

Fuentes y dosis de nitrógeno en la productividad del maíz amarillo duro bajo dos sistemas de siembra

Sources and doses of nitrogen on productivity of field corn under twin-row and single-row

Raúl Sotomayor Alvarez¹; Julián Chura Chuquiya²; Constantino Calderón Mendoza^{3*}; Ricardo Sevilla Panizo²; Raúl Blas Sevillano²

*Autor de correspondencia

Resumen

Dado que el nitrógeno es el nutriente más importante para alcanzar altos rendimientos del cultivo de maíz, en el Instituto Nacional de Innovación Agraria-INIA (La Molina, Lima, Perú), se investigó la respuesta del cultivo de maíz amarillo duro a la fertilización nitrogenada con dos fuentes de insumo nitrogenado (sintético y orgánico) y con dos sistemas de siembra con riego por goteo en un suelo de textura franco arenoso, pH ligeramente alcalino y bajo en materia orgánica. Los tratamientos se distribuyeron en parcelas divididas en bloques, con dosis de 0, 5 y 10 t/ha de compost, 0, 120 y 240 kg/ha de N-urea y sus combinaciones. No se observaron diferencias estadísticamente significativas en el rendimiento del maíz grano entre los tratamientos aplicados; el análisis estadístico indica que con la fuente de nitrógeno orgánico se produce tanto como con las fuentes minerales, incluso siendo numéricamente mayor (10.6 t/ha) a pesar de aportar sólo 33 kg de N/ha (1.26% de N y 48% de humedad del compost) frente a 240 kg/ha de N sintético aplicado. Sin embargo, se observaron diferencias estadísticamente significativas en el rendimiento de maíz grano entre los dos sistemas de siembra, resultando el sistema de siembra en surcos simples superior en 1.9 t/ha al sistema de siembra en surcos pareados. Igualmente, el sistema de siembra en surcos simples fue estadísticamente superior al sistema de surcos pareados en las variables diámetro de tallo, número de hojas/panta, peso de mazorca y peso de 1000 granos de maíz. Por otro lado, el adelanto de la floración masculina fue también alta y significativamente superior con 5 t/ha de compost aplicado en el sistema de siembra en surcos simples. Y en el sistema de siembra en surcos pareados resultó estadísticamente superior el factor compost en las variables altura de planta, floración masculina y femenina. Estos resultados también indican que las fuentes de nitrógeno, orgánica y sintética, puede producir en el campo resultados no esperados, puesto que se encontró que mayores cantidades de N sintético aplicado no incrementa necesariamente el rendimiento del cultivo; lo que invita mayor a profundización del tema en futuros estudios.

Palabras clave: Maíz amarillo duro; riego por goteo; dosis de nitrógeno; compost; urea fertilización; surco pareado.

Abstract

Nitrogen is the best important nutrient for achieve high yields in crop production of maize. Field experiments were carried out in Instituto Nacional de Innovación Agraria-INIA La Molina, Lima, Perú on the effects of different sources and levels of nitrogen (organic and inorganic) in single-row and twin-row crop of maize yellow hard PM-102 'Experimental 5' with drip irrigation system on soil sandy loam, slight alkalinity and low organic matter. Split Plots implemented in randomized blocks with 3 doses of compost in plots (0, 5 and 10 t / ha), 3 doses of urea in sub plots (0, 120 and 240 kg N/ ha) and its combinations. No differences had between treatments on any variables evaluated. The statistical analyses indicated that nitrogen organic source (compost) produce same the inorganic source, despite it introduced only 33 kg N/ ha (compost: 1.6% and 48% humidity) in compared to 240 kg N/ha from urea. For other hand, had differences between twin and single-row on grain yield, where single-row was higher in 1.9 t/ha that twin-row. The same manner, diameter stem, number of leaves per plant, cob weight and weight of 1000 grains were higher in single-row. And male anthesis was early with 5 t/ha of compost too. In twin-row was higher the compost factor in variable height plant, female and male flowering. Finally, these results indicates that inorganic nitrogen fertilizer no necessary increase the yield of maize, any nitrogen source, organic or inorganic, and any levels can produce results different from predicted for higher levels of nitrogen, and so target more detail studies.

Keyword: maize yellow hard; drip irrigation; nitrogen doses; compost; urea; fertilization; twin-row.

¹Escuela de Post Grado, Especialidad de Producción Agrícola, Universidad Nacional Agraria La Molina, Apartado postal 12-056 – La Molina, Lima, Perú

²Facultad de Agronomía, Universidad Nacional Agraria La Molina, Apartado postal 12-056 – La Molina, Lima, Perú. Email: chura@lamolina.edu.pe

³Facultad de Agronomía, Universidad Nacional Agraria La Molina, Apartado postal 12-056 – La Molina, Lima, Perú. Email: ccalderon@lamolina.edu.pe

1. Introducción

El nitrógeno es uno de los elementos más limitantes para llegar a altos rendimientos del cultivo de maíz; así, una adecuada aplicación de nitrógeno al suelo produce un incremento del rendimiento en grano (Salhuana *et al.*, 2004). De mismo modo, Tisdale y Nelson (1991) indican que, en comparación de los demás cultivos, el maíz extrae cantidades importantes de nitrógeno. De los cereales el maíz es el cultivo que más extrae nitrógeno en la producción en campo (Mengel y Kirby, 2000).

Por otro lado, respecto a los beneficios del compost, De Grazia *et al.* (2006) mencionan que el principal efecto benéfico de los restos vegetales compostados es disminuir la pérdida de nutrientes, debido a la mayor retención hídrica y el aumento de la capacidad de intercambio de iones. Asimismo, se conoce que la actividad microbiológica y enzimática del suelo es incrementada o beneficiada por aplicaciones de enmienda orgánica en sus diversos tipos (Salamanca, 2008).

