversificación de la productividad en un área determinada aumenta la autosuficiencia y reduce los riesgos ante factores biológicos y

climáticos adversos, y ante fluctuaciones del mercado en cultivos específicos. Otra ventaja es que proporciona alternativas de producción para una mejor utilización de la tierra y capital, Además de reducir costos por la presencia de insumos (fertilizantes, herbicidas y plaguicidas), mantener la materia orgánica del suelo, proveer hábitat de la biodiversidad y mantener controlado las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo (Mendieta y Rocha, 2007).

2.1.2 Desventajas de los sistemas agroforestales

Las prácticas agroforestales cuentan con un sin número de ventajas, sin embargo, no todo resulta ser positivo para estos sistemas de producción, algunas desventajas al aplicar la agroforestería son: Existencia de competencia de luz y agua de árboles con plantas de estrato inferior, la cosecha de los árboles causan daños a los cultivos, la mecanización es dificultosa o resulta ser imposible por la fisiografía del relieve y los microclimas que se crean pueden favorecer al desarrollo de plagas y enfermedades (Musálem, 2002).

2.2 Producción cafetalera como sistema agroforestal

Dentro del panorama de la Agroforestería, el cultivo de café es clasificado como un sistema de producción agroforestal estratificado, lo que implica que su producción es dada bajo árboles que le proporcionan sombra, sin embargo éste puede ser considerado como un monocultivo si es realidad a plena exposición solar.

En México, el café es considerado un cultivo de gran relevancia tanto, económico, social y ambiental; nuestro país ocupa el séptimo lugar en producción después de Brasil, Vietnam, Colombia, Indonesia, India y Etiopía, con una participación en los últimos años de poco más de 4 millones de sacos (SAGARPA, 2011).

Financiera Rural (2014) reporta que el café es cultivado en quince estados de la República, concentrándose el 91.4% del volumen producción en Chiapas, Veracruz, Puebla y Oaxaca, mientras que el 8.6% restante corresponde a

Guerrero, Hidalgo, San Luis Potosí, Nayarit, Jalisco, Colima, México Tabasco, Morelos, Querétaro y Michoacán.

Sin embargo, la producción de café en México puede considerarse como una actividad amenazada fuertemente, debido a los problemas agrícolas que presentan, que van desde la presencia de roya, mala planeación en el manejo agronómico hasta el abandono de la fincas (SAGARPA 2011). A pesar de ello INEGI (2012), reporta un rendimiento nacional de 1.9 ton/ha en café cereza durante el 2011 y 2012, por su parte financiera rural (2014), reporta cifras preliminares de 1.8 ton/ha para 2013 y cifras estimadas para 2014 iguales al año anterior.

2.3 Propiedades físicas y químicas del suelo

El suelo posee características físicas y químicas definidas por la roca madre que lo originó, el grado de perturbación, descomposición de materia orgánica presente, así como de la cantidad de minerales presentes, topografía y cambios producidos por las actividades humanas a través del tiempo (Volkeet *al.*, 2005)

Las propiedades físicas del suelo más importantes podemos mencionar la textura, densidad y porosidad, la primera es determinado por la cantidad de partículas minerales inorgánicos de diferentes tamaños que contiene, debido a ello la textura es capaz de determinar el tamaños de la superficie sobre la cual ocurre reacciones, además de la plasticidad, permeabilidad, facilidad para trabajar la tierra, sequedad, fertilidad y productividad que varían dependiendo de la región geográfica. El tamaño de las particular varia relativamente unas con otras, las arenas son de 0.05-2 mm, los limos de 0.002 a 0.05 mm y las arcillas menores a 0.002 mm (Huerta, 2010). Con respecto a la densidad es dividida en dos: densidad real y aparente, la primera solo considera la masa de las partículas, mientras que la segunda considera la masa y organización de las partículas, así como la porosidad del suelo que es el volumen que no es ocupado por los sólidos, pero si por agua y aire (Jaramillo, 2002).

Entre las propiedades químicas más importantes del suelo, se tiene la materia orgánica, la capacidad de intercambio catiónico (CIC), conductividades eléctrica (CE) y el pH. La materia orgánica tiene la capacidad de agregación entre las partículas de arena, limo y arcilla, permitiendo una buena estructura, la cual se refleja en un suelo con óptimas condiciones para el desarrollo de raíces, posibilitando un buen drenaje y aireación, además de buena capacidad de retención hídrica; por otro lado al reducir la materia orgánica provoca la separación de las partículas, una mayor compactación y reducción del espacio poroso (Casas *et al.*, 2008). Por su parte el CIC y la MO juegan un papel muy importante en el abastecimiento de nutrimentos, capacidad de retención de agua y estructura de suelos, mientras que la CE está relacionada con el contenido de sales y el pH influye directamente en todos los procesos químicos y biológicos que se llevan a cabo en el suelo, dependiendo su valor (Guerrero, 2006).

2.4 Pérdida de suelo

Para cuantificar la pérdida del suelo existen varios métodos que van desde la Ecuación Universal de Pérdida del Suelo propuestos por Wischmeier y Smith (1958), transectos en cárcavas, clavos con rondallas, corcholatas de botellas, estimación de caudales escurridos hasta el uso de parcelas de escurrimiento, según Garzón (1991) ésta última consiste en uno de los sistemas más prácticos y útiles, donde se trata de simular las condiciones naturales del medio. Este método consiste en delimitar un área determinada de terreno, de manera que se pueda medir la escorrentía superficial y erosión mediante un sistema colectores que condice el agua de la escorrentía hacia un tanque de depósito de agua y sedimentos.

Estudio realizado Quindío, Colombia de evaluación de erosión y escorrentía usando distintas coberturas sobre el suelo durante un periodo de 12, dio como resultado una pérdida de suelo de 0,59 t/ha en cultivos limpios, mientras en plantación de árboles maderables la pérdida fue de 0,25 t/ha. Para la escorrentía se estimó un promedio de 1,25 m³/ha entre las coberturas evaluadas sin

diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos (Alexander y Camargo, 2008).

Por otro lado en Veracruz, México, se evaluaron sin repetición cinco sistemas agroforestales de café bajo sombra: sistema agroforestal rusticano; policultivo tradicional mejorado (PTM) con barreras vivas de palo de agua (*Eupatorium morifolium*) y terrazas individuales; PTM con cobertura de canavalia (*Canavalia ensiformis*); PTM con cobertura de cacahuatillo (*Arachis pintoï*); PTM con barreras vivas de palma camedor (*Chamaedorea elegans*) y palo de agua. Se encontró que la pérdida anual de suelo en estos sistemas varió entre 0.28 y 4.56 t/ha (Pérez *et al.*, 2005)

2.5 Ciclos del biogeoquímicos

2.5.1 Ciclo del Nitrógeno

En la atmosfera el nitrógeno molecular se encuentra en estado gaseoso y constituye un 78 % de los gases que conforman la atmosfera el cual interactúa entre la tierra y agua. Una interacción es por medio de deposiciones; éstas pueden ser húmedas en forma de lluvia y nieve aportando nitrato y amonio; o por deposiciones secas donde las interacciones son complejas entre compuestos de nitrógeno de la atmósfera con plantas, agua, tierra, roca o superficies de edificios (Porter *et al.*, 2000).

Por ello es necesario conocer la química de este elemento pues es muy complejo debido a los estado de oxidación que presenta dependiendo las condiciones aeróbicas y anaeróbicas prevalecientes (Pacheco *et al.*, 2002).

Debido a la oxidación que presenta este elemento, tiene una trayectoria definida, sin embargo es complicada dado su estabilidad, ya que es muy difícil que reaccione con otros elementos, a pesar de esto, gracias al proceso biológico de algunas bacterias y cianobacterias, el nitrógeno que se encuentra en la atmosfera puede ser asimilado como compuesto nitrogenado. Ese nitrógeno fijado se transforma en aminoácidos y proteínas vegetales, que son aprovechados por los

herbívoros y finalmente por los carnívoros, dentro de la cadena alimenticia. Este proceso donde coexiste entradas y salidas de nitrógeno, se le denomina ciclo den nitrógeno, Figura 1, (CICEANA, 2014).

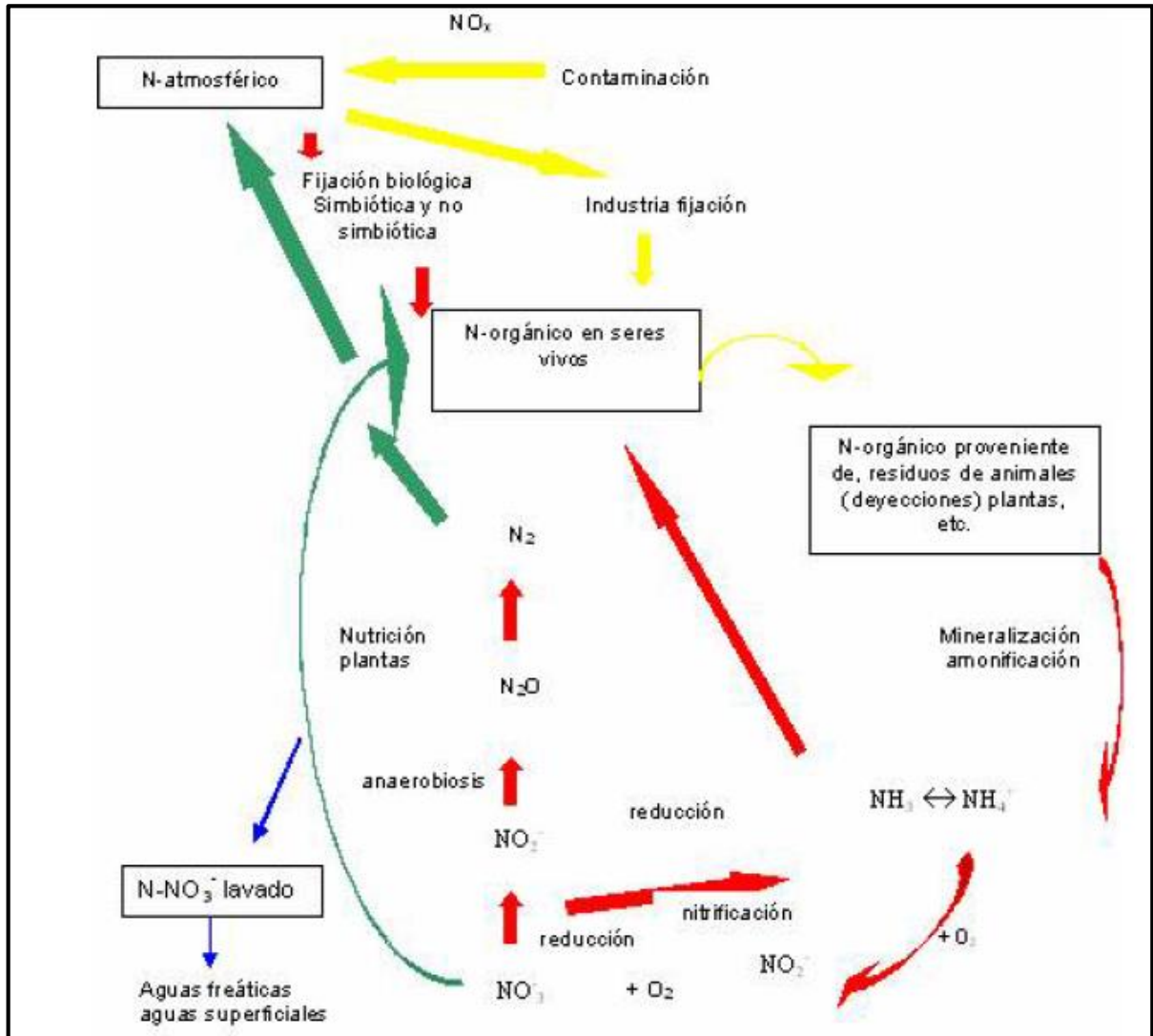


Figura 1. Ciclo del Nitrógeno (Fuente: Guerrero, 2006).

Para comprender el comportamiento del nitrógeno hay que conocer e interpretar su ciclo que consta de las siguientes etapas:

- Fijación

La fijación de nitrógeno (N_2) se puede realizar de manera asimbiótica o simbiótica, la primera es una fijación industrial, que se realiza por medio del método Haber-Bosch usando energía en forma de calor a temperaturas elevadas, y la segunda es la fijación biológica, el cual involucra organismos, que fisiológicamente tengan la capacidad de fijar N_2 , siendo el *Azotobacter* (organismo móvil del suelo, crece en suelos neutros a alcalinos) en condición aerobia y *Clostridium* (crece en rango de pH intermedio) en anaerobia los más representativos (Coyne, 2000).

Para poder realizar la fijación es necesaria la existencia de una población considerable de bacterias acorde a los niveles de N_2 a fijar, así como el N_2 debe ser atmosférico y no orgánico o inorgánico y sobre todo la presencia de energía.

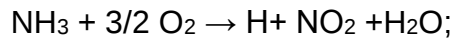
La fijación biológica del nitrógeno consiste en la incorporación de N_2 con ayuda de microorganismos, como los antes mencionados (bacterias y cianobacterias), presentes en suelo y medio acuoso, esta fijación se da por medio de la conversión de N_2 en amoníaco (NH_3^+) o nitratos (NO_3^-) con ayuda de un complejo enzimático llamado nitrogenasa y ésta, a su vez debe encontrarse en un ambiente libre o no de oxígeno dependiendo del organismo (CICEANA, 2014). También hay que considerar que la fijación de N_2 , no tiene lugar cuando el NH_4 , el NO_3 o el nitrógeno orgánico están disponibles.

- Nitrificación

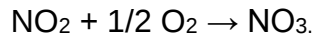
Este importante proceso biogeoquímico dentro del medio es muy importante porque a partir de ello el N puede ser aprovechado por las plantas en forma de nitrato, para que ocurra este proceso, es necesario que ocurra una oxidación, donde por acción microbiana el ion amonio se transforma en nitrito (NO_2^-) y posteriormente en la forma de adsorción NO_3^- , lo anterior se realiza en presencia de oxígeno (Guerrero, 2006).

En el medio natural la nitrificación se realiza siempre y cuando existan dos géneros de bacteria catalizadoras *Nitrosomonas* Spp y *Nitrobacter* Spp. La

primera reacción de oxidación ocurre con la presencia del primer organismo catalizador, donde:



Para terminar este proceso es necesario la presencia de la segunda bacteria, donde el ion nitrito se transforma en nitrato mediante la reacción:



- Asimilación

Este proceso ocurre cuando las plantas absorben por medio de sus raíces, nitrato o amoníaco (formados por fijación de nitrógeno o nitrificación) o de manera extracelular, mediante la entrada de nitrato, amonio o nitrito. Posteriormente a la entrada de estos elementos a la célula, son transportadas con ayuda de proteínas para sufrir un proceso de reducción a nitrito, esto por medio de una reacción catalizada por la enzima nitrato reductasa, finalmente ocurre la reducción de nitrito a amonio, ésta ocurre por una reacción catalizada por la nitrito reductasa, el proceso anterior se lleva a cabo usando energía en forma de ATP y liberando agua, resultando la asimilación de amonio por las plantas (Martínez, 2003).

- Amonificación

Los compuestos nitrogenados (urea, ácido úrico, etc.) aportados por organismos al suelo, tienen poco valor nutricional para las plantas si son añadidas directamente, por ello es necesario que sean descompuestos por bacterias presentes en el suelo y agua, liberando el nitrógeno al medio en forma de amoníaco. En este nuevo proceso las bacterias fijadoras llevan a cabo la digestión enzimática, por lo que el amonio se degrada a compuestos aminados, como proteosas, peptonas y al final, en aminoácidos (CICEANA, 2014).

- Mineralización e inmovilización

El proceso mediante el cual las formas orgánicas de nitrógeno (N) no disponibles se hacen disponibles para las plantas se llama mineralización, ocurre a medida que los microorganismos descomponen la materia orgánica para obtener su energía y usarla junto con los nutrientes que existen en ella, el exceso es liberado y aprovechado por las plantas; mientras que la inmovilización es el proceso contrario, se produce cuando se incorpora al suelo materias orgánicas frescas (residuos de cosecha), mismas que descompondrán microorganismos con ayuda de N para construir la proteína de sus tejidos. A menos que los residuos sean relativamente altos en N, los organismos absorberán formas inorgánicas de N desde el suelo para satisfacer sus necesidades. En esta forma el N mineral del suelo es convertido a N orgánico en las proteínas microbianas, quedando no disponible para el crecimiento de las plantas. Sin embargo, la mayor parte de este N volverá a su forma disponible a medida que los cuerpos de las bacterias se descomponen (PPI *et al.*, 1988).

- Desnitrificación

Es un proceso que consiste en transformar los NO_3^- a nitrógeno gaseoso (N_2) y amonio a amoniaco en ausencia de oxígeno, llevado a cabo por bacterias nitrificantes (Arrienchiet al, 2011). Este mecanismo se produce cuando baja la presión de oxígeno en el suelo habiendo transferencia de electrones terminales hacia los óxidos de nitrógeno (Giambiagi *et al.*, 1990).

La tasa de desnitrificación es afectada por factores que modifican la concentración de NO_3^- , carbono y oxígeno en el suelo, siendo los más importantes; el tipo de fertilizante nitrogenado que promueve la emisión de N_2O por nitrificación y desnitrificación, la tasas de mineralización de la materia orgánica, secreción de exudados por las raíces, el nivel de oxigenación, contenido de humedad, textura del suelo y pH del suelo (Mora *et al.*, 2007).

2.5.2 Ciclo del Carbono

Se estima que en nuestro planeta existe una concentración de 358 ppmv (partes por millón en basa a volumen), y ésta aumenta 1.8 ppmv al año, debido a la emisiones de carbono y asociado a las actividades industriales y cambio de usos de suelo (Bamaca, 2002).

Guerrero (2006), menciona que el ciclo del carbono es un proceso biológico que ocurre en el medio donde interviene la fotosíntesis y respiración, Figura 2. La reacción de fotosíntesis o fijación del C inorgánico como C orgánico, es el resultado de un proceso complejo realizado por las plantas verdes, algas y bacterias autótrofas para producir carbohidratos y otras sustancias orgánicas constituyentes de los tejidos de la materia viva. Parte de los carbohidratos producidos son consumidos por animales, liberado CO₂ en sus procesos metabólicos, finalmente al morir plantas y animales son descompuestos por microorganismos del suelo, lo que da como resultado que el carbono presente en sus tejidos se oxiden en anhídrido de carbono y regresen a la atmósfera (Orellana *et al.*, 2012).

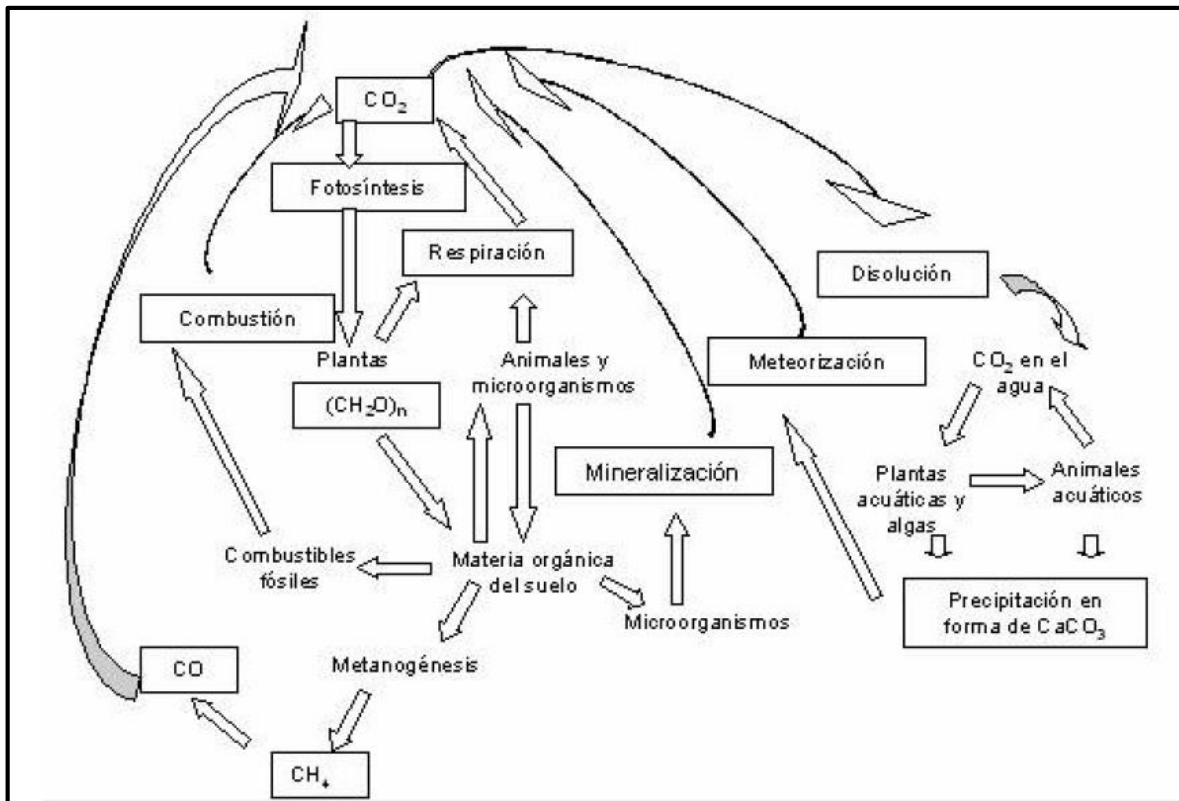


Figura 2. Ciclo del carbono (Fuente: Porta et al., 1994).

