

Efecto de diferentes mezclas de nitrógeno, fósforo y potasio en el desarrollo y rendimiento del híbrido de maíz (Zea mays L) 19-10 (Fenalce) Yacuanquer, Nariño – Colombia

Effect of different mixtures of nitrogen, phosphorus and potassium on the development and yield of the corn hybrid (Zea mays L) 19-10 (FENALCE) Yacuanquer (Nariño, Colombia)

Javier García Álzate¹, Liz Patricia Moreno Fonseca², Jesús Eduardo Muriel³

Autor de correspondencia: Profesor Asociado. Facultad de Ciencias Agrícolas. Universidad de Nariño. San Juan de Pasto. Colombia. javier@udenar.edu.co

Cómo citar: Fonseca-Carreño, N. E., (2019). Efecto de diferentes mezclas de nitrógeno, fósforo y potasio en el desarrollo y rendimiento del híbrido de maíz (Zea mays L) 19-10 (FENALCE) Yacuanquer (Nariño, Colombia). *Revista Ciencias Agropecuarias*, 5(1), 3-12. DOI: 10.36436/24223484.190

Resumen

El objetivo del estudio fue evaluar el efecto de diferentes mezclas de N-P-K en el crecimiento y desarrollo del híbrido de maíz 19-10 (FENALCE). La investigación se realizó en la Finca “La Granja” vereda Arguello Bajo, Municipio de Yacuanquer (Nariño, Colombia). Se utilizó un diseño de bloques completos al azar, con tres repeticiones y ocho tratamientos correspondientes a dosis de N,P,K, (302 kg.ha⁻¹ de Urea, 483 kg.ha⁻¹ de DAP, 185 kg.ha⁻¹ KCl, y sus combinaciones) y un testigo sin fertilizante. Las variables evaluadas, fueron altura de planta (PH), peso fresco (FW) y seco (DW) de la planta (raíz, tallo, hojas), Phytochromia (FER), diámetro de tallo (SD), número de hojas (NH) y rendimiento de grano (Y). Se presentaron diferencias significativas en las variables, PH, SD, FW, NH; DW de raíz y rendimiento de grano (Y) entre tratamientos. La Phytochromia osciló entre 3,8 y 1,1 días, valores para el testigo y la aplicación de N y K, respectivamente. La Phytochromia, disminuyó cuando se acercó la aparición de la inflorescencia, (masculina y femenina), variando en el tiempo para cada tratamiento, entre 2,6 y 1,1 días, donde el T5 (N, K) tuvo mayores valores al inicio del cultivo y el menor al final de la aparición de la inflorescencia, lo que pudo determinar el

rendimiento de los tratamientos. La aplicación de N K, fue significativamente mayor en PH (190,6 cm), SD (7,55 cm), FER y rendimiento (6,99 t ha⁻¹), seguido por la aplicación de la mezcla de N, P y K con 6,28 t ha⁻¹, el menor rendimiento se presentó con el testigo (4,16 t ha⁻¹), seguido de la aplicación de N (4,42 t ha⁻¹); de la misma forma NH osciló entre 11,3 (Testigo) y 16,7 para la aplicación de N, K (T5). La formación fisiológica de la inflorescencia masculina (40 días después de siembra) y femenina (60 días después de siembra), afectó todos los órganos de la planta, lo que se reflejó en la curva de crecimiento y desarrollo de la planta.

Palabras clave: Maíz, desarrollo raíz, tallo, hojas, rendimiento, fertilización N,P,K.

¹Profesor Asociado, Facultad de Ciencias Agrícolas. Universidad de Nariño. San Juan de Pasto. Colombia. javier@udenar.edu.co.

²Profesora Asociada, Universidad Nacional de Colombia. Bogotá. Colombia.

³Ingeniero Agrónomo, Ms.C. FENALCE. San Juan de Pasto. Colombia.

Abstract

The objective of the study was to evaluate the effect of different dosage of N-P-K on the growth and development of the corn hybrid 19-10 (FENALCE). The research was conducted on the farm "La Granja", village of Arguello, municipality of Yacuanquer (Nariño, Colombia) using a randomized complete block design, with three repetitions and eight treatments corresponding to doses of N, P, K, (302 kg.ha⁻¹ Urea, 483 kg.ha⁻¹ DAP, 185 kg.ha⁻¹ KCl, and combinations thereof) and a control without fertilizer. The measured variables were plant height (PH), fresh weight (FW) and dry weight (DW) of root, stem, and leaves, Phytochromia (FER), stem diameter (SD), leaves number (NH), and yield (Y). There were significant differences among treatments in the variables: PH, SD, FW, NH, DW of roots, and yield (Y). The Phytochromia, for the control and the application of NK, oscillated between 3.8 and 1.1 days, respectively. The Phytochromia decreased from 2.6 to 1.1 days when the appearance of the inflorescence (male and female) approached, varying in time for each treatment. T5 (N, K) had higher values at the beginning of the culture and lower at the end of the inflorescence appearance, which could determine the performance of the treatments. The application of NK was significantly higher in PH (190.6 cm), SD (7.55 cm), FER and yield (6.99 t ha⁻¹); followed by the mixture of N, P and K with 6.28 t ha⁻¹, the control showed the lowest yield (4.16 t ha⁻¹), followed by N (4.42 t ha⁻¹); in the same way, NH oscillated between 11.3 (Control) and 16.7 for N, K (T5). The formation of the male inflorescence (40 days after sowing) and female inflorescence (60 days after sowing), affected all the organs of the plant, which was reflected in the growth curve and plant performance.

Keywords: Corn, root growth, stem, leaves, yield, fertilization N, P, K.

Introducción

El maíz (*Zea mays* L.), es originario de México y es una de las primeras plantas cultivadas por los agricultores no (de los granos alimenticios más antiguos (48); debido a sus bondades y multitud de usos se ha convertido en el cultivo más importante entre los cereales a nivel mundial, la producción orbital para el año 2015 fue de 1062 millones de toneladas (45), de las cuales el 90% correspondieron a maíz amarillo y el 10% restante a maíz blanco. A nivel mundial, el maíz ocupa el tercer lugar en área de siembra, con alrededor de 175 millones de has, su siembra se

realiza en 135 países y se comercializan en el mercado internacional más de 90 millones de toneladas (23).

