



"ENSEÑAR LA EXPLOTACIÓN DE LA
TIERRA NO LA DEL HOMBRE"

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO
DEPARTAMENTO DE SUELOS



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

**DINÁMICA DEL NITRÓGENO EN LA PRODUCCIÓN
ORGÁNICA Y CONVENCIONAL DE MAÍZ Y FRIJOL EN
HUERTOS FAMILIARES.**

TESIS

**QUE COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL
GRADO DE:**

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

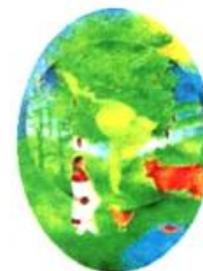


DIRECCION GENERAL ACADEMICA
DEPTO. DE SERVICIOS ESCOLARES
ORIGINA DE EXAMENES PROFESIONALES

PRESENTA:

JULIA MARÍA ZÁRATE HERNÁNDEZ

Chapingo, México a 12 de julio del 2011



DINÁMICA DEL NITRÓGENO EN LA PRODUCCIÓN ORGÁNICA Y CONVENCIONAL DE MAÍZ Y FRIJOL EN HUERTOS FAMILIARES

La presente tesis fue realizada por la C. Julia María Zárate Hernández bajo la dirección del Dr. David Cristóbal Acevedo, para obtener el grado de Maestro en Ciencias en Agroforestería para el Desarrollo Sostenible, ha sido aceptada y aprobada por el jurado examinador constituido por:

H. JURADO EXAMINADOR

PRESIDENTE: Dr. David Cristóbal Acevedo



ASESOR: Dra. María Edna Álvarez Sánchez



ASESOR: Dr. Ricardo D. Améndola Massiotti



DEDICATORIA

A mis padres

Enedina Hernández de Zárate y Luis Antelmo Zárate Hernández

Por seguir creyendo en mí, por brindarme todo su amor, confianza, comprensión y apoyo en mi camino personal y profesional.

A mis amigos

Mariana, Paco, Lizbeth, Marco, Ady, Sandra,

Y a todas las personas que me han acompañado en este hermoso trayecto llamado vida, llenando cada día de aprendizaje.

Sinceramente

Julia María Zárate Hernández

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por el apoyo económico otorgado para la realización de mis estudios de posgrado y la realización de la presente tesis.

A la Universidad Autónoma Chapingo, al Departamento de suelos en especial al Posgrado en Agroforestería para el Desarrollo Sostenible, por brindarme la oportunidad de seguir mi formación personal y académica.

Al Dr. David Cristóbal Acevedo por su guía y acertados comentarios en la Dirección del presente trabajo. A la Dra. María Edna Álvarez Sánchez y al Dr. Ricardo Améndola Massiotti.

A la laboratorista Angélica María Campos encargada del Laboratorio de análisis químico de suelos.

A los encargados del Laboratorio de Física de Suelos, Víctor Ponce Demétrio y José Luis Galan Monsalvo. A José Luis Santiago y Norberto Alonso, técnicos de campo.

Al M. C. Vicente Vázquez A. por sus comentarios y apoyo durante la realización de la presente tesis.

A mis compañeros de la maestría por haber formado un agradable grupo.

DATOS BIOGRÁFICOS

La Ingeniera Julia María Zárate Hernández originaria del Distrito Federal cursó sus estudios básicos y medio superior en el Colegio de la Paz (Vizcaínas) del año 1986 a 1998, en el Distrito Federal; posteriormente inició sus estudios profesionales ingresando al Propedéutico de la Universidad Autónoma Chapingo en el año 1999 y en el 200 al Departamento de Fitotecnia a la carrera de Ingeniero Agrónomo Especialista en Fitotecnia; realizó su Servicio Social en la Sierra Norte del Estado de Oaxaca con el Proyecto “Manejo integrado de huertos familiares” y su Estancia Preprofesional en la empresa florícola Cosmoflor Growers en Villa Guerrero, Estado de México; egresó de la carrera en el año 2004 y se tituló con la tesis “Potencia alelopático de patol (*Calia secundiflora* Ort. Ykovlev).”

Ha desempeñado su actividad profesional en proyectos de tipo gubernamental como el Programa Especial de Seguridad Alimentaria (PESA) en la región Huasteca del Estado de San Luis Potosí en el año 2005; así como en el Subprograma de Fortalecimiento a Empresas y Organización Rural (PROFEMOR) dentro del “Programa Alianza para el Campo 2006” de la SAGARPA, en la Sierra Norte del Estado de Oaxaca.

En el año 2007 participó en el proyecto denominado “Manejo integrado de la parte alta de la Cuenca del Río Grande, Sierra Norte, Oaxaca”; llevado a cabo

por la Universidad de Wisconsin, Stevens Point, en colaboración con el Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca (ITVO), Instituto Tecnológico de Estudios Superiores Monterrey (ITESM) y la Universidad Autónoma Chapingo (UACH) con la finalidad de realizar investigación y proyectos en beneficio de las comunidades de la región.

En el 2009 ingresó a la Maestría en Ciencias en Agroforestería para el Desarrollo Sostenible, en la que concluyó los créditos en diciembre del 2010.

A partir de enero del 2011 labora como docente de tiempo completo en la Universidad Tecnológica de los Valles Centrales de Oaxaca.

DINAMICA DEL NITRÓGENO EN LA PRODUCCIÓN ORGÁNICA Y CONVENCIONAL DE MAÍZ Y FRIJOL EN HUERTOS FAMILIARES

NITROGEN DYNAMICS IN ORGANIC AND CONVENTIONAL MAIZE AND BEAN PRODUCTION IN FAMILY ORCHARDS

Zárate, H. J. M.¹; Cristóbal-Acevedo D.²

RESUMEN

La presente investigación se efectuó en Chapingo, México, con el objetivo de conocer la dinámica del nitrógeno en producción orgánica y convencional de maíz y frijol. El cultivo de frijol convencional y orgánico se manejó sin fertilización. El cultivo de maíz convencional se fertilizó con NH_4NO_3 y $(\text{NH}_4)\text{SO}_4$ con un total de 191 kg ha^{-1} de N en dos aplicaciones. Se cuantificó el NH_4 y NO_3 que entró por precipitación, reservas del suelo, escurrimiento de agua del suelo y absorción del cultivo. Por precipitación entraron al sistema convencional y orgánico 10.41 kg ha^{-1} de amonio y 8.08 kg ha^{-1} de nitrato con una concentración promedio de 3.10 y 2.26 mg L^{-1} respectivamente. El suelo contenía $135.24 \text{ kg ha}^{-1}$ de N inorgánico en convencional y $164.64 \text{ kg ha}^{-1}$ en orgánico. Por escurrimiento de agua, en frijol convencional se perdieron 2.68 kg ha^{-1} amonio y 2.63 kg ha^{-1} de nitrato con una concentración de 2.42 y 2.38 mg L^{-1} respectivamente. En sistema orgánico escurrieron 1.05 kg ha^{-1} de amonio y 1.25 kg ha^{-1} de nitrato con una concentración de 2.50 y 2.32 mg L^{-1} . En maíz convencional escurrieron 1.88 kg ha^{-1} amonio y 1.99 kg ha^{-1} de nitrato con una concentración de 2.47 y 2.60 mg L^{-1} respectivamente. En el sistema orgánico escurrieron 1.99 kg ha^{-1} de amonio y 1.80 kg ha^{-1} de nitrato con una concentración de 2.40 y 2.34 mg L^{-1} . El contenido de nitrógeno en planta y grano de frijol convencional fue 1.44% y 3.35% y el sistema orgánico 1.24% y 3.53% respectivamente. El rendimiento de frijol fue 1.62 y 1.41 t ha^{-1} e los sistemas convencional y orgánico, respectivamente. En el maíz convencional el contenido de nitrógeno en tallos y hojas fue 1.99% en tanto que en granos fue 1.50% ; en maíz orgánico, esos contenidos fueron respectivamente, 1.77% y 1.60% , respectivamente. El rendimiento de maíz fue de 11.78 y 8.68 t ha^{-1} en los sistemas convencional y orgánico, respectivamente.

Palabras clave: Maíz, Frijol, Producción Convencional, Producción Orgánica, Precipitación, Escurrimiento

ABSTRACT

This research was conducted at Chapingo, Mexico, aimed at the study of nitrogen dynamics in organic and conventional maize and bean production. Conventional and organic beans were not fertilized, while conventional maize was fertilized with NH_4NO_3 and $(\text{NH}_4)\text{SO}_4$ with a total of 191 kg ha^{-1} of N in two applications. We quantified NH_4 and NO_3 input by precipitation, soil reserves, soil runoff and crop uptake. By precipitation, the conventional and organic systems received 10.41 kg ha^{-1} of ammonium and 8.8 kg ha^{-1} of nitrate with an average concentration of 3.10 and 2.26 mg L^{-1} respectively. The soil contained $135.24 \text{ kg ha}^{-1}$ of inorganic N in conventional and $164.64 \text{ kg ha}^{-1}$ in organic. By water runoff, conventional beans lost 2.68 kg ha^{-1} of ammonium and 2.63 kg ha^{-1} of nitrate with a concentration of 2.42 and 2.38 mg L^{-1} respectively. In the organic system, runoff washed away 1.05 kg ha^{-1} of ammonium and 1.25 kg ha^{-1} of nitrate with concentrations of 2.50 and 2.32 mg L^{-1} . In conventional maize, runoff washed away 1.88 kg ha^{-1} of ammonium and 1.99 kg ha^{-1} of nitrate with concentrations of 2.47 and 2.60 mg L^{-1} respectively. In the organic system, it washed away 1.99 kg ha^{-1} of ammonium and 1.80 kg ha^{-1} of nitrate with concentrations of 2.40 and 2.34 mg L^{-1} . Nitrogen content in conventional bean plant was 1.44% and 3.35% in beans, while in the organic system it was 1.24% in plant and 3.53% in beans. Bean yields were 1.62 and 1.41 t ha^{-1} in the conventional and organic systems, respectively. Nitrogen contents in conventional maize, were 1.99% in stems and leaves and 1.50% in grains; in organic maize, those contents were 1.77% and 1.60% , respectively. Maize yields in the conventional and organic systems were 11.78 and 8.68 t ha^{-1} respectively.

Key Words: Corn, Beans, Conventional Production, Organic Production, Precipitation, Runoff.

¹ Autor de Tesis. Maestría en Agroforestería para el Desarrollo Sostenible

² Asesor. Profesor-Investigador del Departamento de Suelos y Maestría en Agroforestería para el Desarrollo Sostenible. UACH.

INDICE

I.	INTRODUCCIÓN	1
II.	OBJETIVOS E HIPÓTESIS	4
III.	REVISIÓN DE LITERATURA	7
3.1	Agroforestería	7
3.1.1	Producción de traspatio (huertos familiares)	8
3.1.2	Sostenibilidad en la agroforestería.....	9
3.2	Agricultura orgánica.....	15
3.3	Agricultura convencional	18
3.4	Nitrógeno.....	19
3.4.1	Balance del nitrógeno.....	20
3.4.2	Fuentes de nitrógeno en el suelo	22
3.4.2.1	Mineralización	24
3.4.2.2	Inmovilización	25
3.4.2.3	Nitrificación	26
3.4.2.4	Fijación biológica de nitrógeno	29
3.4.2.5	Pérdidas de nitrógeno asimilable del suelo.....	30
3.4.2.6	Absorción por las plantas	31
3.4.2.7	Erosión	31
3.4.2.7.1	Lixiviación	32
3.4.2.8	Fijación química del nitrógeno	33
3.4.2.9	Desnitrificación.....	34
3.4.2.9.1	Volatilización de amoníaco	35
3.4.3	Nitrógeno en el agua de precipitación	36
3.4.3.1	Nitrógeno en el escurrimiento	39
3.4.4	Nitrógeno en el ambiente	41
3.4.5	Formas presentes en el suelo.....	42

3.4.5.1 Nitrógeno total	42
3.4.5.2 Nitrógeno mineral	42
3.4.5.2.1 Efectos del cultivo anterior	43
3.4.5.3 Nitrógeno orgánico.....	44
3.4.6 Requerimientos de nitrógeno en el cultivo de maíz	46
3.4.6.1 Importancia del nitrógeno en maíz	47
3.4.6.2 Producción de biomasa.....	49
3.4.6.3 Síntomas de deficiencia y toxicidad de nitrógeno en maíz.....	50
3.4.7 Requerimientos de nitrógeno en el cultivo de frijol	51
3.4.7.1 Importancia del N en frijol	52
3.4.7.2 Producción de biomasa.....	53
3.4.7.3 Síntomas de deficiencia y toxicidad en frijol	55
3.4.8 Sustentabilidad del suelo y del N	56
IV. MATERIALES Y MÉTODOS.....	59
4.1 Fase de campo.....	59
4.1.1 Muestreo de suelo inicial	59
4.2 Preparación del terreno.....	61
4.3 Instalación de parcelas de escurrimiento	64
4.4 Labores culturales	66
4.4.1 Riego.....	66
4.4.2 Fertilización.....	67
4.4.3 Aclareo y Aporcado	70
4.4.4 Control de plagas y enfermedades.....	70
4.5 Toma de datos	71
4.5.1 Pluviómetro y parcelas de escurrimiento	71
4.5.2 Muestreo de planta	72
4.5.3 Muestreo de suelo	74
4.6 Diseño experimental.....	74
V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	76

5.1 Entrada de nitrógeno por precipitación	76
5.2 Fertilización.....	78
5.3 Fertilidad de suelo	79
5.4 Salida de nitrógeno amonio y nitrato por escurrimiento	79
5.5 Producción de biomasa.....	87
5.6 Nitrógeno en planta	91
5.7 Nitrógeno en suelo	93
5. 8 Balance del nitrógeno	98
VI. CONCLUSIONES	100
VII. LITERATURA CITADA.....	102
VIII. ANEXOS.....	112

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1	Aspectos técnicos de la agricultura orgánica y convencional vistos desde un enfoque de suelo.	17
Cuadro 2	Nitrógeno suministrado al cultivo siguiente como resultado de la incorporación de maíz y frijol (Castellanos <i>et al.</i> , 2000)	44
Cuadro 3	Cantidad de nitrógeno (Kg de N.ha ⁻¹) disponible después de la mineralización de la materia orgánica en un periodo de 4-6 meses, en diferente grupo textural (Buchholz <i>et al.</i> , 1981)	45
Cuadro 4	Requerimientos nutricionales para la producción de maíz	46
Cuadro 5	Consumo de nitrógeno en el maíz con un rendimiento aproximado de 12 t.ha ⁻¹	47
Cuadro 6	Requerimientos nutricionales para la producción de frijol	52
Cuadro 7	Acumulación y distribución promedio de biomasa (materia seca g.m ⁻²) en frijol en función del nitrógeno aplicado, en Iguala Guerrero 2004-2006 (Estrada y Gonzáles, 2006)	54
Cuadro 8	Resultados del muestreo inicial de suelo.	60
Cuadro 9.	Necesidades de nutrientes para el cultivo de maíz de acuerdo a la producción esperada	60
Cuadro 10	Recomendación de fertilizantes para la parcela convencional	60
Cuadro 11	Análisis de varianza ($\alpha=0.05$) y medias para el efecto del tratamiento orgánico (TO) y convencional (TC) de la concentración de Amonio (NH ₄) y (NO ₃) para la variable Salida de nitrógeno por escurrimiento (SNE).	80
Cuadro 12	Análisis de varianza ($\alpha=0.05$) y medias para el efecto del TO y TC de la concentración Nmin para la variable SNE.	84
Cuadro 13	Análisis de varianza y comparación de medias de los componentes de la variable PB en maíz y frijol en sistemas convencional y orgánico.	87
Cuadro14	Análisis de varianza y comparación de medias de los componentes de la concentración de NP de maíz y frijol en sistemas convencional y orgánico.	91
Cuadro 15	Análisis de varianza y comparación de medias de los componentes de las concentraciones de N y MO 0-30 cm en suelo con maíz y frijol en sistemas convencional y orgánico al final del ciclo de cultivo.	93
Cuadro 16	Balance del nitrógeno inorgánico en el cultivo de maíz y frijol en sistemas convencional y orgánico.	98

INDICE DE FIGURAS

Figura 1	Ciclo del nitrógeno en un sistema agrícola.	21
Figura 2	Proceso de descomposición de los compuestos nitrogenados de la materia orgánica.	28
Figura 3	Flujo de nutrientes (nitrógeno) en suelo (Guevara <i>et al.</i> , 2000)	57
Figura 4	Aplicación de CaSO_4 al suelo en la parcela convencional antes del barbecho	61
Figura 5	Barbecho de la parcela orgánica	62
Figura 6	Siembra de frijol en la parcela convencional	62
Figura 7	Ubicación de las parcelas e identificación	63
Figura 8	Parcelas de escurrimiento colocadas en la parcela orgánica	64
Figura 9	Conexión del marco de la parcela de escurrimiento y la tina.	65
Figura 10	Instalación del marco de la parcela de escurrimiento y de la tina de captación	65
Figura 11	Parcela Convencional durante el primer riego rodado a los ocho DDS	66
Figura 12	Cultivos de frijol y maíz del TO durante el segundo riego a los 33 DDS	67
Figura 13	Aplicación de fósforo al cultivo de maíz	68
Figura 14	Primera aplicación de nitrógeno al cultivo de maíz	69
Figura 15	Segunda aplicación de nitrógeno al cultivo de maíz.	69
Figura 16	Aporcado en la parcela convencional	70
Figura 17	Muestreo de planta de frijol y maíz al final del cultivo	72
Figura 18	Grano de maíz	73
Figura 19	Preparación y molienda de muestras previo al análisis de laboratorio	74
Figura 20	Concentración (mg L^{-1}) de nitrógeno mineral en el agua de lluvia que se precipitó sobre los cultivos de maíz y frijol en producción orgánico y convencional, durante el periodo de estudio	77

Figura 21	Concentración (mg L^{-1}) de NH_4^+ en el agua de escurrimiento en la parcela con frijol y los sistemas convencional y orgánico	81
Figura 22	Concentración (mg L^{-1}) de NO_3^- en el agua de escurrimiento en la parcela con frijol y los sistemas convencional y orgánico	81
Figura 23	Concentración (mg L^{-1}) de NH_4^+ en el agua de escurrimiento en la parcela con maíz y los sistemas convencional y orgánico	82
Figura 24	Concentración de NO_3^- en el agua de escurrimiento en la parcela con maíz y los sistemas convencional y orgánico	83
Figura 25	Concentración (mg L^{-1}) de Nmin en el agua de escurrimiento en la parcela con frijol y los sistemas convencional y orgánico	85
Figura 26	Concentración (mg L^{-1}) de Nmin en el agua de escurrimiento en la parcela con maíz y los sistemas convencional y orgánico	86
Figura 27	PB (peso seco) en Planta de Frijol (PSPF), en Granos de Frijol (PSGF), en Granos de Maíz (PSGM), en Tallo de Maíz (PSTM) y en HM (PSHM) producidos en sistemas convencional y orgánico	89
Figura 28	Concentraciones de nitrógeno inorgánico o mineral en suelo con maíz y frijol en sistemas convencional y orgánico	94
Figura 29	Concentraciones de NO, Nt y MO en el suelo con maíz y frijol en los sistemas convencional y orgánico, al final del ciclo de cultivo	95
Figura 30	Contenido de Nt y MO en suelo con maíz y frijol en sistemas convencional y orgánico	96

ABREVIATURAS USADAS

N	=	Nitrógeno
Nt	=	Nitrógeno total
NO	=	Nitrógeno orgánico
Nmin	=	Nitrógeno mineral = ($\text{NO}_3^- + \text{NH}_4^+$)
NO_3^-	=	Nitrato
NH_4^+	=	Amonio
TC	=	Tratamientos convencional
TO	=	Tratamiento orgánico
ENP	=	Entradas de nitrógeno por precipitación
SNE	=	Salida de nitrógeno por escurrimiento
NP	=	Nitrógeno en planta
NS	=	Nitrógeno en suelo
PB	=	Producción de biomasa
PF	=	Planta de frijol
GF	=	Grano de frijol
HM	=	Hoja de maíz
TM	=	Tallo de maíz
GM	=	Grano de maíz
DDS	=	Días después de siembra
MO	=	Materia orgánica

I. INTRODUCCIÓN

En México gran parte del territorio nacional está destinado a la agricultura, la cual es en su mayoría para autoconsumo, en casi todas las regiones de nuestro país se practica agricultura destinada al autoconsumo.

En las zonas rurales existen diversos sistemas de producción agrícola como el monocultivo, cultivos asociados o intercalados y los huertos familiares o caseros, este último sistema de producción se caracteriza por ser un sistema en el que se combinan árboles, arbustos, enredaderas y plantas herbáceas cultivadas dentro de una finca familiar; es importante destacar que el objetivo primario de los huertos caseros es la producción de alimento para el consumo de la unidad familiar (Nair, 1993); este tipo de sistemas se han agrupado dentro de los sistemas Agroforestales.

Los huertos familiares se caracterizan por contar con una gran variedad de especies. El manejo que se les da a estos huertos puede variar en función de las especies y su uso. En general, sólo se lleva a cabo el riego y no se aplica fertilización o manejo adicional. En el caso de la producción de maíz y frijol para autoconsumo generalmente se aplican fertilizantes nitrogenados. En algunas ocasiones estos fertilizantes se aplican en dosis muy bajas y en otras son excesivamente altas, lo que ocasiona que la planta no sea eficiente en el uso del nutriente. En esos casos el agricultor usa inadecuadamente los recursos y su sistema de producción es económicamente ineficiente. Estas situaciones se

presentan generalmente en sistemas de producción convencionales o surgidos de la revolución verde. Esos sistemas se caracterizan por el uso de agroquímicos como fertilizantes y plaguicidas que contribuyen a asegurar la producción en lo que se refiere a disponibilidad de nutrientes y control de plagas y enfermedades. En los últimos años ha surgido el interés por sistemas de producción que ayuden a resolver los problemas surgidos con el uso de la agricultura convencional tales como la degradación del medio ambiente.

De acuerdo a FAO las posibilidades de desarrollo sostenible de la agricultura se ven reducidas debido a diversas causas como la erosión, daño físico, químico y biológico. Uno de los principales factores que afectan la calidad de los suelos es el uso de insumos o agroquímicos, los cuales usados en exceso o en cantidades inapropiadas a los requerimientos del cultivo provocan daño químico al suelo, (Guzmán *et al.*,2000).

Uno de los principales temas de la Agroforestería es la interacción ecológica y económica que existe entre los componentes del sistema, además de aportar servicios al suelo como materia orgánica lo cual mejora la estructura del suelo y la cantidad de nutrientes (Torquebiau, 1990). En el caso de las huertas con orientación orgánica o granjas orgánicas, se está llevando a cabo la interacción ecológica al utilizar los residuos de los cultivos o desechos de la producción animal, para la obtención de compostas o vermicompostas que servirán para nutrir a los cultivos.

Uno de los principales nutrientes que se ven modificados con el uso de fertilizantes y compostas en los sistemas de producción convencional y orgánico es el nitrógeno debido a la dinámica que tiene en los suelos ya que las únicas entradas de nitrógeno al suelo son de forma natural mediante la fijación del N_2 molecular por microorganismos, por precipitación en forma de amonio (NH_4^+) y nitratos (NO_3^-) y en fertilización los cuales si se encuentran en exceso en el suelo pueden ser fácilmente lixiviados por intensas precipitaciones. Las pérdidas o salidas de nitrógeno del suelo, se dan principalmente por lixiviación, volatilización y por extracción de los cultivos.

Debido a que el nitrógeno puede ser fácilmente lixiviado es importante que cuando se aplique como fertilizante químico al suelo sea en las dosis adecuadas, ya que si se encuentra en exceso puede llegar a contaminar los mantos freáticos. Con base en lo anterior en esta investigación se pretende aportar al conocimiento de la dinámica del nitrógeno en la producción de maíz y frijol en dos tipos de sistemas de producción, el sistema de producción convencional que corresponde al tratamiento convencional (TC) en el cual se fertilizó con compuestos de síntesis química y el sistema de producción orgánica correspondiente al tratamiento orgánico (TO). Los objetivos de la investigación son:

II. OBJETIVOS E HIPÓTESIS

Objetivo general

Caracterizar la dinámica del nitrógeno en la producción de maíz y frijol en los sistemas de producción, convencional y orgánico, mediante la evaluación de las variables; entradas de nitrógeno por precipitación (ENP), salida de nitrógeno por escurrimiento (SNE), nitrógeno en planta (NP), nitrógeno en suelo (NS) y producción de biomasa (PB) con la finalidad de identificar el sistema más eficiente en el uso del nitrógeno.

Objetivos particulares

1. Cuantificar las entradas de nitrógeno por precipitación (ENP) en forma de NH_4^+ y NO_3^- en los tratamientos convencional (TC) y orgánico (TO) en los cultivos de maíz y frijol.
2. Determinar las salidas de nitrógeno por escurrimiento (SNE) en los TC y TO.
3. Comparar las eficiencias en el uso del nitrógeno de los tratamientos convencional y orgánico, mediante la determinación de la producción de grano y biomasa de maíz y frijol.
4. Cuantificar las concentraciones de N en la planta de frijol (PF); grano de frijol (GF); hoja de maíz (HM), Tallo de maíz (TM) y grano de maíz (GM).
5. Determinar las salidas de nitrógeno por absorción del cultivo (NP) mediante la estimación del porcentaje de nitrógeno en planta de frijol (PF); grano de frijol (GF); hoja de maíz (HM), Tallo de maíz (TM) y grano de maíz (GM) y la producción de biomasa.
6. Determinar las concentraciones de nitrógeno en suelo (NS) en forma de: NO_3^- , NH_4^+ , nitrógeno mineral ($\text{NO}_3^- + \text{NH}_4^+$), nitrógeno total (Nt) y nitrógeno orgánico (NO) en los tratamientos convencional y orgánico al final del cultivo.

HIPÓTESIS

1. Las entradas por precipitación de nitrógeno mineral al suelo en forma de NH_4^+ y NO_3^- serán mayores a 10 kg por ha.
2. No hay efecto de los tratamientos convencional (TC) y orgánico (TO) sobre las salidas de nitrógeno por escurrimiento (SNE).
3. No hay efecto de los tratamientos convencional (TC) y orgánico (TO) y sobre la producción en la planta de frijol (PF); grano de frijol (GF); hoja de maíz (HM), Tallo de maíz (TM) y grano de maíz (GM).
4. No hay efecto de los tratamientos convencional (TC) y orgánico (TO) y sobre las concentraciones de N en la planta de frijol (PF); grano de frijol (GF); hoja de maíz (HM), Tallo de maíz (TM) y grano de maíz (GM).
5. No hay efecto de los tratamientos convencional (TC) y orgánico (TO) y sobre las salidas de nitrógeno por absorción de los cultivos de maíz y frijol.
6. No hay efecto de los tratamientos convencional (TC) y orgánico (TO) sobre la concentración de nitrógeno en forma de NO_3^- , NH_4^+ , nitrógeno mineral, nitrógeno total y nitrógeno orgánico en el suelo, al final del ciclo de cultivo.

III. REVISIÓN DE LITERATURA

3.1 Agroforestería

Se define como Agroforestería a los sistemas y prácticas de uso de la tierra en donde se combinan plantas leñosas perennes con cultivos agrícolas y / o animales en la misma unidad de tierra, ya sea en combinaciones espaciales o en secuencia temporal, existiendo una interacción ecológica y económica entre los componentes leñosos y no leñosos. Esta combinación de sistemas de producción permite que la Agroforestería ofrezca una serie de servicios importantes para el manejo de la tierra (Lundgren y Fair, 1987)

Las principales interacciones ecológicas con respecto al clima son: luz, temperatura, humedad, viento, suelo, (materia orgánica, nutrientes, erosión) recursos biológicos (plantas y animales); y el espacio disponible para el crecimiento (Torquebiau, 1990).

