

**Evaluación de dos aditivos para disminuir
pérdidas de N en la producción de Maíz para
Forraje, Zamorano, Honduras.**

**Luis Fernando Contreras Velásquez
Julio Daniel González Velásquez**

**Escuela Agrícola Panamericana, ZamoranoZamorano,
Honduras**

Noviembre, 2013

ZAMORANO
CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA

Evaluación de dos aditivos para disminuir pérdidas de N en la producción de Maíz para Forraje, Zamorano, Honduras.

Proyecto especial de graduación presentado como requisito parcial para optar
al título de Ingeniero Agrónomo en el
Grado Académico de Licenciatura

Presentado por

Luis Fernando Contreras Velásquez
Julio Daniel González Velásquez

Zamorano, Honduras
Noviembre, 2013

Evaluación de dos aditivos para disminuir pérdidas de N en la producción de Maíz para Forraje, Zamorano, Honduras.

Presentado por:

Luis Fernando Contreras Velásquez
Julio Daniel González Velásquez

Aprobado:

Gloria Arévalo, M.Sc.
Asesor principal

Renán Pineda, Ph.D.
Director
Departamento de Ciencia y Producción
Agropecuaria

Isidro Matamoros, Ph.D.
Asesor

Raúl Zelaya, Ph.D.
Decano Académico

Evaluación de dos aditivos para disminuir las pérdidas de N en la producción de maíz para forraje, Zamorano, Honduras.

**Luis Fernando Contreras Velásquez
Julio Daniel González Velásquez**

Resumen: La fuente de N comercial más usada como fertilizante es la urea, que produce pérdidas de nitrógeno por volatilización, lixiviación, escorrentía y de-nitrificación. Para reducir las pérdidas se han desarrollado nuevas tecnologías. Se evaluó la productividad de maíz Pioneer P4082 para forraje con aplicación de urea y dos aditivos NZONE y Agrotain[®], con y sin disminución de la dosis de N en el plan fertilización de 210 N 62 P₂O₅ 135 K₂O (kg/ha), fraccionado 66% a la siembra y 34% a 35 días después de siembra. Su influencia en el comportamiento agronómico y la producción (t/ha). Se realizó un diseño de bloques completo al azar con un arreglo factorial 3 × 2, siendo un factor los tres tipos de urea (convencional, NitroXtend[®] o Urea con Agrotain[®], Urea con NZONE) y el otro factor los dos niveles de nitrógeno (100%, 75%). Las variables evaluadas fueron: altura, número de hojas, diámetro del tallo, peso de la planta y variables de producción proyectadas como: materia fresca y materia seca. Un análisis foliar para determinar la cantidad de nutrientes y proteína cruda foliar, un análisis de suelo para cuantificar las formas de NH₄⁺ y NO₃⁻ solubles y totales presentes el suelo. Se realizó un análisis dominancia y la tasa de retorno marginal, ambos basados en la metodología del CIMMYT. Los dos aditivos adicionados a la Urea controlan las pérdidas de N no hay diferencia significativa P > 0.05 en producción de forraje fresco, al igual que en las dosis de aplicación. NitroXtend retiene el N en forma de NH₄⁺ por más tiempo, aplicar NitroXtend 75% de la dosis genera un margen de ganancia de 3643% y Urea 75%+NZONE solo 1813%

Palabras Claves: Fertilización, materia Seca, NitroXtend[®], NZONE, Pioneer P4082, variables agronómicas

Abstract: The commercial source of N used as fertilizer is urea, which produces nitrogen losses by volatilization, leaching, runoff and de-nitrification. To reduce losses have developed new technologies. Productivity was assessed P4082 Pioneer corn forage with urea application and two additives NZONE and NBPT[®], with and without dose reduction of fertilizer N in the plan of 210 N 62 135 K₂O P₂O₅ (kg/ha), applied 66% at sowing and 34% at 35 days after. It influence on the agronomic and production (t/ha). Design we performed a randomized complete block with a factorial 3 × 2, a factor of three types of urea (conventional NitroXtend[®] or NBPT[®] Urea, Urea NZONE) and the other factor the two levels of nitrogen (100%, 75%). The variables evaluated were: height, number of leaves, stem diameter, plant weight and projected production variables such as fresh matter and dry matter. Foliar analysis to determine the amount of crude protein and foliar nutrients, soil analysis to measure forms of NH₄⁺ and NO₃⁻ and total soluble soil present. Dominance analysis and the marginal rate of return was realized, both based on the methodology of CIMMYT. The two additives added to the control Urea N losses. No significant difference P < 0.05 in fresh fodder production, as in the application doses. NitroXtend retains N in NH₄⁺ form longer apply NitroXtend 75% dose generates a markup of 3643% and Urea+ NZONE just 1813%.

Keywords: Agronomic traits, dry matter, fertilization, NitroXtend ®, NZONE, Pioneer P4082

CONTENIDO

Portadilla.....	i
Página de firmas	ii
Resumen	iii
Abstract.....	iv
Contenido	v
Índice de cuadros y anexos.....	vi
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. MATERIALES Y MÉTODOS.....	3
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	8
4. CONCLUSIONES.....	17
5. RECOMENDACIONES.....	18
6. LITERATURA CITADA.....	19
7. ANEXOS	211

ÍNDICE DE CUADROS Y ANEXOS

Cuadros	Página
1. Insumos a utilizar para el ensayo en el lote Monte Redondo, Lote del Avance frontal, EAP Zamorano, Honduras.....	4
2. Análisis de suelos de Monte Redondo, Lote Avance frontal, EAP Zamorano, Honduras.....	5
3. Requerimiento del cultivo, aporte del suelo y necesidad de aplicación de nutrientes, para maíz para forraje, en Monte Redondo, EAP Zamorano, Honduras..	5
4. Programa de fertilización en maíz Pioneer P4082 para forraje en Monte redondo, EAP Zamorano, Honduras.....	5
5. Tratamientos y costos (\$/ha) que se realizaron en la parcela de Monte Redondo, EAP Zamorano, Honduras.....	6
6. Resultado del análisis de suelos a los 45 días, en la parcela de Monte Redondo, EAP Zamorano, Honduras.....	10
7. Resultado del análisis de foliar a los 45 días después de siembra en la parcela de Monte Redondo, EAP Zamorano, Honduras.....	11
8. Resultado del análisis de foliar a los 65 días después de siembra, en la parcela de Monte Redondo, EAP Zamorano, Honduras.....	12
9. Respuesta de las variables agronómicas de maíz Pioneer P4082 para forraje evaluadas en la parcela de Monte Redondo, EAP Zamorano, Honduras.....	14
10. Producción de maíz Pioneer P4082 para forrajes evaluados en la parcela de Monte Redondo, EAP Zamorano, Honduras.....	15
11. Análisis de presupuestos parciales para la aplicación de urea y los aditivos para urea en maíz Pioneer P4082 para forraje en Monte Redondo, Zamorano, Honduras	15
12. Análisis de dominancia para la aplicación de urea y los aditivos para maíz Pioneer P4082 para forraje en Monte Redondo, Zamorano, Honduras.....	16
13. Análisis de tasa de retorno marginal para la aplicación de urea y los aditivos para maíz Pioneer P4082 para forraje en Monte Redondo, Zamorano, Honduras.....	16
Figuras	Página
1. Modo de acción del aditivo NZONE a la urea.....	2
2. Modo de acción del aditivo Agrotain® (NBPO).....	2
3. Precipitación pluvial por semana (mm), Temperaturas máxima y mínima, registrada en los meses de mayo – agosto de 2013 en el Zamorano EAP, Honduras.....	3
4. Descripción de Barrenaciones realizadas en Parcela Monte Redondo, EAP Zamorano, Honduras.....	8

