

Nota técnica

Eficiencia de uso del nitrógeno en maíz fertilizado de forma orgánica y mineral¹

Efficiency of nitrogen use in fertilized organic and mineral corn

Breno Augusto Sosa-Rodriguez², Yuly Samanta García-Vivas²

Resumen

La producción sostenible de granos como el maíz es de prioridad nacional y mundial para salvaguardar la seguridad alimentaria y el ambiente, los cuales están en controversia por encontrar un equilibrio, la productividad versus la contaminación generada. El objetivo fue evaluar el efecto de abonos orgánicos (AO) y la fertilización mineral convencional (FQ) sobre la eficiencia de uso del N en el cultivo de maíz. En el Centro Universitario Regional del Litoral Atlántico (CURLA), Honduras, se sembró maíz variedad Tuxpeño, entre los meses de junio a diciembre del 2015. El diseño experimental fue de bloques completos al azar con cinco tratamientos y cuatro repeticiones. En diferentes etapas fenológicas del cultivo se evaluaron en el suelo: N total, amonio, nitrato, temperatura, humedad volumétrica; en la planta se evaluó: N, rendimiento en grano seco y la eficiencia de uso de nutrientes para N se evaluó en términos de la eficiencia agronómica (EA), eficiencia fisiológica (EF) y eficiencia de recuperación (ER). La FQ y los AO generaron cambios relevantes en la dinámica del N en suelo y planta, la fertilización mineral promovió una mayor eficiencia de uso de nitrógeno en maíz, a través de los indicadores de la eficiencia agronómica, la eficiencia de recuperación y el rendimiento de grano.

Palabras clave: *Zea mays* L., fertilidad del suelo, nutrición mineral, abonos organominerales.

Abstract

The sustainable production of grains, such as corn, has a national and global priority in order to safeguard food security and the environment that have a controversy finding a balance between productivity and the generated pollution. This research evaluates the dynamics of N (nitrogen) in soil and plant. The objective of this research was to evaluate the effects that the use of organic fertilizers (OF) and conventional mineral fertilization (CMF) can provoke on the efficiency of N use in corn crops. The maize cultivation happened at the Atlantic Coastal Regional Center University (CURLA), Honduras, and the Tuxpeño corn variety was planted between the months of June to December of 2015. The experimental design consisted on random complete blocks with five treatments and four repetitions. They evaluated different crop phenological stages, in soil they evaluated: total N, ammonium, nitrate, temperature, and volumetric moisture; and in the plant they evaluated: N, dry grain yield, efficiency of nutrient use for N in terms

¹ Recibido: 7 de marzo, 2017. Aceptado: 27 de abril, 2017. Este trabajo formó parte de una beca básica de investigación realizada por el primer autor en la Universidad Nacional Autónoma de Honduras (UNAH), La Ceiba, Atlántida, Honduras.

² Universidad Nacional Autónoma de Honduras (UNAH), Centro Universitario Regional del Litoral Atlántico (CURLA). Detrás del Aeropuerto Internacional Goloson, La Ceiba, Atlántida, Honduras. breno.sosa@unah.edu.hn, yuly.garcia@unah.edu.hn



of agronomic efficiency (AE), physiological efficiency (PE), and recovery efficiency (ER). The CMF and the OF generated relevant changes in the dynamics of N in soil and plant, mineral fertilization promoted a greater efficiency of nitrogen use in corn according to the indicators of: agronomic efficiency, recovery efficiency, and grain yield.

Keywords: *Zea mays* L., soil fertility, mineral nutrition, organomineral fertilizers.

Introducción

La nutrición es la práctica agronómica a la cual responde más el cultivo de maíz, es indispensable para la productividad, y por ende, en la economía y seguridad alimentaria de la población. Esta gramínea, en América tropical ha tenido problemas de productividad que se atribuyen a la pérdida de fertilidad del suelo, al uso de variedades de baja producción y prácticas productivas que degradan el suelo y contaminan el ambiente (García y Espinosa, 2009). Sin embargo, los rendimientos se pueden incrementar con un mejor manejo de la población y la nutrición (Melgar et al., 2001).

El nitrógeno (N) en la planta es quizá el nutriente más importante en los agroecosistemas, dada su participación en múltiples reacciones bioquímicas implicadas fisiológicamente en el crecimiento, desarrollo y producción de cultivos (Rao, 2009). Sin embargo, los suelos aptos para la agricultura de las regiones tropicales, presentan severa deficiencia de N disponible y baja fertilidad natural (Sánchez y Logan, 1992; Giller, 2001). Y al momento de suplirlo vía insumos inorgánicos, es el más costoso, lo cual disminuye la relación beneficio/costo del agroecosistema, tornándolo insostenible para los agricultores.

El suministro de N de síntesis química es justificado por la adopción de tecnologías que basan su máxima capacidad productiva en el uso de estos agroquímicos. En el cultivo de maíz se ha demostrado un efecto proporcional de los rendimientos conforme se incrementan los niveles de fertilización (Alvarez et al., 2003). Pero en esta búsqueda de productividad pocas veces se estima la eficiencia del uso de los nutrientes (EUN), definida como: la biomasa total producida por la planta por unidad del nutriente absorbido (Gourley et al., 1994). Reportes de García y Espinoza (2009) en maíz mostraron valores sobre la eficiencia agronómica de N (EAN), que variaron entre 23,6 y 33,3 kg de grano/kg N aplicado. Mientras que para González et al. (2016), la mejor EAN en maíz forrajero la encontraron con valores de 11,1 a 29,3 kg MS/kg N aplicado.

Es evidente que en la actualidad cobra interés esta temática por el costo de los fertilizantes y el impacto ambiental que estos generan (Fallah y Tadayyon, 2010). Diferentes investigaciones han demostrado que la aplicación de N por esta vía, conlleva pérdidas de 60% o más de la cantidad aplicada; depende del tipo de suelo esta pérdida aumenta por vías como lixiviación, volatilización y escorrentía, que contaminan el ambiente con óxido nitroso (N_2O) y dióxido de N (NO_2) (Jordan et al., 2008; Sepúlveda et al., 2011).