Dentro del concepto de Agroforestería se habla de la yuxtaposición de elementos como los árboles , cultivos y animales, sin embargo para que esta combinación aporte beneficios al sistema cada uno de los componentes debe tener un efecto positivo por medio de las interacciones ecológicas y económicas entre los componentes, pero es importante tomar en cuenta que existen interacciones negativas o positivas; estas interacciones pueden ser

complementarias si la presencia de un componente aumenta el rendimiento de la otra, *neutral* si una no tiene efecto sobre la otra y *competitiva* si la presencia de una reduce el rendimiento de la otra. El objetivo de la agroforestería es identificar las interacciones negativas con el objetivo de reducirlas y maximizar las interacciones positivas (Torquebiau, 1990).

La multidisciplinariedad en la agroforestería va mucho más lejos, pues los ecologistas, los científicos del suelo, los horticultores y los diferentes tipos de biólogos deben concentrarse en los recursos existentes y estudiar la mejor manera para explotarlos y conservarlos. De igual manera los sociólogos, antropólogos, especialistas de desarrollo rural y economistas también deben enfrentar el problema de los recursos humanos y analizar las restricciones de subsistencia y de mercado (Torquebiau, 1990).

3.1.1 Producción de traspatio (huertos familiares)

De acuerdo a la clasificación de los sistemas agroforestales (Nair, 1999), dentro de los sistemas Agrosilviculturales se encuentran los huertos caseros que son combinaciones cerradas multicapas de varios árboles y cultivos alrededor de las fincas. En los huertos familiares los componentes más importantes son los árboles frutales, otras especies leñosas y especies agrícolas tolerantes a la sombra; el autor menciona que los huertos familiares pueden encontrarse en

todas las regiones ecológicas especialmente en áreas de alta densidad de población.

Dentro de los Sistemas Agrosilvopastoriles que son combinaciones de árboles +cultivos + pastura/animales, se encuentran los huertos familiares que incluyen animales. Estos sistemas son combinaciones cerradas de multiestratos de varios árboles, cultivos y animales; predominan los árboles frutales, especies leñosas y animales. Estos sistemas se encuentran especialmente en todas las regiones ecológicas con alta densidad de población humana (Nair, 1999).

En las zonas rurales de México podemos encontrar que los huertos familiares si ubican cercanos a la casa habitación, con la finalidad de tener a la mano los productos destinados a la alimentación de la familia; por lo que en esa área confluye la producción de cultivos alimenticios y animales de granja como las aves de corral, principalmente.

3.1.2 Sostenibilidad en la agroforestería

Podemos definir el concepto de Desarrollo sustentable como el proceso mediante el cual se cubren las necesidades de los habitantes del planeta, tanto materiales como espirituales y de forma permanente sin dañar los recursos del planeta y contribuyendo a mejorar las condiciones socioambientales (Masera *et al.*, 1999) uno de los principales objetivos del desarrollo sustentable en el aspecto ambiental es buscar una adecuada conservación y restauración de

los recursos naturales mediante la promoción de sistemas tecnológicos que propicien el uso eficiente y sinérgico de los recursos (Masera *et al.*, 1999).

Masera *et al.*, (1999) mencionan que se puede estudiar la sustentabilidad de un recurso natural en específico o como componente de un ecosistema y por lo tanto de un sistema social o económico.

Altieri (1994), define a la agricultura sustentable como un modo de agricultura que busca proporcionar rendimientos sostenidos a largo plazo, utilizando tecnologías y prácticas de manejo que mejoren la eficiencia biológica del sistema, por lo que se pretende mejorar al agroecosistema en general, en este tipo de agricultura no se pretende mejorar la producción a corto plazo; la agricultura sustentable trata de ser rentable económicamente, sin dejarse llevar por una lógica de corto plazo Masera *et al.*, (1999).

Existen diversas definiciones de agricultura sustentable como la propuesta por la American Society of Agronomy (1989) la cual menciona que la agricultura sustentable promueve a largo plazo la calidad del medio ambiente y los recursos, que son base de la agricultura. En general la mayoría de las definiciones se enfocan en el mejoramiento y conservación de la fertilidad y de la productividad del suelo, mediante el uso de diversas técnicas de manejo,

contribuyendo a la satisfacción de necesidades humanas y sobre todo haciendo a la agricultura más viable económicamente (Altieri, 1994).

Masera *et al.*, (1999) menciona que el concepto de sustentabilidad se puede ampliar a un sistema mayor que abarque varios recursos naturales, es decir tomar en cuenta las diferentes entradas y salidas del ecosistema por lo tanto lo que podríamos considerar sustentable en el manejo de un recurso podría no serlo para otro, es decir si nos interesara hacer sustentable un sistema de producción enfocado a combatir la pobreza quizá estaríamos aplicando diversos insumos que nos permitieran mantener y aumentar la producción del cultivo de interés , enfocándonos en la producción y el bienestar social, sin embargo no estaríamos tomando en cuenta la sustentabilidad de los recursos naturales como el suelo ya que lo estaríamos degradando con la aplicación de insumos como fertilizantes; los insectos benéficos son otro recurso que se vería afectado por la aplicación de insecticidas para combatir los insectos plaga.

En este sentido Levis y Vandermeer (1990), mencionan que la producción en agroecosistemas sustentables está orientada a entender el sistema como un todo, tomando en cuenta las múltiples metas de producción, ganancia, reducción de la incertidumbre y de la vulnerabilidad, equidad, protección de la salud de los trabajadores agrícolas y de los consumidores, protección del ambiente y una flexibilidad de los sistemas a largo plazo. Para lograr la

sustentabilidad a largo plazo Altieri (1987) menciona que se requiere trabajar sobre los siguientes aspectos:

- Uso eficiente de energía y recursos
- Empleo de métodos de producción que restablezcan los mecanismos homeostáticos conducentes a la estabilidad de la comunidad, que optimicen las tasas de reciclaje de materia orgánica y nutrientes, que utilicen al máximo la capacidad de usos múltiples del sistema y que fortalezcan un flujo eficiente de energía.
- Reducción de costos y aumento en la eficiencia y viabilidad económica de los pequeños y medianos agricultores, fomentando un sistema agrícola potencialmente sólido y diverso.

Altieri (1987), menciona que para lograr la agricultura sustentable se requiere desde el punto de vista ambiental:

- Disponibilidad y equilibrio del flujo de nutrientes; la productividad de un agroecosistema está directamente relacionada con la magnitud del flujo, la inmovilización y la conservación de nutrientes, que a su vez dependen del suministro continuo de materia orgánica y de la promoción de la actividad biológica del suelo.
- Protección y conservación de la superficie del suelo: El manejo de la cubierta vegetal mediante el uso de cultivos de coberturas muertas (acolchados), prácticas de cero labranza u otras prácticas que minimizan

la erosión como una medida eficaz para la conservación de suelo y agua. Además, reduce el deterioro de las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo.

- **Preservación e integración de la biodiversidad:** La eficiencia del reciclaje de nutrientes y la estabilidad frente al ataque de plagas y enfermedades depende de la cantidad y tipo de diversidad presente, así como de su organización espacial y temporal (diversidad estructural) y en especial de sus interacciones y sinergismos (diversidad funcional). Tanto la diversidad funcional como la estructural pueden incrementarse por medio del uso de policultivos, de sistemas agroforestales y de sistemas mixtos con cultivos y animales, etc.

Masera *et al.*, (1999) menciona que un sistema de manejo puede ser sustentable aún si alguno de sus componentes no lo es; se puede definir a los sistemas de manejo sustentables como aquellos que permitan conseguir un alto nivel de productividad mediante el uso eficiente y sinérgico de los recursos naturales y económicos; proporcione una producción confiable, estable y resiliente a perturbaciones mayores en el transcurso del tiempo; asegurando el acceso y la disponibilidad de los recursos productivos, el uso renovable, la restauración y la protección de los recursos locales; una adecuada diversidad temporal y espacial del medio natural y actividades económicas, que permita brindar flexibilidad para amoldarse a nuevas condiciones del entorno económico y biológico por medio de procesos de innovación y aprendizaje, así

como del uso de opciones múltiples; debe permitir distribuir equitativamente los costos y beneficios del sistema entre los actores involucrados y debe generar autodependencia es decir la capacidad e autogestión entre los involucrados.

Como hemos visto diversos autores definen sustentabilidad e identifican los componentes claves que permiten que un sistema de producción sea sustentable, sin embargo en muchas ocasiones estos componentes o atributos resultan complejos de abordar en la práctica como la viabilidad y la aceptabilidad a diferencia de la productividad, seguridad y protección como esta visto en la propuesta de FAO (1994).

Finalmente podemos decir que parte fundamental del desarrollo de una agricultura sustentable es la conservación y mejoramiento del suelo, parte fundamental del presente trabajo de investigación, que se enfoca en conocer la dinámica del nitrógeno en el suelo y en cierta forma en definir cuál sistema de producción convencional y orgánico contribuye más a la sustentabilidad del nitrógeno en el suelo.

3.2 Agricultura orgánica

La agricultura orgánica se define como un sistema de producción que utiliza insumos naturales y prácticas especiales: aplicación de compostas, abonos verdes, control biológico de plagas y enfermedades, asociación y rotación de cultivos, uso de repelentes y fungicidas a base de plantas y minerales (Gómez, 2001). Lo anterior, es complementario a la NOM-037 FITO-1995 ya que indica que la agricultura orgánica es “Un sistema de producción agrícola orientado a la producción de alimentos de alta calidad nutritiva y ciclos naturales en una forma constructiva que promueve la vida, mejora y extiende ciclos biológicos dentro del sistema agrícola incluyendo microorganismos, flora y fauna Mantiene y mejora la fertilidad del suelo a largo plazo, promueve el uso sano y apropiado del agua, controla plagas y enfermedades sin el uso de químicos industriales”.

De acuerdo a Restrepo (1996), los productores orgánicos deben cumplir tres objetivos:

- a) Asegurar la competitividad de la producción de alimentos en los mercados locales, regionales, nacionales e internacionales, con parámetros de cantidad y calidad.
- b) Reducir los costos de producción y preservar los recursos básicos que poseen.

- c) Eliminar las causas de los principales impactos negativos que la agricultura provoca en el medio ambiente y la salud de los trabajadores y consumidores.

El mismo autor menciona que la agricultura orgánica ofrece diversas ventajas como son la recuperación y conservación de suelos, no contaminación de aguas, eliminación de riesgos a la salud de los trabajadores, eliminación de residuos en los alimentos y un aumento en la producción y calidad de los productos. Estas ventajas se enfocan a la protección de los recursos biológicos como el agua, el suelo, insectos y el ser humano, en comparación a la agricultura convencional la cual si bien permite tener una mayor producción y productos de mejor calidad de acuerdo a los estándares de comercialización establecidos (mayor tamaño, colores más brillantes) va desgastando y deteriorando el medio ambiente.

Restrepo (1996), menciona que llevar a cabo agricultura orgánica no significa establecer un paquete en el que se tengan establecidas prácticas o técnicas de manejo ya que para desarrollar agricultura orgánica se deben utilizar una serie de opciones tecnológicas y de manejo, que permitan reducir costos, promover las interacciones biológicas y benéficas de los procesos naturales y sobre todo proteger la salud y el medio ambiente.

Cuadro 1. Aspectos técnicos de la agricultura orgánica y convencional vistos desde un enfoque de suelo.

Agricultura orgánica	Agricultura convencional
Suelos biológicamente activos, presencia de macro y micro nutrientes (alta biodiversidad microbiológica)	Suelos biológicamente muertos, ausencia de macro y micro vida
Eliminación de riesgos de salinización	Riesgos de salinización
Incremento de la bioestructura y de la fertilidad natural de los suelos	Deterioro de la bioestructura y biofertilidad natural de los suelos
Buena circulación de agua y aireación, Alta capacidad de retención de agua	Baja circulación de agua, aireación y retención de agua
Suelos con mayor resistencia a la erosión hídrica y eólica	Suelos susceptibles a la erosión hídrica y eólica
Equilibrio entre las propiedades biológicas, químicas y físicas del suelo	Desequilibrio entre las capacidades biológicas, químicas y físicas del suelo
Incremento de la Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) y evaluación de la fertilidad química del suelo	Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) sin mayores cambios
Recuperación de suelos compactados, con mayor porosidad total y disminución de su densidad aparente	Suelos compactados, suelos con menor porosidad y un mayor incremento en la densidad aparente
Recuperación de áreas contaminadas	Incremento de áreas contaminadas
Aumento de contenido de la materia orgánica, Activación del ciclo del humus con aumento en su cantidad y una mejor calidad	Desaparición de la materia orgánica, Desaparición del ciclo del humus
Alta capacidad de digestión orgánica	Baja o ninguna capacidad de digestión orgánica
Alta capacidad en la formación de quelatos	Baja capacidad en la formación de quelatos
Suelos autónomos con reservas nutricionales	Suelos dependientes, sin reservas nutricionales
Permiten por intermedio de las raíces la recuperación de minerales filtrados en las capas más profundas	No permiten la recuperación de minerales filtrados en las capas más profundas

Restrepo, 1996.

Este autor, aborda las diferencias de los sistemas de producción orgánico y convencional desde el punto de vista biológico y de los recursos naturales, su visión resulta interesante ya que presenta dieciséis aspectos técnicos de la agricultura convencional y orgánica a partir del enfoque de suelo; los cuales se muestran en el Cuadro 1.

Es importante destacar que los productores que adoptan estos sistemas de producción, generalmente lo hacen por iniciativa propia ya que para este tipo de sistemas de producción no se cuenta con apoyos por parte del gobierno como subsidios o programas de extensión (Restrepo, 1996).

3.3 Agricultura convencional

Según la NOM-037-FITO-1995 la agricultura convencional es un “sistema de producción agrícola en el que se utilizan métodos, técnicas e insumos que pueden provocar contaminación y degradación del suelo, agua, biodiversidad y medio ambiente así como el uso de productos de síntesis de química industrial.

La agricultura convencional tiene ciertas ventajas; produciendo un aumento en el rendimiento de la producción, altos niveles de mecanización agrícola ahorrando tiempo, reducción de costos de producción, industrialización de la agricultura. Sin embargo tienes ciertas desventajas; uso indiscriminado de

agroquímicos, incremento en la contaminación ambiental, aumenta el riesgo de degradación del suelo, contaminación de las aguas por nitratos y pesticidas, contaminación de la atmósfera, lluvia ácida por emisión de amoníaco, uso de energía fósil de manera directa (tractores, invernaderos) e indirecta (fabricación de fertilizantes nitrogenados), disminución de la biodiversidad, presencia de residuos de pesticidas en los alimentos, en el suelo y los ecosistemas, desperdicio de productos que no son reciclables, degradación de suelos (pérdida de materia orgánica y erosión).

3.4 Nitrógeno

Después del agua (hidrogeno y oxígeno), el nitrógeno es el nutriente más importante en el desarrollo de las plantas debido a su abundancia en las biomoléculas de la materia viva (Bonilla, 2000), específicamente en las proteínas (Salisbury & Ross, 1992).

El N se encuentra en la planta en forma orgánica e inorgánica y forma parte de los aminoácidos, proteínas, ácidos nucleicos, enzimas clorofila y alcaloides. Aunque el N inorgánico se puede acumular en forma de nitrato, el N orgánico predomina por el mayor peso molecular de las proteínas vegetales. Alrededor del 80 % del N que absorbe la planta, se utiliza para formar proteínas, el 10 % ácidos nucleicos, el 5 % aminoácidos solubles, y el resto otros compuestos (Favela *et al.*, 2006).

Una adecuada nutrición de nitrógeno para las plantas puede ser crítica para los rendimientos y volúmenes altos de proteína en los rendimientos de la materia. Varios aspectos se tienen que considerar en la nutrición del nitrógeno óptimo, incluyendo la disponibilidad de nitrógeno químico y espacial en el suelo, la captación de nitrógeno por la asimilación de las células, la distribución y remobilización de nitrógeno dentro de la planta (Edward, 1995).

3.4.1 Balance del nitrógeno

Los componentes de entrada y salida son los siguientes:

- a) Fertilizante aplicado
- b) Nitrógeno en el agua de lluvia
- c) Mineralización e inmovilización
- d) Pérdidas de nitrógeno en el escurrimiento superficial
- e) Nitrógeno extraído por el cultivo
- f) Descargas de nitrógeno a través del drenaje subterráneo y colector abierto.
- g) Lixiviación
- h) Percolación profunda y pérdidas gaseosas

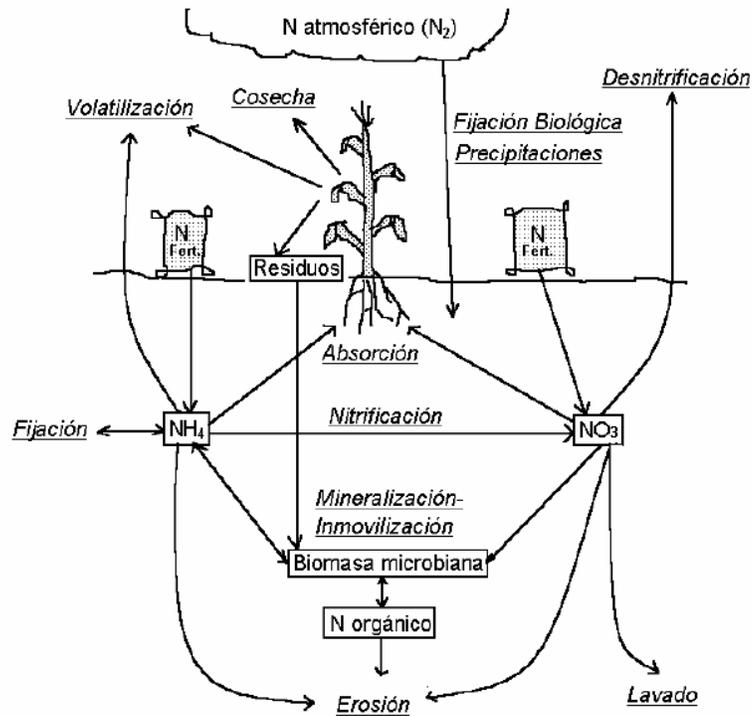


Figura 1. Ciclo del nitrógeno en un sistema agrícola

El balance del nitrógeno se define como la aplicación de la masa, cuando el nitrógeno que es conservado sufre transformaciones y procesos biológicos en determinado sistema (Legg y Meisinger, 1985).

$$\Delta N = E_N - S_N$$

Donde:

E_N = Entradas de nitrógeno

S_N = Salidas de nitrógeno

ΔN = Cambio de las reservas de nitrógeno inorgánico

Fassbender (1994), considera que los procesos más importantes de ganancia en el nitrógeno en el suelo son: fertilización, fijación biológica, fijación no biológica (deposición con lluvias) y deposición de residuos vegetales. Los procesos más importantes de pérdida son: absorción por las plantas, lixiviación o percolación, desnitrificación y erosión.

3.4.2 Fuentes de nitrógeno en el suelo

De los 16 elementos esenciales, el nitrógeno es el que está sometido a un mayor movimiento y transformación. La serie de ganancias, pérdidas y cambios se denomina ciclo de nitrógeno. El nitrógeno es un elemento versátil que existe en forma inorgánica y orgánica, y en diferentes estados de oxidación (Plaster, 2000).

Los procesos principales que componen el ciclo del nitrógeno son: la fijación del nitrógeno, la toma de nitrógeno (crecimiento de organismos), la mineralización del nitrógeno (desintegración), la nitrificación y la desnitrificación (Arthur, 2000).

El ciclo de nitrógeno completo también incluye algunos procesos no biológicos. Otras formas de fijación añaden nitrógeno al suelo apto para usarse. Los rayos que caen durante las tormentas proporcionan energía para combinar el nitrógeno gaseoso con el oxígeno para formar el dióxido de nitrógeno (NO_2). El gas se disuelve en vapor de agua para producir ácido nítrico (HNO_3), el ión de

nitrato está cargado negativamente y por ello no es adsorbido por los coloides del suelo (Plaster, 2000).

Nitrógeno en el suelo. El ciclo del nitrógeno en el suelo es parte del ciclo integral del nitrógeno en la naturaleza, no solo se limita al ecosistema sino que implica las interacciones con los animales, el hombre, la atmósfera e hidrosfera, resultando un ciclo muy complejo. Existiendo 31 procesos de transferencia de nitrógeno en un sistema integral planta-animal-suelo (Fassbender, 1994).

El nitrógeno aprovechable del suelo se efectúa por la realización de las distintas fases del ciclo del nitrógeno, de las cuales, algunas están contempladas en el suelo como es el caso de la descomposición de la materia orgánica. La forma de la materia orgánica de mayor influencia sobre las propiedades físicas y químicas del suelo es el humus. La materia orgánica sufre varias reacciones de descomposición antes de liberar el amonio asimilable, los procesos por los cuales tiene que pasar son: humificación, aminificación y amonificación (Lair, 1963). Las transformaciones más importantes para la nutrición vegetal son predominantemente microbianas (Wild, 1992).

3.4.2.1 Mineralización

La capacidad de un suelo para proporcionar el nitrógeno mineral que demandan los cultivos durante el ciclo completo de su desarrollo, depende de sus reservas de NO de la naturaleza de los residuos orgánicos y de la capacidad amonizadora de la población microbiana (Wild, 1992).

Básicamente es el proceso de transformación de NO a nitrógeno mineral, involucra dos subprocesos: amonificación, que es la transformación del N orgánico a N amoniacal (N-NH₄) y nitrificación que es la transformación de N amoniacal a N nítrico (N-NO₃) y en este último participan bacterias de la especie *Nitrosomas* y *Nitrobacter* (Castellanos *et. al.*, 2000). La amonificación es un importante proceso microbiano, no solo por que proporciona la materia prima para la nitrificación posterior, sino por que genera nitrógeno fácilmente asimilable. Debe considerarse el N amoniacal como una forma de suministro al suelo ya que las pérdidas son menores a las que sufren los nitratos y su acción fertilizante es más prolongada (Wild, 1992).

La mineralización es afectada también por la proporción carbono- nitrógeno (C/N) del material orgánico (Rauschkolb, 1994). Residuos como el de cereales con alta relación C/N superior a 30, presentan bajas tasas de mineralización inicial de N participando en el secuestro de N mineral del suelo. También cuando el contenido de ligninas y polifenoles del residuo es alto la

mineralización se reduce. En residuos de cultivos como leguminosas, la relación C/N es baja, por lo tanto, presentan mayor velocidad de mineralización (Castellanos *et. al.*, 2000).

A si mismo, el proceso de mineralización se ve favorecido con altas temperaturas, aereación, humedad alta en el suelo y pH cercano a la neutralidad, esto último está relacionado con la práctica de encalado de suelos ácidos para favorecer la mineralización de N (Castellanos *et. al.*, 2000). En pH neutro o alcalino predomina la descomposición por bacterias y actinomicetos (Núñez, 2007).

En climas templados la mineralización neta anual es aproximadamente el 1 ó 2 % del nitrógeno total, esto supone una producción de nitrógeno mineral de unos 40 a 150 kg ha⁻¹, en los primeros 30 centímetros del suelo (Arthur, 2000).

3.4.2.2 Inmovilización

La Inmovilización del nitrógeno es el reverso de la mineralización; ocurre cuando cantidades grandes o pequeñas de residuos de cosecha o paja de cereales empiezan a descomponerse en el suelo; también se le define como el proceso con que el nitrógeno mineral en el suelo es transformado en NO por acción de los microorganismos del suelo (Castellanos *et. al.*, 2000). Este proceso biológico es influido por la proporción C/N, por la adición de materia orgánica, temperatura, pH del suelo y la disponibilidad de nitrógeno mineral

(Rauschkolb, 1994). Es una competencia entre la planta y los microorganismos del suelo por las reservas del nitrógeno mineral, debido a que las bacterias construyen su protoplasma celular con ocho a 10 moléculas de C por cada molécula de N, tomando lo que necesitan de la reserva de N mineral del suelo (Castellanos *et al.*, 2000).

La inmovilización puede influir decisivamente en la nutrición nitrogenada de las plantas cuando se presentan desequilibrios entre el contenido de carbono y nitrógeno en los materiales orgánicos que están siendo descompuestos por los microorganismos. Estos últimos, secuestran cada vez más nitrógeno dentro de los residuos intactos de la pared celular. (Wild, 1992). Es un fenómeno parcial, pues se revierte cuando la relación C/N se reduce debido a la respiración microbiana que produce CO₂, iniciando el proceso de mineralización neta (Castellanos *et. al.*, 2000). La inmovilización no representa una pérdida permanente de nitrógeno ya que a la muerte de los microorganismos se producirá la mineralización y el retorno al suelo del nitrógeno inmovilizado (Wild, 1992).

3.4.2.3 Nitrificación

La nitrificación es la transformación del amonio (NH₄⁺) a nitrito (NO₂⁻) y posteriormente en Nitrato (NO₃⁻), mediante la acción de bacterias aerobias del

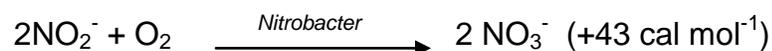
suelo (Fassbender, 1994). Los factores que afectan la nitrificación son: las bacterias *Nitrosomonas* y *Nitrobacter* (organismos autótrofos aeróbicos) pH del suelo, aireación del suelo, humedad y temperatura (Black, 1975 y Fassbender, 1994)

Núñez (2007), menciona que la mayor parte del nitrógeno asimilable en el suelo se encuentra en forma nítrica y amoniacal. El nitrato por su carácter aniónico es fácilmente lixiviable y por ello cobra mayor importancia en el fenómeno de la nitrificación. Este autor menciona que Warrington descubrió que la nitrificación se realiza en dos procesos; el primero llamado *nitritación*, que consiste en el paso del amonio a nitritos de acuerdo a la reacción siguiente:



Se observa formación de nitritos que cuando se acumulan en el suelo llegan a ser tóxicos para las plantas. Se liberan iones hidrógeno, causantes del carácter ácido de esta reacción (Figura 2) responsable del efecto residual ácido de los fertilizantes (Núñez, 2007).

El segundo proceso en la nitrificación lo constituye la reacción denominada *nitratación* que es la siguiente:



Se requiere suficiente amonio como sustrato, así como de calcio, fósforo y de otros nutrientes demandados por los microorganismos señalados (Núñez, 2007).