2.5.3 Dinámica de nutrientes en sistemas agroforestales

Los ecosistemas arbóreos (bosques, SAF, etc.) retienen carbono en biomasa vegetal, materia orgánica en descomposición y suelo, desempeñando un papel de suma importancia dentro de los ciclos bioquímicos.

Sánchez y Palm (2012) afirman que se ha reconocido la existencia de ciclos de nutrientes casi cerrados entre un bosque tropical húmedo maduro y el suelo en el que crece, las entradas provienen de la sedimentación atmosférica, fijación biológica del nitrógeno y desgaste de los minerales primarios del suelo, mientras que las salidas se presenta debido a lixiviación, desnitrificación, escorrentía y erosión. Un reciclaje eficiente de los nutrientes, pasan del suelo a la biomasa y regresan de nuevo al suelo, que permite el crecimiento exuberante del bosque tropical. Partiendo de lo anterior García *et al* (2008), menciona que este retorno de materia orgánica y elementos mineral al suelo por medio de la hojarasca es un

factor de renovación de los ecosistemas, debido a que la hojarasca funciona como transferencia de nutrientes, constituyendo el aspecto general del ciclo de los nutrientes en el ecosistema; pues se tiene registro que más del 90% del nitrógeno y fósforo absorbido por las plantas proviene del reciclado de los nutrientes aportados por el desfronde o defoliación foliar.

Finalmente se debe considerar el aspecto de descomposición de la materia vegetal, se estima que este dato oscila entre 2 y 5% en bosques tropicales y bosques templados tiene valores de 0.4 a 1%, esta variación esta atribuida a altas temperaturas, humedad constante y presencia de fauna desintegradora en las zonas tropicales. Por otro lado la relación de C/N permite predecir la descomposición, es decir, si hay más concentración de C y poca de N en la hojarasca en descomposición, se inmovilizará más N en la microbiota desintegradora y por lo tanto habrá menos N para ser asimilado por la plantas, lo contrario sucede con más concentración de N, por ello la disponibilidad de N limita la descomposición.

3 OBJETIVOS

3.1 Objetivo general

Determinar el efecto de los sistemas agroforestales Café-Chalahuite (*Inga espuria*) y Café-Grevilea (*Grevillea robusta*), sobre la erosión, dinámica de nitrógeno y carbono, para determinar cuál sistema es más eficiente.

3.2 Objetivos específicos

- Determinar la escorrentía y erosión en los sistemas agroforestales de café bajo sombra usando parcelas de escurrimiento para conocer la cantidad de suelo que se pierde en el sitio experimental.
- Determinar las entradas de N en forma de amonio (NH_4^+) y nitrato (NO_3^-) por precipitación y las salidas por escorrentía.
- Determinar el aporte de nitrógeno y carbono al suelo de las diferentes coberturas vegetales, mediante el uso de colectores de hojarasca.
- Evaluar la dinámica de nitrógeno y carbono del suelo en los sistemas café-chalahuite y café-grevilea agroforestales de café mediante muestreos de suelo a dos profundidades para conocer las condiciones de N y C en el sistema de producción.

4 MATERIALES Y MÉTODOS

4.1 Localización

El trabajo de investigación se realizó en el Centro Regional Universitario de Oriente de la Universidad Autónoma Chapingo de Huatusco, Veracruz, ubicado en los paralelos 19° 04'-19° 13'LN, los meridianos 96° 41'-97° 04' LO y una altitud de 1300 m (SEFIPLAN, 2013), figura 3.

De acuerdo a la clasificación de Enriqueta García el clima es del tipo AC(f), semicálido húmedo con lluvias todo el año con temperatura media anual de 19.6°C y una precipitación anual en promedio de 2,000 milímetros (SEDERE, 2012).



Figura 3. Localización de la zona de estudio.

Huatusco se encuentra inscrito dentro de los límites de la Provincia Fisiográfica denominada Eje Neovolcánico, Subprovincia Lagos y Volcanes de Anáhuac; las topoformas están conformadas por lomeríos suaves y cañadas, mientras que la

zona urbana se asienta sobre una plataforma que presenta un ligero declive hacia el Sur. Según SEDERE (2012); la zona presenta rocas ígneas extrusivas, con dos unidades Litológicas: toba básica y brecha volcánica básica.

La manifestación de Luvisol con clase textural fina sin fase física ni química es común. Estos suelos en la actualidad están dedicados a la agricultura de temporal. En general son profundos, pero también susceptibles a la erosión, por lo que al usarlos se deben tomar medidas preventivas para evitar tal proceso (SEDERE, 2012).

La vegetación predominante es selva alta en transición, es decir, un bosque mesófilo cálido húmedo. Las superficies que circundan la zona se caracterizan por estar conformadas a base de cultivo de café, que constituye el principal producto agrícola de la región, otro cultivo de relevancia económica es la caña de azúcar, la cual se manifiesta principalmente en los terrenos localizados sobre la carretera a Córdoba (SEDERE, 2012).

4.2 Instalación de los dispositivos de medición

El sitio experimental se ubicó sobre un área homogénea compuesta de café variedad Sumatra con 5 años de edad y árboles sombra de Grevilia (*Grevillea robusta*) y Chalahuite (*Inga espuria*) con 5 y 30 años de edad respectivamente.

Los sistemas estudiados fueron: Café-Chalahuite (C-Ch) y Café-Grevilea (C-Gr); dentro de éstos se ubicaron en forma completamente al azar parcelas de escurrimiento de 1 m de ancho por 1.5 m de largo, después de 2 meses esta dimensión fue cambiada finalizando con 1m de ancho y 2.5 de largo conectado con mangueras de 1^{1/4} pulgadas hacia un colector de aluminio galvanizado con volumen aproximado de 50 litros (Figura 4).



Figura 4. Parcelas de escurrimiento usadas en el sitio experimental.

Así mismo, se instalaron colectores circulares hechos de varilla de 50 cm de diámetro y colectores cuadrados de madera con dimensiones de 30 cm por lado en su interior que sirvió como medio de captación de biomasa defoliada, las dimensiones de los colectores fueron dadas con base en la metodología de Pozuelos (2007). La ubicación de los colectores fue en el área de copa de cafetos (cuadrados) y entre surcos (circulares) para saber en qué sitio se ubica la mayor tasa de defoliación.



Figura 5. Colectores usados en el sitio experimental, cuadrados debajo de cafetos y circulares entre surcos.

Cabe mencionar que los colectores tuvieron 3 repeticiones en cada sistema; mientras que en el caso de los pluviómetros solo se instaló una en cada sistema.

4.3 Variables medidas

Para la caracterización del suelo de los sistemas se realizaron determinaciones físicas y químicas, éstas fueron realizadas en el laboratorio de Física de Suelos de la Universidad Autónoma Chapingo (UACH) y en el Laboratorio Central de la UACH.

Algunas determinaciones hechas fueron: capacidad de campo, punto de marchitez permanente, densidad aparente, densidad real, porosidad, textura, contenido de materia orgánica y pH.

4.3.1 Determinación de Escorrentía y Erosión.

Estas variables se determinaron a partir de los eventos de lluvia y escorrentía, donde se midió la lámina de agua (mm) presente en el colector (escorrentía), mientras que para la pérdida de suelo se tomó una muestra homogenizada en frascos de plástico con capacidad de 100 ml ya etiquetadas para luego guardarlas (Figura 6).



Figura 6. Parcelas Escurrimiento, toma y almacenamiento de muestras para determinar pérdida de suelo.

La cuantificación de la pérdida de suelo se realizó en el laboratorio de Química de Suelos de la Universidad de Chapingo usando la metodología del Colegio de Posgraduados y constó de los siguientes pasos:

A partir de los datos obtenidos en la lámina escurrida se multiplicó por el área del colector y por la fracción en hectárea que representó la parcela y para determinar la pérdida de suelo primero se realizó una muestra compuesta por mes, posteriormente se pesó el papel seguido de la filtración de las muestras y secado al horno a una temperatura de 105 °C hasta obtener peso constante; el peso real del sólido se obtuvo pesando el papel con sedimento y por diferencia con el peso del papel filtro se obtuvo la cantidad de pérdida de suelo (Figura 7).



Figura 7. Proceso metodológico para la obtención de la pérdida de suelo.

El cálculo de la erosión ocurrido en el sitio experimental se obtuvo a partir de la multiplicación del valor del peso del suelo obtenido por el volumen colectado en el tanque, para expresar la erosión en término de kilogramos por hectárea, se multiplicó el peso del suelo erodado obtenido por la fracción de hectárea que representa la parcela de escurrimiento.

4.3.2 Estimación de NH_4^+ y NO_3^- en agua escurrida y precipitación.

Las muestras de agua de escorrentía fueron tomadas después de cada evento de lluvia en un horario de 08:00 am. En el caso de agua de lluvia las muestras fueron colectadas cada 5 eventos (Figura 8). Ambas muestras fueron tomadas y almacenadas en frascos de 100 ml para luego ser llevadas a refrigeración a 4°C , evitando de esta manera la alteración de las muestras.



Figura 8. Medición y muestras de precipitación en el sitio experimental.

La determinación de NH_4^+ y NO_3^- se realizó con una muestra compuesta de agua escurrida y precipitada por mes. El método usado fue el As-13-1998 de la NOM que se basa en la extracción de amonio por destilación mediante arrastre de vapor en presencia de MgO ; mientras que la adición de Devarda permitió determinar el nitrato (Figura 9).



Figura 9. Determinación de nitrato y amonio por arrastre de vapor.

4.3.3 Estimación de Nitrógeno total (Nt) y C en vegetación

Después de haber instalado los colectores, la primera muestra fue tomada pasados 20 días y posteriormente se fueron tomando cada 10 días hasta finalizar el experimento, durante cada toma de muestras se depositaron en bolsas de plástico y después se llevaron al laboratorio para obtener el peso fresco y realizar el secado en una estufa a 70 °C durante 24 horas. Posteriormente las muestras fueron trituradas y tamizadas con malla de 2 mm (Figura 10).



Figura 10. Proceso de pesado, secado y molido de material vegetal.

Para la determinación de Nt en el material vegetal colectado se homogeneizaron las muestras en partes del árbol (hojas, frutos, flores, ramas) para formar una muestra compuesta y aplicar el método Kjeldahl que consiste en una digestión ácida del material vegetal y determinación arrastre de vapor (Figura 11).



Figura 11. Proceso de digestión ácida y determinación de N de material defoliado.

Por su parte el C fue determinado por la metodología de estimación de carbono total en biomasa viva del IPCC (2003), se usó la fórmula $C_t = .5(C_{BV} + C_{Bd})$; donde C_t : carbono total; C_{BV} : carbono en biomasa viva y C_{Bd} : Carbono en biomasa en descomposición.

4.3.4 Estimación del N, NH_4^+ , NO_3^- y C en suelo

Para obtener el contenido y concentración de Nt, NH_4^+ , NO_3^- y C en el suelo, se hicieron muestreos al inicio, etapa intermedia y al final del periodo experimental;

éstos fueron realizados a una profundidad de 50 cm, tomando muestras a profundidades de 0-20 y 20-50 cm (Figura 12).



Figura 12. Muestreo y toma de datos de suelo en el área de estudio.

Posteriormente las muestras fueron secadas al aire y se trasladaron al laboratorio de química de suelos de la UACH donde fueron tamizadas con mallas de 2 mm para posteriormente determinar N total por el método Kjeldahl, mientras que la determinación de amonio NH_4^+ y NO_3^- se hizo mediante el método As-13-1998 de la NOM.

Finalmente se determinó el contenido de % C por el método Walkley y Black, el cálculo de C se obtuvo usando la fórmula:

COS=Carbono orgánico total en suelo por superficie (Mg/ha); CO= Carbono orgánico total (%); Da= Densidad aparente (Mg/m^3); Ps= Profundidad del suelo (m).

4.3.5 Análisis estadístico

El análisis estadístico fue realizado mediante el programa SAS donde se corrieron datos para determinar el análisis de varianza (ANOVA) y la prueba tukey mediante el modelo estadístico:

$Y_{ij} = \mu_i + t_j + \varepsilon_{ij}$, donde;

Y_{ij} = variable respuesta

μ_i = media general de la variable,

$T_j = 1, 2$ (Tratamiento C-Ch, Tratamiento C-Gr),

ε_{ij} = error experimental.

Las variables medidas fueron: escorrentía, pérdida de suelo (erosión), NH_4^+ y NO_3^- en la escorrentía, NH_4^+ y NO_3^- en la lluvia, Nt, NH_4^+ y NO_3^- en suelo a las profundidades de 0-20 y 20-50 cm, Nt y C en vegetación.

5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1 Análisis de suelos

Los suelos del sitio experimental son desarrollados y profundos, los resultados de caracterización del suelo para cada tratamiento se muestra en el Cuadro 1,

Cuadro 1. Propiedades físicas y químicas determinadas a dos profundidades en los sistemas café-chalahuite y café-grevilea en Huatusco, Veracruz, México.

Trat.	Prof. (cm)	Variables determinadas en suelo										
		Dap	Dreal	T ¹	P ²	CC	PMP	C _{org}	Nt	C _{allm.}	CIC	pH
		(g/cm ³)	(g/cm ³)		(%)			(%)	(mg/kg)	(%)		
C-Ch	0-20	0.82	1.96	F-I ³	56.9	59.96	47.20	2.77	3543.68	45.7	54.3	5.24
	20-50	0.87	2.46	F-I ³	64.6	61.91	46.88	2.07	3215.52	54.2	57.0	5.68
C-Gr	0-20	0.82	2.33	F-I ³	65.0	56.22	44.39	2.37	3570.00	38.7	54.3	5.24
	20-50	0.87	2.41	F-I ³	63.9	59.77	43.55	1.66	2912.00	43.2	57.0	5.68

¹: T: Textura

²: P: Porosidad

³: F-I: Franco-limoso

Los valores en cada sistema fueron similares para densidad aparente (dap), textura, porosidad, capacidad de campo, punto de marchitez permanente (PMP), capacidad de intercambio catiónico (CIC) y pH. Mostrando una homogeneidad entre sistemas. En el caso las concentraciones y los concentración de C_{org}, Nt y carbono almacenado son diferentes entre los sistemas, pero siguen un comportamiento regular en función de la profundidad, es decir disminuyen a medida que la profundidad es mayor. El comportamiento anterior indica una relación entre estas tres variables.

Con respecto a la densidad tanto aparente como de partículas muestra un aumento progresivo con respecto a la profundidad, coincidiendo con Bermúdez

(1980). Por otro lado la textura encontrada es la misma en ambos sistemas a diferentes profundidades.

La dap sigue la misma tendencia que los contenidos de C org, Nt y C alm.

En el caso de la dreal ésta se ve afectada por los contenidos de MO, es decir a medida que la MO se incrementa la dreal disminuye siendo este un problema en la determinación.

5.2 Resultado Escorrentía y Erosión

Durante el periodo experimental que fue de 126 días se presentaron 69 eventos de precipitación, acumulando un total de 307.4 mm en el sistema C-Ch y 369.8 mm en C-Gr. La precipitación máxima para el sistema C-Ch ocurrió el 15 de julio con 20.4 mm y la mínima el 28 de mayo, 25 de junio, 24 de julio, 20 y 23 de agosto con solo 0.32 mm; mientras que en el sistema C-Gr la máxima fue el 15 de julio con 26.36 mm y la mínima el 20 y 23 de agosto con 0.22 mm, observe la Figura 13, donde puede apreciarse mejor el comportamiento de la precipitación registrada en los cafetales bajo chalahuite y grevilea, los datos obtenidos se debe a que los pluviómetros fueron instalados debajo de la cobertura vegetal presente en los sistemas.

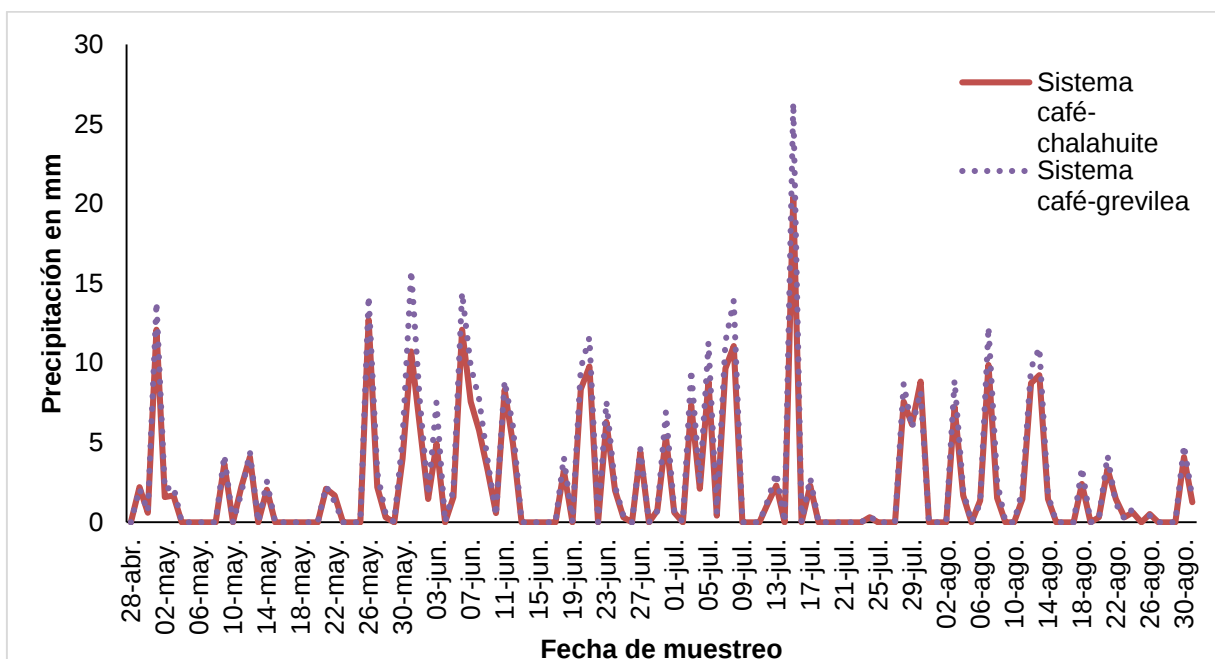


Figura 13. Comportamiento de la precipitación registrada en cafetales bajo sombra de chalahuite y grevilea en Huatusco, Veracruz.

Los pluviómetros instalados sirvieron para obtener la cantidad precipitada en el predio, sin embargo a una distancia no mayor de 1.5 km distancia se encuentra la Estación Meteorológica CRUO-Chapingo donde se tiene registros de precipitación de la zona.

La comparación de datos existentes entre los obtenidos en el sitio experimental y los promedios mensuales de 29 años, fueron similares, mientras que en el sistema C-Gr existió una mayor cantidad de lluvia captada que en el sistema C-Ch, esto debido a que en el primer sistema la cobertura vegetal era menos densa (Figura 14).

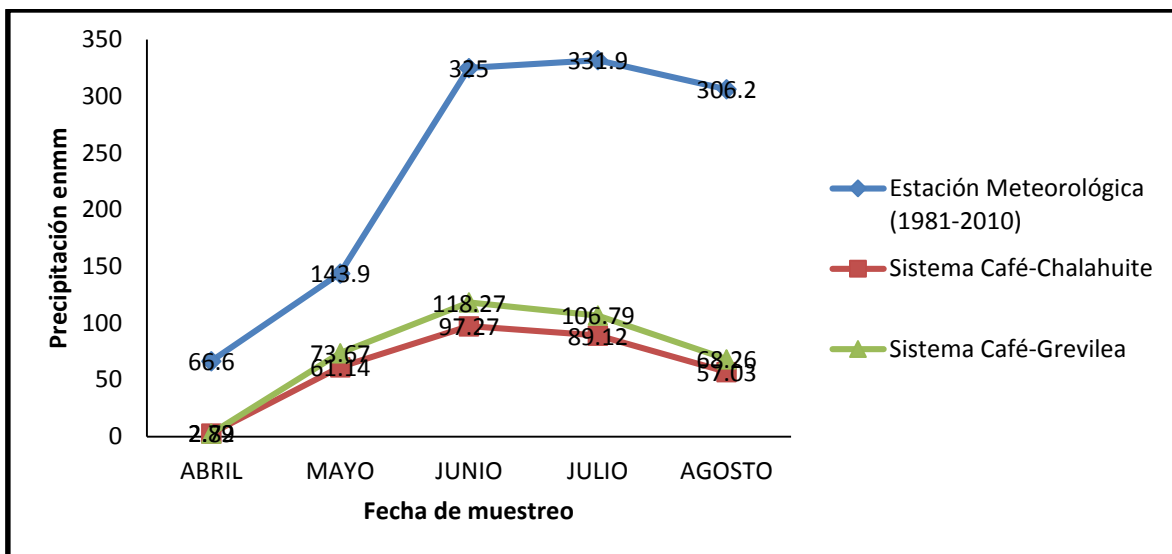


Figura 14. Comparación de la precipitación mensual registrada en el sitio experimental con dos tratamientos y la estación meteorológica CRUO.