El maíz en Colombia, es el segundo cereal después del arroz y en los últimos diez años el área cultivada ha sido en promedio de 452.597 hectáreas por año, con rendimientos medios de 1,5 t ha⁻¹, para los productores tradicionales y 3.0 t ha⁻¹ para los tecnificados; sin embargo, en el Valle del Cauca, Córdoba y la Zona Central Cafetera, se obtienen producciones entre 4 y 6 t ha⁻¹ (8). El maíz (*Zea mays* L.) es el cultivo de mayor importancia para la alimentación de los colombianos. Su área corresponde a una tercera parte del total sembrado de cultivos de ciclo corto, ocupó el primer lugar en superficie con 555.000 hectáreas en 2008 y una producción cercana a 1,8 millones de toneladas (11). De estas el 28% corresponde a maíz tecnificado y el 72% a maíz tradicional con un promedio de 1239 kg ha⁻¹.

En Nariño el cultivo de maíz es fundamental en su dieta alimentaria y en sus ingresos (41). El nivel tecnológico del cultivo de maíz en el departamento de Nariño es bajo. Para el año 2013 se sembraron alrededor de 16000 hectáreas de maíz, bajo sistema tradicional y tecnificado con un rendimiento promedio de 1,1 t ha⁻¹ y 3,3 t ha⁻¹, respectivamente. Las densidades de siembra, época y nivel de fertilización, son algunos de los factores que inciden en el bajo rendimiento del cereal, ya que en la actualidad, las recomendaciones de fertilización utilizadas por los agricultores son muy generales y en algunos casos no se relacionan con los requerimientos de nutrientes y la disponibilidad en el suelo, dando lugar a un uso desequilibrado e ineficiente de los fertilizantes y a elevados costos de producción. En el año 2013, los productores de maíz invirtieron en el manejo de enmiendas y fertilización un 35,1% de los costos totales de producción (10,11).

Para un buen diagnóstico que permita recomendar fertilizantes y/o enmiendas es preciso conocer cuáles son los requerimientos minerales del cultivo (51), los niveles críticos del elemento en el suelo y tejidos del cultivo, la eficiencia en la extracción de los nutrientes (25). En este sentido Qinghua., M., et al 2015, sugiere que dosis de 140 kg ha⁻¹ en maíz en el trópico (36), puede ser la óptima en maíz, siendo el N, el elemento al que existe mayor respuesta, pero a la vez mayor lixiviación (31).

De la misma forma, la cantidad de fósforo para el cultivo puede estar cercana a 200 kg.ha⁻¹ (21). Por otra parte INTA (2008), encontró que la dosis ideal de potasio puede ir de 0 a 100 kg.ha⁻¹;

así, la relación ideal de fertilización para el cultivo de maíz puede estar cerca de 140 kg ha⁻¹ de N, 200 kg ha⁻¹ de P y 100 kg ha⁻¹ de K, si se considera una distancia de siembra de 1,2 m x 0,3 m, la cantidad de fertilizante por sitio sería de 5 g de N, 7,2 g de P y 3,6 g de K, lo cual es acorde con las cantidades dispuestas en la presente investigación (19).

Con base en estas consideraciones, el objetivo de la presente investigación fue evaluar el efecto del N, P₂O₅ y K₂O en diferentes cantidades y combinaciones en el desarrollo y rendimiento de maíz, híbrido experimental FNC 19-10, de Fenalce en el municipio de Yacuanquer (Nariño, Colombia).

Materiales y métodos

El trabajo de investigación se realizó en la finca “La Granja” ubicada en la Vereda Arguello Bajo, en el Municipio de Yacuanquer, en un lote localizado a latitud 1° 8' 16,7" N y longitud 77° 27' 34,2" O, a una altura de 1800 msnm. La temperatura media fue de 21°C y la precipitación de 143 mm durante el tiempo de investigación (18). El suelo es franco, con un pH 6,3, con un contenido de materia orgánica (m.o) de 4,4 %, fósforo 22,6 p.p.m., potasio 0,48 m.e.q/100 g suelo, siendo un suelo alofánico. El material de siembra fue el híbrido experimental de maíz 19-10, proporcionado por FENALCE (Federación de cultivadores de Cereales de Colombia), el cual se sembró a 0,30 metros entre planta, 1,20 metros entre surcos y 2 plantas por sitio (55.555 pl ha⁻¹). La fertilización se realizó a la siembra, las dosis a aplicar se calculó con base en el análisis de suelos; las características físicas del mismo; y las extracciones del material vegetal.

La preparación del suelo se llevó a cabo de manera convencional (un pase de arado y dos de rastrillo), la siembra se realizó manualmente colocando dos semillas de maíz por sitio, el control de arvenses se realizó con un manejo integrado, el cual incluyó: control manual, mecánico y químico (Atrazina) 15 días después de siembra. Para el manejo de plagas, como *Spodoptera frugiperda* se realizó manejo integrado, con rotación de insecticidas. Se realizaron dos riegos por aspersión, uno a la siembra y a los 60 días después de siembra.

Los tratamientos fueron distribuidos en un diseño de bloques completos al azar con tres repeticiones y una unidad experimental de veinte (20) plantas, útiles por parcela, entre las cuales se tenía en cuenta dos plantas por tratamiento para hacer los muestreos destructivos. Los tratamientos consistieron en tres

(3) cantidades de N, P y K (8, 8, y 4 g respectivamente) y sus mezclas para formar siete tratamientos y un testigo sin fertilización, para un total de ocho (8) tratamientos. El diseño utilizado fue de bloques completos al azar, el cual constó con siete (7) tratamientos, un testigo y tres repeticiones. Los tratamientos consistieron en la aplicación de N (Urea), P₂O₅ (D.A.P) y K₂O (K Cl) y sus mezclas (Tabla 1).

Tabla 1. Cantidad (gramos por planta) de N, P, K, fuentes fertilizantes y sus mezclas aplicadas por sitio en maíz Fenalce 19 10, en Argüello Bajo (Nariño, Colombia).

