



Incremento del rendimiento y calidad nutricional del arroz con fertilización NPK complementada con micronutrientes

Increase of yield and nutritional quality of rice with NPK fertilization complemented with micronutrients

Jairo Cedeño Dueñas¹; Galo Cedeño García^{1*}; Johanna Alcívar Alcívar²; Jessica Cargua Chávez³; Frowen Cedeño Sacón¹; George Cedeño García⁴; Gonzalo Constante Tubay¹

¹ Carrera de Ingeniería Agrícola, Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López, Campus Politécnico El Limón, sector El Gramal. Calceta, Manabí, Ecuador.

² Escuela de Nutrición y Dietética, Facultad de Ciencias de la Salud, Universidad Técnica de Manabí. Av. José María Urbina, Portoviejo, Manabí, Ecuador.

³ Carrera de Tecnología Superior en Producción Agrícola, Instituto Tecnológico Superior Calazacón, Av. Los Anturios y Calle B. Santo Domingo de los Tsáchilas, Ecuador.

⁴ Departamento de Agronomía, Facultad de Ingeniería Agronómica, Universidad Técnica de Manabí, km 13 ½ vía Portoviejo – Santa Ana. Santa Ana, Manabí, Ecuador.

Received May 29, 2018. Accepted November 12, 2018.

Resumen

El objetivo de la investigación fue evaluar el efecto de la fertilización NPK complementada con micronutrientes sobre el rendimiento y calidad nutricional del arroz. Se condujo un experimento en diez fincas arroceras de la zona de San Jacinto, Rocafuerte, Manabí. En cada finca se establecieron dos parcelas de 100 m², donde una recibió fertilización NPK + micronutrientes y la otra solo fertilización convencional con NPK. En ambos casos la dosis de fertilización fue de 180, 70 y 60 kg ha⁻¹ de N, P y K, respectivamente. En el primer caso se utilizaron fertilizantes compuestos que incluyeron micronutrientes y en el segundo caso fertilizantes convencionales. Los datos fueron analizados con prueba estadística de t de Student para observaciones pareadas. Las principales variables registradas fueron rendimiento y contenido nutricional del grano. Se evidenció un incremento en el rendimiento del 36,85% con la fertilización NPK + micronutrientes en relación al tratamiento control con NPK. De forma similar el contenido proteico, Fe y Zn se incrementó en 18,33, 31,58 y 33,33%, respectivamente, con la aplicación de micronutrientes, en contraste a la fertilización tradicional con NPK. Los resultados mostraron que la aplicación de micronutrientes contribuyó significativamente al incremento del rendimiento y calidad del grano de arroz.

Palabras clave: nutrición del arroz; elementos menores; productividad; biofortificación; calidad nutraceútica.

Abstract

The aim of this research was to evaluate effect of the NPK fertilization complemented with micronutrients on yield and nutritional quality of rice. An experiment was conducted in ten rice farms in the area of San Jacinto, Rocafuerte, Manabí. In each farm two plots of 100 m² were established, where one received NPK fertilization + micronutrients and the other only conventional fertilization with NPK. In both cases, the fertilization dose was 180, 70 and 60 kg ha⁻¹ of N, P and K, respectively. In the first case, compound fertilizers were used that included micronutrients and in the second case, conventional fertilizers. The data were analyzed with the Student t test for paired observations. The main variables recorded were yield and nutritional content of the grain. There was an increase in yield of 36.85% with fertilization based on NPK and micronutrients, in relation to the control treatment with NPK. Similarly, the protein content, Fe and Zn increased by 18.33, 31.58 and 33.33%, respectively, with the application of micronutrients, in contrast to the traditional fertilization with NPK. The results showed that the application of micronutrients contributed significantly to the increase of the yield and quality of the rice grain.

Keywords: rice nutrition; minor elements; productivity; biofortification; nutraceutical quality.

* Corresponding author
E-mail: alex.musaespan@gmail.com (G. Cedeño).

