

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA “ANTONIO NARRO”
UNIDAD LAGUNA**

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

DEPARTAMENTO DE AGROECOLOGÍA



**TRANSFORMACIÓN DEL NITRÓGENO EN EL SUELO Y FORMA DE
ABSORCIÓN EN CULTIVOS FORRAJEROS MAÍZ Y AVENA**

POR:

GADIEL GONZÁLEZ LÓPEZ

MONOGRAFÍA

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO
DE:**

INGENIERO EN AGROECOLOGÍA

Torreón, Coahuila, México

Abril del 2010

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA "ANTONIO NARRO"
UNIDAD LAGUNA.
DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

DEPARTAMENTO DE AGROECOLOGÍA

TRANSFORMACIÓN DEL NITRÓGENO EN EL SUELO Y FORMA DE
ABSORCIÓN EN CULTIVOS FORRAJEROS MAÍZ Y AVENA

POR:

GADIEL GONZÁLEZ LÓPEZ

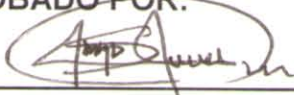
MONOGRAFÍA

QUE SE SOMETE A CONSIDERACIÓN DEL COMITÉ DE ASESORES,
COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO EN AGROECOLOGÍA

APROBADO POR:

ASESOR PRINCIPAL:



Dr. Jesús Vásquez Arroyo

CO-ASESOR:



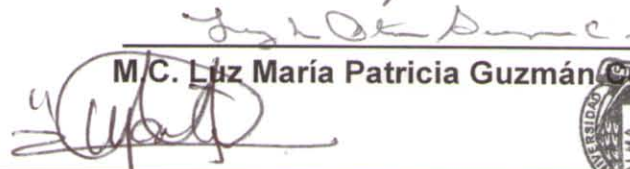
Dr. Alejandro Moreno Roséndez

CO-ASESOR:



Dr. Mario García Carrillo

CO-ASESOR:



M.C. Luz María Patricia Guzmán Cedillo

M.E. VÍCTOR MARTÍNEZ CUETO
COORDINADOR DE CARRERAS AGRONÓMICAS



Coordinación de la División de
Carreras Agronómicas

Torreón, Coahuila, México

Abril del 2010

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA "ANTONIO NARRO"
UNIDAD LAGUNA.

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS
DEPARTAMENTO DE AGROECOLOGÍA

TRANSFORMACIÓN DEL NITRÓGENO EN EL SUELO Y FORMA DE ABSORCIÓN
EN CULTIVOS FORRAJEROS MAÍZ Y AVENA

POR:

GADIEL GONZÁLEZ LÓPEZ

MONOGRAFÍA

QUE SE SOMETE A CONSIDERACIÓN DEL H. JURADO EXAMINADOR, COMO
REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO EN AGROECOLOGÍA

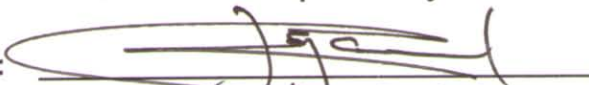
APROBADO POR:

PRESIDENTE:



Dr. Jesús Vásquez Arroyo

VOCAL:



Dr. Alejandro Morenos Reséndez

VOCAL:



M.C. Luz María Patricia Guzmán Cedillo

VOCAL:



Dr. Mario García Carrillo

M.E. VÍCTOR MARTÍNEZ CUETO

COORDINADOR DE CARRERAS AGRONÓMICAS



Coordinación de la División de
Carreras Agronómicas

Torreón, Coahuila, México

Abril del 2010

AGRADECIMIENTOS

A DIOS

Gracias a Dios, por permitirme la oportunidad de terminar mi objetivo más grande que siempre anhelé, un sueño hecho realidad y gracias por cuidarme y permitirme salir adelante.

A MI ALMA TERRA MATER

Gracias a la Universidad Autónoma Agraria “Antonio Narro” por permitir cumplir mis estudios, por todas las facilidades que me dio para adquirir los conocimientos necesarios para mi formación profesional, siempre recordare lo importante que eres para mí. Sobre todo, por darme la dicha de ser un BUITRE.

A TODOS LOS MAESTROS

De esta Universidad que aportaron su sabiduría en especial al Departamento de Agroecología y todo los que contribuyeron para mi formación profesional.

Al Dr. Jesús Vásquez Arroyo

Por haberme depositado su confianza y comprensión compartiendo sus valiosos conocimientos para salir adelante en el desarrollo de esta investigación.

Al Dr. Mario García Carrillo

Por compartir sus enseñanza durante mi carrera profesional y su confianza en esta investigación a favor y cuidado del medio ambiente.

Al Dr. Alejandro Moreno Reséndez

Por haber contribuido con su conocimiento y apoyo para llevar a cabo esta investigación. Además, por su apoyado en la realización de mi servicio social en el proyecto de lombricompost, bajo su asesoría.

A la M.C. Luz María Patricia Guzmán Cedillo

Por ser una maestra comprensiva y amable, por apoyarme en esta investigación y brindarme su conocimiento.

DEDICATORIAS

A MIS PADRES

Con todo amor y cariño a mis padres: José Arbey González Pérez y Juana López Rodríguez (+), por darme la vida, sin la ayuda de ellos y de Dios esto no hubiera sido posible. No existen palabras para agradecerlos todo lo que hicieron por mí, los quiero mucho siempre están en mi mente y en mi corazón.

A MIS HERMANOS:

Rosadina González López, José Leyber González López, Arbey Román González López, Blanca Maricela González López, Arbeti Leticia González Aguilar y Aminta Margot González Aguilar, los quiero mucho siempre han estado en mi mente y en mi corazón, gracias por brindarme sus apoyo incondicional, los amo con toda el alma.

En especial a mis hermanos Leyber y Román, porque siempre me ayudaron durante mi carrera profesional, siempre hicieron lo posible para que yo fuera quien ahora soy, siempre serán para mí algo muy importante los quiero mucho hermanos.

EN ESPECIAL

A mi esposa Sara Bravo Vázquez, a quien amo con mi mente y mi corazón, gracias por confiar en mí durante todo el tiempo que estuvimos distanciados.

A MIS TÍOS

Abigail Rodríguez, Imelda Pérez Tomas, Jogli Escalante Pérez, Floridalma Borrallas, Leonicio López Rodríguez, Estela López Rodríguez, Noel González Pérez, George González Pérez, Darinel González Pérez, y a todos mis demás tíos que por espacio omito sus nombre, pero quiero que sepan que están en mi mente y en mi corazón.

A TODAS LAS PERSONAS QUE ME APOYARON

A todas las personas que depositaron un granito de arena para lograr lo que he alcanzado, tal vez sus nombre no aparecerán en este documento, sin embargo, los llevo en mi mente y en mi corazón y se irán con migo hasta la muerte, gracias a Dios por ponerlos en mi camino.

A MIS CUÑADOS (AS)

En especial a Toñi, Osias, Blady, Paco, Rosa, Margot, Eli, Rosail, Abiu, y a todos los demás, por la comprensión y confianza que me han brindado. A mí cuñado Samuel y Huber por sus consejos que me han brindado. En especial a mi cuñada Eva Cortez, que ya tendré el junto de conocerla.

A MIS COMPAÑEROS DEL GRUPO

Que siempre me brindaron su cariño y apoyo en cada momento de mi vida dentro y fuera del aula: Alexis Gustavo Hernández Gálvez, Juan Carlos De León Morales, Karen Denisse Ordóñez Morales, Francisco García Francisco, Carolina Sánchez Pérez. Ángel López Fabián, Leonel Hernández López, Rocío Del Carmen Arteaga Hernández, Emmanuel Álvarez Castruita, Jesús Eleazar Sánchez Girón, Jaime Sánchez Antonio, Arreola Cruz Franklin Alfredo, Hernández Reyes Jorge Luis, Rosales Cervantes Ramón Fernando, Rufina Rueda Juárez, María R. Francisco Téllez, Hanely Nataly Espinosa Guillén, María del Rosario Torralba Ponce, María del Rosario Pérez Vázquez, Celi Flora Laureano Hernández y Miriam Torralba Ponce.

RESUMEN

La disponibilidad del nitrógeno, es de importancia económica por que es el nutrimento que los vegetales absorben en grandes cantidades y es el más susceptible a las transformaciones microbianas. Se encuentra en la atmósfera en forma bimolecular $N\equiv N$ como gas en un 78 %, sin embargo, la planta no lo puede asimilar directamente si no que requiere de su transformación, que se logra por la fijación biológica. Esta investigación se llevo a cabo para describir el movimiento del nitrógeno en el suelo y su impacto en el medio ambiente. En el ciclo del nitrógeno se llevan a cabo los procesos de mineralización, mediante la acción de microorganismos del suelo, que contribuyen en una descomposición de materiales orgánicos en el cual se liberan nitrógeno orgánico en nitrógeno mineral. Las bacterias nitrosomonas convierten el amonio (NH_4) a nitrito (NO_2) y de ahí las bacterias nitrobacter que convierten de nitrito a nitrato (NO_3) por un proceso que se llama nitrificación, es aquí donde las plantas ya pueden asimilarlo. En contraste existen también las flavobacterias que convierten al nitrato a nitrógeno orgánico (NO), mediante un proceso conocido como desnitrificación. Los fertilizantes nitrogenados están siendo usados en grandes cantidades e incorporándose en el suelo lo que conlleva a un exceso de nitrato, que se lixivian y contamina los mantos freáticos. Para la aplicación de dosis eficiente de fertilizantes nitrogenados se debe tomar en cuenta, los métodos de balance, método de Calibración, método del algoritmo, método del starter más medidores de clorofila y método del starter más análisis de suelo in situ.

Palabras Claves: Ciclo del nitrógeno, Fertilización nitrogenada, Dosis de fertilización.

ÍNDICE DE CONTENIDO

	Pág.
AGRADECIMIENTOS	i
DEDICATORIA	iii
RESUMEN	v
ÍNDICE DE CONTENIDO	vi
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO II. REVISIÓN DE LITERATURA	4
2.1 Cultivos forrajeros.	5
2.1.1. Maíz forrajero	5
2.1.1.1 Clasificación taxonómica	5
2.1.1.2 Ventajas del maíz forrajero	6
2.1.1.3 Características de híbridos de maíz de alto rendimiento y calidad nutricional de forraje	7
2.1.1.4 Necesidad del suelo para cultivo de maíz	7
2.1.1.5 Producción de maíz a nivel mundial	8
2.1.1.6 Producción nacional de maíz	9
2.1.1.7 Producción de maíz a nivel regional	11
2.1.2 Avena forrajera	12
2.1.2.1 Producción mundial de avena	13
2.1.2.2 Producción nacional de avena	14
2.1.2.3 Producción regional de avena	15
2.3 Importancias del nitrógeno en las plantas	15
2.4 Ciclo del nitrógeno	16
2.4.1 Fijación	17
2.4.2 Mineralización	18
2.4.3 Nitrificación	19
2.4.4 Asimilación	20
2.4.5 Inmovilización	21

2.4.6 Desnitrificación	21
2.4.7 Volatilización	22
2.5 Nitrógeno en el suelo	23
2.6 Nitrógeno en el agua	26
2.7 Como reducir perdidas de nitrógeno en los fertilizantes	27
2.7.1 Plantas fijadoras de nitrógeno	27
2.7.2 Determinación de la capacidad de mineralización de N del suelo	28
2.8 Disponibilidad de nitrógeno en la planta	30
2.8.1 Deficiencia del nitrógeno en la planta	30
2.8.2 Eficiencia del uso de nitrógeno	31
2.8.3 Exceso de nitrógeno en la planta	32
2.9 Movilidad del N en el suelo	33
2.10 Como estimar la dosis de fertilización con nitrógeno en los cultivos	34
2.11 Impacto en ambiente del N	36
2.11.1 Riesgos de contaminación por nitrógeno	38
2.11.2 Desarrollo sustentable de los recursos naturales al disminuir riesgos de contaminación en actividades agropecuarias	39
CONSIDERACIONES	41
CONCLUSIONES	42
REFERENCIAS	43

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

A nivel mundial, la producción de maíz estimada por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA) con respecto al mes de enero del 2009 fue de 796.45 millones de toneladas, debajo de los 791,04 millones de enero del 2008, para febrero del 2010 se estimó una cantidad de 797.83 millones de toneladas (USDA, 2010). Para el caso de la producción de avena en el 2009, de acuerdo a la Foreign Agricultural Service (FAS) del USDA, fue de 26.48 millones de toneladas y para el 2010 se estima una producción de 23.69, lo que representaría una reducción del 10.6% (Muñoz, 2009).

México es el cuarto productor de maíz en el mundo, pero es un importante consumidor, lo que se cubre con la producción nacional de maíz blanco, sin embargo, se es deficitario en maíz amarillo No. 2, que tiene diversos usos, principalmente pecuario (SIAP, s/f).

Desde el punto de vista alimentario, económico y social, el maíz es el cultivo más importante de México. Durante el periodo 1996-2006 ocupó el 51% de la superficies sembrada y cosechada totales en promedio anual; generó el 7.4% del volumen de producción agrícola total, representando el 30% del valor total de la producción (SIAP, s/f).

En México en el 2006, la producción de maíz ascendió a 21.3 millones de toneladas, en tanto que la demanda fue de 26.2 millones de toneladas, por lo que se importaron alrededor de 5 millones de toneladas en ese año, se espera que la producción del maíz en México en el 2010, obtendrá un incremento del 5.7 % (22.9 millones de toneladas) (CEFP, 2007). La superficie cosechada con forrajes en México de 1.7 millones de hectáreas de esa superficie el 44.5% corresponde a la avena forrajera, el 21.24% a alfalfa, el 20.03% a maíz forrajero y 13.23 al sorgo forrajero (Espinoza-Arellano *et al.*, 2009).