Durante el periodo experimental se presentaron 69 eventos que fueron divididos en: Erosivos y No Erosivos. Los erosivos fueron aquellos que presentaron escurrimiento y pérdida de suelo sin importar la cantidad, mientras que los no erosivos fueron los que no presentaron escurrimiento, en total ocurrieron 50 eventos erosivos y 19 no erosivos.

El promedio de volumen escurrido en las parcelas para cada tratamiento se muestra en el Cuadro 2; donde se aprecia que la escorrentía (m^3) en C-Ch fue menor que C-Gr, ésta última con valores muy por encima que la anterior, esto se debió a que el sistema C-Gr tuvo menor densidad de cobertura vegetal aérea por lo que la disposición a la entrada de lluvia fue mayor, lo contrario ocurrió en el sistema C-Ch.

Cuadro 2. Promedio de volumen escurrido (m³) en los tratamientos de cafetales bajo sombra durante el periodo experimental.

Mes	Volumen escurrido C- Ch (m ³)	Volumen escurrido C-Gr (m ³)
Abril	5.989	5.3083
Mayo	38.82	61.114
Junio	94.65	159.66
Julio	81.99	170.11
Agosto	64.93	100.29
Total	289.4	496.48

El análisis de varianza del escurrimiento demostró existieron diferencias significativas entre tratamientos, pues los resultados de medias fueron parecidos, observar Cuadro 3 y 4.

Cuadro 3. Análisis de varianza (ANOVA) del escurrimiento presentado en los sistemas café-chalahuite y café-grevilea en Huatusco, Veracruz, México.

Fuente	G.L	suma de cuadrados	cuadrados medios	F-Valor	Pr > F
Tratamiento	1	6213.71531	66213.71531	18.30	0.0129
Error	4	14475.39779	3618.8494		
Total	5	80689.11310			

Cuadro 4. Prueba Tukey del escurrimiento presentado en los sistemas café-chalahuite y café-grevilea en Huatusco, Veracruz, México.

tukey	Media m ³	Tratamiento
A	496.48	2
B	286.38	1

En cuanto a la pérdida de suelo ocasionado por la escorrentía se obtuvieron variaciones en el tiempo, sin embargo en el sistema C-Gr, se notó un incremento en la pérdida de suelo durante el mes de julio, que se relacionó directamente con el escurrimiento producido en ese mes (Figura 15).

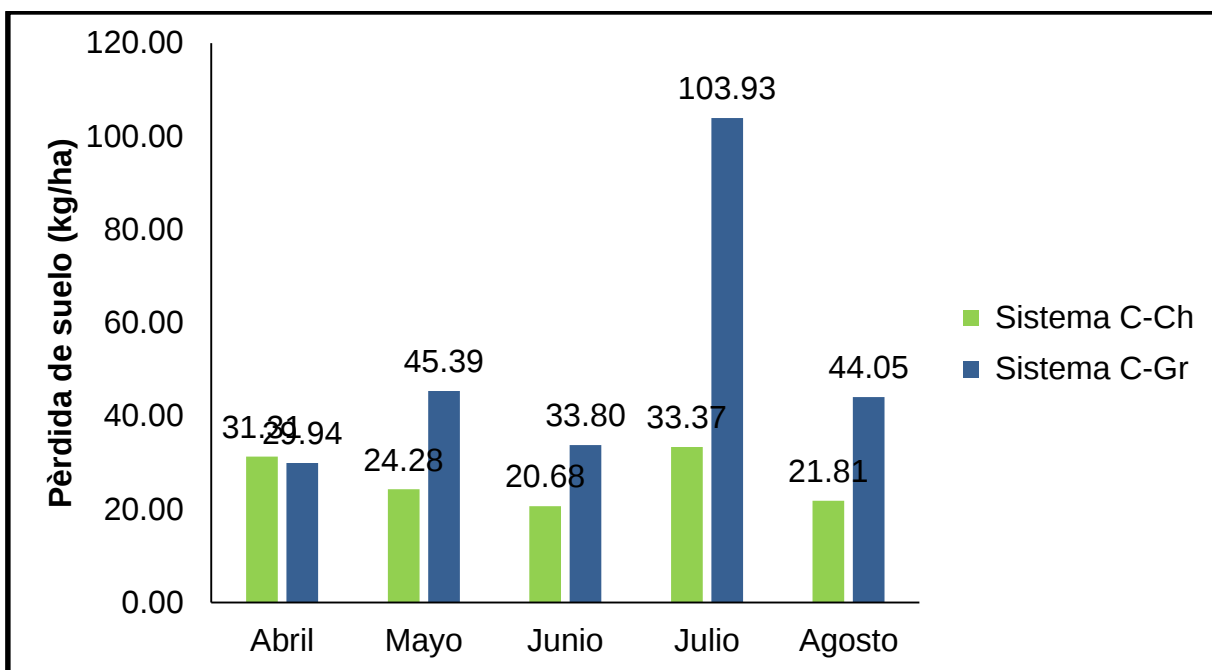


Figura 15. Pérdida de suelo (kg/ha) suscitado durante el periodo experimental en los sistemas Café-chalahuite y café-grevilea en Huatusco, Veracruz, México.

Por su parte los valores máximos de pérdida de suelo fueron de 33.37 y 103.93 kg/ha para C-Ch y C-Gr respectivamente en el mes de julio, mientras que la erosión total producida en C-Ch fue de 131.45 kg/ha y en C-Gr 257.10 kg/ha, que resulta inferior a lo obtenido en Venezuela donde se tuvo 0.31 t/ha en café sin sombra y 0.38 t/ha en café con sombra arbórea (*Inga sp*), durante agosto 1996 – noviembre 1997 (Arellano, 2000). Otra comparación importante es que los resultados obtenidos resultan inferiores a las cantidades nacionales de pérdida de suelo para México, que es de 25.0 a 45.5 t/ha/año (Figuerola *et al.*, 1991).

Por su parte Bermúdez (1980), obtuvo en Turrialba, Costa Rica, valores inferiores en cafetales bajo poró (*Erythrina poeppigiana*) y laurel (*Cordia alliodora*), que oscilan en 58.71 kg/ha para la asociación café poró y 103.89 kg/ha en cafetales bajo poró-laurel, el aumento del valor de la pérdida de suelo en el segundo sistema agroforestal se debe al espaciamiento entre árboles de laurel-poro.

Así mismo, Pérez *et al.* (2012), usando la ecuación universal de pérdida de suelo (EUPS) en la localidad del Coyol, Veracruz; obtuvo pérdidas de suelo de 0.42,

0.41, 1.95, 2.02 y 1.05 t/ha/año en el 2000 y 0.34, 1.05, 4.56, 4.24 y 0.28 t/ha/año en 2001; bajo sistema agroforestal rusticano (SAF-RUS), Policultivo tradicional mejorado (PTM) con barreras vivas de palo de agua (*Eupatorium morifolium*) y terrazas individuales (PTM-BVyT), PTM con cobertura de canavalia (*Canavalia ensiformis*) (PTM-CCV), PTM con cobertura de cacahuatillo (*Arachispintoi*) (PTM-CCH) y PTM con barreras vivas de palo de agua y palma camedor (*Chamaedorea elegans*) (PTM-BV) respectivamente, donde las cifras en pérdida de suelo en los cinco sistemas agroforestales son superiores, pero los SAF-RUS y PTM-BVyT en 2000 son los valores más cercanos a los obtenidos en C-Ch y C-Gr, mientras que en 2001 los SAF-RUS y PTM-BV se asemejan en rangos de valores. La pérdida de suelo que obtuvo el autor se debe al uso de coberturas arbustivas y por mantillo (Cam) como factor C en la EUPS pues éstas reducen la erosividad de la lluvia y escurrimiento superficial en sistemas agroforestales de café bajo sombra en un 68 %.

También es necesario recalcar que en sistemas agroforestales de café bajo sombra, el escurrimiento superficial depende más de la cantidad que de la intensidad de la lluvia; así como la intensidad de manejo que se le da al suelo, pues un manejo intensivo incrementa la degradación, lo cual se refleja en pérdida de productividad y de soporte para las plantas, siendo un factor asociado a la erosión (Arsenault y Bonn, 2005).

En congruencia con lo anterior, Turrent *et al.* (2002) obtuvo durante 5 años bajo un tratamiento de labranza tradicional pérdida anual de suelo que vario de 44.5 a 344.7 t/ha de 1995 a 1999, con terraza de muro vivo y tracción animal 0.30 a 5.71 t/ha y con labranza de conservación valores que oscilaron de 0.27 a 2.10 t/ha, demostrando de esta manera la eficacia de los sistemas agroforestales en la reducción de erosión en comparación con otros sistemas de producción, ya que en sistemas abierto como la cuenca se tienen registro de hasta 46.5 ton/ha de suelo, según lo reportado por Maldonado (2001).

El ANOVA de la pérdida de suelo demostró que existieron diferencias significativas entre tratamientos, por lo que la diferencia entre la erosión de un tratamiento y otro, es mínima (Cuadro 5).

Cuadro 5. ANOVA de la erosión en los sistemas café-chalahuite y café-grevilea en Huatusco, Veracruz, México.

Fuente	G.L	suma de cuadrados	de cuadrados medios	F-Valor	Pr > F
Tratamiento	1	23646.71482	23646.71482	36.88	0.0037
Error	4	2564.89867	641.22467		
Total	5	26211.6134			

5.3 Amonio y Nitrato en Lluvia

El nitrógeno es parte esencial para el desarrollo de los microorganismos en el suelo, interactuando entre sí con las deposiciones húmedas, es decir, por medio de la lluvia.

Como se había expresado anteriormente se presentaron 69 eventos de lluvias donde cada 5 eventos se tomó una muestra representativa de 100 ml para realizar las determinaciones de NH_4^+ y NO_3^- .

El comportamiento de la concentración (mg/l) de NH_4^+ y NO_3^- en la precipitación fue similar entre sistemas, observando la mayor cantidad de NH_4^+ y NO_3^- durante el mes de abril (Figura 16). Aunque como se puede observar no se tuvo una dominancia clara por alguno de los iones pues las líneas de comportamiento en función del tiempo se entrecruzan.

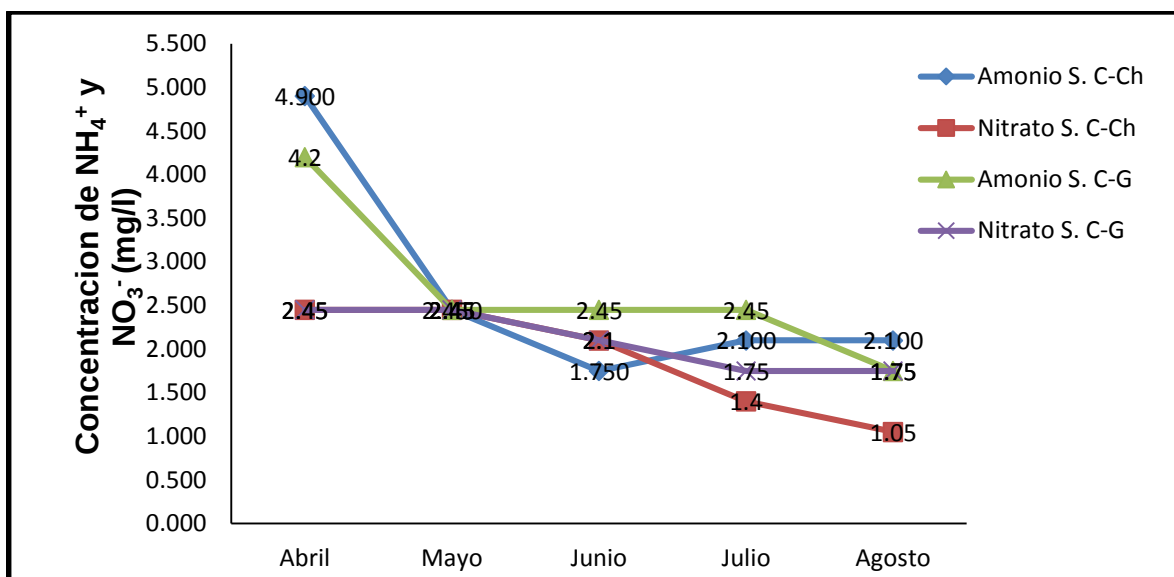


Figura 16. Comportamiento de la concentración de NH_4^+ y NO_3^- en agua de lluvia en los sistemas café-chalahuite y café-grevilea en Huatusco, Veracruz, México.

El comportamiento de los iones de la figura anterior se debió principalmente a un lavado de N en la atmosfera, pues al inicio de lluvias la concentración de este elemento en formas de NH_4^+ y NO_3^- fueron mayores y con el paso del tiempo se vieron reducidas, otro factor que pudo alterar las concentraciones fueron las alteraciones químicas que sufre la precipitación al pasar por medio de una cubierta vegetal, lo que originó un lavado de los elementos depositados en seco sobre el follaje (Potter *et al.*, 1991).

La cantidad de amonio expresado en kg/ha, obtuvo su mayor contenido en el mes de junio en el tratamiento C-Gr con valores de 9.659 kg/ha y la menor en abril con 1.172 kg/ha en el mismo sistema (Figura 17).

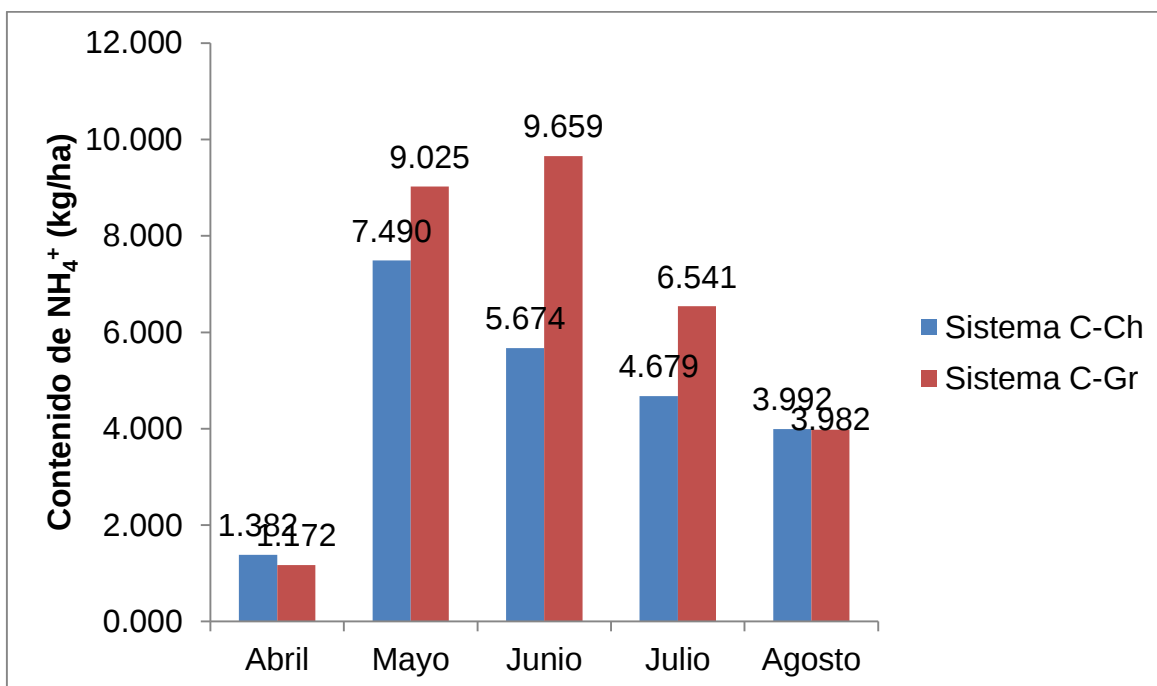


Figura 17. Contenido total de NH_4^+ en agua de lluvia en los sistemas café-chalahuite y café-grevilea en Huatusco, Veracruz, México.

En el caso de nitrato los resultado obtenidos se observa en la Figura 18; donde se aprecia que el mayor contenido fue en mayo con 9.025 kg/ha en C-Gr y la menor con 0.684 kg/ha en el mes de abril en C-Gr, esto coincidió directamente con la cantidad de lluvia presentada en el mes.

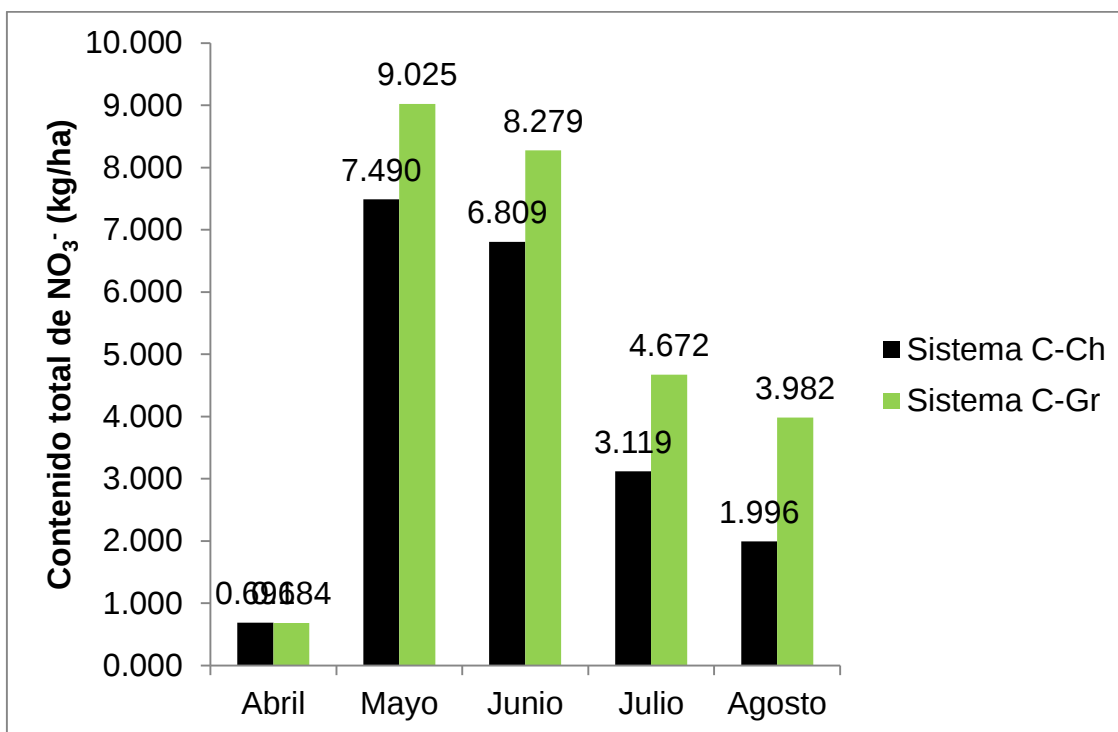


Figura 18. Contenido total de NO_3^- en el agua de lluvia en los sistemas Café-chalahuite y café-grevilea en Huatusco, Veracruz, México.

El comportamiento que tuvo NH_4^+ y NO_3^- fueron similares, Figura 17 y 18. Por su parte la concentración total de NH_4^+ y NO_3^- (kg/ha) fue mayor en el tratamiento C-Gr, y fue dado por la cantidad de lluvia que se presentó en el sistema, mientras que la concentración de NH_4^+ fue mayor que el NO_3^- en ambos sistemas, Figura 19.

Así mismo, Porter *et al.* (2000) afirma que en áreas de cultivo el uso de fertilizantes amoniacales determinan la cantidad de amonio presente en la lluvia, pues éste se volatiliza y al interactuar con el agua precipitada convirtiéndose en amonio, pero en nuestro caso las corrientes de aire juegan un papel importante pues las brisas transportan el aire de la ciudad hacia la parte cerril que es donde se encontraba el sitio experimental, incrementando los valores de las variables medidas al estar suspendidas en el aire.