1. Introducción

El arroz (*Oriza sativa* L.) es el cultivo de mayor importancia desde el punto de vista social y económico a nivel mundial, puesto que junto con el maíz y trigo abastecen alrededor del 50% de la alimentación global (Gnanamanickam, 2009). El arroz se cultiva en casi todas las regiones tropicales y subtropicales del mundo, siendo la región asiática la mayor contribuyente en términos productivos con alrededor del 90% de la producción mundial, seguidos por África y América Latina como importantes productores y consumidores (Mohanty, 2013; Muthayya et al., 2014). Según pronósticos, la población global se incrementará en 2300 millones de personas al 2050 y con ella la demanda de alimentos, se prevé que el mayor crecimiento se dará en países en desarrollo donde la desigualdad en términos de ingresos per cápita es amplia entre los estratos sociales, lo cual comprometería la seguridad alimentaria en poblaciones vulnerables (FAO, 2009). En este contexto el arroz al ser el cultivo más consumido por la población, se deberán implementar estrategias para incrementar el rendimiento y garantizar la seguridad alimentaria de la creciente población (FAO, 2014). Entre las estrategias para incrementar la producción del cultivo está la creación de cultivares más productivos, tolerantes al cambio climático y con un uso más eficiente de nutrientes y agua (Serraj et al., 2011; Zhu et al., 2016; Dutta et al., 2016). Así mismo, para garantizar la calidad nutritiva de los alimentos se deben implementar estrategias de biofortificación agronómica de los cultivos a través de técnicas de fertilización foliar y edáfica, con la finalidad de prevenir las deficiencias de vitaminas y minerales de manera segura y efectiva, más aún cuando actualmente se estima que más de 2 mil millones de personas, entre estos niños y mujeres embarazadas carecen de estos nutrientes (IFPRI, 2014; Alshaal y El-Ramady, 2017; Cakmak y Kutman, 2017). En este sentido, biofortificar el cultivo de arroz es de vital importancia debido al alto consumo que tiene a nivel global, donde países como China han logrado reducir el 28 y 48% de la deficiencia de Fe y Zn en la gran parte de la población a través del consumo de arroz biofortificado mediante aplicaciones foliares de Fe y Zn en el cultivo (Das et al., 2013; Bashir et al., 2013; Zhang et al., 2017). En la actualidad se ha estimado que más de 20 millones de personas rurales ya consumen alimentos biofortificados, sin embargo, se

necesita de políticas públicas y privadas eficientes que masifiquen la producción y consumo de estos alimentos (Bouis y Saltzman, 2017). Según trabajos de investigación reciente, se ha demostrado que con la aplicación de micronutrientes a través de la fertilización edáfica y foliar, se ha logrado incrementar los rendimientos del cultivo (Shaygany et al., 2012; Alamdari y Mobasser, 2014; Siddika et al., 2016), así como también la calidad nutricional del grano de arroz, relacionada a una mayor concentración de proteína, Fe y Zn principalmente (Phattarakul et al., 2012; Yuan et al., 2012; Meena y Fathima, 2017). En Ecuador no se cuenta con una amplia información relacionada a la biofortificación del grano a través de la fertilización con micronutrientes, más aún en la provincia de Manabí que es una importante provincia productora de arroz. Por lo anteriormente expuesto, la investigación se justifica plenamente, cuyo objetivo principal fue evaluar el efecto de la fertilización NPK complementada con micronutrientes sobre el rendimiento y calidad nutricional del arroz.

2. Materiales y métodos

Localización

El experimento se desarrolló durante la época seca del 2017 en la zona arroceras de San Jacinto del cantón Rocafuerte, Manabí.

Material de siembra

El material genético utilizado fue el cultivar SFL-11 que es más difundido en zonas arroceras de Manabí, por su alto potencial de rendimiento y calidad comercial del grano.

Tratamientos de fertilización

Los tratamientos estudiados fueron: T1) fertilización edáfica con fertilizantes compuestos enriquecidos con micronutrientes, y T2) fertilización edáfica con fertilizantes convencionales a base de NPK. La dosis de fertilización edáfica fue decidida en base al reporte de análisis de suelo y la demanda nutricional del cultivo. Los resultados del análisis de suelo reportaron bajos contenidos de N, P, S, B, Zn, Fe y Mn; para K y Mg los niveles reportados fueron medios, y para Cu fueron altos. En base a lo anterior se decidió aplicar la dosis de 180, 70 y 60 kg ha⁻¹ de N, P₂O₅ y K₂O, respectivamente, en ambos tratamientos. En la Tabla 1, se detalla el plan de fertilización para ambos tratamientos.