Honduras no es ajena a esta problemática, alrededor de 700 hectáreas de maíz se siembran cada año en la zona norte del país, con una media de fertilización por unidad de área de dos quintales de fórmula 18-46-0 y dos de urea, para obtener un rendimiento de 1,5 a 1,9 toneladas métricas (Díaz, comunicación personal, 2017). El sector de cereales y leguminosas, además de los constantes procesos degradativos que se generan en el suelo (Carrazón, 2008) que disminuyen de forma significativa la fertilidad, afronta altos costos de producción y una baja relación beneficio/costo. Esto ha contribuido en la elevada importación de granos como el maíz y el frijol en los últimos años (Cruz, 2013). De forma alterna al modelo industrial, se abordan tecnologías agroecológicas eficientes y sanas como los abonos verdes y abonos orgánicos (AO) que aportan materia orgánica, agua y nutrientes al suelo de manera sostenible (Bunch, 1994; Baijukya et al., 2004; Prager et al., 2012). Donde priman las interrelaciones a nivel biológico como los hongos formadores de micorrizas (HMA) y la fijación biológica de nitrógeno (FBN),

procesos que contribuyen a la productividad del suelo, y economía en el uso del N en el sistema (Sánchez-de-Prager et al., 2010). Es por ello que, el Departamento de Suelos del Centro Universitario Regional del Litoral Atlántico (CURLA) aborda de forma holística componentes como maíz-N-suelo, muy poco estudiado en Honduras. El objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto de los abonos orgánicos y la fertilización mineral convencional sobre la eficiencia en el uso de nitrógeno en el cultivo de maíz.

Materiales y métodos

Caracterización del área experimental

La presente investigación se realizó entre los meses de julio y diciembre del 2015 en un suelo oxisol de la Estación Experimental del Centro Universitario Regional del Litoral Atlántico (CURLA), ubicado en el municipio La Ceiba, departamento Atlántida, Honduras. A los 15° 47'20" latitud norte y a los 87° 51'15" longitud oeste, altitud de 9 msnm, con temperatura promedio de 29,5 °C, humedad relativa de 95% y precipitación pluvial media anual de 3230 mm (Aguilar, 2014). Las propiedades físico-químicas del suelo, extraído a una profundidad de 0-20 cm antes de establecer el ensayo, se muestran en el Cuadro 1. Los análisis se llevaron a cabo en el Western Hemisphere Analytical Laboratory (WHAL) de la empresa Standard Fruit Honduras S.A.

Cuadro 1. Caracterización físico-química de un Oxisol de la Estación Experimental del Centro Universitario Regional del Litoral Atlántico, Atlántida, Honduras. 2015.

Table 1. Physical and chemical characterization of an Oxisol on the experimental station of the Atlantic Coastal Regional Center University, Atlantida, Honduras. 2015.

pH	cmol/kg		ds/m		g/kg		Bases cmol ⁺ /kg					mg/kg				
	Al+H	CE	MO	Ca	K	Mg	Na	P	Zn	Fe	Mn	Cu	B	S		
5,08	2,23	0,15	14,80	1,03	0,34	0,45	0,04	9,29	1,45	69,10	82,78	1,35	0,04	9,68		
				g/cm ³					%				%			
	Textura		Densidad aparente		Densidad real		Porosidad total			Humedad volumétrica						
	Arcillosa		1,20		2,65		54,70			25,5						

pH: solución acuosa 1:1; CE: extracto saturado, conductancia; Al+H: extracción con KCL; macro y microelementos: detección de plasma Mehlich-3; textura: pipeta; densidad aparente: cilindro biselado; densidad real: picnómetro; porosidad y humedad: fórmula matemática / pH: Aqueous solution 1:1; EC: Saturated extract, Conductance; Al+H: Extraction with KCL; Macro and Microelements: Plasma Mehlich-3 detection; Texture: Pipette; Apparent density: Bevelled cylinder; Real density: Pycnometer; Porosity and Moisture: Mathematical formula.

Para analizar las propiedades químicas del suelo se acudió a criterios internacionales. La acidez intercambiable mostró un nivel alto, acompañado de baja cantidad materia orgánica, lo que puede interferir tanto en la disponibilidad y absorción de nutrientes, como de la actividad biológica, por ende, el rendimiento del cultivo. Mientras que las propiedades físicas fueron aptas para laboreo, desarrollo radicular de la planta y retención de humedad.

Descripción del ensayo experimental

Las unidades experimentales consistieron en parcelas en condiciones de campo con dimensiones de 30 m² (6x5m). En ellas se establecieron las plantas de maíz de la variedad Tuxpeño, ampliamente sembrado y consumido en Honduras por sus características y adaptabilidad (Cruz, 2013); se colocó una semilla por sitio a distancias de 90 cm entre surcos y 20 cm entre plantas, para una densidad de 55,500 plantas/ha. Los cinco tratamientos aplicados al maíz se manejaron bajo un diseño de bloques completos al azar con cuatro repeticiones, y se describen a continuación:

T1= sistema de maíz con fertilizante mineral (FQ).

T2= sistema de maíz con adición de bocashi (FB).

T3= sistema de maíz con adición de lombricompost (FL).

T4= sistema de maíz con adición mixta de bocashi-lombricompost (FM).

T5= sistema de maíz sin fertilización (SF).

Solo el T1 fue fertilización química, ningún tratamiento orgánico tuvo fertilización química.

Las fertilizaciones se realizaron en tres momentos del crecimiento de la planta, V0 (siembra), V6 (25-30 dde) y V10 (40-42 dde), se aplicó el 20% del fertilizante en el primero y, 40% en el segundo y último momento, para una proporción de 20-40-40%, con el fin de aumentar la eficiencia en el uso del N en el cultivo (García y Espinosa, 2009). En los tratamientos con fertilización de síntesis química industrial, se aplicó el fertilizante 12-24-12 a una dosis de 90 kg N/ha (2250 g/distribuidos en la unidad experimental en parcelas de 30 m²), de acuerdo con los requerimientos del cultivo (Ciampitti y García, 2007). Para los tratamientos con adición de abono orgánico tipo bocashi la dosis calculada fue de 19 600 g/parcela y para lombricompost fue de 19 010 g/parcela, mientras que en la fertilización mixta bocashi-lombricompost fue de 19 305 g/parcela, para que aportaran la misma cantidad de N que el fertilizante inorgánico, según análisis químico (Cuadro 2) realizado al bocashi (1,38% N) y lombricompost (1,42% N) en el laboratorio certificado WHAL. El lombricompost fue elaborado a partir de estiércol vacuno adulto, cosechado a los tres meses, mientras que el bocashi fue producto de materias primas como estiércol vacuno, cal, tierra negra, gallinaza, melaza entre otros, recolectado a los veintidós días. El manejo de arvenses se realizó en forma manual durante el ciclo productivo del cultivo.