Las aplicaciones de fertilizantes, ya sean sintéticos u orgánicos, influyen directamente en la dinámica nutricional del suelo (Frioni, 1999). La dinámica del nitrógeno a su vez está regida de forma importante por la influencia de los microorganismos del suelo, dado que todos los procesos que derivan en la mineralización de ese nutriente en dicho medio son llevados a cabo por procesos enzimáticos microbianos (Tisdale y Nelson, 1991).

En este experimento se hace uso de dos fuentes de insumo nitrogenado, el abono orgánico en forma de compost (De Grazia *et al.*, 2006) y fertilizante sintético (Tisdale y Nelson, 1991) como urea que es la más usada en el cultivo de maíz en la costa peruana por su alta ley y precio bajo, con el propósito de hacer evidente el impacto o relevancia de cada fuente en la productividad del maíz amarillo duro en dos sistemas de siembra. Para el efecto se realizaron las combinaciones de diferentes dosis de ambos insumos (desde la aplicación nula hasta la aplicación de dosis altas de los mismos), que permita ver las distintas respuestas a obtener en cada caso.

Asimismo, para analizar en mayor medida las interacciones de los tratamientos antes mencionados se implementaron bajo dos sistemas de siembra; esto es, distanciamiento entre surcos, ya que, por ejemplo, Van Kessel y Roskoski (1988) mencionan que cuando se aproximan las plantas de maíz en el campo, tienden a acelerar el proceso de absorción de nitrógeno, aumentando la competencia intraespecífica entre ellas. En este estudio con la mayor y menor aproximación de plantas se ha esperado respuesta diferenciada del cultivo, y un mayor bagaje para el análisis de respuestas.

Finalmente, se busca que los resultados obtenidos sean útiles para intervenir en el medio productivo con procesos más inherentes a la dinámica del suelo y, por ende, más sostenibles y de menor costo; ello, sin disminuir la productividad potencial en el campo. Por lo que el objetivo de esta investigación es estudiar el efecto de fuentes orgánicas y sintéticas de nitrógeno en un cultivo de maíz

amarillo duro con distintas dosis de cada una de las fuentes y en combinación con dos sistemas de siembra en campo bajo riego por goteo.

2. Materiales y métodos

El experimento se llevó a cabo en un suelo agrícola de textura franco arenoso, pH ligeramente alcalino y bajo en materia orgánica (Tabla 1) del Centro Experimental del Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA), ubicado en Lima, a 12 ° 05' de latitud sur, 74 ° 57' de longitud oeste, y 250 m.s.n.m. Dicho experimento consistió en la aplicación de tres niveles de nitrógeno de urea (0, 120 y 240 kg/ha) y tres niveles de compost (0, 5 y 10 t/ha), de relación C/N 11.82 (Tabla 1), en dos sistemas de siembra (surco simple y surco pareado), en el cultivo de maíz PM -102. Amarillo duro variedad "Experimental 5", de periodo vegetativo de 160 a 180 días, de grano anaranjado y con un potencial de rendimiento de 12 t/ha de grano.

Tabla 1. Análisis de suelo experimental y del compost aplicado

	Análisis de Suelo		Análisis de Compost	
	Surcos Simples	Surcos Pareados	pH	7.66
Textura	Franco arenoso	Franco arenoso	CE (dS/m)	7.85
pH	7.42	7.47	MO (%)	28.25
CE (dS/m)	3.96	3.04	N (%)	1.26
% MO	1.09	1.16	C (%)	14.89
P (ppm)	31.3	12.2	Humedad (%)	47.82
K (ppm)	526	374	Na (%)	0.14
CIC (meq/l)	9.6	11.52	C/N	11.82
Cationes cambiables:				
Ca ⁺²	7.10	8.95		
Mg ⁺²	1.52	1.62		
K ⁺	0.74	0.64		
Na ⁺	0.24	0.31		

Los sistemas de siembra (Figura 1) establecidos en el estudio tuvieron las siguientes características:

- Sistema de siembra en surcos simples. El distanciamiento entre surcos fue de 75 cm. Las cintas de riego por goteo del tipo convencional se instalaron a 5 cm. de las líneas del cultivo. Es decir, la distancia entre cintas de riego también es de 75 cm. y van paralelas con los surcos de siembra.
- Sistema de siembra en surcos próximos o pareados. El distanciamiento entre cintas de riego fue de 150 cm.; y a 5 cm. de ambos lados de la cinta se instalaron las líneas de siembra (surcos), resultando un distanciamiento de 10 cm. entre ellas. De este modo es que de una pareja de líneas de siembra a otra próxima hay 140 cm. de distancia.

Ambos sistemas con igual área de unidad experimental resultaron con igual densidad o población de plantas.



Figura 1. Fotos del campo experimental tomadas de noche, el mismo día que se aplicó el riego; correspondientes al sistema de siembra en surcos simples (izquierda), y surcos pareados (derecha)

En cada sistema de siembra se implementaron parcelas divididas en bloques al azar con dos repeticiones; siendo una de las parcelas el factor A o fuente orgánica de nitrógeno en forma de compost (De Grazia *et al.*, 2006; Salamanca, 2008) con 3 niveles (0, 5, 10 t/ha); y la otra el factor B o dosis de nitrógeno sintético (Tisdale y Nelson, 1991; Mengel y Kirby, 2000) en forma de urea con 3 niveles (0, 120, 240 kg/ha de nitrógeno). Los tratamientos aplicados en cada sistema de siembra se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2. Tratamientos aplicados en cada sistema de siembra.