Tabla 1

Plan de fertilización aplicado a los tratamientos de fertilización basados en NPK con y sin micronutrientes

Fuentes de nutrientes	Cantidad de fertilizantes (kg ha ⁻¹)	kg ha ⁻¹					g ha ⁻¹			
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	MgO	S	B	Zn	Mn	Fe
Tratamiento 1: Fertilización NPK + micronutrientes										
YaraVera Amidas	365	146	-	-	-	22	-	-	-	-
YaraMilla Complex	150	18	16	27	4	12	22	20	300	300
MicroEssentials SZ	135	16	54	-	-	13	-	1350	-	-
Korn Kali + B	82	-	-	33	5	4	200	-	-	-
Total		180	70	60	9	51	222	1370	300	300
Tratamiento 2: Fertilización NPK										
10 - 30 - 10	233	23	70	23	-	-	-	-	-	-
Urea	341	157	-	-	-	-	-	-	-	-
Muriato de potasio	62	-	-	37	-	-	-	-	-	-
Total		180	70	60	0	0	0	0	0	0

Los fertilizantes nitrogenados fueron aplicados en tres fracciones, donde el 30% fue colocado al momento del trasplante, 40% al macollamiento y 30% a la diferenciación floral. El fertilizante fosfatado fue aplicado en su totalidad al momento del trasplante. El fertilizante potásico fue aplicado 50% al trasplante y 50% al macollamiento. En ambos tratamientos se realizaron tres aplicaciones foliares de un bioestimulante en dosis de 1.5 L ha⁻¹. Las aplicaciones se realizaron al macollamiento, diferenciación floral y emergencia de panojas.

Diseño estadístico y unidad experimental

En el experimento se probaron dos tratamientos, donde cada uno se conformó por 10 parcelas o replicas, con un total de 20 unidades experimentales. Las unidades experimentales fueron conformadas por parcelas de 100 m², aisladas unas de otras con muros de 20 cm de altura sobre el nivel máximo de agua. Las unidades experimentales fueron establecidas en 10 fincas de la zona de San Jacinto, una de cada tratamiento por finca. El registro de datos se realizó en 5 m² del centro de la parcela experimental. Para comparar el efecto de los dos tratamientos se utilizó la distribución de "t de Student" para muestras pareadas, donde se probaron la hipótesis nula H₀: T₁ = T₂ y alternativa H₁: T₁ ≠ T₂, a un nivel de significancia del 5% (p ≤ 0,05). El cálculo del estadístico de t se realizó mediante la fórmula siguiente:

$$t_{cal} = \frac{\bar{d}}{S_{\bar{d}}}$$

Donde t = estadístico; \bar{d} = media de las diferencias; $S_{\bar{d}}$ = error estándar de las diferencias.

Variables respuesta

Se registraron variables de crecimiento y relacionadas al componente de rendimiento como: altura de planta (cm), macollos totales, productivos y estériles por planta, peso de 1000 granos (g), peso

de granos por planta (g), peso de granos por m² (g) y rendimiento de grano en cáscara (kg ha⁻¹).

El rendimiento se determinó por el peso de granos provenientes de la parcela útil, ajustada 20% de humedad y transformados a kg ha⁻¹. Para uniformizar el peso se empleó la siguiente fórmula:

$$PU(20\%) = \frac{Pa(100 - Ha)}{100 - Hd}$$

Donde PU = Peso uniformizado (kg); Pa = Peso actual (kg); Ha = Humedad actual (%); Hd = Humedad deseada. Para expresar el rendimiento en kg ha⁻¹ se utilizó la fórmula siguiente:

$$Rend(kg\ ha^{-1}) = \frac{PU(10000\ m^2)}{\text{Área parcela útil}(m^2)}$$

Donde PU = Peso uniformizado (kg).