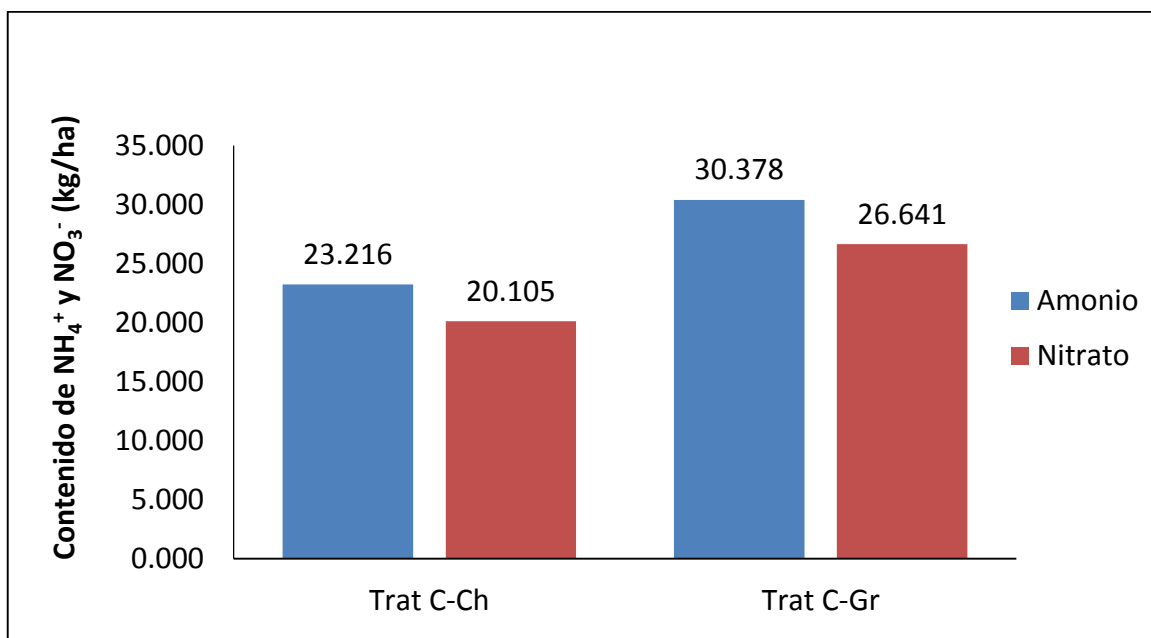


Figura 19. Contenido total de NH_4^+ y NO_3^- disuelto en agua de lluvia en los sistemas Café-chalahuite y café-grevilea en Huatusco, Veracruz, México.

Los resultados obtenidos fueron contenidos de 23.21 y 30.37 kg de NH_4^+ y 20.10 y 26.64 kg/ha de NO_3^- en cafetales bajo chalahuite y grevilea respectivamente, lo que resulta superior a los reportados por Andrade *et al.* (1995), quienes obtuvieron en parcelas de *Eucalyptus grandis* de diferentes edades valores de 1.19 a 1.83 kg/ha/año de nitrógeno presente en la precipitación efectiva, suma de pluviolavado (agua que atraviesa las copas de los árboles) y escurrimiento fustal (agua que fluye por las ramas y troncos del árbol).

Por otro lado Jaramillo (2003), obtuvo en un estudio de cafetales bajo sombra de guamo (*Inga spp*), pino (*Pinus oocarpa*), nogal (*Cordia elliodora*) y eucalipto (*Eucalyptus grandis*) una intercepción de lluvia de 58, 52, 56 y 51% respectivamente, y cantidades de nitrato en agua interceptada de 14.7, 25.9, 39.4 y 14.3 kg/ha, siendo superiores a los obtenidos.

Finalmente estudios realizados por Porter *et al.*, (2000); obtuvo en 1998, deposiciones húmedas de nitrógeno inorgánico precipitado en forma de nitrato y

amonio en la región medio oeste de los Estados Unidos con valores de hasta 7 kg/ha, donde entre la mitad y tres cuartas proviene de deposiciones de amonio.

5.4 Amonio y Nitrato en Escorrentía

Como se mencionó anteriormente durante los 126 días del periodo experimental, se presentaron 69 eventos de los cuales 50 presentaron escurrimiento alguno, los volúmenes de escorrentía se observan en el Cuadro 2.

El comportamiento del contenido de NH_4^+ en la escorrentía estuvo en función de la lluvia, por ello se tuvo un comportamiento similar a la precipitación, observando los valores más altos en julio en C-Ch y C-Gr (Figura 20).

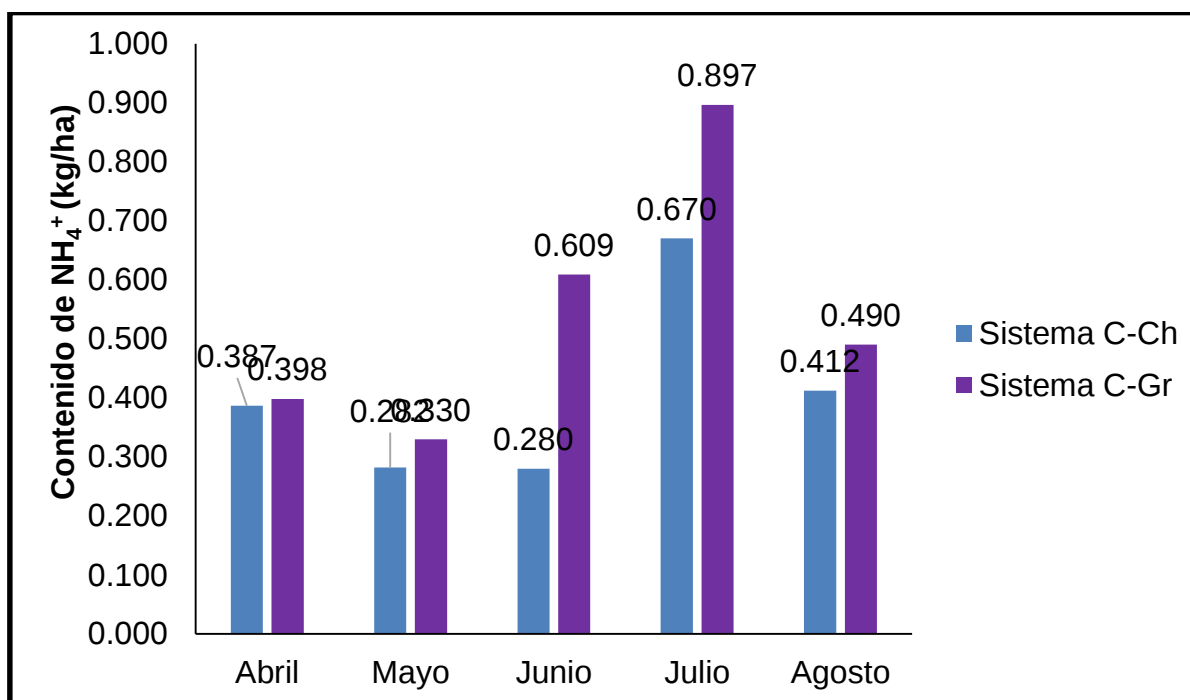


Figura 20. Contenido de NH_4^+ disuelto en agua de escorrentía en los sistemas café-chalahuite y café-grevilea en Huatusco, Veracruz, México.

Las cantidades totales de NH_4^+ en escorrentía ascendieron a 2.032 kg/ha en C-Ch y 2.724 kg/ha en C-Gr, los valores de concentración fueron semejantes a los registrados por Cristóbal (2007), quien encontró rangos de concentración de 0.4 a 4.8 mg/l de NH_4^+ en suelos con tratamientos orgánico y convencional. Por su parte

Torres *et al.* (2005), encontró rangos de 1.3 a 12.3 mg/ml de NH_4^+ en 8 tratamientos en la Finca Bella Vista, municipio Chaguaramas, Colombia.

Flores *et al.* (2009), encontró valores 4.2, 2.5, 2.1 y 1.6 kg/ha de NH_3^+ más NH_4^+ en lotes de agave tequilero, maíz, pasto nativo y suelo desnudo respectivamente durante el 2002 y 7.2, 2.5, 5.2 y 1.1 kg/ha NH_3^+ más NH_4^+ en los mismos lotes durante el 2003. Por su parte Estrada *et al.* (2005), encontró en El Trapecio, Cárdenas, Tabasco, valores de 2.66 kg/ha de N inorgánico escurrido.

En comportamiento del nitrato fue similar al amonio, obteniendo los valores más altos en julio (Figura 21), así mismo la tendencia en el comportamiento estuvo dado por la precipitación en el sitio experimental.

El amonio en la esorrentía no presentó diferencias significativa entre tratamientos, pues al estar en un área homogénea, no se logra apreciar, sin embargo los valores no son iguales unos con otros (Cuadro 6).

Cuadro 6. ANOVA de la concentración de amonio en esorrentía en los sistemas café-chalahuite y café-grevilea en Huatusco, Veracruz, México.

Fuente	G.L	suma de cuadrados	de cuadrados medios	F-Valor	Pr > F
Tratamiento	1	0.72106667	0.72106667	3.44	0.1374
Error	4	0.83946667	0.20986667		
Total	5	1.56053333			

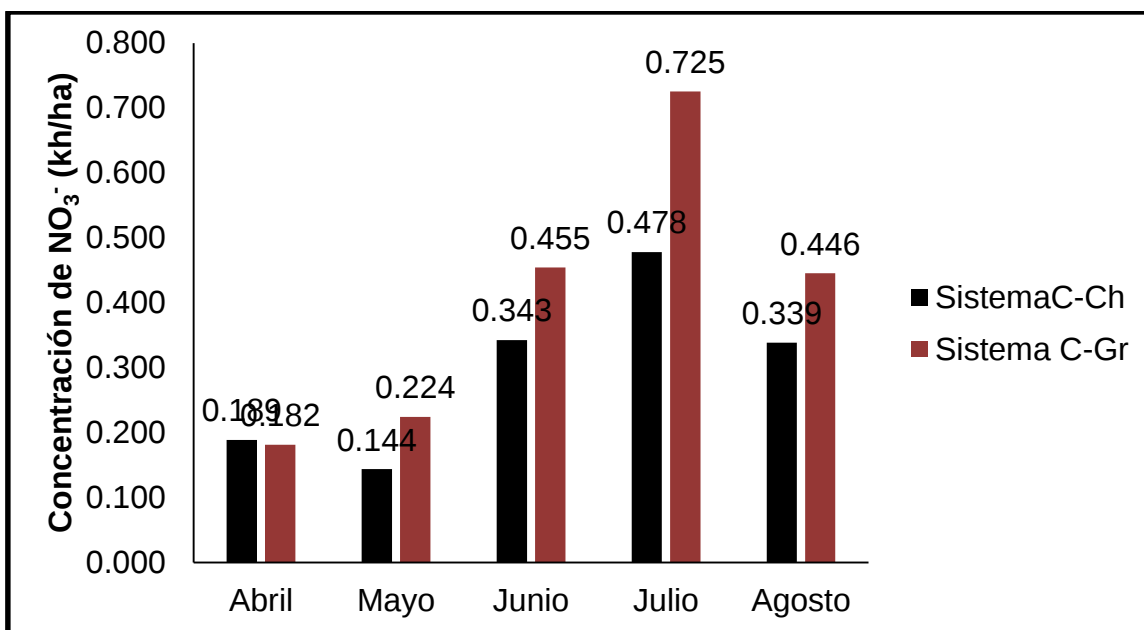


Figura 21. Concentración de NO_3^- disuelto en la escorrentía en los sistemas café-chalahuite y café-grevilea en Huatusco, Veracruz, México.

Los resultados obtenidos de NO_3^- en escorrentía fueron de 1.492 kg/ha para el sistema C-Ch y 2.031 kg/ha en C-Gr, existiendo un comportamiento similar entre sistemas, Figura 21. Estudios similares han reportado valores de 8.9 a 23.9 kg/ha/año de NO_3^- en cuatro sistemas de manejo de suelo, donde los mayores concentraciones de NO_3^- escurridos ocurren en bajo labranza de conservación, Por su parte Cervantes y Vahrson (1992), encontraron al analizar escurrimiento en tres sistemas valores de 3.9 en cafetales bajo sombra, 2.6 en cafetales sin sombra y 3.44 kg/ha en pasto, respectivamente; lo que resulta superior a los obtenidos por ambos autores, sin embargo se encuentra entre los rango obtenidas por el ultimo autor.

Los contenidos encontrados en esta investigación concuerdan con lo obtenido por Pérez (2005) quien encontró valores que oscilaron entre 0.11 y 0.21 kg/ha durante el año 2000; y 0.03 a 0.54 kg/ha en 2001 para diferentes sistemas de labranza del suelo y sistemas agroforestales de terrazas de muro vivo con tracción mecánica y animal en un Entisol de Veracruz, México. Por su parte Paparotti y Melchiori

(2002), obtuvieron valores en Paraná cultivos anuales y pasturas promedios de hasta 84.4 g/ha de NO_3^- .

Finalmente el nitrato tampoco presento diferencias significativas entre tratamiento, lo que hace suponer las pérdidas son parecidas entre tratamientos. En el Cuadro 7 se puede apreciar el ANOVA de nitrato en la esorrentía.

Cuadro 7. ANOVA de la concentración de nitrato en la esorrentía en el sitio experimental en cafetales bajo chalahuite y grevilea en Huatusco, Veracruz, México.

Fuente	G.L	suma de cuadrados	de cuadrados medios	F-Valor	Pr > F
Tratamiento	1	0.43524267	0.43524267	5.62	0.0767
Error	4	0.30957467	0.07739367		
Total	5	0.74481733			

5.5 Nitrógeno total y carbono en biomasa vegetal

En esta investigación se trabajó con cafetales bajo chalahuite y grevilea; tomando datos del material vegetal captado una vez instalados colectores cuadrados y circulares. Cabe mencionar que los colectores fueron ubicados en diferentes sitios dentro de los sistemas de producción, con el objetivo de evaluar la producción de biomasa.

Los colectores cuadrados se colocaron debajo del área de copa de cafetos, mientras que los circulares entre surcos para conocer más a fondo cual es el sitio con mayor disposición de biomasa.

La primera muestra fue tomada a el día 28 de mayo y posteriormente se muestreo cada 10 días hasta el 31 de agosto.

5.5.1 Biomasa defoliada en debajo de cafetos

Los resultados obtenidos del proceso de la defoliación en el sistema C-Ch debajo del área de copa de cafetos, se parecían en la Figura 22, cabe mencionar los colectores se depositaron debajo de los cafetos,

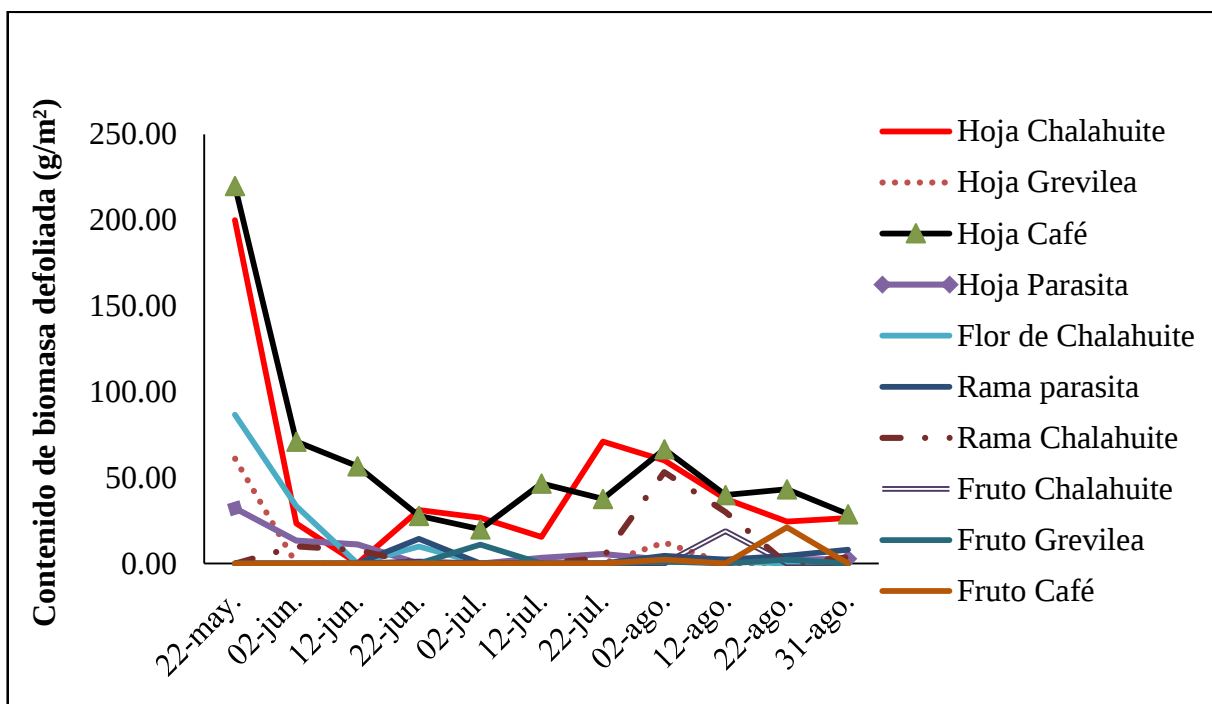


Figura 22. Comportamiento del contenido (g/m^2) de la biomasa defoliada debajo del área foliar de cafetos en sistema café-chalahuite en Huatusco, Veracruz, México.

En la figura anterior puede observarse que en el sistema C-Gr se captó material vegetal del sistema C-Gr, esto se debió básicamente al viento, pues éste fue un factor para el transporte de material vegetal, por eso se tuvo presencia de hoja y fruto grevilea en el sistema C-Ch.

La mayor cantidad de material captado en el sistema C-Ch se tuvo el 22 de mayo correspondiendo a la hoja de café con 220 g/m^2 , mientras que la menor correspondió a muestras de flor de chalahuite el 02 y 12 de agosto, fruto de chalahuite el 22 de junio y fruto de grevilea el 2 de julio y 2 de agosto todas ellas con un peso seco de 1.11 g/m^2 .

Por otro lado, la defoliación que se obtuvo debajo del área de copa de cafetos, en el sistema C-Gr se observa en la Figura 23, donde se captó hoja y flor de chalahuite y se debió al viento pues fue un factor para el transporte de estos materiales vegetales al sistema C-Gr.

La mayor cantidad de materia captado correspondió a la hoja de café el 22 de mayo con 125.56 g/m² y las menores fueron: hoja de grevilea el 22 de junio y 22 de agosto y rama de grevilea el 22 de junio con 1.11 g/m².

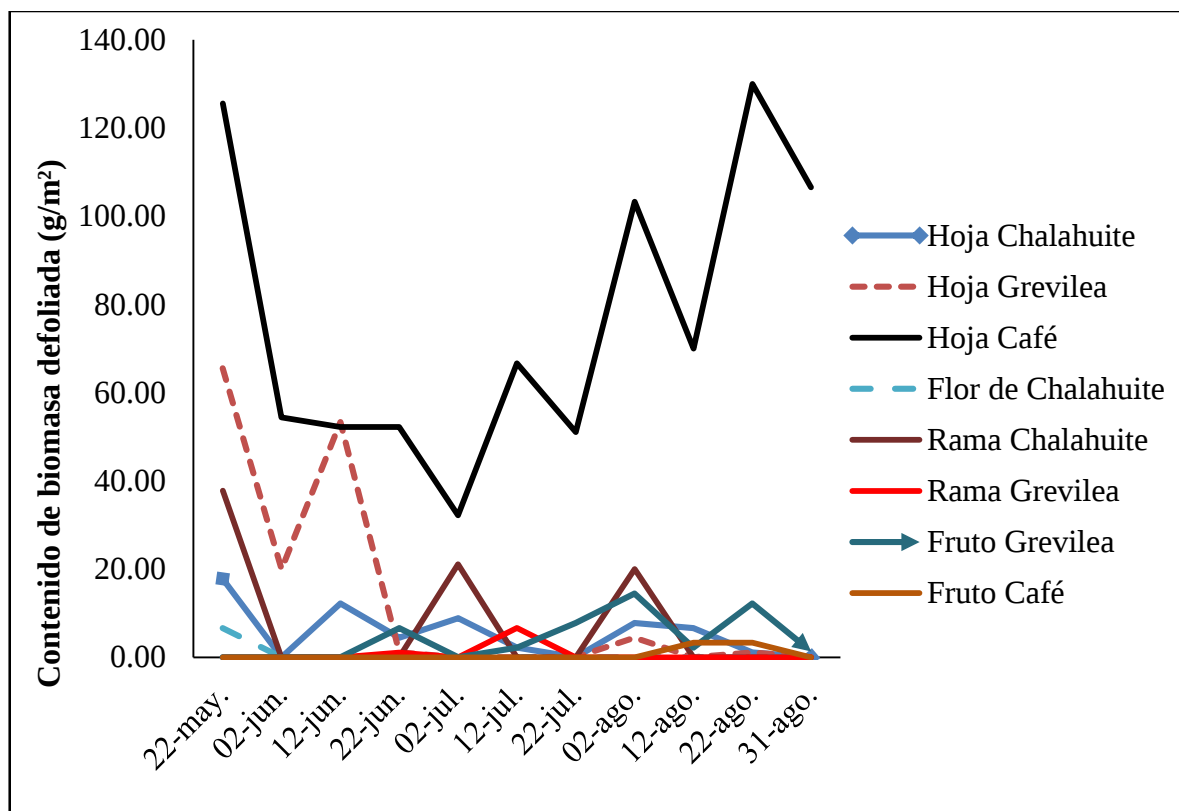


Figura 23. Comportamiento del contenido (g/m²) de la biomasa defoliada debajo del área foliar de cafetos en el sistema café-grevilea en Huatusco, Veracruz, México.