Tratamiento	Factor A Fuente orgánica en forma de compost (t/ha)		Factor B Nitrógeno sintético en forma de urea (kg/ha)	
	Nivel	Dosis	Nivel	Dosis
	1 (T1)	1	0	1
2 (T2)	1	0	2	120
3 (T3)	1	0	3	240
4 (T4)	2	5	1	0
5 (T5)	2	5	2	120
6 (T6)	2	5	3	240
7 (T7)	3	10	1	0
8 (T8)	3	10	2	120
9 (T9)	3	10	3	240

La siembra se realizó el 05 de julio del 2011. Se hizo en una sola aplicación del 100% de las dosis de compost, y se fraccionó en dos (50%) la aplicación del fertilizante sintético urea. En el caso de compost, cuya relación C/N indica que se trata de compost maduro (Tabla 1), procesado por seis meses, se consideró innecesaria la aplicación a la siembra, lo que también permitió el abonamiento inicial de ambas fuentes de nitrógeno en la misma fecha posterior a la siembra. En efecto, a los 15 días de siembra (19 de julio) se abonó con toda la dosis de compost en línea corrida al costado de los plantones de maíz, y de la misma manera con la mitad de las dosis de N-urea en los tratamientos correspondientes. Igualmente, en esa fecha se abonó todos los tratamientos con 100 kg/ha de fósforo (P_2O_5) en forma de superfosfato triple y 50 kg/ha de potasio (K_2O) en forma de sulfato de potasio. En la segunda fecha de abonamiento (08 de septiembre) se completó la dosis de nitrógeno de

la fuente urea en los tratamientos correspondientes. El volumen de agua de riego por goteo aplicado en toda la campaña fue de 2472.6 metros cúbicos/ha en el sistema en surcos simples y de 2464.8 metros cúbicos/ha en el sistema en surcos pareados. El último riego se hizo el 16 de diciembre del 2011. Se realizó sólo un control químico sanitario de malezas a los 15 días de la siembra, con el herbicida post emergente atrazina, a dosis de 1 l/ha. Otros dos controles de malezas se realizaron manualmente, un mes y dos meses antes de la floración masculina.

Durante los primeros cuatro meses del ciclo vegetativo del cultivo la temperatura ambiental promedio fue de 15 °C, con máxima de 21 °C en octubre y mínima de 12.5 °C en septiembre. En los dos meses siguientes (etapa reproductiva) la media fue de 19 °C, máxima de 25.5 °C y mínima de 15 °C (Senhami, 2011).

Se tomaron las evaluaciones de las siguientes variables: variables productivas como rendimiento de grano, número de mazorcas por planta, longitud y diámetro de mazorca, peso de mazorca y peso de 1000 granos; variables de precocidad como días hasta la antesis (floración masculina) y días hasta la emisión de estigmas (floración femenina); y variables vegetativas como altura de planta, diámetro del tallo, número de hojas totales por planta y acame de raíz.

Se evaluó por separado cada sistema de siembra, y también se realizó el análisis conjunto de los mismos para evaluar la interacción de los factores sistemas de siembra o factor C. Los cálculos y evaluaciones estadísticas se realizaron con los softwares estadísticos: SAS Institute (vr. 9.0) y MINITAB Solutions (vr. 16).

3. Resultados y discusión

Dado que esta investigación se hizo tomando en cuenta que el cultivo de maíz es nitro-positivo (Khan *et al.*, 2011), que requiere altas dosis de fertilizantes nitrogenados para alcanzar óptima producción; el enfoque de CIMMYT para generar tecnologías rentables y ambientalmente sostenibles del cultivo de maíz en el Perú, y teniendo en cuenta que la fuente de fertilizante nitrogenado más usada en ese cultivo en la costa peruana es urea, se alcanzó el resultado mostrado en el Tabla 3.

En el análisis de variancia de los componentes de rendimiento de grano no se ha encontrado diferencias significativas entre los tratamientos aplicados, ni en la interacción entre las fuentes de nitrógeno, urea y compost. Ello indica que, para las condiciones experimentales, es indiferente aplicar ya sea urea, compost o ninguno. Se considera que este resultado también refleja la influencia de un factor de variación no controlado en el experimento, la compactación subsuperficial del suelo. En el transcurso de conducción del experimento se percibió señales de ese proceso (impedancia subsuperficial, Botta *et al.* 2016) causada por el uso continuo de maquinaria pesada en labores de labranza y aporque. En efecto, la distribución de los rendimientos de grano en las subparcelas da indicios de la tendencia del desarrollo de compactación (Tabla 4).

Tabla 3. Efecto de fuentes nitrogenadas en las variables del cultivo de maíz evaluadas en dos sistemas de siembra durante la campaña de julio-diciembre del 2011 en la costa peruana

Sistema de Siembra	Tratamiento Establecido	Compost (t/ha)	Urea (kg N/ha)	Flor Masculina (Días)**†	Flor Femenina (Días) †	Altura Planta † (Metros)	Diámetro del Tallo * (Milímetros)	No. Hojas Totales * (hojas/planta)	No. Mazorcas (Mazorcas/u. exp.)	Longitud de Mazorca (Milímetros)	Diámetro de mazorca (Milímetros)	Peso 1000 granos * (gramos)	Rendimiento de grano * (t/ha)
Surcos Pareados	T1	0	0	119	122,5	2,5	23,95	16,5	82	174,5	48,5	421,34	7,96
Surcos Pareados	T2	0	120	118	122,5	2,55	23,9	15,4	80,5	185	48,5	426,93	8,37
Surcos Pareados	T3	0	240	116	122	2,45	24,15	16,4	82	175,5	49	433,32	8,55
Surcos Pareados	T4	5	0	118	122,5	2,5	23,9	16,55	81	176,5	48,5	414,80	8,05
Surcos Pareados	T5	5	120	119,5	123,5	2,15	23,1	15,4	80	159,5	48	385,31	7,18
Surcos Pareados	T6	5	240	116	126	2,25	23,3	15,2	82	169	47,5	402,06	7,29
Surcos Pareados	T7	10	0	120,5	125	2,55	23,25	15,5	78	181,5	47,5	407,85	7,19
Surcos Pareados	T8	10	120	121	126,5	2,55	25,25	16,2	78,5	184	47	412,67	7,81
Surcos Pareados	T9	10	240	120,5	126,5	2,55	24,25	15,35	78	181,5	48	400,73	7,51
Promedio				118,72	124,11	2,45	23,89	15,83	80,22	176,33	48,06	411,67	7,77
Surcos Simples	T1	0	0	121	125,5	2,65	26,3	16,35	78,5	187	51	451,37	9,37
Surcos Simples	T2	0	120	118,5	125,5	2,65	25,9	16,55	80,5	188,5	49,5	471,66	9,88
Surcos Simples	T3	0	240	116,5	122,5	2,75	26,5	16,95	82	182,5	49,5	452,71	10,64
Surcos Simples	T4	5	0	116,5	122,5	2,75	25,6	16,9	80	191,5	50,5	450,28	10,61
Surcos Simples	T5	5	120	117,5	122,5	2,65	25,7	16,6	79	180,5	48,5	468,99	9,59
Surcos Simples	T6	5	240	116,5	124,5	2,6	27,6	16,4	79,5	170	48,5	442,08	9,95
Surcos Simples	T7	10	0	118	126	2,5	24,3	16,75	80,5	186,5	48	438,19	8,54
Surcos Simples	T8	10	120	119,5	123,5	2,5	25,7	16,5	79	188	50,5	423,32	9,46
Surcos Simples	T9	10	240	118,5	125,5	2,5	25,5	16,8	76,5	189	48,5	438,70	9,12
Promedio				118,06	124,22	2,62	25,90	16,64	79,50	184,83	49,39	448,59	9,68