La determinación de la calidad nutricional del grano se realizó colectando una submuestra de grano por unidad experimental en cada tratamiento, hasta completar una muestra compuesta de 1 kg, que posteriormente fue enviada para el respectivo análisis nutricional al laboratorio de bromatología. Las variables determinadas en laboratorio fueron porcentaje de proteína y fibra, concentración de Fe, Zn, B, y Mn en ppm. Estas variables no fueron sometidas a análisis estadístico de t pareada, sino que se describieron numéricamente según los datos entregados por el laboratorio.

Manejo específico del experimento

Las semillas fueron protegidas con la mezcla insecticida a base de Thiametoxam en dosis de 3 cc kg⁻¹ de semillas + Thiodicar en dosis de 15 cc kg⁻¹ de semilla, esto con la finalidad de proteger las plántulas durante la emergencia de insectos chupadores y cortadores. Para el establecimiento del cultivo se realizaron semilleros para la germinación y desarrollo inicial de plántulas, las que fueron trasplantadas a campo definitivo a los 25 días después de la siembra. El trasplante fue establecido a

una distancia de 0,20 m entre sitios de siembra y 0,30 m entre hileras, con lo que se obtuvo una densidad de 16 sitios de siembra por m². Se sembraron cinco plántulas por sitio de siembra. El control de malezas se realizó en pre-siembra con glifosato 2,5 L ha⁻¹, en pre-emergencia con butaclor + pendimetalin para el control de malezas de hoja ancha y angosta en dosis de 3,5 y 2,5 L ha⁻¹ de cada producto. En pos-emergencia se aplicó cihalofop y el co-formulado bentazon-MCPA en dosis de 2,5 y 1,5 L ha⁻¹ de cada producto, para el control de gramíneas, hoja ancha y ciperáceas. Para el control de enfermedades fungosas se aplicó el fungicida Fegadazin en dosis de 250 cc ha⁻¹ a los 8 y 21 días después del trasplante (DDT), y Kasugamicina en dosis de 1,5 L ha⁻¹ a los 38 DDT. El control de insectos plaga fue asumido con aplicaciones de Metomilo en dosis de 400 g ha⁻¹ a los 8 y 38 DDT, y Clorpirifos en dosis de 1,0 L ha⁻¹ a los 21 DDT.

3. Resultados y discusión

La altura de planta no fue afectada significativamente ($p > 0,05$) por la fertilización NPK complementada con micronutrientes (Tabla 2), lo que puede deberse a que la fertilización NPK fue similar en dosis y fracciones en ambos tratamientos. Por el contrario, el número de macollos totales, fértiles y estériles mostraron una respuesta significativa ($p < 0,05$) a la fertilización NPK complementada con micronutrientes (Tabla 2), donde se muestra una diferencia de medias (\bar{d}) de 5,00 y 7,32 macollos totales y fértiles con respecto a la fertilización convencional con NPK. Así mismo, la fertilización NPK complementada con

micronutrientes mostró menor número de macollos estériles en contraste a la fertilización convencional con NPK (Tabla 2). Los resultados obtenidos para las variables de crecimiento son similares a los reportados por Ashrafi et al. (2014) quienes no reportaron un efecto significativo de los micronutrientes sobre la altura de planta, pero sí sobre el número de macollos por planta. Resultados similares fueron obtenidos por Radhika et al. (2013) y Siddika et al. (2016) quienes obtuvieron mayor número de macollos productivos en arroz con la integración de micronutrientes dentro de los planes de fertilización con NPKS.

La fertilización NPK complementada con micronutrientes influyó significativamente ($p < 0,05$) los componentes de rendimiento (Tabla 3), donde se aprecia una diferencia de medias (\bar{d}) con respecto a la fertilización con NPK de 8,15 g para peso de 1000 granos, 24,01 g para peso de granos por planta, 384,21 para peso de granos por m² y 3,84 para el rendimiento en t ha⁻¹. Esto significó un incremento porcentual del 23,12% para peso de 1000 granos y 36,85 para peso de granos por planta, peso de granos por m² y el rendimiento, con respecto a la fertilización con solo NPK. Los resultados demuestran que la inclusión de micronutrientes a los planes de fertilización convencional basados en NPK puede incrementar notablemente el rendimiento del cultivo de arroz. El rendimiento obtenido con la fertilización NPK + micronutrientes superó ampliamente al promedio nacional y provincial, que según datos del Ministerio de Agricultura y Ganadería son en promedio 4,80 y 6,87 t ha⁻¹ para Ecuador y Manabí, respectivamente (MAG, 2016).