En la Comarca Lagunera en el 2008 se sembraron 129 mil ha, de las cuales el 73% fueron ocupadas con cultivos forrajeros. El maíz para ensilaje es el segundo cultivo forrajero después de alfalfa y representa el 30% de la superficie cosechada con forrajes (SAGARPA, 2009). El rendimiento regional promedio del maíz para forraje fue de 42.38 t ha^{-1} , y en el caso de la avena forrajera fue de 35.24 t ha^{-1} (SAGARPA, 2007).

El nitrógeno (N) es un elemento esencial para las plantas. Éste es constituyente de diversos compuestos químicos orgánicos como: proteínas, ácidos nucleicos, ciertas hormonas y también forma parte de la molécula de la clorofila (Bast, 2009) y en muchos casos este elemento puede ser el factor más limitante del crecimiento de los cultivos. El nitrógeno es un elemento importante para todo organismo, es el principal elemento que el suelo debe proporcionar para garantizar el crecimiento adecuado y la producción óptima de los cultivos (Elizondo, 2006).

Químicamente hablando el nitrógeno del suelo se transforma de manera continua como resultado de las actividades de las plantas y los microorganismos (Zagal, s/f) y de las condiciones ambientales que prevalecen en este medio. La transformación del nitrógeno en el suelo se debe a los procesos de nitrificación, mineralización, asimilación, amonificación, inmovilización, desnitrificación, volatilización y la lixiviación.

La mineralización es la conversión de nitrógeno orgánico a amonio (NH_4^+) a través de la actividad de microorganismos, bajo condiciones aeróbicas y anaeróbicas, mientras que la inmovilización es la conversión de nitrógeno inorgánico (NH_4^+ y NO_3^-) a nitrógeno orgánico, ambos procesos ocurren simultáneamente en el suelo (Cabrera *et al.*, 2005; Elizondo, 2006), la nitrificación es la conversión del amonio a nitrato, que es llevado a cabo principalmente por las bacterias quimioautotróficas del género *Nitrosomonas* y *Nitrobacter* (Cabrera, 2007), la asimilación, es un proceso de utilización del NH_4 o NO_3 para la síntesis celular y la amonificación se lleva a cabo cuando el nitrógeno orgánico es biológicamente

liberado como NH_4^+ , durante la hidrolización de nucleótidos y proteínas, catabolizado por organismos heterótrofos (Sánchez y Sanabria, 2009), la desnitrificación consiste en la reducción de los iones nitratos (NO_3^-) a nitrógeno molecular gaseoso (N_2), y de iones amonio (NH_4^+) a amoníaco (NH_3), es llevado a cabo por algunos hongos y muchas bacterias y es raro observarlo en bacterias termofílicas (Mishima *et al.*, 2009), la volatilización, es un mecanismo de pérdida de nitrógeno en forma de amoníaco (NH_3) que ocurre naturalmente en el suelo. Dadas las condiciones, ocurre cuando hay un exceso de NH_3 en la solución del suelo, la volatilización es mayor en suelos con pH elevados y baja capacidad de intercambio catiónico (Elizondo, 2006) y la lixiviado es el movimiento del nitrógeno inorgánico hacia los horizontes más profundos del suelo y hacia el acuífero. Las pérdidas por este proceso ocurren, normalmente, en forma de nitrato ya que el amonio se encuentra inmovilizado, fijado, adsorbido o bien se ha transformado en nitrato por procesos de nitrificación.

Las pérdidas significativas de N se dan año con año, requieren de la aplicación externa de N en forma de fertilizante para cualquier cultivo (Bast, 2009), en este caso para maíz y avena. La fertilización con N proveniente del fertilizante se aplica con la finalidad de compensar las pérdidas ocasionadas por la remoción de las plantas cultivadas. Para ello es importante identificar los requerimientos óptimos de N del fertilizante para obtener el máximo beneficio económico y reducir el impacto ambiental (Bast, 2009).

El empleo de los fertilizantes nitrogenados se ha incrementado en las últimas décadas como consecuencia de la necesidad de mejorar la productividad de los cultivos para satisfacer los requerimientos alimenticios en la producción (Espinosa *et al.*, 2002). Debido a que el suelo no provee la cantidad de elementos nutritivos que necesita la planta para tener un buen desarrollo, es necesaria la aplicación de fertilizantes nitrógenados para aumentar el rendimiento de las plantas (Escalante *et al.*, 2007). El uso adecuado de los fertilizantes nitrogenados es importante para obtener una agricultura sustentable (Mulvaney *et al.*, 2009; SAGARPA, 2010). Los

suelos en zonas áridas son bajos en materia orgánica y nitrógeno disponible en forma natural, y por ende todos los cultivos requieren la aplicación de fertilizante en cantidad suficiente y oportuna ya sean orgánicos o sintéticos (Palomo *et al.*, 2007).

Este trabajo monográfico, presenta el análisis y discusión de la literatura disponible sobre la transformación del nitrógeno en el suelo de los cultivos forrajeros maíz y avena.

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Cultivos forrajeros

2.1.1 Maíz forrajero

El maíz (*Zea mays*), es originario de México y América Central, pertenece a la familia de las gramíneas, y constituye uno de los alimentos de mayor importancia a nivel mundial, es un cultivo anual que requiere de una temperatura de entre 24-30°C para su desarrollo y producción, se cultiva para grano en todo el mundo debido a sus altos rendimientos y excelentes características químicas para utilizarse en la alimentación animal y humana (Prieto, 2007).

Como planta, el maíz es una especie monoica, es decir, presenta flores tanto femeninas como masculinas. Las femeninas reunidas en varias espigas (panojas o mazorcas), que se originan en las axilas de las hojas del tercio medio de la planta, y las masculinas reunidas en una panícula terminal (Ramírez, 2009).

La producción de maíz forrajero es una de las actividades agrícolas más importantes en la Comarca Lagunera, ya que es la segunda fuente de forrajes que abastece a la creciente demanda de la principal cuenca lechera de México, se siembra al igual que el sorgo forrajero para el ensilaje, porque las plantas de maíz contienen más o menos los mismos nutrientes que ese cultivo, aunque en menor cantidad en contenido de azúcar (Salazar *et al.*, 2003a).

2.1.1.1 Clasificación taxonómica del Maíz

La taxonomía (del griego, taxis, “ordenamiento” y nomos, “norma”, es en el sentido más general, la ciencia de la clasificación. Habitualmente, se emplea el término para designar a la taxonomía biológica, la ciencia de ordenar a los organismos en un sistema de clasificación compuesto por una jerarquía de taxones (Wikipedia,

2010). Ramírez (2009), indica que la clasificación taxonómica del maíz es la siguiente.

Dominio	Eucaria
Reino.....	Vegetal
División.....	Tracheophyta
Subdivisión.....	Pteropsidae
Clase.....	Angiospermas
Subclase.....	Monocotiledonea
Grupo.....	Glumiflora
Orden.....	Graminales
Familia.....	Graminae
Tribu.....	Maydeae
Género.....	<i>Zea</i>
Especie.....	<i>mays</i>

2.1.1.3 Ventajas del maíz como forraje

Entre las ventajas que presenta el maíz como cultivo forrajero, se pueden mencionar las siguientes: un alto potencial respecto a la posibilidad de aumentar su rendimiento de forraje; el cultivo establecido ocupa el terreno durante temporadas cortas, dando oportunidad a la rotación de cultivos, además de que el forraje obtenido puede ser ensilado para utilizarse en épocas de sequía o cuando escasea el forraje (Salazar *et al.*, 2003a).

Es un cultivo adaptado a gran diversidad de ambientes; es una especie cuyo ciclo de fotosíntesis se realiza por el ciclo del carbono C4 y se caracteriza por tener una alta capacidad de producción de materia seca que lo hace atractivo como forraje para la producción de leche (De la Cruz *et al.*, 2005). Se caracteriza por tener rendimientos altos de materia seca por hectárea, así como bajo contenido de grano y alto contenido de fibra que resultan en ensilados baja digestibilidad y energía neta de lactancia (Muños *et al.*, 2004).

Por otro lado el ensilado de maíz es sumamente importante en la dieta del ganado debido a su alto contenido de energía, es por ello que el desarrollo de tecnología

para incrementar el rendimiento unitario y la calidad del forraje de maíz permitiría incrementar la producción de ensilaje (Cueto *et al.*, 2006).

2.1.1.3 Características de los híbridos de maíz de alto rendimiento y calidad nutricional de forraje.

Los híbridos de maíz con alto rendimiento y calidad nutricional se caracterizan por lo siguiente:

- Alto rendimiento de materia seca (más de 19 ton ha⁻¹).
- Alto rendimiento de mazorca (más de 45%).
- Concentración baja de fibra detergente neutro (menos de 55%).
- Alta digestibilidad in vitro (más de 73%).
- Alta concentración de energía neta de lactancia (más de 1.4 Mcal/kg de materia seca) (Peña *et al.*, 2008).

Las variedades de los híbridos son con más follaje escogiendo las más altas y de elevado rendimiento en biomasa; se utiliza más semilla, con lo cual se logra mayor población de plantas por hectárea. El tratamiento de fertilización es propiamente el mismo y en algunos casos se aumentará un poco el nivel de nitrógeno (González *et al.*, 2006).

2.1.1.4 Necesidades de suelo para cultivo de maíz

Para la obtención de altos rendimientos, el maíz requiere de suelos con pendiente menor a 1%, la profundidad debe ser mayor de 50 cm y de preferencia mayor a 1 m, las texturas medias son las idóneas para este cultivo prospera satisfactoriamente en otras como las arcillosas. Requiere de suelos con buen o moderadamente buen drenaje superficial e interno. Es además, sensible a la salinidad, requiriendo suelos con conductividad eléctrica menor a 2.7 dS m⁻¹ para evitar una baja de rendimiento superior al 10%. El pH óptimo es alrededor de 7,

menciona la cantidad de nitrógeno que la planta absorbe por tonelada de materia seca (Calderon *et al.*, 2002).

2.1.1.5 Producción de maíz a nivel mundial

El maíz se cultiva en todo el mundo y se utiliza tanto para la utilización humana como animal, este cereal es de suma importancia en la actualidad ya que la población humana del mundo ha sobrepasado los 6,000 millones, se hace necesario incrementar la producción de alimentos, para ello, es necesario encontrar alimento que puedan emplearse en la alimentación animal y que no compitan con los alimentos empleados por el hombre. Dentro de estos alimentos se encuentran los forrajes, que pueden ser utilizados en verde, henificados o ensilados, el maíz es un cultivo ideal para ensilar por su alto contenido de carbohidratos disponibles, un alto contenido de materia verde y su costo y sus requerimientos se indican en el Cuadro 1 (Fuentes *et al.*, 2001).

Cuadro 1. Extracción de elementos nutritivos por el cultivo de maíz para ensilaje (Sánchez, 2010).

Componente	Símbolo químico	Extracción (Kg) por tonelada de MS
Nitrógeno	N	14.0
Fósforo	P	5.6
Potasio	K	13.2
Calcio	Ca	3.6
Magnesio	Mg	1.8
Azufre	S	1.5
Fierro	Fe	0.072
Cobre	Cu	0.005
Manganeso	Mn	0.07
Zinc	Zn	0.016
Boro	B	0.008

MS= Materia seca

El cultivo de maíz para la producción de grano se encuentra distribuido a través del mundo y se estima una superficie mayor de 100 millones de hectáreas sembradas anualmente, se tiene estadísticas poco precisas sobre el área destinada a la producción de maíz forrajero, particularmente empleado en la

alimentación del ganado vacuno, aparte de ser utilizado bajo la forma de grano, el maíz encuentra un amplio uso como forraje verde y ensilado (Amador y Boschini, 2000).

En el cuadro 2, se muestra el reporte de oferta y demanda del maíz a nivel mundial, la producción que estima el USDA con respecto al mes de enero del 2009 fue de 796 millones de toneladas, debajo de los 791 de enero del 2008, para febrero del 2010 se estimó 797.8 millones de toneladas (USDA, 2010).

Cuadro 2. Reporte de oferta y demanda mundial de maíz (USDA, 2010).

CONCEPTO	2007/2008	ESTIMADO 2008/2009	PROYECTADO 2009/2010		VARIACIÓN PORCENTUAL	
			ENERO	FEBRERO	ANUAL	MENSUAL
(Millones de Toneladas)						
<i>Inventarios Iniciales</i>	108.87	129.60	145.97	145.88	12.56	(0.06)
<i>Producción</i>	791.87	791.50	796.45	797.83	0.80	0.17
<i>Importaciones</i>	98.35	81.80	82.30	82.55	0.92	0.30
<i>Oferta</i>	999.09	1,002.90	1,024.72	1,026.26	2.33	0.15
<i>Exportaciones</i>	98.61	83.28	84.56	84.79	1.81	0.27
<i>Demanda</i>	771.13	775.22	806.23	809.67	4.44	0.43
<i>Inventarios Finales</i>	129.35	144.40	133.93	131.80	(8.73)	(1.59)

2.1.1.6 Producción nacional de maíz

El maíz es el cultivo más importante de México, forma parte importante en la dieta de los mexicanos; está presente en la elaboración de más de 4 mil productos (almidón, fructuosa, aceites, cartón, chocolates, biocombustible, alimento animal); ocupa poco más de la mitad de la superficie sembrada del país; representa casi una tercera parte del valor de la producción agrícola; existen poco más de tres millones de productores de este grano, y es el cuarto productor mundial después de Estados Unidos, China y Brasil. Actualmente se cosechan en México aproximadamente 20.5 millones de toneladas, representando un 17.4% superior a la producción obtenida en el 2000 (17.5 millones de toneladas) (CEFP, 2007).