Tratamiento	Cantidad de elemento sitio ⁻¹	Fuente y cantidad (gr) sitio ⁻¹
1	Nitrógeno (8 gramos)	17,39 g Urea (46 % NH ₄)
2	Fósforo (8 gramos)	17,39 g D.A.P (46 % P ₂ O ₅ ; 18 % NH ₄)
3	Potasio (4 gramos)	6,66 K Cl (60 % K ₂ O)
4	Nitrógeno (8,68 gr) más Fósforo (8gr)	34,78 g (17,39 g Urea + 17,39 g D.A.P)
5	Nitrógeno más Potasio	24,05 g (17,39 g Urea + 6,66 g KCl)
6	Fósforo más Potasio	24,05 g (17,39 g D.A.P + 6,66 G KCl)
7	Nitrógeno más fósforo más potasio	41,44 g (17,39 g Urea + 17,39 g D.A.P + 6,66 g KCl)
8	Testigo	Sin aplicación de fertilizante

Los tratamientos en cada uno de los bloques tuvieron borde individual y se realizaron muestreos destructivos cada 20 días, para particionar, donde se midió el peso fresco y seco (laboratorio) de raíz, tallo, hojas; rendimiento de grano.

Parámetros de crecimiento

Las evaluaciones biométricas, se hicieron sobre diez y seis plantas cada vez, donde se midió la Phylochromia (FER): altura de la planta (PH): medida como la distancia en (cm) comprendida entre la base de la planta hasta el último nudo del tallo, fecha de emisión y número de hojas emitidas, peso fresco y peso seco (laboratorio) de planta completa, raíz, tallo, hojas, por separado, así como el diámetro del tallo (SD) medido en forma ecuatorial a nivel del entrenudo de la parte media en (cm). Igualmente se midió el peso fresco de planta completa y de cada órgano por separado (raíz, tallo, hojas), posteriormente se determinó el peso seco llevando el material vegetal a un horno de secado a 70°C hasta peso constante (35).

El rendimiento (Y) se determinó por la producción de grano en cada una de las parcelas útiles para ese propósito, que tenían una dimensión de 30,25 m². Para su cálculo se tuvo en cuenta el factor de corrección (CF) que representa una pérdida del 15% de humedad del grano, al momento de cosecha, por tanto, se utilizó la siguiente fórmula:

Rendimiento = PC (% MS) x %D x (FC) x K, Donde:
 PC: Peso de mazorcas obtenidas en la parcela útil con su respectivo porcentaje de humedad.
 %MS: Porcentaje de masa seca de grano

$$\%MS = \frac{100 - \text{humedad del grano}}{100}$$

%D: Porcentaje de desgrane

$$\%D = \frac{\text{peso promedio granos/mazorcas}}{\text{peso promedio/mazorcas}} \times 100$$

$$FC = \frac{100}{86}$$

K: constante de área para expresar en kg ha⁻¹, que resulta de dividir una hectárea entre el área de la parcela útil.

$$K = \frac{10000m^2}{\# \text{ parcela util } m^2}$$

Análisis de la información

Los datos fueron sometidos a un análisis de varianza (ANOVA) y son presentados como el valor promedio para cada tratamiento. Se realizó una prueba de Tukey (P < 0,05) para evaluar el efecto de los tratamientos y las variables medidas.

Resultados y discusión

La Tabla 2, presenta el análisis de varianza para la información que tuvo diferencias estadísticas, debidas a la aplicación de las dosis de N, P y K y sus mezclas, las cuales fueron en la altura de planta, peso seco de raíz y tallo, hojas y rendimiento.

Tabla 2. Análisis de varianza para las variables que presentaron diferencias estadísticas en maíz Fenalce 19- 10, fertilizado bajo diferentes mezclas de N, P2O5, K2O, en la localidad de Argüello Bajo, Nariño- Colombia.

Fuente de Variación	G.L	C.M Variable					Rendimiento	
		Altura planta	Nº hojas	Peso seco hojas	Peso seco raíz	Peso seco tallo		
Modelo	9	633,97	124,66	473,54	287,33	1010,56	25,82	7,66
Fertilización	7	755,44	592,2	509,92	347,87	1185,87	182	9,39
Bloque	2	208,8	57,87	346,21	75,46	396,97	3,51	1,62
Error	14	122,28	2,61	27,88	50,30	401,29	1,85	0,31
Total	23							

G.L.: grados de libertad, N: Número, C.M: Cuadrado Medio.

La altura de planta, presentó en la prueba de Tukey, (Tabla 3), al tratamiento T5 (N, K) con la mayor altura (190,6 cm) y la menor altura fue el testigo (156,1 cm), coincidiendo con Abbasi et al. (2013), quienes encontraron respuesta en altura en maíz a la aplicación de N y K mostrando que los fertilizantes pueden ayudar a mantener la parte estructural y de crecimiento de la planta (1,6). Diallo et al., 2016 reporta que el maíz requiere entre 200 y 300 kg ha⁻¹ de N y similar de K (6) y consistente con Oyarzun, 2010 que estima que son necesarios para el crecimiento del maíz (34). Lo que estaría acorde con la cantidad de la fuente aplicada (222 kg ha⁻¹), en la presente investigación y obtenida bajo condiciones similares en otras latitudes (50). Así mismo. Se ha encontrado que la fertilización nitrogenada en maíz induce crecimiento de la planta y aumenta la biomasa, debido a la presencia del carbono de la materia orgánica (43).

Tabla 3. Variables de crecimiento y rendimiento en plantas de maíz Fenalce 19-10 obtenidas bajo diferentes cantidades y combinaciones de N, P2O5 y K2O en la localidad de Argüello Bajo, Nariño Colombia.

Tratamiento	Altura planta (cm)	Diámetro Tallo (cm)	Número Hojas	Peso Seco raíz (g)	Rendimiento (t ha ⁻¹)
1 N	168,3 b	6,12 c	13,3 bc	32,32 b	4,42 b
2 P	173,5 b	5,79 cd	13 b	25,18 c	5,09 abcd
3 K	173,6 b	6,14 c	12,7 b	24,98 bc	5,57 bcd
4 N P	174,2 b	6,23 c	14,3 bc	28,58 b	4,88 abc
5 N K	190,6 a	7,55 a	16,7 e	40,17 a	6,99 e
6 P K	176,3 b	6,19 c	15,3 cd	27,70 b	5,68 cd
7 N P K	190,5 a	6,99 b	16,3 d	44,88 a	6,28 de
8 Testigo	156,1 c	5,57 d	11,3 a	25,73 b	4,16 a

Los promedios marcados con las mismas letras no difieren estadísticamente a una P < 0.05 Tukey.