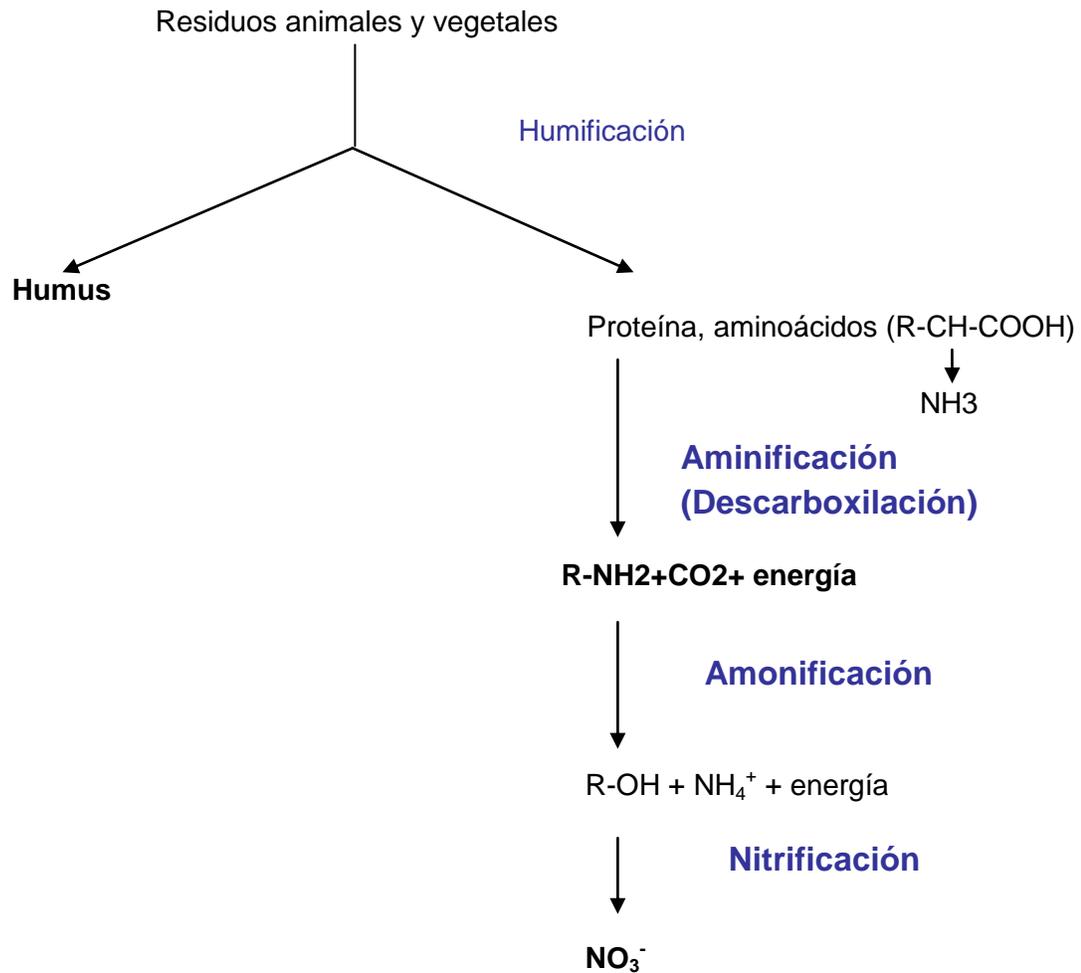


Figura 2. Proceso de descomposición de los compuestos nitrogenados de la materia orgánica.

Bajo condiciones adecuadas, la nitrificación puede transformar de 10 -70 kilos N ha⁻¹ día⁻¹. Esto implica que un abonado en forma amónica puede transformarse casi totalmente en nitrato en unos pocos días si la humedad y temperatura del suelo son favorables (Arthur, 2000).

Pineda (1980), indica que la nitrificación fue más eficiente a la temperatura de 27° C y con una humedad de una atmósfera, la nitrificación más intensa se presentó en la época de lluvias alrededor de los 30 y 54 días del cultivo del maíz.

La nitrificación en un suelo cultivado es la presencia de poblaciones nitrificadoras y de un sustrato amoniacal; la cantidad de nitratos formados depende de la acción conjunta de factores como la temperatura, humedad del suelo, p H y presencia de elementos tóxicos. Las bacterias requieren para una actividad óptima temperaturas entre 25 y 30 °C y humedad baja; cuando la mineralización de NO es pequeña la cantidad de amonio disponible es limitada (Wild, 1992).

3.4.2.4 Fijación biológica de nitrógeno

El nitrógeno es uno de los elementos más abundantes en la naturaleza, distribuido en tres importantes reservorios: el atmosférico, donde representa alrededor del 78%, el suelo y el N contenido en la biomasa (Aparicio-Trejo *et al.*, 2000). La fijación del nitrógeno es un proceso en el cual el N₂ atmosférico se convierte en amonio (N₂→NH₄⁺), este proceso es esencial porque es la única manera en que los organismos pueden aprovechar el nitrógeno de la atmósfera. El amonio producido por el nitrógeno que fija la bacteria es incorporado

rápidamente en la proteína y otros compuestos de NO ($\text{NH}_4^+ \rightarrow \text{N}$), ya sea por la planta anfitriona o por la misma bacteria (Arthur, 2000). Dicho proceso lo llevan a cabo las bacterias de vida libre o en simbiosis principalmente con leguminosas. La principal forma de fijación biológica de nitrógeno es la simbiótica entre el género *Rhizobium* y las leguminosas de varias especies (Castellanos *et al.*, 2000). Esta bacteria fija nitrógeno atmosférico cediéndolo a la planta y a cambio recibe carbono orgánico fijado por la planta mediante la fotosíntesis. Debe haber baja concentración de amonio y nitratos disponibles en el suelo, de lo contrario, la bacteria en lugar de fijar nitrógeno de la atmósfera, lo tomará ya fijado del suelo (Núñez, 2007). En frijol, la capacidad para fijar nitrógeno es de 50 a 100 kg de N/ha, en soya de 75 a 150 kg/ha, siendo la alfalfa la especie con mayor capacidad, hasta 500 kg de N/ha (Castellanos *et al.*, 2000).

3.4.2.5 Pérdidas de nitrógeno asimilable del suelo

Las pérdidas de nitrógeno son muy variables dependiendo del tipo de suelo y manejo del agua, por ejemplo en el Noroeste de México se ha encontrado que en los suelos de textura media a fina de las pérdidas totales de nitrógeno aplicado con el fertilizante, en 10% corresponden por lavado o lixiviación, el 30% por pérdidas gaseosas por volatilización (NH_3) y desnitrificación (N_2 y N_2O) y 60% se hizo indisponible a través de la fijación en el complejo de intercambio del suelo (Castellanos *et al.*, 2000).

3.4.2.6 Absorción por las plantas

La absorción aumenta a medida que los rendimientos de la cosecha son más importantes debido a que la mayor parte de nitrógeno que necesitan las leguminosas puede ser fijado simbióticamente, la absorción del suelo, en este caso es inferior a la que realizan las especies no leguminosas (Wild, 1992).

No todo el nitrógeno que absorben las plantas es eliminado del suelo con carácter definitivo ya que parcialmente retorna a través de las deyecciones de los animales que pasan por las praderas, o con el estiércol y con los residuos de los cultivos. Una parte del nitrógeno queda retenido en las raíces y otra vuelve con las caídas de las hojas rastrojos e incluso con las secreciones radiculares. En consecuencia, parte del nitrógeno absorbido por las plantas entra en un ciclo suelo - planta -suelo que puede integrar además al animal en pastoreo e incluso, al hombre cuando las aguas residuales se utilizan como fertilizante del suelo (Wild, 1992).

3.4.2.7 Erosión

Núñez (2007), indica que el horizonte superficial del suelo es el más rico en nitrógeno, debiéndose a ésto, el proceso de erosión representa un factor importante en el abatimiento de la fertilidad de los suelos.

3.4.2.7.1 Lixiviación

Es un proceso de transporte de nitrógeno, considerando que el ión NO_3^- es un anión y que no puede ser retenido por las arcillas como ocurre con los cationes del suelo (NH_4^+ , Ca^{2+} , K^+ , Na^+), es fácilmente transportado por el agua. Las pérdidas de N por este medio pueden variar de 0 hasta el 40%. Estas pérdidas son favorecidas bajo láminas de riego excesivas, suelo arenoso y aplicaciones altas de nitrógeno en etapas tempranas del cultivo (Castellanos *et al.*, 2000).

En suelos de bosques naturales se estima una lixiviación de 5 - 20 $\text{kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ aunque la pérdida por lixiviación aumenta con la irrigación y la aplicación de fertilizantes, llega a alcanzar hasta 80 $\text{kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ (Fassbender, 1994).

En un estudio sobre la lixiviación en la producción de USA (Texas, Nuevo México, Oklahoma, Colorado, Kansas, Nebraska y Wyoming) en el que se utilizó un modelo de simulación EPIC-PST se obtuvo que promedio de nitrógeno lixiviado por superficie estuvo en el rango de 0 - 12.1 kg ha^{-1} con un promedio de 3.14 kg ha^{-1} (Wu- JJ, *et. al.*, 1997).

Estrada *et al.*, (2002) explican que la lixiviación de nitratos del suelo, tres meses después de haber aplicado la mayor cantidad de fertilizantes nitrogenados, representa el 12% de la suma de todas las pérdidas de nitrógeno inorgánico.

Lluvias muy intensas pueden producir una lixiviación en profundidad en los suelos cultivados por lo que es necesario tomar muestras a diferentes profundidades y en distintas épocas del año. Si el perfil está seco y las lluvias no son excesivas, los nitratos se acumularán en las partes más bajas del perfil. Se han encontrado hasta 400 mg kg^{-1} de NO_3^- en un suelo a 90 cm de profundidad (Wild, 1992).

3.4.2.8 Fijación química del nitrógeno

El amonio puede ser fijado por arcillas tipo 2:1, quedando ocluido en los hoyos hexagonales de placas contiguas. Se han reportado valores de 5200 kg ha^{-1} de nitrógeno amoniacal fijado por este mecanismo en 1.22 m de espesor de suelo (Hincan, 1964; citado por Núñez, 2007).

Se ha encontrado mayor fijación de amonio en suelos ricos de alófono y materia orgánica, que en suelos ricos en arcilla tipo 2:1 y 1:1 respectivamente (Velázquez y Ortega, 1972).

La fracción orgánica del suelo puede fijar amoníaco (NH_3) formando compuestos de resistencia a la descomposición. Se desconoce el mecanismo

de este proceso. Este fenómeno es más intenso en presencia de oxígeno, muy pequeño a pH menores de 7 (Broadbent *et al.*, 1996; citado por Núñez, 2007).

3.4.2.9 Desnitrificación

Es la conversión de nitratos a N_2O y N_2 ; representa el último paso en el ciclo del N_2 global. Por este el nitrógeno es regresado a la atmósfera en forma de gas (Tan, 1994). Se agrupa en una serie de procesos biológicos o abiológicos que conducen a la reducción de nitratos lo que produce pérdidas de nitrógeno del suelo las cuales son considerables tanto del nitrógeno nativo como del nitrógeno aplicado en forma de fertilizantes (Fassbender, 1994).

Es uno de los mejores mecanismos de pérdida de nitrógeno desde la biosfera, el principal mecanismo es el proceso biológico el cual reduce el nitrato a gas y a otros productos. Aunque la desnitrificación es un proceso no muy específico, considera a los microorganismos involucrados, estos toman los sitios bajo condiciones específicas (Rauschkolb, 1994).

La secuencia de la desnitrificación es la siguiente:

Nitrato NO_3^- → Nitrito NO_2^- → Óxido nítrico NO → Óxido nitroso N_2O →
dinitrogeno N_2

Una vez que se convierte en dinitrógeno, el nitrógeno tiene pocas posibilidades de reconvertirse en una forma biológica disponible, ya que es un gas y se pierde rápidamente en la atmósfera. La desnitrificación es la única transformación del nitrógeno que remueve el nitrógeno del ecosistema y balancea la cantidad de nitrógeno fijado (Arthur, 2000).

Implicaciones ambientales de la desnitrificación. La descarga de óxido nítrico, N_2O , gas en el aire está causando preocupaciones en las actividades ecológicas. Este es uno de los gases causante del desarrollo de lluvia ácida y destrucción de la capa de ozono (Tan, 1994).

3.4.2.9.1 Volatilización de amoníaco

La volatilización del amoníaco es la emisión de amoníaco gaseoso del suelo a la atmósfera, esto se debe a que el amonio (NH_4^+) del suelo con pH alcalino, se transforma en amoníaco (NH_3), que es un gas volátil (Arthur, 2000).

La cantidad de amoníaco (NH_3) perdido por el suelo depende de las condiciones edáficas y del ambiente. Las pérdidas se producen a partir de suelos que tienen un pH igual o superior a 7 y presencia de sales amoniacaes en la superficie de los suelos cuando están secos. El amoníaco (NH_3) que se volatiliza del suelo

puede ser absorbido por el follaje de las plantas o ser transportado a través de la atmósfera hacia otros suelos (Wild, 1992).

Kissel *et al.*, (2004) realizaron un estudio para cuantificar el efecto de la precipitación en la pérdida de amoníaco (NH_3) y llegaron a las siguientes conclusiones; la pérdida de amoníaco de la urea fue aumentando y no se afectó por la precipitación simulada, aplicada después de que los gránulos de la urea fueran disueltos por el rocío. La pérdida creciente amoníaco debido a la precipitación simulada fue atribuida a la lixiviación, por lo cual aumentó el contenido en agua, para aumentar el índice de la hidrólisis de la urea.

Los estiércoles, si no se llegan a incorporar al suelo pueden perder del 10 al 60 % de su nitrógeno por volatilización, debido a que una parte importante de su nitrógeno puede estar en forma amoniacal (Arthur, 2000).

3.4.3 Nitrógeno en el agua de precipitación

Según Núñez (2007), el agua de lluvia contiene nitrógeno en forma aprovechable procedente de diferentes fuentes. Puede contener óxidos de nitrógeno o nitratos sintetizados por las descargas eléctricas

Con la lluvia se produce una transferencia de nitrógeno, las cantidades van a depender de la intensidad de las descargas de la lluvia y de la contaminación del aire (Fassbender, 1994). Algo de nitrógeno en el agua de lluvia puede venir en forma de amoníaco (NH_3), compuestos orgánicos, con el polvo o contaminaciones gaseosas (Lair, 1963).

La lluvia contiene cantidades variables de N en forma de amonio, nitrato y óxidos de nitrógeno, constituye una fuente importante de N en los sistemas naturales. Sin embargo en los sistemas agrícolas, este aporte ($5 -15 \text{ kilos N ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$) es pequeño en comparación al de los fertilizantes (Arthur, 2000).

Havlin *et al.*, (1999) Indica que la cantidad de nitrógeno en la precipitación varía de 1.12 a $56 \text{ Kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ dependiendo de la localidad, los cambios pueden darse por las actividades industriales y por el incremento de la población humana y animal.

Dentro de un programa de estudios de ecosistemas forestales de la región occidental de los Andes de Venezuela, se realizaron mediciones de las lluvias y análisis químico en el que se encontró que las concentraciones de nitrógeno oscilan entre 0.39 y 1.11 mg. L^{-1} . en un promedio de 0.64 mg.L^{-1} presenta un coeficiente de variación bajo de 5.6% (Fassbender, 1994).

La entrada de nitrógeno por agua de lluvia en Tabasco fue de 2.54 kg ha^{-1} para el ciclo de cultivo con riego y 7.01 kg ha^{-1} para el ciclo de cultivo con temporal (Cristóbal-Acevedo *et al.*, 2002).

La aportación de nitrógeno inorgánico en el suelo por agua por precipitación fue de 4.4 kg ha^{-1} y las concentraciones se ubicaron en el intervalo de 0 a 2.63 mg L^{-1} , aunque se tuvieron precipitaciones de aproximadamente 370 mm por los huracanes presentados en Tabasco en 1997, por lo cual las lluvias causó la lixiviación de nitrógeno inorgánico e incremento las concentraciones de nitratos y amonio en las aguas de drenaje subterráneo (Estrada *et al.*, 2002).

Lampkin (1990), considera a la lluvia como una fuente de nitrógeno y reporta valores de 15 kg N. ha^{-1} y que pueden llegar a $30 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$.

Elizalde (2003), encontró que el nitrógeno en el agua de lluvia varió muy poco en ambos sistemas (orgánico y convencional), demostró que la concentración de nitrógeno mineral cambio a través del tiempo, aumentó conforme el temporal, la concentración promedio de nitrógeno mineral, NO_3^- y NH_4^+ en el agua de lluvia fue de 5.22, 2.46 y 2.76 mg L^{-1} la entrada de amonio (NH_4^+) fue mayor en los dos sistemas, este fue de 53.2% y de nitratos (NO_3^-) en 46.8%.

3.4.3.1 Nitrógeno en el escurrimiento

De todos los mecanismos de pérdida de nitrógeno, la cantidad perdida en escurrimientos de la superficie es más baja que para cualquiera de otros sistemas de irrigación agrícola. Se puede afectar por la intensidad de la precipitación, se han obtenido datos relativamente pequeños del escurrimiento de la superficie como resultado de la precipitación en áreas con variantes de cantidad de precipitación (Rouschkolb, 1994).

Los terrenos agrícolas con mayor pérdida de nitrógeno por escurrimiento, son las que irrigan con riego pesado en surcos o con mayor superficie de cultivo de maíz, el escurrimiento fue simulado utilizando el modelo EPIC-PST para irrigación y prácticas de rotación, el promedio de pérdida por escurrimiento por superficie en USA (Texas, Nuevo México, Oklahoma, Colorado, Kansas, Nebraska y Wyoming) fue de 0.11 a 11.76 kg N ha⁻¹, obteniéndose un promedio de 4.71 kg N ha⁻¹ (Wu-JJ *et al.*, 1997).

Según Arthur (2000), se presenta pérdida de nitrógeno por flujo superficial de agua en los suelos agrícolas, no se infiltra en el campo, sino que fluye normalmente hacia terrenos más bajos o cursos superficiales de agua. En general estas pérdidas de nitrógeno del suelo son pequeñas, excepto cuando la escorrentía se produce poco después de un abonado nitrogenado.

Cristóbal-Acevedo *et al.*, (2002) hicieron un estudio para conocer la dinámica del nitrógeno por espaciamiento entre drenes (10, 20 y 40 m) en un sistema de cultivo de sorgo en Tabasco, México, se midió el nitrógeno que salió por escurrimiento, obteniendo los resultados siguientes; 0.023 kg ha⁻¹ (promedio de tres espaciamiento de drenes 10, 20, 40 m) para el ciclo de cultivo con riego y 4.65, 2.78, 6.24 kg ha⁻¹ (10, 20 y 40 m entre drenes) para el ciclo de cultivo con temporal. En este estudio también se midió el nitrógeno que salió del sistema por medio de un colector abierto, obteniendo los datos siguientes; 0.28, 0.53 y 0.60 kg ha⁻¹ (10, 20 y 40 m entre drenes).

Estrada *et al.*, (2002) mencionan que el nitrógeno en forma de amonio se descargó principalmente, en el escurrimiento superficial después de las lluvias intensas.

Doriozy y Ferhi (1994), encontraron que el 22% de nitrógeno aplicados al área de cultivo, equivalente a 14.6 kg/ha año fue transportado principalmente en forma de nitratos hacia las partes bajas de una pequeña cuenca. Este valor fue relativamente bajo, comparado con valores previos encontrados en áreas grandes e intensamente cultivadas. En la región de los Tuxtlas-Veracruz, México, Uribe-Gómez *et al.*, (2002), encontraron que la pérdida promedio de nitratos en terrazas de muro fue de 23 kg/ha debido al elevado aporte de nitrógeno por la descomposición de residuos de la poda de setos que se colocaron en el suelo.

Por su parte, Elizalde (2003) obtuvo en sus resultados, que la concentración promedio de amonio, nitratos y nitrógeno mineral del sistema convencional es de 2.50, 2.44 y 4.94 mg L⁻¹ y para el sistema orgánico es de 2.49, 2.69 y 5.18 mg L⁻¹, por lo cual existe mayor nitrógeno mineral en la superficie del suelo del sistema orgánico.

3.4.4 Nitrógeno en el ambiente

Las concentraciones excesivas de nitratos pueden provocar daños a los seres humanos y fauna. El nitrato en nuestros intestinos se convierte en nitrito el cual reacciona con la hemoglobina de la sangre y no deja que las células transporten oxígeno, esta condición se llama síndrome de la methemoglobinemia esta problemática es seria para los bebés, porque carecen de la enzima necesaria para corregir este problema (Legg y Mesinger, 1985).

El nitrógeno no recuperado por los cultivos genera problemas y efectos perjudiciales sobre la calidad ambiental, tal como la contaminación del agua por la lixiviación de los nitratos y emisión del amoníaco y óxidos de nitrógeno a la atmósfera, los cuales se presentan en la lluvia ácida, destrucción de la capa de ozono e incremento del efecto invernadero (Grageda *et al.*, 2002)

Las entradas de nitrógeno en aguas superficiales, son principalmente de aguas residuales municipales e industriales, tanques sépticos, descargas de drenajes domésticos, residuos agrícolas fertilizados y descargas de los extractores de los autos (Legg y Mesinger, 1982).

3.4.5 Formas presentes en el suelo

3.4.5.1 Nitrógeno total

Se considera nitrógeno total la suma de nitrógeno orgánico (NO) y nitrógeno mineral o inorgánico (Nmin) presente en el suelo (Tan, 1996). Castellanos *et al.* (2000) indican que, el análisis de nitrógeno total en el suelo (que se realizaba hace algunos años) de manera práctica no tiene ninguna utilidad para fines de diagnóstico, pues dicho resultado no indica su disponibilidad. Este autor asegura que hacer el cálculo de nitrógeno a partir del contenido de materia orgánica (M.O. x 0.05), expresado en % puede ser igual de útil.

3.4.5.2 Nitrógeno mineral

El nitrógeno mineral se compone de NH_3 , NH_4^+ , NO_3^- y NO_2 , estos se forman por la descomposición y mineralización de NO, las concentraciones que se estiman de NH_4^+ , NO_3^- son 1 – 2 % del N total en suelos, esto puede variar por la aplicación de fertilizantes nitrogenados (Tan, 1996). Siendo estas dos formas iónicas (NH_4^+ , NO_3^-), las preferentes para la absorción en la planta. La presencia del ión nitrato se ve regulada por aspectos como la desnitrificación

hasta formas gaseosas de N, la inmovilización microbiana y la lixiviación, mientras que el ión amonio se ve afectado por su volatilización en forma de amoniaco, su absorción por el coloide arcillo-húmico del suelo y la nitrificación (Bonilla, 2000).

Por el fenómeno de la nitrificación por las bacterias del género *Nitrobacter* que favorece la transformación de todo el NH_4^+ a la forma final de NO_3^- , el análisis de amonio normalmente no se realiza en las pruebas rutinarias de análisis e suelo para fines de recomendación (Castellanos *et al.*, 2000).

3.4.5.2.1 Efectos del cultivo anterior

Para verificar el efecto del cultivo anterior, Castellanos *et al.*, (2000), recomiendan tener la información sobre el cultivo anterior y su rendimiento, además del manejo que se le dio al residuo de dicho cultivo. Mediante el rendimiento se puede calcular la cantidad de residuo. Los residuos de gramíneas como sorgo, maíz, trigo y arroz contienen altos contenidos de carbono y bajas concentraciones de nitrógeno, por lo que se presentan una alta relación C/N. En suelos donde se incorporó residuo con alta relación C/N es recomendable aumentar la dosis de fertilizante nitrogenado al inicio del ciclo, para acelerar la descomposición y minimizar la inmovilización de nitrógeno; se

recomienda 5 kg de nitrógeno por tonelada de paja incorporada. Por lo anterior, ellos presentan datos (Cuadro 2), donde se puede observar la cantidad de nitrógeno suministrada e inmovilizada por los residuos de varios cultivos.

Cuadro 2. Nitrógeno suministrado al cultivo siguiente como resultado de la incorporación de maíz y frijol (Castellanos *et al.*, 2000)

Cultivo anterior	Rendimiento t/ha	N suministrado al siguiente cultivo por efecto del anterior
Maíz	8	-40*
Frijol	2	+25

*En caso de quemar o eliminar el residuo, el valor es cero. Este dato es por efecto de inmovilización de N.

3.4.5.3 Nitrógeno orgánico

La mayor parte del N del suelo se encuentra en la fracción de nitrógeno orgánico, no asimilable por las plantas (Bonilla, 2000), formada por residuos vegetales, microorganismos y animales en diversos estados de descomposición y material orgánico de la flora microbiana (Aguilar, 1987). Por lo anterior, son importantes los procesos de mineralización del N en el suelo habitualmente controlados por microorganismos, por lo que es difícil definir el potencial nutrimental del N en el suelo, aun si se considera los procesos de desnitrificación y lixiviación, siendo este último el que determina el impacto ambiental del nitrato de origen agrícola en los acuíferos subterráneos (Bonilla, 2000).

Castellanos *et al.*, (2000), aseguran que el nitrógeno proveniente de la materia orgánica del suelo se mineraliza a una tasa de 2 al 4% anual, con un promedio de 2% en seis meses o un ciclo de cultivo (Cuadro 3), asumiendo esto se puede estimar la cantidad de nitrógeno que potencialmente se puede mineralizar a partir de la materia orgánica (sin considerar la mineralización, inmovilización y nitrógeno inorgánico presente).

Cuadro 3. Cantidad de nitrógeno (Kg de N.ha⁻¹) disponible después de la mineralización de la materia orgánica en un periodo de 4-6 meses, en diferente grupo textural (Buchholz *et al.*, 1981).

Materia orgánica (%)	Textura de suelo		
	Fina*	Media	Gruesa
0.5	10-14	10-20	13-23
1.0	20-30	25-35	30-40
1.5	30-44	40-50	46-61
2.0	40-60	50-70	60-80
2.5	50-74	65-85	80-100
3.0	65-85	80-100	95-115

* Mineralización del 2% para texturas finas. Textura fina; arcilla, limo, arcillo-limoso y arcillo arenoso. Textura media; franco, franco-limoso, franco-areno-arcilloso, franco-arcilloso y franco-arcillo-limoso. Textura gruesa; arena, arena-franco y franco-arenoso.

Tan (1996), indica que más del 90% del N total se encuentra en esta forma orgánica, solo el 2 – 3 % de N orgánico es mineralizado en un año y liberado en suelos en forma inorgánica. Los compuestos nitrogenados orgánicos adicionales, son detectados en pequeñas cantidades.

3.4.6 Requerimientos de nitrógeno en el cultivo de maíz

La extracción total de nitrógeno que realiza un cultivo está en función de la concentración de este nutrimento en la materia seca y de la magnitud del rendimiento de grano o porción de interés económico y de paja o residuo del cultivo (Castellanos *et al.*, 2000).

El nitrógeno es uno de los nutrientes esenciales que puede limitar el rendimiento del maíz. Este macronutriente participa en la síntesis de proteínas y por ello es vital para toda la actividad metabólica de la planta (Andrade *et al.*, 1992).

La planta de maíz requiere alrededor de 20-25 kg ha⁻¹ de nitrógeno por cada tonelada de grano producido (Andrade y Margiotta, 1992).

Por su parte Castellanos *et al.*, (2000) indica que por cada tonelada de maíz producido, la planta extrae 23 toneladas de nitrógeno (Cuadro 4).

Cuadro 4. Requerimientos nutricionales para la producción de maíz

Parte de la planta	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
	kg de Nutrimento/t de producto cosechado		
Grano	15.0	7.0	5.0
Paja	8.0	3.0	19.0
Total	23.0	10.0	24.0

Fuente: Castellanos *et al.*, 2000.

En el Cuadro 5, se puede advertir la época de mayor exigencia de nitrógeno para el maíz, el cual es en etapa de desarrollo vegetativo, en esta etapa se

consume alrededor de las dos terceras partes del nitrógeno total absorbido en el ciclo de desarrollo (Núñez, 2007 y Anónimo 1972).

Cuadro 5. Consumo de nitrógeno en el maíz con un rendimiento aproximado de 12 t.ha⁻¹ (Anónimo 1972).

Edad (días)	Estado fenológico	N. absorbido (kg.ha ⁻¹)	Total (%)
0-25	Plántula	21	8
25-50	Desarrollo vegetativo	93	35
51-75	Espigamiento	83	31
76-100	Formación de grano	53	20
101-125	Madurez	16	6
	Total	266	100
	en el grano	188	
	en el rastrojo	78	

Fuente: Anónimo 1972.

Así mismo, en un estudio de flujos de nitrógeno en un suelo cultivado con forrajes y regado con agua residual urbana, Estrada *et al* (2001) mencionan que la absorción de nitrógeno total por el maíz fue de 126.3kg N ha⁻¹.

Elizalde (2003), comparó rendimiento en sistemas de producción orgánico y convencional, el sistema orgánico la concentración de nitrógeno fue de 1.042%, la extracción de nitrógeno fue de 132.8 kg ha⁻¹ y el rendimiento de 13.65 t.ha⁻¹ y para el sistema convencional la concentración de N fue de 1.78%, la extracción de N fue de 248.6 kg ha⁻¹ y el rendimiento de 13.927 t.ha⁻¹.