La mayor importación de maíz es resultado de los bajos niveles de producción, ya que este cultivo se ha visto afectado no sólo por la apertura comercial derivada del

Tratado de Libre Comercio de América del Norte (TLCAN), sino también por factores estructurales internos como la falta de acceso al crédito por parte de los productores de este cultivo, la limitada infraestructura de riego para elevar los rendimientos, la concentración del mercado en muy pocas empresas privadas, la escasa investigación científica en este campo y los limitados subsidios que otorga el Gobierno a este sector comparado con los que se otorgan a los productores de otros países europeos y Estados Unidos, principalmente (CEFP, 2007).

En México, hay dos ciclos productivos del maíz: el ciclo primavera/verano y el otoño/invierno, en el primer ciclo los principales estados productores son: Jalisco, Estado de México, Michoacán, Chiapas y Puebla. Aproximadamente entre el 90 y el 95 por ciento de la producción nacional se cultiva en el ciclo primavera-verano que se cosecha en los meses de octubre a diciembre. La producción del ciclo otoño/invierno se concentra básicamente en los estados del norte del país como Sinaloa, Sonora y Chihuahua, la cosecha de este ciclo se realiza durante los meses de marzo y septiembre; particularmente durante este ciclo, casi el 40 por ciento de la superficie sembrada cuenta con sistemas de riego. En 2006, el principal productor en este ciclo fue Sinaloa (CEFP, 2007).

En México en el 2006, la producción de maíz ascendió a 21.3 millones de toneladas, en tanto que la demanda fue de 26.2 millones de toneladas, por lo que se tuvieron que importar casi 5 millones de toneladas en ese año (Figura 1), de acuerdo a criterios del Centro de Estudios de las Finanzas Públicas de la SAGARPA (CEFP, 2007). México alcanzó de 1994 a 2008 un crecimiento en la producción de maíz de 2.6 por ciento, lo que permitió obtener 24.8 millones de toneladas de ese grano en 2008 y reducir las importaciones principalmente de Estados Unidos. Asimismo, las importaciones mensuales se han reducido durante el primer trimestre de 2009 en comparación con años anteriores (La Cronica, 2009), se espera que la producción de maíz en México en el 2010, experimente un incremento de 22,903.6 toneladas (SAGARPA, s/f).

2.1.1.7 Producción de maíz a nivel regional

En la Comarca Lagunera en el 2008 se sembraron 129 mil ha en esta región, de las cuales el 73% fueron ocupadas con cultivos forrajeros. El maíz para ensilaje es el segundo cultivo forrajero después de alfalfa y representa el 30% de la superficie cosechada con forrajes (SAGARPA, 2009).

Cueto *et al.*, 2006), mencionan que en el 2004 se sembraron en la región 89,076 ha de cultivos forrajeros, entre los cuales el maíz (*Zea mays* L.) ocupó el segundo lugar en importancia con 26,539 ha y un rendimiento promedio de 49 t ha⁻¹ de forraje verde y 17 t ha⁻¹ de materia seca.

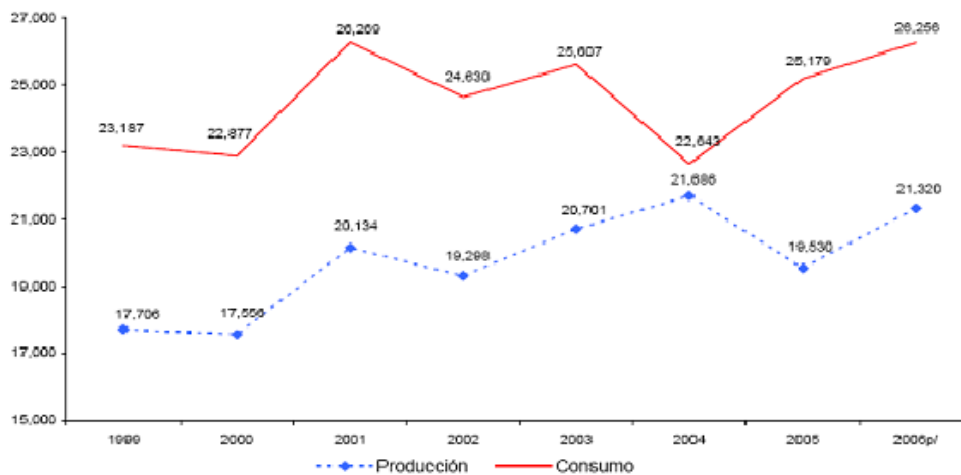


Figura 1. Producción y consumo de maíz México (CEFP, 2007).

Wong *et al.* (2006), señalan que en la Comarca Lagunera se sembraron aproximadamente, 24 000 ha de maíz forrajero en la cual, mientras que, mientras que en otro reporte se indican 28,533 ha (Espinoza-Arellano *et al.*, 2009). El 90% se sembró con híbridos comerciales para grano de compañías multinacionales desarrollados para otras regiones del país, por lo general se considera que los híbridos altamente productores de grano son también los mejores en calidad de forraje, por lo que un alto porcentaje de mazorca o un alto índice de cosecha favorecen los incrementos en la calidad del forraje. En esta región la producción

promedio por hectárea es de 51 t de forraje fresco y 15 t de forraje seco (Wong *et al.*, 2006).

Amador y Boschini (2000), obtuvieron rendimientos también con maíz criollo de 15.2 t ha⁻¹ de MS a una edad de 121 días y con una densidad de siembra de 58,000 plantas ha⁻¹, lo cual indica que este criollo es bueno para la producción de forraje, de porte muy alto, el cual varía entre los tres y cuatro metros, un tallo de excelente grosor, y las láminas de las hojas son anchas. Se reporta que el rendimiento regional media en La Comarca Lagunera de maíz forraje es de 42.38 t ha⁻¹ (SAGARPA, 2007).

2.2 Avena forrajera

La avena tiene su origen en Asia Central, la historia de su cultivo es más bien desconocida, aunque parece confirmarse que este cereal no llegó a tener importancia en épocas tan tempranas como el trigo o la cebada, ya que antes de ser cultivada la avena fue una mala hierba de estos cereales, la avena es una planta herbácea anual, perteneciente a la familia de las gramíneas, la mayoría de avena cultivada son hexaplóides, siendo la especie *Avena sativa* la más cultivada, es considerada una planta de estación fría, las mayores áreas de producción se localizan en los climas templados más fríos, aunque posee una resistencia al frío menor que la cebada y el trigo. Es una planta muy sensible a las altas temperaturas sobre todo durante la floración y la formación del grano (Lazcano, s/f).

Independientemente de las fechas de siembra, la fertilización de la avena debe estar condicionada a los resultados del análisis de suelo, los rendimientos esperados y el manejo del cultivo. Así, la planeación de la fertilización de la avena forrajera debe basarse en la extracción de elementos nutritivos por toda la planta. Cuyo se planea la fertilización es importante considerar que este cultivo remueve aproximadamente 23 kg de N, 7.5 kg P₂O₅, 6.2 kg K₂O, 2.0 kg de S y un poco mas de 1 kg de Mg y Ca por cada tonelada de grano producida (Agustín, 2007).

Para la producción de forraje, generalmente se cosecha la avena cuyo el 10% de la planta se encuentra espigando y se deben de esperar entre 25 y 35 t ha⁻¹ de forraje para un rendimiento adecuado. En el caso de avena para grano se esperan rendimientos arriba de 3.5 t ha⁻¹ de grano podría ser una meta satisfactoria (Cuadro 3), se menciona la cantidad aproximada de elementos nutritivos en kilogramo por tonelada de grano producido, que la avena absorbe en su ciclo vegetativo en una meta de rendimiento de 3.6 t ha (Agustín, 2007).

Cuadro 3. Absorción aproximadamente de elementos nutritivos kilogramos por tonelada de grano producido por la avena, en base a una meta de rendimiento de 3.6 t ha⁻¹.

	Nitrógeno N	Fosfato P ₂ O ₅	Potasio K ₂ O	Magnesio Mg	Calcio Ca	Azufre S
Grano	90	28	22	6	4	9
Rastrojo	39	17	140	19	12	12

(Lazcano, S/N).

2.1.2.1 Producción mundial de avena

El desarrollo del sector agropecuario ha sido un elemento crucial en el desarrollo económico de las naciones en las que la agricultura tiene un papel preponderante dentro de la economía. En la producción mundial de cereales en el 2001 la avena ocupa el quinto lugar, siendo el cereal de invierno de mayor importancia en los climas fríos del hemisferio norte (Agustín, 2007).

La producción de avena en el 2009, de acuerdo a la Foreign Agricultural Service (FAS) del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA), es de 26.48 millones de toneladas y para el 2010 se estima una producción de 23.69 millones de toneladas (figura 2) (Muñoz, 2009).

2.1.2.2 Producción nacional de avena

El cultivo de avena en México es una fuente importante de alimento para la industria pecuaria; se destina cerca del 80% de la producción nacional para su consumo como forraje verde, forraje henificado, grano y alimentos balanceados. La misión del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias no solo es generar conocimientos científicos e innovación tecnológica, sino también promover la transferencia de tales conocimientos, el Campo Experimental Sierra de Chihuahua ha sido el responsable de la investigación sobre el cultivo de la avena en la región Norte-centro de México. Se han entregado 15 variedades mejoradas de avena que tienen un mayor rendimiento, mayor contenido de almendra y mayor peso específico. Esto ha beneficiado a los productores de avena tanto en Chihuahua, como en el resto del país (Agustín, 2007).

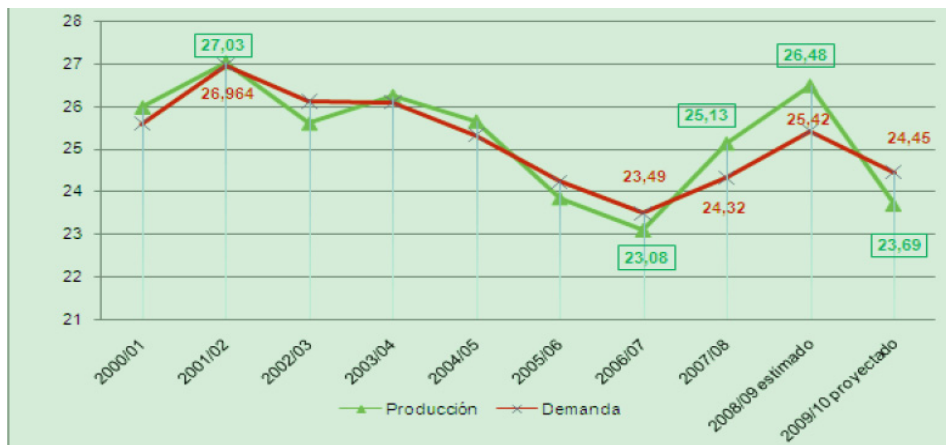


Figura 2. Producción y demanda mundial de avena (Muñoz, 2009).

Entre los principales estados productores de la avena forrajera se encuentra el Estado de México, Coahuila, Chihuahua, Durango y Zacatecas, los cuales en conjunto producen el 67% en promedio del total nacional. La superficie cosechada con forrajes en México es de 1.7 millones de hectáreas de esa superficie el 44.5%

corresponde a la avena forrajera, el 21.24% a alfalfa, el 20.03% a maíz forrajero y 13.23 al sorgo forrajero (Espinoza-Arellano *et al.*, 2009).

2.1.2.3 Producción regional de avena

La avena es el tercer cultivo forrajero de mayor importancia en la Comarca Lagunera, de los que se siembran en otoño-invierno año con año. Durante los últimos años, se han establecido en promedio más de 5,337 ha/año⁻¹ en esta región, brinda una excelente alternativa para lograr mantener un adecuado abastecimiento de grano y forraje durante todo el año. Las siembras más comunes se realizan a finales de otoño desde el 15 de octubre hasta el 15 de noviembre (Salazar *et al.*, 2003b).

En la Comarca Lagunera en el 2008 se sembraron 129 mil ha en esta región, de las cuales el 73% fueron ocupadas con cultivos forrajeros. La avena es el tercer cultivo forrajeo después del maíz y representa 15% de la superficie cosechada (SAGARPA, 2009).

El rendimiento regional media en La Comarca Lagunera en la producción de avena forrajera es de 35.24 t ha⁻¹ (SAGARPA, 2007).

2.3 Importancia del Nitrógeno para las plantas

El mayor reservorio de N₂ (nitrógeno gaseoso), se encuentra en la atmósfera (78%) y debe ser fijado a una forma reactiva para su aprovechamiento en la biosfera. El nitrógeno es el constituyente esencial de los aminoácidos, nucleoproteínas y nucleótidos, es esencial para la división y expansión celular y por lo tanto para el crecimiento de las plantas (Francis *et al.*, 2007).

El nitrógeno es el principal nutriente que el suelo debe proporcionar para garantizar el crecimiento adecuado y la producción óptima de los cultivos, la producción de la mayoría de los cultivos es altamente dependiente de la

disponibilidad de nitrógeno y de otros elementos en el suelo. Así la fertilización nitrogenada es el componente más importante en el sistema de producción (Sánchez y Sanabria, 2009).