Cuadro 2. Análisis químico de los abonos orgánicos utilizados para medir la eficiencia del uso de nitrógeno en maíz. Honduras. 2015.

Table 2. Chemical analysis of the employed organic fertilizers in order to measure the nitrogen use efficiency in maize. Honduras. 2015.

Identificación	pH	ms/cm CE	mg/kg NO ₃ ⁻	cmol ⁺ /kg CIC	%			Relación C/N	
					Material orgánico	Humedad	Carbono		Nitrógeno
Lombricompost	7,75	11,2	3967	86,93	36,23	53,74	21,01	1,42	14,80
Bocashi	8,46	31,6	1253	73,33	25,57	18,88	14,83	1,38	10,75

La distribución mensual de la temperatura ambiental y precipitación pluvial durante el periodo de evaluación se muestra en la Figura 1. Las precipitaciones registradas suplieron los requerimientos hídricos del cultivo, sin embargo, se instaló un sistema de riego por aspersión utilizado en casos extremos de elevada temperatura y sequía, que pudieran afectar las etapas críticas de la planta.

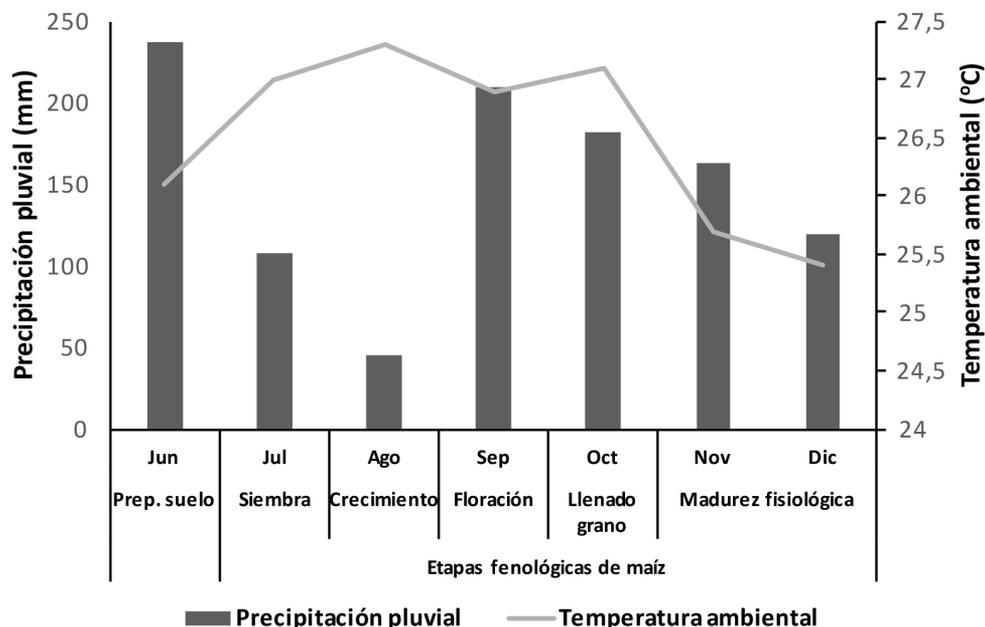


Figura 1. Distribución mensual de la temperatura ambiental y precipitación pluvial durante el periodo de evaluación del efecto de fertilización nitrogenada convencional y orgánica sobre plantas de maíz, variedad Tuxpeño. Estación meteorológica del Centro Universitario Regional del Litoral Atlántico (CURLA), Universidad Nacional Autónoma de Honduras (UNAH), La Ceiba, Atlántida, Honduras. 2015.

Figure 1. Temperature and rainfall monthly distribution during the evaluation of the effect that conventional and organic nitrogen fertilization on corn plants, variety Tuxpeño has. Station Weather of Atlantic Coastal Regional Center University (CURLA), National Autonomous University of Honduras (UNAH), La Ceiba, Atlantida, Honduras. 2015.

En la etapa vegetativa, floración, llenado de grano y madurez fisiológica del maíz se evaluaron las variables en cada unidad experimental; para las relacionadas al suelo: amonio, nitrato y N total se determinaron por detección de plasma Mehlich-3 en laboratorio WHAL; humedad volumétrica (Jaramillo, 2002) y temperatura se midieron de forma directa con un termómetro digital (Escobar, 2011); para las determinaciones se tomaron muestras compuestas, formadas por cinco submuestras de cada parcela útil de los tratamientos. En tejido vegetal se tomaron diez submuestras para formar la muestra compuesta, se analizaron por el método DUMAS el N en hojas y granos, en el laboratorio WHAL, y en el campo rendimiento en grano seco (Sosa, 2013).