El diámetro de tallo fue el mayor alcanzado (7,55 cm) cuando se aplicó N y K, como hasta ahora en todas las variables evaluadas, y el menor diámetro fue el testigo y la sola aplicación de fósforo (Tabla 3), lo que puede ser posible ya que el fósforo tiene como una de sus funciones principales la formación de raíces y hacer parte de los compuestos de energía en la planta (17, 29), así mismo, cada uno de los elementos aplicados en forma sola, no presentaron mayor influencia en el desarrollo del tallo, pero si lo fueron cada vez que estuvieron acompañados por el N y K, debido posiblemente a una mayor interceptación luminosa, por efecto del N, que aumenta la eficiencia de la tasa de asimilación (42). La aplicación de nitrógeno más potasio (T5), muestra el mayor peso fresco de tallo (283,36 g), así como el menor peso (193,99 g) lo expresó el testigo, mientras los demás tratamientos oscilaron entre 196,77 y 253,34 gramos (Tabla 4), al parecer la influencia del potasio fue importante, ya que está involucrado en el transporte de agua a través de él, y posiblemente hacen

que su peso fresco sea alto, de la misma forma, el N, es un elemento que aporta al peso por acumulación de materia fresca y seca en la planta (46). Sin embargo, la transformación de este en materia seca fue similar a la obtenida por la raíz en porcentaje.

El peso seco del tallo varió con las dosis de fertilizante (Tabla 4), manteniendo la misma tendencia de lo observado en materia fresca, es de resaltar que la presencia de nitrógeno parece potenciar la conversión en tejido seco cada vez que aparece como fertilizante (33) siendo el potasio el elemento acompañante del N, el que presentó mayor influencia en la transformación en materia seca, ya que este elemento y el Si, Ca y Mg, son los principales constitutivos de cenizas en maíz, dando la mayor transformación en materia seca (27).

Al momento de la aparición de la inflorescencia masculina (85 días después de siembra), el número promedio de hojas por planta osciló entre 11,3 y 16,7 hojas por planta, habiendo diferencias estadísticas entre ellas (Tabla 3) siendo el T5 el de mayor número de hojas. Para las condiciones de la investigación, el ritmo de emisión foliar decreció a medida que se acerca la emisión de la inflorescencia masculina (Tabla 5).

Tabla 4. Peso (promedio, g) fresco y seco del tallo en maíz Fenalce 19- 10, a través del tiempo, cultivado bajo diferentes dosis de N, P2O5 y K2O.

	D.D.S.	20	40	60	90	120	Total	% Co
T1 (N) Fresco		14,91	19,98	46,31	113,05	196,77	391,02	
T1 (N) M.S.		6,65	0,86	56,52	66,78	96,55	227,36	58,15
T2 (P ₂ O ₅) Fresco		8,68	21,29	39,28	71,33	211,23	351,81	
T2 (P ₂ O ₅) M.S.		3,84	0,98	35,67	79,93	91,90	212,32	60,35
T3 (K ₂ O) Fresco		10,78	21,09	41,20	86,65	212,52	372,24	
T3 (K ₂ O) M.S.		4,77	1,09	41,82	81,94	93,80	223,42	60,02
T4 (N + P ₂ O ₅) Fresco		13,54	14,92	46,62	111,57	208,11	394,76	
T4 (N + P ₂ O ₅) M.S.		6,03	1,18	55,79	80,60	100,56	244,16	61,85
T5 (N + K ₂ O) Fresco		20,61	36,06	44,61	71,91	283,36	465,55	
T5 (N + K ₂ O) M.S.		9,10	2,95	79,93	112,95	139,06	343,99	73,89
T6 (P ₂ O ₅ + K ₂ O) Fresco		12,59	14,66	44,61	92,18	206,46	370,50	
T6 (P ₂ O ₅ + K ₂ O) M.S.		5,60	0,65	46,09	79,79	90,17	222,30	60,00
T7 (N + P ₂ O ₅ + K ₂ O) Fresco		16,31	30,98	70,71	122,60	253,34	493,94	
T7 M.S. (N + P ₂ O ₅ + K ₂ O)		7,28	2,14	61,30	100,23	111,84	282,79	57,25
T8 (Testigo) Fresco		6,30	12,17	36,14	53,34	193,99	301,94	
T8 (Testigo) M.S.		2,82	0,45	26,67	71,39	80,98	182,31	60,38

D.D.S. Días después de siembra, % Co. Porcentaje de conversión en materia seca, M.S. Materia seca.

La Phylochromia (Tabla 5) osciló entre 3,8 y 1,1 días, valores para el testigo y el T5, respectivamente, lo que podría estar relacionado con el nivel de fertilización del maíz (39), ya que mayores niveles de nitrógeno inducen una mayor Phylochromia en maíz. Al momento de la formación de la inflorescencia masculina 40 días

después de siembra y hasta los 60 días (formación de mazorca), la Phylochromia está definida fisiológica y morfológicamente (47) y es esa la razón por la cual aumenta la emisión foliar con el paso de los días (Tabla 5), siendo mayor en el testigo (para esta etapa de cultivo) y menor en T3, lo que podría estar relacionado con esa diferenciación y el hábito de crecimiento determinado del maíz (26), ya que la formación de hojas había sucedido entre los días 40 y 60, y en consecuencia el número de hojas ya estaba determinado con anterioridad.

El peso fresco y seco de la raíz (Figura 1), mostró detenimiento en su desarrollo a los 40 y 60 días después de siembra, producto de la diferenciación floral, tanto masculina como femenina. La variable peso seco de raíz, presentó diferencias estadísticas entre tratamientos (Tabla 3). Al aplicar Tukey (5%), se encontró que la mezcla de N, P y K (T7) ofreció el mayor peso seco de raíz (44,87 g) (Figura 1B) y mayor transformación en materia seca, formado un mismo grupo de Tukey con el tratamiento 5 (N, K); seguido de T1 (N) y el de más bajo peso seco de raíz fue el T8 (Testigo) con 61,14 gr, aunque el fósforo es necesario para la formación del sistema radical, las cantidades dispuestas por la fuente y la cantidad en el suelo fueron suficientes para su desarrollo (5). Así mismo, se observó crecimiento de raíz hasta los 40 días después de la siembra (Figura 1), donde hay un lapso de estabilización de desarrollo, lo podría obedecer a la formación de la inflorescencia masculina (7) y de allí en adelante, se re inicia el crecimiento, hasta el día 90, donde, sucede el mismo fenómeno de detenimiento momentáneo en el crecimiento, posiblemente debido a la formación fisiológica de la floración femenina y la utilización de esa energía en esos procesos fisiológico. Sin embargo, el peso fresco de raíz no mostró diferencias entre tratamientos. La conversión a materia seca en la raíz osciló entre el 58,15 y 73,89 por ciento de la materia fresca, correspondiendo a los T1 y T5, respectivamente (Tabla 4).