Anexos	Página
1. Mezcla del aditivo NZONE a la Urea, Monte Redondo, Zamorano, Honduras.	21

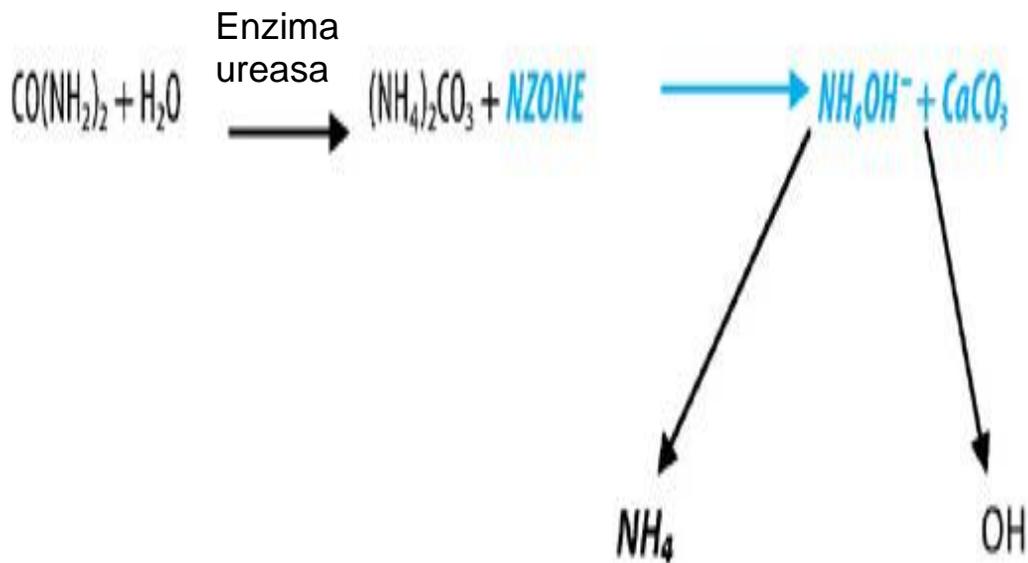
1. INTRODUCCIÓN

El nitrógeno es esencial en el metabolismo de la planta ya que se relaciona directamente con la producción de tallos y hojas, las cuáles absorben la luz para llevar a cabo la fotosíntesis, (Olivares 2008). Por lo anterior, los fertilizantes nitrogenados tienen un gran impacto en el crecimiento y desarrollo de los cultivos agrícolas. Existen diversos productos nitrogenados en el mercado de los fertilizantes, pero el de mayor uso debido a la presentación en forma de gránulos y fácil manejo es la urea $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ con un 46% de nitrógeno. La urea se presenta como un sólido cristalino y blanco de forma esférica o granular y es una sustancia higroscópica que tiene la capacidad de absorber agua del ambiente (FAO e IFA 2002).

El problema con la urea convencional es que al ser aplicada superficialmente se producen pérdidas de nitrógeno mediante los procesos de volatilización, lixiviación, escorrentía y de-nitrificación. Según estudios realizados en Zamorano, en Honduras se han encontrado pérdidas de 19.3% de nitrógeno en forma de amoníaco (NH_3) al usarse urea convencional, (Aguilar Gudiel 2009). De la misma manera se conoce que el método de aplicación influye significativamente en las pérdidas de N. Se ha encontrado que más del 40% del N aplicado se pierde en forma de amoníaco al aplicar la urea superficialmente y que solamente el 10% se pierde cuando se aplicó incorporada (Lara 1999). Estas pérdidas reducen el porcentaje de absorción del nitrógeno reflejándose en una disminución en el desarrollo de los tejidos de la planta.

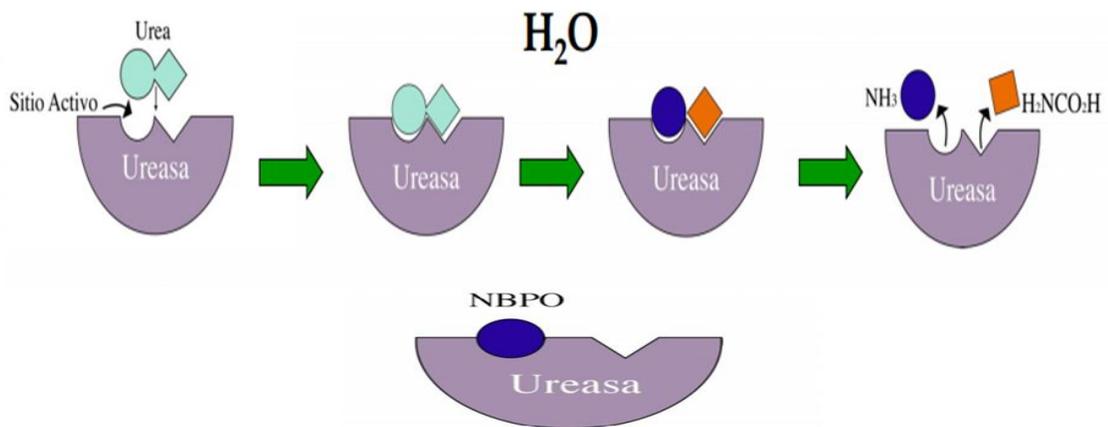
La urea es sujeta a condiciones de calor, humedad y las enzimas de ureasa, se vuelven activas y se descomponen de una forma inestable, convirtiéndose en un compuesto inestable llamado carbonato de amonio (NH_4) CO_3 , que se descompone en gas de amonio (NH_4) $^+$ CO_3 $^-$ que presentan pérdidas de N a través de volatilización. Con ayuda del NZONE se reducen porque es un polímero de Ca^+ intercambiable. La manera cómo actúa es cuando el carbonato de amonio se va quebrantando el NZONE captura el amonio (NH_4) intercambiando el Ca^+ con el NH_4^+ en el polímero de NZONE (Figura 1) de esta manera el NH_4^+ se adhiere al polímero de NZONE protegiéndolo de las pérdidas por volatilización (AgXplore 2013).