La eficiencia del uso de nutrientes (EUN) para N se determinó a través de las fórmulas matemáticas para: la eficiencia agronómica (EA), la cual se refiere al aumento en rendimiento de grano por cada unidad de nutriente aplicado; eficiencia fisiológica (EF), indica el rendimiento de grano por cada unidad de nutriente absorbido y, eficiencia de recuperación (ER), refleja la habilidad de la planta para absorber el fertilizante aplicado y asimilarlo hacia el grano (Rouanet, 1994; Matheus et al., 2007; García y Espinosa, 2009), las cuales se describen a continuación:

$$EA = \frac{R(E) - R(T)}{Dosis} \quad EF = \frac{K(E) - K(T)}{C(E) - C(T)} \quad ER = \frac{O(E) - O(T)}{Dosis} \times 100$$

Donde: R(E) = rendimiento (kg/ha) de grano del tratamiento evaluado; R(T) = rendimiento (kg/ha) de grano del tratamiento testigo; Dosis = cantidad (kg/ha) de nutriente aplicado con fertilizante; K(E) = cantidad de grano del

tratamiento evaluado (kg/ha); K(T) = cantidad de grano del tratamiento testigo (kg/ha); C(E) = cantidad de nutriente absorbido en hoja y grano del tratamiento evaluado (kg/ha); C(T) = cantidad de nutriente absorbido en hoja y grano del tratamiento testigo (kg/ha); O(E) = cantidad de nutriente absorbido en hoja y grano del tratamiento evaluado (kg/ha); O(T) = cantidad de nutriente absorbido en hoja y grano de tratamiento testigo (kg/ha).

La información obtenida del ensayo tipo experimental basado en un diseño en bloques completos al azar, se procesó con base en un análisis de varianza ($p < 0,05$) y la prueba de medias de Duncan ($p < 0,05$), con el uso del software SAS versión 9.1.3 (SAS, 2002). No se evaluaron interacciones.

Resultados

Variables relacionadas al suelo

La humedad del suelo evaluada a una profundidad de 10 cm en la rizósfera de la planta (Figura 2), aumentó significativamente ($p < 0,05$) entre los tratamientos con adición de materia orgánica (T2, T3 y T4), en comparación a la fertilización de síntesis química (T1). Las mediciones se realizaron cuando el tiempo fue estable, preferiblemente

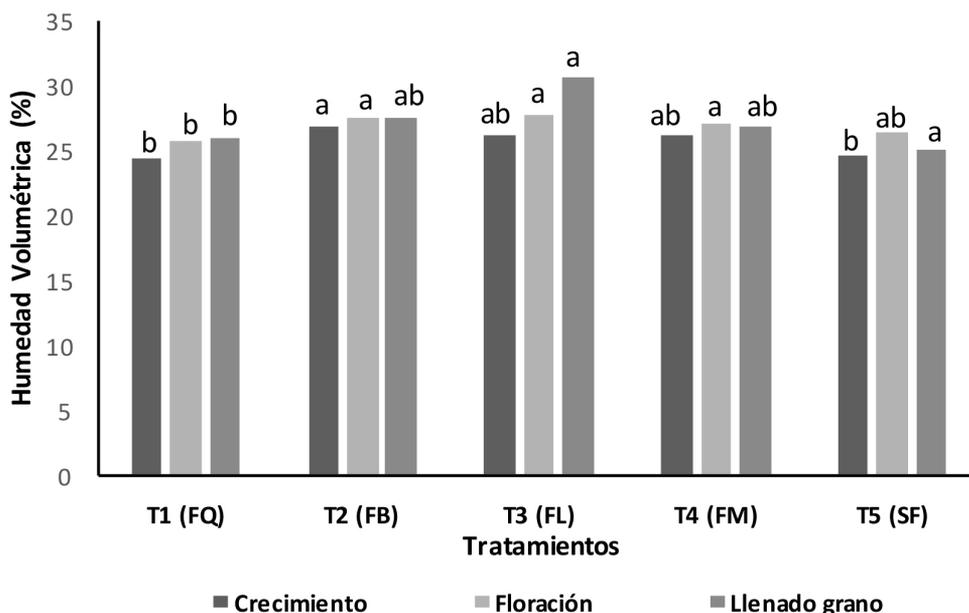


Figura 2. Humedad volumétrica (%) en las etapas y tratamientos al evaluar el efecto de los abonos orgánicos y la fertilización mineral sobre la eficiencia en el uso de nitrógeno en el cultivo de maíz, variedad Tuxpeño. Centro Universitario Regional del Litoral Atlántico (CURLA), Universidad Nacional Autónoma de Honduras (UNAH), La Ceiba, Atlántida, Honduras. 2015. T1= fertilización mineral, T2= fertilización con bocashi, T3= fertilización con lombricompost, T4= fertilización mixta bocashi-lombricompost, T5= sin fertilización.

Para cada etapa, promedios con las mismas letras no son significativamente diferentes según Duncan ($P < 0,05$).

Figure 2. Presence of volumetric moisture (%) in stages and treatments, when the evaluation of the effect that organic fertilizers and mineral fertilization have on corn cultivation with nitrogen use, variety Tuxpeño, was performed. Atlantic Coastal Regional Center University (CURLA), National Autonomous University of Honduras (UNAH), La Ceiba, Atlántida, Honduras. 2015.

T1= mineral fertilization, T2= fertilization with bokashi, T3= fertilization with vermicompost, T4= mixed fertilization bokashi-vermicompost, T5= without fertilization.

For each stage the averages with the same letters do not differ significantly according to Duncan ($P < 0.05$).

antes de las lluvias o riegos. Al observar el efecto del tratamiento entre las etapas fenológicas, la humedad del suelo fue estadísticamente similar en su mayoría, aunque los mayores valores se registraron en la etapa de floración y se mantuvieron a lo largo del llenado de grano, lo cual coincide con las mayores precipitaciones en el ensayo.

La temperatura del suelo (Figura 3) mostró diferencias significativas ($p < 0,05$) entre tratamientos en las etapas fenológicas evaluadas. Los tratamientos con adición de materia orgánica (T2, T3 y T4) mostraron los valores más bajos. Circunstancia que coincide con el mayor aporte de agua del bocashi y lombricompost en la variable de humedad del suelo. Mientras que para T1 y T5, donde no existió adición de materiales orgánicos, dio lugar a mayores temperaturas. Entre las etapas fenológicas, los valores fueron similares estadísticamente, con un descenso de la temperatura en casi todos los tratamientos para la etapa de llenado de grano.