En este sistema sobresale la hoja de café y grevilea con mayor variación el proceso de la defoliación y se debió básicamente a que los colectores fueron depositados debajo de los cafetos del sistema C-Gr.

La mayor cantidad biomasa defoliada en los árboles fueron las hojas sobre ramas, flores y frutos. Este comportamiento concuerda con los resultados obtenidos por Cañellas Rey y San Miguel (1993), donde las principales fuentes de defoliación y fuentes de restitución de nutrientes al suelo fueron hojas (60-78%) seguidas por la fracción leñosa (6,5-14,5%) y flores y frutos (4,3-17,2%); lo anterior puede observarse en las Figuras (22 y 23).

La producción promedio de biomasa defoliada en los sistemas C-Ch y C-Gr, se observa en la Figura 24; donde la producción fue dividida en estratos: arbustivo (hojas y frutos de café), arbóreo (hojas, frutos, flor, ramas, etc.) y estrato epifito (hoja y ramas de psittacanthus).

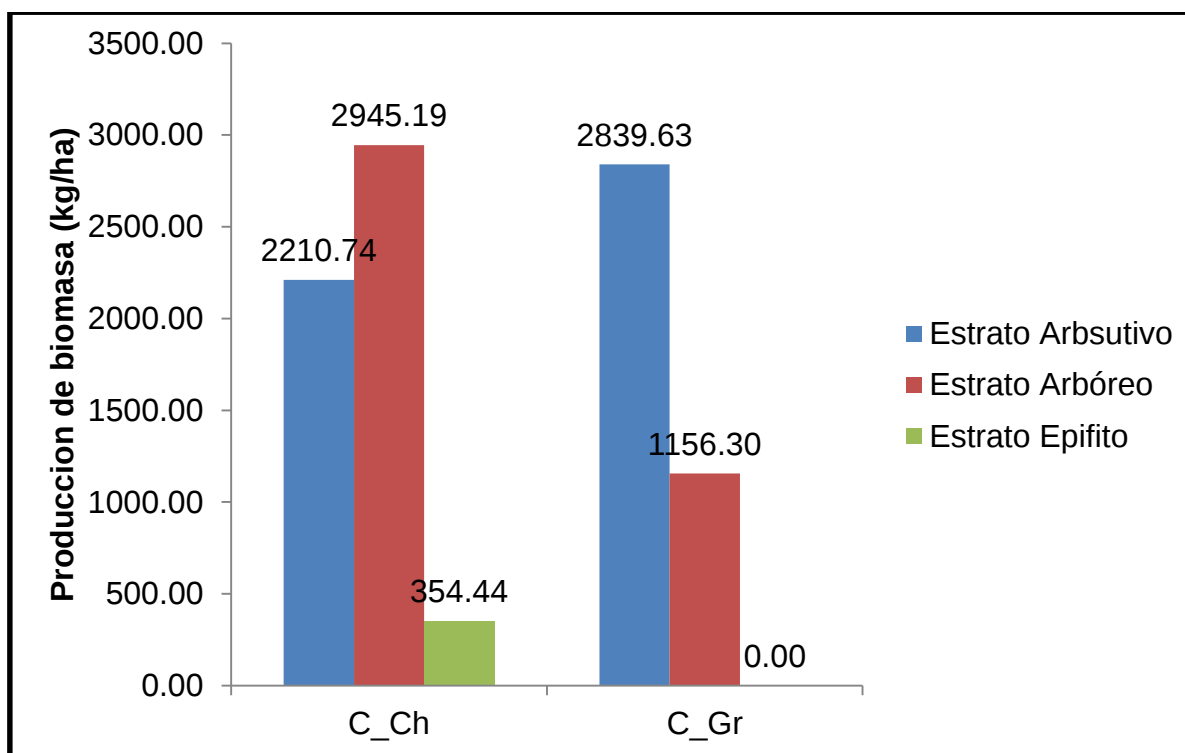


Figura 24. Producción de biomasa defoliada (kg/ha) en cafetales bajo chalahuite y grevilea captada debajo del área foliar de cafetos en Huatusco, Veracruz, México.

Los resultados de la Figura 24 muestran que para el estrato arbustivo la producción de biomasa defoliada fue mayor para el sistema C-Gr y para el estrato arbóreo ocurrió lo inverso es decir la producción de biomasa defoliada fue mayor para el sistema C-Ch. En el caso epifito la aportación fue mayor para C-Ch. Los valores obtenidos en el estrato arbustivo fueron menores a los reportados por Domínguez (2006), quien reporta para el mismo predio un aporte de biomasa de 3.389 t/ha en café-inga-cedro rosado y 5.899 en café-grevilea, la variación de los rangos de valores en esta comparación está fundamentada en la época del año, estado fenológico de la planta y tiempo experimental, pues a pesar de realizar ambos experimentos en el mismo sitio, estos factores afectan los resultados.

Los valores totales de defoliación obtenidos en 5 meses fueron de 5 510.37 kg/ha en C-Ch y 3 995.93 kg/ha en C-Gr, mismos que se encuentran dentro del rango de bosques con encinos, que van de 3.84 a 5.31 t/ha/año, según Oliva *et al.* (1992); pues los cafetales estudiados en ecosistemas de bosque mesófilo podemos encontrar variedad de encinos.

Por su parte Bermúdez *et al.* (1996), encontró en un estudio donde se evaluaron 5 especies de leguminosas arbustivas en la sierra de Guadarrama, Madrid, una producción total anual de biomasa (hojas, tallos, flores y frutos) de 1508.376 kg/m² lo que resulta superior a la obtenida.

El Nitrógeno en los ecosistemas juega un papel muy importante, pues la interacción con el medio y microorganismos fortalecen el desarrollo del ambiente, siendo la defoliación el medio para el transporte del N foliar al suelo. El N aportado en los cafetales bajo sombra producto de la defoliación captada en el colector cuadrado, se observa en el Cuadro 19; donde el tratamiento C-Ch obtuvo mayor concentración de N total que el C-Gr, donde el estrato arbustivo es quien más N aporta al cafetal.

Los resultados obtenidos durante 5 meses fueron de 160 kg/ha de N en C-Ch y 87.89 kg/ha en C-Gr; lo que resulta inferior a los obtenidos por Cardona y Sadeghian (2005); quien reporta valores anuales de 199.24 kg/ha en cafetal bajo sombra y 92.17 kg/ha en café a exposición solar en la localidad de Chichiná; pero se encuentran dentro el rango, al igual que con los datos registrado por Beer (1988), quien reporta de 60 a 340 kg/ha/año de N para plantaciones de café y leguminosas, en este caso la variación de valores fue dada por el tiempo experimental.

Otro aspecto a considerar fue que el sistema C-Ch está compuesto por árboles pertenecientes a la familia fabácea (leguminosas) lo que hace suponer un aumento en las concentraciones de N, así mismo Cañellas Rey y San Miguel (1993), menciona que la edad determina los aportes de N productos de la defoliación, pues a mayor edad mayor la concentración, comprobando este

postulado con los datos obtenidos. Otros estudios han demostrado que para el caso de nitrógeno los mayores contenidos de N se encuentran en la madera, cortezas, ramas-frutos, y hojas con valores de 20, 10, 35 y 30%, respectivamente, sin embargo ésta puede variar dependiendo la cantidad de materia vegetal defoliado (Merino *et al.*, 2003).

El análisis estadístico demostró que en el área foliar debajo de cafetos no hubo diferencias significativas en el aporte de N en el estrato arbustivo, sin embargo en el estrato arbóreo si existen diferencias significativas, lo anterior es dado puesto que a la tasa de defoliación fue el factor influyente para el resultado, (Cuadro 8).

Cuadro 8. ANOVA de concentración (kg/ha) de N total en biomasa vegetal estrato arbóreo y arbustivo en el área de copa de cafetos bajo chalahuite y grevilea en Huatusco, Veracruz, México.

Estrato	Fuente	G.L	suma de cuadrados	cuadros medios	F-Valor	Pr > F
Arbóreo	Tratamiento	1	6212.67	6212.67	8.61	0.0426
	Error	4	2885.91	721.478		
	Total	5	9098.58			
Arbustivo	Tratamiento	1	113.01	113.01	0.16	0.71
	Error	4	2869.58	717.39		
	Total	5	2982.59			

5.5.2 Biomasa defoliada en entre surcos

Para evaluar la defoliación en el área de entre surcos se usó colectores circulares que fueron depositados debajo del estrato arbóreo de chalahuite y grevilea, para

comprender mejor lo que sucedió dentro del sistema es necesario analizar el proceso de evolución de la biomasa (Figura 25).

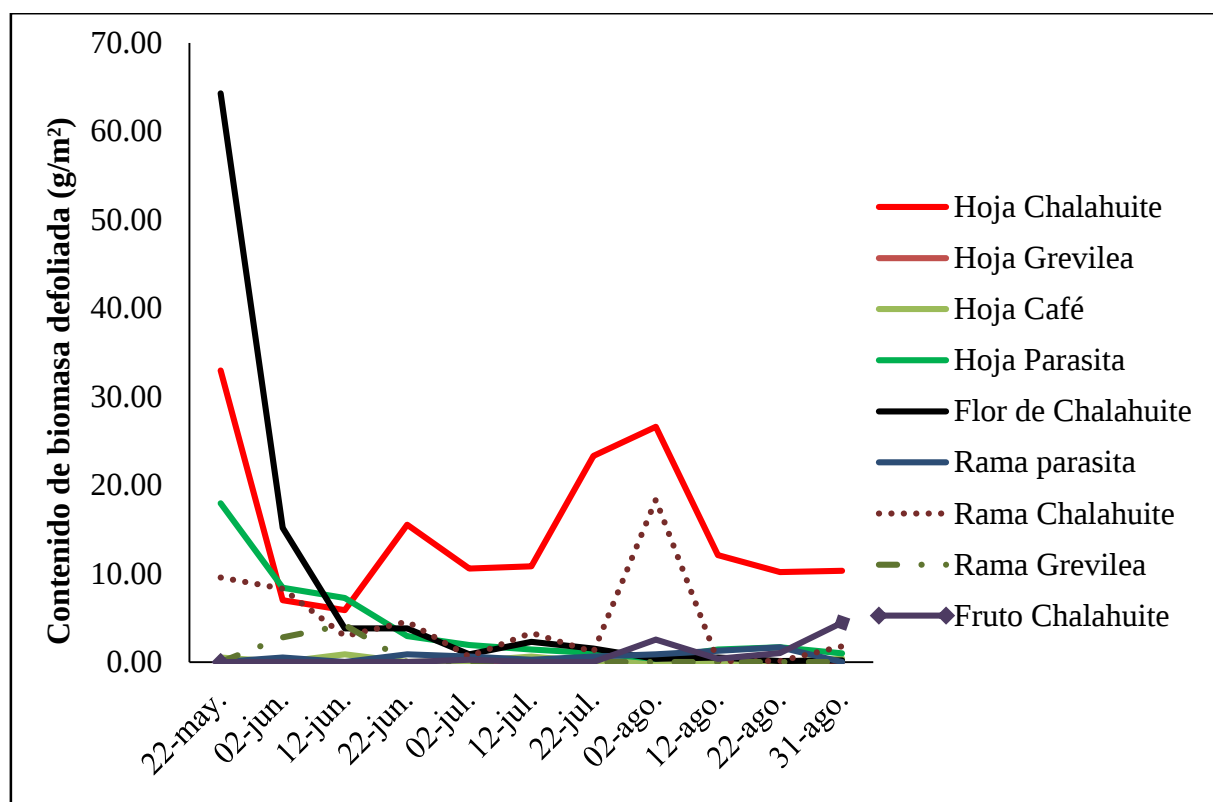


Figura 25. Comportamiento del contenido (g/m^2) de la biomasa defoliada en el área de entresurcos en sistema café-chalahuite en Huatusco, Veracruz, México.

En la figura anterior puede observarse que en el área de entre surcos del sistema C-Ch se encontraron hojas y ramas de grevilea y esta se debió al viento quien transporto estos materiales al sistema evaluado.

La mayor cantidad del material captado correspondió a flor de chalahuite el 22 de mayo con 64.3 g/m^2 y menor a hoja de grevilea, café, bromelia, flor y rama de chalahuite con 0.13 g/m^2 .

En la gráfica puede apreciarse como la flor da chalahuite inició con gran producción de material defoliado y disminuyó considerablemente en función del tiempo, mientras que la hoja de chalahuite tuvo mayor cantidad de material defoliado.

Por su parte la evolución de la defoliación el sistema C-Gr se aprecia en la Figura 26; donde la mayor cantidad de materia captado, correspondió a las hojas de grevilea el 12 de junio con 17.95 g/m², mientras que la menor fue hoja de chalahuite el 12 de julio y 22 de agosto con un peso seco de 0.13 g/m². La presencia de flor de chalahuite en el colector bajo el sistema C-Gr se debió al viento pues este transporta este material al colector evaluado.

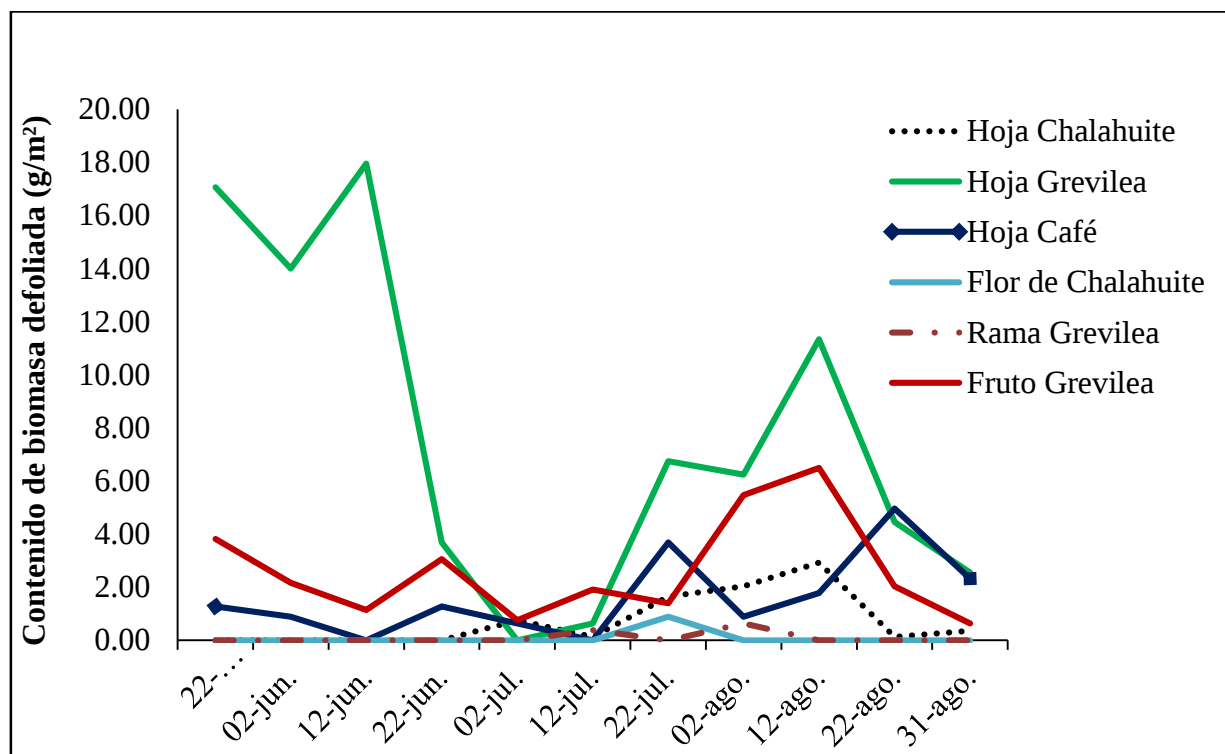


Figura 26. Comportamiento del contenido (g/m²) de la biomasa defoliada en el área de entresurcos del sistema café-grevilea en Huatusco, Veracruz, México.

La hojarasca producida en un estrato vegetal superior trae consigo grandes beneficios en los cafetales como la reducción en el crecimiento de arvenses y uso de herbicidas, mayor vida productiva del cafetal, disminución de la erosión y descenso de la temperatura en la superficie del suelo que ayuda a proteger las raíces del café de la deshidratación; lo anterior se traduce en una menor cantidad de labores de manejo con lo cual se reducen los costos de producción, generando una buena calidad del ambiente (Cardona y Sedeghian, 2005).

La defoliación que se presentó en colectores bajo el estrato arbóreo posee mayor diversidad de material defoliado en comparación con colectores situados en el estrato arbustivo, Cuadro 18.

En la fig. 27 se esquematiza la producción total de hojarasca que ingresó en los colectores y está constituido de hojas, flores, ramas y frutos de las especies que se encontraban en el sitio experimental, también se puede observar que en el tratamiento C-Ch existe una diferencia de biomasa defoliada de 63% más que en C-Gr.

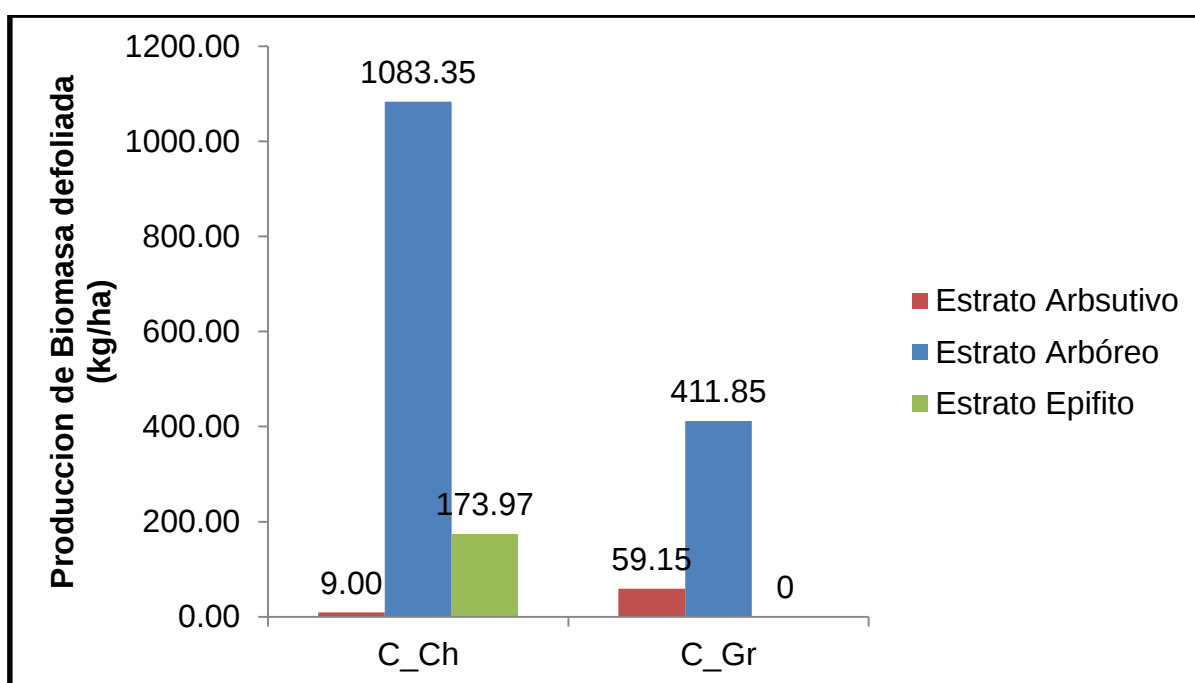


Figura 27. Producción de biomasa defoliada (kg/ha) captado en el área de entre surcos en cafetales bajo chalahuite y grevilea en Huatusco, Veracruz, México.

La producción total de biomasa que se captó en el área de entre surcos durante 5 meses fue en C-Ch con 1266.33 kg/ha y en C-Gr 471 kg/ha, captando del estrato arbóreo las mayores cantidades. Los datos anteriores resultan inferiores a los registrados por Domínguez (2006), quien reporta para el mismo predio un aporte de biomasa en estrato arbóreo de 2.722 ton/ha en cafetales bajo inga-cedro rosado y en café bajo grevilea 5.5227 ton/ha, la mayor presencia de biomasa defoliada en C-Gr obtenida por el autor fue debido a la época invernal, pues el

árbol de grevilea presentó su mayor tasa de defoliación en esa época, mientras que el comportamiento fue similar obteniendo mayores volúmenes del estrato arbóreo.