NitroXtend[®] que es una urea con 46 % de nitrógeno que contiene un aditivo (Agrotain[®]), el cual disminuye las pérdidas por volatilización ya que inhibe la acción de ureasa (Figura 2), que es una enzima producida por las bacterias del suelo, facilitando la hidrólisis de la molécula de la urea, convirtiéndola en dióxido de carbono y amoníaco (Disagro 2011). El NH_4^+ pasa un proceso de nitrificación y nitratación para convertirse en NO_3^- y ser absorbido por la planta en el suelo.



Fuente: (AgXplore 2013).

Figura 1. Modo de acción del aditivo NZONE a la urea.



Fuente: (DISAGRO 2011).

Figura 2. Modo de acción del aditivo Agrotain[®] (NBPO).

El objetivo del estudio fue evaluar dos aditivos (Agrotain[®] y NZONE) a la urea, para disminuir pérdidas de N, en la producción de Maíz para Forraje. Evaluar la disminución de la dosis de N con los aditivos. Identificar el aditivo más efectivo y económico para la asimilación de N en Maíz para forraje.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación. El ensayo se llevó a cabo entre los meses de mayo a agosto de 2013 en la parcela de Monte Redondo de la Escuela Agrícola Panamericana (EAP) ubicada en el valle del Río Yeguaré, Departamento de Francisco Morazán, a 30 km al este de Tegucigalpa. La EAP está a una altura de 800 metros sobre el nivel del mar con una temperatura promedio anual que oscila entre 24 y 25 °C y con una precipitación de 1,100 mm anuales.

Se determinó la precipitación pluvial por semana y temperaturas máximas y mínimas registradas en los meses de mayo – agosto de 2013, por la estación meteorológica de Escuela Agrícola Panamericana (EAP), (Figura 3).

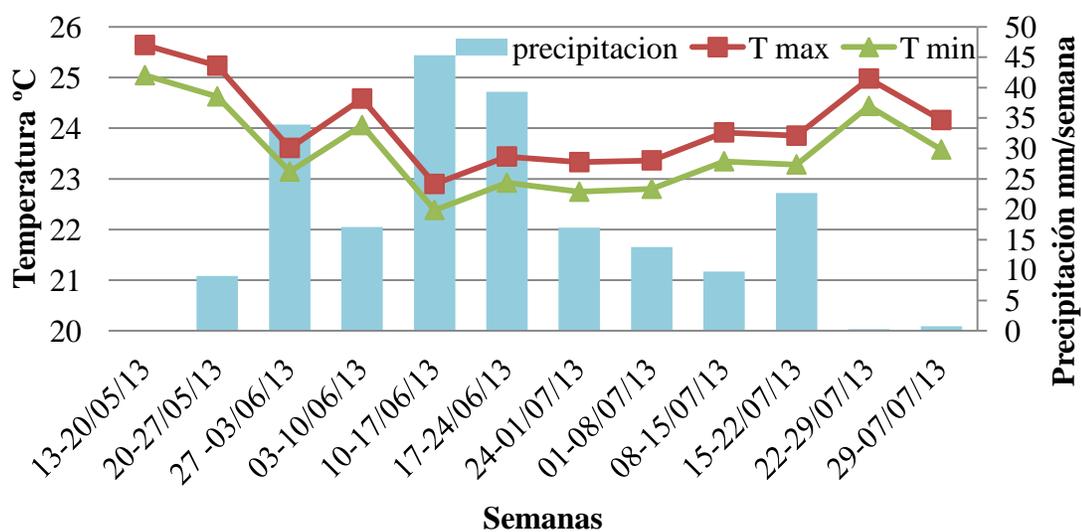


Figura 3. Precipitación pluvial por semana (mm), Temperaturas máxima y mínima, registrada en los meses de mayo – agosto de 2013 en el Zamorano EAP, Honduras.

Descripción del experimento. El área experimental fue de 2.2 hectáreas. El híbrido de maíz P4082 de Pioneer se sembró a un distanciamiento de 0.15 m entre planta y 0.8 m entre camas, a una densidad de 83,333 plantas/ha. Se dejaron dos hileras bordes en cada extremo del experimento para evitar el efecto borde. El área de las unidades experimentales fueron $(3.2 \times 5) \text{ m}^2$ que estuvo compuesta por dos hileras de borde y dos con el tratamiento aplicado. Las unidades de muestreo fueron de cinco plantas/unidad.

Materiales. Los Materiales utilizados se describen en el cuadro 1:

Cuadro 1. Insumos a utilizar para el ensayo en el lote Monte Redondo, Lote del Avance frontal, EAP Zamorano, Honduras.

Insumo	Cantidad	Unidades
NitroXtend®	315	kg
NZONE	980	ml
Urea	585	kg
DAP	360	kg
KCl	540	kg
Semilla hibrida Pioneer P4082	2	bolsas

Métodos. Se realizaron cinco barrenaciones por tratamiento, para identificar variación del suelo mediante el tipo de textura, estructura y profundidad del suelo. El suelo se preparó con dos pases de rastra pesada para incorporar la maleza y un pase de rastra liviana previo a la siembra para deshacer terrones. Se aplicó fertilización de urea como fuente de N, con dos aditivos comerciales (NZONE y Agrotain® ò NitroXtend®), para disminuir la pérdida de N. Se calculó los requerimientos de fertilización con base de análisis de suelo (cuadro 3), y el requerimiento del cultivo de maíz para forraje, estimando una producción de 45 t/ha (Bertsch 2003). Se calculó el aporte de cada nutriente por el suelo, a partir de análisis de suelos realizados en el 2012 en el laboratorio de suelos de la Escuela Agrícola Panamericana Zamorano, Honduras (Cuadro 2).

Cuadro 2. Análisis de suelos de Monte Redondo, Lote Avance frontal, EAP Zamorano, Honduras.

pH	Porcentaje		mg/kg								
	Materia Orgánica	N Total	P	K	Ca	Mg	Na	Cu	Fe	Mn	Zn
5.9	7.54	0.38	81	6.8	2090	390	83	2.7	429	72	5.2
bajo	alto	bajo	alto	alto	medio	medio	normal	normal	medio	Normal	Alto

Fuente: Laboratorio de Análisis de Suelos y Agua, Zamorano, Honduras.

Cuadro 3. Requerimiento del cultivo, aporte del suelo y necesidad de aplicación de nutrientes, para maíz para forraje, en Monte Redondo, EAP Zamorano, Honduras.

	kg/ha		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Requerimiento del cultivo ¹	243	94.5	189
Aporte Suelo	50	9.6	42
Requerido - aporte suelo	193	85.0	147
Fertilización	210	62.0	135

¹Fuente: Requerimientos con base en 45 ton/ha de maíz forrajero (Bertsch 2003).

Basado en este criterio se calculó el plan de fertilización (Cuadro 4).