3.4.6.1 Importancia del nitrógeno en maíz

La importancia del nitrógeno radica en la producción de proteínas para la alimentación. La mayor parte de las proteínas en la dieta humana proviene de

semillas, como granos de cereales de maíz, trigo y arroz (Salisbury & Ross, 1994). En las variedades comunes de maíz, el contenido de proteínas puede oscilar entre el 8 y el 11% del peso del grano y en su mayor parte se encuentran en el endospermo. Las proteínas de los granos de maíz están formadas por lo menos por cinco fracciones distintas (I, II, III, IV, V y residuos). Conforme a su descripción, las albúminas, las globulinas y el nitrógeno no proteico totalizan aproximadamente el 18% del total de nitrógeno, con proporciones del 7%, 5% y 6% respectivamente (Cheftel *et al.*, 1989).

El maíz no tiene suficiente contenido de proteínas para una dieta adecuada. Sin embargo, con el nitrógeno se puede mejorar sensiblemente el contenido normal del 9-10% de proteína bruta, aunque en contrapartida se reduce el valor nutritivo al contener menos lisina (Domínguez, 1997).

El porcentaje de proteína en el grano de maíz en el sistema de producción convencional es mayor que en el sistema orgánico, siendo este de 11.26% y para el sistema orgánico fue de 8.48% (Elizalde, 2003).

Yu kui *et al.*, (2009), realizaron un estudio sobre los efectos de la aplicación de fertilizante nitrógeno en el contenido de 12 elementos minerales en el grano del maíz. Encontrando una correlación significativamente negativa entre cuatro elementos minerales (I, Zn, Ca y K) y la aplicación de nitrógeno. La correlación

negativa pudo deberse a que el fertilizante aplicado fue urea y esta se hidroliza primeramente para formar NH_4^+ , lo que podría competir en el punto de absorción con otros cationes, incluyendo K, Na, Mg, Ca, Zn, Cu, Fe y Mn, por lo que la acumulación de estos elementos en estos granos disminuye a medida que la fertilización con nitrógeno aumenta, además la urea puede acidificar el suelo, lo que aceleraría la filtración de K, Na, Mg y Ca, reduciendo su acumulación en los granos al tiempo que la fertilización aumenta (Shi *et al.*, 1999).

En la agricultura orgánica, el contenido de N de las compostas es de 1 a 3% y la tasa de mineralización del nitrógeno es cercana al 10% (Sikora y Enkiri, 2001), por lo cual sólo una fracción del nitrógeno y otros nutrimentos están disponible el primer año después de su aplicación. Para satisfacer las necesidades nutrimentales del maíz se requieren altas cantidades de abonos (López-Martínez *et al.*, 2001).

3.4.6.2 Producción de biomasa

Los componentes principales de la materia seca son polisacáridos de la pared celular, lignina, además de componentes del protoplasma, incluyendo proteínas, lípidos, aminoácidos, ácidos orgánicos y elementos como el potasio en forma de iones, pero no forman parte del compuesto orgánico. Estudios realizados en la parte aérea de la planta de maíz seco, el oxígeno y carbono fueron los

elementos más abundantes en peso con 44%, el hidrógeno fue el tercero y quedando en cuarto lugar el nitrógeno con 1.5% (Salisbury & Ross, 1992).

Para producir una tonelada de materia seca (0,6 t de grano), el maíz absorbe 2 toneladas de gas carbónico (González, 1995; citado por Elizalde, 2003).

En un estudio realizado por Harold (1999) menciona que la materia seca de tallos en madurez fisiológica de maíz fue de 31.8 t ha⁻¹ y la materia seca de grano fue de 16.3 t ha⁻¹.

Los mejores resultados obtenidos por Pineda (1980), en cuanto a producción de materia seca y absorción de N por la planta, fueron con la dosis de 120 kg ha⁻¹.

3.4.6.3 Síntomas de deficiencia y toxicidad de nitrógeno en maíz

Según Domínguez (1997), los síntomas de deficiencia más importantes en maíz son:

- a) Desarrollo raquítico,
- b) Clorosis de las hojas a partir del ápice por la parte central hasta extenderse por toda la hoja.

- c) La clorosis inicia en las hojas jóvenes y después alcanza a toda la planta.
- d) Se producen mazorcas pequeñas con aborto de los granos en el ápice.

En cereales, un déficit de nitrógeno afecta la distribución de asimilados entre órganos vegetativos y reproductivos (Donald y Hamblin, 1976). La distribución de biomasa o materia seca dependerá del número y actividad de las demandas y el número de semillas está últimamente relacionado con la disponibilidad de asimilados (Gifford *et al.*, 1984).

3.4.7 Requerimientos de nitrógeno en el cultivo de frijol

Existe la posibilidad de conseguir N₂ atmosférico fijado simbióticamente por leguminosas gracias a microorganismos de los géneros *Rhizobium* y *Frankia* y también por la absorción de amoníaco (gas) que se introduce en la planta a través de estomas; ambos terminan convirtiéndose en amonio (Bonilla, 2000).

En México se ha intensificado la investigación en frijol y fijación biológica de nitrógeno. Por lo anterior, Ferrera *et al.*, (1983), realizaron un experimento con cepas aisladas de *Rhizobium phaseoli* en suelos del Valle de México. Con una fertilización general con la fórmula 20-60-00. Los resultados fueron que las

cepas inoculadas no superaron ni en la mitad las cepas nativas de *Rhizobium*. Por otra parte, también fue notorio el bajo porcentaje de nitrógeno atmosférico fijado en las variedades mejoradas de frijol, que alcanzó un 11.73% como máximo, en cambio en el frijol criollo ese valor fue de 44.6%. Los resultados anterior fueron debidos a que el frijol criollo ha logrado compatibilidad con las cepas nativas de *Rhizobium* con el paso del tiempo, en cambio esto no ha ocurrido porque en su mejoramiento no se ha tomado en cuenta esta característica.

Castellanos *et al.*, (2000) indica que por cada tonelada de frijol producido, la planta extrae 40 toneladas de nitrógeno (Cuadro 6).

Cuadro 6. Requerimientos nutricionales para la producción de frijol

Parte de la planta	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
	kg de Nutrimiento/t de producto cosechado		
Grano	30.0	10.0	15.0
Paja	10.0	2.0	25.0
Total	40.0	12.0	40.0

Fuente: Castellanos *et al.*, 2000.

3.4.7.1 Importancia del N en frijol

Una nutrición adecuada del frijol juega un papel significativo en la calidad de la producción. El crecimiento de las plantas depende de un adecuado suplemento de nitrógeno para sintetizar aminoácidos, proteínas, ácidos nucleicos y otros constituyentes celulares necesarios para su desarrollo. Un factor que influye en

la regulación de las enzimas responsables de la asimilación de nitrógeno, es el propio estado nutricional con nitrógeno en las plantas (Sánchez *et al.*, 2006).

3.4.7.2 Producción de biomasa

Sánchez *et al.*, (2006), realizaron un estudio en plantas de frijol ejotero, donde midieron la respuesta de estos procesos fisiológicos antes deficiencias y toxicidades de nitrógeno. Aplicaron nitrógeno en forma de NH_4NO_3 en diferentes dosis; N1(1.5mM), N2(3.0 mM), N3(6.0 mM), N4(12 mM), N5(18 mM) y N6(24 mM). La deficiencia de nitrógeno (N1 y N2) causó deficiencia en la asimilación de nitrógeno así como del contenido de enzimas presentes en raíces y hojas. Lo anterior también produjo mínimas concentraciones de compuestos nitrogenados como aminoácidos, proteínas y NO, lo cual explica la baja cantidad de biomasa producida con respecto al óptimo de nitrógeno (N3). La producción de biomasa con una fertilización nitrogenada óptima se reflejó de la siguiente manera; en raíz fue ligeramente superior a 0.4 g/planta de peso seco y en hoja a 1.4 g/planta de peso seco. Con respecta a la producción de compuestos nitrogenados, en raíces; proteínas 1.74 mg/g, aminoácidos 0.62 mg/g, NO 34.20 mg/g y nitrógeno total 39.82 mg/g y en hojas; proteínas 7.20 mg/g, 1.92 mg/g, NO 40.51 mg/g y nitrógeno total en 45.83 mg/g, de peso seco de plantas de frijol.

Por su parte, Estrada y Gonzáles (2006), realizaron un estudio para conocer la forma de influencia del nitrógeno sobre la producción de biomasa, aplicando (T1)100 kg de N.ha⁻¹ y fertilidad normal del suelo (T2), teniendo resultados apreciables (Cuadro 7).

Cuadro 7. Acumulación y distribución promedio de biomasa (materia seca g.m⁻²) en frijol en función del nitrógeno aplicado, en Iguala Guerrero 2004-2006 (Estrada y Gonzáles, 2006).

Nitrógeno	Tallo	Lámina foliar	Pericarpio	Vaina vana	Semillas normales	Semillas abortadas	Órganos caídos	Total
T1	63	34	69	2.5	223	0.7	98	490
T2	47	22	57	1.7	132	0.4	97	358

T1; 100 kg de N.ha⁻¹ y T2; Fertilidad normal del suelo. La comparación de medias mostraron diferencias estadísticas (Tukey 0.05).

El mecanismo que regula la distribución de biomasa (materia seca) en los órganos de la planta no está bien entendido. No obstante, durante la etapa reproductiva del frijol, el tamaño de la demanda (número de vainas y semillas) parece modular la asignación de biomasa hacia la semilla en relación al resto de los órganos de la planta (Escalante y Kohashi, 1993). La disponibilidad de nitrógeno en el medio, afecta el desarrollo de las plantas (Mc Cullough *et al.*, 1994). Muchow (1988), señala que el déficit de nitrógeno reduce la expansión foliar más que la tasa de emergencia de la hoja, mientras que Mc Cullough *et al.*, (1994) encontraron un mayor efecto del déficit de nitrógeno sobre la tasa de emergencia de las hojas. En frijol, diversos estudios han demostrado que con el nitrógeno pueden lograrse incrementos en el número de vainas y de semillas y en el rendimiento (Escalante *et al.*, 1999).

3.4.7.3 Síntomas de deficiencia y toxicidad en frijol

Es importante señalar que cuando se ha notado deficiencias de nutrientes la planta ya se ha dañado, en general la producción, no obstante es necesario identificarlos para evitar daños mayores. Para el caso del nitrógeno, las hojas son de color verde amarillento. Al principio esta decoloración aparece en las hojas viejas y, después, en toda la planta. Provoca un crecimiento lento de la planta (Parsons *et al.*, 1999).

En este aspecto, Sánchez *et al.*, (2006), en su estudio sobre la asimilación de nitrógeno en frijol ejotero, en relación a deficiencia y toxicidades de este elemento, encontraron que con un exceso de nitrógeno (12, 18 y 24 mM de N) se favorece la concentración elevada de NO_3^- y HN_4^+ en raíces y hojas. Se presenta una máxima actividad enzimática y mayores concentraciones de compuestos orgánicos nitrogenados, pero no se reflejó en una mayor producción de biomasa. Concluyendo que la toxicidad de nitrógeno ejerce un efecto más negativo sobre la deficiencia, ya que ejerce disminución del crecimiento radical y parte aérea.

Por su parte Andreeva *et al.*, (1998), encontraron que aplicaciones elevadas de NO_3^- a la solución nutritiva (>10 mM de N) dieron lugar a efectos estresantes para las plantas, al reducir sustancialmente procesos clave para el desarrollo

vegetal, tales como fotosíntesis, síntesis y acumulación de almidón y asimilación de nitrógeno, lo que condujo a una reducción de la productividad.

Con respecto al NH_4^+ se ha demostrado que un elevado aporte de este catión al medio perjudica el crecimiento de las plantas. En comparación con plantas que fueron fertilizadas con NO_3^- (Harada *et al.*, 1968). La toxicidad de NH_4^+ puede ser producida por; inducción de deficiencia por acción antagónica con otros elementos (cationes), inhibición del crecimiento secundario por la acidificación del medio radicular, alteraciones del pH intracelular y balance osmótico, desacoplamiento del transporte de electrones en la fosforilación y alteración del metabolismo de las poliaminas y fitohormonas (Gerendás *et al.*, 1997)

3.4.8 Sustentabilidad del suelo y del N

El mantenimiento de la capacidad productiva del suelo requiere prácticas de nutrición vegetal y de mejoramiento de suelo que permitan un manejo adecuado de nutrimentos para evitar su carencia o pérdidas, y de la materia orgánica para potenciar la biodiversidad edáfica y optimizar las variables edáficas ligadas a su conservación (Labrador, 1996).

En un estudio sobre la sustentabilidad de los sistemas de maíz en el sureste de México Guevara *et al.*, (2000) utilizaron el siguiente esquemas (figura 3) para indicar las entradas y salidas del nitrógeno de un sistema.

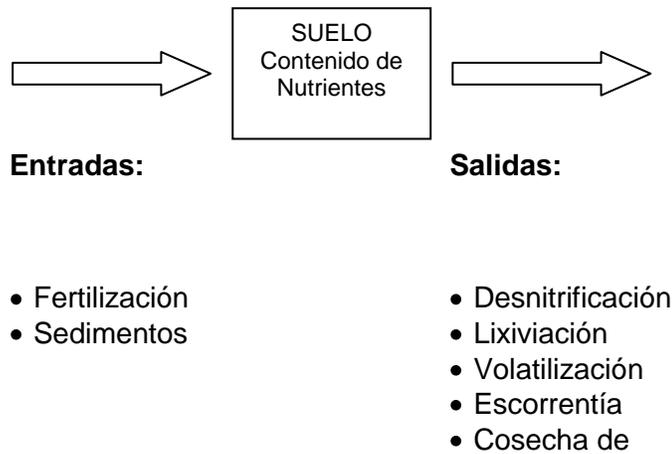


Figura 3. Flujo de nutrientes (nitrógeno) en suelo (Guevara *et al.*, 2000).

El abonado in situ; son las heces y orina del ganado. Se considera que la masa (materia seca) de heces y orina que se deposita en los terrenos está alrededor de 900 y 1215 kg ha⁻¹ por año en sistema tradicional y comercial respectivamente. El cultivo de frijol también aporta nitrógeno al sistema gracias al proceso de fijación biológica (Guevara *et al.*, 2000).

La escorrentía es particularmente importante en caso del fertilizante nitrogenado, debido a su alta solubilidad. Tiscareño *et al.*, (1997), reportan que en sistema de maíz de temporal bajo labranza convencional, en andosoles se pierde alrededor del 5% del total del fertilizante nitrogenado aplicado. Por lo que

se refiere al sistema tradicional, Edwards *et al.*, (1996), registraron en parcelas de escurrimiento una pérdida aproximada del 3% del nitrógeno del estiércol aplicado.

Hay que prestar atención en el manejo de la fertilidad de suelo y balance del nitrógeno, ya que debido a sus características, en un balance negativo, puede llegara a afectar la producción del cultivo (Guevara *et al.*, 2000).

IV. MATERIALES Y MÉTODOS

El manejo orgánico de los cultivos se llevó a cabo en la Granja Orgánica Efraím Hernández Xolocotzin. y la parte convencional a diez metros del lote orgánico, durante el ciclo primavera- verano 2010 dentro del Campo Agrícola Experimental de la Universidad Autónoma Chapingo (CAEUACH).

4.1 Fase de campo

4.1.1 Muestreo de suelo inicial

La primera actividad realizada fue un muestreo inicial de suelo en la parcela orgánica y la convencional. Para cada parcela se obtuvo una muestra compuesta de 15 submuestras tomadas en cada intersección de los cuadros según el método de cuadrícula. A las muestras se les determinó pH (en agua, relación 1:2), conductividad eléctrica (relación 1:5), materia orgánica (Walkley y Black); cationes intercambiables en acetato de amonio a pH 7, P disponible Olsen, Fe, Mn, Cu y Zn extraídos con DTPA, B por Mehlich III (Red *et al.*, 2008), densidad aparente por el método de la probeta según las metodologías indicadas en la Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000 (SEMARNAP, 2002).

Los datos del análisis de suelo del muestreo inicial se presentan en el Cuadro 8.

Cuadro 8. Resultados del muestreo inicial de suelo.

	Unidad de medida	Manejo convencional	Manejo orgánico
MO	%	2.18	2.09
Ni	mg · kg ⁻¹	32.20	39.20
P-Olsen	mg · kg ⁻¹	17.74	23.54
K	me/100 g	1.05	2.18
Ca	me/100 g	4.53	4.75
Mg	me/100 g	2.68	4.75
Fe	mg · kg ⁻¹	17.39	9.68
Mn	mg · kg ⁻¹	11.09	9.63
Zn	mg · kg ⁻¹	1.21	2.17
Cu	mg · kg ⁻¹	1.28	0.83
B	mg · kg ⁻¹	23.00	23.00
CIC	me/100 g	10.10	12.60
pH		6.61	7.46
Da	t m ⁻³	1.40	1.40

Métodos de análisis

De acuerdo con el análisis de suelo inicial se hicieron las recomendaciones de fertilización que se pueden ver en el Cuadro 9.

Cuadro 9. Necesidades de nutrientes para el cultivo de maíz de acuerdo a la producción esperada

Tratamiento	Cultivo	Rendimiento t/ha	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	Fe	Mn	Zn	Cu	B
			-----kg/ha -----								
Convencional	Maíz	18	191	19	0	195	1.8	3.9	5.0	2.3	0
	Frijol	864 kg	0	0	0	195	1.8	3.9	5.0	2.3	0

Cuadro 10. Recomendación de fertilizantes para la parcela convencional.

	Urea 46% N	Superfosf ato triple 46% P ₂ O ₅	CaSO ₄ 23% Ca	FeSO ₄ 7H ₂ O	MnSO ₄ 4H ₂ O	ZnSO ₄ ·7 H ₂ O	CuSO ₄ ·5 H ₂ O
	kg · ha ⁻¹						
Maíz	414	42	606	9	20	14	9
Frijol	0	0	606	9	20	14	9

4.2 Preparación del terreno

La preparación del terreno se llevó a cabo el día 28 de mayo del 2010, inició con la aplicación de yeso al suelo a la parcela de TC, ya que de acuerdo al análisis inicial de suelo (Cuadro 8) y a las necesidades de los cultivos a establecer se registró una deficiencia de calcio en la parcela convencional, la cual se cubrió con 84.84 kg de CaSO_4 (Figura 4). Para hacer una incorporación homogénea del producto, se fraccionó la dosis (Cuadro 9) conforme a una cuadrícula de la superficie del terreno.



Figura 4. Aplicación de CaSO_4 al suelo en la parcela convencional antes del barbecho.

Una vez aplicado el CaSO_4 , en la parcela convencional se llevó a cabo el barbecho, rastreo, nivelado, surcado y siembra en las dos parcelas (Figura 5)



Figura 5. Barbecho de la parcela orgánica



Figura 6. Siembra de frijol en la parcela convencional

La siembra se llevó a cabo el día 28 de mayo, a 10 cm colocando de tres a cuatro semillas para los dos cultivos, con la finalidad de asegurar una buena

densidad de plantas (Figura 6). La siembra se realizó en franjas cada parcela constó de seis franjas de las cuales tres corresponderían a las repeticiones de maíz y tres a las repeticiones de frijol, la ubicación de las franjas se hizo de manera aleatoria, quedando como se observa en la Figura 7.

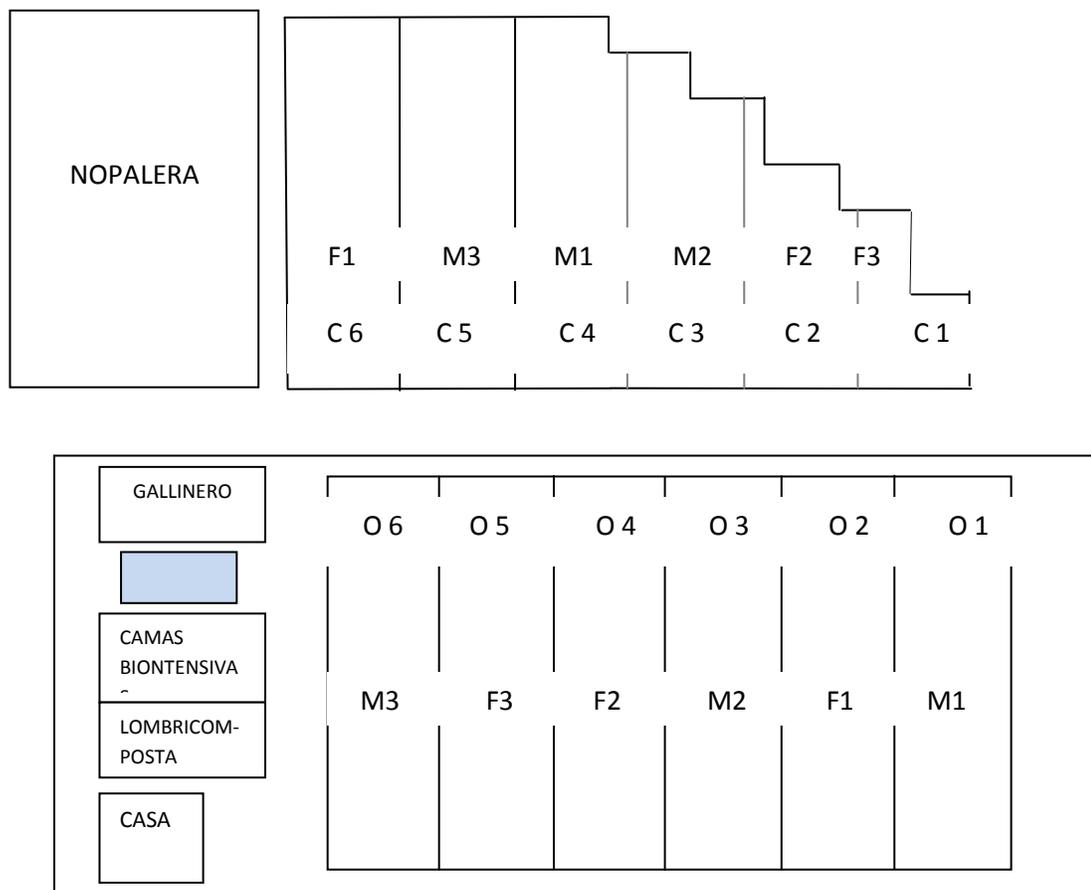


Figura 7. Ubicación de las parcelas e identificación.

Se utilizó un código para cada franja en las parcelas orgánica y convencional, en el caso de la parcela orgánica se utilizó la clave O-1 para la franja uno en la parcela orgánica hasta O-6 para la franja 6 de la parcela orgánica 6, de manera similar se tuvieron seis franjas para el tratamiento convencional C-1 hasta C-6.

Esto se hizo para facilitar la toma de datos al momento del muestreo; F1, F3, F4 correspondieron a las repeticiones de frijol y M1, M2, M3 a las repeticiones de maíz las letras de C 1-6 y O 1-6, se utilizaron al momento de la toma de datos con la finalidad de hacer más sencilla la recolección de información.

4.3 Instalación de parcelas de escurrimiento

A los 19 DDS (Días Después de Siembra) (16/06/2010) se instalaron las parcelas de escurrimiento, se tomó la decisión de instalar las parcelas en franja con la finalidad de permitir la entrada del tractor para las labores de aporcado (Figura 8).



Figura 8. Parcelas de escurrimiento colocadas en la parcela orgánica

Cada parcela de escurrimiento tuvo un área de 1.5 m² y consistió en un marco de fierro de 1 m de ancho por 1.5 m de largo; con orificios y una canaleta para

conducción de agua en una de las partes angostas, la canaleta dirigía el agua a una tina la cual estaba conectada a la parcela por una manguera (Figura 9), la tina tenía un área de 1225 cm² y se colocó conforme va la pendiente del terreno (Figura 10). Para la instalación de la parcela de escurrimiento se seleccionaron cuatro plantas que estuvieran homogéneas en cuanto a tamaño y que de acuerdo a su ubicación no se vieran afectadas con el marco.



Figura 9. Conexión del marco de la parcela de escurrimiento y la tina.



Figura 10. Instalación del marco de la parcela de escurrimiento y tina de captación

4.4 Labores culturales

4.4.1 Riego

Debido a que no se presentaron lluvias dentro de los primeros ocho días después de la siembra se aplicó un riego rodado el día 5 de junio (Figura 11), para promover la germinación.



Figura 11. Parcela Convencional durante el primer riego rodado a los ocho DDS.

Se aplicó un segundo riego el día 1 de julio debido a que por 15 días no se habían presentado lluvias. Como se puede ver en la Figura 12, se rodearon las parcelas de escurrimiento para que no entrara agua a las tinajas y con ayuda de pala cuchara se regaron las plantas que se encontraban dentro de las parcelas de escurrimiento.



Figura 12. Cultivos de frijol y maíz del TO durante el segundo riego a los 33 DDS.

4.4.2 Fertilización

La fertilización para el TC se realizó de acuerdo a las dosis de fertilización propuestas que permitirían cubrir las necesidades de nutrientes (Cuadro 9) por cultivo de acuerdo a los rendimientos a obtener y a las después del análisis de suelo inicial; la primera fertilización fue para cubrir las necesidades de fósforo en el cultivo de maíz, esta se llevó a cabo a los 19 días DDS, la fuente fue Superfosfato triple y se aplicaron 42 kg del fertilizante, la forma de aplicación fue mateado (Figura 13).

En el caso del nitrógeno se aplicó solo al cultivo de maíz. Para obtener un rendimiento de 18 toneladas de acuerdo al análisis inicial de suelos se requería

cubrir una dosis de nitrógeno de 191 kg ha^{-1} . Para cubrir estas necesidades de nitrógeno se utilizaron nitrato de amonio NH_4NO_3 y sulfato de amonio $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$. La aplicación se hizo en forma fraccionada en dos fechas-



Figura 13. Aplicación de fósforo al cultivo de maíz.

La primera aplicación se llevó a cabo el día 3 de julio para cumplir con la necesidad de nitrógeno se aplicaron 26.8 kg de nitrato de amonio y se aplicó toda la dosis de micronutrientes (Fe, Mn, Zn, Cu) a los cultivos de frijol y maíz. Para Fe se utilizaron 1.40 kg de $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$; en el caso de Mn se aplicaron 3.11 kg de $\text{MnSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$; 2.17 kg de ZnSO_4 para Zn; para suplir la necesidad de Cu se utilizaron 1.40 kg de Cu SO_4 (Figura 14); Cabe mencionar que estas cantidades se aplicaron a la parcela convencional, debido a que la dosis recomendada era la misma para los cultivos de maíz y frijol.



Figura 14. Primera aplicación de nitrógeno al cultivo de maíz.

La segunda fracción de nitrógeno se aplicó el 13 de julio sólo al cultivo de maíz y se utilizaron 21.89 kg de nitrato de amonio NH_4NO_3 y 15.8 kg de sulfato de amonio $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, estas cantidades de fertilizante se aplicaron en las tres franjas de cada cultivo (Figura 15).



Figura 15. Segunda aplicación de nitrógeno al cultivo de maíz.

La cantidad de nitrógeno total que se aplicó durante el ciclo del cultivo fue 19.54 kg, lo que correspondería a las entradas de nitrógeno por fertilización.

4.4.3 Aclareo y Aporcado

El aclareo se llevó a cabo del 5 al 7 de julio, dejando tres plantas por mata, posteriormente se llevó a cabo la fertilización y el aporcado (Figura 16) en la parcela convencional y orgánica; se pasó el tractor después de la segunda aplicación de N el 13 de julio. Se tuvo cuidado de no dañar las parcelas de escurrimiento.



Figura 16. Aporcado en la parcela convencional

4.4.4 Control de plagas y enfermedades

En cuanto a las plagas y enfermedades en el cultivo de frijol se tuvo presencia de Conchuela del frijol (*Epilachna* spp), para lo cual se aplicaron diferentes

sustancias de acuerdo a la naturaleza del tratamiento; en el caso de la parcela convencional se aplicó SEVIN 80 PH, 250 g en 50 L de agua, la aplicación fue con mochila aspersora.

Para la parcela orgánica se aplicó un compuesto a base de chile, y ajo, el cual se molía y se mezclaba con agua, para aplicar al cultivo en forma foliar con ayuda de mochila aspersora. La aplicación debía ser por las mañanas temprano y la planta se roseaba completamente con la finalidad de ahuyentar a larvas y adultos de conchuela *Epilachna* spp.