Nota: *, Diferencias significativas entre sistemas de siembra al 95%. **, Diferencias significativas al 99 % en la interacción entre los sistemas de siembra y las dosis de compost. †, Diferencias significativas entre las dosis de compost al 95% en el sistema de riego en surcos pareados.

Tabla 4. Rendimiento de maíz grano (kg/ha) obtenidos en cada subparcela con los tratamientos aplicados presentado en la forma de croquis de campo

Campo de frijol																										
Calle																										
C A M P O	Bloque I	Surcos simples								Surcos pareados								T R O C H A								
		10 t/ha				0 t/ha				5 t/ha				0 t/ha					5 t/ha				10 t/ha			
		240 kg/ha	0 kg/ha	120 kg/ha	0 kg/ha	240 kg/ha	120 kg/ha	120 kg/ha	240 kg/ha	0 kg/ha	240 kg/ha	0 kg/ha	120 kg/ha	0 kg/ha	240 kg/ha	120 kg/ha	120 kg/ha		240 kg/ha	0 kg/ha	240 kg/ha	0 kg/ha				
D E C H A L A	Sub- parcela	T9	T7	T8	T1	T3	T2	T5	T6	T4	T3	T1	T2	T4	T6	T5	T8	T9	T7							
		8.48	8.38	8.67	8.37	10.90	10.04	9.83	10.07	12.40	9.40	8.15	8.66	7.68	7.76	7.38	8.08	6.64	6.80							
		Calle																								
M A L L E	Bloque II	5 t/ha				10 t/ha				0 t/ha				5 t/ha				0 t/ha				10 t/ha				
		240 kg/ha	0 kg/ha	120 kg/ha	0 kg/ha	120 kg/ha	240 kg/ha	120 kg/ha	0 kg/ha	240 kg/ha	0 kg/ha	240 kg/ha	120 kg/ha	240 kg/ha	120 kg/ha	0 kg/ha	240 kg/ha	0 kg/ha	240 kg/ha	0 kg/ha	120 kg/ha					
		T6	T4	T5	T7	T8	T9	T2	T1	T3	T4	T6	T5	T3	T2	T1	T9	T7	T8							
C H A L A	Sub- parcela	9.83	8.82	9.35	8.70	10.26	9.77	9.72	10.37	10.38	8.41	6.82	6.99	7.69	8.09	7.78	8.39	7.57	7.54							
		Calle																								
		Experimento de parcelas demostrativas (campo de maíz amarillo duro)																								

Así, se observa que cualquiera sea el tratamiento aplicado, hacia el centro del campo experimental los rendimientos por subparcela son mayores que de aquellos ubicados hacia ambos bordes del ancho de la parcela, coincidiendo con los movimientos más pesados de la maquinaria en esos bordes. Wolkowsky Lowery (2008) observaron que la compactación del suelo afecta severamente el desarrollo radicular del maíz, siendo mayor en los bordes que el centro mismo. Este efecto también se observa claramente en el bloque I del sistema de siembra en surcos simples al comparar los rendimientos de las subparcelas de los tratamientos T9 (10 t/ha de compost y 240 kg N/ha) y T1 (testigo sin aplicación), ambos ubicados hacia el mismo borde produjeron prácticamente igual rendimiento.

Con respecto a la fuente usada de nitrógeno sintético, la mayoría de las recientes investigaciones como de Mayanga (2011), Vásquez (2007), Concha (2007), Sánchez (2007) y Pampa (2004), llevadas a cabo en similares condiciones geográficas, suelo (Typic Torrifluvent franco arenoso de pH neutro y bajo en materia orgánica) y fertirrigado que señala Villarreal (2006), encuentra respuestas significativas a las dosis de fertilización nitrogenada; con la diferencia de que la fuente usual fue nitrato de amonio y siembra en camas altas. De manera similar reportan en otras latitudes Fosu-Mensah y Mensah (2016) y Faheed *et al.* (2016), ambos usando sulfato de amonio. Asimismo, el Programa de maíz de la Universidad Nacional Agraria – La Molina en sus investigaciones de los años 1970-80 en la costa peruana estableció que el maíz responde a nitrato y sulfato de amonio, y que, por el contrario, no encontró respuesta a la urea (Salhuana *et al.*, 2004); del mismo modo Mohamed El-Murdata (2011) en Sudan, encontró además que la fuente sulfato nitro amónico se comportó mejor que la urea. Sin embargo, también hay reporte de otras latitudes que indican respuesta positiva a la fuente nitrogenada urea, Woldeesenbet y Haileyesus (2016), Kandil (2013) con dosis de 357 kg/ha, Sharifi y Namvar (2016) y Noellsch *et al.* (2009) con urea de lenta liberación.