Así mismo, Cardona y Sedeghian (2005), obtuvieron en la localidad de Chinchina y El Cairo, Colombia 10.5 y 11.2 ton/ha de material orgánico seco defoliado en cafetales bajo *Inga*; lo que resultó superior a los obtenidos, sin embargo la variación en los resultados ésta dado por el tiempo, pues el autor anterior obtuvo sus resultados en un año. Por su parte Aranguren *et al.* (1982) reportaron 10.23 ton/ha/año de aporte de biomasa de hojarasca en un sistema agroforestal de café bajo medio orgánico asociado con *Inga* sp y poró (*Erythrina poeppigiana*). Así mismo, Romero (2006), reportó que en la finca experimental de Turrialba, Costa Rica; la producción total de biomasa mediante un manejo medio convencional en café bajo poro (*Erythrina poeppigiana*) alcanzó valores de 11.427 ton/ha, bajo roble coral (*Terminalia amazonia*) 1.874 ton/ha y bajo Cashá (*Chloroleucon eurycyclum*) 2.929 ton/ha, en un año.

La concentración total de Nt en la biomasa que se tuvo entre surcos se obtuvo 44.41 y 9.29 kg/ha en C-Ch y C-Gr respectivamente (Cuadro 19).

Al comparar los datos obtenidos resulta muy por debajo por lo reportados por Cardona y Sadeghian (2005), quienes obtuvieron 219.37 kg/ha en cafetales bajo sombra y 98.27 kg/ha en cafetales a exposición solar en la localidad de El Cairo, Colombia durante un año. Sin embargo son mayores a los reportados por Pozuelos (2007) quien obtuvo en Málaga, España datos de 26.5 kg/ha de N en *Quercus canariensis* y 20.8 kg/ha en *Q. suber*.

Por su parte el análisis estadístico demostró que existieron diferencias significativas en el aporte de N por el material defoliado y captado en los tratamientos en el área entre surcos (Cuadro 9).

Cuadro 9. ANOVA de concentración (kg/ha) de N total en biomasa vegetal estrato arbóreo y arbustivo en el área de entresurcos en cafetales bajo chalahuite y grevilea en Huatusco, Veracruz, México.

Estrato	Fuente	G.L	suma de cuadrados	cuadros medios	F-Valor	Pr > F
Arbóreo	Tratamiento	1	2095.8966	2095.8966	1419.62	<.0001
	Error	4	5.905533	1.476383		
	Total	5	2101.8021			
Arbustivo	Tratamiento	1	7.6614	7.6614	28.69	0.0059
	Error	4	1.0682	0.26705		
	Total	5	8.7296			

5.5.3 Contenido de carbono en vegetación

El Carbono en el medio juega un papel muy importante en el flujo de nutrientes dentro del sistema de producción, pues en sus formas orgánicas, pueden hacer posible la simulación de otros nutrientes por parte de las plantas.

El contenido de C almacenado a partir del material defoliado fue mayor en el estrato arbóreo en el sistema C-Ch y el menor correspondió al estrato epifito en C-Gr en el área foliar del café (Afc). Por su parte en el área entre surcos (Es) la mayor cantidad de C se tuvo en el estrato arbóreo del sistema C-Ch y la menor en el epifito del C-Gr (Figura 28).

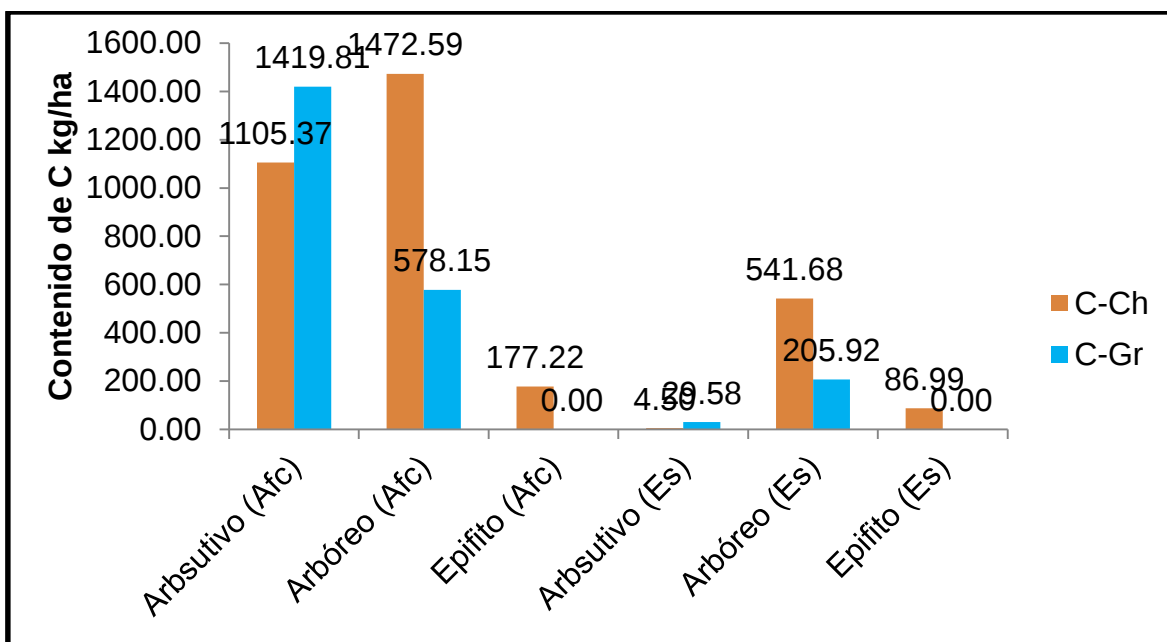


Figura 28. Contenido de C (kg/ha) aportado por la biomasa defoliada en cafetales bajo chalahuite y grevillea en Huatusco, Veracruz, México.

Los resultados obtenidos demuestran que el C almacenado fue mayor en el sistema C-Ch estrato arbóreo del área foliar del café, seguido por el estrato arbustivo en la misma área, mientras que menos C almacenado al suelo fue el estrato epifito del área entre surcos, sin dejar de mencionar que las epifitas juegan un papel importante en el carbono almacenado en vegetación. Estos valores fueron solo del material defoliado en 5 meses por lo que resulta inferior a los obtenidos por Gasparri y Manghi (2004); quienes en tres regiones ecológicas de Argentina hallaron un promedio de 72.16 t/ha de C en materia sobre el suelo (hojas, frutos, flores, etc.) durante un año, también estudios realizados en cuatro diferentes especies de árboles de zonas templadas en municipio de Peribán, Michoacán demostraron que los rodales compuestos por *Abies* son los que más C almacenan logrando retener hasta 25 304 t de C, mientras el género *Quercus* solo logra 6 379 t de C/año.

Por su parte Zamora (2003) en cafetales bajo *inga* en la Sierra Norte de Oaxaca, encontró valores promedios de almacenamiento de C en hoja de cafetales de 42.3%.

Los valores bajos, se deben principalmente a que el único componente evaluado fue la hojarasca y pequeñas fracciones de flores, ramas delgadas y frutos defoliados, también hay que considerar que el 77% de C presente en la vegetación se encuentra en la madera, mientras que el 23% restante está en frutos, ramas, hojas y corteza (Merino *et al.*, 2003).

Finalmente para el C en biomasa, el análisis estadístico demostró que en el área debajo de cafetos no existen diferencias significativas en el estrato arbustivo, mientras que en el arbóreo y epifito si lo hay; por su parte en el área entre surcos existen diferencias significativas en los tres estratos entre tratamientos (Cuadro 10).

Cuadro 9. ANOVA de concentración (kg/ha) de N total en biomasa vegetal producido en cafetales bajo chalahuite y grevilea en Huatusco, Veracruz, México.

Estrato	Fuente	G.L	suma de cuadrados	cuadros medios	F-Valor	Pr > F
Arbóreo	Tratamiento	1	1200052.3	1200052.3	10.01	0.0341
	Error	4	479644.39	119911.099		
	Total	5	1200052.3			
Arbustivo	Tratamiento	1	148311.91	148311.91	1.12	0.3497
	Error	4	529896.64	132474.16		
	Total	5	678208.56			
Epifito	Tratamiento	1	47110.393	47110.39	1.21	0.3324
	Error	4	155222.89	38805.72		
	Total	5				

	Total	5	202333.29			
Arbóreo	Tratamiento	1	169098.81	169098.81	146.51	0.0003
Es	Error	4	4616.79	1154.19		
	Total		173715.6			
Arbustivo	Tratamiento	1	942.75	942.75	16.41	0.0155
Es	Error	4	229.86	57.46		
	Total	5	1172.62			
Epifito	Tratamiento	1	11349.15	11349.15	1.57	0.278
Es	Error	4	28846.74	7211.68		
	Total	5	40195.89			

5.6 Nitrógeno y carbono en suelo

5.6.1 Nitrógeno total en suelo

El comportamiento de Nt en suelo no varió significativamente entre tratamientos en función del tiempo. El incremento de las concentraciones de Nt en profundidades 0.20 cm en el sistema C-Ch con respecto al C-Gr fue debido a las concentraciones aportadas por la defoliación, así mismo, coincidió con el argumento de León *et al.* (2006); quien asegura que en ecosistemas con mayor diversidad las variaciones de N aumentan.

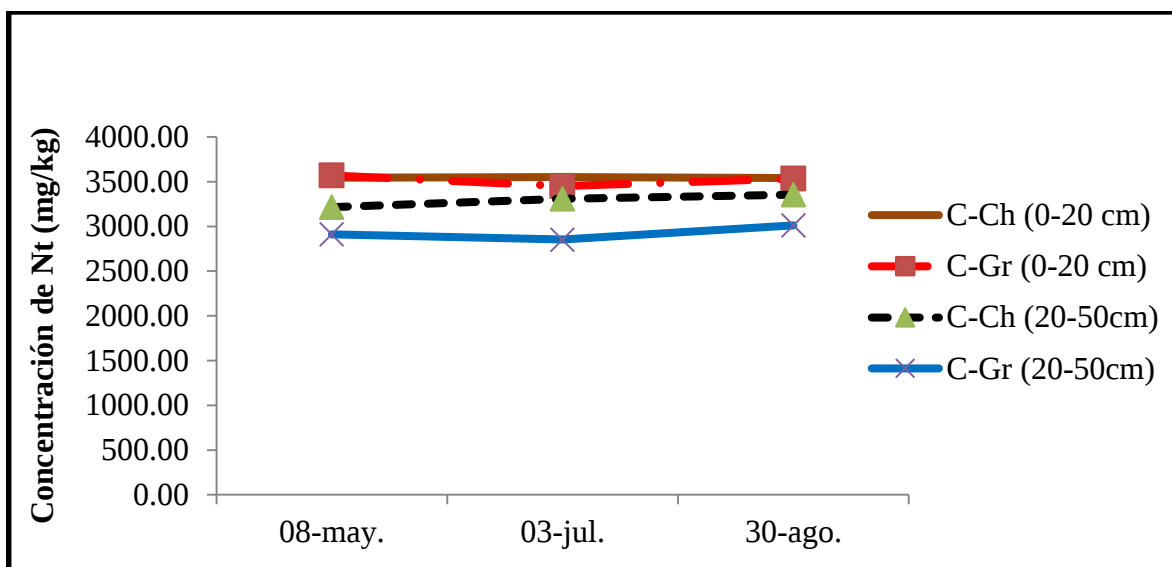


Figura 29. Comportamiento de la concentración de N total a profundidades de 0-20 cm y 20-50 cm bajo la cobertura de café-chalahuite y café-grevilea en diferentes tiempos en Huatusco, Veracruz, México.

Las concentraciones de N total que se obtuvieron en la investigación, demuestran que durante el transcurso del tiempo los valores de N se mantuvieron en las dos profundidades, sin embargo las mayores concentraciones se tuvieron en la profundidad 0-20 cm y fue debido a los diferentes aportes como fertilización a base de gentes nitrogenados, defoliación (ramas, frutos, semillas, Hojas, etc.) o inclusive aportes por la lluvia.

Las mayores concentraciones de N se tuvieron en profundidad de 0- 20 cm, Cuadro 20, disminuyendo hasta 200 mg/kg en la profundidad de 20-50 cm, esto coincide con Carbajal (2008), quien menciona que el almacenamiento de N son mayores en la parte superficial del suelo y tienden a disminuir con la profundidad; Por su parte Cardona y Sideghian (2005); encontraron en 8 diferentes agroecosistemas de café una variación de 0.20 a 0.70 % de N en cafetales bajo sombra y 0.18 a 0.88 % de N en cafetales sin sombra.

El análisis de varianza demostró que no existieron diferencias significativas de la concentración de N total en suelo a diferentes profundidades en tres diferentes tiempos entre los tratamientos estudiados (Cuadro 11).

Cuadro 11. ANOVA de concentración (mg/kg) de N total en suelo a dos profundidades bajo la cobertura de café-chalahuite y café-grevilea en diferentes tiempos en Huatusco, Veracruz, México.

Prof./Fecha	Fuente	G.L	suma de cuadrados	cuadros medios	F-Valor	Pr > F
0-20 cm 8-Mayo	Tratamiento	1	1039.1136	1039.1136	0.01	0.9256
	Error	4	420257.24	105064.31		
	Total	5	421296.36			
0-20 cm 7-Julio	Tratamiento	1	14571.11	14571.11	1.2	0.3357
	Error	4	48763.546	12190.886		
	Total	5	63334.656			
0-20 cm 31- Agosto	Tratamiento	1	47.04	47.04	0	0.9833
	Error	4	381400.32	95350.08		
	Total	5	381447.36			
20-50 cm 8-Mayo	Tratamiento	1	138186.59	138186.59	0.08	0.7893
	Error	4	6775235.2	1693808.8		
	Total		6913421.8			
20-50 cm 7-Julio	Tratamiento	1	312451.44	312451.44	1.1	0.3537
	Error	4	1137756.5	284439.12		

	Total	5	1450207.9			
20-50 cm	Tratamiento	1	177338.92	177338.92	4.45	0.1026
31- Agosto	Error	4	159446.78	39861.696		
	Total	5	336785.7			

5.6.2 Amonio en suelo

El amonio cuantificado en esta investigación mantiene un comportamiento similar en los sistemas (Figura 30).

El comportamiento de las concentraciones en función del tiempo, muestra que durante el inicio del periodo experimental se tuvo una cantidad que disminuyó hasta en 40 % para el segundo muestreo y aumentó en el tercer muestreo. Se asume que la disminución que se tuvo en ambas profundidades durante el segundo muestreo se debe a la lixiviación del NH_4^+ y su salida en la escorrentía. Por su parte el aumento en concentración es dado durante un periodo de canícula donde no existe presencia de lluvia, por lo tanto no hubo pérdidas sino ganancias debido a la acumulación de NH_4^+ por aporte de biomasa y descomposición de la materia orgánica.

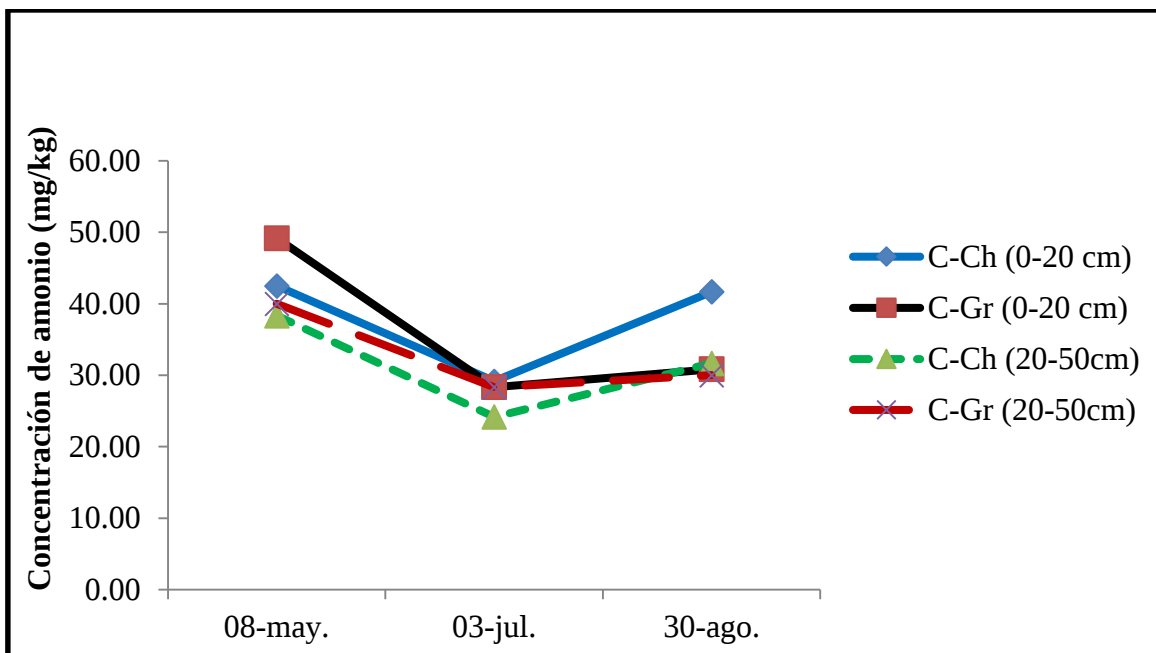


Figura 30. Comportamiento de la concentración de NH_4^+ a profundidades de 0-20 cm y 20-50cm bajo la cobertura de café-chalahuite y café-grevilea en diferentes tiempos en Huatusco, Veracruz, México.

Por su parte, los valores medios de las concentraciones de NH_4^+ , pueden apreciarse en el Cuadro 21; donde se observa que los valores son mayores a la profundidad 0-20 cm.

Las concentraciones de amonio obtenidos por Cardona y Sideghian (2005); van de 15.55 a 51.72 $\mu\text{g/g}$ en cafetales bajo sombra y a exposición solar 11.8 a 53.6 $\mu\text{g/g}$, los cuales se encuentran dentro de los rangos obtenidos. Por su parte Celaya (2010) menciona concentraciones de NH_4^+ en el suelo encontradas en sistema natural y sabana de zonas áridas valores de 2.41 y 7.06 $\mu\text{g/g}$ a profundidades de 0-10 cm.

El análisis de varianza demostró que no existieron diferencias significativas en la concentración de NH_4^+ en el suelo a diferentes profundidades en tres diferentes tiempos entre los tratamientos estudiados (Cuadro 12).

Cuadro 12. ANOVA de concentración (mg/kg) de NH_4^+ en suelo a dos profundidades bajo la cobertura de café-chalahuite y café-grevilea en diferentes tiempos en Huatusco, Veracruz, México.

Prof./Fecha	Fuente	G.L	suma de cuadrados	cuadros medios	F-Valor	Pr > F
0-20 cm 8-Mayo	Tratamiento	1	66.666667	66.666667	0.39	0.5649
	Error	4	679.16667	169.79167		
	Total	5	745.83333			
0-20 cm 7-Julio	Tratamiento	1	1.0416667	1.0416667	0.07	0.8025
	Error	4	58.333333	14.583333		
	Total	5	59.375			
0-20 cm 31- Agosto	Tratamiento	1	176.04167	176.04167	0.41	0.5585
	Error	4	1733.3333	433.33333		
	Total	5	433.33333			
20-50 cm 8-Mayo	Tratamiento	1	4.1666667	4.1666667	0.13	0.7376
	Error	4	129.16667	32.291667		
	Total		133.33333			
20-50 cm 7-Julio	Tratamiento	1	26.041667	26.041667	2.27	0.2062
	Error	4	45.833333	11.458333		

	Total	5	71.875			
20-50 cm	Tratamiento	1	4.1666667	4.1666667	0.16	0.7096
31- Agosto	Error	4	104.16667	26.041667		
	Total	5	108.33333			

5.6.3 Nitrato en suelo

El comportamiento durante el tiempo de las concentraciones es parecido al amonio, donde muestra una disminución de la concentración del primer al segundo muestreo y un incremento en el tercero (Figura 31).

Igual que lo sucedido en el amonio en el nitrato; se asume que la disminución que se tuvo en ambas profundidades durante el segundo muestreo se debe a la lixiviación del NO_3^- y la escorrentía. Por su parte el aumento en concentración fue dado durante un periodo de canícula donde no existe presencia de lluvia, por lo tanto no habrá pérdidas sino ganancias debido a la acumulación de NO_3^- por aporte de biomasa y descomposición de la materia orgánica.