Después de haber hecho las aplicaciones se logró eliminar la infestación de plagas y mejoró la calidad del cultivo.

4.5 Toma de datos

4.5.1 Pluviómetro y parcelas de escurrimiento

Se instalaron tres pluviómetros en la parcela orgánica el día 8 de junio y se comenzó a tomar datos al día siguiente. El 25 de junio se instaló un cuarto pluviómetro. Los datos se tomaron cada 24 horas a las 8:00 am. El procedimiento de toma de muestra consistió en medir con una probeta el volumen de agua colectada en cada evento de precipitación, se etiquetó el frasco y se guardó en el congelador, hasta el momento de su análisis

Para el caso de las parcelas de escurrimiento la toma de datos y el muestreo consistió en medir la cantidad de agua que se captó en las tinajas de cada

parcela de escurrimiento; cada 24 horas se midió la lámina en cm y se tomó la muestra de agua de cada tina; cada muestra se etiquetó y se guardó en congelador.

A las muestras de agua de ambos instrumentos se determinó la concentración de NH_4^+ , NO_3^- , mediante destilación por arrastre de vapor (Bremner, 1965).

Se tomaron 15 muestras de agua para la variable salida de nitrógeno por escurrimiento (SNE) y 53 muestras de agua del pluviómetro que sirvieron para conocer la entrada de nitrógeno por precipitación (ENP).

4.5.2 Muestreo de planta

El muestreo de planta de frijol y maíz se llevó a cabo el día 23 de octubre, para el caso de frijol consistió en tomar cinco metros lineales y recoger las plantas que se encontraran sembradas en esa área, las plantas se pesaron y una vez secas al aire, se extrajo el grano de las vainas.



Figura 17. Muestreo de planta de frijol y maíz al final del cultivo.

Para el caso de maíz se cortaron todas las plantas que estuvieran en un metro lineal, el corte se realizó arriba de la primera raíz aérea y se separó la mazorca, y las hojas; los tallos se cortaron en trozos (Figura 17); de igual forma se puso a secar al aire con la finalidad de eliminar el exceso de agua. Una vez secas las muestras vegetales, sólo los tallos y hojas de maíz y frijol se metieron en bolsas de papel y se sometieron a secado en una estufa a 60 °C.



Figura 18. Grano de maíz.

Una vez secos los materiales se pesaron y molieron y de ese producto, se tomaron aproximadamente 5 g que se molieron nuevamente (Figura 18). Para proceder a la determinación de N total según el procedimiento semi-microKjeldahl, modificado para incluir nitatos (Bremner, 1965), previa digestión húmeda de la matriz orgánica en una mezcla de ácido sulfúrico-salicílico.

4.5.3 Muestreo de suelo

Se realizó un muestreo de suelo final el día 13 de noviembre y consistió en hacer una muestra compuesta de 10 submuestras para cada franja. A las muestras se les determinó N total Kjeldahl y N inorgánico (NH_4^+ , NO_3^-) extraído con KCl 2 N (SEMARNAP, 2002).



Figura 19. Preparación y molienda de muestras previo al análisis de laboratorio

4.6 Diseño experimental

Se consideraron tratamientos, TC y TO en un diseño experimental completamente al azar los cuales tuvieron las siguientes características; el análisis se realizó con $\alpha=0.05$.

Se analizaron los resultados de las siguientes variables respuesta:

1. Entradas de nitrógeno por precipitación (ENP)
2. Salidas de nitrógeno por escurrimiento (SNE)
3. Nitrógeno en planta (NP)
4. Nitrógeno en suelo (NS)
5. Producción de biomasa (PB)

La variable ENP se refiere a la cantidad de nitrógeno en forma de NO_3^- y NH_4^+ por precipitación durante el ciclo de cultivo.

La variable SNE corresponde a la cantidad de NO_3^- y NH_4^+ que se perdió por escurrimiento en cada precipitación,

El NP corresponde a la cantidad de nitrógeno mineral que se encontró en cada parte de las plantas muestreadas, en el caso de frijol corresponde a biomasa y grano y en el maíz en hoja, tallo y grano.

El NS en esta variable se tomó la cantidad de nitrógeno mineral, total y orgánico así como la materia orgánica (MO) que hubo en suelo después del ciclo del cultivo.

El rendimiento se tomó de acuerdo a la PB al finalizar el ciclo de cultivo y se extrapolo a una hectárea para poder sacar el rendimiento de maíz y frijol.

V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1 Entrada de nitrógeno por precipitación

El comportamiento del N en forma de NH_4^+ y NO_3^- , que entró durante el periodo que comprendió el experimento, se puede observar en Figura 20. La cantidad de amonio en relación al total de nitrógeno mineral aportado comprende el 56% y el resto (44%) en forma de NO_3^- . Existió variación en la cantidad de mm de precipitación pluvial, por lo que esto se vió reflejado en la cantidad de nitrógeno que entró al suelo de cada parcela experimental destinada para la investigación. Se observa un pico máximo de entrada (Figura 20), tanto de NO_3^- como de NH_4^+ (04-Julio-2010) esto se debió a que en esta fecha en particular hubo lluvia intensa como vía de entrada de nitrógeno al suelo para su aprovechamiento por los cultivos de maíz y frijol en los sistemas convencional y orgánico (Figura 20). En promedio, en cada lluvia se midió la cantidad de nitrógeno en el agua, siendo la concentración de NH_4^+ de 3.10 mg L^{-1} , NO_3^- de 2.25 mg L^{-1} y nitrógeno inorgánico o inorgánico (NH_4^+ , NO_3^-) de 5.35 mg L^{-1} . Estos resultados fueron congruentes con los hallados por Elizalde (2003), ya que encontró que el nitrógeno en el agua de lluvia varió muy poco en ambos sistemas (orgánico y convencional), demostró que la concentración de nitrógeno mineral cambio a través del tiempo, aumentó conforme el temporal, la concentración promedio de nitrógeno mineral, NO_3^- y NH_4^+ en el agua de lluvia fue de 5.22, 2.46 y 2.76 mg L^{-1} .

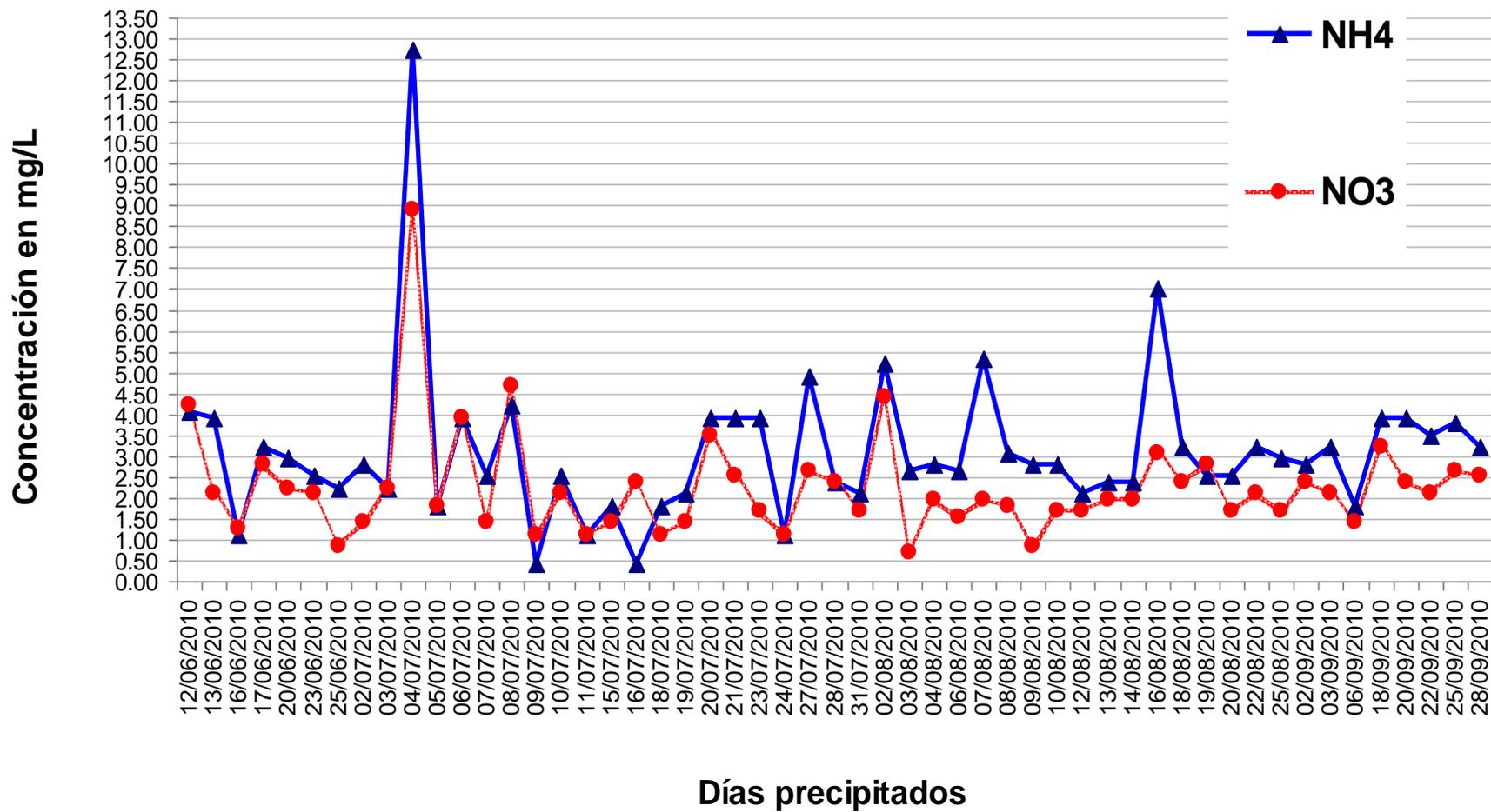


Figura 20. Concentración (mg L^{-1}) de nitrógeno mineral en el agua de lluvia que se precipitó sobre los cultivos de maíz y frijol en producción orgánica y convencional, durante el periodo de estudio.

Durante el periodo del experimento entraron 10.416 kg ha⁻¹ de amonio y 8.085 kg ha⁻¹ de nitrato, con un aporte total de 18.501 kg de nitrógeno mineral. Los datos anteriores concuerdan con Lampkin (1990), quien considera a la lluvia como una fuente de N y reporta valores de 15 kg N ha⁻¹ y que pueden llegar hasta 30 kg N ha.año⁻¹. La lluvia contiene cantidades variables de N en forma de amonio, nitrato y óxidos de nitrógeno que constituye una fuente importante de N en los sistemas naturales. Otros investigadores como Havlin *et al.*, (1999) Indican que la cantidad de nitrógeno en la precipitación varía de 1.12 a 56 kg ha⁻¹ por año dependiendo de la localidad, los cambios pueden darse por las actividades industriales y por el incremento de la población humana y animal. Por su parte Cristóbal-Acevedo *et al.*, (2002) cuantificaron una entrada de nitrógeno por agua de lluvia en Tabasco siendo de 2.54 kg ha⁻¹ para el ciclo de cultivo con riego y 7.01 kg ha⁻¹ para el ciclo de cultivo con temporal. Los datos anteriores confirman los resultados obtenidos en este trabajo de investigación

5.2 Fertilización

De acuerdo a las recomendaciones dadas a partir del análisis de suelo inicial, se encontró que era necesaria la aplicación de 191 Kg ha⁻¹ de nitrógeno. El cual, solamente fue suministrado al cultivo de maíz en sistema convencional. Las fuentes de nitrógeno fueron nitrato de amonio (NH₄NO₃) y sulfato de amonio (NH₄)₂SO₄.

5.3 Fertilidad de suelo

El contenido inicial nitrógeno inorgánico en suelo en el TC fue de 32.20 mg kg⁻¹ y de 39.20 mg kg⁻¹ en TO (Cuadro 9) y una. Con base en la densidad aparente de 1.4 t.m⁻³ se estimó que el contenido de nitrógeno mineral (NO₃⁻ + NH₄⁺) fue de 135.24 kg ha⁻¹ al establecimiento de las parcelas con manejo convencional y de 164.64 kg ha⁻¹ para el orgánico.

5.4 Salida de nitrógeno amonio y nitrato por escurrimiento

El análisis de varianza (ANOVA) con un $\alpha=0.05$ se presenta en el Cuadro 10 (Anexos A-O). Hubo diferencias significativas entre tratamientos sólo en dos fechas de muestreo en cultivo de frijol cuando se midió la concentración de NH₄⁺ y de NO₃⁻; en el caso del maíz se presentaron diferencias significativas entre tratamientos en dos fechas de muestreo cuando se midió la concentración de NH₄⁺ y una diferencia significativa en una fecha de muestreo en la determinación de NO₃⁻ (Cuadro 10, Figura 21-24). Con excepción de lo mencionado, el promedio de la concentración de NH₄⁺ y NO₃⁻, independientemente del cultivo y del tipo de manejo fue de 2.4 y 2.5 mg L⁻¹ en cada evento de escurrimiento. A diferencia de estos resultados, Estrada *et al.*, (2002), encontró que las mayores concentraciones de nitrógeno en forma de amonio se descargaban principalmente en el escurrimiento después de las lluvias.

Cuadro 11. Análisis de varianza ($\alpha=0.05$) y medias para el efecto del tratamiento orgánico (TO) y convencional (TC) de la concentración de Amonio (NH_4^+) y nitrato (NO_3^-) para la variable Salida de nitrógeno por escurrimiento (SNE).

Variable	Clave	Pr>F	Medias Mg L ⁻¹		Medias Mg L ⁻¹	
			Frijol		Maíz	
			TC*	TO**	TC*	TO**
ESCNH4	ESC1	0.0177	2.5667 A	2.0533 B	2.6600 A	2.7067A
	ESC2	1.000	2.0533 A	2.0533 A	1.9133 A	1.8200 A
	ESC3	0.4232	1.9600 A	1.5400 A	1.4700 A	1.5400 A
	ESC4	0.1708	1.4933 A	2.2867 A	2.2400 A	1.6800 A
	ESC5	0.1155	1.0733 A	1.7733 A	2.2867 A	1.9600 A
	ESC6	0.0739	1.1667 A	1.5867 A	1.3533 A	1.4467 A
	ESC7	0.1242	1.5867 A	1.2600 A	1.8667 A	1.4467 A
	ESC8	0.0010	1.7500 A	2.1000 A	1.9600 A	1.8667 A
	ESC9	1.0000	3.8267 A	3.8267 A	3.2200 B	4.4333 A
	ESC10	1.0000	3.5000A	3.5000 A	3.9667 A	3.7800 A
	ESC11	0.0056	3.0800 A	2.1000 B	3.1500 A	3.0600 A
	ESC12	0.4841	3.1267 A	2.7300 A	3.0333 A	2.5200 A
	ESC13	0.3814	2.6133 A	2.3100 A	2.1933 B	3.1267 A
	ESC14	0.9560	2.7067 A	2.7533 A	2.6600 A	2.1000 A
	ESC15	0.6960	3.2200 A	3.0800 A	3.0800 A	2.4267 A
ESCNO3	ESC1	0.5748	3.3600A	3.1733 A	3.3133A	2.7067 A
	ESC2	0.5930	2.2867 A	2.0067 A	2.4267 A	2.0533 A
	ESC3	0.7287	1.3533 A	1.2133 A	1.6100 A	1.3533 A
	ESC4	0.1912	2.3333 A	1.8200 A	2.1700 A	1.4467 A
	ESC5	0.1379	1.3533 A	2.6600 A	3.173 A	1.727 A
	ESC6	0.4348	1.2133 A	1.6800 A	1.1667 A	1.2600 A
	ESC7	0.0006	1.5866 B	2.5200 A	1.8200 A	1.9133 A
	ESC8	0.047	2.3433 A	3.3600 A	0.8400 B	1.9133 A
	ESC9	0.4818	3.9200 A	3.6400 A	3.3133 A	3.4067 A
	ESC10	0.5848	3.5933 A	3.8267 A	4.1533 A	3.3133 A
	ESC11	0.0065	3.0333 A	1.8200 B	3.9200 A	3.8267 A
	ESC12	0.2122	2.8000 A	2.0300 A	3.4067 A	2.7067 A
	ESC13	0.4772	2.8000 A	2.3800 A	2.4733 A	3.1733 A
	ESC14	0.9448	2.5200 A	2.5667 A	2.4267 A	1.9133 A
	ESC15	0.6481	2.4500 A	2.3333 A	2.8467 A	2.5200 A

Medias con la misma letra no son estadísticamente diferentes

*TC= Manejo Convencional **TO= Manejo Orgánico

Tukey con un ($\alpha=0.05$)

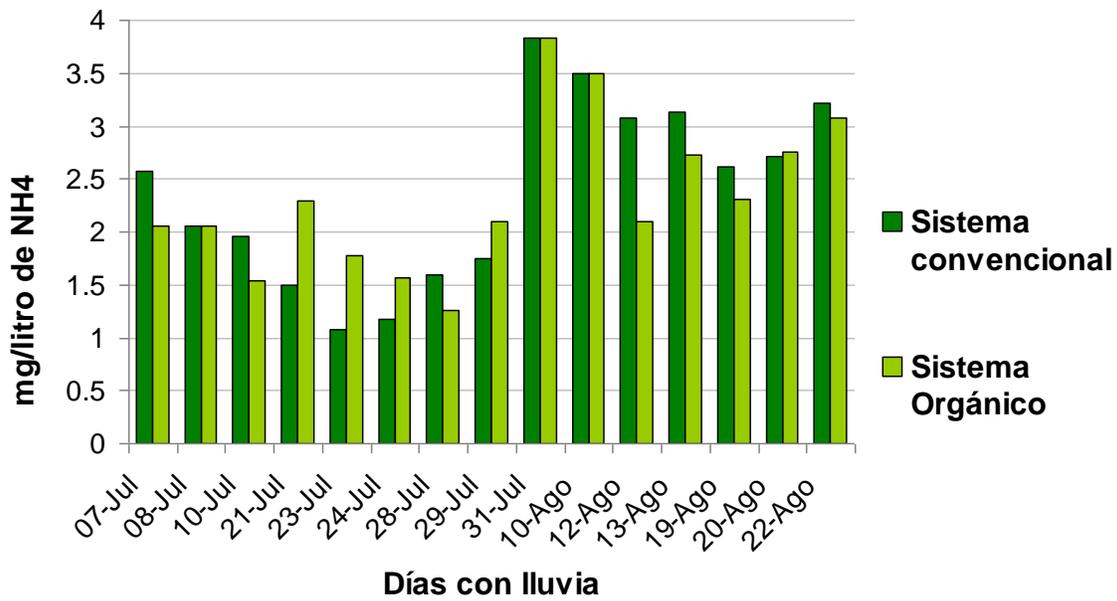


Figura 21. Concentración (mg L^{-1}) de NH_4^+ en el agua de escurrimiento en la parcela con frijol y los sistemas convencional y orgánico.

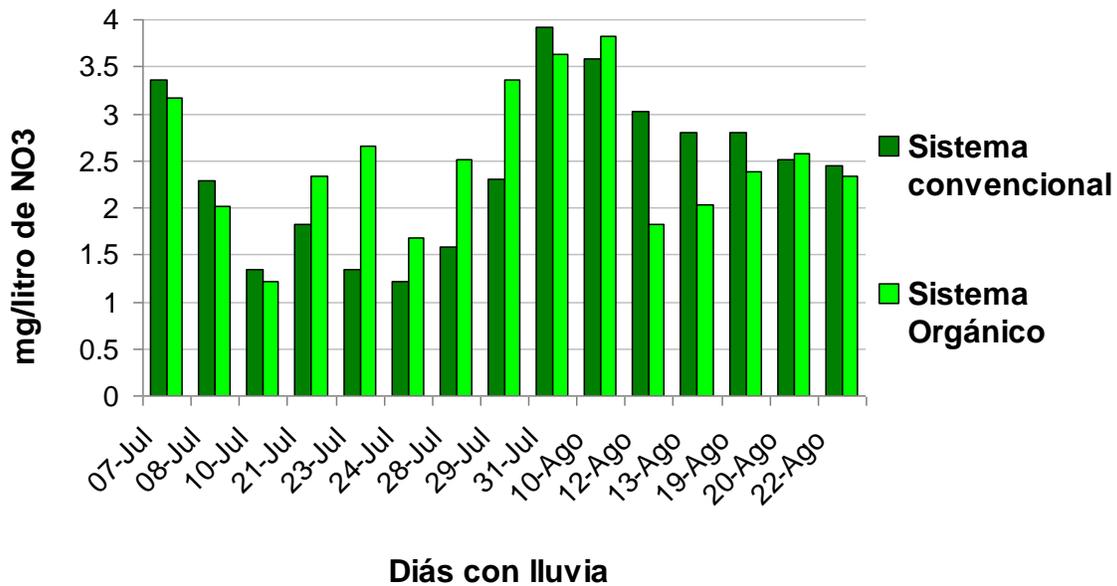


Figura 22. Concentración (mg L^{-1}) de NO_3^- en el agua de escurrimiento en la parcela con frijol y los sistemas convencional y orgánico.

De manera general y considerando una parcela de escurrimiento de 1.5 m², se determinó que la pérdida de nitrógeno mineral por medio de escurrimiento en el cultivo de frijol en forma de NH₄⁺ en el sistema convencional fue de 2.68 kg.ha⁻¹ y en el sistema orgánico de 1.05 kg.ha⁻¹. En lo que se refiere a la salida de NO₃⁻ en el sistema convencional fue de 2.63 kg.ha⁻¹ y 1.26 kg.ha⁻¹ para el sistema orgánico. El cultivo de frijol orgánico resulta más eficiente en la retención de NH₄⁺ y NO₃⁻ que el convencional.

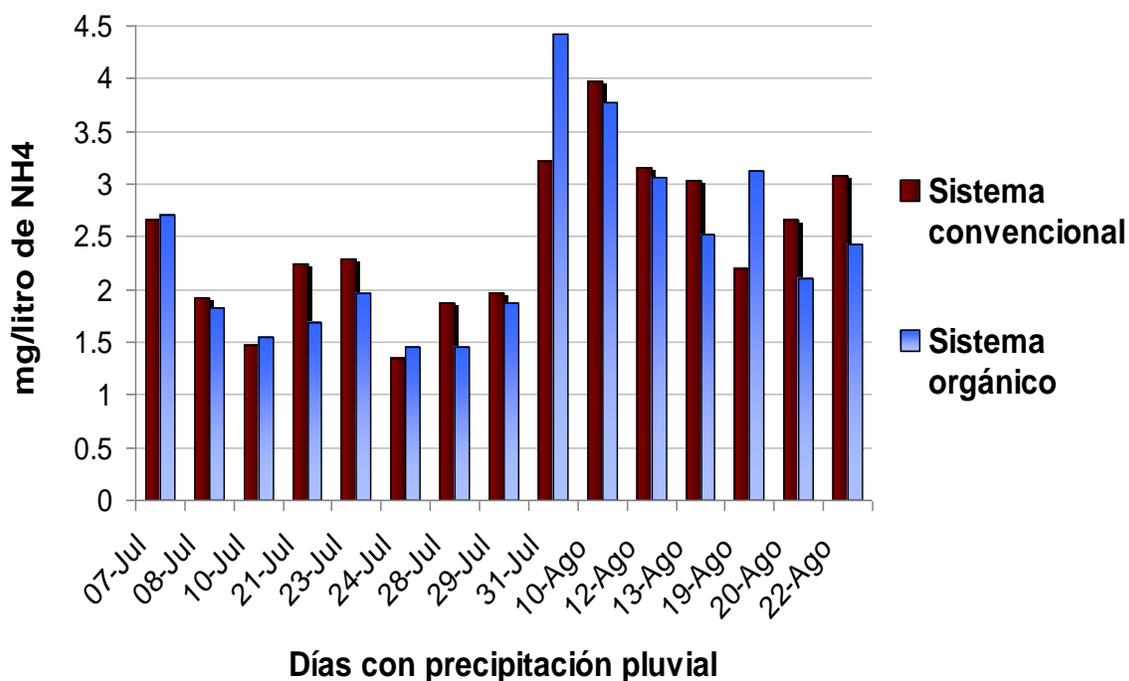


Figura 23. Concentración (mg L⁻¹) de NH₄⁺ en el agua de escurrimiento en la parcela con maíz y los sistemas convencional y orgánico.

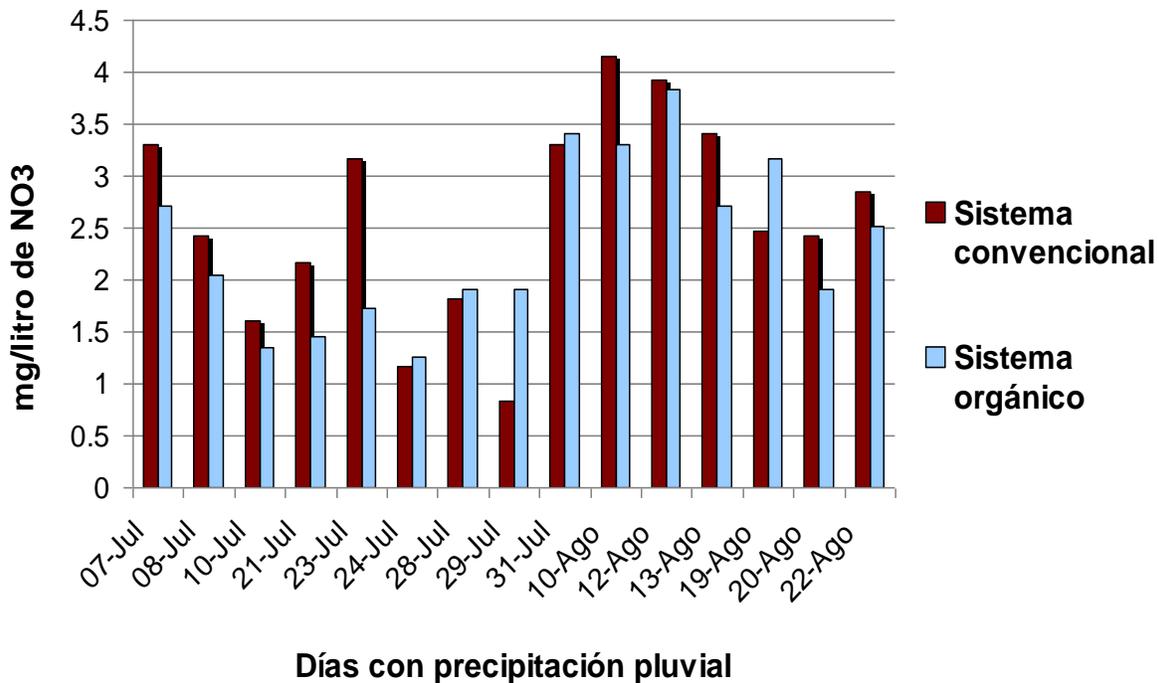


Figura 24. Concentración de NO₃⁻ en el agua de escurrimiento en la parcela con maíz y los sistemas convencional y orgánico.

Para el caso del cultivo del maíz, al cuantificar el nitrógeno acumulado que salió de cada sistema de manejo, en promedio, para el manejo convencional fue de 1.88 kg.ha⁻¹ y 1.99 kg.ha⁻¹ para el orgánico. En lo que se refiere a la salida de NO₃⁻ en el sistema convencional fue de 1.99 Kg.ha⁻¹ y 1.80 kg.ha⁻¹ para el sistema orgánico. La escasa diferencia del tipo de manejo para este cultivo puede deberse a un mayor aprovechamiento de nitrógeno.

A pesar que este cultivo se fertilizó con amonio dentro del manejo convencional, no se reflejó en el escurrimiento debido a que el amonio constantemente se está convirtiendo en nitratos, ocurriendo un lavado de este ión. Con el manejo orgánico aun cuando no se hizo aplicación de nitrógeno mineral, la materia orgánica

presente e incorporación de residuos de cosecha fueron las principales fuentes de nitrógeno, por lo que, al ocurrir descomposición y mineralización se formó el amonio, generando su acumulación y un exceso de este y por lo tanto su lavado.