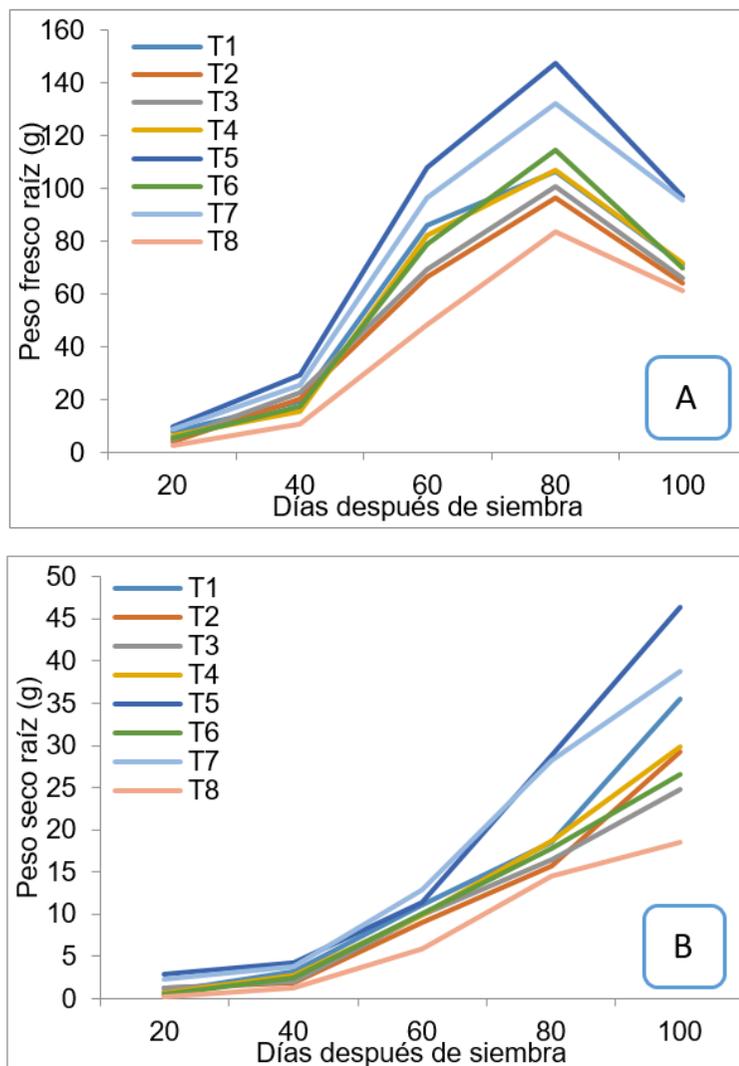
Tabla 5. Phylochromia, número de días por hoja, en maíz 19 10 Fenalce, cuando se aplicaron N, P2O5; K2O y sus mezclas en la localidad de Argüello Bajo Nariño (Colombia).

D.D.S.*	Phylochromia (Días)							
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8
20	3,2	4	3,3	3,3	2,6	3,5	3,3	3,8
40	2,6	2,5	2,3	2,9	2,1	2,2	2,1	3,3
60	2,1	2,1	2,2	2,2	1,8	2,4	2,1	2,5
80	1,7	1,8	1,8	1,6	1,4	1,5	1,5	1,9
100	1,4	1,5	1,5	1,3	1,1	1,3	1,2	1,7

*D.D.S. Días después de siembra.

La Figura 1B, indica que el tratamiento T7 que corresponde a la aplicación de la mezcla N, P, K, presentó el mayor peso seco de raíz y fue diferente estadísticamente con los demás tratamientos a los 100 días (52,17 g), corroborando lo encontrado por Zhenchang et al. (2012), al encontrar respuesta al N, bajo condiciones de buena humedad en el suelo (52). La aplicación de N+K (T5) siguió al anterior, donde el peso seco de raíz a los 100 días (Figura 2B) fue de 48,54g, así mismo, debido a la formación de micorrizas arbusculares (20), así mismo, se ha encontrado que hay respuesta a la aplicación de N, P, K en la formación de la raíz en maíz pero no ha sido significativo en cuanto al valor de ellos y la producción de grano (40).

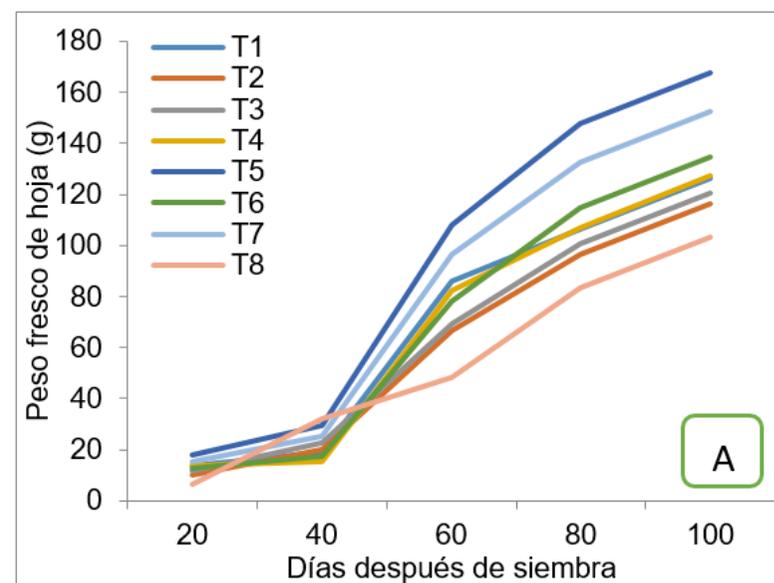
Figura 1. Peso (g) de la raíz en fresco (A) y seco (B) de maíz 19 10 Fenalce, bajo la aplicación de N, P, K y sus mezclas en Nariño (Colombia)