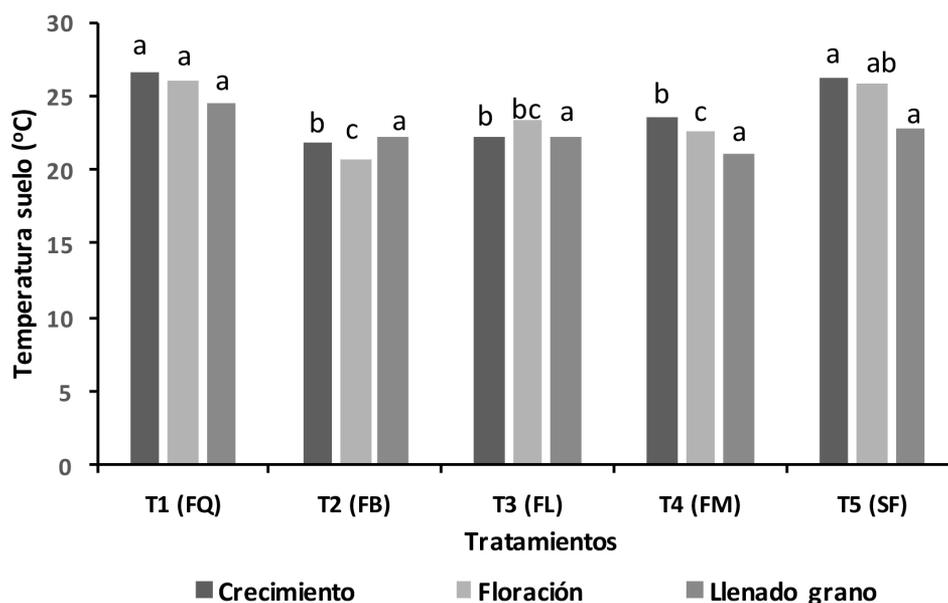


Figura 3. Temperatura del suelo (°C) en las etapas y tratamientos cuando se evaluó el efecto de los abonos orgánicos y la fertilización mineral sobre la eficiencia en el uso de nitrógeno en el cultivo de maíz, variedad Tuxpeño. Centro Universitario Regional del Litoral Atlántico (CURLA), Universidad Nacional Autónoma de Honduras (UNAH), La Ceiba, Atlántida, Honduras. 2015.

T1= fertilización mineral, T2= fertilización con bocashi, T3= fertilización con lombricompost, T4= fertilización mixta bocashi-lombricompost, T5= sin fertilización.

Para cada etapa promedios con las mismas letras no son significativamente diferentes según Duncan ($P < 0,05$).

Figure 3. Soil temperature (°C) in stages and treatments, when the evaluation of the effect that organic fertilizers and mineral fertilization have on corn cultivation with nitrogen use, variety Tuxpeño, was performed. Atlantic Coastal Regional Center University (CURLA), National Autonomous University of Honduras (UNAH), La Ceiba, Atlantida, Honduras. 2015.

T1= mineral fertilization, T2= fertilization with bokashi, T3= fertilization with vermicompost, T4= mixed fertilization bokashi-vermicompost, T5= without fertilization.

For each stage the averages with the same letters do not differ significantly according to Duncan ($P < 0,05$).

Las fracciones de N analizadas (amonio, nitrato y N Total) no experimentaron cambios significativos ($P < 0,05$) por efecto de los tratamientos en la etapa de floración del maíz. Los valores variaron entre 0,38-0,90 mg/kg para amonio; 18,8-22,5 mg/kg para nitrato y 1,4-1,56 g/kg para N total. Sin embargo, se observó que el N inorgánico disponible (amonio + nitrato) representó 1,38% del N Total. Además, hubo medias superiores de nitrato (20,4 mg/

kg) en comparación con amonio (0,64 mg/kg). Lo anterior indica condiciones favorables para la nitrificación, el cual es un proceso netamente aeróbico, a través de una buena estructuración y porosidad del suelo, permitiendo adecuada circulación de agua y aire, mientras que la amonificación ocurre tanto por vías aeróbicas como anaeróbicas, produce N en forma de NH^{4+} , cuyos niveles son menores sea por ser sustrato de la nitrificación, la fijación por los altos contenidos de arcilla o por la rápida absorción en la planta para el llenado de grano.

Variables relacionadas a la planta

En las variables relacionadas a la eficiencia de uso de N (EA, EF y ER) (Figura 4), se encontraron diferencias significativas ($p < 0,05$) entre tratamientos. Para EA, la fertilización mineral (T1) estimuló significativamente la mayor eficiencia con 12,5 kg grano por kg de N aplicado, en comparación a los demás tratamientos, que fueron similares estadísticamente entre sí. Para EF, el bocashi generó el mayor valor con 19,1 kg grano por kg de N

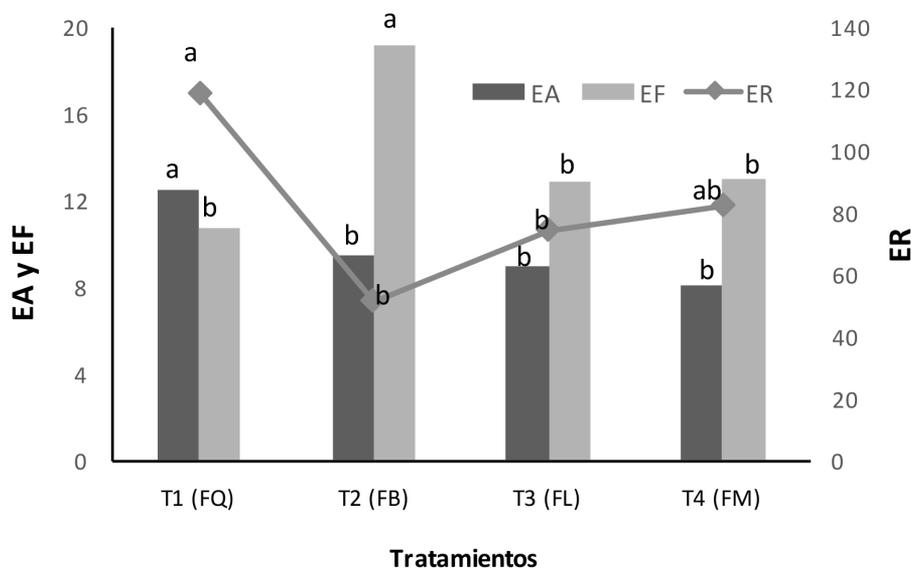


Figura 4. Eficiencia en el uso del N en los tratamientos cuando se evaluó el efecto de los abonos orgánicos y la fertilización mineral en el cultivo de maíz, variedad Tuxpeño. Centro Universitario Regional del Litoral Atlántico (CURLA), Universidad Nacional Autónoma de Honduras (UNAH), La Ceiba, Atlántida, Honduras. 2015.