El uso de altas dosis de nitrógeno puede incrementar el rendimiento de materia seca y proteína cruda, pero también incrementa el riesgo por lixiviación de nitratos por debajo de la zona radicular del cultivo (Cueto *et al.*, 2006).

3.4 Ciclo del nitrógeno

En condiciones adecuadas de temperatura, aireación, humedad y pH del suelo, los organismos del suelo transforman la mayor parte del nitrógeno procedente de fertilizantes, residuos de cosecha y estiércol en nitrato, proceso conocido como nitrificación. Se pueden dar pérdidas de N, ya sea por lixiviación, verticalmente hacia capas más profundas; por volatilización, sobre todo cuando el fertilizante se deja expuesto sobre el suelo y se tienen condiciones de humedad y altas temperaturas o cuando se fija el amonio a las partículas del suelo. El nitrógeno es absorbido por las plantas principalmente en forma del ion nitrato (NO_3^-) o amonio (NH_4^+). Casi todo el nitrógeno que absorben las plantas se encuentra en forma de nitrato. Debido a que el nitrato (anión) es móvil en el suelo y se desplaza en el agua hacia las raíces de las plantas, donde es absorbido. Por otra parte el amonio (catión), es fácilmente ligado a la superficie de las partículas del suelo (anión) (Ramírez, 2009).

El nitrógeno en el suelo se deriva originalmente del N_2 (nitrógeno atmosférico), por los microorganismos del suelo, sean de vida libre o asociadas simbióticamente fijan el N_2 formando nitrógeno orgánico, este nitrógeno pasa a formar parte de la materia orgánica del suelo, la característica principal del ciclo interno del nitrógeno es su transformación continua desde la fase orgánica a la fase inorgánica o mineral a través de los procesos de mineralización e inmovilización

respectivamente, ambos procesos ocurren simultáneamente en el suelo (Zagal, s/f).

El ciclo del nitrógeno es particularmente dinámico y complejo es una serie continua de procesos naturales en los cuales el nitrógeno se transforma a distintos estados de oxidación y reducción: de nitrógeno molecular (N_2) a amoníaco (NH_3), luego a compuestos orgánicos carbono-nitrogenado, óxido de nitrógeno y finalmente a N_2 , el ciclo del nitrógeno tiene cinco etapas o fases, de las cuales sólo la asimilación no es realizada por bacterias (Figura 3), se observa el grado de complejidad y dinamismo que presenta el ciclo del nitrógeno (Elizondo, 2006).

2.4.1 Fijación

La fijación biológica del nitrógeno consiste en la incorporación del nitrógeno atmosférico, a las plantas, gracias a algunos microorganismos, principalmente bacterias y cianobacterias que se encuentran presentes en el suelo y en ambientes acuáticos (Delgadillo *et al.*, 2005).

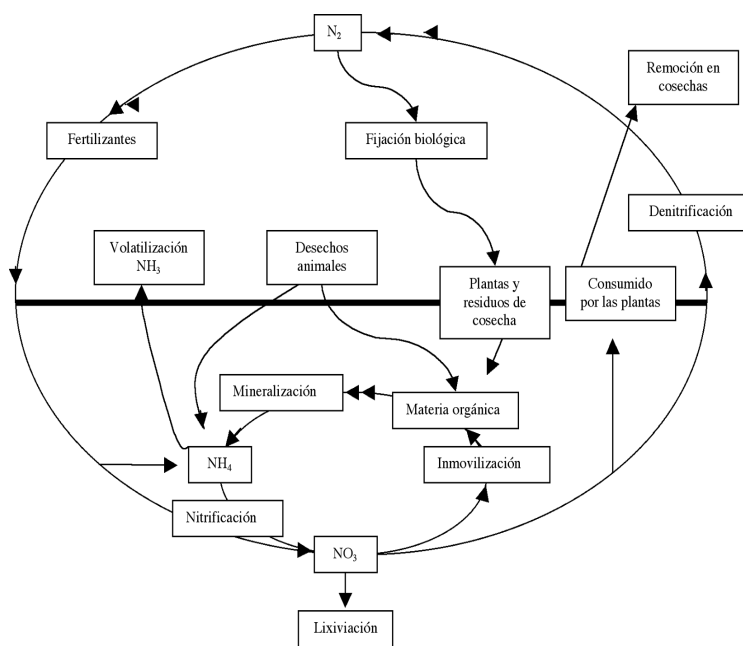


Figura 3. Muestra esquemáticamente el ciclo del nitrógeno. En la que se puede observar el grado de complejidad y dinamismo que presenta (Elizondo, 2006).

La fijación es la utilización del N_2 (nitrógeno atmosférico) como fuente directa de nitrógeno para la síntesis celular, aproximadamente 250 Tg nitrógeno anuales son fijados por estos microorganismos en la tierra y el océano. En la búsqueda de disminuir la aplicación de fertilizantes, se han hecho nuevos descubrimientos en cuanto a géneros de bacterias fijadoras, ejemplo de esto son las bacterias ácido acéticas fijadoras de nitrógeno, descubiertas por primera vez en Brasil en 1988, otros géneros de la misma familia han sido descritos posteriormente, se encuentran presentes en el suelo y en ambientes acuáticos, convierten el nitrógeno gaseoso (N_2) en amoníaco (NH_3) o nitratos (NO_3^-) (Sánchez y Sanabria, 2009).

El proceso puede ser llevado a cabo por los microorganismos en vida libre o en simbiosis con plantas, y el mismo no solo permite usar el nitrógeno atmosférico sino también revertir o reducir la degradación del suelo (Mayz, 2004).

El proceso de conversión del N_2 a NH_3 también se realiza industrialmente por el proceso de Haber-Bosch a partir del año 1910, consiste en la producción industrial de fertilizantes nitrogenados que se emplea un proceso en el cual se utilizan grandes cantidades de energía para romper el triple enlace covalente y hacer que los átomos de nitrógeno puedan reaccionar (Sierra *et al.*, 2000).

2.4.2 Mineralización

La mineralización, es la conversión de nitrógeno orgánico a amonio (NH_4^+) a través de la actividad de microorganismos no específicos, bajo condiciones aeróbicas y anaeróbicas, este proceso se acelera con un incremento de temperatura y aumenta con una adecuada humedad y una buena disponibilidad de oxígeno (Elizondo, 2006).

Después de que el nitrógeno se incorpora en la materia orgánica, frecuentemente se vuelve a convertir en nitrógeno inorgánico a través de un proceso llamado mineralización del nitrógeno, también conocido como desintegración, cuando los organismos mueren, las materias de descomposición (como la bacteria y los hongos) consumen la materia orgánica y llevan al proceso de descomposición. Durante este proceso, una cantidad significativa del nitrógeno contenido dentro del organismo muerto se convierte en amonio (Zagal, s/f).

La mineralización se lleva a cabo cuando el nitrógeno orgánico es biológicamente liberado como NH_4^+ durante la hidrolización de nucleótidos y proteínas, catabolizado por organismos (Sánchez y Sanabria, 2009).

Torres (2008), menciona que éste proceso de mineralización está regulado por organismos heterótrofos del suelo (hongos, bacterias y actinomicetos) que emplean sustancias orgánico-nitrogenadas como fuente de energía. Para que tenga lugar la mineralización es indispensable que se haya producido previamente inmovilización. Estos microorganismos que intervienen en ambos procesos necesitan un aporte de energía constante y suficiente, así como unas condiciones de pH, temperatura, humedad y aireación adecuadas.

2.4.3 Nitrificación

La nitrificación es la conversión del amonio a nitrato, que es llevado a cabo principalmente por las bacterias quimio-autotróficas del género nitrosomonas y nitrobacter, la tasa de nitrificación en los suelos es fuertemente dependiente de la temperatura, el contenido de agua, el pH y el potencial osmótico del suelo (Cabrera, 2007).

La nitrificación puede afectar al amonio de cualquier procedencia (mineralizado o aplicado como fertilizante) y consiste en su transformación a nitratos por la acción

de bacterias nitrificantes autótrofas y heterótrofas (*Nitrosomas* y *Nitrobacter* esencialmente), éste proceso es el más importante en formación de nitratos, en términos de cantidad (Torres, 2008).

Por otro lado Sánchez y Sanabria (2009), señalan que la nitrificación se divide en dos etapas, la primera está definida por la oxidación de NH_4^+ a nitrito (NH_2) y se llama nitrificación y la segunda etapa definida por la oxidación de NH_2 a NH_3 , se denomina nitratación, generalmente ocurren en la naturaleza en forma conjunta.

El nitrato es la forma más común como las plantas absorben el nitrógeno. Este proceso es la fuente acidificante más grande en los suelos agrícolas (Elizondo, 2006).

2.4.4 Asimilación

La asimilación, es el proceso de utilización del NH_4^+ o NO_3 para la síntesis celular ocurre cuando las plantas los absorben a través de sus raíces o, por la fijación de nitrógeno o por la nitrificación. Estas moléculas son incorporadas tanto a las proteínas, como a los ácidos nucleicos de las plantas (Sánchez y Sanabria, 2009).

Las plantas absorben el nitrógeno inorgánico del suelo (amonio y nitratos) que rodea a las raíces, la mayor parte del nitrógeno que absorben las plantas es en forma de nitratos, aunque también absorben amonio si existe en el medio, y con preferencia al nitrato al tratarse de una forma reducida del nitrógeno, pero realmente se encuentra disponible en pequeñas cantidades ya que es rápidamente fijado y adsorbido (Elizondo, 2006).

Las plantas consumen compuestos solubles de nitrógeno, tanto en la forma de nitrato o como amonio, pero en general el nitrato constituye la fuente principal de nitrógeno para los cultivos, en los ecosistemas agrícolas las fuentes de nitrógeno,

además de las adiciones atmosféricas, están las aplicaciones de fertilizantes tanto inorgánicos como orgánicos (estiércoles, lodos, compost) (Zagal, s/f).

Las plantas utilizan los iones nitrato o amonio del suelo a través de los pelos radiculares de la raíz. Cuando absorbe el nitrato, primero se reduce a los iones del nitrito y posteriormente a iones de amonio para la incorporación en los aminoácidos, ácidos nucleico y clorofila (Torres, 2008).

2.4.5 Inmovilización

El nitrógeno inorgánico puede ser temporalmente inmovilizado por transformación a componentes orgánicos, si hay suficiente materia orgánica disponible. La inmovilización se define como la transformación de compuestos de nitrógeno inorgánico a un estado orgánico por la acción de bacterias aerobias (Araujo y Toth, 2006).

La tasa de mineralización depende de una serie de factores, uno de ellos es la relación C:N. Cuanto más bajo sea el contenido de nitrógeno en la materia orgánica en descomposición con relación al contenido de carbono, mayor será la inmovilización de N en el suelo por parte de los microorganismos (Elizondo, 2006).

Zagal, s/f), señala que la inmovilización es la conversión de nitrógeno mineral a nitrógeno orgánico y ocurre cuando los microorganismos no pueden satisfacer sus necesidades de nitrógeno desde los materiales orgánicos de los cuales se están alimentando.

2.4.6 Desnitrificación

La desnitrificación es la vía principal por la que el nitrógeno pasa a la atmósfera desde el suelo. Se define como la reducción microbiológica de nitratos o nitritos a nitrógeno gaseoso, bien sea nitrógeno molecular u, óxido de nitrógeno (Sánchez y Sanabria, 2009).

Este proceso depende de: la temperatura, contenido de humedad del suelo, oxigenación, concentración de carbono, pH y concentración de NO_3^- . Existe una gran población de organismos denitrificantes en los suelos arables y se encuentran en gyes cantidades en la vecindad de las raíces. Las condiciones deben ser muy favorables para que estos microorganismos cambien de una forma de respiración aeróbica a un tipo de metabolismo desnitrificante (Elizondo, 2006).

Las bacterias responsables de la desnitrificación son anaerobias facultativas, están involucrados tanto organismos autótrofos (*Micrococcus denitricans* y *Thiobacillus denitricans*) como heterótrofos (*Pseudomonas* y *Bacillus*), estas bacterias utilizan para su metabolismo el oxígeno del aire pero pueden usar también nitrato como aceptador de electrones cuyo la presencia de oxígeno es limitada. Las condiciones más adecuadas para que se de este proceso son: temperatura de 25 °C o mayores, pH entre 6 y 8, bajo drenaje del suelo y existencia de compuestos orgánicos (Araujo y Toth, 2006).

2.4.7 Volatilización

La volatilización es un mecanismo de pérdida de nitrógeno en forma de amoníaco (NH_3) que ocurre naturalmente en el suelo. Dadas las condiciones adecuadas, ocurre cuyo hay un exceso de NH_3 en la solución del suelo, la volatilización es mayor en suelos con pH elevados y baja capacidad de intercambio catiónico (Elizondo, 2006).

Los factores que fundamentalmente afectan a este proceso son el pH (los suelos que poseen naturalmente pH altos, suelos alcalinos o salino-alcalinos, volatilizan más que en suelos agrícolas con pH moderadamente ácidos), la temperatura (a mayor temperatura mayor volatilización) y la capacidad de cambio catiónico del suelo (a menor capacidad de intercambio catiónico mayor pérdida por volatilización), etc. (Delgadillo *et al.*, 2005).

Por otro lado Aguilar (2009), menciona que la volatilización es la pérdida de gas amoníaco desde el suelo, bajo condiciones alcalinas los iones amonio son convertidos a moléculas de amoníaco en solución, las cuales después pueden ser liberadas a la atmósfera. Este proceso es estrictamente químico y no hay intervenciones de microorganismos.