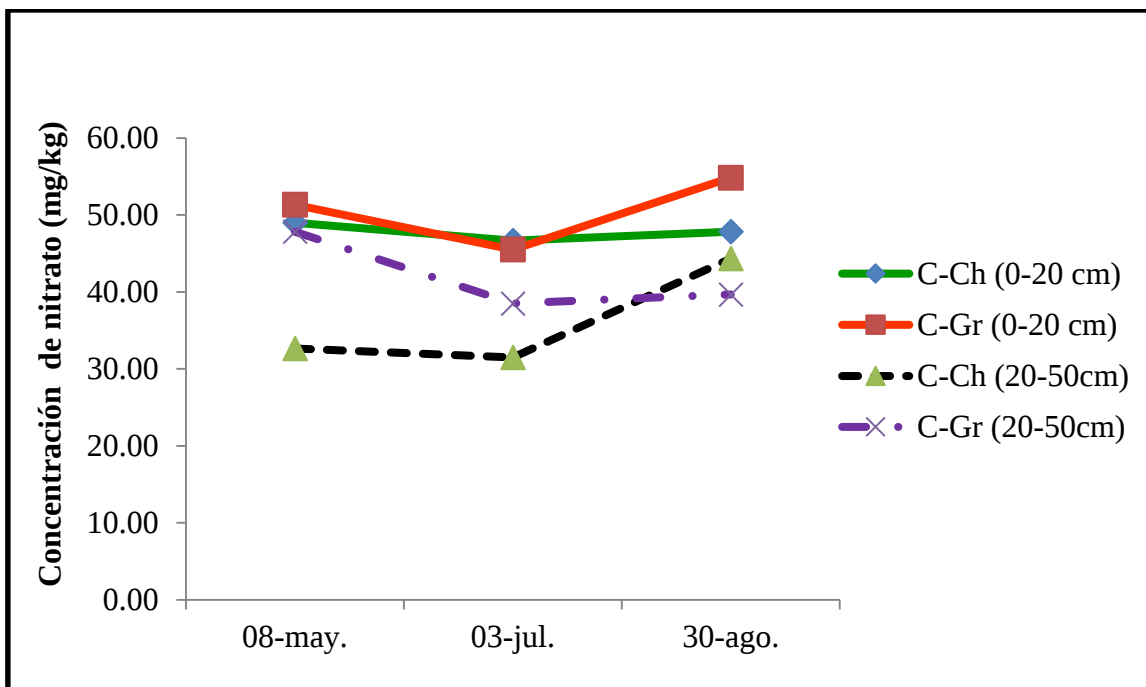


Figura 31. Comportamiento de la concentración de NO_3^- en el suelo a las profundidades de 0.20 cm y 20-50 cm bajo la cobertura de café-chalahuite y café-grevilea en diferentes tiempos en Huatusco, Veracruz, México.

Los valores medio de las concentraciones de NO_3^- se presentan en el Cuadro 22, donde los mayores valores se encuentran en los primeros 20 cm de profundidad del suelo. Así mismo, los valores obtenidos resultan inferiores a los citados por Cardona y Sadeghian (2005), quienes reportan valores de 14.68 a 269.12 $\mu\text{g/g}$ de NO_3^- en cafetales bajo sombra y rangos de 9.53 a 279.06 $\mu\text{g/g}$ en cafetales a exposición solar, a su vez Cristóbal (2007), reporta valores parecidos a los encontrados en esta investigación en rangos de 0 a 120 cm de profundidad.

Por su parte Celaya (2010); encontró en ecosistema natural de zonas áridas y sabana valores de NO_3^- de 6.12 y 3.76 $\mu\text{g/g}$ a 0-10 cm de profundidad.

El análisis de varianza mostró que no existieron diferencias significativas ($p > 0.05$) de las concentraciones de nitrato en suelo de 0-20 cm en los tres diferentes tiempos, mientras que en 20-50 cm no hubo diferencias significativas en los muestreos 2 y 3, sin embargo en la profundidad de 20-50 cm del primer muestreo donde si existió diferencia significativa, ($p < 0.05$) Cuadro 13.

Cuadro 13. ANOVA de concentración (mg/kg) de NO₃⁻ en suelo a dos profundidades bajo la cobertura de café-chalahuite y café-grevilea en diferentes tiempos en Huatusco, Veracruz, México.

Prof./Fecha	Fuente	G.L	suma de cuadrados	cuadros medios	F-Valor	Pr > F
0-20 cm 8-Mayo	Tratamiento	1	8.1666667	8.1666667	0.04	0.8466
	Error	4	767.66667	191.91667		
	Total	5	775.83333			
0-20 cm 7-Julio	Tratamiento	1	2.0416667	2.0416667	0.01	0.9262
	Error	4	841.16667	210.29167		
	Total	5	843.20833			
0-20 cm 31- Agosto	Tratamiento	1	73.5	73.5	2.12	0.2193
	Error	4	138.83333	34.708333		
	Total	5	212.33333			
20-50 cm 8-Mayo	Tratamiento	1	345.04167	345.04167	12.07	0.0255
	Error	4	114.33333	28.583333		
	Total		459.375			
20-50 cm 7-Julio	Tratamiento	1	73.5	73.5	0.92	0.3911
	Error	4	318.5	79.625		

	Total	5	392			
20-50 cm	Tratamiento	1	32.666667	32.666667	0.22	0.6661
31- Agosto	Error	4	604.33333	151.08333		
	Total	5	637			

5.6.4 Carbono en suelo

Las concentraciones de Carbono Orgánico en Suelo (COS) (%), tuvieron un comportamiento semejante entre los sistemas, sin embargo varío en la profundidad pues en se tuvo mayores cantidades de C en la profundidad 0-20 cm y se asume a la presencia de una gran cantidad de MO esa profundidad (Figura 32).

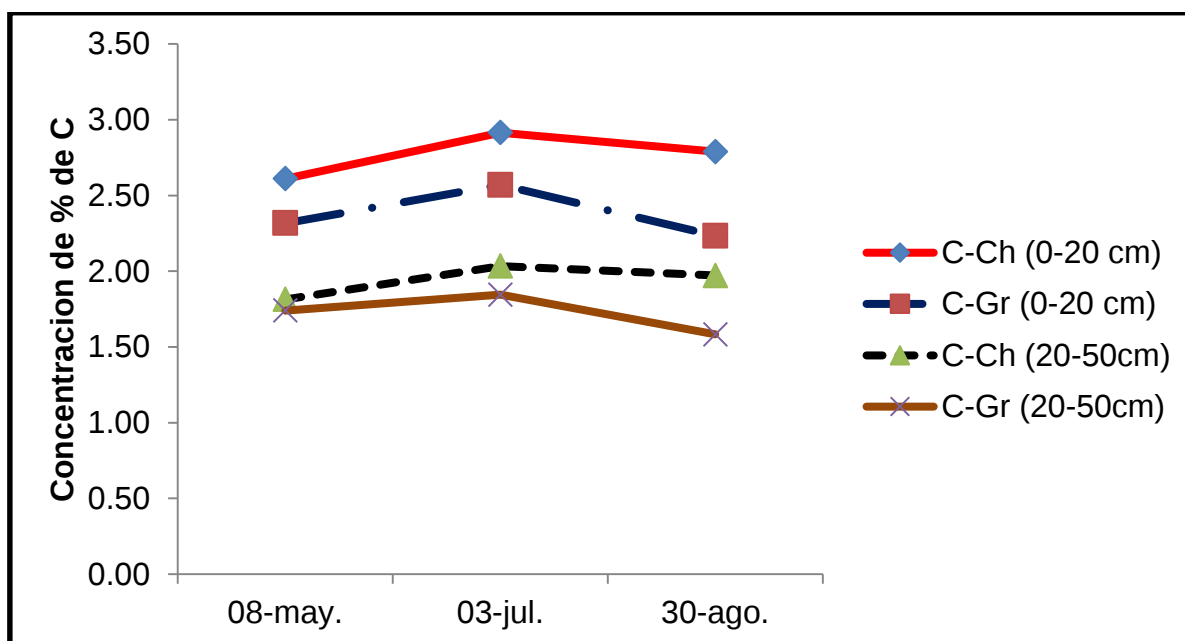


Figura 32. Comportamiento de la concentración de C almacenado en suelo a las profundidades de 0-20 cm y 20-50 cm bajo la cobertura de café-chalahuite y café-grevilea en diferentes tiempos en Huatusco, Veracruz, México.

El carbono almacenado en los suelos forestales representa el 36 por ciento del total del carbono del suelo a un metro de profundidad (1 500 Pg), (Robert, 2002).

Los resultados promedios de la concentración de C, obtenidos resultan dentro del rango citado por Ruiz (2012) quien obtuvo en el ejido “El Conejo”, Veracruz; valores de contenidos de C que van de 2.4796 a 9.8081 % en 11 agroecosistemas, (los valores de C obtenidos oscilan de 1.5 a 3.0 %); por otro lado son superiores a los reportados por González y Cándas (2004) quienes encontraron en bosque de *Quercus* de Segovia, España, valores de 72,7 g/kg de C en una profundidad 0-2 cm y 17.2 g/kg de C a 2-20.

Por su parte estudio realizado por Ibrahim *et al* (2007); encontró a 1 m de profundidad en distintos usos de la tierra en Valle del Cauca y Quindío, Colombia valores de 52.43-81.72 kg/ha de C en 4 usos de suelo; Esparza, Costa Rica 21.66 a 143 kg/ha de C y Matiguás, Nicaragua 63.06 a 139.17 kg/ha de C en 7 usos de suelo respectivamente, lo que resulta inferior a los obtenidos.

Finalmente, el análisis de varianza mostró que no existieron diferencias significativas de la concentración de carbono en dos profundidades a tres diferentes tiempos entre los tratamientos estudiados con excepción de muestreo con fecha 31 de agosto a la profundidad 20-50 cm que si tuvo diferencias significativas (Cuadro 14)

Cuadro 14. ANOVA de concentración (mg/kg) de C en suelo a dos profundidades bajo la cobertura de café-chalahuite y café-grevilea en diferentes tiempos en Huatusco, Veracruz, México.

Prof./Fecha	Fuente	G.L	suma de cuadrados	de cuadros medios	F-Valor	Pr > F
0-20 cm 8-Mayo	Tratamiento	1	0.12936017	0.12936017	0.85	0.4100
	Error	4	0.61229867	0.15307467		
	Total	5	0.7416588			
0-20 cm	Tratamiento	1	0.17992017	0.17992017	1.65	0.2684

7-Julio	Error	4	0.4363186	0.10907967		
	Total	5	0.61623883			
0-20 cm	Tratamiento	1	0.17957400	0.17957400	3.00	0.3333
31- Agosto	Error	4	0.05985800	0.05985800		
	Total	5	0.2394320			
20-50 cm	Tratamiento	1	0.00806667	0.00806667	0.35	0.5862
8-Mayo	Error	4	0.09231667	0.02307917		
	Total		0.10038333			
20-50 cm	Tratamiento	1	0.05358150	0.05358150	3.13	0.1517
7-Julio	Error	4	0.06852333	0.01713083		
	Total	5	0.12210483			
20-50 cm	Tratamiento	1	0.22581600	0.22581600	14.80	0.0184
31- Agosto	Error	4	0.06104733	0.01526183		
	Total	5	0.28686333			

6 CONCLUSIONES

El sistema más eficiente en cuanto a protección del suelo contra la erosión hídrica fue el sistema Café-Chalahuite.

Las entradas de N en forma de amonio y nitratos con el agua de precipitación fueron diferentes en cada sistema iniciando con altas concentraciones y disminuyendo con el tiempo debido a un proceso de lavado atmosférico. Las cantidades de N en forma de nitratos y amonio que entraron con la precipitación fueron mayores en comparación con las cantidades que salieron con la escorrentía

El sistema más eficiente en cuanto a las cantidades de biomasa defoliada y N y C aportado al suelo fue el sistema Café-Chalahuite

Los contenidos de amonio y nitrato en el suelo a dos profundidades no variaron significativamente en el tiempo, aunque disminuyeron en la etapa intermedia del experimento originado por la lixiviación y escorrentía.

El N y C en el suelo no varió significativamente en el tiempo y el comportamiento fue similar entre las profundidades.

7 LITERATURA CITADA

- Alexander R. J. J Y C. Camargo G. 2008. Erosión y Escorrentía: indicadores de respuesta temprana del suelo a distintas coberturas en la zona cafetera de Colombia. Recursos Naturales y Ambiente 58: 25 y 31.
- Álvarez S. J. 2001. Descomposición y Ciclo de Nutrientes en Ecosistemas Terrestres de México. Zool. Mex. 1: 13-14.
- Andrade G. C., H. D. Da Silva., C. A. Ferreira., A. F.J. Bellote y L. Moro. 1995. Contribución del agua de lluvia en la oferta de nutrientes minerales para *Eucalyptus grandis*. BOSQUE 16 (1): 47-51.
- Aranguren J., Escalante, G y R Herrera. 1982. Nitrogen cycle of tropical perennial crops under shade trees. Coffee, Plant and Soil 67: 247-258.
- Arellano G. R. 2000. Pérdida de suelo y nutrientes en agroecosistemas de café en la subcuenca del río Castán, Trujillo-Venezuela. Forestal Venezuela 44(2): 79-86.
- Arriechi G., Contreras. J y L. Marcano. 2011. Evaluación del proceso de desnitrificación en el módulo 4 de la planta de tratamiento de aguas residuales La Mariposa 1. INGENIERÍA UC 18 (3): 74-85
- Bamaca F. E. E. 2002. Dinámica del Carbono en los Residuos Forestales Producidos Durante el Aprovechamiento y el Aserrío en la Reserva de Biosfera "Maya", Petén Guatemala. Tesis de maestría. CATIE. Turrialba, Costa Rica. 5p.
- Bautista Z. F. 1999. Introducción al estudio de la contaminación del suelo por metales pesados. Universidad Autónoma de Yucatán, Mérida, Yucatán, México.

- Beer J. 1988. Litterproduction and nutrient cycling in coffee (*Coffea arabica*) and cacao (*Theobroma cacao*) plantations with shade trees, Revista: Agroforestry Systems 7(2), Pp: 103-114.
- Bermúdez C. F., E. G. Ibáñez y C. Mateus. 1996. Fenología, desfronde y descomposición de la hojarasca de leguminosas arbustivas en la sierra de Guadarrama. Tomo especial 124 aniversario de RSEHN. Madrid. 340-342p.
- Bermúdez M. M. M. 1980. Erosión hídrica y escorrentía superficial de café (*Coffea arabica*), poro (*Erythrina poeppigiana*) y laurel (*Cordia alliodora*) en Turrialba, Costa Rica. Tesis de Maestría. Universidad de Costa Rica y Centro agronómico tropical de investigación y enseñanza. Turrialba, Costa Rica, 2-9 p.
- Budowsky G. 1993. Agroforestería: Una disciplina basada en el conocimiento tradicional, Forestal Centroamericana 1: 14-18p.
- Cañellas R de V. I y A. San Miguel. A. 1993. Desfronde y Aporte de Minerales al suelo en Matorrales de Coscoja (*Quercus coccifera* L.) de Valencia. Dpto. Sistemas Forestales. CIT-INIA. Madrid, España.
- Cardona C. D. A y S. Sadeghian. K., 2005. Ciclo de nutrientes y actividad microbiana en cafetales a libre exposición solar y con sombrero de *Inga* spp. Cenicafé 56(2): 127-141.
- Cardona C. D. A., S. Sadeghian. K., 2005. Evaluación de propiedades físicas y químicas de suelo establecidos en café bajo sombra y plena exposición solar. CENIAFÉ 56 (4):
- Carvajal V. A. F. 2008. Relación del carbono y nitrógeno del suelo con el uso de coberturas del terreno en Alcalá, Valle de Cauca. Tesis maestría. Universidad Tecnológica de Pereira. Pereira, Colombia. 35-37p.
- Casas R. R., R. C. Gil., C. B. Irurtia., R. O. Michelena., R. Mon., E. E. Noailles. B., A. Da Veiga y R. M. Di Giacomo. 2008. El suelo y su Conservación, Instituto

- Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). Buenos Aires, Argentina, 12-13p.
- CATIE. 1986, Sistemas agroforestales. Principios y aplicaciones en los trópicos. San José Costa rica. 818p.
- Celaya M. H. 2010. Cambios en la diversidad funcional de la vegetación en la región centro de Sonora y su efecto en la dinámica de nitrógeno y respiración del suelo. Tesis Maestría. Universidad de Sonora. Posgrado en biociencias. Sonora, México. 38-39 p.
- CICEANA. 2014. Ciclo del Nitrógeno, Centro de Información y Comunicación Ambiental de Norte América. A. C, Tels: 56-59-60-24, Disponible en: www.ciceana.org.mx
- CONTRADROGAS. 2002. Estudio integral del proceso de degradación del suelo, uso actual y potencial, y plan de manejo y conservación para la producción sostenible en la zona de palmapampa, valle del rio apurimac. Lima, Perú, 32-45p.
- Coyne M. 2000. Microbiología del Suelo: un enfoque exploratorio. Ed. Paraninfo. Capítulo 22. 64p.
- Domínguez M., C. 2006, Aporte y descomposición de hojarasca en tres agroecosistemas de café (*Coffea arabica*) con sombra en la región central de Veracruz. Tesis Licenciatura, Universidad Autónoma Chapingo, Centro Regional Universitario de Oriente, Pp: 34-37.
- Estrada B. M. A., I. Nikolskii. G., F. Gavi. R., J. D. Etchevers. B., y O. L. Palacios. V. 2005. Balance de nitrógeno inorgánico en una parcela con drenaje subterráneo en el trópico húmedo. *Terra* 20 (2): 189-198.
- Figueroa N. C., J. D. Etchevers. B., M. A Velázquez yM. M. Acosta. 2005. Concentración de carbono en diferentes tipos de vegetación de la Sierra Norte de Oaxaca. *TERRA Latinoamericana*, 23 (1): 57-64

- Figueroa S. B., A. Amante O., G. H. Cortés T., J. Pimentel, L., E. S. Osuna C., J. M. Rodríguez O. y F. J. Morales F. 1991. Manual de Predicción de Pérdidas de Suelos por Erosión. Colegio de Postgraduados. SARH. México. 150 p.
- Flores G, N y B, Visoso T; 2013, Dinámica de carbono en un suelo salino-alcálico sometido a un proceso de fumigación con cloroformo, Universidad Autónoma de Guerrero, Pp: 2.
- Flores L. H. E., R. Carrillo. G., N. Francisco. N., C. Hidalgo. M., J. A. Ruíz. C., A. A. Casteñeda. V., y R. Velazco. N. 2009. Aportes de nitrógeno y fósforo de tres sistemas agrícolas de la cuenca hidrográfica "el jihuete", en Jalisco, México. *Agrociencia* 43: 659-669.
- García F. L. V., C. Aponte. P., A. Pozuelos. R., E. Gutiérrez. G., M. C. Florido. F., I. M. Pérez. R y T. Marañón. A. 2008. Relación entre la Composición de las Hojas, Desfronde, Hojarasca y suelo en un Bosque Mixto de *Quercus suber* L. Y *Q. Canariensis* Willd. *Sociedad Española de Ciencias Forestales* 25: 201-207
- Garzón S. H. 1991. Evaluación de la erosión hídrica y la escorrentía superficial bajo sistemas agroforestales en tierras de ladera, Turrialba, Costa Rica. Tesis de Maestría. Centro Agronómico de Investigación y Enseñanza. Turrialba, Costa Rica. 21-22p.
- Gasparri I y E. Manghi. 2004. Estimación de volumen, biomasa y contenido de carbono de las regiones forestales argentinas. Informe: Unidad de Manejo del Sistema de Evaluación Forestal. 1-26p
- Giambiagi N., Rimolo. M y V. Bianchi. 1990. Desnitrificación en suelo molisoles de la pradera Pampeana. *Ciencia del Suelo* 8 (2): 161-166.
- Guerrero C. A. C. 2006. Dinámica de carbono y nitrógeno en suelos bajo labranza de conservación y labranza convencional en Tolcayuca, Hidalgo. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, 3p.

- Huerta C. H. E. 2010. Determinación de propiedades físicas y químicas de suelos con mercurio en la región de San Joaquín, Qro., y su relación con el crecimiento bacteriano. Tesis licenciatura. Universidad Autónoma de Querétaro, Querétaro, México. 6-7p.
- Ibarra C. D., Ruiz. C. J. A., Flores. G. J. G y D. R González. E. 2007. Distribución espacial del contenido de materia orgánica de los suelos agrícolas de Zapopan, Jalisco. *TERRA Latinoamericana* 26 (2): 187-194.
- Ibrahim M., M. Chacón., C. Cuartas., J. Naranjo., G. Ponce., P. Vega., F. Casasola y J. Rojas. 2007. Almacenamiento de carbono en el suelo y la biomasa arbórea en sistemas de usos de la tierra en paisajes ganaderos de Colombia, Costa Rica y Nicaragua. *Agroforestería en las Américas* 45: 27-36.
- Jaramillo J. D. F. 2002. Introducción a la ciencia del suelo. Ed. Universidad Nacional de Colombia. Medellín Colombia. 148-157. 255-261, 389-395p.
- Jaramillo R. A. 2003. La lluvia y el transporte de nutrimentos dentro de ecosistema de bosque y cafetales. *Cenicafé* 54 (2): 134-144.
- Krishnamrty L y M. Ávila. 1999. *Agroforestería Básica*. PNUMA-FAO, México, D.F. 24-28p.
- Leal V. L. A., A. Salamanca. J y S. Sadeghian. K. 2007. Pérdidas de nitrógeno por volatilización en cafetales en etapa productiva. *Cenicafé* 58 (3): 216-226.
- López T. G. 1999. *Sistemas agroforestales*. SAGARPA. Subsecretaria de Desarrollo Rural. 2-8p.
- Maldonado H. A. 2001. Evaluación del proceso de erosión hídrica, en la microcuenca de captación de la presa "La estrella", en el municipio de Llares, Nuevo León. Tesis de Maestrea. Universidad Autónoma de Nuevo León. Monterrey, México. 3-41p.