Tabla 2

Efecto de la fertilización NPK complementada con micronutrientes sobre variables de crecimiento del cultivo de arroz

Variables	Medias de tratamientos de fertilización NPK		\bar{d}	$T_{estadístico}$	Valores críticos de t		p -valor
	Con micro nutrientes	Sin micro nutrientes			$T_{0,05}$	$T_{0,01}$	
Altura de planta (cm)	0,96	0,94	0,02	2,12	2,10	2,87	0,0635
N° de macollos totales planta ⁻¹	26,41	21,41	5,00	4,35	2,10	2,87	0,0018
N° de macollos fértiles planta ⁻¹	24,62	17,29	7,32	5,75	2,10	2,78	0,0003
N° de macollos estériles planta ⁻¹	1,79	4,11	2,33	2,94	2,10	2,78	0,0165

Tabla 3

Efecto de la fertilización NPK complementada con micronutrientes sobre componentes de rendimiento del cultivo de arroz

Variables	Medias de tratamientos de fertilización NPK		\bar{d}	$T_{estadístico}$	Valores críticos de t		p -valor
	Con micro nutrientes	Sin micro nutrientes			$T_{0,05}$	$T_{0,01}$	
Peso de 1000 granos (g)	35,25	27,10	8,15	8,24	2,10	2,87	0,0001
Peso de granos planta ⁻¹ (g)	65,16	41,15	24,01	3,79	2,10	2,87	0,0043
Peso de granos por m ² (g)	1042,55	658,34	384,21	3,79	2,10	2,78	0,0043
Rendimiento (t ha ⁻¹)	10,42	6,58	3,84	3,81	2,10	2,78	0,0043

Los resultados hallados para los componentes de rendimiento guardan similitud con los obtenidos por *Shaygany et al.* (2012) quienes obtuvieron un rendimiento de grano de hasta 6,17 t ha⁻¹ para fertilización con micronutrientes en contraste a las 4,51 t ha⁻¹ obtenidas en el tratamiento control. Del mismo modo, *Alamdari y Mobasser* (2014) reportaron rendimientos promedios de hasta 4,3 t ha⁻¹ con la aplicación de microelementos en comparación a las 2,8 t ha⁻¹ para el tratamiento testigo. En este mismo contexto, *Siddika et al.* (2016) registraron incrementos significativos en el peso de 1000 granos y el rendimiento del cultivo con respecto al tratamiento control, cuando se incluyó micronutrientes a la fertilización con NPKS. El efecto de los micronutrientes sobre un mayor macollamiento y rendimiento del arroz con respecto al tratamiento control, puede deberse a las funciones fisiológicas que estos desempeñan en los procesos de división y elongación celular, formación de estructuras celulares, reacciones redoxivas y enzimáticas del metabolismo vegetal (*Hansch y Mendel, 2009; Kumar, 2014; Kumar et al., 2015*). En este sentido, es bien conocida la participación del Fe y el Cu en reacciones redox tanto en la fotofosforilación como en la fosforilación oxidativa a través de la conformación de metalproteínas y activación de complejos enzimáticos (*Yruela, 2005; Yamasaki et al., 2008; Rout y Sahoo, 2015*). El Zn participa activamente en la biosíntesis de auxinas, desarrollo de hojas y raíces, activación de enzimas de importancia para la estabilidad de las membranas y limpieza de radicales ROS (*Hafeez et al., 2013*). El B desempeña importante función en el fortalecimiento de estructuras celulares como la pared celular, la reproducción de las plantas y el metabolismo de los fenoles (*Ahmad et al., 2009*). Por su parte, el Mn cumple funciones importantes en la fotosíntesis tales como la transferencia de electrones en el PSII a través de la fotólisis del agua, activa alrededor de 35 enzimas involucradas en el metabolismo vegetal (*Roholla et al., 2011*). Se observa, en comparación al tratamiento control, la fertilización NPK + micronu-