La alternativa de combinaciones órgano-mineral de la fuente nitrogenada emergió como respuesta a la crisis petrolera de los años 1970 que afectó la producción industrial del fertilizante nitrogenado. Tal alternativa, en las condiciones de esta investigación, no dio.

En la Tabla 4. se muestra el rendimiento de maíz grano (kg/ha) obtenidos en respuesta positiva significativa, incluso frente al testigo absoluto. Este hecho también reporta Aguirre (2016) usando ácidos húmicos y niveles de fertilización nitrogenada; también Nyamangara y Bergstrom (2002) reportan que 60 ó 120 Kg NH_4NO_3 / ha combinados ya sea con 12 ó 37 t /ha de estiércol compostado produjo las más altas pérdidas de nitrógeno por lixiviación Sin embargo, Iqbal *et al.* (2013) encontraron respuesta superior en rendimiento de grano al aplicar 60% de estiércol combinado con 38.5% de urea a través del sistema de riego.

La otra alternativa de aplicación de sólo materia orgánica como fuente de nitrógeno, en este caso 5 t compost/

ha, numéricamente arrojó los más altos rendimientos, similares que con 240 kg N-urea/ha. Y por el contrario, con 10 t de compost /ha se obtuvo valores menores de rendimiento de grano. Bavec *et al.* (2013) encontraron que, a igualdad de contenido de nitrógeno, la fuente orgánica de la pasta de procesamiento de aceite produjo rendimiento de grano tan igual que las fuentes minerales conteniendo NH_4NO_3 . Martínez (2011) también, en condiciones de macetas, encontró respuesta superior al compost frente a otras fuentes orgánicas.

Ahora bien, ninguno de los promedio de los tratamientos superó el potencial de rendimiento de grano de la variedad experimentada (12 t/ha). Pero una subparcela del T4 (5 t compost/ha), ubicada en la parte central de la parcela, alcanzó 12.4 t/ha; lo que evidencia que la compactación sería también la causa limitante de dicho potencial en las otras subparcelas alejadas del centro del campo experimental. Pampa (2004) y Villarreal (2006) en semejantes condiciones y variedad, obtuvieron similares rendimientos en los testigos que a los alcanzados en este experimento. INIA, desde los años 1990, dejó el uso intensivo de fertilizantes sintéticos en sus campos experimentales, y en su alternativa optó por los abonos orgánicos. Calderón (1987) y Huauya (2011) estimaron 7 t /ha de rendimiento de grano de maíz amiláceo en las mismas chacras maiceras quechua con ocurrencia natural de leguminosa acompañante *Medicago hispida*, hongos micorriza arbuscular y bacterias libres y microaerófilas fijadoras de nitrógeno y, donde usualmente no se abona (Frioni, 1999). El resultado nuestro, en el que el rendimiento del testigo sin aplicación resulta significativamente igual que con las fuentes de nitrógeno aplicadas; y, tomando en cuenta que aún en el tratamiento con sólo 5 t/ha de compost se mineraliza, según la estimación de Eusufsai (2013) y Hartz *et al.* (2000), sólo el 17% del N del compost, el nitrógeno extraído por la planta, más de 170 kg/ha (Ciampetti y García (2007), indicaría la ocurrencia natural de la actividad de nitrogenasa rizosférica. Esta ocurrencia es favorecida por las condiciones edáficas y clima (Caballero, 1986 y Zapater, 1975), pH del suelo, y en el que desde los años 1990 se ha reducido la aplicación de nitrógeno sintético, y siendo el maíz planta C-4 que atrae a las bacterias libres fijadoras de nitrógeno (Zapater, 1975), y el mantenimiento del humedad óptima, probablemente han contribuido al rendimiento obtenido. También Rimski - Korsakov *et al.* (2008) observaron en el maíz con el uso de 0 a 240 kg/ha de nitrógeno sintético que, bajo altas aplicaciones de nitrógeno sintético, el mayor aporte de este nutriente a la planta provino mayormente del suelo. Asimismo, Gardner y Drinkwater (2009) corroboran, con más de 100 estudios recopilados en cultivos de grano con el uso de isótopo ^{15}N , indicando que de las fuentes y el aporte potencial de nitrógeno a la planta de cada componente del sistema (suelo, fertilizantes, y otros), adquiere relevancia los componentes distintos a la convencional actualmente asumida (Montañez *et al.*, 2009) en la producción de cultivos.

Efecto de los sistemas de siembra

El análisis de variancia conjunto mostró diferencias significativas entre sistemas de siembra en diámetro de tallo, número de hojas, peso de 1000 semillas y rendimiento de grano (Tabla 3). Igualmente, se encontró diferencias altamente significativas en la interacción entre los sistemas de siembra y los niveles de compost en la variable número de días a la floración masculina (Figura 2). Y también diferencias significativas entre las dosis de compost en el sistema de surcos pareados para las variables días a la floración masculina y femenina, y altura de planta (Tabla 4).

El sistema de siembra en surcos gemelos se ha promovido como alternativa al de surcos simples para siembras de altas densidades de plantas; con lo que se disminuye la competencia entre ellas, se alivia el estrés por alta densidad de plantas y, por lo tanto, mejora el rendimiento (Robles *et al.*, 2012). A pesar de ello, en igualdad de población (66,000 plantas/ha), el sistema de siembra en surco simple dio mayor rendimiento de grano que el de surco pareado o gemelo (Tabla 3); el mismo se complementa con el vigor de las plantas (diámetro de tallo), capacidad fotosintética (número de hojas) y calidad de grano (peso de 1000 semillas) que también fueron mayores en el sistema de surco simple. Robles *et al.* (2012) en tres campañas no encontraron diferencias en el rendimiento de grano en estos dos sistemas de siembra para diferentes densidades e híbridos; a pesar de mayor espaciamiento e intercepción inicial de radiación, esas ventajas se anulan con mayores densidades y con el crecimiento de la planta. Por el contrario, Gozubenli *et al.* (2004) y Balem *et al.* (2014) reportan diferencias significativas a favor de la siembra en surcos gemelos, cuyo rendimiento aumenta hasta la densidad de 90,000 y 95,000 plantas/ha como lo refieren respectivamente.