EA: eficiencia agronómica (kg grano/kg de N aplicado), EF: eficiencia fisiológica (kg grano/kg de N absorbido) y ER: eficiencia de recuperación (kg N absorbido/kg de N aplicado). Promedios con las mismas letras no son significativamente diferentes según Duncan ($P < 0,05$).

T1= fertilización mineral, T2= fertilización con bocashi, T3= fertilización con lombricompost, T4= fertilización mixta bocashi-lombricompost.

Figure 4. Efficiency of the N use in the evaluated treatments as a result of the effects that organic fertilizers and mineral fertilization in maize, variety Tuxpeño, has provoked. Atlantic Coastal Regional Center University (CURLA), National Autonomous University of Honduras (UNAH), La Ceiba, Atlantida, Honduras. 2015.

EA: agronomic efficiency (grain in kg grain/ applied N in kg), EF: physiological efficiency (grain in kg/absorbed N in kg), and ER: recovery efficiency (absorbed N in kg / applied N in kg). Averages with the same letters do not differ significantly according to Duncan ($P < 0,05$).

T1= mineral fertilization, T2= fertilization with bokashi, T3= fertilization with vermicompost, T4= mixed fertilization bokashi-vermicompost.

absorbido, siendo los restantes tratamientos iguales estadísticamente. Y al igual que en la EA, el T1 promovió la mayor eficiencia de recuperación del N con 118 kg N absorbido/kg N aplicado, mientras los demás tuvieron promedios semejantes. Para el agricultor, la EA puede ser el mejor parámetro de evaluación de estas variables, ya que percibe directamente cuanto aplica del fertilizante versus lo cosechado.

Los tratamientos brindaron la misma cantidad de nutrientes, solo que se suministraron por diferente naturaleza, orgánica vs sintética.

En la cosecha del grano (Figura 5), el fertilizante mineral promovió de forma significativa el mejor rendimiento (3325 kg/ha), en contraste con los demás tratamientos, que fueron iguales estadísticamente. Esta producción corrobora la influencia del UEN en la productividad, caracterizado este insumo mineral por la alta solubilidad y, consecuente disponibilidad hacia la planta, más las condiciones favorables del suelo como humedad, textura, temperatura entre otros.

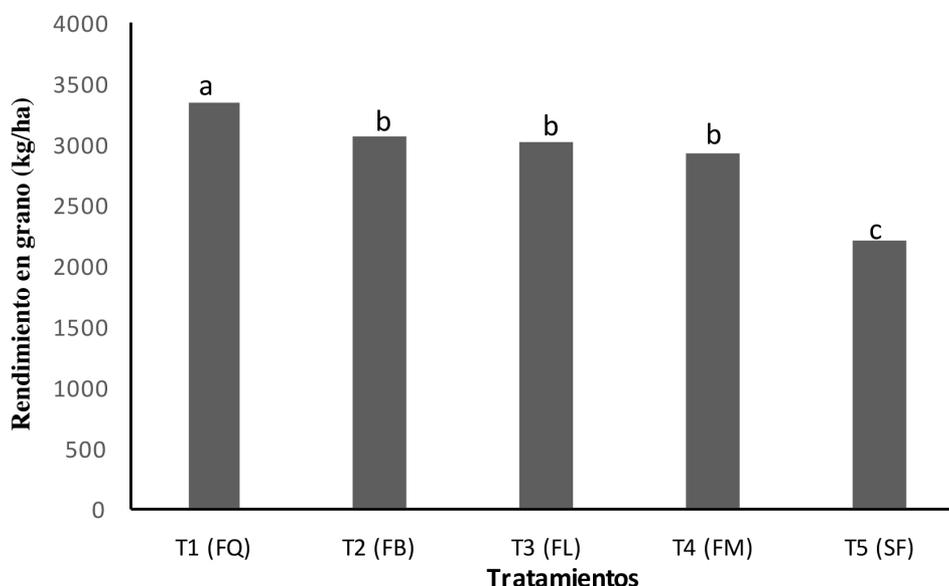


Figura 5. Rendimiento en grano seco (kg/ha) del cultivo de maíz, variedad Tuxpeño, en los tratamientos cuando se evaluó el efecto de los abonos orgánicos y la fertilización mineral sobre la eficiencia en el uso de nitrógeno. Centro Universitario Regional del Litoral Atlántico (CURLA), Universidad Nacional Autónoma de Honduras (UNAH), La Ceiba, Atlántida, Honduras. 2015. Promedios con las mismas letras no son significativamente diferentes según Duncan ($P < 0,05$). T1= fertilización mineral, T2= fertilización con bocashi, T3= fertilización con lombricompost, T4= fertilización mixta bocashi-lombricompost, T5= sin fertilización.

Figure 5. Performance of dry grain (kg/ha) in corn cultivation, variety Tuxpeño, according to the effect that the organic fertilizers and mineral fertilization treatments had on nitrogen use efficiency. Atlantic Coastal Regional Center University (CURLA), National Autonomous University of Honduras (UNAH), La Ceiba, Atlantida, Honduras. 2015. Averages with the same letters do not differ significantly according to Duncan ($P < 0.05$). T1= mineral fertilization, T2= fertilization with bokashi, T3= fertilization with vermicompost, T4= mixed fertilization bokashi-vermicompost, T5= without fertilization.

Discusión

Variabes relacionadas al suelo

La dinámica del N en el suelo es compleja, está sujeta a variables edafoclimáticas (temperatura, humedad volumétrica, N total, amonio, nitrato) y de igual forma, a las prácticas agronómicas y culturales de manejo en el sistema.