La pérdida de nitrógeno (N) por volatilización del gas amoníaco (NH_3) puede ser la principal causa de la baja eficiencia de algunos fertilizantes amoniacales, dichas pérdidas son el resultado de numerosos procesos químicos, físicos y biológicos (Ferraris *et al.*, 2008).

2.5 Nitrógeno en el suelo

El nitrógeno en el suelo se encuentra en forma orgánica e inorgánica, con 95% o más del nitrógeno total presente en forma orgánica. El nitrógeno inorgánico está disponible para ser tomado por las plantas, mientras que el orgánico debe ser primero mineralizado (convertido a N inorgánico) antes de que las plantas lo puedan utilizar. La cantidad de N orgánico que se mineralizará el primer año, se puede estimar multiplicando el N orgánico por un factor de mineralización que oscila entre 0,25 y 0,35 (Elizondo, 2006).

La materia orgánica del suelo es un término utilizado para describir los materiales orgánicos en todas las etapas de descomposición, que en términos muy generales se puede dividir en dos categorías: la primera es un material relativamente estable llamado humus, que de alguna manera es resistente a una pronta descomposición. La segunda incluye aquellos materiales orgánicos que están sujetos a una pronta descomposición (WingChing y Rojas, 2006).

Las formas orgánicas de nitrógeno en el suelo se encuentran como proteínas, aminoácidos, amino azúcares y otros compuestos nitrogenados complejos, que deben mineralizarse para que las plantas los puedan utilizar (Elizondo, 2006).

Las formas inorgánicas de nitrógeno presentes en el suelo incluyen amonio (NH_4^+), nitrito (NO_2^-), nitrato (NO_3^-), óxido nitroso (N_2O), óxido nítrico (NO) y nitrógeno elemental (N_2), el cuál es inerte, excepto para aquellos microorganismos fijadores de nitrógeno, desde el punto de vista de la fertilidad del suelo, NH_4^+ y NO_3^- son los más importantes y son generados a partir de la descomposición de la materia orgánica del suelo o de la adición de fertilizantes nitrogenados. Estas tres formas representan entre 2 y 5% del nitrógeno total del suelo (Elizondo, 2006).

Mediante un estudio que se llevo a cabo en el Campo Experimental la Laguna (CELALA) del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) 2009), en Matamoros, Coah., situado en la Comarca Lagunera, la cual tiene una precipitación pluvial promedio de 243.5 mm al año, una altura sobre el nivel del mar de 1,355 y una temperatura media anual de 24°C. Se estableció un análisis de suelo (Cuadro 5), se realizaron muestreos iniciales y finales con profundidad de 0-30, 30-60 y 60-90 y se analizaron en el laboratorio (Cuadro 6).

Cuadro 5. Análisis de suelo donde se estableció el proyecto.

Parámetro	Unidad	Valor
pH		8.24
Conductividad eléct.	dS m ⁻¹	0.41
Materia orgánica	%	1.20
Arena	%	51.69
Arcilla	%	27.91
Clase textural	Franco arcilloso arenoso	

Cuadro 6. Resultados de análisis de suelos de predio experimental con cultivos de avena y maíz durante 2009.

Parcela	Muestreo final (avena)			Muestreo inicial (Maíz)			Diferencia inicial y final		
	NO ₃ +NH ₄	NO ₃ +NH ₄	NO ₃ +NH ₄	NO ₃ +NH ₄	NO ₃ +NH ₄	NO ₃ +NH ₄	NO ₃ +NH ₄	NO ₃ +NH ₄	NO ₃ +NH ₄
	0-30	30-60	60-90	0-30	30-60	60-90	0-30	30-60	60-90
1	23.99	14.61	12.08	4.89	1.26	0.42	19.09	13.35	11.66
2	19.30	10.28	9.56	4.33	1.96	0.00	14.96	8.32	9.56
3	22.66	14.25	17.49	5.17	2.24	0.28	17.49	12.01	17.21
4	33.54	16.59	11.36	5.45	2.38	1.68	28.09	14.22	9.68
5	22.18	10.64	10.10	4.47	2.93	1.54	17.71	7.71	8.56
6	17.49	18.21	13.89	5.73	1.82	1.12	11.76	16.40	12.77
7	12.26	13.35	9.38	7.97	2.80	0.28	4.30	10.55	9.10
8	11.18	11.72	15.15	4.05	3.21	1.54	7.13	8.51	13.61
9	13.35	20.74	19.30	5.03	3.91	1.82	8.31	16.83	17.48
10	23.08	27.05	16.77	11.32	7.69	6.57	11.76	19.36	10.20
11	18.39	13.16	11.54	3.35	2.10	0.98	15.04	11.07	10.56
12	16.23	22.00	9.02	5.31	1.68	2.24	10.92	20.32	6.78
13	21.46	14.25	12.44	4.33	1.54	2.93	17.13	12.71	9.51
14	14.79	8.48	10.28	5.59	3.35	5.17	9.20	5.12	5.11
16	13.35	21.82	14.61	2.80	1.96	4.89	10.55	19.86	9.72
17	19.84	16.95	13.89	1.68	3.63	1.26	18.16	13.32	12.63
18	35.17	21.64	15.51	0.14	1.12	0.14	35.03	20.52	15.37
19	10.82	30.12	14.61	2.52	1.68	5.87	8.30	28.44	8.74
20	13.89	25.97	9.74	4.33	1.26	4.05	9.55	24.71	5.69

En la profundidad de 0-30 cm. se observa que la cantidad de nitrato en el análisis final es mayor que en el inicial en todas las parcelas y en las profundidades de 30-60 y 60-90, esto se debe a la mineralización de la materia orgánica que se transforma año con año en cada ciclo del cultivo, las plantas absorben el nitrógeno en forma de nitrato y amonio (Elizondo, 2006), pero solo absorbe lo que necesita y lo que no es perdido por lixiviación, volatilización y desnitrificación (Figura 3).

La ruta de remoción del nitrógeno depende del tipo de drenaje y de las prácticas de aplicación de fertilizantes, teóricamente a mayor profundidad encontramos menor cantidad de nitrato y amonio (Estrada *et al.*, 2007), en este trabajo se muestra que hay variabilidad de nitrato y amonio en las diferentes profundidades del suelo, en el caso de la parcela 3 y 9, ocurre lo contrario a lo esperado, esto

podiera atribuirse a adsorción en el caso del amonio y lixiviación en el caso de los nitratos.

2.6 Nitrógeno en el agua.

El contaminante inorgánico más común identificado en agua subterránea es el nitrógeno disuelto en la forma de nitrato, debido a que es la forma más estable en que puede encontrarse este elemento y su presencia en concentraciones no deseables (mayor a 45 mg/L^{-1}) es potencialmente peligrosa en los sistemas acuíferos, las formas iónicas (reactivas) de nitrógeno inorgánico más comunes en los ecosistemas acuáticos son el amonio (NH_4^+), el nitrito (NO_2^-) y el nitrato (NO_3^-) (Camargo y Alonso, 2007).

El exceso de nitrógeno en los estuarios de los océanos por ejemplo, aumenta el crecimiento de organismos acuáticos, al punto que ellos afectan la calidad del agua y disminuyen los niveles de oxígeno. Esto afecta el metabolismo y crecimiento de otras especies que requieren oxígeno, causando una condición conocida como hipoxia (menos de 2 mg/l^{-1} de N disuelto) (Elizondo, 2006).

En la agricultura moderna es absolutamente necesario el uso de agroquímicos para mantener altos rendimientos en los cultivos, pero algunas desventajas que presentan los fertilizantes es que alteran las propiedades químicas y biológicas del suelo; asimismo, los fertilizantes nitrogenados propician una variada lixiviación de nitratos que contaminan los mantos friáticos (Palomo *et al.*, 2007).

La contaminación del agua subterránea por nitratos (NO_3^-) es un problema extendido en muchos lugares del mundo impone una seria amenaza al abastecimiento de agua potable este problema obedece al impacto que tiene el excesivo uso de fuentes nitrogenadas en el sector agropecuario ya que no está regulada la aplicación y uso de fertilizantes minerales (inorgánicos), ni la fertilización proporcionada por estiércol y biosólidos (inorgánicos) (Muños *et al.*, 2004).

2.7 Como reducir las pérdidas de nitrógeno durante la fertilización

La eficiencia de recuperación de los elementos nutritivos depende de la forma y cantidad que se aplican y de la capacidad fisiológica de los cultivos. La recuperación por el cultivo de los fertilizantes nitrogenados es aproximadamente del 50%, la de los fosfatados es menos del 10% y los potásicos cerca de 40%, mientras que para los microelementos es del 5 al 10% en la agricultura convencional, representando en todos estos casos pérdidas económicas y daños potenciales al ambiente (Castro *et al.*, 2006).

En zonas vulnerables (con concentraciones de nitrato mayores de 50 mg/kg suelo y que contribuyan a la contaminación), se deben establecer programas de actuación que contemplen, entre otras medidas, la reducción en la aplicación de fertilizantes al terreno, manteniendo un equilibrio entre los requerimientos del cultivo y el nitrógeno disponible en el suelo. Los códigos de buenas prácticas agrícolas, deben definir los distintos tipos de fertilizantes nitrogenados en cuanto a la forma en que se presenta el nitrógeno y su comportamiento en el suelo una vez aplicado (Espada, 2005).

El manejo del nitrógeno (N), no solo afecta el rendimiento, sino también el contenido proteico del grano y la variabilidad de situaciones de suelo, clima y manejos existentes justifican ajustar la dosis de nitrógeno en cada sitio. El momento óptimo de aplicación de nitrógeno es en los estadios de siembra (Otegui *et al.*, 2002).

2.7.1 Plantas fijadoras de nitrógeno

El proceso de fijación biológica de nitrógeno, es el principal mecanismo de aporte de nitrógeno en los ecosistemas naturales y es muy importante en la agricultura (Baca *et al.*, 2000). Dentro de las especies que establecen relaciones simbióticas se encuentran las leguminosas como el frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.), la

cual es la leguminosa más importante para el consumo humano a escala mundial (Rojas y Moreno, 2008), así como la alfalfa, el trébol, el chícharo, la soya entre otras.

En general todas las especies de leguminosas fijan nitrógeno a través de bacterias que son hospederas o que viven en las raíces de la planta. Los procesos naturales de fijación biológica del nitrógeno (FBN) juegan un papel importante en la activación de los sistemas agrícolas sustentables por su beneficio ambiental, tal es el caso de las bacterias pertenecientes al género *Rhizobium* (Torres *et al.*, 2010).

Las bacterias fijadoras de nitrógeno que se desarrollan de forma natural en el suelo, se conocen desde hace más de un siglo y representan un biofertilizante ecológico y se dividen en dos grandes grupos: Las simbióticas, específicas de las leguminosas, como el *Rhizobium*, y las libres, que viven en el suelo y no necesitan la planta para su reproducción, como el *Azotobacter* y el *Azospirillum*, entre los más importantes en agricultura (Anónimo, 2010a).

Por esta razón al aumentar el uso y mejorar el manejo del N₂ (nitrógeno atmosférico) fijado biológicamente es una meta importante para la agricultura tanto por razones humanitarias como por razones económicas (Torres *et al.*, 2010).

2.7.2 Determinación de la capacidad de mineralización de nitrógeno del suelo

Russel 1914, citado por Diez (1999) fue probablemente el primero que observó que el contenido en nitrógeno mineral del suelo afecta a los requerimientos de fertilizantes nitrogenados por los cultivos. Sin embargo, hasta bien entrados los años setenta, no se llegó a prestar una atención seria a este planteamiento. A partir de entonces, se ha hecho un gran esfuerzo por parte de los investigadores para desarrollar sistemas de recomendación de nitrógeno, basados en el contenido de nitrógeno mineral del suelo.

El método de balance de N para diagnosticar necesidades de fertilización, es una herramienta y para su aplicación se debe conocer la oferta de N del suelo y la demanda de este elemento por cultivos. La oferta del suelo incluye el N residual y el N mineralizado durante el ciclo del cultivo (Benintende *et al.*, 2007). A este respecto (Palomo *et al.*, 2007) justifica plenamente la necesidad de regular las dosis de fertilizantes utilizados en el sector agrícola, toda vez que se presentan riesgos de contaminación al acuífero.

Uno de los objetivos de toda empresa agrícola es el de maximizar la eficiencia de uso de los insumos. En el caso de la fertilización con nitrógeno, la premisa es obtener el máximo rendimiento con la aplicación de fertilizantes nitrogenados. Las aplicaciones excesivas de N no son deseables desde el punto de vista económico y ambiental, por lo tanto, las mismas deben adecuarse a las necesidades del cultivo en cada sistema en que este se desarrolla. Una de las metodologías más aceptadas para cuantificar la dinámica del N en el sistema suelo-planta es la del balance que simula procesos de ganancias, pérdidas y transformaciones del elemento en el sistema (Benintende *et al.*, 2008), de esta forma se puede determinar la cantidad de fertilizante nitrogenado requerido por el cultivo, de acuerdo a la siguiente ecuación (Ferrari, 2009):

$$N_{\text{fert}} = (N_{\text{cult}} - (N_{\text{min}} * E_1) - (N_{\text{inic}} * E_2)) / E_3$$

Donde:

N_{fert} = Requerimiento de fertilizante nitrogenado

N_{cult} = Requerimiento de N del cultivo

N_{min} = N neto mineralizado durante el ciclo del cultivo

N_{inic} = N-NO₃ disponible a la siembra (0-60 cm)

E_1 = Eficiencia de uso del N mineralizado

E_2 = Eficiencia de uso del N inorgánico inicial

E_3 = Eficiencia de uso del N del fertilizante

2.8 Disponibilidad de nitrógeno en la planta

El desarrollo de las plantas depende, en gran medida, de un adecuado suministro de nitrógeno para la formación de aminoácidos, proteínas y otros constituyentes celulares, el contenido de nitrógeno se relaciona estrechamente con la capacidad fotosintética, el 75% de nitrógeno se encuentra en la hoja (Trejo *et al.*, 2005).