Esta diferencia de rendimiento de grano a favor del sistema de siembra de surco simple se explica por la distribución de la longitud de cinta de riego que fue el doble que del surco pareado. En otras palabras, se distribuyó en surco pareado dos líneas de siembra por una de cinta de riego; y en surco simple una línea de siembra por una de cinta de riego; con lo que la distribución de humedad fue más extendida en surco simple y más reducido en surco pareado (Figura 1). Este hecho generó, en comparación con el surco simple, mayor competencia ínter específica por nutrientes y espacio en surco pareado (Van Kessel y Roskoski, 1988), gobernado por la extensión de la humedad. En efecto, el desarrollo del sistema de raíces era más extendido en surco simple y, por lo tanto, mayor volumen de suelo explorado que en surco pareado.

En cuanto a 7.8 m³ de diferencia (por defecto técnico del sistema de riego) del volumen total de agua de riego aplicado a favor de surco simple, equivale tan sólo a 0.13 m³ (0.15 mm de lámina de riego),

insignificante. Por otro lado, Pampa (2004) en similares condiciones geográficas, técnica de riego y variedad de maíz, aplicó 3,924.97 m³/ha de agua de riego, cuando el agua requerida por el cultivo era 3,336.2 m³/ha. Es decir, en nuestro experimento se usó el agua más eficientemente; y con la frecuencia de riego de dos veces por semana con dos horas de duración en surco pareado y una en surco simple por vez en los tres primeros meses, y luego, en los siguientes tres meses, tres veces por semana, se mantuvo la humedad en el rango óptimo con muestras de signos de vitalidad del cultivo.

Respecto a la interacción entre los niveles de fuente orgánica (compost) y los sistemas de siembra en la variable antesis masculina (Tabla 3), se observa que, en ambos sistemas, la mayor aplicación de compost (10 t/ha) prolonga el número de días de floración (Figura 2).

A medida que decrece la aplicación de ese insumo, se reduce los días a la floración. Vemos claramente que con 5 t/ha se adelanta la floración masculina, con lo que es más precoz en surco simple que en pareado. Uhart y Andrade (1995) mencionan que la tasa de crecimiento de la espiga y cultivo tiene una estrecha relación; se retarda la floración bajo deficiencia de nitrógeno. Entonces, la fuente orgánica de nitrógeno, el compost, acorta los días para el inicio de floración.

La prueba estadística de comparación t de las variables de los días a la floración masculina y femenina y altura de planta en el sistema de surcos pareados (Tabla 5), indica que la floración masculina se adelanta tanto con la dosis de 5 t/ha de compost y sin aplicación, en comparación con 10 t/ha de compost. En floración femenina muestra la misma tendencia, pero indiferente entre 0 y 5 t/ha de compost, diferente entre 0 y 10 t/ha., e indiferente entre 5 y 10 t/ha.

La altura de planta resulta mayor con 0 y 10 t/ha de compost que con 5 t/ha. Woldesenbet y Haileyesus (2016) y Kandil (2013) reportan que la altura de planta aumentó con niveles incrementales de nitrógeno; lo que también coincide la tenencia numérica con 240 Kg de N-urea /ha en el sistema de surco simple. Y con respecto al 0 t/ha de compost se debería a la actividad de bacterias fijadoras de N₂ presentes naturalmente en esas condiciones edáficas. En efecto, Cvijanovic y Dozet (s/año) reportan que con inoculación de bacterias fijadoras de nitrógeno, aumentó la altura de planta.

Tabla 5. Resultado de las Pruebas de comparación de T de las variables significativas en el sistema de siembra en surcos pareados

Dosis de Compost	Variables					
	Floración masculina		Floración femenina		Altura de planta	
0 t/ha	117.67	B	122.3	B	2.50	A
5 t/ha	117.83	B	124.0	AB	2.30	B
10 t/ha	120.67	A	126.0	A	2.55	A
	LSD = 0.585		LSD = 2.342		LSD = 0.0586	

Nota: Medias con letras distintas difieren estadísticamente al 95 %. LSD = Least significant difference, o la diferencia mínima a considerarse como significativa entre las medias indicadas.

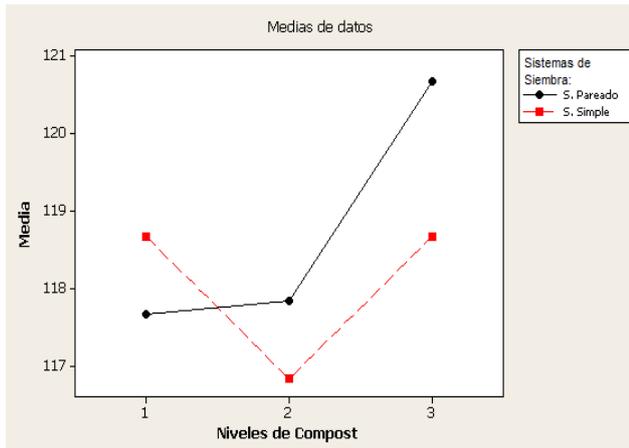


Figura 2. Interacción entre los sistemas de siembra y los niveles de fuente orgánica o compost (siendo 1, 2 y 3 los correspondientes a las dosis de 0, 5 y 10 t/ha de compost respectivamente) en la antesis a la floración masculina.