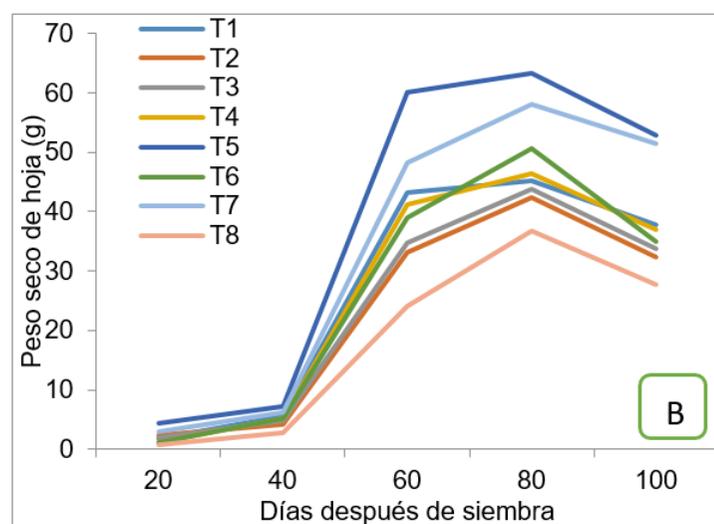


De acuerdo con los datos de campo, (Figuras 1, 2) se aprecia un incremento en el desarrollo de cada uno de los órganos de la planta, entre los 40 y 60 días, al parecer las mayores exigencias nutricionales se presentan en este punto (Tan y Lui, 2015), seguramente debido al inicio de formación de la fase reproductiva del maíz con la inflorescencia masculina (9). Así mismo, podría ser un punto de partida para definir la dosificación y aplicación de última fertilización (Corrales et al., 2004). La Figura 2B (Tabla 4), muestra que el tratamiento T5 (N + K₂O) mantiene diferencia desde el inicio del cultivo con los demás tratamientos, en cuanto a tejido fresco y la conversión a materia seca.

Después de los 40 y 60 días, el peso seco de hojas disminuye (Figura 2B), debido, muy posiblemente a la acción de los vertederos de mayor fuerza, como lo son las inflorescencias masculina y femenina, que arrastran todos los nutrientes (2) para la fecundación y formación de mazorca y granos (9). De la misma forma, la última medición de peso seco de hojas, coincidió con una disminución en el peso en fresco y seco de las mismas (Figura 2), seguramente debido a la senescencia de algunas hojas y a la susceptibilidad a problemas sanitarios, especialmente por patógenos, debido a la translocación de potasio especialmente (49).

Figura 2. Peso fresco (A) y seco (B) de hojas de maíz, obtenidos bajo diferentes dosis de N, P₂O₅, K₂O y sus mezclas en el municipio de Argüello Bajo (Nariño Colombia).





Rendimiento

El análisis de varianza para el rendimiento, mostró diferencias estadísticas entre tratamientos (Tabla 2). La Figura 3, indica que el tratamiento T5 que corresponde a la aplicación de nitrógeno más potasio, presentó el mayor rendimiento de grano, con 6,99 t ha⁻¹, aumentando un 59,45 % el rendimiento con respecto al testigo, de la misma forma el T7 (N, P₂O₅ y K₂O) con 6,28 t ha⁻¹ hace un mismo grupo de Tukey y significativamente diferentes (Tabla 3) sobre los otros tratamientos, presentando respuesta a la fertilización y los niveles de nitrógeno fósforo y potasio, probablemente debido a sinergia entre ellos (32) Los demás rendimientos de grano oscilaron entre 4,16 y 5,68 t ha⁻¹, siendo el testigo de menor rendimiento, mostrándose que hay respuesta a la fertilización (12,14), el incremento con respecto al testigo y el tratamiento de mayor producción fue de 2,83 t ha⁻¹ por encima, debido al incremento de los flujos de carbono (38), aprovechados por esta planta C₄, respuesta que al sólo elemento, presentó menor efecto en el rendimiento, sin embargo, Moreno et al. (2008) encontraron respuesta al fósforo al momento de la siembra, incrementándolo en un 22,2% y la combinación de N y P₂O₅ al momento de la siembra aumentó el rendimiento en un 32,5% (30). así mismo, Serna et al. (2010), encontraron respuesta a la aplicación de fósforo, que incrementó el rendimiento en 11,5% (37). Sin embargo, en el presente investigación no se observa una alta, respuesta a la aplicación de fósforo (Tabla 3), posiblemente debido al tipo de suelo derivado de cenizas volcánicas y altamente fijador de fósforo, con arcillas de tipo 2:1

(15,16). También se ha encontrado respuesta en el rendimiento a la aplicación de solo nitrógeno y bajo condiciones diferentes (4,13).

La respuesta a la aplicación de fertilizante (2,6 N: 2,6 P: 1K), fue significativamente diferente. La baja sinergia entre elementos y la interceptación luminosa, puede ser la causa de la baja respuesta de la acumulación de materia seca y rendimiento (28). Por tanto su respuesta como elemento solo, fue siempre menor, aún que la obtenida con el testigo (Tabla 3), lo que podría estar relacionado con la translocación de N de las hojas a la mazorca, que no siempre es positiva (22), así como la respuesta en producción del K y el P (24).

Si se divide el rendimiento de grano obtenido por la cantidad de fertilizante aplicado se puede encontrar que el incremento en el rendimiento fue mayor debido a la aplicación de K₂O, encontrándose que por cada kilogramo de la fuente aplicada, se espera obtener 50,27 Kg de maíz, mientras que por cada kilogramo de P₂O₅ y NH₄, aplicado se obtendrían 22,7 y 18,38 Kg de grano respectivamente. Más no es así para las diversas combinaciones de N, P y K.

Conclusiones

Se presentaron diferencias estadísticas en las variables, altura de planta, el peso seco de raíz, formación del tallo, hojas y en el rendimiento de grano, cuando se aplicaron diversas dosis de N, P y K, en maíz.

La aplicación de N y K, presentó los mayores valores a través del tiempo de cultivo, en todas las variables evaluadas, aún en aquellas que no presentaron diferencias estadísticas, lo que se vio reflejado en un mayor rendimiento de grano.

El mayor rendimiento obtenido fue de 6,99 t ha⁻¹ (T5 N, K), seguido de T7 (N, P, K), con 6,28 t ha⁻¹, frente al testigo con 4,16 t ha⁻¹.

La definición fisiológica de la formación de las inflorescencias, hace que se marque un estacionamiento temporal del desarrollo de raíz, tallo, hojas, lo que debe ser utilizado para determinar épocas de aplicación de fertilizantes en maíz. Es muy probable que la fertilización en maíz se deba realizar, máximo hasta los 60 días, momento de la diferenciación floral femenina.