La mayoría de los compuestos presentes en las células vegetales contienen nitrógeno, tales como: aminoácidos, nucleótidos fosfatos, componentes de fosfolípidos, clorofila. Solamente el oxígeno, carbono, y el hidrógeno son elementos más abundantes en las plantas que el nitrógeno. La mayoría de los ecosistemas naturales y agrícolas, al ser fertilizados con nitrógeno inorgánico, muestran importantes incrementos en la productividad, poniendo en evidencia la importancia de este elemento (Pereyra, 2001).

1.8.1 Deficiencia del nitrógeno en la planta

La deficiencia de nitrógeno no es fácil de detectar en las etapas tempranas de crecimiento y los síntomas severos rara vez aparecen antes que la planta haya llegado a la altura de la rodilla. Existe escasez de nitrógeno si las plantas jóvenes tienen una apariencia verde amarillenta, en contraste con el verde intenso de las plantas saludables. Esto generalmente se puede corregir por medio de la aplicación de fertilizantes en cobertura. En momento que el maíz llega a la altura de la rodilla necesita aproximadamente 3.4 kg de nitrógeno por hectárea por día, es en esta etapa que muchos campos de maíz se quedan sin nitrógeno, el síntoma se inicia con un amarillamiento en las puntas de las hojas bajas que gradualmente se expande entre las nervaduras y que luego continua en las hojas más altas en la planta (Clostre y Suni, 2007).

Las plantas utilizan principalmente dos formas de nitrógeno: como nitrato (NO_3^-) y amonio (NH_4^+). Las plantas que contienen una cantidad de nitrógeno que limita su

crecimiento muestran síntomas de deficiencia que consiste en clorosis general, especialmente en las hojas más basales (Pérez *et al.*, 2007). Las hojas inferiores presentan amarillamiento y clorosis, el crecimiento, la elongación celular y la síntesis de proteína se ven fuertemente disminuidas. En situaciones más agudas aparece manchones y marchitamiento en toda la planta (Coma y Allan, 2002).

La deficiencia de nitrógeno en el suelo puede superarse mediante una eficiente fijación biológica de nitrógeno (FBN) que ocurre en nódulos de las leguminosas (Ferrari y Wall, 2004).

2.8.2 Eficiencia del uso de nitrógeno

El manejo adecuado de la nutrición de los cultivos, a través de la aplicación oportuna de fertilizantes, es una parte del proceso de producción que, en combinación con otros factores, fomenta el incremento en rendimiento y la calidad de las cosechas. Sin embargo, ante el incremento del precio de los fertilizantes y el efecto que se atribuye a su utilización excesiva sobre la contaminación del ambiente, es necesario hacer un uso cada vez más racional de los nutrimentos (Ramos *et al.*, 2002).

Un manejo adecuado de la nutrición de los cultivos, a través de la aplicación oportuna de fertilizantes, fomenta el incremento en rendimiento y la calidad de las cosechas, la eficiencia agronómica y la recuperación relativa del nitrógeno permiten conocer qué cantidad requieren los cultivos para alcanzar su máxima producción y qué porcentaje de ese elemento es absorbido por las plantas, esto depende del tipo de cultivo, características edafoclimáticas, así como las condiciones en que se desarrollen las plantas, la baja eficiencia de utilización de los fertilizantes nitrogenados (15 a 20%) se debe fundamentalmente a pérdidas por procesos, como: volatilización, lixiviación y desnitrificación (Ramos *et al.*, 2002).

La eficiencia de uso del nitrógeno, medida como la ganancia en producción de grano por unidad de nutriente aplicado, debe buscarse en cultivo de alta productividad a través del uso de las buenas prácticas de manejo, el concepto de eficiencia de nitrógeno puede variar de acuerdo a las perspectiva de producción (Boaretto *et al.*, 2007).

Para optimizar el uso eficiente del fertilizante (FUE, por sus siglas en inglés) mediante el riego y prácticas de manejo del fertilizante es por lo tanto esencial minimizar el impacto ambiental de las operaciones de producción comercial. Sin embargo, mejorar el FUE requiere comprender las interacciones entre el método y fecha de aplicación del fertilizante con los cambios estacionales en la demanda del N del cultivo (Zotarelli *et al.*, 2008).

La eficiencia agronómica y la recuperación relativa del N, permiten conocer con qué cantidad de N el cultivo alcanza su máxima producción y el porcentaje de éste que es utilizado por las plantas (Ramos *et al.*, 2002). El método de balance de N permite diagnosticar las necesidades de fertilización (Benintende *et al.*, 2007).

2.8.3 Exceso de nitrógeno en la planta

Coma y Allan, 2002), mencionan que el exceso de nitrógeno en la planta son los siguientes:

- Produce un crecimiento exagerado y color verde intenso.
- Se forman plantas débiles con tejidos tiernos, y, por tanto, más propensas a las plagas y enfermedades, al viento, a la lluvia, al granizo, a las heladas.
- La floración es escasa por el predominio de hojas (muchas hojas y pocas flores).
- Flores incompletas, sin estambres o sin pistilos. Caída de flores y frutos. Frutos con color anormal.
- También se deprime la absorción de Fósforo, Potasio, Cobre y otros.

2.9 Movilidad del N en el suelo

El nitrógeno del suelo se cambia continuamente de una forma a otra como resultado de las actividades de las plantas y los microorganismos, las plantas absorben el nitrógeno mineralizado por medio de sus raíces por un proceso llamado asimilación para satisfacer sus necesidades de crecimiento y desarrollo; el nitrógeno no absorbido es perdido por lixiviación por efecto de diversos factores. Por otro lado, los microorganismos del suelo ya sea de vida libre o que viven en asociación simbiótica, fijan nitrógeno atmosférico formando nitrógeno orgánico en la forma de grupos aminos, $-NH_2$, en las proteínas, este nitrógeno pasa a formar parte de la materia orgánica del suelo (Zagal, s/f).

Una característica principal de los cambios del nitrógeno es su transformación continua desde la fase orgánica a inorgánica o mineral a través de procesos de mineralización e inmovilización respectivamente y realizados por la biomasa microbiana, ambos procesos ocurren simultáneamente en el suelo (Mora *et al.*, 2007).

La volatilización es el proceso por el cual el amonio (NH_4^+) puede ser perdido como amoníaco (NH_3) a la atmósfera desde la solución del suelo. Proviene de la mineralización del nitrógeno orgánico del suelo o del nitrógeno contenido en fertilizantes aplicados al suelo, esta pérdida de nitrógeno por volatilización del gas amoníaco (NH_3) puede ser la principal causa de la baja eficiencia de algunos fertilizantes amoniacales (Ferraris *et al.*, 2009).

El nitrógeno también se moviliza por la desnitrificación que es un proceso anaeróbico llevado a cabo por las bacterias desnitrificadoras (*Bacillus*, *Pseudomonas*), siguiendo la secuencia: $NO_3^- \rightarrow NO_2^- \rightarrow NO \rightarrow N_2O \rightarrow N_2$, que regresan el nitrógeno a la atmósfera de forma gaseosa (Anónimo, 2010).

2.10 Como estimar la dosis de fertilización con nitrógeno en los cultivos

Los sistemas o métodos de recomendación para fertilización pueden dividirse en tres grupos: (i) sistemas basados principalmente en análisis de suelo, (ii) sistemas basados en análisis de plantas y (iii) sistemas basados en modelos de simulación (Díaz-Bravo, s/f).

Para el análisis de suelo, se cuentan con algunos métodos como son:

1.- Método de balance que consiste en el balance entre la demanda de nutrimentos por el cultivo y la oferta de nutrimentos por parte del suelo, corregidos por la eficiencia de uso de nutrimentos y se expresa como:

$$\text{Dosis} = (\text{Demanda} - \text{Oferta}) / \text{Eficiencia.}$$

Este método es una excelente aproximación cuyo existe poca información de respuesta a la fertilización en el área (Benintende *et al.*, 2007; Díaz-Bravo, s/f).

2.- Método de calibración.

Relaciona la respuesta del cultivo a la fertilización con el nivel del nutriente en el análisis de suelo. Los suelos son clasificados en categorías de fertilidad y la recomendación de fertilizantes es acorde con cada categoría (Cuadro 4).

3.- Método de algoritmo.

Este método se desarrolló en Estados Unidos y fue evaluado en la VII y VIII regiones con resultados muy promisorios. En este caso la recomendación también se basa en la demanda de nitrógeno (N) del cultivo, pero se consideran todos los aportes del nutriente, por ejemplo, el N proveniente del riego, la mineralización, las precipitaciones, etc. Además, considera que todas las fuentes fertilizantes tienen una eficiencia de 100%. Para utilizarlo se requiere de análisis de suelo en profundidad (por sobre los 120 cm). Restaría validar su uso por algunas temporadas más para obtener resultados realmente confiables (Díaz-Bravo, s/f).

Cuadro 4. Categorías de fertilidad según análisis de suelo, MB: Muy Bajo, B: Bajo, M: Medio, A: Alto, S: Suficiente o MA: Muy Alto (Díaz-Bravo, s/f).

Nitrógeno (N) (mg/kg)	Fósforo (P) (mg/kg)	Potasio (K) (mg/kg)	Materia Orgánica (%)	Acidez (pH)	Categoría
0-10	0-4	0-39	0-2.0	0-5.0	MB
11-20	5-8	40-69	2.1-4.5	5.1-5.5	B
21-35	9-12	70-120	4.6-8.8	5.6-6.2	M
36-80	13-20	120-250	8.1-12.0	6.3-7.0	A
>80	>20	>250	>12	>7	S o MA

4.- Método de Starter más medidores de clorofila.

Este método es ampliamente utilizado en otros países para determinar las necesidades de fertilización nitrogenada. También fue evaluado en la VII y VIII regiones con buenos resultados, principalmente en arroz y maíz para ensilaje. Se basa en aplicar una pequeña dosis de N a la siembra y luego determinar si la dosis siguiente es necesaria usando un medidor de clorofila. Para implementarlo en terreno se requiere establecer franjas de cultivo altamente fertilizado (Díaz-Bravo, s/f).

5.- Método de Starter más análisis de suelo in situ.

Este método es bastante utilizado en países desarrollados, implementándose con la aplicación a la siembra de una dosis moderada de N (Starter) y las aplicaciones posteriores en base a los resultados de análisis de suelo in situ mediante un kit de terreno. La validación de este método ha sido lenta debido a que los kit funcionan bien con suelo seco. Sin embargo, durante la temporada de cultivo, especialmente en el caso del arroz que se trabaja con suelo inundado, esta condición es difícil de obtener. Se ha podido determinar que existe una ajustada relación entre los resultados obtenidos con el kit en el campo y los del laboratorio de suelo para una misma muestra, lo que haría bastante seguro su uso (Díaz-Bravo, s/f).

De acuerdo con las conclusiones de Bast (2009), quien evaluó las recomendaciones de N para maíz basado en análisis de suelo y datos de sensores remotos, indicó que, éstos fallaron en detectar diferencias en las determinaciones de diferencia normalidades en el índice de vegetación entre las dosis de tratamientos de presembrado en dos localidades.

Las dosis de aplicación de nitrogenada se determinarán según las necesidades del cultivo y lo suministrado por el suelo, el agua de riego y las deposiciones atmosféricas. La generalización de normas es necesaria, dada la gran diversidad de situaciones y condiciones edafológicas, climáticas y agrícolas que podemos encontrar (Espada, 2005).

La combinación de variabilidad temporal y espacial de los rendimientos dificulta la toma de decisión en cuanto a las dosis de fertilización a aplicar, requiriéndose el desarrollo de herramientas de análisis de suelo y del ciclo vegetativo de la planta, para recomendar la aplicación eficiente de la fertilización nitrogenada (Boschini y Elizondo, 2004).

El ajuste de la dosis de fertilización nitrogenada en los programas actuales significa optimizar la manera de inversión de los fertilizantes sintéticos, evitando la sobredosificación en áreas de baja respuesta y adecuando la dosis en áreas con mayor probabilidades de respuesta, en los suelos con mayor contenido de materia orgánica ($MO > 3.0$), las recomendaciones de nitrógeno se reducen significativamente con relación a las recomendaciones originales (Pérez *et al.*, 2008).

2.11 Impacto en el ambiente del nitrógeno

Uno de los riesgos de la agricultura intensiva es que parte del nitrógeno aplicado se puede perder, del nitrógeno aplicado a muchos cultivos solamente un 10-50%

suele ser absorbido por las plantas, mientras que el 50-90% restante es susceptible de lixiviarse a las aguas subterráneas y superficiales (produciendo su eutrofización) o de perderse en forma gaseosa (Marco, 2002).

La presencia de nitratos y nitritos en el ambiente se da de manera natural; sin embargo, las actividades humanas modifican sus concentraciones y pueden hacer que estos compuestos sean potencialmente peligrosos para la salud humana y animal. Los nitratos en el suelo y en las aguas subterráneas se originan de la descomposición natural por microorganismos de materiales nitrogenados orgánicos como las proteínas de las plantas, animales y excretas de humanos y de animales las fuentes ambientales más importantes de la contaminación de suelos y las aguas subterráneas, son el uso de fertilizantes nitrogenados, la disposición de excretas y la disposición de desechos municipales e industriales. Aunque el nitrito es el compuesto tóxico, debido a que se forman a partir de los nitratos, un factor determinante en la incidencia de la toxicidad es la concentración de nitratos en el agua (Pacheco *et al.*, 2002).