En el análisis de varianza (ANOVA), con un $\alpha=0.05$ (Anexos A-O y Cuadro 11) del nitrógeno mineral (suma de $N-NH_4^+$ + $N-NO_3^{-1}$) se encontraron diferencias estadísticamente significativas sólo en tres muestreos para cada cultivo y tipo de manejo (Cuadro 11). En términos generales, ambos manejos presentaron una tendencia similar en la concentración de nitrógeno mineral para el cultivo de frijol, con un promedio de 4.80 mg L^{-1} (Cuadro 11, Fig. 25).

Cuadro 12. Análisis de varianza ($\alpha=0.05$) y medias para el efecto del TO y TC de la concentración Nmin para la variable SNE.

Variable	Clave	Pr>F	Medias mg.L ⁻¹		Medias mg.L ⁻¹	
			Frijol		Maiz	
			C*	O**	C*	O**
ESCNMIN	ESC1	0.0866	5.9267 A	5.2267 A	5.9733A	5.4133 A
	ESC2	0.6939	4.3400 A	4.0600 A	4.340 A	3.873 A
	ESC3	0.4275	3.3133 A	2.7533 A	3.0800 A	2.8933 A
	ESC4	0.0509	3.3144 A	4.6200 A	4.4100 A	3.1267 B
	ESC5	0.1062	2.4267 A	4.4333 A	5.460 A	3.687 A
	ESC6	0.2143	2.3800 A	3.2667 A	2.5200 A	2.7067 A
	ESC7	0.226	3.1733 B	3.7800 A	3.6867 A	3.3600 A
	ESC8	0.0482	4.0933 A	5.4600 B	2.8000 A	3.7800 A
	ESC9	0.7344	7.7467 A	7.4667 A	6.5333 A	7.8400 B
	ESC10	0.5599	7.0933 A	7.3267 A	8.1200 A	7.0933 A
	ESC11	<.0001	6.1133 A	3.9200 B	7.0700 A	6.8870 A
	ESC12	0.3242	5.9270 A	4.7700 A	6.4400 A	5.2267 B
	ESC13	0.4309	5.4133 A	4.6900 A	4.6667 A	6.3000 A
	ESC14	0.9463	5.2270 A	5.3200 A	5.0867 A	4.0133 A
	ESC15	0.6660	5.6700 A	5.4133 A	5.9267 A	4.9467 A

Medias con la misma letra no son estadísticamente diferentes. Tukey con un ($\alpha=0.05$)

*C= Manejo Convencional. **O= Manejo Orgánico

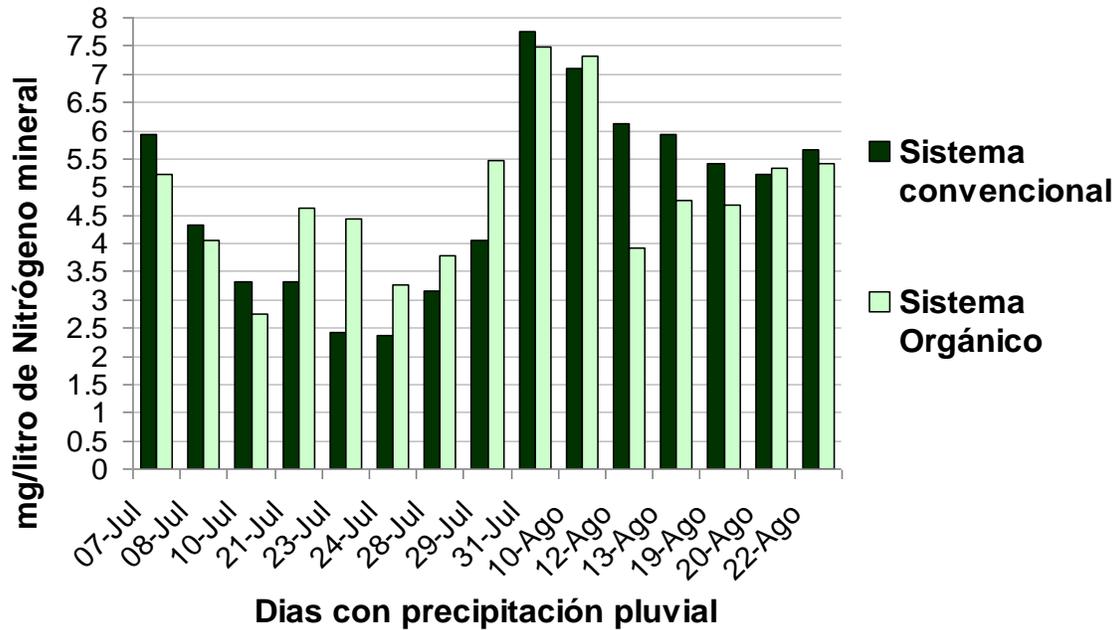


Figura 25. Concentración (mg L^{-1}) de Nmin en el agua de escurrimiento en la parcela con frijol y los sistemas convencional y orgánico.

En el cultivo de maíz, se observó una tendencia de mayor escurrimiento de nitrógeno inorgánico en el sistema convencional, pero sólo en tres mediciones realizadas hubo diferencias estadísticas significativas (Cuadro 11 y Figura 26). En promedio, la concentración de nitrógeno mineral con el manejo convencional fue de 5.07 mg L^{-1} y de 4.74 mg L^{-1} con el orgánico.

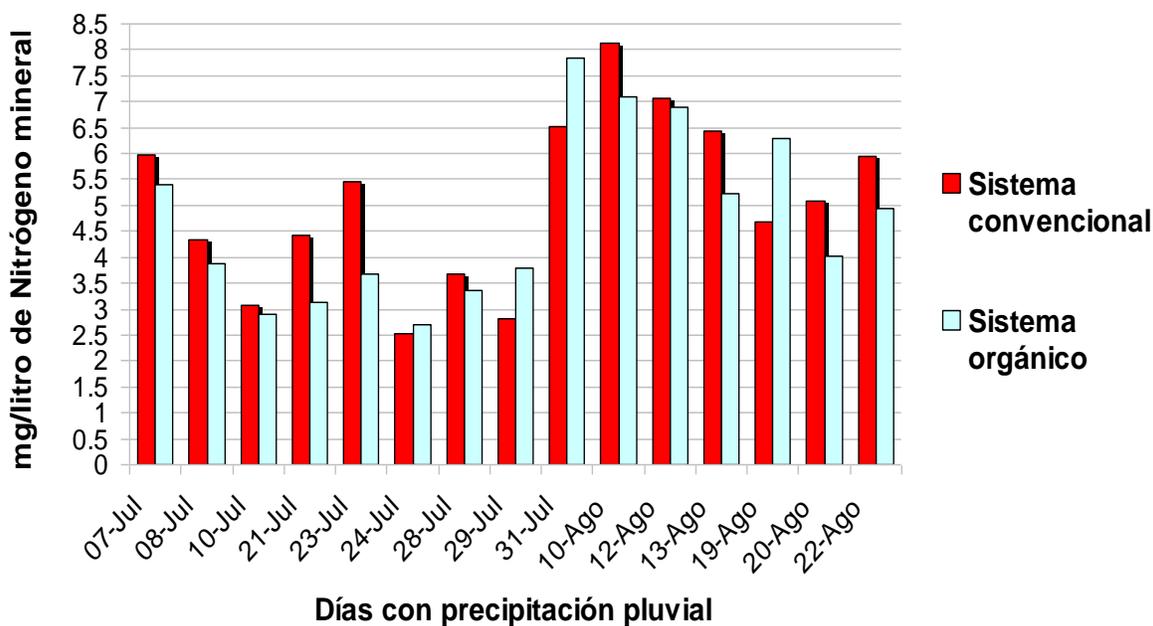


Figura 26. Concentración (mg L⁻¹) de Nmin en el agua de escurrimiento en la parcela con maíz y los sistemas convencional y orgánico.

La estimación de la cantidad de nitrógeno perdido y que no fue aprovechado para el desarrollo del frijol fue de 5.31 kg ha⁻¹ con el manejo convencional y de 2.31 kg ha⁻¹ con el orgánico. Por su parte en el cultivo de maíz las pérdidas con ambos tipos de manejo fueron similares con 3.87 kg ha⁻¹ en el convencional y de 3.79 kg ha⁻¹ en el orgánico, esto posiblemente debido a una mayor capacidad de aprovechamiento de N por el cultivo de maíz. Cristóbal-Acevedo *et al.* (2002), encontraron para el cultivo *de sorgo de secano*, una pérdida de nitrógeno entre 2.78 a 6.24 kg ha⁻¹, en drenes en diferentes espaciamientos. En general hubo mayores pérdidas por escurrimiento de nitrógeno mineral en frijol en el sistema convencional.

5.5 Producción de biomasa

Los resultados del análisis de varianza (ANOVA) con $\alpha=0.05$ y la prueba de medias de Tukey del efecto de los tipos de manejo en la producción de maíz y frijol se presentan en el Cuadro 12 y Anexo P.

Cuadro 13. Análisis de varianza y comparación de medias de los componentes de la variable PB en maíz y frijol en sistemas convencional y orgánico.

Variable	Pr>F	Medias T.ha ⁻¹	
		C	O
PSPF	0.9126	1.606 A	1.550 A
PSGF	0.6092	1.620 A	1.410 A
PSGM	0.0452	11.783 A	8.683 B
PSTM	0.1787	6.4150 A	7.240 A
PSHM	0.2720	8.520 A	8.613 A

Medias con la misma letra no son estadísticamente diferentes. Tukey con un ($\alpha=0.05$)
 *C= Manejo Convencional **O= Manejo Orgánico PSPF; Peso Seco de Planta en Frijol. PSGF; Peso Seco de Grano de Frijol. PSGM; Peso Seco de Grano de Maíz. PSTM; Peso Seco de Tallo de Maíz. PSHM; Peso Seco de Hoja de Maíz

Se encontraron diferencias estadísticamente significativas sólo en el Peso de Grano de Maíz (PSGM), obteniendo mayor rendimiento (11.7 t ha⁻¹) en el sistema convencional (Cuadro 12 y Figura 27). Por lo general, los cereales son altamente demandantes de N para su crecimiento y desarrollo. Ya que como bien lo dicen Favela *et al.*, (2006), al afirmar que el N se encuentra en las plantas en forma orgánica e inorgánica formando parte de los aminoácidos, proteínas, ácidos nucleicos, alcaloides y enzimas, además, aunque el nitrógeno se puede acumular en forma de nitrato, predomina por el mayor peso de las proteínas vegetales.

Alrededor del 80% del N que absorbe la planta, se utiliza para formar proteína, el 10% en ácidos nucleicos, el 5% para aminoácidos y el resto en otros compuestos. Por su parte Elizalde (2003), confirma mediante su experimento que en el grano de maíz, las proteínas son el componente más importante ocupando el 11.26% de peso total del grano producido en sistema convencional y 8.48% en forma orgánica.

La entrada de nitrógeno mediante la fertilización durante el desarrollo del cultivo de maíz en sistema convencional se reflejó en los resultados, ya que su efecto fue contundente al mostrar mayor rendimiento. Edward (1995), indica que una adecuada nutrición con N para las plantas puede ser crítica para los rendimientos y volúmenes altos de proteínas de la materia seca y como bien lo indica este autor, varios aspectos intervinieron para que obtuviera estos resultados; como fue la disponibilidad de nitrógeno inorgánico en el suelo, su aprovechamiento por la asimilación de células, y su distribución y remobilización dentro de la planta. El nitrógeno es uno de los nutrientes esenciales que puede limitar el rendimiento del maíz, ya que este macronutriente participa en la síntesis de proteínas y por ello es vital para toda la actividad metabólica de la planta (Andrade *et al.*, 1992).

En lo referente al cultivo de frijol; las condiciones de nutrición (entrada de nitrógeno por precipitación, materia orgánica del suelo, fijación biológica de nitrógeno, etc.) en las que se desarrolló este cultivo fueron similares en los dos sistemas, debido a esto, los resultados en la acumulación de biomasa también fueron parecidas.

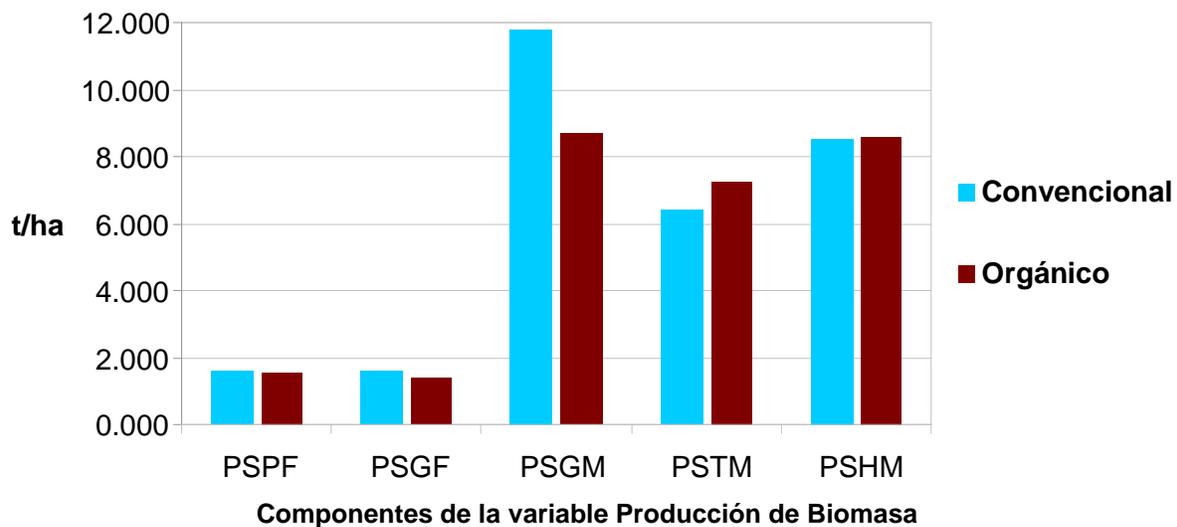


Figura 27. PB (peso seco) en Planta de Frijol (PSPF), en Granos de Frijol (PSGF), en Granos de Maíz (PSGM), en Tallo de Maíz (PSTM) y en HM (PSHM) producidos en sistemas convencional y orgánico.

El peso seco de grano (rendimiento) en frijol, tanto con manejo convencional como orgánico, tuvo un promedio del 50% en relación al total de la planta, mientras que en el maíz en el sistema convencional, el 44% del peso total fue en grano y el resto en hojas y tallos. En el orgánico, el peso seco del grano acumuló el 35% y el resto de peso total se reflejó en tallos y hojas. Lo anterior puede estar muy relacionado con lo que asevera Edward (1995), cuando indica que esta variación esta fuertemente ligada a la disponibilidad de nitrógeno. Castellanos *et al.* (2000), indican que la extracción total de nitrógeno que realiza un cultivo está en función de la concentración de este nutrimento en la materia seca y de la magnitud del rendimiento de grano o porción de interés económico y de paja o residuo del cultivo. Sánchez *et al.*, (2006), en su estudio sobre deficiencia y toxicidad de nitrógeno en frijol ejotero, encontraron que una deficiencia de nitrógeno en el frijol

mostró también una baja actividad enzimática, produciendo mínimas cantidades de proteínas, aminoácidos y nitrógeno orgánico y una baja cantidad de biomasa. El mecanismo que regula la distribución de biomasa (materia seca) en los órganos de la planta no está bien entendido. No obstante, durante la etapa reproductiva del frijol, el tamaño de la demanda (numero de vainas y semillas) parece modular la asignación de biomasa hacia la semilla en relación al resto de los órganos de la planta (Escalante y Kohashi, 1993). La disponibilidad de nitrógeno en el medio, afecta el desarrollo de las plantas (Mc Cullough *et al.*, 1994). En frijol, diversos estudios han demostrado que con el nitrógeno pueden lograrse incrementos en el número de vainas y de semillas y en el rendimiento (Escalante *et al.*, 1999).

Los resultados de rendimiento de frijol en ambos tipos de manejo indican que el nitrógeno obtenido del suelo, la mineralización de la materia orgánica y la fijación biológica fueron suficientes para lograr rendimientos como los obtenidos.

Andrade *et al.*, (1992) y Castellanos *et al.*, (2000) al indicar que la planta de maíz requiere en promedio 15 kg ha^{-1} de nitrógeno por tonelada de grano producido. Lo anterior se observó claramente en el sistema convencional ya que contaba con mayor cantidad de nitrógeno disponible lo que resultó en un rendimiento promedio de 11.7 t ha^{-1} en comparación con el sistema orgánico, que sólo alcanzó un rendimiento promedio de 8.6 t ha^{-1} .

5.6 Nitrógeno en planta

En análisis de varianza, arrojó diferencias estadísticamente significativas en el componente de N en TM (Anexo Q, Cuadro 13), observándose el mayor porcentaje de nitrógeno con el manejo convencional. Estos resultados, probablemente están influenciados por las prácticas de manejo durante el ciclo de cultivo, como es la fertilización nitrogenada en forma de amonio y nitrato. Para los demás componentes, no hubo diferencias estadísticamente significativas.

Cuadro 14. Análisis de varianza y comparación de medias de los componentes de la concentración de NP de maíz y frijol en sistemas convencional y orgánico.

Variable	Pr>F	Medias (%)	
		TC	TO
NPF	0.1758	1.4433 A	1.2433 A
NGF	0.2384	3.3500 A	3.5367 A
NHM	0.7165	1.0200 A	0.9866 A
NTM	0.0319	0.9700 A	0.7900 B
NGM	0.5783	1.5033 A	1.6033 A

Medias con la misma letra no son estadísticamente diferentes. Tukey con un ($\alpha=0.05$). *C= Manejo Convencional **O= Manejo Orgánico. NPF; Nitrógeno en Planta de Frijol. NGF; Nitrógeno en Grano de Frijol. NHM; Nitrógeno en Hoja de Maíz. NTM; Nitrógeno en Tallo de Maíz y NGM; Nitrógeno en Granos de Maíz.

La salida de Nmin (NH_4^+ y NO_3^-) por absorción del cultivo de frijol en el sistema convencional fue de 77.5 kg ha^{-1} , acumulándose la mayor cantidad en los granos de frijol, con 54.3 kg ha^{-1} de Nmin I y 23.18 kg ha^{-1} en el resto de la planta incluyendo tallos y hojas. Mientras que en el sistema orgánico se observó una acumulación menor con respecto al convencional, con un total de 69.1 kg ha^{-1} de Nmin, del cual se acumuló 49.9 kg ha^{-1} en el grano, y 19.22 Kg ha^{-1} en hojas y tallos de frijol.

La extracción de nitrógeno del suelo concuerda con Castellanos *et al.*, (2000), quienes aseguran que por cada tonelada de frijol producido se requieren 40 kg ha⁻¹, distribuyéndose en 30 t ha⁻¹ para grano y 10 t ha⁻¹ para tallos y hojas.

En el cultivo de maíz, la salida de N_{min} por absorción del cultivo en el sistema convencional fue de 326.26 kg ha⁻¹, acumulándose la mayor cantidad en el GM, con 177.13 Kg ha⁻¹ de N_{min} y 149.13 kg ha⁻¹ en el resto de la planta incluyendo tallos (62.23 kg ha⁻¹) y hojas (86.9 kg ha⁻¹). Mientras que en el sistema orgánico se observó una acumulación menor con respecto al convencional, con un total de 281.39 kg.ha⁻¹ de N_{min}, acumulándose la mayor cantidad en el grano, con 139.21 kg ha⁻¹, y 84.98 kg ha⁻¹ de nitrógeno en hojas y 57.20 kg ha⁻¹ en tallos de maíz.

Los datos obtenidos concuerdan con lo que mencionan Andrade *et al.*, (1992) quienes mencionan que la planta de maíz requiere alrededor de 20-25 kg ha⁻¹ de N por cada tonelada de grano producido, esto es, incluyendo la paja. Por lo que Castellanos *et al.*, (2000) indican que por cada tonelada de grano de maíz producido, la planta extrae 15 toneladas de N.

El análisis de varianza para las variables mostró que no se tuvo efecto significativo (ANVA, p > 0.05) de los TC y TO, sobre las salidas de N por absorción de los cultivos de maíz y frijol.

5.7 Nitrógeno en suelo

Los análisis de nitrógeno total, en forma de amonio, nitratos, NO y materia orgánica evaluados al final del ciclo de los cultivos se presenta en el Cuadro 14 (Anexo R)

Cuadro 15. Análisis de varianza y comparación de medias de los componentes de las concentraciones de N y MO 0-30 cm en suelo con maíz y frijol en sistemas convencional y orgánico al final del ciclo de cultivo.

Variable	Pr>F	Medias	
		TC	TO
Parcelas con frijol			
N total (%)	0.6433	0.0800 A	0.0766 A
N-NH₄ (mg kg⁻¹)	0.4489	12.60 A	8.867 A
N-NO₃ (mg kg⁻¹)	0.5304	8.867 A	7.000 A
N orgánico (mg kg⁻¹)	0.8349	774.30 A	756.20 A
Materia orgánica (%)	0.7415	1.4666 A	1.4333 A
Parcelas con maíz			
N total (%)	0.7247	0.0800 A	0.0776 A
N-NH₄ (mg kg⁻¹)	0.6433	8.400 A	10.733 A
N-NO₃ (mg kg⁻¹)	0.7833	9.33 A	10.733 A
Norgánico	0.5075	780.77 A	727.83 A
Materia orgánica (%)	0.4676	1.4667 A	1.3667 A

Medias con la misma letra no son estadísticamente diferentes. Tukey con un ($\alpha=0.05$).
 *C= Manejo Convencional **O= Manejo Orgánico

En el Cuadro 15, se puede observar que no hubo diferencias significativas para ningún componente de esta variable. El nivel de fertilidad después de haber realizado el trabajo de investigación arroja datos en frijol convencional y orgánico similares, lo mismo ocurrió en el cultivo de maíz de ambos sistemas. Sin embargo, en el cultivo de maíz en sistema convencional las variables NP y Biomasa en donde se observa mayor rendimiento de GM y acumulación de nitrógeno en tallo indican que hubo mayor absorción de nitrógeno, sin embargo esta cantidad alta de

absorción no se vio reflejada en el nivel de fertilidad del suelo al final del ciclo, esto fue debido a que se hizo fertilizaciones químicas en el sistema convencional a lo largo del periodo del tiempo de investigación.

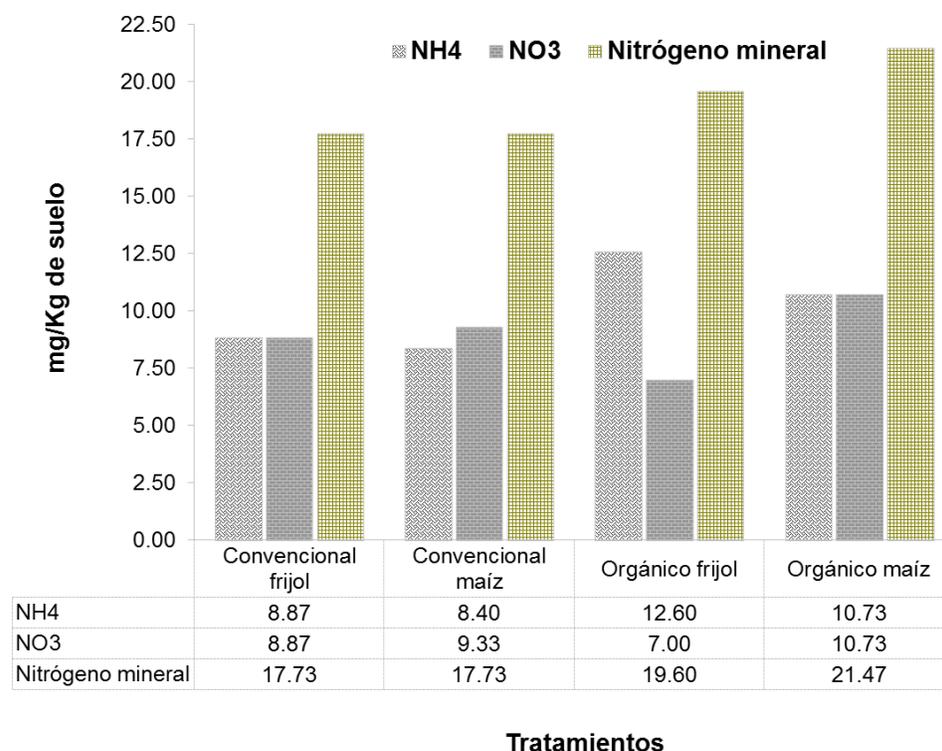


Figura 28. Concentraciones de nitrógeno inorgánico o mineral en suelo con maíz y frijol en sistemas convencional y orgánico.

En nivel de fertilidad para frijol y maíz en el sistema convencional, reflejan resultados similares oscilando entre los 17.73 mg Kg⁻¹ de suelo (Figura 28), con un valor de NO₃⁻ y NH₄⁻ cercano al 50% para cada uno. El sistema orgánico mostró mayor variación, quedando en suelo un total de 19.20 kg ha⁻¹ de Nmin en el cultivo de frijol, en mayor cantidad en forma de amonio y 21.47 Kg ha⁻¹ de nitrógeno inorgánico para el cultivo de maíz. Los resultados obtenidos en maíz, pudieron

estar influidos por ser una especie que demanda grandes cantidades de nitrógeno por lo que en el sistema convencional al tener mayor entrada de nitrógeno en la fertilización tuvo oportunidad de dejar mayor cantidad como reserva en el suelo.

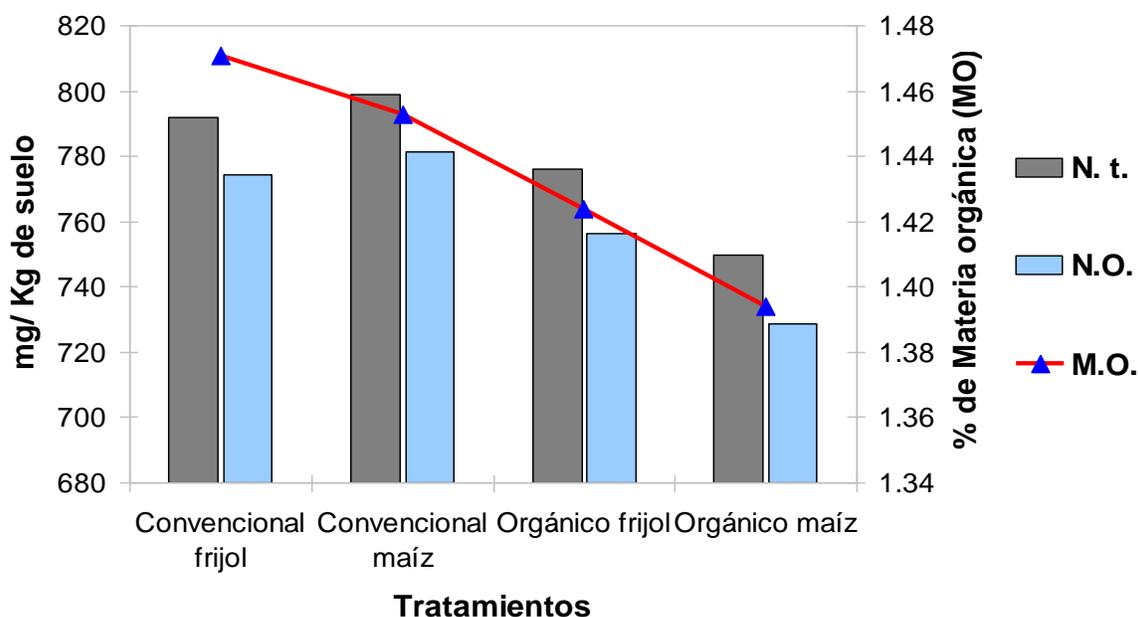


Figura 29. Concentraciones de NO, Nt y MO en el suelo con maíz y frijol en los sistemas convencional y orgánico, al final del ciclo de cultivo.