Cuadro 4. Programa de fertilización en maíz Pioneer P4082 para forraje en Monte redondo, EAP Zamorano, Honduras.

Fertilizantes	Kg	Porcentaje			Aplicación (kg/ha)		
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Urea	405	46	0	0	186	0	0
DAP	135	18	46	0	24	62	0
KCl	225	0	0	60	0	0	135
Total	765	64	46	60	210	62	135

Calculado por los autores, basado en el cuadro 3.

Tratamientos. Se utilizaron seis tratamientos con diferentes mezclas y de fertilizante nitrogenado y aditivos para disminuir pérdidas de N, comparados al reducir la fuente de N al 75% de lo requerido. En los tratamientos se aplicó la misma dosis de P y K (Cuadro 4) la aplicación del fertilizante fue 66 % a la siembra y el 34 % a los 35 días después de siembra (cuadro 5). Los tratamientos fueron propuestos por el representante de AgXplore[®], Ing. Jorge Jaramillo, el costo del aditivo NZONE es de \$ 45/galón y su dosis es un galón por tonelada de urea.

Cuadro 5. Tratamientos y costos (\$/ha) que se realizaron en la parcela de Monte Redondo, EAP Zamorano, Honduras.

Tratamientos	Kg/ ha		NZONE L/ha			costo \$/ha	
	A la siembra	35 DDS	A la Siembra	35 DDS [∞]	total	NZONE	urea + aditivo
NitroXtend [®]	270	135					207
Urea	270	135					198
Urea + NZONE	270	135	1.02	0.51	1.53	18.19	216
NitroXtend [®] 75%	202	101					155
Urea 75%	202	101					148
Urea 75%+ NZONE	202	101	0.76	0.38	1.14	13.55	162

∞= DDS Días Después de Siembra.

Análisis de Suelos. Se realizó un análisis químico del suelo a los 45 días después de siembra, se tomaron muestras compuestas en cada tratamiento y cada réplica, para identificar la conductividad eléctrica CE: con el método de pasta saturada, NH_4^+ y NO_3^- solubles en el suelo: extraídos de la pasta saturada y cuantificados por Kjeldahl y colorimetría respectivamente. NH_4^+ Intercambiable y NO_3^- total: Extraídos con KCl y cuantificados por Kjeldahl más aleación de vanadato (Bremner y Keeney 1965). Materia orgánica: método de Walkley & Black, N total: 5% de la materia orgánica, pH: Relación suelo, agua; 1:1

Análisis Foliar. Se realizó un análisis por unidad experimental a los 45 y 65 días después de siembra para identificar macro nutrientes en la planta. Se tomó hoja fisiológicamente más activa recién formada. N: Método de Kjeldahl; K, Ca, Mg, Cu, Fe, Mn, Zn: digestión húmeda con H_2SO_4 y H_2O_2 , determinados por absorción atómica; P: digestión húmeda con H_2SO_4 y H_2O_2 , determinado por espectrofotometría (colorimetría). A través del N total se calculó el porcentaje de proteína cruda contenido en la planta, multiplicándose por 6.25 que es una constante para expresar el Nitrógeno en proteína cruda (Bremner y Mulvaney, 1982). Con base al porcentaje NPC por la materia seca se estimó la cantidad de NPC en t/ha.

Variables.

- Altura de la planta. Se midieron cada dos semanas, desde el pie hasta la base de la última hoja formada.
- Número de hojas. Se contaron las hojas formadas activas por planta en 10 plantas por repetición, cada vez se midió la altura de la planta.
- Diámetro del tallo. Se midió antes de la floración a los 60 DDS.
- Peso total de la planta. Se realizó antes de la cosecha. Se sacaron cinco plantas por repetición, separando los órganos (raíz, tallo, hojas y mazorcas) y suma total. Se sacó un promedio de peso por planta/unidad experimental. Las raíces se lavaron para quitar el suelo adherido.

- **Peso de materia seca.** Una vez pesadas las plantas, con este dato se calculó la producción de biomasa en t/ha. Posteriormente, se procedió a secarlas en el horno a 70 °C, para así estimar la materia seca de la planta y el % de humedad.

Diseño experimental. Se utilizó un diseño estadístico de bloques completos al azar con un arreglo factorial de 3×2 , con cuatro repeticiones, para un total de 24 unidades experimentales. Siendo un factor los tres tipos de urea (convencional, NitroXtend[®] o Urea con Agrotain[®], Urea con NZONE) y el otro factor dos niveles de nitrógeno ((N- 405 kg/ha (100%), N-304 kg/ha (75%)).

Análisis estadístico. Se realizó un análisis para determinar diferencias entre los tratamientos con una probabilidad ($P \leq 0.05$). Se realizó una interacción de medias con LSMEANS y una separación de medias con la prueba de Duncan y al 5% de probabilidad ($P \leq 0.05$). Se utilizó el programa, Sistema de Análisis Estadístico (SAS[®]).

Análisis económico. Se realizó bajo la metodología del CIMMYT (Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo localizado en México) que es una serie de procedimientos para realizar el análisis económico de los resultados obtenidos en los ensayos en fincas, para formular recomendaciones para los agricultores a partir de datos agronómicos. Evalúa los costos y beneficios de los tratamientos alternativos que se están implementando (CIMMYT 1988).

Se determinaron los beneficios netos de los diferentes tratamientos, se calculó el beneficio bruto con la producción y los costos variables de cada tratamiento. El beneficio bruto para cada tratamiento se obtuvo multiplicando el rendimiento ajustado (90% del rendimiento de campo) por el precio de venta en el mercado local (Evans 2005).

Una vez que se determinaron los beneficios netos para cada tratamiento, se realizó un análisis de dominancia. Este se hace clasificando los tratamientos, incluyendo el tratamiento que se usa normalmente, ordenándolos de menor a mayor, con base en costos, conjuntamente con sus respectivos beneficios netos. Se ordenan los tratamientos de menor a mayor costo, el tratamiento que cueste más que el anterior pero rinda un menor beneficio neto se dice que es dominado y es excluida del análisis (Evans 2005).

Una vez eliminadas todos los tratamientos dominados, se calculó la tasa marginal de retorno entre los tratamientos. Se procedió paso a paso, y comenzó con el tratamiento de menor costo y siguió con el próximo más alto, la tasa marginal de retorno se calculó expresando la diferencia entre los beneficios netos de ambas como un porcentaje del costo total adicional. La tasa marginal de retorno calculada indica lo que el productor puede esperar recibir, en promedio, al cambiar de tratamiento (Evans 2005).