Referencias

1. Abbasi MK , Tahir MM, Rahim N. Effect of N fertilizer source and timing on yield and N use efficiency of rainfed maize (*Zea mays* L.) in Kashmir–Pakistan. *Geoderma* 2013; 195-196: 87-93.
2. Amador RL, Boschini FC. Fenología productiva y nutricional de maíz para la producción de forraje. *Agronomía Mesoamericana* 2000; 11(1): 171-177.
3. Corrales GA, Acevedo ChO, Vanegas AH, Polania FF. Maíz en la zona cafetera. Colombia: Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. Federación Nacional de Cafeteros de Colombia. Fondo de Fomento Cerealista. Fenalce . 35p; 2004.
4. Cheng Y, Zhao J, Liu Zh-j, Liu P, Dong Sh-Th, Zhang J-w, Zhao B. Modified fertilization management of summer maize (*Zea mays* L) in north China improves grain yield and efficiency on nitrogen use. *Journal of Integrative Agriculture* 2015; 14 (8): 1644–1657.
5. Deguchi Sh, Uozumi S, Touno E, Uchino H, Kaneko M, Tawarayya K. White clover living mulch reduces the need for phosphorus fertilizer application to corn. *European Journal of Agronomy* 2017; 86: 87–92.
6. Diallo L, Qing-jun C, Zhen-ming Y, Jin-hu C, Ibrahim MDM. Effects of Various Doses of Mineral Fertilizers (NPKS and Urea) on Yield and Economic Profitability of New Varieties of *Zea mays* L. in Faranah, Guinea.. *Journal of Northeast Agricultural University* 2016; 23(1): 1- 8. doi: [https://doi.org/10.1016/S1006-8104\(16\)30025-3](https://doi.org/10.1016/S1006-8104(16)30025-3)
7. Fageria KN, Baligar CV, Clark BR. *Physiology of crop production*. 1 ed. United States of America: Haworth Press; 2005.
8. Federación Nacional de cultivadores de cereales y leguminosas. Departamento Económico. Indicadores cerealistas 2012 – 2013 A. In: Congreso Nacional Cerealista. Montería. Colombia. Junio 28 y 29. 2014
9. Garcia AJ, Fischer G, Riaño HNM. Effect of fertilization level on water use and production of corn (*Zea mays* L.) in a cereal producing area in Colombia - A modeling exercise AquaCrop-FAO. *Agron. Colomb* 2017; 35(1): 68 – 74
10. Garcia AJ. Comparison of simulation models and CREFT AquaCrop under Colombian conditions as a tool for decision-making and support corn production. [thesis doctoral]. Bogota: Faculty of Agricultural Sciences, Universidad Nacional de Colombia; 2014.
11. Garcia AJ, Riaño N, Magnitskiy S, Simulation of corn (*Zea mays* L.) production in different agricultural zones of Colombia using the AquaCrop model. *Agron. Colomb* 2014; 32(3): 358-366.
12. García J, Espinosa J. Efecto del fraccionamiento de Nitrógeno en la productividad y en la eficiencia agronómica de macronutrientes en maíz. *Informaciones agronómicas* 2009; 72:1-5.
13. Gidea M, Ciontu C, Sandoiu DL, Penescu A, Schiopu T, Nichita M. The Role of Rotation and Nitrogen Fertilization Level upon the Economic Indicators at Wheat and Corn Crops in Condition of a Long Term Experience. *Agriculture and Agricultural Science Procedia* 2015; 6: 24- 29
14. Gonçalves A, Nacke H, Strey L, Schwantes D, Selzlein C. Produtividade e componentes de produção do milho adubado com cu e NPK em um argissolo Scientia Agraria. *Curitiba* 2008; 9(1):35-40.
15. Granada DD, Moreno BAM, García AJ, Mejía JW. Sistema: “Frijol relevo Maíz. Intercalado en zocas de café. Una opción para diversificar la producción. *Cenicafé. Avances Técnicos* 2008; N° 375.
16. Guerrero RR. Maíz Tecnificado. Fertilización de cultivos de clima cálido. 2 ed. Bogotá: Monómeros Colombo Venezolanos S.A; 1991.
17. Huang S, Weijian Zh, Xichu Y, Qianru H. Effects of long-term fertilization on corn productivity and its sustainability in an Ultisol of southern China. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 2010; 138: 44-50.
18. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales- IDEAM (2017). Tiempo y clima. Recuperado de: http://www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/climatologico-mensual/document_library_display/xYvIPc4uxk1Y/view/18512937
19. Instituto Nacional de Innovación y Transferencia de Tecnología Agropecuaria (INTA). Manual de recomendación del cultivo

de maíz. San Jose, Costa Rica: INTA; 2008.