El nitrógeno es un elemento nutritivo muy importante para la producción de cultivos y la alimentación del ganado de leche, pero también puede ser un contaminante del aire y del agua. Un exceso de elementos nutritivos ingresado a la finca puede resultar en una acumulación, lo que representa una amenaza latente para el ambiente (Elizondo, 2006).

Debido a los altos requerimientos de nitrógeno por las plantas, la fertilización nitrogenada representa el principal insumo en la agricultura mundial y está siendo aplicado en cantidades mayores que el ecosistema no puede tolerar, ocasionando problemas de olores y contaminación de las aguas, lo que ha provocado intoxicaciones tanto en personas como en animales y otra serie de efectos negativos en los ecosistemas tanto terrestres como acuáticos, cada año se aplican cerca de 90 millones de toneladas de nitrógeno para la producción agrícola en el mundo, mientras que el total de fertilizantes aplicados asciende a 150 millones de

toneladas. Para el ambiente, existen consecuencias negativas por el uso excesivo de fertilizantes nitrogenados debido a que los cultivos agrícolas sólo retienen dos tercios del nitrógeno aplicado y el nitrógeno no asimilado puede subsecuentemente lixiviarse y contaminar los mantos acuíferos o perderse en forma gaseosa por volatilización y desnitrificación (Elizondo, 2006).

Las emisiones de nitrógeno en forma de gas pueden contribuir a aumentar el efecto invernadero y a la destrucción de la capa de ozono, las fuentes principales de nitrógeno son los fertilizantes sintéticos (nitrato amónico y urea), residuos agrícolas y ganaderos (amoníaco y nitrito) y aguas residuales (amoníaco y nitrito). El Incremento artificial de la cantidad de nitrógeno en la naturaleza se considera actualmente como un nuevo cambio ambiental, algunas actividades humanas ya han duplicado la cantidad de nitrógeno que cada año incorporan a los ciclos biológicos de la tierra, un exceso de nitrógeno provoca la liberación a la atmósfera de gases nitrogenados (óxidos de nitrógeno) que contribuye al efecto invernadero, a la lluvia ácida, a la acidificación del suelo y a la pérdida de otros elementos nutritivos como el calcio y el potasio, que son esenciales para la fertilidad (Marco, 2002).

2.11.1 Riesgos de contaminación por nitrógeno

Los óxidos de nitrógeno (NO_x) son reconocidos tradicionalmente como los principales contaminantes en el proceso de acidificación de lagos y ríos con baja o reducida alcalinidad, estos gases, una vez emitidos a la atmósfera, pueden reaccionar con otras moléculas (H_2O , OH), llegando a formar ácido sulfúrico (H_2SO_4) y ácido nítrico (HNO_3). La deposición atmosférica de estos ácidos sobre las aguas superficiales puede incrementar no solo la concentración de SO_4^{2-} y NO_3^- sino también la concentración de H^+ y, en consecuencia, reducir el valor del pH del agua, para evitar o reducir el desarrollo de tales problemas, las actividades humanas deberían disminuir drásticamente sus emisiones de nitrógeno al medio ambiente (Camargo y Alonso, 2007).

La ingestión de nitritos y nitratos a través del agua de bebida puede inducir directamente efectos adversos sobre la salud humana. Los niños pequeños, sobre todo los menores de cuatro meses, son más susceptibles de sufrir metahemoglobinemia, manifestando los síntomas típicos de cianosis, taquicardia, convulsiones, asfixia, pueden causar la muerte. La metahemoglobinemia es causada por la presencia de nitritos, que son los productos de reducción de los nitratos. La reducción de éstos, por lo común, se realiza mediante acción microbiana en el medio ambiente o en el organismo (Pacheco *et al.*, 2002).

Algunas evidencias científicas sugieren además que la ingestión prolongada de nitratos y nitritos podría contribuir al desarrollo de linfomas y cánceres, enfermedades coronarias, infecciones del tracto respiratorio, y malformaciones en los recién nacidos (Camargo y Alonso, 2007).

2.11.2 Desarrollo sustentable de los recursos naturales al disminuir riesgos de contaminación en actividades agropecuarias

El desarrollo, para ser sostenible, debe ser concebido como un proceso multidimensional en tiempo y espacio, garantizarle a las futuras generaciones el sustento de agua, suelo y ambiente en calidad y cantidad suficiente que permitan su desarrollo, ya que la contaminación del agua subterránea por nitratos (N-NO_3^-) es un problema extendido en muchos lugares del mundo, obedece al impacto que tiene el excesivo uso de fuentes nitrogenadas en el sector agropecuario ya que no está regulada la aplicación y uso de fertilizantes sintéticos (inorgánicos), ni la fertilización proporcionada por estiércol y biosólidos (orgánicos) (Palomo *et al.*, 2007).

Estudios realizados acerca de la contaminación por nitratos en las agua subterránea, permiten definir áreas potenciales de contaminación, debido al volumen de nitrógeno excretado por el ganado bovino, tal es el caso de la cuenca

lechera de la Comarca Lagunera y donde los municipios Lerdo, Gómez Palacio, Matamoros y Torreón registran los mayores niveles de nitrógeno excretado, los biosólidos son los únicos que reciben supervisión para su aprovechamiento, aunque la norma establece los límites máximos permisibles (LMP) para metales pesados y no especifica las dosis de nitrógeno que deben aplicarse al suelo (Palomo *et al.*, 2007).

Se estima que cada año se aplican cerca de 90 millones de toneladas de nitrógeno para la producción agrícola en el mundo, mientras que el total de fertilizantes aplicados asciende a 104 millones de toneladas (Mulvaney *et al.*, 2009). Para el ambiente, existen consecuencias negativas por el excesivo uso de fertilizantes nitrogenados debido a que los cultivos agrícolas sólo retienen dos tercios del nitrógeno aplicado y el nitrógeno no asimilado puede lixiviarse y contaminar los mantos acuíferos o perderse en forma gaseosa por volatilización y desnitrificación, en México se ha detectado la presencia de diversos contaminantes en los acuíferos, donde destaca básicamente el problema de arsénico y nitratos, altas concentraciones de arsénico se han localizado en cuerpos subterráneos de agua que se utiliza para el abastecimiento de la población. Para el caso de la Comarca Lagunera se presentan muy altas concentraciones de nitratos en los acuíferos, destaca un rango de 0.06 a 207 mg L⁻¹, con un promedio de 23 mg L⁻¹ (Trejo *et al.*, 2005).

Consideraciones

De acuerdo a los autores citados en esta investigación, sobre el cambio del nitrógeno en el suelo y su impacto ambiental, he considerado que no debemos romper el equilibrio ecológico en el suelo.

- No debe romper ni alterar el movimiento del nitrógeno en el suelo
- Hay que tomar acciones de conciencia de lo que estamos haciendo antes de utilizar un abono ya sea orgánico o inorgánico.
- Los fertilizantes sintético nitrogenados como la urea, nitrato de amonio, sulfato de amonio, etc., si se puede utilizar pero de una manera racional ya que un mal uso podemos llegar a contaminar los mantos friático y el medio ambiente.
- Es necesario aplicar prácticas agroecológicas como: plantas que fijan el nitrógeno (todas las leguminosas), rotación de cultivo, abonos verdes, aplicación de compostas, etc., con la finalidad de reducir costos de producción y evitar la compra de fertilizantes sintéticos nitrogenados.
- Antes de recomendar una dosis de fertilización ya sea orgánico o químico es necesario tomar en cuenta el clima del predio donde se va a establecer el cultivo, tomar en cuenta el ciclo del cultivo, tipo de suelo, cantidad de materia orgánica, análisis de suelo, etc.
- Hay que cuidar nuestro ambiente haciendo acto de conciencia que de allí lo obtenemos todo, como el aire que respiramos, los alimentos, el agua etc., a cambio de una contaminación a ellos. Cuando podemos evitarlo, el mundo está en nuestras manos debemos cuidarlo y darle un trato especial ya que las herramientas proviene de la agroecología.

CONCLUSIONES

El nitrógeno (N) es un elemento necesario para la composición de proteínas, ácidos nucleicos y otros componentes celulares, siendo así una molécula esencial en el crecimiento de todos los organismos, pero como se sabe sabemos las plantas y los animales no pueden obtenerlo directamente tiene que pasar por un proceso de mineralización.

El nitrógeno se transforma en el suelo a través de bacterias nitrificante que son las que se encargan de convertir el nitrógeno gaseoso (N_2) a nitratos (NO_3^-) para ser asimilado por las plantas o, el nitrógeno en el suelo es transformado mediante la fijación biológica de nitrógeno de manera simbiótica con bacterias asociadas a leguminosas en los géneros bacterianos de *Rhizobium*, *Bradyrhizobium* o de vida libre como el caso de *Azospirillum* o *Frankia* en el caso de árboles como las casuarinas.

Por la gran importancia que tienen los fertilizantes nitrogenados en el funcionamiento en toda las plantas, es en especial a las gramíneas, en el caso de maíz y avena forrajera, y de grano para el consumo de los seres humano, están siendo utilizados de una manera irracional en todos los lugares del mundo, para tener un alto rendimiento en la producción de forrajes y para la alimenticia de las poblaciones humanas.

El mal uso de los fertilizantes está causando contaminación de los mantos acuíferos, al ambiente y la salud humana por lixiviación, desnitrificación y volatilización. Dada la necesidad de aumentar las respuestas de la agricultura para la alimentación humana disminuyendo el uso de agroquímicos, se debe emplear estrategias para promover su desarrollo de las plantas, tener altos rendimientos con un uso eficiente de fertilizante nitrogenado.

REFERENCIAS

- Aguilar, J. 2009. Efecto del inhibidor NBPT en la volatilización de amoníaco proveniente de la hidrólisis de urea en un sistema semi estático y en pastos.
- Agustín, A. 2007. Manual de producción y Paquete Tecnológico de avena (*Avena sativa*). Consultado el 16 de marzo, en línea <http://www.sdr.gob.mx/Contenido/CadenasProductivas/DOCUMENTOSCADENASAGROPECUARIAS/agricolas/FORRAJES/AVENA/AVENA%20MANUAL.pdf:1-17>.
- Amador, A.L., and F. Boschini. 2000. Fenología productiva y nutrición de maíz para la producción de forraje. *Agronomía Mesoamericana* 11:171-177.
- Anónimo. 2010. Biological Nitrogen Fixation. Agency for International Development. Revisado En: <http://www.ecoportal.net/content/view/full/21210>.
- Anónimo. 2010a. Bacterias fijadoras de nitrógeno. Consultado el 09 de marzo del 2010 en línea <http://www.google.com.mx/search?hl=es&source=hp&q=bacterias+que+fijan+nitrogeno+publicados+en+el+2009&meta=&aq=o&oq>.
- Araujo, C., and S. Toth. 2006. El ciclo del nitrógeno: la nitrificación. *Microbiología Ambiental*:26-30.
- Baca, B.E., L.S. Urzúa, and M.A. Pardo. 2000. Fijación biológica del nitrógeno. *Elemento: Ciencia y cultura* 7:43-49.
- Bast, L.E. 2009. Evaluation of nitrogen recommendations for corn based on soil analysis and remotely sensed data, Ohio State University, Ohio.
- Benintende, M.C., S.M. Benintende, M.A. Sterren, C. Musante, M. Saluzzio, and J.J. De Battista. 2007. Modelo para estimar la capacidad de aporte de nitrógeno del suelo. *Agrociencia* 24:97-101.
- Benintende, M.C., J.J. De Battista, S.M. Benintende, M.F. Saluzzio, C. Muller, and M.A. Sterren. 2008. Estimación del aporte de nitrógeno del suelo para la fertilización racional de cultivos *Ciencias exactas y naturales*:141-174.
- Boaretto, A., T. Muraoka, and P. Trevelin. 2007. Uso eficiente del nitrógeno de los fertilizantes convencionales. *Informaciones Agronómicas*:13-15.
- Boschini, C., and J. Elizondo. 2004. Desarrollo productivo y cualitativo de maíz híbrido para ensilaje. *Agronomía Mesoamericana* 1:31-37.
- Cabrera, M.L. 2007. Mineralización y nitrificación: proceso claves en el ciclo del nitrógeno. Departamento de ciencia de suelos y cultivos
- Cabrera, M.L., D.E. Kissel, and M.F. Vigil. 2005. Nitrogen mineralization from organic residues: research opportunities. *J Environ Qual* 34:75-9.
- Calderon, M.A., M.M. Moreno, and J.E. Barra. 2002. Derivación de indicadores de calidad de suelos en el contexto de la agricultura sustentable. *Agrociencia* 36:605-620.
- Camargo, J.A., and A. Alonso. 2007. Contaminación por nitrógeno inorgánico en los ecosistemas acuáticos. *Ecosistemas* 16:1-14.
- Castro, I., F. Gavi, J.J. Peña, R. Núñez, and J.D. Etchevers. 2006. Eficiencia de recuperación de N y K de tres fertilizantes de lenta liberación. *Terra Latinoamericana* 24:277-282.
- CEFP. 2007. México: El Mercado del Maíz y la Agroindustria de la Tortilla. Consultado 17 de marzo del 2010, en línea <http://www.cefp.gob.mx/intr/edocumentos/pdf/cefp/cefp0042007.pdf>.
- Clostre, G., and M. Suni. 2007. Efecto del nitrógeno, fósforo y potasio del medio de cultivo en el rendimiento y valor nutritivo de *Lemna gibba* L. (*Lemnaceae*). *Ciencias Biológicas* 13:231-235.