El aporte de materia orgánica a través de los AO permitió estimular variaciones, al incrementar la humedad volumétrica en el suelo y consecuentemente disminuir la temperatura. El gran aporte de biomasa de los materiales orgánicos, que al descomponerse aportan nutrientes y agua, fue indicado por Bunch (1994) y Gallego (2012). Al igual que Roblero (2010); Zribi et al. (2011) y Gómez (2015), mostraron que la incorporación de diferentes materiales orgánicos como el bocashi y lombricompost, tienen la propiedad física de retener humedad y por consiguiente, disminuye la temperatura directamente como las fluctuaciones en los primeros 15 cm de profundidad.

Se destaca la influencia de las propiedades del suelo como modulador del ciclo del N, a través del análisis de las fracciones de N (N total, amonio y nitrato). El N total es considerado un reservorio por estar constituido casi en su totalidad por N orgánico, en esta investigación varió de 98-99%, mientras que el N inorgánico (amonio + nitrato) disponible varió del 1-2% (1,38%). Este comportamiento ha sido encontrado en otros suelos tropicales (Flórez, 2010; Revelli et al., 2010; Gallego, 2012). También en concordancia con estos autores, el amonio y nitrato tuvieron dinámicas complementarias. Al ser el amonio el sustrato sobre el cual las bacterias oxidantes de amonio desarrollan su metabolismo, cuando estas incrementan su actividad, este baja y la molécula de nitrato aumenta. En el ensayo se observó cómo predominó la nitrificación, situación explicable por la biomasa agregada a este suelo como AO con buenas condiciones en la oxigenación.

Variabes relacionadas a la planta

La dinámica de N es compleja de analizar, por ser este elemento móvil y por sus múltiples reacciones bioquímicas en la planta, al ser altamente demandado en las diferentes etapas fenológicas.

En la eficiencia de uso de N, se observó que el fertilizante mineral favoreció la mayor EA y ER, caracterizados estos productos por la alta solubilidad en presencia de humedad, cuya disponibilidad de N fue absorbida rápidamente por la planta en los diferentes estadios de crecimiento (V0, V6 y V10), al aplicar los fertilizantes, corroborándose los resultados obtenidos por García y Espinosa (2009) en plantas de maíz, al encontrar en estas etapas las de mayor eficiencia de uso de N. No siendo así para EF, donde el bocashi indujo mejor respuesta en la planta.

Las fertilizaciones con bocashi y lombricompost incrementaron la EUN, principalmente la EF, obteniéndose valores superiores a los reportados para esta gramínea y otros cultivos (Rouanet, 1994; Matheus et al., 2007; García y Espinosa, 2009). Estos productos orgánicos tienen las propiedades de liberar lentamente los nutrimentos al sistema, y mejorar la condición estructural y biológica del suelo, lo que facilita la absorción de los elementos por la planta; por ende, se disminuyen las pérdidas del sistema, principalmente en la floración. De igual forma, Pérez et al. (2008) encontraron que los abonos orgánicos proveen diferentes impactos benéficos a las propiedades del suelo, según las materias primas para su elaboración.

El N circula por todo el sistema vascular de la planta, siendo la mayor actividad durante la etapa de floración y el llenado de grano. Este fenómeno ha sido señalado en otros estudios (Sosa, 2013), como efecto de dilución de los nutrimentos, con el fin de cumplir funciones metabólicas en distintos puntos de crecimiento de la planta (Malavolta et al., 1997; Rao, 2009). El mantenimiento de la capacidad fotosintética y crecimiento y desarrollo de sumideros reproductivos en la planta de maíz dependen del N, por ello, su movilidad es elevada y medir su concentración se dificulta en ciertos órganos de la planta (Below, 2002). Esta dinámica también se reflejó en los procesos biológicos en el suelo y fisiológicos en los cultivos de maíz de esta investigación.

Conclusiones

El fertilizante mineral favoreció la mayor expresión de eficiencia agronómica, eficiencia de recuperación y rendimiento de grano.

El aporte de materia orgánica como AO generó variaciones significativas en la temperatura y humedad del oxisol, sin embargo, el efecto fue similar sobre los indicadores de la dinámica del nitrógeno (N total, amonio y nitrato). Su expresión estuvo influenciada por la humedad del suelo, especialmente en donde se utilizaron los productos orgánicos por favorecer la aireación.

Agradecimientos

Los autores agradecen el financiamiento y recursos brindados para realizar esta investigación al Departamento de Suelos en el CURLA y a la Dirección de Investigación Científica y Posgrado en Ciudad Universitaria, ambos forman parte de la Universidad Nacional Autónoma de Honduras.

Literatura citada

- Aguilar, S. 2014. Datos recopilados de la estación meteorológica en el periodo 2013-2015 del Centro Universitario Regional del Litoral Atlántico. Universidad Nacional Autónoma de Honduras, La Ceiba, Atlántida, HON.
- Alvarez, R., H.S. Steinbach, C.R. Alvarez, y S. Grigera. 2003. Recomendaciones para la fertilización nitrogenada de trigo y maíz en la pampa ondulada. *Informaciones Agronómicas* 18:14-19.
- Baijukya, F., N. de-Ridder, and K. Giller. 2004. Nitrogen release from decomposing residues of leguminous cover crops and their effect on maize yield on depleted soils of Bukoba District, Tanzania. *Plant Soil* 279:77-93. doi:10.1007/s11104-005-2504-0
- Below, F.E. 2002. Fisiología, nutrición y fertilización nitrogenada de maíz. *Informaciones Agronómicas* 54:3-9.
- Bunch, R. 1994. El uso de abonos verdes por agricultores campesinos: lo que hemos aprendido hasta la fecha. Informe técnico No. 3. 2a ed. Centro Internacional de Información sobre Cultivos de Cobertura, Tegucigalpa, HON.
- Carrazón, J. 2008. Manejo sostenible de tierras y mejoras en la producción de maíz y frijol en las poblaciones vulnerables de los programas PESA de Guatemala, Honduras, Nicaragua y El Salvador. FAO, Roma, ITA.
- Ciampitti, I., y F. García. 2007. Requerimientos nutricionales de macronutrientes y nutrientes secundarios. I. Cereales, oleaginosas e industriales. *Archivo Agronómico* 11:13-16.
- Cruz, O. 2013. Manual para el cultivo del maíz en Honduras. 3a ed. Dirección de Ciencia y Tecnología Agropecuaria, HON.
- Escobar, A.L. 2011. Mitigação das emissões gases de efeito estufa por sistemas conservacionistas de manejo de solo. Tesis Doc., Universidade Federal do Rio Grande do Sul, BRA.
- Fallah, S., and A. Tadayyon. 2010. Uptake nitrogen efficiency in forage maize: effects of nitrogen and plant density. *Agrociencia* 44:549-560.
- Flórez, N.M.V. 2010. Determinación de parámetros biológicos y físico-químicos asociados al metabolismo edáfico del nitrógeno en cultivos de *Solanum phureja* en el departamento de Cundinamarca. Tesis MSc., Universidad Nacional de Colombia, COL.