- Martínez E. R. M. 2003. Fisiología de la asimilación de nitrógeno en “*Haloferax mediterranei*”. Purificación y caracterización de Nitrato y Nitrito reductasas asimilativas. Tesis doctorado. Universidad de Alicante. Alicante, España, 10-20p.
- Mendieta L. M y L. R. Rocha. M. 2007. Sistemas agroforestales. Universidad Nacional Agraria. Managua, Nicaragua, 26-31p.
- Merino A. C. Reyes., J. Brañas y R. Rodríguez. S. 2003. Biomasa arbórea y acumulación de nutrientes en plantaciones de *Pinus radiata* D. Don en Galicia. Investigación Agraria: Sistema Recursos Forestales 12 (2): 85-98
- Meza S. R. 2003. Importancia y prácticas de sistemas agroforestales. INIFAP. Centro de investigación regional del noroeste. Folleto no. 2. La Paz, B.C.S.
- Mora R. S. G., Gavi. R. F., Peña C. J. J., Pérez. M. J., Tijerina. Ch. L., y H. Vaquera. H. 2007. Desnitrificación de un fertilizante de lenta liberación y urea+fosfatomonoamónico aplicados a trigo irrigado con agua residual o de pozo. Internacional de Contaminación Ambiental 23 (1): 25-33.
- Musálem M. A. 2002. Sistemas Agrosilvopastoriles: una alternativa de desarrollo rural sustentable para el trópico mexicano, Chapingo. Serie Ciencias forestales y del ambiente 8(2): 91-100.
- Navia E. J. F., J. M. Restrepo. M., D. E. Villada. Z., y P. A. Ojeda. P. 2003. Agroforestería: Opción Tecnológica para el Manejo de suelos en Zonas de Laderas. FIDAR. Valle del Cauca, Colombia. 15-22p.
- Oliva M., A. Caritat y M. Molinas. 1992. Variación estacional del desfronde en dos parcelas de alcornocal. *SCIENTIA gemndensis* 18: 121-130.
- Orellana R. G., M. L. Sandoval. S., G. Linares. F., N. E. García. C y J. V. Tamariz. F. 2012. Descripción de la Dinámica de Carbono en Suelos Forestales Mediante un Modelo de Reservorios. AVANCES EN CIENCIAS E INGENIERÍA 3(1): 125.

- Pacheco A. J., Pat. C. R y A Cabrera. S. 2002. Análisis del ciclo del nitrógeno en el medio ambiente con relación al agua subterránea y su efecto en los seres vivos. Ingeniería-UADY 6(3): 73-81
- Paparotti O., R. Melchiori. 2002. Pérdidas de agua, nitrógeno y fósforo en el cultivo de trigo, en parcelas de escurrimiento bajo lluvia natural, Paraná – Entre Ríos, Argentina, 1-12p. Correo: opaparotti@parana.inta.gov.ar
- Pérez N. J., E. Valdés. V., M. E. Hernández S. R y Ch Ordaz. 2005. Lluvia, Escurrimiento Superficial y Erosión del Suelo en Sistemas Agroforestales de Café Bajo Sombra. Agrociencia 39: 409-418.
- Pérez N. J., E., Valdés. M y Ch Ordaz. 2012. Cobertura vegetal y erosión del suelo en sistemas agroforestales de café bajo sombra, Terra Latinoamericana, 30 (3): 249-259.
- Porter E. Tonnessen. K., Sherwell. J y R Grant. 2000. El Nitrógeno en la Lluvia Nacional, NATIONAL ATMOSPHERIC DEPOSITION PROGRAM (NADP). Follett NADP 2000-01d. NADP Program Office Illinois State Water Survey. 1-3p.
- Potter C. S., H. L. Ragsdale y W.T. Swnk. 1991. Atmospheric deposition and foliar leaching in a regenerating southern appalachian forest canopy, Journal of Ecology79: 97-115.
- Pozuelos R. A. 2007. Caracterización química de las hojas, desfronde y Suelo subyacente en una parcela experimental de Alcornocal-quejigar del parque natural de los Alcornocales (la saucedá, Málaga), Tesis Licenciatura, universidad de Sevilla, 67-70p.
- PPI.PPIC y FAR., 1988. Soil fertilltv Manual, Capitulo 3 Nitrogen, Potash & phosphate instltute, Potash & phosphate institute of Canada. Foundatlonforagronomicresearch. 28p.

- Robert M. 2002. Captura de carbono en los suelos para un mejor manejo de la tierra, Institutnational de recherche agronomique Informe FAO. Informes sobre recursos mundiales de suelos. París, Francia. 6-40p.
- Romanyà J.,P. Rovira y R. Vallejo. 2007. Análisis del carbono en los suelos agrícolas de España. Aspectos relevantes en relación a la reconversión a la agricultura ecológica en el ámbito mediterráneo, Ecosistemas, 16 (1): 50-57.
- Romero L. S. A. 2006. Aporte de biomasa y reciclaje de nutrientes en seis sistemas agroforestales de café (*Coffea arabica* var. Caturra), con tres niveles de manejo. Tesis de maestría. CATIE. Turrialba, Costa Rica. 95p.
- Ruiz L. A. 2012. Cambios del uso del suelo y su efecto en el contenido químico de m.o., c/n y c/p, en el ejido “el conejo”, perote, Veracruz. Tesis Licenciatura. Universidad Veracruzana. 13-29p.
- Sáenz R. J. T., J. Jiménez. O., M. Gallardo. V., F. J. Villaseñor. Ramírez y M. Bravo. E. 2002. Sistemas agroforestales: una alternativa para la reconversión de suelos forestales en cuencas hidrológicas. URUAPAN-CIRPAC- INIFAP. Uruapan. Michoacán, México. 84-87p.
- Sánchez P. A. 1987. Soil productivity and sustainability in Agroforestry, en: agroforestería para el ecodesarrollo, Curso internacional de entrenamiento 2010, UACH-PNUMA-CONAFOR. Universidad Autónoma Chapingo, México. 123-134p.
- Sánchez P. A y C. A. Palm. 2012. Reciclaje de nutrientes y agrosilvicultura en África. FAO –ICRAF. Nairobi, Kenya. 46-78p.
- SOCO. 2009. Pérdida de materia orgánica, sustaintable agricultura an soil conservation. Ficha informativa No. 3, Agricultura sostenible y conservación de los suelos, Procesos de degradación del suelo, Disponibles en: <http://soco.jrc.ec.europa.eu>.

- SEDERE. 2012. Actualización del programa de ordenamiento urbano del centro de población de Huatusco, Ver. Secretaría de Desarrollo Regional, Gobierno de Veracruz. 38-42p.
- SEFIPLAN. 2013. Sistema de Información Municipal, Cuadernillos municipales, 2013: Huatusco. Secretaria de Planeación. 1p.
- SEMARNAT. 2009. El medio Ambiente en México (Resumen 2009). Febrero 2013, http://app1.semarnat.gob.mx/dgeia/resumen_2009/index.html
- Torquebiau E. 1990. Conceptos de agroforestería: una introducción, ICRAF, en: agroforestería para el ecodesarrollo, Curso internacional de entrenamiento 2010. UACH-PNUMA-CONAFOR. Volumen .18-69p.
- Torres R. D., A. Florentino y M. López., 2007. Pérdidas de suelo y nitrógeno por escorrentía en un ultisol degradado bajo diferentes condiciones de cobertura vegetal en Chaguaramas-Guárico. *Agronomía Tropical* 55 (4): 475-496.
- Turrent F. A., Francisco. N. N., Uribe. G. S. 2002. Pérdida de suelos y nutrimentos en un entisol con prácticas de conservación en los Tuxtlas, Veracruz México. *Agrociencia* 36 (2): 161-168.
- Volke S. T., Velasco. T. J. A y D.A. De la Rosa. P. 2005. Suelos Contaminados por metales y metaloides: muestreo y alternativas para su remediación. Secretaria de Medio ambiente y Recursos Naturales. Instituto Nacional de Ecología 19-31p.
- Wischmeier W. H y D. Smith. 1958. Evaluation Of Factors in the soil equations. *AgriculturalEngineering* 39: 458-462.
- Yépez P. C., J. W. Estrada B-W., V. Pérez. G y M, A, Músalem. 2006. Evaluación de la sustentabilidad de cafetales orgánicos mediante el balance nutrimental en la Unión, de Majomut, Chiapas, México. *Chapingo, Serie Ciencias Forestales* 7(2): 67-91.

Zamora C. J. C. 2003. Estimación del contenido de carbono en biomasa aérea en el bosque de pino del ejido “la majada” municipio de Periban de Ramos, Michoacán. Tesis Licenciatura. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. 27-35p.

8 ANEXOS

Cuadro 15. Precipitación diaria y mensual (mm) registrada durante el periodo experimental.

Fecha de toma de datos	C-Ch		C-Gr		Fecha de toma de datos	C-Ch		C-Gr	
	D*	M**	D*	M**		D*	M**	D*	M**
28-abr	0	2.82	0		01-jul	0.63	89.12	0.75	106.79
29-abr	2.21		2.1	2.79	02-jul	0		0	
30-abr	0.61		0.69		03-jul	7.36		9.58	
01-may	12.1	61.14	13.8	73.67	04-jul	2.1		2.42	
02-may	1.58		2.04		05-jul	8.83		11.3	
03-may	1.68		2.26		06-jul	0.42		0.59	
04-may	0		0		07-jul	9.67		11.35	
05-may	0		0		08-jul	11.06		13.93	
06-may	0		0		09-jul	0		0	
07-may	0		0		10-jul	0		0	
08-may	0		0		11-jul	0		0	
09-may	3.68		4.22		12-jul	1.16		1.34	
10-may	0		0		13-jul	2.31		3.12	
11-may	2.21		1.83		14-jul	0		0	
12-may	4.1		4.41		15-jul	20.4		26.36	
13-may	0		0		16-jul	0		0	
14-may	2.05		2.58		17-jul	2.31		2.8	
15-may	0		0		18-jul	0		0	
16-may	0		0		19-jul	0		0	
17-may	0		0		20-jul	0		0	
18-may	0		0		21-jul	0		0	
19-may	0		0		22-jul	0		0	
20-may	0		0		23-jul	0		0	
21-may	2.1		2.26		24-jul	0.32		0.38	
22-may	1.68		1.29		25-jul	0		0	
23-may	0		0		26-jul	0		0	
24-may	0		0		27-jul	0		0	
25-may	0		0		28-jul	7.57		8.72	
26-may	12.7		14.2		29-jul	6.15		5.92	
27-may	2.21		3.12		30-jul	8.83		8.23	
28-may	0.32		0.54		31-jul	0		0	
29-may	0		0		01-ago	0	57.03	0	68.26

30-may	4		5.27		02-ago	0	0
31-may	10.7		15.8		03-ago	7.25	8.93
01-jun	6.2	97.27	7.85	118.27	04-ago	1.68	1.99
02-jun	1.47		1.72		05-ago	0	0
03-jun	4.94		7.53		06-ago	1.37	1.18
04-jun	0		0		07-ago	9.88	12.27
05-jun	1.58		2.04		08-ago	1.52	2.58
06-jun	12.1		14.4		09-ago	0	0
07-jun	7.57		9.81		10-ago	0	0
08-jun	5.78		7.75		11-ago	1.47	2.04
09-jun	3.26		3.87		12-ago	8.73	9.68
10-jun	0.58		0.43		13-ago	9.25	10.97
11-jun	8.31		8.88		14-ago	1.47	1.72
12-jun	4.94		6.03		15-ago	0	0
13-jun	0		0		16-ago	0	0
14-jun	0		0		17-ago	0	0
15-jun	0		0		18-ago	2.42	3.44
16-jun	0		0		19-ago	0	0
17-jun	0		0		20-ago	0.32	0.22
18-jun	3.26		4.09		21-ago	3.36	4.2
19-jun	0		0		22-ago	1.47	1.18
20-jun	8.36		9.68		23-ago	0.32	0.22
21-jun	9.78		11.6		24-ago	0.63	0.86
22-jun	0		0		25-ago	0	0
23-jun	6.31		7.59		26-ago	0.53	0.43
24-jun	2		2.26		27-ago	0	0
25-jun	0.32		0.43		28-ago	0	0
26-jun	0		0		29-ago	0	0
27-jun	4.42		4.63		30-ago	4.1	4.84
28-jun	0		0		31-ago	1.26	1.51
29-jun	0.74		0.7		Promedio	307.38	369.78
30-jun	5.36		6.94				

*Diario

**Mensual

Cuadro 16. Pérdida de suelo mensual (kg/ha) durante el periodo experimental.

Pérdida de suelo (kg/ha)		
Mes	Tratamiento C-Ch	Tratamiento C-G
Abril	31.31	29.94
Mayo	24.28	45.39
Junio	20.68	33.80
Julio	33.37	103.93
Agosto	21.81	44.05
Total	131.45	257.10

Cuadro 17. Defoliación ton/ha) durante periodo experimental.

Producción de biomasa defoliada (hg/ha) en sitio de estudio				
Estrato	Área de copa de cafetos		Entre surcos	
	C-Ch	C-Gr	C-Ch	C-Gr
Arbustivo	2210.74	2839.63	9.00	59.15
Arbóreo	2945.19	1156.30	1083.35	411.85
Epífito	354.44	0.00	173.97	0
Total	5510.37	3995.93	1266.33	471.00

Cuadro 18. Contenido de N y C (kg/ha) en material defoliado por estratos en área foliar debajo de café y entre surcos.

Estrato	N en Área de copa de cafetos		N en Entresurcos		C en Área de copa de cafetos		C en Entre surcos	
	C-Ch	C-Gr	C-Ch	C-Gr	C-Ch	C-Gr	C-Ch	C-Gr
Arbustivo	82.93	74.25	0.00	2.26	1105.37	1419.81	4.50	29.58
Arbóreo	78.00	13.64	44.41	7.03	1472.59	578.15	541.68	205.92
Epífito	0.00	0.00	0.00	0.00	177.22	0.00	86.99	0.00
Total	160.93	87.89	44.41	9.29	2755.19	1997.96	633.16	235.50

Cuadro 19. Contenido de Nt en suelo a dos profundidades en el sitio de estudio.

Contenido (mg/kg) de N total en suelo a dos profundidades en tres tiempos						
Profundidad	Tratamiento C-Ch			Tratamiento C-Gr		
	08-may	03-jul	30-ago	08-may	03-jul	30-ago
0-20cm	3543.68	3550.40	3539.20	3570.00	3451.84	3533.60
20-50cm	3215.52	3309.60	3355.52	2912.00	2853.20	3011.68

Cuadro 20. Contenido de NH_4^+ en suelo a dos profundidades en el sitio de estudio.

Contenido (mg/kg) de NH_4^+ en suelo a dos profundidades en tres tiempos						
Profundidad	Tratamiento C-Ch			Tratamiento C-Gr		
	08-may	03-jul	30-ago	08-may	03-jul	30-ago
0-20cm	42.50	29.17	41.67	49.17	28.33	30.83
20-50cm	38.33	24.17	31.67	40.00	28.33	30.00

Cuadro 21. Contenido de NO_3^- en suelo a dos profundidades en el sitio de estudio.

Contenido (mg/kg) de NO_3^- en suelo a dos profundidades en tres tiempos						
Profundidad	C-Ch (0-20 cm)			C-Gr (0-20 cm)		
	08-may	03-jul	30-ago	08-may	03-jul	30-ago
C-Ch (20-50cm)	49.00	46.67	47.83	51.33	45.50	54.83
C-Gr (20-50cm)	32.67	31.50	44.33	47.83	38.50	39.67

Cuadro 22. Contenido de C en suelo a dos profundidades en el sitio de estudio.

Contenido (mg/kg) de C total en suelo a dos profundidades en tres tiempos						
Profundidad	C-Ch (0-20 cm)			C-Gr (0-20 cm)		
	08-may	03-jul	30-ago	08-may	03-jul	30-ago
C-Ch (20-50cm)	1.51	1.69	1.62	1.34	1.49	1.30
C-Gr (20-50cm)	1.03	1.18	1.12	1.01	0.95	0.93

Cuadro 23. Prueba Tukey de concentración (kg/ha) de pérdida de suelo en sitio experimental.

Tukey	Media	Tratamiento
--------------	--------------	--------------------

agrupamiento		
A	257.11	2
B	131.55	1

Cuadro 24. Prueba Tukey de concentración (kg/ha) de amonio escurrido en sitio experimental.

Tukey agrupamiento	Media	Tratamiento
A	2.0310	2
A	1.4923	1

Cuadro 25. Prueba Tukey de concentración (kg/ha) de nitrato escurrido en sitio experimental.

Tukey agrupamiento	Media	Tratamiento
A	2.7233	2
A	2.0300	1

Cuadro 26. Prueba Tukey de concentración (kg/ha) de nitrato escurrido en sitio experimental.

Tukey agrupamiento	Media	Tratamiento
A	2.6333	2
A	1.593	1

Cuadro 27. Prueba Tukey de concentración de Nt en material defoliado en entre surco.

Estrato	Tukey agrupamiento	Media (kg/ha)	Tratamiento
Arbustivo	A	82.93	1
	A	74.25	2
Arbóreo	A	74	1
	B	13.64	2

Cuadro 28. Prueba Tukey de la concentración de N t en material defoliado en área foliar café.

Estrato	Tukey agrupamiento	Media (kg/ha)	Tratamiento
Arbustivo	A	2.26	2
	B	0	1
Arbóreo	A	44.4133	1
	B	7.0333	2

Cuadro 29. Prueba Tukey de la concentración de Cen material defoliado.

Sitio	Estrato	tukey agrupamiento	Media (kg/ha)	Tratamiento
Área foliar cafe	Arbustivo	A	82.93	1
		A	74.25	2
	Arbóreo	A	74	1
		B	13.64	2
	Epifito	A	177.2	1
		B	0	2
	Entre surco	A	29.573	2
		B	4.503	1
Entre surco	Arbóreo	A	541.68	1
		B	205.92	2
	Epífita	A	86.98	1
		B	0	2

Cuadro 30. Prueba Tukey de las concentraciones de N total (mg/kg) a diferentes profundidades de suelo y en tres diferentes tiempos.

Fecha de muestreo	Profundidad	Tukey agrupamiento	Media (mg/kg)	Tratamiento
8/mayo/2014	0-20 cm	A	3570	1
		A	3543.7	2
7/julio 2014		A	3550.4	1
		A	3451.84	2
31/Agosto/2014		A	3539.2	1
		A	3533.6	2
8/mayo/2014	20-50 cm	A	3216	1
		A	2912	2
7/julio 2014		A	3309.6	1
		A	2853.2	2
31/Agosto/2014		A	3355.5	1
		A	3011.7	2

Cuadro 31. Prueba Tukey de las concentraciones de NH_4^+ (mg/kg) a diferentes profundidades de suelo y en tres diferentes tiempos.

Fecha de muestreo	Profundidad	Tukey agrupamiento	Media (mg/kg)	Tratamiento	
8/mayo/2014	0-20 cm	A	49.17	2	
		A	42.5	1	
7/julio 2014		A	29.167	1	
		A	28.333	2	
31/Agosto/2014	0-20 cm	A	41.67	1	
		A	30.83	2	
8/mayo/2014		20-50 cm	A	40	2
			A	38.33	1
7/julio 2014	A		28.33	2	
	A		24.167	1	
31/Agosto/2014	A		31.667	1	
	A		30	2	

Cuadro 32. Prueba Tukey de las concentraciones de nitrato (mg/kg) a diferentes profundidades de suelo y en tres diferentes tiempos.

Fecha de muestreo	Profundidad	Tukey agrupamiento	Media (mg/kg)	Tratamiento
-------------------	-------------	--------------------	---------------	-------------

8/mayo/2014	0-20 cm	A	51.33	2
		A	49	1
7/julio 2014		A	46.67	1
		A	45.5	2
31/Agosto/2014		A	54.83	2
		A	47.83	1
8/mayo/2014	20-50 cm	A	47.833	2
		B	32.667	1
7/julio 2014		A	38.5	2
		A	31.5	1
31/Agosto/2014		A	44.33	1
		A	39.67	2

Cuadro 33. Prueba Tukey de las concentraciones de carbono total (mg/kg) a diferentes profundidades de suelo y en tres diferentes tiempos.

Fecha de muestreo	Profundidad	Tukey agrupamiento	Media (mg/kg)	Tratamiento
8/mayo/2014	0-20 cm	A	2.6107	1
		A	2.3170	2
7/julio 2014		A	2.9150	1
		A	2.5687	2
31/Agosto/2014		A	2.9880	1
		A	2.4690	2
8/mayo/2014	20-50 cm	A	1.8140	1
		A	1.7407	2
7/julio 2014		A	2.0343	1

	A	1.8453	2
31/Agosto/2014	A	1.9713	1
	B	1.5833	2