4. Conclusiones

En los resultados obtenidos, para las condiciones experimentales y los tratamientos establecidos, la fuente orgánica (compost) de nitrógeno produjo estadísticamente similar rendimiento de maíz grano que la fuente sintética, en la que la tendencia numérica indica que 5 t/ha de compost maduro produce tan igual que la alta dosis sintética de 240 Kg N-urea/ha. Asimismo, sin aplicación de esas fuentes también se obtuvo estadísticamente igual rendimiento que con dichas fuentes; aunque numéricamente la tendencia es inferior al efecto de ellas. Por otro lado, el sistema de siembra en surcos simples dio estadísticamente rendimiento superior frente al sistema de siembra en surco pareado. Y finalmente, en el sistema de siembra en surcos pareados la interacción significativa de los factores mostró que la dosis de 5 t/ha de compost aumenta la precocidad en la floración masculina en comparación con la dosis de 10 t/ha.

5. Agradecimientos

Se agradece el apoyo del Proyecto “Apoyo del CIMMYT para generar tecnologías rentables y ambientalmente sostenibles en el cultivo de maíz en el Perú”; la colaboración de los trabajadores de campo del INIA Perú (Sede Central) y del PCIM de la UNALM.

6. Literatura citada

Aguirre, E. 2016. Efecto de la aplicación de humatos de potasio y de la fertilización nitrogenada en el rendimiento de maíz morado CV. Prosemilla (*Zea mays* L.) bajo RLAF: goteo. Tesis Ing. Agrónomo. Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú.

Balem, Z.; Modolo, A.; Muzell, M.; Oliveira, T.; Baesso, M.; Brandelero, E.; Trogello, E. 2014. Conventional and twin row spacing in different population densities for maize (*Zea mays* L.). African Journal of Agricultural Research Vol. 9(23): 1787-1792.

Bavec, F.; Bavec, M.; Fekonja, M. 2013- Organic and mineral fertilizer in sweet maize (*Zea mays* L. saccharata Sturt.) production under temperate climate. Zemdirbyste-Agriculture, 100 (3).

Botta, G.; Becerra, A.; Rivero, E.; Laureda, D.; Fonterosa, A.; Barneto, S.; Martiren, V. 2016. Compactación del suelo producida durante el tráfico de la cosechadora de soja (*Glycine max* L.) en la Pampa Argentina. XII Congreso Latinoamericano y del Caribe de Ingeniería Agrícola. CLIA (2016): 67-73.

Caballero, C. 1985. Evaluación del coeficiente Rizósfera-Suelo (R/S) en el trigo (*Triticum durum*) 'Estaquilla', referida a las BLFN. Tesis. Ing. Agrónomo. UNALM-Perú.

Calderón, C. 1987. Micorrizas vesicular-arbuscular en el cultivo de maíz en la sierra peruana. Tesis MSc. Universidad Nacional Agraria – La Molina.

Ciampitti, I. y García, F. 2007. Requerimientos nutricionales. Absorción y extracción de macronutrientes y nutrientes secundarios. I. Cereales y oleaginosos industriales. Informaciones Agronómicas del Cono Sur N° 33. Archivo Agronómico N° 11, Buenos Aires, Argentina (pp. 13 – 16).

Concha, M. 2007. Efecto de la fertilización N-P-K en el crecimiento y rendimiento de tres híbridos de maíz (*Zea mays* L.) bajo riego por goteo. Tesis Ing. Agrónomo. Universidad Nacional Agraria – La Molina.

Cvijanovic, G.; Dozet, G. s/f. Effect of biological and mineral nitrogen on soil and maize (*Zea mays* L.). Disponible en: <http://www.semenarska.rs/UNS-PSU/radovi/1/21%20CVIJANOVIC%20DOZET%20264-276.pdf>.

De Grazia, J.; Tittone, P.A.; Chiesa, A. 2007. Efecto de sustratos con compost y fertilización nitrogenada sobre la fotosíntesis, precocidad y rendimiento de pimiento (*Capsicum annuum*). Ciencia e Investigación Agraria, 34(3), 195-204.

Eusufzai, M. K.; Sanjit, K.; Deb, S. K.; Maeda, T.; Fujii, K. 2013. Mass loss and C and N release from decomposing fresh and composted residues as affected by cold climate conditions. Environment and Natural Resources Research 3, 116 – 127. doi:10.5539/enrr.v3n2p116.

Faheed, F.; Mohamed, E.; Mahmoud, H. 2016. Improvement of maize crop yield (*Zea mays* L.) by using of nitrogen fertilization and foliar spray of some activators. Journal of Ecology of Health & Environment, 4 (1): 33-47.

Frioni, L. (1999) Procesos Microbianos. Editorial de la Fundación de la Universidad Nacional de Rio Cuarto. Argentina.

Fosu-Mensah, B. and mensah, M. 2016. The effect of phosphorus and nitrogen fertilizers on grain yield, nutrient uptake and use efficiency of two maize (*Zea mays* L.) varieties under rain fed condition on Haplic