En la Figura 29 se muestra la relación entre las concentraciones de MO y las los contenidos de Nt y NO obteniéndose de manera general la tendencia esperada, esto es, que a medida que las concentraciones de MO disminuyen, también lo hacen las concentraciones de Nt y NO.

El nivel de fertilidad está altamente relacionado con el contenido de materia orgánica (Figura 29), ya que al no haber fuentes de nitrógeno adicionales al del suelo, ocurre mineralización de la materia orgánica, reduciendo el nivel de

fertilidad del mismo por absorción del cultivo. Sin embargo cuando se existen entradas de este elemento por medio de la fertilización, la planta absorbe más nutrientes, pero de igual manera deja mayores de reservas en el suelo. En la Figura 29, se puede observar que en ambos cultivos para el sistema convencional se mantuvo el nivel de fertilidad más alto al final del experimento, mientras que en el orgánico su fertilidad disminuyó.

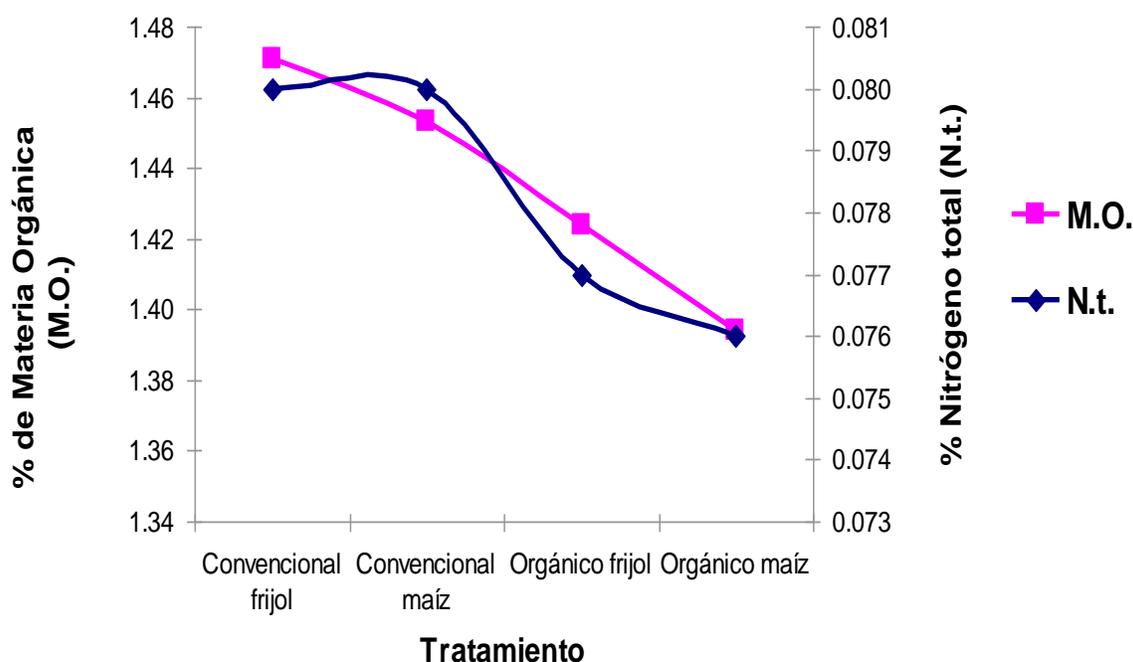


Figura 30. Contenido de Nt y MO en suelo con maíz y frijol en sistemas convencional y orgánico.

En la Figura 30 se puede observar de manera más clara la relación al contenido de materia orgánica y el contenido de nitrógeno total. El resultado anterior coincide con Arthur (2000), quien considera que en climas templados la mineralización neta anual del Nt es de 1-2%, lo que supone una disponibilidad de 40-150 kg.ha⁻¹ en

los primeros 30 cm. de suelo, lo cual influye en el nivel de fertilidad al final de un cultivo o de un experimento. El sistema convencional de frijol y maíz al final de la cosecha es donde se observó mayor contenido de materia orgánica y nitrógeno total, debido a que el nitrógeno mineralizado se quedó como reserva en el suelo por lo que la fertilidad no disminuyó por haber fuentes alternativas, caso contrario con el sistema orgánico donde no hubo adición de nitrógeno por medio de fertilización, lo que ocasionó que disminuyeran los niveles de nitrógeno en el suelo por la absorción del cultivo

Al final de trabajo de investigación, se realizó un estudio de análisis de suelo, se encontró en la parcela destinada para el estudio con frijol en sistema convencional, un contenido de nitrógeno en las siguientes cantidades; nitrógeno total $3326.4 \text{ Kg ha}^{-1}$, Nitrógeno orgánico con $3251.91 \text{ Kg ha}^{-1}$, NH_4 con 37.24 Kg ha^{-1} , NO_3 con 37.24 Kg ha^{-1} y nitrógeno inorgánico con 74.48 Kg ha^{-1} . En el sistema orgánico; nitrógeno total $3259.2 \text{ Kg ha}^{-1}$, Nitrógeno orgánico con $3176.88 \text{ Kg ha}^{-1}$, NH_4 con 52.92 Kg ha^{-1} , NO_3 con 29.4 K ha^{-1} y nitrógeno inorgánico con 82.32 Kg ha^{-1} .

Por su parte, en el análisis de suelo, se encontró en la parcela destinada para el estudio con maíz en sistema convencional, un contenido de nitrógeno en las siguientes cantidades; nitrógeno total $3355.8 \text{ Kg ha}^{-1}$, nitrógeno orgánico con $3281.32 \text{ Kg ha}^{-1}$, NH_4 con 35.28 Kg ha^{-1} , NO_3^- con 39.19 Kg ha^{-1} y nitrógeno inorgánico con 74.47 Kg ha^{-1} . En el sistema orgánico; nitrógeno total 3150 Kg ha^{-1} ,

Nitrógeno orgánico con 3059.84 Kg ha⁻¹, NH₄⁺ con 45.07 Kg ha⁻¹, NO₃ con 45.07 Kg ha⁻¹ y nitrógeno inorgánico con 90.15 Kg ha⁻¹.

5. 8 Balance del nitrógeno

La ecuación general propone:

$$\Delta N = E_N - S_N$$

Donde:

E_N = Entradas de nitrógeno,

S_N = Salidas de nitrógeno

ΔN = Cambio de las reservas de nitrógeno inorgánico.

Cuadro 16. Balance del nitrógeno inorgánico en el cultivo de maíz y frijol en sistemas convencional y orgánico.

	Entrada de Nitrógeno Inorgánico (Kg ha ⁻¹)				Salida de Nitrógeno Inorgánico (Kg ha ⁻¹)			Balance N inorgánico
	Pp	Fert	Suelo	Total	Esc	Abs	Total	
FC	18.805	0	135.24	154.045	5.31	77.45	82.76	71.285
FO	18.805	0	164.64	183.445	2.31	69.13	71.44	112.005
MC	18.805	191.0	135.24	345.045	3.87	311.38	315.25	29.795
MO	18.805	0	164.64	183.445	3.79	302.57	306.36	-122.915

FC: Frijol Convencional. FO: Frijol Orgánico. MC: Maíz Convencional y MO: Maíz Orgánico.
Pp: Precipitación. Fert: Fertilización. Esc: Escurrimiento. Abs: Absorción por la planta.

En el cuadro 15 se puede ver la dinámica que tuvo el nitrógeno. Observándose que en el maíz orgánico hubo un déficit de nitrógeno que no pudo subsanarse con el nitrógeno inorgánico que entró por lluvia, pero tampoco con la reserva del suelo.

Probablemente esto fue compensado al ocurrir mineralización de la materia orgánica y transformación del nitrógeno orgánico a inorgánico, pues las entradas por aportación de residuos vegetales de maíz y frijol incorporados del ciclo anterior (2009) en la parcela orgánica fueron de $108.20 \text{ kg ha}^{-1}$, teniéndose por lo tanto solo un déficit de 13.95 kg ha^{-1}

VI. CONCLUSIONES

1.-La cantidad de N que entró con el agua de lluvia a los sistemas convencional y orgánico fue de $18.501 \text{ kg ha}^{-1}$ por lo que se acepta la hipótesis planteada, esta cantidad constituyó un 9 % de la dosis aplicada al TC y un 18 % de la dosis aplicada con la incorporación de los residuos de cosecha al TO. El agua de lluvia aportó mayor cantidad de NH_4^+ que de NO_3^- para los sistemas de producción orgánico y convencional de frijol y maíz.

2.-De manera general no se tuvo efecto (ANAVA; $p > 0.05$) de los TC y TO sobre la cantidad NH_4^+ , NO_3^- , Nmin (NH_4^+ , NO_3^-) que salió con el agua de escurrimiento. Pero al cuantificar las cantidades descargadas en mg kg^{-1} , éstas fueron mayores en el TC tanto para maíz como para frijol.

3.-En la producción de Biomasa y grano, sólo en el peso seco de grano de maíz hubo diferencias estadísticas significativas (ANAVA; $p < 0.05$), siendo mayor en sistema convencional, siendo en este sentido más eficiente. Aunque es importante reconocer que falta un análisis económico para determinar si el sistema es mejor desde el punto de vista económico.

4.- No se tuvo efecto (ANAVA; $p > 0.05$) de los tratamientos orgánico y convencional sobre las concentraciones de NPF, NGF, NHM y NGM, aunque NTM si presentó efecto (ANAVA; $p < 0.05$).

5.-No se tuvo efecto ANAVA; $p > 0.05$) de los de los TC y TO sobre las salidas de N por absorción del cultivo, aunque en todos los casos las salidas fueron mayores para el TC.

6.-No se tuvo efecto de los de los TC y TO sobre la concentración de N en forma de NO_3^- , NH_4^+ , Nmin ($\text{NO}_3^- + \text{NH}_4^+$), nitrógeno total (Nt) y nitrógeno orgánico (NO) en el suelo

7.- Las cantidades de N en forma NO_3^- y NH_4^+ que entraron con el agua de lluvia al suelo de los sistemas orgánico y convencional, fueron tres veces mayores que las cantidades que salieron por escurrimiento superficial, tanto para el cultivo de maíz como para el de frijol.

VII. LITERATURA CITADA

Altieri, M. A. 1987. Diez tesis sobre el medio ambiente en América Latina. *Ecología* 2, núm. 1:1.

Altieri, M. A. 1994. Bases agroecológicas para una producción agrícola sustentable. *Agricultura Técnica (Chile)* 54, núm. 4:371-86.

Aguilar, S. 1987. Química para evaluar la fertilidad del suelo. Determinación de nitrógeno en suelos. Sociedad Mexicana del Suelo. pp 49- 61.

American Society of Agronomy. 1989. Decisions reached on sustainable agriculture. *Agronomy news*, enero.

Andrade, F. H. y A. Margiotta F. 1992. Densidad de plantas en maíz. CERBAS, INTA, EEA Balcarce. *Boletín Técnico*. pp 108 –24.

Andreeva, T. F.; S. N. Maevskaya y S. Y. Voevudska. 1998. The relationship between photosynthesis and nitrogen assimilation in Mustard plants exposed to elevated nitrate rates in nutrient solutions. *Russian J. Plant Physiol.* 45:702-705.

Anónimo. 1972. Know the plant food your corn takes up while it grows. *Better Crops with Plant Food*.

Aparicio-Trejo, M. P.; C. Arres-Igor y M. Becana. 2000. Fijación biológica de nitrógeno. pp 247-260. *In: Fundamentos de fisiología vegetal*. Azcon-Bieto, J. y M. Talón. (eds). Primera edición. Editorial McGrawHill. Madrid España.

Arthur, H. J. 2000. El ciclo del Nitrógeno de Microbios y de hombres. Organización de medio ambiente de Madrid. Sector de agricultura.

Black, C. A. 1975. Relaciones Suelo-Planta. Editorial Hemisferio sur. Primera Edición.

Bonilla, I. 2000. Introducción a la nutrición mineral de las plantas. Los elementos minerales. pp 86-87. *In*: Fundamentos de fisiología vegetal. Azcon-Bieto, J. y M. Talón. (eds). Primera edición. Editorial McGrawHill. Madrid España.

Bohn, H.L.; B. L. McNeal y G. A. O'Connor. Química del suelo. Editorial Limusa. Mexico, D.F. pp 155-173.

Bremner J. M. 1965. Inorganic forms of nitrogen, pp 1179-1237. En: Black CA (ed) Methods of soil analysis (Part 2). American society of Agronomy, Madison, Winconsin, (Agronomy 9).

Buchholz, D.D.; J. Brown R.; G. Hanson R.; N. Wheaton H. and J. Garret D.1981. Soil test interpretation and recommendation handbook. University of Missouri, Coulumbia. USA.

Castellanos, J. Z.; J. X. Uvalle Bueno y A. Aguilar Santelises 2000. Manual de interpretación de análisis de suelo y aguas agrícola, plantas y ECP. Intragri. Segunda edición. pp 62-81.

Cepeda, D. J. M. 1991. Química de suelos. Editorial Trillas. Segunda edición. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. México, D. F. 167 p.

Cheftel, J. L.; L. Cuq J. y D. Lorient. 1989. Proteínas alimentarias: Bioquímica, propiedades funcionales, valor nutricional, modificaciones químicas. Editorial Zaragoza. Acribia.

Compagnoni, L. y G. Putzolu. 2001. Cría moderna de las lombrices y utilización rentable del humus. Primera edición. Editorial De Vecchi. Barcelona, España. pp. 65-93.

Conway, G. 1994. Sustainability in Agricultural Development: Trade-offs Between Productivity, Stability and Equitability. *Journal for Farming Systems and Research-Extensions* 4, núm. 2:1-14.

Coyne, M. 2000. *Microbiología del suelo: un enfoque exploratorio*. Primera Edición. Editorial Paraninfo. Madrid, España. 416 p.

Cristóbal-Acevedo, D.; O. Palacios V.; I. Nikolki G.; F. Gavi-Reyes; D. J. Palma L.; E. Carrillo A. y J. J. Peña C. 2002. Lixiviación de nitrógeno en función del espaciamiento entre drenes subterráneos en Tabasco. *Agrociencia* Vol 36, No. 3 México. pp 291 – 304.

Dorioz, J. M. and A. Ferhi. 1994. Non-point pollution and management of agricultural areas –Phosphorus and nitrogen transfer in an agricultural watershed. *Water Resource* 28: 395-410.

Diario Oficial de la Federación, Norma Oficial Mexicana, NOM-037-FITO. 1995. Por la cual se establecen las especificaciones del proceso de producción y procesamiento de productos orgánicos.

Domínguez, V. A. 1997. *Tratado de Fertilización*. Editorial Mundi Prensa. Tercera edición. Madrid, España. pp. 302-315.

Donald, C. M. and J. Amblin. 1976. The biological yield and harvest index of cereals as agronomic and plant breeding criteria. *Adv. Agron.*28:361-406.

Duchaufour, P., T. Carballas F. y M. Carballas F. 1984. *Edafología. Edafogénesis y Clasificación*. Editorial Masson. Primera Edición. España Madrid. 493 p.

Edward, B. P. 1995. *Nitrogen Fertilization in the environment*. Sydney, New South Wales, Australia. Editorial Dekker.

Edwards, R. D.; A. P. Jr. Moore; T. C. Daniel and P. Srivastava. 1996. Poultry Litter-Treated Length Effects on Quality of runoff from Fescue Plots. American Society of Agricultural Engineers. 0001-2351/96/3901.

Elizalde, F. E. 2003. Flujos de nitrógeno en los sistemas agrícolas orgánico y convencional con cultivo de maíz. Tesis de Licenciatura Departamento de Fitotecnia, Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Mex.

Escalante, E. J. A. y J. Kohashi S. 1993. El rendimiento del frijol. Manual para toma de datos. Colegio de Postgraduados. México 84 p.

Escalante, E. J. A.; T. Rodríguez M. y L. E. Escalante E. 1999. Efecto del nitrógeno en la producción y abscisión de órganos reproductivos en frijol. Rev, Agr. Mesoamericana 10: 47-53.

Estrada, E. J. A. y M. T. Gonzáles R. 2006. Biomasa, índice de cosecha, componentes de rendimiento en frijol y nitrógeno. Revista Ciencias Agrícolas. Posgrado de botánica. Colegio de Postgraduados. Campus Montecillos, Montecillos, México.

Estrada, B; M. A. Nikolskii G. I.; R. Gaby; F., Etcheverst B., J. D. y V. Palacios, O. L. 2002. Balance del nitrógeno inorgánico en una parcela con drenaje subterráneo en el trópico húmedo. Terra Vol. 20, Numero 2. pp 189 – 198.

Fassbender, H. W, 1994. Química de Suelos con énfasis en América Latina. Segunda edición. San José, Costa Rica. IICA. pp 201 – 227.

Favela, C. E.; P. Preciado R. y A. Benavides M. 2006. Manual para la preparación de soluciones nutritivas. Departamento de Horticultura. Universidad Agraria Antonio Narro. Unidad Laguna. Torreón, Coahuila. 146 p.

Food and Agricultura Organization (FAO).1994. FESLM; an International Framework for Evaluating Sustainable Land Management. Roma; World Soil Resources Report.

Gerendás, J. Z. Zhu.; R. Bendixen; G. Rateliffe y B. Sattelmacher. 1997. Physiological and biochemical processes related to ammonium toxicity in higher plants. Z. Pflanzenernähr. Bodenk. 160:239-251.

Gifford, R. M.; J. H. Thorne; W. D. Hitz and R. T. Giaquinta. 1984. Crop production and photoassimilate partitioning. Science 225: 801-808.

Gómez, C. M. 2001. Agricultura orgánica de México. SAGARPA. p. 9.

Graetz, H.A. 2005. Suelos y Fertilización. Manuales para la educación agropecuaria. Suelos y agua. Trillas 2ª edición, 80 p, México.

Grageda, C. O.; F. Follet R.; M. Mora y J. Z. Castellanos. 2002 Dinámica del nitrógeno en sistema bajo labranza de conservación. En el Bajío Guanajuatense. INIFAP, USDA, USA.

Guevara, F.; T. Carranza; R. Puentes y C. Gonzáles. 1999. Masera, O. y S. López-Ridaura. 2000. Sustentabilidad de sistemas maíz-macuna en el sureste de México. *In: Sustentabilidad y sistemas campesinos*. Masera, O. y S. López-Riadura (eds). El marco de evaluación MESMIS. Grupo interdisciplinario de tecnología rural apropiada (GIRA A.C.) Mundi-Prensa; México, S. A. de C.V. 346 p.

Harold B. R. 1999. Agronomic implications of C₄ photosynthesis in C₄ Plant biology. Academic Press.

Havlin, J. L. 1999. Soil fertility and fertilizers: an introduction to nutrient management. New Jersey. Editorial Prentice Hall.

Kissel, D. E.; L. N. Cabrera, M.; J. Vaio, R.; A. Craig, J. Rema, and A. Morris A. 2004. Rainfall Timing and Ammonia Loss from Urea in a Loblolly Pine Plantation Soil Sci. Soc. Am. J. 68: 1744-1750.

Labrador, M. J. 1996. La materia orgánica en los agroecosistemas. Primera edición. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Mundi prensa. Madrid. 193 p.

Lair, J. 1963. Fertilidad de suelos. Colegio de post graduados.

Lampkin, N. 1990. Organic farming. Farming Press. 1° edition.

Legg, J. O. and Mesinger. 1985. Soil Nitrogen budgets. Nitrogen in agricultural soils. pp 503 - 566.

Levis, R. y J. H. Vandermeer. 1990. The Agroecosystem Embedded in a Complex Exological Comunita. *In*; Agroecology. Carrol, C. R., J. H. Vandermer y P.M. Rosset (eds), 341-62. EUA; Mc. Graw Hill.

López-Martínez, J. D.; A. Díaz-Estrada; E. Martínez-Rubin y R. D. Valdez-Cepeda. 2001. Abonos orgánicos y su efecto en propiedades físicas y químicas del suelo y rendimiento en maíz. Terra Latinoamericana. 19:293-299.

López, R. G. F. 1992. Microbiología agrícola. Dirección de Difusión Cultural. Apoyos académicos No. 18. Universidad Autónoma Chapingo. 66 p.

Lundgren, B. and P.K.R Nair. 1987. Agroforestry for soil conservation. In S.A. El Swaify, W.C. Moldenhauer and A. Lo (eds.), Soil erosion and conservation. Ankeny, Iowa: Soil Conservation Society of North America.

Masera, O.; M. Astier y S. López-Ridaura. 1999. Sustentabilidad y manejo de recursos Cinco experiencias de evaluación en el México Rural. Grupo interdisciplinario de tecnología rural apropiada (GIRA A.C.) Mundi-Prensa; México, S. A. de C.V. 109 p.

McCullogh, D. E.; Ph. Girardin; M. Mihajlovic; A. Aguilaera and M. Tollenaar. 1994. Influence of N supply on development and dry matter accumulation of an old and new maize hybrid. *Can J. Plant Sci.* 74: 417-477.

Nair, P.K. R. 1999. Agroforestería. Centro de Agroforestería para el Desarrollo Sostenible, Universidad Autónoma Chapingo, México, pp 97-100.

Navarro B. S. y G. Navarro G. 2000. Química agrícola. El suelo y los elementos químicos esenciales para la vida vegetal.

Núñez, E. R. 2007. El suelo como medio natural en la nutrición de los cultivos. pp 93-122. *In: Nutrición de cultivos.* Alcanzar, G. B. y L. I. Trejo-Téllez. (eds). Primera edición. Mundi Prensa. Mexico.

Ortiz, V. B. C. y A. Ortiz S. 1990. Edafología. Séptima edición. Departamento de suelos. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 394 p.

Parson, D. B.; F. Kirchner S. y M. T. Atilano D. 1999. Frijol y chícharo. Manuales para educación agropecuaria. Área; producción vegetal. Secretaria de Educación Pública. Seg. ed. Edit. Trillas. Mexico. 58 p.

Pineda, M. J. 1980. La dinámica de nitrógeno en el suelo y el balance de nitrógeno suelo – planta bajo cultivo de maíz (*Zea mays*). Tesis de Doctorado. Edafología, Colegio de Postgraduados, Montecillos, México.

Plaster E. J. 2000. La ciencia del suelo y su manejo. pp 192 – 196.

Porta, C. J.; L. Acevedo R. M. y C. Roquero D. L. 1999. Edafología para la agricultura y el medio ambiente. Editorial Mundi Prensa. Segunda Edición. Madrid, España. 489 p.

Poey D. F. 1978. El mejoramiento Integral del maíz: valor nutritivo y rendimiento. Editorial Colegio de Postgraduados. Chapingo, México. pp 43.

Ramírez S., L. F. y F. Sustaita R. 1991. Efecto de dos ácidos húmicos comerciales (Humitron y Carbo.Vit) y un extracto de estiércol en el rendimiento de sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench) en condiciones de invernadero. Tesis de Licenciatura. Departamento de suelos. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 112 p.

Rauschkolb. R. S. y A. G. Hornby. 1994. Nitrogen management in irrigated agriculture. New York. Oxford University.

Redd S. A. Shiffler A. K., Jolley V. D., Webb B. L., Haby V. A. 2008. Mehlich 3 extraction of Boron in boron treated soils as compared to other Extractants. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 39: 1245–1259.

Restrepo, J. 1996. Dieciseis elementos básicos sobre agricultura orgánica en Centroamerica. Corporación Educativa para el Desarrollo Costarricense (CEDECO). San Juan , Costa rica, 73p.

Reyes, C. P. 1997. Historia de la agricultura. pp 192-241.

Salisbury, F. B. y C. W. Ross. 1992. Fisiología Vegetal. Editorial Iberoamérica.

Sánchez, E.; J. M. Soto; J. M. Ruíz y L. Romero. 2006. Asimilación de nitrógeno en raíces y hojas de frijol ejotero: deficiencias vs toxicidades de nitrógeno. Rev. Fitotec. Mex. Vol. 29 (3): 187-195.

Shi, J. Q.; R. X. Ding; Y. Z. Liu and Y. H. Sun. 1999. Acidification of soil by urea and fallen tea leaves. J. Tea Sci 19(1): 7-12.

SEMARNAP 2002. Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000, que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudio muestreo y análisis. Secretaria de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca. Diario Oficial, martes 31 de diciembre de 2002. Segunda Sección. México DF. 85 p.

Sikora, L. J. and N. J. Enkiri. 2001. Uptake of N fertilizer in compost-amended soils. Plant and soil 235:65-73.

Tiscareño, M.; M. Gallardo y M. Velásquez. 1997. Impacto de los métodos de labranza en la agricultura de ladera. *In: Avances de investigación en labranza de conservación*. Centro Nacional de Investigaciones para al Producción Sostenible – INIFAP- Libro técnico No. 1.

Torquebiau, E. 1990. Conceptos de agroforestería; una introducción. Centro de Agroforestería para el Desarrollo Sostenible, UACH, México

Uribe-Gómez, S.; N. Francisco-Nicolás y A. Turrent-Fernández. 2002. Pérdida de suelo en un entisol con prácticas de conservación en los Tuxtlas, Veracruz, México. *Agrociencia* 36: 161-168.

Vaughan, D. and O. Ord B. 1985. Soil organic matter a perspective on its nature, extraction, turnover and role in soil fertility. *In*. Vaughan D. and Malcolm R.E.(Ed). *Soil organic matter and biological activity*. Martinus Nijhooff W. Junk Publishers New York.

Velázquez, A y E. Ortega T. 1972. Determinación del amonio no intercambiable y la capacidad de fijación del amonio en distintos suelos de México. *Agrociencia Serie C-7*: 65-80.

Wild, A. 1992. *Condiciones del suelo y desarrollo de las plantas según Russell*. Ediciones Mundi-Prensa.

Wu- JJ.; D. Bernardo J. Y H. Mapp. 1997. An evaluation of nitrogen runoff and leaching potential in the High Plains; *Journal of Soil and water* 52:1, 73-80.

Yu-kui, R.; J. Shi-ling; Z. Fu-suo and She. Jian-bo. 2009. Effects of nitrogen fertilizer input on the composition of mineral elements in corn grain. *Agrociencia* 43: 21-27.

VIII. ANEXOS

Cuadro A. Análisis de Varianza de Salida de Nitrógeno por Ecurrimiento durante la precipitación (SNE) del 07-julio-2010, en cultivo de maíz y frijol en sistemas de producción convencional y orgánico.

Variable	FV	GL	SC	CM	Valor de F	Pr>F	CV (%)
NH ₄ F	Tratamiento	1	0.395	0.395	15.12	0.0177	6.99
	Error	4	0.104	0.026			
	Total	5	0.499				
NO ₃ F	Tratamiento	1	0.052	0.052	0.37	0.5748	11.47
	Error	4	0.561	0.140			
	Total	5	0.614				
NMINF	Tratamiento	1	0.735	0.735	5.11	0.0866	6.79
	Error	4	0.574	0.143			
	Total	5	1.309				
NH ₄ M	Tratamiento	1	0.003	0.003	0.01	0.9365	25.11
	Error	4	1.816	0.454			
	Total	5	1.819				
NO ₃ M	Tratamiento	1	0.552	0.552	2.19	0.2126	16.66
	Error	4	1.006	0.251			
	Total	5	1.558				
NMINM	Tratamiento	1	0.470	0.470	0.45	0.5391	17.95
	Error	4	4.181	1.045			
	Total	5	4.651				

NH₄F: Amonio en frijol, NO₃F; Nitrato en frijol, NMINF; Nitrógeno mineral en frijol, NH₄M; Amonio en maíz, NO₃M; Nitrato en maíz, NMINM; Nitrógeno mineral en maíz.

FV; Fuente o factor de Variación, GL; Grados de Libertad, SC; Suma de Cuadrados, CM; Cuadrado Medio, CV; Coeficiente de variación.