- Coma, C., and B. Allan. 2002. Requerimientos y deficiencias nutricionales. Consultado el 10 de marzo del 2010 en línea <http://www.inta.gov.ar/pro/radar/info/documentos/infoagroecologicadecultivos/274.pdf>.
- Cueto, J.A., D.G. Sánchez, J.L. Barrientos, G. González, and E. Salazar. 2006. Rendimiento de maíz forrajero en respuesta a fertilización nitrogenada y densidad de población. *Revista Fitosanitaria Mexicana* 29:97-101.
- De la Cruz, E., S.A. Rodríguez, M.A. Estrada, J.D. Mendosa, and N.P. Brito. 2005. Análisis dialéctico de líneas de maíz QPM para características forrajeras. *Universidad y Ciencia* 21:19-26.
- Delgadillo, J., R. Ferrera, A. Galvis, A. Hernández, and M. Cobos. 2005. Fijación biológica de nitrógeno en una pradera de trébol hubba/ballico de corte o de pastoreo. *Terra Latinoamericana* 23:73-79.
- Díaz-Bravo, K. s/f. Métodos de recomendación de fertilizantes nitrogenados. Parte 1. Aproximación teórica. Fecha de consulta. 6 Marzo 2010. Disponible en: <http://www.inia.cl/medios/quilamapu/pdf/bioleche/BOLETIN62.pdf>.
- Elizondo, J. 2006. El nitrógeno en los sistemas ganaderos de leche. *Agronomía Mesoamericana* 17:70-76.
- Escalante, L.E., Y.I. Escalante, and C. Linzaga. 2007. La fertilización nitrogenada en el rendimiento del girasol en México. *Agronomía Costarricense* 2:95-100.
- Espada, J.L. 2005. El uso razonado del nitrógeno en la fertilización del almendro. *Centro de Técnicas Agrarias*:1-7.
- Espinosa, J., E. Carrillo, D.J. Palma, J.J. Peña, and S. Salgado. 2002. Eficiencia de la fertilización nitrogenada en sorgo con la técnica isotópica ^{15}N , en un vertisol con drenaje subsuperficial. *Terra latinoamericana* 20:129-139.
- Espinoza-Arellano, J.J., H. Salinas-González, I. Orona-CAstillo, and M. Palomo-Rodríguez. 2009. Planeación de la investigación de la INIFAP en la Comarca Lagunera en base a la situación de mercado de los principales productos agrícolas de la región. *Rev. Mex. Agronegocios* 24:758-773.
- Estrada, M., I. Nikolskii, J. Mendoza, D. Cristobal, E. De la Cruz, M. Brito, A. Gómez, and O. Bakhlaeva. 2007. Lixiviación de nitrógeno inorgánico en un suelo agrícola bajo diferentes tipos de drenaje en el trópico húmedo. *Universidad y Ciencia* 23:1-13.
- Ferrari, A.E., and L.G. Wall. 2004. Utilización de árboles fijadores de nitrógeno para la revegetación de suelos degradados. *Revista de la Facultad de Agronomía, La Plata* 2:63-67.
- Ferrari, M. 2009. Las MPM para los cultivos y sistemas de producción. Maíz en la región pampeana central. Fecha de consulta. 15 de Febrero 2010. Disponible en: http://www.inta.gov.ar/Pergamino/info/documentos/2009/Maiz_MPM_Pampeana_Central_Fertilidad_2009.pdf.
- Ferraris, G.N., A. Couretot, and M. Toribio. 2008. Pérdidas de nitrógeno por volatilización y su implicancia en el rendimiento del cultivo de maíz: Efectos de fuente, dosis y uso de inhibidores. *Informaciones Agronómicas*:19-22.
- Ferraris, G.N., L.A. Couretot, and M. Toribio. 2009. Pérdidas de nitrógeno por volatilización y su implicancia en el rendimiento del cultivo de maíz en pergamino (bs as). Efectos de fuente, dosis y uso de inhibidores. *Agrofutura*.
- Francis, C.A., J.M. Beman, and M.K. Marcel. 2007. New processes and players in the nitrogen cycle: the microbial ecology of anaerobic and archaeal ammonia oxidation. *The ISME* 1:19-27.
- Fuentes, J., A. Cruz, L. Castro, G. Gloria, S. Rodríguez, and B. Ortiz. 2001. Evaluación de variedades de híbridos de maíz (*Zea mays* L.) para ensilado. *Agronomía Mesoamericana* 12:193-197.
- González, F., A. Peña, and G. Núñez. 2006. Etapas de corte, producción y calidad forrajera de híbridos de maíz de diferente ciclo biológico. *Revista Fitosanitaria Mexicana* 29:103-107.

- La Crónica, H. 2009. México reduce importaciones de maíz; en 14 años aumentó producción 2.6%. Fecha de consulta. 12 de marzo de 2010. Disponible en: http://www.cronica.com.mx/nota.php?id_notas=449313.
- Lazcano, I. S/N. Considere la extracción de nutrientes por la avena cuando planea su programa de fertilización. Consultado el 14 de marzo, en línea <http://www.imf.org.mx/articulos/CONSIDERE%20LA%20EXTRACCION%20DE%20NUTRIENTES%20POR%20LA%20AVENA%20CUANDO%20PLANEES%20SU%20PROGRAMA%20DE%20FERTILIZACION.pdf>.
- Marco, A. 2002. Contaminación global por nitrógeno y declive de anfíbios:97-109.
- Mayz, J. 2004. Fijación biológica de nitrógeno. UDO Agrícola 4:1-20.
- Mishima, M., K. Iwata, K. Nara, T. Matsui, T. Shigeno, and T. Omori. 2009. Cultivation characteristics of denitrification by thermophilic *Geobacillus* sp. strain TDN01. *J Gen Appl Microbiol* 55:81-6.
- Mora, S., F. Gavi, J.J. Peñan, J. Pérez, L. Tijerina, and H. Vaquera. 2007. Desnitrificación de un fertilizante de lenta liberación y urea+fósforo monoamónico aplicados a trigo irrigado con agua residual o de Pozo. *Contaminación Ambiental* 1:25-33.
- Mulvaney, R.L., S.A. Khan, and T.R. Ellsworth. 2009. Synthetic nitrogen fertilizers deplete soil nitrogen: a global dilemma for sustainable cereal production. *J Environ Qual* 38:2295-314.
- Muñoz, H., M. Armiente, A. Vera, and N. Ceniceros. 2004. Nitrato en el agua subterránea del valle de Humantla, Tlaxcala, México *Revista Internacional de Contaminación Ambiental* 20:91-97.
- Muñoz, M. 2009. El mercado de la avena. *Oficina de Estudios y Políticas Agrarias - ODEPA* 40:1-6.
- Otegui, O., J. Zamalvide, C. Perdomo, R. Goyenola, and A. Cerveñasasky. 2002. Momento de aplicación de nitrógeno: efecto en eficiencia de uso del fertilizante, rendimiento y concentración proteínica en grano de cebada cervecera en Uruguay. *Terra Latinoamericana*. 20:71-80.
- Pacheco, J., R. Pat, and A. Cabrera. 2002. Análisis del ciclo del nitrógeno en el medio ambiente con relación al agua subterránea y su efecto en los seres vivos:73-81.
- Palomo, M., J.G. Martínez, and U. Figueroa. 2007. Desarrollo Sustentable de los Recursos Naturales al Disminuir Riesgos de Contaminación en Actividades Agropecuarias. *Investigadores del INIFAP (Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias)* 4:4-14.
- Peña, A., F. González, G. Núñez, R. Preciado, A. Terrón, and M. Luna. 2008. H-376, Híbrido de maíz para producción de forraje y grano en el bajío y la región norte centro de México. *Revista Fitotecnia Mexicana* 31:85-87.
- Pereyra, M. 2001. Asimilación del nitrógeno en plantas.
- Pérez, J.M., E.J. Peña, and C. Torres. 2007. Efecto del nitrógeno y la irradiación en la eficiencia fotosintética del anamú (*Phytolaccaceae*). *Botánica* 31:49-59.
- Pérez, O., C. Ufer, V. Azañón, and E. Solares. 2008. Estrategias para la optimización del uso de fertilizantes nitrogenados en el cultivo de caña de azúcar en Guatemala.
- Prieto, R. 2007. Efecto del manejo de nitrógeno sobre características agronómicas, composiciones químicas y fermentativas de híbridos de maíz a diferentes edades de corte.
- Ramírez, J.P. 2009. Evaluación de métodos de labranza primaria del suelo y aplicación de estiércol en la producción de maíz forrajero, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, TORREÓN, COAHUILA, MÉXICO.
- Ramos, C., G. Alcántar, A. Galvis, A. Peña, and A. Martínez. 2002. Eficiencia de uso del nitrógeno en tomate de cascara en fertirriego. *Instituto de Recursos Naturales*. 20:465-469.

- Rojas, J., and N. Moreno. 2008. Producción y formulación de prototipos de un biofertilizante a partir de bacterias nativas asociadas al cultivo de arroz (*Oriza sativa*). *Revista Colombiana de Biotecnología* 10:50-62.
- SAGARPA. 2007. Secretaría De Agricultura Ganadería Desarrollo Rural Pesca Y Alimentación. Revisado en: www.siea.sagarpa.gob.mx/ar_compec_pobgab.html:19.
- SAGARPA. 2009. Delegación Comarca Lagunera. Consultado el 08 de marzo del 2010 en línea <http://www.sagarpa.gob.mx/dlg/laguna/informacion.htm>.
- SAGARPA. 2010. Uso de fertilizantes. Consultado el 08 de marzo del 2010 <http://www.sagarpa.gob.mx/desarrolloRural/Publicaciones/Lists/Agrcolas/Attachments/13/A-12-1.pdf>.
- SAGARPA. s/f. Brief de mercado de maíz. Fecha de consulta 15/04/2010. Disponible en: <http://www.economiachiapas.gob.mx/cicv/PDF/MAIZ.pdf>.
- Salazar, E., B. Morales, F. Hernández, J.A. Leos, C. Vázquez, and J.J. Peña. 2003a. Mineralización de nitrógeno en el suelo y producción de maíz forrajero con tres sistemas de labranza. *Terra latinoamericana* 21:569-575.
- Salazar, E., A. Beltran, M. Fortis, J.A. Leos, J.A. Cueto, and C. Vázquez. 2003b. Mineralización de nitrógeno en el suelo y producción de avena forrajera con tres sistemas de labranza. *Terra latinoamericana* 21:561-567.
- Sánchez, J. 2010. Fosforo residual de estiércol vacuno en la producción de forraje de maíz y avena en suelo de textura arcillosa, "Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro", Torreón, Coahuila, México.
- Sánchez, J., and J. Sanabria. 2009. Metabolismos microbianos involucrados en procesos avanzados para la remoción de nitrógeno, una revisión prospectiva. *Artículo Corto* 11:114-124.
- SIAP. s/f. Situación actual y perspectivas del maíz en México 1996-2012. Fecha de consulta. 22/nov/2009. Disponible en: http://www.campomexicano.gob.mx/portal_siap/Integracion/EstadisticaDerivada/ComercioExterior/Estudios/Perspectivas/maiz96-12.pdf.
- Sierra, G., A. Lazzari, and A. Gárgano. 2000. Fijación de nitrógeno en alfalfa y su transferencia al pasto ovinillo asociado. *Ciencia de Suelo* 18:140-143.
- Torres, I. 2008. Ciclos biogeoquímicos. Fecha de consulta 23/04/2010. Disponible en: http://www.pucpr.edu/facultad/itorres/quimica_ambiental/Ciclos%20biogeoquimicos.pdf.
- Torres, R., E. Soria, C. Pérez, and J. García. 2010. Incrementos en la fijación de N₂ en cultivo de frijol. Consultado el 12 de marzo del 2010 en línea <http://ecoportal.net./content/view/full/2010>.
- Trejo, L.I., F.C. Gómez, M.N. Rodríguez, and G. Alcántar. 2005. Fertilización foliar con urea en la partición de nitrógeno en espinaca. *Terra latinoamericana* 23:495- 503.
- USDA. 2010. Reporte mensual de oferta y demanda mundial de usda febrero del 2010. Consultado en 17 de marzo del 2010, en línea <http://www.infoasercia.gob.mx/boletineszip/repusda.pdf>.
- WingChing, R., and A. Rojas. 2006. Nitrógeno orgánico y químico en sorgo negro con cobertura permanente de maní forrajero. *Agronomía Costarricense* 30:61-69.
- Wong, R., E. Gutiérrez, S. Rodríguez, A. Palomo, H. Córdova, and B. Espinoza. 2006. Aptitud combinatoria y parámetros genéticos de maíz para forraje en la Comarca Lagunera, México. *Universidad y Ciencia* 22:141-151.
- Zagal, E. s/a. El ciclo del nitrógeno en el suelo. Fecha de consulta 23/03/2010. Disponible en: <http://www.ciencia-ahora.cl/Revista16/14ElCicloDelNitrogeno.pdf>.

Zotarelli, L., J.M. Scholberg, M.D. Dukes, and R. Munoz-Carpena. 2008. Fertilizer residence time affects nitrogen uptake efficiency and growth of sweet corn. *J Environ Qual* 37:1271-8.