- Lixisol in the forest-savannah transition zone of Ghana. *Environ Syst Res*, 5(22): 1-17.
- Gardner, J. B.; Drinkwater, L. E. 2009. The fate of nitrogen in grain cropping systems: a Meta-analysis of N15 field experiments. *Ecological Applications*, 19(8): 2167-2184.
- Gozubenli, H.; Kilinc, M.; Sener, O.; Konuskan, O. 2004. Effects of single and twin row planting on yield and yield components in maize. *Asian Journal of Plant Sciences* 3 (2): 203-206.
- Hartz, T.; Mitchell, J.; Giannini, C. 2000. Nitrogen and Carbon Mineralization Dynamics of Manures and Composts. *Hort Science* 35(2): 209-212.
- Huauya, M. 2011. Evaluación de las bacterias rizosféricas fijadoras de N₂ durante el ciclo vegetativo del maíz (*Zea mays* L.) bajo el sistema de agricultura natural en Oyolo-Ayacucho. Tesis Biólogo. Universidad Nacional Agraria – La Molina.
- Iqbal, S.; Khan, H. Z.; Ehsanullah, Akbar, N.; Zamir, M. S. I.; Javeed, H. M. R. 2013. Nitrogen management studies in maize (*Zea mays* L.) hybrids. *Cercetari Agronomice in Moldova*, XLVI (3): 155.
- Kandil, E. 2013. Response of some maize hybrids (*Zea mays* L.) to different levels of nitrogenous fertilization. *Journal of Applied Sciences Research*, 9(3): 1902-1908.
- Khan, H. Z.; Iqbal, S.; Iqbal, A.; Akbar, N.; D. L. Jones. 2011. Response of maize (*Zea mays* L.) varieties to different levels of nitrogen. *Crop Environ.*, 2: 15-19.
- Martínez, C. 2011. Comparativo de fuentes orgánicas en la fertilización del cultivo de maíz (*Zea mays* L.) en suelo arenoso en invernadero. Tesis Ing. Agrónomo. Universidad Nacional Agraria – La Molina.
- Mengel K. y Kirby A. (2000). *Principles of Plant Nutrition*. 4th Edition, Editorial International Potash Institute, Bern, Switzerland.
- Mohamed El-Murtada H. A. 2011. Effect of different nitrogen sources on growth, yield and quality of fodder maize (*Zea mays* L.) J. Saudi Soc. Agric. Sci. 10: 17-23.
- Montañez, A.; Abreu, C.; Gill, P. R.; Hardarson, G.; Sicardi, M. 2009. Biological nitrogen fixation in maize (*Zea mays* L.) by ¹⁵N isotope-dilution and identification of associated culturable diazotrophs. *Biology and fertility of soils*, 45(3): 253-263.
- Nyamangara, J.N. and Bergstrom, L.F. 2002. Effects of organic and inorganic nitrogen fertilizer on maize (*Zea mays* L.) nitrogen uptake and nitrate leaching measured in field lysimeters. *JASSA*, 8 (1): 2002.
- Noellsch, A.J.; Motavalli, P. P.; Nelson, K. A. and Kitchen, N. R. 2009. Corn response to conventional and slow-release nitrogen fertilizers across a clay pan landscape. *Agronomy Journal*, 101 (3): 607-614.
- Pampa, A. 2004. Efecto de la fertilización nitrogenada y de la aplicación de hierro bajo dos modalidades: foliar y al suelo, en el rendimiento de maíz (*Zea mays* L.) híbrido PM 212 bajo riego por goteo. Tesis Ing. Agrónomo. Universidad Nacional Agraria – La Molina.
- Rimski - Korsakov H.; Rubio G.; Pino I. y Lavado R. S. 2008. Destino del nitrógeno del fertilizante en un cultivo de maíz. *Informaciones Agronómicas IPNI* 39: 1-5.
- Robles, M.; Ciampitti, I. and Vyn, T. 2012. Responses of maize hybrids to twin-row spatial arrangement at multiple plant densities. *Agronomy Journal*, 104:1747-1756.
- Sánchez, V. 2007. Efecto de fertilización nitrogenada-potásica en el crecimiento y rendimiento de tres híbridos de maíz (*Zea mays* L.) bajo RLAf: goteo. Tesis Ing. Agrónomo. Universidad Nacional Agraria – La Molina.
- Salamanca, C. 2008. Efecto de las fuentes orgánicas obtenidas de los subproductos agroindustriales de la caña de azúcar (*Saccharum officinarum*, L.) y el plátano (*Musa* spp.) sobre la actividad microbiana y enzimática en el suelo. Tesis Ing. Agrónomo. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias Agropecuarias. Palmira valle, Colombia.
- Salhuana, W.; Valdez, A.; Scheuch, F. y Davelouis, J. 2004. Cincuenta años del Programa Cooperativo de Investigaciones en Maíz (PCIM), 1953 – 2003. Programa Cooperativo de Investigaciones en Maíz ©. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, Perú.
- SENHAMI. 2011. Registro meteorológico del Observatorio Meteorológico Alexander Humboldt (12°03'01 latitud sur y 76°55'18).
- Sharifi, R. S.; Namvar, A. 2016. Effects of time and rate of nitrogen application on phenology and some agronomical traits of maize (*Zea mays* L.) *Biologija*, 62. (1): 35-45.
- Tisdale, S. y Nelson, W. (1991). Fertilidad del suelo y fertilizantes. Editorial Limusa S. A. México.
- Uhart, S. A. and Andrade, F. H. 1995. Nitrogen deficiency in maize: I. Effects on crop growth, development, dry matter partitioning, and kernel set. *Crop Science*, 35(5): 1376-1383.
- Van Kessel, C. and Roskoski, J. P. (1988) Row spacing effects of N₂-fixation, N-yield and soil N uptake of intercropped cowpea and maize. *Plant and Soil*, 111(1): 17-23.
- Vásquez, S. 2007. Efecto de la fertilización nitrogenada y de la aplicación de zinc bajo dos modalidades: foliar y al suelo, en el rendimiento de maíz (*Zea mays* L.) híbrido PM-702 bajo riego por goteo. Tesis Ing. Agrónomo. Universidad Nacional Agraria – La Molina.
- Villarreal, M. 2006. Efecto de la fertilización nitrogenada en tres híbridos experimentales y un híbrido comercial de maíz (*Zea mays* L.) bajo riego por goteo. Tesis Ing. Agrónomo. Universidad Nacional Agraria La Molina,

Lima, Perú.

Woldesenbet, M. and Haileyesus, A. 2016. Effect of nitrogen fertilizer on growth, yield and yield components of maize (*Zea mays* L.) in decha district, southwestern Ethiopia. *International Journal of Research-granthaakayah*, 4 (2): 95-100.

Wolkowsky, R. and Lowery, B. 2008. Soil compaction: causes, concerns and cures. Division of Cooperative Extension of the University of Wisconsin-Extension 2008.

Zapater, J. 1975. Evaluación en el maíz del coeficiente Rizósfera/Suelo (R/S) referente a las bacterias libres fijadoras de nitrógeno. *Anales Científicos. UNALM*, XIII (1-2): 45-57.