20. Kabir Z, O'Halloran IP, Fyles JW, Hame C. Dynamics of the mycorrhizal symbiosis of corn *Zea mays* L.: Effects of host physiology, tillage practice and fertilization on spatial distribution of extra-radical mycorrhizal hyphae in the field. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 1998; 68:151-163.
21. Korsakov R, Rubio G, Pino I, Lavado R. Destino del Nitrógeno del fertilizante en el cultivo de maíz. *International Plant Nutrition Institute (IPNI). Informaciones agronómicas del cono sur #38. Argentina: Programa latinoamericano del cono sur; 2008.*
22. Kosgey JR, Moot DJ, Fletcher AL, McKenzie BA. Dry matter accumulation and post-silking N economy of 'stay-green' maize (*Zea mays* L.) hybrids. *Europ. J. Agronomy* 2013; 51: 43- 52.
23. Lagos T, Torres M, Benavides C. Agronomic behavior of populations of yellow corn *Zea mays* L. in the Andean region of the department of Nariño. *Rev. Cienc. Agr* 2015; 32(1): 12- 23.
24. Law OK, Law OJ. The Performance of *Zea mays* as Influenced by NPK Fertilizer Application. *Notulae Scientia Biologicae* 2009; 1(1):59-62.
25. Laegreid W, Suwannarat C, Vearasilp T. NPK fertilizer management for maize: decision aids and test kits. *Thai Journal of Soil and Fertilizer* 1999; 22:174-186.
26. Lambers H, Chapin III, Stuart F, Pons, Th. L. *Plant Physiological Ecology. Second Edition.* New York: Springer Science Business Media; 2008.
27. Li Zh, Zhai H, Zhang Y, Yu L. Cell morphology and chemical characteristics of corn stover fractions. *Industrial Crops and Products* 2012; 37: 130-136.
28. Miao H-t, Lü J-l, Xu M-g, Zhang W-j, Huang Sh-m, Peng Ch, Chen L-m. Carbon and nitrogen allocations in corn grown in Central and Northeast China: different responses to fertilization treatments. *Journal of Integrative Agriculture* 2015; 14(6): 1212-1221.
29. Miransari M, Bahrami HA, Rejali F, Malakouti MF. Effects of soil compaction and arbuscular mycorrhiza on corn (*Zea mays* L.) nutrient uptake. *Soil & Tillage Research* 2009; 103: 282-290.
30. Moreno B, Narro L, Vanegas A, Molina G, Ospina J, Agudelo M. Respuesta del maíz a la fertilización química en la zona cafetera central de Colombia. *Cenicafé* 2008; 59(1):75-80.
31. Mucheru MMW, Mugendi D, Mugwe J, Kung'u J. Soil mineral N dynamics in a maize crop following different soil fertility amendments in different soil fertility status in sub-humid and semi-arid regions in Central Kenya. *Research Journal of Agriculture and Biological Sciences* 2009; 5(6): 978-993.
32. Muthaura Ch, Mucheru MM, Zingore Sh, Kihara J, Muthamia J. Effect of application of different nutrients on growth and yield parameters of maize (*Zea mays*), case of Kandara Murang'a county. *ARN Journal of Agricultural and Biological Science* 2017; 12(1): 19-33
33. Niemiec M, Cupiał M, Szeląg SA. Efficiency of celeriac fertilization with phosphorus and potassium under conditions of integrated plant production. *Agriculture and Agricultural Science Procedia* 2015; 7: 184- 191
34. Oyarzun, M. Respuesta productiva de un cultivo de maíz ("*Zea mays*" L. Var. *Dracma*) a distintas dosis de Nitrógeno con dos tipos de riego (aspersión e inundación) y efecto sobre la lixiviación de nitratos. España: Universidad Pública de Navarra. España, Escuela Pública de Ingenieros Agrónomos; 2010.
35. Padilla JM, Otegui ME. Co-ordination between Leaf Initiation and Leaf Appearance in Field-grown Maize (*Zea mays*): Genotypic Differences in Response of Rates to Temperature. *Annals of Botany* 2005; 96: 997-1007.
36. Qinghua M, Xin W, Hongbo L, Haigang L, Fusuo Zh, Zed R, Jianbo Sh. Comparing localized application of different N fertilizer species on maize grain yield and agronomic N-use efficiency on a calcareous soil. *Field Crops Research* 2015; 180: 72-79.
37. Serna C, Trujillo L, Urrea R. Respuesta del maíz (*Zea mays* L.) a la aplicación edáfica de N-P-K en un andisol de la región centro-occidente de caldas. *Revista de Agronomía Universidad de Caldas* 2011; 17(1): 68- 76.
38. Shao R, Deng L, Yang Q, Shangguan Zh. Nitrogen fertilization increase soil carbon dioxide efflux of winter wheat field: A case study in Northwest China. *Soil & Tillage Research* 2014; 143 :

164-171.

39. Shoban Ch K, Jagannathan R. Phyllochron in Five Maize Hybrids (*Zea mays* L.) at Different Nitrogen Fertilizer Levels. *Madras Agric. J.* 2013; 100 (Special issue): 353-354

40. Subaedah S, Aladin A, Nirwana (2015). Fertilization of Nitrogen, Phosphor and Application of Green Manure of *Crotalaria juncea* In Increasing Yield of Maize In Marginal Dry Land. *Agriculture and Agricultural Science Procedia.* 9: 20-25.

41. SIPSA- Sistema de información de precios e insumos y factores asociados a la producción (2009). Anuario estadístico de frutas y hortalizas 2004-2008 y sus calendarios de siembra y cosechas. Bogotá: Agronet. [Internet]. [Consultado 20 Sep 2016]. Disponible en: <http://bibliotecadigital.agronet.gov.co/handle/11348/6189>

42. Soleymani A. Light response of barley (*Hordeum vulgare* L.) and corn (*Zea mays* L.) as affected by drought stress, plant genotype and N fertilization. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology* 2017; 11: 1-8

43. Stewart CE, Halvorson AD, Delgado JA. Long-term N fertilization and conservation tillage practices conserve surface but not profile SOC stocks under semi-arid irrigated corn. *Soil & Tillage Research* 2017; 171: 9-18

44. Tan Zh, Liu Sh. Corn Belt soil carbon and macronutrient budgets with projected sustainable stover harvest. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 2015; 212: 119-126

45. USDA - Information and Services of United States Department of Agriculture. WASDE (World Agricultural Supply and Demand Estimates); 2016.

46. Wanga Zh, Liu F, Kang Sh, Jensen RCh. Alternate partial root-zone drying irrigation improves nitrogen nutrition in maize (*Zea mays* L.) leaves. *Environmental and Experimental Botany* 2012; 75: 36- 40.

47. Williams, M. Relationships among phenotypic traits of sweet corn and tolerance to crowding stress. *Field Crops Research* 2016; 185: 45-50.

48. Wellhausen, E. J., Roberts, L. M., Hernandez, X., & Mangels-

dorf, P. C. (1952). Races of maize in Mexico. Their origin, characteristics and distribution. *Races of maize in Mexico. Their origin, characteristics and distribution.*

49. Xin-hua Z, Hai-qiu Y, Jing W, Xiao-guang W, Qi D, Jing W, Qiao W. Response of root morphology, physiology and endogenous hormones in maize (*Zea mays* L.) to potassium deficiency. *Journal of Integrative Agriculture* 2016; 15(4): 785-794.

50. Yao P, Lib X, Nan W, Lib X, Zhang H, Shen Y, Li Sh, Yue Sh. Carbon dioxide fluxes in soil profiles as affected by maize phenology and nitrogen fertilization in the semiarid Loess Plateau *Agriculture, Ecosystems and Environment* 2017; 236: 120-133.

51. Zinyengere N, Mhizha T, Mashonjowa E, Chipindu E, Geerts S, Raes D. Using seasonal climate forecasts to improve maize production decision support in Zimbabwe. *Agricultural and Forest Meteorology* 2011; 151(12): 1792-1799.

52. Zhenchang W, Fulai L, Shaozhong K, Christian RJ. Alternate partial root-zone drying irrigation improves nitrogen nutrition in maize (*Zea mays* L.) leaves. *Environmental and Experimental Botany* 2012; 75: 36- 40.