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Descripción de suelos. En el lote se presentaron suelos con contraste textural, ya que existe un horizonte superior de textura media a fina, franco a franco arcilloso a una profundidad de 0 a 25 hasta 60 cm siempre sobre un horizonte arcilloso hasta 55 a 75 cm sobre fragmento de roca (Figura 4).

profundidad (cm)	B1	B2	B3	B4
0 - 5	Franco	franco arcilloso	Franco Arcilloso	Franco Arcilloso
5 - 10				
10 - 15		Franco Arcillo Arenoso	Arcilloso	Arcilloso
15 - 20				
20 - 25				
25 - 30	Franco arcilloso	Arcilloso	Fragmento de roca	
30 - 35				
35 - 40	Arcilloso	Fragmento de roca	Fragmento de roca	
40 - 45				
45 - 50				
50 - 55	Fragmento de roca	Fragmento de roca	Fragmento de roca	
55 - 60				
60 - 65	Fragmento de roca	Fragmento de roca	Fragmento de roca	
65 - 70				
70 - 75				
75 - 80	Fragmento de roca	Fragmento de roca	Fragmento de roca	
80 - 85				
Unidad de suelos	M/F- (F+) Gg	M/F- (F+) Gg	M/F+ Gg	M/F+ Gg
	<u>00 - 60 cm</u>			
	60 - 120 cm			

M = Texturas francas (Franco Limoso, Franco Arenoso y Franco).

F- = Texturas con arcillas livianas (Franco Arcilloso, Franco Limoso, Franco Arcillo Arenoso).

F+= Texturas con arcillas pesadas (Arcilloso, Arcilloso Limoso, Arcillo Arenoso).

Gg= Fragmento de Roca.

Figura 4. Descripción de Barrenaciones realizadas en Parcela Monte Redondo, EAP Zamorano, Honduras.

Análisis de suelo. No se encontraron diferencias significativas en la conductividad eléctrica, pH, materia orgánica y nitrógeno total debido a que el experimento se encuentra en suelos homogéneos. NH_4^+ y NO_3^- de forma soluble no presentaron diferencia significativa ($P > 0.05$) en las ureas, pero se puede deducir que en los tratamientos donde se aplicó NitroXtend el NH_4^+ en forma soluble, intercambiable y total queda retenido en el suelo más tiempo (Cuadro 6), esto concluye que el NitroXtend al inhibir la actividad de la ureasa retardará la conversión de la urea a NH_4^+ y conservar el N en forma de urea por un mayor período, lo cual reduce la concentración de NH_4^+ presente en la solución del suelo, reduciendo las pérdidas potenciales por volatilización (Grant y Rawluk SF).

Estudios realizados en Zamorano, Honduras demuestran que al usar Urea + NBPT (NitroXtend) se retiene más NH_4^+ en el suelo. (Aguilar Gudiel 2009). Los tratamientos a los que se le aplicó urea+ NZONE presentaron mayor cantidad de NO_3^- en el suelo (cuadro 6). Según Plasencia y Corvella SF mencionan que el NO_3^- es la principal forma de absorción por las plantas, es muy móvil, fácil de lavarse con el agua de lluvia y riego en virtud de la ausencia de mecanismos de retención como adsorción y precipitación.

El NH_4^+ pasa un proceso de nitrificación y nitratación para convertirse en NO_3^- y ser absorbido por la planta en el suelo (Plasencia y Corvella SF). Aunque en la forma de amonio también puede ser absorbido. Bajo condiciones anaeróbicas el NH_4^+ producido tiende a acumularse, ya que se reducen los requerimientos de N de los microorganismos de los suelos (Rice y Havlin, 1974). Este factor pudo ser influenciado por las precipitaciones ocurridas después de la segunda aplicación y la influencia de los suelos de textura franca arcillosa que retienen más humedad y pueden crear condiciones anaeróbicas en el suelo¹.

Análisis Foliar. En el análisis foliar realizado a los 45 días después de siembra no hubo diferencia significativa $P > 0.05$ en las cantidades de nitrógeno en la planta entre los tipos de urea. Los tratamientos con urea 75 % + NZONE presenta un déficit de nitrógeno y los tratamientos con NitroXtend presentan las cantidades de N más altas en la planta (Cuadro 7). En análisis foliar a los 65 días los tratamientos en lo que se utilizó Urea + NZONE presentan menor contenido de nitrógeno en la planta (Cuadro 8), lo que significa que la forma de NH_4^+ en el suelo es la más aprovechable por la planta. No se presentó ningún de P, K, Mg y Ca en ninguno de los tratamientos.

¹ Arévalo G. Profesora de Suelos de la Escuela Agrícola Panamericana Zamorano Honduras. Comunicación Personal

Cuadro 6. Resultado del análisis de suelos a los 45 días, en la parcela de Monte Redondo, EAP Zamorano, Honduras.

Interacciones	C.E. ^a dS/m	pH (H ₂ O)	Porcentaje		mg/kg						
			M.O.	N _{total}	Soluble		Intercambiable	Total			
					NH ₄ ⁺	NO ₃ ⁻	NH ₄ ⁺	NH ₄ ⁺	NO ₃ ⁻		
NitroXtend [®]	1.4	5.5	4.1	0.2	7.0	183.3	10.8	13.4	a	43.4	b
Urea	1.4	5.6	4.1	0.2	0.0	217.3	5.9	6.9	b	58.9	b
Urea + NZONE	1.2	5.5	4.0	0.2	0.0	226.5	5.9	4.8	b	83.7	a
Probabilidad	0.90	0.70	1.00	0.30	0.10	0.90	0.5	0.001		0.10	
R ²	0.01	0.23	0.12	0.12	0.15	0.02	0.22	0.48		0.16	
CV	90.71	5.06	32.00	32.62	403.89	98.87	66.96	58.1		35.5	
Dosis (kg/ha)											
N- 405 (100%)	1.2	5.6	4.4	0.2	0.0	245.5	7.2	7.1		52.7	
N- 304 (75%)	1.4	5.5	3.9	0.2	1.2	273.9	7.8	9.6		71.3	
Probabilidad	0.72	0.4	0.23	0.23	0.3	0.49	0.45	0.21		0.52	
Tratamientos											
NitroXtend [®]	1.1	5.8	4.6	0.2	0.0	b 174.0	9.0	10.8	ab	31.0	b
Urea	1.8	5.6	4.3	0.2	0.0	b 267.4	6.3	4.2	b	58.9	b
Urea + NZONE	0.8	5.5	3.9	0.2	0.0	b 295.1	6.3	6.3	b	68.2	ab
NitroXtend [®] 75%	1.9	5.4	3.5	0.2	3.5	a 279.9	12.6	16.1	ab	55.8	b
Urea 75%	0.9	5.6	3.8	0.2	0.0	b 275.9	5.4	5.4	b	58.9	b
Urea 75% + NZONE	0.8	5.5	3.9	0.2	0.0	b 266.0	5.4	7.4	b	99.2	a
Rango	Min	1	2	0.2			2				
adecuados	Max	2	4	0.5			10				

Medias con letras diferentes en la misma columna difieren entre sí (P<0.05). ^aC.E= conductividad eléctrica.