- Gallego, J.M. 2012. Efectos de dos abonos verdes sobre la mineralización del nitrógeno y la dinámica de las bacterias oxidantes del amonio y del nitrito en un ciclo productivo de maíz *Zea mays* L.. Tesis MSc., Universidad Nacional de Colombia, COL.
- García, J.P., y J. Espinosa. 2009. Efecto del fraccionamiento de nitrógeno en la productividad y en la eficiencia agronómica de macronutrientes en maíz. *Informaciones Agronómicas* 72:1-5.
- González, T.A., V.U. Figueroa., R.P. Preciado., H.G. Núñez., O.J. Luna. y G.O. Antuna. 2016. Uso eficiente y recuperación aparente de nitrógeno en maíz forrajero en suelos diferentes. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 7(2):301-309.
- Giller, K. 2001. Nitrogen fixation in tropical cropping systems. CAB International, Wallingford, GBR.
- Gómez, C.A. 2015. Efecto de distintos mulchings sobre la humedad y temperatura del suelo, estado hídrico, incidencia de malezas y crecimiento de un cultivo en implantación de mandarina Nova en Concordia, Entre Ríos. Tesis MSc., Universidad Nacional del Litoral, Santa Fé, ARG.
- Gourley, C.J.P., D.L. Alla, and M.P. Russelle. 1994. Plant nutrient efficiency: A comparison of definitions and suggested improvement. *Plant Soil* 158:29-37. doi:10.1007/BF00007914
- Jaramillo, D. 2002. Introducción a la ciencia del suelo. Universidad Nacional de Colombia, COL.
- Jordan, F., J. Waugh, E.P. Glenn, L. Sam, T. Thompson, and T. Lewis. 2008. Natural bioremediation of a nitrate-contaminated soil-and-aquifer system in a desert environment. *J. Arid Environ.* 72:748-763. doi:10.1016/j.jaridenv.2007.09.002
- Malavolta, E., G.C. Vitti, e S.A. de-Oliveira. 1997. Avaliação do estado nutricional das plantas: principios e aplicações. 2a ed. Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, Piracicaba, BRA.
- Matheus, J.E., J. Caracas, F. Montilla, y O. Fernández. 2007. Eficiencia agronómica relativa de tres abonos orgánicos (vermicompost, compost, y gallinaza) en plantas de maíz (*Zea mays* L.). *Agricultura Andina* 13:27-38.
- Melgar, R.J., J. Lavandera., M. Torres-Duggan, y L. Ventimiglia. 2001. Respuesta a la fertilización con boro y zinc en sistemas intensivos de producción de maíz. *Cienc. Suelo* 19:109-114.
- Pérez, A., C. Céspedes, y P. Núñez. 2008. Caracterización física-química y biológica de enmiendas orgánicas aplicadas en la producción de cultivos en República Dominicana. *Rev. Cienc. Suelo Nutr. Veg.* 8(3):10-29. doi:10.4067/S0718-27912008000300002
- Prager, M., O.E. Sanclemente, M. Sanchez, J.M. Gallego, y D.I. Ángel. 2012. Abonos verdes: Tecnología para el manejo agroecológico de los cultivos. *Agroecología* 7:53-62.
- Rao, I.M. 2009. Essential plant nutrients and their functions. Working Document No. 36. CIAT, Cali, COL.
- Revelli, G.R., R.C. Gagliardi, O.A. Sbodio, y E.J. Tercero. 2010. Propiedades fisicoquímicas en suelos predominantes del noroeste de Santa Fe y sur de Santiago del Estero, Argentina. *Cienc. Suelo* 28:123-130.
- Roblero, E. 2010. Determinación del comportamiento de la humedad en cuatro diferentes sustratos orgánicos a partir del análisis gráfico y análisis de correlación. Tesis Lic., Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, MEX.
- Rouanet, J.L. 1994. Eficiencia fisiológica de uso de nitrógeno por cultivos anuales en futura agricultura sustentable. *Agric. Téc.* 54:169-179.
- Sánchez-de-Prager., R. Posada, D. Velásquez, y M. Narváez. 2010. Metodologías básicas para el trabajo con Micorriza arbuscular y hongos formadores de micorriza arbuscular. Universidad Nacional de Colombia, COL.
- Sánchez, P.A., and T.J. Logan. 1992. Myths and science about the chemistry and fertility of soils in the tropics. In: R. Lal, and P.A. Sánchez, editors, *Myths and science of soils in the tropics*. SSSA Madison, WI, USA. p. 35-46.

SAS 2002. User`s guide Versión 9.1.3. SAS Institute Inc., Cary, NC, USA.

Sepúlveda, A., E. González, y C. Inostroza. 2011. Remediación de la contaminación por nitratos en el suelo: antecedentes generales y pertinencia en zona sur de Chile. *Gestión Ambiental* 21:13-32.

Sosa, R.B.A. 2013. Dinámica del nitrógeno del suelo en sistemas de maíz *Zea mays* L. y soya *Glycine max* L. bajo el efecto de abonos verdes. Tesis Doc., Universidad Nacional de Colombia, COL.

Zribi, W., J.M. Faci, y R. Aragüés. 2011. Efectos del acolchado sobre la humedad, temperatura, estructura y salinidad de suelos agrícolas. *AIDA* 107:148-162.