trientes incrementó el contenido proteico y fibra en 18,33 y 25,64%, respectivamente. Del mismo modo, la concentración de Fe, Zn, B y Mn se incrementó en un 31,58; 33,33; 43,02 y 23,81%, respectivamente, con la fertilización a base de NPK + micronutrientes en comparación a la fertilización convencional con NPK (Tabla 4), lo cual resulta importante si se considera la esencialidad de estos nutraceuticos en la salud humana. Los resultados guardan similitud con *Jin et al.* (2008), quienes para granos de arroz que recibieron fertilización foliar a base de Fe y B durante el desarrollo del cultivo, reportaron un incremento porcentual de 18,90; 26,70 y 30,90% para Fe, Zn y proteína, respectivamente. Así mismo, los resultados se asemejan a los descritos por *Phattarakul et al.* (2012) quienes obtuvieron incrementos de Zn en el grano en cáscara de hasta el 25% cuando se asperjó Zn al follaje durante el llenado del grano. Similares resultados fueron reportados por *Yuan et al.* (2012) quienes incrementaron la concentración de Fe, Zn y proteína en granos de varios cultivares de arroz, con la aplicación foliar de Fe complejoado con aminoácidos (Fe-AA) y Zn en forma de SO₄Zn. *Meena y Fathima* (2017) demostraron que el tratamiento de semillas y aplicaciones foliares con SO₄Zn y SO₄Fe durante la etapa vegetativa y emergencia de la panícula, incrementó significativamente la concentración de Zn y Fe en el grano de arroz. En trabajos similares llevados a cabo por *Saha et al.* (2017) alcanzaron una biofortificación más efectiva del grano de arroz con Zn y Fe con una aplicación al suelo y dos aplicaciones foliares con fertilizantes a base de Zn y Fe. Los resultados logrados en la investigación, demuestran que la fertilización con micronutrientes no solo mejora notablemente el rendimiento del cultivo, sino que también puede incrementar la calidad nutricional del grano, lo cual desde el punto de vista de salud humana es importante y atractivo para los consumidores adquirir un producto biofortificado que sería de gran importancia para contrarrestar problemas de desnutrición.

Tabla 4
Efecto de la fertilización NPK complementada con micronutrientes sobre la calidad nutricional del grano de arroz

Concentración de nutrientes en el grano	Fertilización NPK con micronutrientes	Fertilización NPK sin micronutrientes	Incremento porcentual (%)
Proteína (%)	8,87	7,20	18,33
Fibra (%)	0,39	0,29	25,64
Fe (ppm)	38,00	26,00	31,58
Zn (ppm)	24,00	16,00	33,33
Boro (ppm)	18,35	8,02	43,02
Mn (ppm)	21,00	16,00	23,81

En este contexto, las investigaciones relacionadas a la biofortificación agronómica del grano de arroz a través de técnicas eficientes de fertilización mineral y biológica, así como también mediante programas de mejora genética con técnicas biotecnológicas, se siguen desarrollando con mayor intensidad considerando que el arroz es uno de los cultivos más consumidos por la población y que la desnutrición sigue afectando a millones de niños y mujeres cada año en todo el mundo, más aun en países en desarrollo (Bashir *et al.*, 2013; IFPRI, 2014; Zaman *et al.*, 2017; Jena *et al.*, 2018).

4. Conclusiones

El uso de fertilizantes compuestos a base de NPK complementados con micronutrientes incrementa de manera notable los componentes del rendimiento y el rendimiento del cultivo de arroz. La inclusión de micronutrientes a los programas de fertilización convencional a base de NPK es imprescindible para incrementar la calidad nutracéutica del grano de arroz. Es necesario seguir desarrollando investigaciones relacionadas a la biofortificación del arroz mediante técnicas de fertilización, más aún cuando la baja productividad del cultivo y la desnutrición de gran parte de la población es un problema común de países en vía de desarrollo.