Cuadro 7. Resultado del análisis de foliar a los 45 días después de siembra en la parcela de Monte Redondo, EAP Zamorano, Honduras.

Interacciones		N	P	K	Ca	Mg	N/P	N/K	Ca/Mg
NitroXtend®		2.2	0.3 a	2.2	0.2	0.1	7.3	1.0	1.7
Urea		2.0	0.3 ab	2.2	0.2	0.1	6.9	0.9	1.7
Urea + NZONE		1.9	0.3 b	2.2	0.1	0.1	6.7	0.9	1.6
Probabilidad		0.12	0.05	0.9	0.23	0.33	0.55	0.22	0.51
R ²		0.20	0.30	0.11	0.18	0.16	0.14	0.20	0.07
CV		13.67	6.65	8.92	21.41	15.06	13.54	14.71	17.07
Dosis (kg/ha)		N	P	K	Ca	Mg	N/P	N/K	Ca/Mg
N- 405 (100%)		2.1	0.3	2.1	0.1	0.1	7.2	1.0	1.6
N- 304 (75%)		2.1	0.3	2.2	0.1	0.1	6.7	1.0	1.6
Probabilidad		0.6	0.14	0.15	0.25	0.23	0.16	0.2	0.72
Tratamientos		N	P	K	Ca	Mg	N/P	N/K	Ca/Mg
NitroXtend®		2.2 a	0.3 ab	2.3	0.2 a	0.1	7.2 a	1.0 a	1.7
Urea		1.9 a	0.3 ab	2.1	0.2 a	0.1	6.8 a	0.9 a	1.7
Urea + NZONE		2.2 a	0.3 b	2.2	0.2 a	0.1	7.7 a	1.0 a	1.7
NitroXtend® 75%		2.3 a	0.3 a	2.1	0.2 a	0.1	7.4 a	1.0 a	1.7
Urea 75%		2.2 a	0.3 b	2.2	0.2 a	0.1	7.0 a	0.9 a	1.8
Urea 75% + NZONE		1.7 b	0.3 b	2.3	0.1 b	0.1	5.8 b	0.8 b	1.4
Rangos adecuados	Min	2.0	0.18	1.1	0.2	0.10	6	1	3
	Max	2.6	0.30	1.8	0.5	0.35	8	2	5

Medias con letras diferentes en la misma columna difieren entre sí (P<0.05).

Cuadro 8. Resultado del análisis de foliar a los 65 días después de siembra, en la parcela de Monte Redondo, EAP Zamorano, Honduras.

Interacciones	N		P		K		Ca		Mg		N/P		N/K		Ca/Mg	
NitroXtend®	2.16	a	0.23		1.79		0.33		0.10		9.69		1.22		3.26	
Urea	1.93	a	0.21		1.87		0.32		0.11		9.10		1.07		2.91	
Urea + NZONE	1.80	b	0.21		1.71		0.31		0.10		8.96		1.09		3.04	
Probabilidad	0.05		0.63		0.72		0.72		0.41		0.57		0.5		0.92	
R2	0.41		0.61		0.23		0.31		0.4		0.18		0.13		0.1	
CV	13.62		13.47		13.65		16.4		14.6		16.1		19.53		27.5	
Dosis (kg/ha)																
N- 405 (100%)	1.94		0.22		1.71		0.30		0.11		8.95		1.16		3.03	
N- 304 (75%)	2.00		0.21		1.86		0.33		0.10		9.55		1.04		3.11	
Probabilidad	0.62		0.68		0.11		0.09		0.39		0.39		0.17		0.75	
Tratamientos																
NitroXtend®	2.09	ab	0.23		1.69	c	0.28	b	0.09	b	9.18	ab	1.24		3.33	
Urea	1.96	ab	0.21		1.79	abc	0.32	ab	0.12	a	9.37	ab	1.15		2.68	
Urea + NZONE	1.78	b	0.22		1.67	c	0.31	ab	0.10	ab	8.32	b	1.08		3.05	
NitroXtend® 75%	2.22	a	0.22		1.89	ab	0.38	a	0.12	a	10.2	a	1.20		3.20	
Urea 75%	1.90	ab	0.22		1.95	a	0.33	ab	0.11	ab	8.84	ab	1.00		3.15	
Urea 75% + NZONE	1.88	ab	0.2		1.74	bc	0.31	ab	0.10	ab	9.60	ab	1.09		3.00	

Medias con letras diferentes en la misma columna difieren entre sí ($P < 0.05$).

Efecto de las variables agronómicas. La aplicación de NitroXtend y NZONE presentaron una diferencia altamente significativa ($P < 0.001$) en altura de la planta, número de hojas y diámetro de tallo con respecto a la urea convencional (cuadro 9). La diferencia pudo ser influenciada por la eficiencia que estos productos generan contra procesos de volatilización y nitrificación. Las aplicaciones de urea en el maíz se pueden tener pérdidas por volatilización de $N-NH_3$ de entre 21 a 50 % (Fontanetto *et al.* 2008) y con el uso de inhibidores de ureasa solo 10.4 % y 11.3% (Aguilar Gudiel 2009). La respuesta al nitrógeno resulta afectada ampliamente por las variables climáticas más importantes: temperatura y humedad (Carámbula 1996). La precipitación acumulada en la semana 5 del cultivo (48 mm/semana) pudo influir en la segunda aplicación de nitrógeno (Figura 3) y pudieron causar pérdidas de nitrógeno por escorrentía y volatilización. El uso de aditivos a la urea genera un mejor desempeño a la urea convencional bajo condiciones adversas como altas precipitaciones (Asan Bonilla y Tzi Cac 2012).

Las dosis generan diferencias ya que aplicar 405 kg N/ha generó un mayor diámetro de tallo y número de hojas ($P < .0001$). Pero no hubo diferencia con respecto a altura, y pesos de mazorca, hojas, tallo, raíces y de la planta en total (Cuadro 9). La altura pudo ser afectada significativamente por los aditivos a la urea ya que bajo estudios en el cultivo de maíz bajo tres formas de aplicación y dos fuentes nitrogenadas se han encontrado diferencias significativas (Marcano y Ohep 1996).

Efecto en las variables de rendimiento. La aplicación de NitroXtend y NZONE presentaron mayor porcentaje de nitrógeno expresado como proteína cruda acumulada en el área foliar que la urea convencional, pero no hubo diferencia significativa $P > 0.05$ en el nitrógeno expresado como proteína cruda (t/ha) con base en materia seca (Cuadro 10). Estudios realizados en maíz para forraje (Amador y Boschini 2000) encontraron en el maíz 14% de proteína cruda en el área foliar de la planta a los 80 días. No se encontró diferencia significativa en la producción de materia fresca y materia seca en ninguno de los tratamientos aunque los tratamientos que se usa NZONE tienen una tendencia a producir más materia fresca y seca.