Cuadro B. Análisis de Varianza de Salida de Nitrógeno por Escurrimiento durante la precipitación (SNE) del 08-julio-2010, en cultivo de maíz y frijol en sistemas de producción convencional y orgánico.

Variable	FV	GL	SC	CM	Valor de F	Pr>F	CV (%)
NH ₄ F	Tratamiento	1	0.000	0.000	0.00	1.0000	22.95
	Error	4	0.888	0.222			
	Total	5	0.888				
NO ₃ F	Tratamiento	1	0.117	0.117	0.34	0.5930	27.54
	Error	4	1.398	0.349			
	Total	5	1.515				
NMINF	Tratamiento	1	0.117	0.117	0.18	0.6939	19.29
	Error	4	2.626	0.656			
	Total	5	2.744				
NH ₄ M	Tratamiento	1	0.013	0.013	0.03	0.8629	33.26
	Error	4	1.541	0.385			
	Total	5	1.554				
NO ₃ M	Tratamiento	1	0.209	0.209	0.32	0.6044	36.35
	Error	4	2.652	0.663			
	Total	5	2.861				
NMINM	Tratamiento	1	0.326	0.326	0.18	0.6925	32.72
	Error	4	7.225	1.806			
	Total	5	7.552				

NH₄F: Amonio en frijol, NO₃F; Nitrato en frijol, NMINF; nitrógeno mineral en frijol, NH₄M; Amonio en maíz, NO₃M; Nitrato en maíz, NMINM; nitrógeno mineral en maíz.

FV; Fuente o factor de Variación, GL; Grados de Libertad, SC; Suma de Cuadrados, CM; Cuadrado Medio, CV; Coeficiente de variación.

Cuadro C. Análisis de Varianza de Salida de Nitrógeno por Escurrimiento durante la precipitación (SNE) del 10-julio-2010, en cultivo de maíz y frijol en sistemas de producción convencional y orgánico.

Variable	FV	GL	SC	CM	Valor de F	Pr>F	CV (%)
NH ₄ F	Tratamiento	1	0.264	0.264	0.79	0.4232	32.98
	Error	4	1.332	0.333			
	Total	5	1.597				
NO ₃ F	Tratamiento	1	0.029	0.029	0.14	0.7287	35.90
	Error	4	0.849	0.212			
	Total	5	0.878				
NMINF	Tratamiento	1	0.470	0.470	0.78	0.4275	25.62
	Error	4	2.417	0.604			
	Total	5	2.887				
NH ₄ M	Tratamiento	1	0.007	0.007	0.23	0.6560	11.85
	Error	4	0.127	0.031			
	Total	5	0.134				
NO ₃ M	Tratamiento	1	0.098	0.098	1.05	0.3630	20.68
	Error	4	0.375	0.093			
	Total	5	0.474				
NMINM	Tratamiento	1	0.052	0.052	1.00	0.3739	7.65
	Error	4	0.209	0.052			
	Total	5	0.261				

NH₄F: Amonio en frijol, NO₃F; Nitrato en frijol, NMINF; Nitrógeno mineral en frijol, NH₄M; Amonio en maíz, NO₃M; Nitrato en maíz, NMINM; Nitrógeno mineral en maíz.

FV; Fuente o factor de Variación, GL; Grados de Libertad, SC; Suma de Cuadrados, CM; Cuadrado Medio, CV; Coeficiente de variación.

Cuadro D. Análisis de Varianza de Salida de Nitrógeno por Escurrimiento durante la precipitación (SNE) del 21-julio-2010, en cultivo de maíz y frijol en sistemas de producción convencional y orgánico.

Variable	FV	GL	SC	CM	Valor de F	Pr>F	CV (%)
----------	----	----	----	----	------------	------	--------

NH ₄ F	Tratamiento	1	0.944	0.944	2.78	0.1708	30.83
	Error	4	1.358	0.339			
	Total	5	2.303				
NO ₃ F	Tratamiento	1	0.395	0.395	2.47	0.1912	19.26
	Error	4	0.640	0.160			
	Total	5	1.035				
NMINF	Tratamiento	1	2.561	2.561	7.61	0.0509	14.62
	Error	4	1.345	0.336			
	Total	5	3.906				
NH ₄ M	Tratamiento	1	0.470	0.470	6.86	0.0589	13.36
	Error	4	0.274	0.068			
	Total	5	0.744				
NO ₃ M	Tratamiento	1	0.784	0.784	4.83	0.0929	22.29
	Error	4	0.650	0.162			
	Total	5	1.434				
NMINM	Tratamiento	1	2.470	2.470	17.29	0.0142	10.03
	Error	4	0.571	0.142			
	Total	5	3.042				

NH₄F: Amonio en frijol, NO₃F; Nitrato en frijol, NMINF; Nitrógeno mineral en frijol, NH₄M; Amonio en maíz, NO₃M; Nitrato en maíz, NMINM; Nitrógeno mineral en maíz.

FV; Fuente o factor de Variación, GL; Grados de Libertad, SC; Suma de Cuadrados, CM; Cuadrado Medio, CV; Coeficiente de variación.

Cuadro E. Análisis de Varianza de Salida de Nitrógeno por Escurrimiento durante la precipitación (SNE) del 23-julio-2010, en cultivo de maíz y frijol en sistemas de producción convencional y orgánico.

Variable	FV	GL	SC	CM	Valor de F	Pr>F	CV (%)
----------	----	----	----	----	------------	------	--------

NH ₄ F	Tratamiento	1	0.735	0.735	4.02	0.115	30.04
	Error	4	0.731	0.182			
	Total	5	1.466				
NO ₃ F	Tratamiento	1	2.561	2.561	3.42	0.1379	43.10
	Error	4	2.992	0.748			
	Total	5	5.553				
NMINF	Tratamiento	1	6.040	6.040	4.32	0.1062	34.47
	Error	4	5.592	1.398			
	Total	5	11.632				
NH ₄ M	Tratamiento	1	0.160	0.160	0.18	0.6972	45.04
	Error	4	3.658	0.914			
	Total	5	3.818				
NO ₃ M	Tratamiento	1	3.139	3.139	1.93	0.2367	52.00
	Error	4	6.494	1.623			
	Total	5	9.633				
NMINM	Tratamiento	1	4.717	4.717	1.40	0.3020	40.10
	Error	4	13.458	3.364			
	Total	5	18.175				

NH₄F: Amonio en frijol, NO₃F; Nitrato en frijol, NMINF; Nitrógeno mineral en frijol, NH₄M; Amonio en maíz, NO₃M; Nitrato en maíz, NMINM; Nitrógeno mineral en maíz.

FV; Fuente o factor de Variación, GL; Grados de Libertad, SC; Suma de Cuadrados, CM; Cuadrado Medio, CV; Coeficiente de variación.

Cuadro F. Análisis de Varianza de Salida de Nitrógeno por Escurrimiento durante la precipitación (SNE) del 24-julio-2010, en cultivo de maíz y frijol en sistemas de producción convencional y orgánico.

Variable	FV	GL	SC	CM	Valor de F	Pr>F	CV (%)
NH ₄ F	Tratamiento	1	0.264	0.264	5.79	0.0739	15.53
	Error	4	0.182	0.045			
	Total	5	0.447				
NO ₃ F	Tratamiento	1	0.326	0.326	0.75	0.4348	45.56
	Error	4	1.737	0.434			
	Total	5	2.064				
NMINF	Tratamiento	1	1.179	1.179	2.17	0.2143	26.08
	Error	4	2.169	0.542			
	Total	5	3.348				
NH ₄ M	Tratamiento	1	0.013	0.013	0.17	0.6981	19.57
	Error	4	0.300	0.075			
	Total	5	0.313				
NO ₃ M	Tratamiento	1	0.013	0.013	0.03	0.8786	57.88
	Error	4	1.973	0.493			
	Total	5	1.986				
NMINM	Tratamiento	1	0.052	0.052	0.07	0.7981	31.99
	Error	4	2.796	0.699			
	Total	5	2.848				

NH₄F: Amonio en frijol, NO₃F; Nitrato en frijol, NMINF; Nitrógeno mineral en frijol, NH₄M; Amonio en maíz, NO₃M; Nitrato en maíz, NMINM; Nitrógeno mineral en maíz.

FV; Fuente o factor de Variación, GL; Grados de Libertad, SC; Suma de Cuadrados, CM; Cuadrado Medio, CV; Coeficiente de variación.

Cuadro G. Análisis de Varianza de Salida de Nitrógeno por Escurrimiento durante la precipitación (SNE) del 28-julio-2010, en cultivo de maíz y frijol en sistemas de producción convencional y orgánico.

Variable	FV	GL	SC	CM	Valor de F	Pr>F	CV (%)
NH ₄ F	Tratamiento	1	0.160	0.160	3.77	0.1242	14.47
	Error	4	0.169	0.042			
	Total	5	0.329				
NO ₃ F	Tratamiento	1	1.306	1.306	100.00	0.0006	5.56
	Error	4	0.052	0.013			
	Total	5	1.358				
NMINF	Tratamiento	1	0.552	0.552	13.00	0.0226	5.92
	Error	4	0.169	0.042			
	Total	5	0.721				
NH ₄ M	Tratamiento	1	0.264	0.264	0.66	0.4609	38.10
	Error	4	1.594	0.398			
	Total	5	1.858				
NO ₃ M	Tratamiento	1	0.013	0.013	0.14	0.7247	16.20
	Error	4	0.365	0.091			
	Total	5	0.378				
NMINM	Tratamiento	1	0.160	0.160	0.39	0.5681	18.28
	Error	4	1.659	0.414			
	Total	5	1.819				

NH₄F: Amonio en frijol, NO₃F; Nitrato en frijol, NMINF; Nitrógeno mineral en frijol, NH₄M; Amonio en maíz, NO₃M; Nitrato en maíz, NMINM; Nitrógeno mineral en maíz.

FV; Fuente o factor de Variación, GL; Grados de Libertad, SC; Suma de Cuadrados, CM; Cuadrado Medio, CV; Coeficiente de variación.

Cuadro H. Análisis de Varianza de Salida de Nitrógeno por Escurrimiento durante la precipitación (SNE) del 29-julio-2010, en cultivo de maíz y frijol en sistemas de producción convencional y orgánico.

Variable	FV	GL	SC	CM	Valor de F	Pr>F	CV (%)
NH ₄ F	Tratamiento	1	0.183	0.183	75.00	0.0010	2.57
	Error	4	0.009	0.002			
	Total	5	0.193				
NO ₃ F	Tratamiento	1	1.550	1.550	5.20	0.0847	19.14
	Error	4	1.192	0.298			
	Total	5	2.742				
NMINF	Tratamiento	1	2.801	2.801	7.90	0.0482	12.46
	Error	4	1.417	0.354			
	Total	5	4.219				
NH ₄ M	Tratamiento	1	0.013	0.013	0.08	0.7953	21.54
	Error	4	0.679	0.169			
	Total	5	0.692				
NO ₃ M	Tratamiento	1	1.728	1.728	8.27	0.0452	33.21
	Error	4	0.836	0.209			
	Total	5	2.564				
NMINM	Tratamiento	1	1.440	1.440	1.93	0.2367	26.23
	Error	4	2.979	0.744			
	Total	5	4.419				

NH₄F: Amonio en frijol, NO₃F; Nitrato en frijol, NMINF; Nitrógeno mineral en frijol, NH₄M; Amonio en maíz, NO₃M; Nitrato en maíz, NMINM; Nitrógeno mineral en maíz.

FV; Fuente o factor de Variación, GL; Grados de Libertad, SC; Suma de Cuadrados, CM; Cuadrado Medio, CV; Coeficiente de variación.

Cuadro I. Análisis de Varianza de Salida de Nitrógeno por Escurrimiento durante la precipitación (SNE) del 31-julio-2010, en cultivo de maíz y frijol en sistemas de producción convencional y orgánico.

Variable	FV	GL	SC	CM	Valor de F	Pr>F	CV (%)
NH ₄ F	Tratamiento	1	0.000	0.000	0.00	1.0000	15.66
	Error	4	1.437	0.359			
	Total	5	1.437				
NO ₃ F	Tratamiento	1	0.117	0.117	0.60	0.4818	11.71
	Error	4	0.784	0.196			
	Total	5	0.901				
NMINF	Tratamiento	1	0.117	0.117	0.13	0.7344	12.39
	Error	4	3.554	0.888			
	Total	5	3.671				
NH ₄ M	Tratamiento	1	2.208	2.208	13.00	0.0226	10.77
	Error	4	0.679	0.169			
	Total	5	2.887				
NO ₃ M	Tratamiento	1	0.013	0.013	0.02	0.8893	22.94
	Error	4	2.378	0.594			
	Total	5	2.391				
NMINM	Tratamiento	1	2.561	2.561	14.25	0.0195	5.89
	Error	4	0.718	0.179			
	Total	5	3.279				

NH₄F: Amonio en frijol, NO₃F; Nitrato en frijol, NMINF; Nitrógeno mineral en frijol, NH₄M; Amonio en maíz, NO₃M; Nitrato en maíz, NMINM; Nitrógeno mineral en maíz.

FV; Fuente o factor de Variación, GL; Grados de Libertad, SC; Suma de Cuadrados, CM; Cuadrado Medio, CV; Coeficiente de variación.

Cuadro J. Análisis de Varianza de Salida de Nitrógeno por Escurrimiento durante la precipitación (SNE) del 10-agosto-2010, en cultivo de maíz y frijol en sistemas de producción convencional y orgánico.

Variable	FV	GL	SC	CM	Valor de F	Pr>F	CV (%)
NH ₄ F	Tratamiento	1	0.000	0.000	0.00	1.0000	4.00
	Error	4	0.078	0.019			
	Total	5	0.078				
NO ₃ F	Tratamiento	1	0.081	0.081	0.35	0.5848	12.98
	Error	4	0.927	0.231			
	Total	5	1.009				
NMINF	Tratamiento	1	0.081	0.081	0.40	0.5599	6.24
	Error	4	0.810	0.202			
	Total	5	0.891				
NH ₄ M	Tratamiento	1	0.052	0.052	0.16	0.713	14.97
	Error	4	1.345	0.336			
	Total	5	1.398				
NO ₃ M	Tratamiento	1	1.058	1.058	2.13	0.2181	18.87
	Error	4	1.986	0.496			
	Total	5	3.044				
NMINM	Tratamiento	1	1.581	1.581	1.08	0.3573	15.90
	Error	4	5.853	1.463			
	Total	5	7.434				

NH₄F: Amonio en frijol, NO₃F; Nitrato en frijol, NMINF; Nitrógeno mineral en frijol, NH₄M; Amonio en maíz, NO₃M; Nitrato en maíz, NMINM; Nitrógeno mineral en maíz.

FV; Fuente o factor de Variación, GL; Grados de Libertad, SC; Suma de Cuadrados, CM; Cuadrado Medio, CV; Coeficiente de variación.

Cuadro K. Análisis de Varianza de Salida de Nitrógeno por Escurrimiento durante la precipitación (SNE) del 12-agosto-2010, en cultivo de maíz y frijol en sistemas de producción convencional y orgánico.

Variable	FV	GL	SC	CM	Valor de F	Pr>F	CV (%)
NH ₄ F	Tratamiento	1	1.440	1.440	29.40	0.0056	8.54
	Error	4	0.196	0.049			
	Total	5	1.636				
NO ₃ F	Tratamiento	1	2.208	2.208	27.04	0.0065	11.77
	Error	4	0.326	0.081			
	Total	5	2.534				
NMINF	Tratamiento	1	7.216	7.216	552.25	0.0001	2.27
	Error	4	0.052	0.013			
	Total	5	7.268				
NH ₄ M	Tratamiento	1	0.012	0.012	0.01	0.9313	38.69
	Error	4	5.774	1.443			
	Total	5	5.786				
NO ₃ M	Tratamiento	1	0.013	0.013	0.01	0.9270	30.27
	Error	4	5.501	1.375			
	Total	5	5.514				
NMINM	Tratamiento	1	0.050	0.050	0.01	0.9288	33.81
	Error	4	22.27	5.568			
	Total	5	22.32				

NH₄F: Amonio en frijol, NO₃F; Nitrato en frijol, NMINF; Nitrógeno mineral en frijol, NH₄M; Amonio en maíz, NO₃M; Nitrato en maíz, NMINM; Nitrógeno mineral en maíz.

FV; Fuente o factor de Variación, GL; Grados de Libertad, SC; Suma de Cuadrados, CM; Cuadrado Medio, CV; Coeficiente de variación.

Cuadro L. Análisis de Varianza de Salida de Nitrógeno por Escurrimiento durante la precipitación (SNE) del 13-agosto-2010, en cultivo de maíz y frijol en sistemas de producción convencional y orgánico.

Variable	FV	GL	SC	CM	Valor de F	Pr>F	CV (%)
NH ₄ F	Tratamiento	1	0.236	0.236	0.59	0.4841	21.53
	Error	4	1.590	0.397			
	Total	5	1.826				
NO ₃ F	Tratamiento	1	0.889	0.889	2.20	0.2122	26.32
	Error	4	1.617	0.404			
	Total	5	2.506				
NMINF	Tratamiento	1	2.006	2.006	1.26	0.3242	23.58
	Error	4	6.364	1.591			
	Total	5	8.370				
NH ₄ M	Tratamiento	1	0.395	0.395	7.56	0.0514	8.23
	Error	4	0.209	0.052			
	Total	5	0.604				
NO ₃ M	Tratamiento	1	0.735	0.735	3.63	0.1295	14.72
	Error	4	0.810	0.202			
	Total	5	1.545				
NMINM	Tratamiento	1	2.208	2.208	10.56	0.0314	7.83
	Error	4	0.836	0.209			
	Total	5	3.044				

NH₄F: Amonio en frijol, NO₃F; Nitrato en frijol, NMINF; Nitrógeno mineral en frijol, NH₄M; Amonio en maíz, NO₃M; Nitrato en maíz, NMINM; Nitrógeno mineral en maíz.

FV; Fuente o factor de Variación, GL; Grados de Libertad, SC; Suma de Cuadrados, CM; Cuadrado Medio, CV; Coeficiente de variación.

Cuadro M. Análisis de Varianza de Salida de Nitrógeno por Escurrimiento durante la precipitación (SNE) del 19-agosto-2010, en cultivo de maíz y frijol en sistemas de producción convencional y orgánico.

Variable	FV	GL	SC	CM	Valor de F	Pr>F	CV (%)
NH ₄ F	Tratamiento	1	0.138	0.138	0.97	0.3814	15.35
	Error	4	0.571	0.142			
	Total	5	0.709				
NO ₃ F	Tratamiento	1	0.264	0.264	0.61	0.4772	25.35
	Error	4	1.724	0.431			
	Total	5	1.989				
NMINF	Tratamiento	1	0.784	0.784	0.77	0.4309	20.04
	Error	4	4.099	1.024			
	Total	5	4.884				
NH ₄ M	Tratamiento	1	1.306	1.306	10.53	0.0315	13.24
	Error	4	0.496	0.124			
	Total	5	1.803				
NO ₃ M	Tratamiento	1	0.735	0.735	4.79	0.0939	13.87
	Error	4	0.614	0.153			
	Total	5	1.349				
NMINM	Tratamiento	1	4.001	4.001	7.38	0.0532	13.42
	Error	4	2.169	0.542			
	Total	5	6.170				

NH₄F: Amonio en frijol, NO₃F; Nitrato en frijol, NMINF; Nitrógeno mineral en frijol, NH₄M; Amonio en maíz, NO₃M; Nitrato en maíz, NMINM; Nitrógeno mineral en maíz.

FV; Fuente o factor de Variación, GL; Grados de Libertad, SC; Suma de Cuadrados, CM; Cuadrado Medio, CV; Coeficiente de variación.

Cuadro N. Análisis de Varianza de Salida de Nitrógeno por Escurrimiento durante la precipitación (SNE) del 20-agosto-2010, en cultivo de maíz y frijol en sistemas de producción convencional y orgánico.

Variable	FV	GL	SC	CM	Valor de F	Pr>F	CV (%)
NH ₄ F	Tratamiento	1	0.003	0.003	0.00	0.9560	35.65
	Error	4	3.789	0.947			
	Total	5	3.792				
NO ₃ F	Tratamiento	1	0.003	0.003	0.01	0.9448	30.48
	Error	4	2.404	0.601			
	Total	5	2.407				
NMINF	Tratamiento	1	0.013	0.013	0.01	0.9463	30.23
	Error	4	10.16	2.541			
	Total	5	10.17				
NH ₄ M	Tratamiento	1	0.470	0.470	4.36	0.1050	13.79
	Error	4	0.431	0.107			
	Total	5	0.901				
NO ₃ M	Tratamiento	1	0.395	0.395	2.16	0.2155	19.71
	Error	4	0.731	0.182			
	Total	5	1.127				
NMINM	Tratamiento	1	1.728	1.728	3.70	0.1268	15.02
	Error	4	1.868	0.467			
	Total	5	3.596				

NH₄F: Amonio en frijol, NO₃F; Nitrato en frijol, NMINF; Nitrógeno mineral en frijol, NH₄M; Amonio en maíz, NO₃M; Nitrato en maíz, NMINM; Nitrógeno mineral en maíz.

FV; Fuente o factor de Variación, GL; Grados de Libertad, SC; Suma de Cuadrados, CM; Cuadrado Medio, CV; Coeficiente de variación.

Cuadro O. Análisis de Varianza de Salida de Nitrógeno por Esguerrimiento durante la precipitación (SNE) del 22-agosto-2010, en cultivo de maíz y frijol en sistemas de producción convencional y orgánico.

Variable	FV	GL	SC	CM	Valor de F	Pr>F	CV (%)
NH ₄ F	Tratamiento	1	0.029	0.029	0.18	0.6960	12.95
	Error	4	0.666	0.166			
	Total	5	0.695				
NO ₃ F	Tratamiento	1	0.020	0.020	0.24	0.6481	12.12
	Error	4	0.336	0.084			
	Total	5	0.356				
NMINF	Tratamiento	1	0.098	0.098	0.22	0.6660	12.19
	Error	4	1.826	0.456			
	Total	5	1.924				
NH ₄ M	Tratamiento	1	0.640	0.640	3.77	0.1242	14.96
	Error	4	0.679	0.169			
	Total	5	1.319				
NO ₃ M	Tratamiento	1	0.160	0.160	0.43	0.5495	22.84
	Error	4	1.502	0.375			
	Total	5	1.662				
NMINM	Tratamiento	1	1.440	1.440	1.80	0.2508	16.45
	Error	4	3.201	0.800			
	Total	5	4.641				

NH₄F: Amonio en frijol, NO₃F; Nitrato en frijol, NMINF; Nitrógeno mineral en frijol, NH₄M; Amonio en maíz, NO₃M; Nitrato en maíz, NMINM; Nitrógeno mineral en maíz.

FV; Fuente o factor de Variación, GL; Grados de Libertad, SC; Suma de Cuadrados, CM; Cuadrado Medio, CV; Coeficiente de variación.

Cuadro P. Análisis de Varianza del contenido de Nitrogeno en Planta (NP) de maíz y frijol en sistemas de producción convencional y orgánico.

Variable	FV	GL	SC	CM	Valor de F	Pr>F	CV (%)
FP	Tratamiento	1	0.060	0.060	2.70	0.1758	11.09
	Error	4	0.088	0.022			
	Total	5	0.148				
GF	Tratamiento	1	0.052	0.052	1.92	0.2384	4.79
	Error	4	0.109	0.027			
	Total	5	0.161				
MH	Tratamiento	1	0.001	0.001	0.15	0.7165	10.43
	Error	4	0.043	0.010			
	Total	5	0.045				
MT	Tratamiento	1	0.048	0.048	10.45	0.0319	7.74
	Error	4	0.018	0.004			
	Total	5	0.067				
MG	Tratamiento	1	0.015	0.015	0.37	0.5783	13.04
	Error	4	0.164	0.041			
	Total	5	0.179				

FP; Frijol Planta, GF; Frijol Grano, MH; Maíz Hoja, MG; Maíz Grano.

FV; Fuente o factor de Variación, GL; Grados de Libertad, SC; Suma de Cuadrados, CM; Cuadrado Medio, CV; Coeficiente de variación.

Cuadro Q. Análisis de Varianza del contenido de Nitrogeno en Suelo (NS) con cultivos de maíz y frijol en sistemas de producción convencional y orgánico.

Variable	FV	GL	SC	CM	Valor de F	Pr>F	CV (%)
NTF	Tratamiento	1	0.0000	0.0000	0.25	0.6433	10.42
	Error	4	0.0002	0.0000			
	Total	5	0.0002				
NH ₄ F	Tratamiento	1	20.906	20.906	0.70	0.4489	50.79
	Error	4	118.90	29.726			
	Total	5	139.81				
NO ₃ F	Tratamiento	1	5.226	5.226	0.47	0.5304	42.00
	Error	4	44.426	11.106			
	Total	5	49.653				
NOF	Tratamiento	1	491.41	491.41	0.05	0.8349	13.02
	Error	4	39745.7	9936.4			
	Total	5	40237.1				
MOF	Tratamiento	1	0.001	0.001	0.13	0.7415	7.96
	Error	4	0.053	0.013			
	Total	5	0.055				
NTM	Tratamiento	1	0.0000	0.0000	0.14	0.7247	13.78
	Error	4	0.0004	0.0001			
	Total	5	0.0004				
NH ₄ M	Tratamiento	1	8.166	8.166	0.25	0.6433	59.74
	Error	4	130.66	32.666			
	Total	5	138.83				
NO ₃ M	Tratamiento	1	2.940	2.940	0.09	0.7833	58.09
	Error	4	135.89	33.973			
	Total	5	138.83				
NOM	Tratamiento	1	4202.90	4202.90	0.53	0.5075	11.82
	Error	4	31814.8	7953.72			
	Total	5	36017.8				
MOM	Tratamiento	1	0.015	0.015	0.64	0.4676	10.78
	Error	4	0.093	0.023			
	Total	5	0.108				

NTF; Nitrógeno Total Frijol, NH₄F; Amonio en frijol, NO₃F; Nitrato en frijol, NOF; Nitrógeno Orgánico Frijol, MOF; Materia Orgánica Frijol, NTM; Nitrógeno Total Maíz, NH₄M; Amonio en Maíz, NO₃M; Nitrato en Maíz, NOM; Nitrógeno Orgánico Maíz, MOM; Materia Orgánica Maíz,

FV; Fuente o factor de Variación, GL; Grados de Libertad, SC; Suma de Cuadrados, CM; Cuadrado Medio, CV; Coeficiente de variación.

Cuadro R. Análisis de Varianza de Biomasa Producida (PB) en maíz y frijol cultivados en sistemas convencional y orgánico.

Variable	FV	GL	SC	CM	Valor de F	Pr>F	CV (%)
PSPF	Tratamiento	1	0.004	0.004	0.01	0.9126	37.64
	Error	4	1.412	0.353			
	Total	5	1.417				
PSGF	Tratamiento	1	0.066	0.066	0.31	0.6092	30.65

	Error	4	0.862	0.217			
	Total	5	0.928				
PSGM	Tratamiento	1	14.41	14.41	8.28	0.0452	12.89
	Error	4	6.966	1.741			
	Total	5	21.38				
PSTM	Tratamiento	1	0.680	0.680	2.26	0.2720	8.04
	Error	4	0.603	0.301			
	Total	5	1.284				
PSHM	Tratamiento	1	0.013	0.013	0.02	0.8976	9.73
	Error	4	2.781	0.695			
	Total	5	2.794				

PSPF; Peso Seco de Planta de Frijol, PSGF; Peso Seco de Grano de Frijol, PSGM; Peso Seco de Grano de Maíz, PSTM; Peso Seco de Tallo de Maíz, PSHM; Peso Seco de Hoja de Maíz.

FV; Fuente o factor de Variación, GL; Grados de Libertad, SC; Suma de Cuadrados, CM; Cuadrado Medio, CV; Coeficiente de variación.