Análisis económico. Se realizó un estudio de presupuestos parciales utilizando la metodología propuesta por el CIMMYT y determinar las utilidades obtenidas en la urea y urea con aditivos. En el análisis de presupuesto parcial se determinó que al utilizar NitroXtend[®], se obtiene un beneficio neto de US\$ 3,015 y Urea + NZONE US\$ 3,001 (Cuadro 11).

Cuadro 9. Respuesta de las variables agronómicas de maíz Pioneer P4082 para forraje evaluadas en la parcela de Monte Redondo, EAP Zamorano, Honduras.

Interacciones	Altura (m)		N° hojas		∞ DT mm		(kg/m ²)									
							Mazorca		Hoja		Tallo		Raíces		planta	
NitroXtend [®]	3.18	a	17.1	a	23.6	a	2.1	1.2	3.4	1.0	6.8					
Urea	2.96	b	15.8	b	21.8	b	1.8	1.2	3.1	0.6	6.1					
Urea + NZONE	3.18	a	17.4	a	23.0	a	2.1	1.4	3.1	0.6	7.2					
Probabilidad	<.0001	**	<.0001	**	<.0001	**	0.37	ns	0.98	ns	0.49	ns	0.36	ns	0.49	ns
R ²	0.97		0.98		0.94		0.37		0.40		0.58		0.35		0.51	
CV	2.51		3.34		4.02		0.37		29.05		24.25		57.50		23.85	
Dosis (kg/ha)																
N- 405 (100%)	3.11		17.5	a	23.5	a	2.0	1.3	3.4	0.8	6.7					
N- 304 (75%)	3.09		15.8	b	21.7	b	2.0	1.3	3.3	0.5	6.7					
Probabilidad	0.69	ns	<.0001	**	<.0001	**	0.67	ns	0.92	ns	0.59	ns	0.09	ns	0.90	ns
Tratamientos																
NitroXtend [®]	3.19	a	17.6	b	23.8	ab	2.2	1.2	3.6	0.8	7.1					
Urea	2.96	b	17.0	b	22.7	ab	1.8	1.2	3.2	0.7	6.2					
Urea + NZONE	3.16	a	18.2	a	24.0	a	2.1	1.3	3.7	0.6	7.1					
NitroXtend [®] 75%	3.17	a	16.5	c	23.5	ab	2.1	1.2	3.3	1.0	6.6					
Urea 75%	2.95	b	14.6	d	21.0	c	1.8	1.2	3.0	0.4	6.1					
Urea 75%+ NZONE	3.22	a	16.4	b	21.4	b	2.1	1.3	3.4	0.6	7.0					

Medias con letras diferentes en la misma columna difieren entre sí (P<0.05), (**) valores significativos, (ns) no son significativos. ∞

DT=diámetro del tallo.

Cuadro 10. Producción de maíz Pioneer P4082 para forrajes evaluados en la parcela de Monte Redondo, EAP Zamorano, Honduras.

Interacciones	Porcentaje		t/ha		
	NPC [©]	MS [§]	MF [¶]	MS	NPC
NitroXtend [®]	12.4 a	29.2	68.9	19.4	2.5
Urea	10.7 b	33.5	61.6	16.9	2.0
Urea + NZONE	11.7 ab	29.7	72.5	21.1	2.4
Probabilidad	0.03 **	0.14 ns	0.48 ns	0.25 Ns	0.37 Ns
R ²	0.31	0.21	0.53	0.36	0.37
CV	15.2	22.3	23.7	30.1	37.0
Dosis (kg/ha)					
N- 405 (100%)	12.3	31.8	67.4	19.1	2.3
N- 304 (75%)	11.7	30.0	67.4	18.8	2.2
Probabilidad	0.48 ns	0.51 ns	0.89 ns	0.98 ns	0.58 Ns
Tratamientos					
NitroXtend [®]	13.9 a	28.4	71.6	21.0	3.0
Urea	12.1 ab	37.2	62.5	16.0	2.0
Urea + NZONE	10.9 b	30.2	71.5	21.3	2.3
NitroXtend [®] 75%	11.4 ab	30.1	66.3	17.9	2.0
Urea 75%	11.6 ab	29.7	60.7	17.8	2.1
Urea 75% + NZONE	11.6 ab	30.1	69.2	20.1	2.4

Medias con letras diferentes en la misma columna difieren entre sí (P<0.05), (**) valores significativos, (ns) no son significativo. [©] NPC= nitrógeno expresado en proteína cruda; [§]MS= materia seca; [¶]MF=materia fresca.

Cuadro 11. Análisis de presupuestos parciales para la aplicación de urea y los aditivos para urea en maíz Pioneer P4082 para forraje en Monte Redondo, Zamorano, Honduras

Tratamientos	Materia Fresca (t/ha)		(\$/ha)	Beneficio (\$/ha)	
	Promedio	Ajustado (-10%)	Fertilizante + Aditivo	Bruto	Neto
NitroXtend [®]	71.6	64.4	207	3,222	3,015
Urea	62.5	56.2	198	2,813	2,615
Urea + NZONE	71.5	64.3	216	3,218	3,001
NitroXtend [®] 75%	66.3	59.6	155	2,984	2,829
Urea 75%	60.7	54.6	148	2,732	2,583
Urea 75% + NZONE	69.2	62.2	162	3,114	2,952

Fuente: Formato CIMMYT 1988 Precio de venta= 50 (\$/t).

Los valores dominados son el resultado de una disminución del beneficio neto y un aumento de los costos variables al cambiar la dosis y/o aditivo a la urea en el análisis de dominancia se determinó que al aplicar Urea y Urea + NZONE (405 kg/ha) tienen un beneficio neto menor a un costo mayor en comparación a los demás tratamientos (Cuadro 12).

Cuadro 12. Análisis de dominancia para la aplicación de urea y los aditivos para maíz Pioneer P4082 para forraje en Monte Redondo, Zamorano, Honduras.

Tratamientos	\$/ha		Dominancia
	Costos Variables	Beneficios Netos	
Urea 75%	148	2583	
NitroXtend 75 %	155	2829	
Urea 75 %+ NZONE	162	2952	
Urea	198	2615	D ²
NitroXtend	207	3015	
Urea + NZONE	216	3001	D

²D: dominado cuando tiene beneficios netos menores o iguales a los de un tratamiento que en los costos variables más bajos. Fuente: Formato CIMMYT 1988

En el análisis marginal muestra tasas de retorno positivas (Cuadro 13). El NitroXtend y Urea + NZONE con el 75% de la dosis (304 kg/ha) presentaron una tasa de retorno marginal 3,643 % y 1,813 % respectivamente.

Cuadro 13. Análisis de tasa de retorno marginal para la aplicación de urea y los aditivos para maíz Pioneer P4082 para forraje en Monte Redondo, Zamorano, Honduras.

Tratamientos	Costos Variables		Beneficios (\$/ha)	TRM	
	(\$/ha)	(\$/Δ)		(\$/Δ)	(%)
Urea 75%	148	0	2,583	0	0
NitroXtend [®] 75%	155	7	2,829	245	3,643
Urea 75%+ NZONE	162	7	2,952	124	1,813
NitroXtend	207	45	3,015	63	138

TRM= tasa de retorno marginal; Δ= cambio.

4. CONCLUSIONES

- Los dos aditivos adicionados a la Urea controlan las pérdidas de N y no hay diferencia en producción de forraje.
- En las dosis de aplicación de N al 405 kg/ha (100 %) y 304 kg/ha (75 %) no hay diferencia en producción de forraje.
- Aplicar NitroXtend 75 % de la dosis 304 kg/ha genera un mayor margen de ganancia con una tasa marginal de 3,643 %.
- NitroXtend retiene por más tiempo la forma de NH_4^+ en el suelo.

5. RECOMENDACIONES

- Reducir costos de NZONE para poder competir con NitroXtend.
- Evaluar la fibra neutro detergente y fibra ácido detergente en el ensilaje, para determinar la digestibilidad y la cantidad de energía.

6. LITERATURA CITADA

Amador, A. Boschini, C. 2000. Fenología productiva y nutricional de maíz para la producción de forraje. *Agronomía Mesoamericana* 11(1): 171-177. 2000.

Aguilar Gudiel, J. C. 2009. Efecto del inhibidor NBPT en la volatilización de amoníaco proveniente de la hidrólisis de urea en un sistema semi estático y en pastos. Proyecto especial de graduación. Ing. Agr. El Zamorano, Honduras, Escuela Agrícola Panamericana. 16 p.

AgXplore 2013. NZONE (en línea). Consultado 08 de noviembre de 2013. Disponible en: http://www.agxplore.com/Products/Nitrogen_and_Phosphorus_Management_Aids/show/18

Asan Bonilla J, Tzi Cac, R. 2012. Efectividad de tres ureas comerciales aplicadas en forma superficial e incorporada en el híbrido de maíz HAZ 1. Proyecto especial de graduación. Ing. Agr. El Zamorano, Honduras. 1-6 p.

Bertsch, F. 2003. Estudio de absorción de nutrientes como apoyo a las recomendaciones de fertilización (en línea). Consultado el 07 de mayo del 2013. Disponible en: [http://www.ipni.net/ppiweb/iaecu.nsf/\\$webindex/76A0E12D2DF131AB05256FF200587B24/\\$file/Estudios+de+absorci%C3%B3n+de+nutrientes+como+apoyo.pdf](http://www.ipni.net/ppiweb/iaecu.nsf/$webindex/76A0E12D2DF131AB05256FF200587B24/$file/Estudios+de+absorci%C3%B3n+de+nutrientes+como+apoyo.pdf)

Bremmer LM, Mulvaney CS. 1982. Total nitrogen. En: Page R, Miller H, Keeney DR (eds.). *Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties*. 2nd ed. ASA; SSA. Madison, USA. 595-634 p.

Bremner, J.M. Keeney, D.R. 1965. Determination and isotope - ratio analysis of different form of nitrogen in soils. Exchangeable ammonium, nitrate, nitrite by extraction distillation methods. *Soils science society of America, Proceedings* 30:577-582.

Carámbula, M. 1996. *Pasturas naturales mejoradas*. Editorial Hemisferio Sur. Uruguay.

CIMMYT (Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo, ME). 1988. *From Agronomic Data to Farmer Recommendations: An Economics Training Manual*. Ed., rev. Mexico, D.F. 79 p.

DISAGRO. 2011. Mayor Aprovechamiento del Nitrógeno (en línea). Consultado el 07 de mayo del 2013 Disponible en.

http://www.caneros.org.mx/site_caneros/descargas/pleno_puebla/04_NITRO_XTEND_PUEBLA_MAYO2011.pdf

Evans, E 2005. Análisis marginal: un procedimiento económico para seleccionar tecnologías o prácticas alternativas (en línea). Consultado 7 de Noviembre del 2013. Disponible en <http://edis.ifas.ufl.edu/fe573>

FAO e IFA 2002. Los fertilizantes y su uso (en línea). Consultado 9 de agosto del 2013. Disponible en <ftp://ftp.fao.org/agl/agll/docs/fertuso.pdf>

Fontaneto, H; H Vivas; O Kéller & J Romera. 2008. Evaluación de la volatilización de amoníaco desde diferentes fuentes nitrogenadas en maíz con siembra directa. II Congreso Brasileiro de maíz. Mercosoja 2008. 229p.

Grant, CA y Rawluk, CDL. 2002 Agrotain como Herramienta de Manejo del Nitrógeno (en línea). Consultado 26 septiembre. Disponible en: <http://www.fertilizando.com/articulos/Agrotain%20Herramienta%20Gestion%20N.asp>

Lara Cabezas. 1999. Urea aplicada en la superficie del suelo (En línea). Consultado el 09 Agosto de 2013. Disponible en [http://www.ipni.net/ppiweb/iamex.nsf/\\$webindex/60C19E4AE7D8BB6A06256ABF0057BC8E/\\$file/Urea+aplicada+en+la+superficie+del+suelo+un+pesimo+negocio.pdf](http://www.ipni.net/ppiweb/iamex.nsf/$webindex/60C19E4AE7D8BB6A06256ABF0057BC8E/$file/Urea+aplicada+en+la+superficie+del+suelo+un+pesimo+negocio.pdf)

Marcano F. y C. Ohep. 1996. Respuesta del cultivo de maíz a tres características de labranza, dos fuentes nitrogenadas y tres formas de aplicación de nitrógeno. (en línea). Consultado el 22 de Septiembre de 2012. Disponible en: http://sian.inia.gob.ve/repositorio/revistas_ci/Agronomia%20Tropical/at4701/arti/marcano_f.htm

Olivares Pascual, J, 2008. Fijación biológica del Nitrógeno (en línea). Consultado 9 de agosto de 2013. Disponible en <http://www.eez.csic.es/~olivares/ciencia/fijacion/>

Perrin, R. Winkelmann, D. Moscardi E. Anderson J. 2006. Manual metodológico de Estudios Económicos, México, Programa CIMMYT.

Placencia, A. Corbella, R. SF. Química del suelo. Facultad de agronomía y zootecnia, Universidad Nacional de Tucuman. Argentina. 2p.

Rice, C. W., y J. L. Havlin. 1974. Integrating mineralizable nitrogen indices into fertilizer nitrogen recommendation. In J. L. Havlin and J. S. Jacobsen (eds.). Soil testing: prospect for improving nutrient recomendations. Madison, WI, ASSA and SSSA. 1-3p.

7. ANEXOS



Anexo 1. Mezcla del aditivo NZONE a la Urea, Monte Redondo, Zamorano, Honduras.