Referencias bibliográficas

- Ahmad, W.; Niaz, N.; Kanwal, S.; Rahmatullah; Khalid, M. 2009. Role of boron in plant growth: a review. *J. Agric. Res.* 47(3): 329-338.
- Alamdari, M.; Mobasser, H. 2014. The effect of macro and micro-nutrient fertilizers on yield and yield attributes of rice in a calcareous soil. *American Journal of Experimental Agriculture* 4(12): 1604-1615.
- Ashrafi, E.; Pirdashti, H.; Niknejhad, Y. 2014. Effect of iron, zinc and silicon application on quantitative parameters of rice (*Oryza Sativa* L. CV. Tarom Mahalli). *Intl J Farm & Alli Sci.* 3 (5): 529-533.
- Alshaal, T.; El-Ramady, H. 2017. Foliar Application: from Plant Nutrition to Biofortification. *The Environment, Biodiversity & Soil Security* 1: 71-83.
- Bashir, K.; Takahashi, R.; Nakanishi, H.; Nishizawa, N. The road to micronutrient biofortification of rice: progress and prospects. *Frontiers in Plant Science* 4(15): 1-7.
- Bouis, H.; Saltzman, A. 2017. Improving nutrition through biofortification: A review of evidence from HarvestPlus, 2003 through 2016. *Global Food Security* 12: 49-58.
- Cakmak, I.; Kutman, U. 2017. Agronomic biofortification of cereals with zinc: a review. *European Journal of Soil Science* 69(1): 172-180.
- Das, J.; Salam, R.; Kumar, R.; Bhutta, Z. 2013. Micronutrient fortification of food and its impact on woman and child health: a systematic review. *Systematic Reviews* 2: 67.
- Dutta, S.; Das, S.; Pale, G.; langrai, B.; Aochen, C.; Rai, M.; Pattanayak, A. 2016. Current status and future prospects of research on genetically modified rice: A review. *Agricultural Reviews* 37(1): 10-18.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). 2009. *Global agriculture towards 2050: High Level Expert Forum - How to Feed the World in 2050*. 4 pp. Disponible en: http://www.fao.org/fileadmin/templates/wsfs/docs/lis_sues_papers/HLEF2050_Global_Agriculture.pdf
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). 2014. *A regional rice strategy for sustainable food security in Asia and the Pacific*. Final Edition. 52 pp.
- Gnanamanickam, S. 2009. Rice and its importance to human life. *Prog Biol Con* 8: 1-11.
- Hafeez, B.; Khanif, Y.; Saleem, M. 2013. Role of zinc in plant nutrition- A review. *American Journal of Experimental Agriculture* 3(2): 374-391.
- Hansch, R.; Mendel, R. 2009. Physiological functions of mineral micronutrients (Cu, Zn, Mn, Fe, Ni, Mo, B, Cl). *Current Opinion in Plant Biology* 12: 259-266.
- International Food Policy Research Institute (IFPRI). 2014. *Global Nutrition Report 2014: Actions and Accountability to Accelerate the World's Progress on Nutrition*. Washington, DC.
- Jena, J.; Sathy, P.; Jena, T.; Misra, S.; Sahoo, S.; Dash, G.; Palai, J. 2018. Rice biofortification: A brief review. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry* 7(1): 2644-2647.
- Jin, Z.; Minyan, W.; Lianghuan, W.; Jianguo, W. and Chunhai, S. 2008. Impacts of combination of foliar iron and boron application on iron biofortification and nutritional quality of rice grain. *Journal of Plant Nutrition* 31: 1599-1611.
- Kumar, S. 2014. Role of micronutrient in rice cultivation and management strategy in organic agriculture - a reappraisal. *Agricultural Sciences* 5: 765-769.
- Kumar, D.; Singh, Sh.; Singh, Sw.; Mishra, S.; Chauhan, D.; Dubey, N. 2015. Micronutrients and their diverse role in agricultural crops: advances and future prospective. *Acta Physiol Plant.* 37: 139.
- Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG). 2016. *Boletín situacional del cultivo de arroz*. Sistema de Información Pública Agropecuaria. Quito, EC. Disponible en: http://sipa.agricultura.gob.ec/biblioteca/boletines_situacionales/2016/boletin_situacional_arroz_2016.pdf
- Meena, N.; Fathima, P. 2017. Nutrient Uptake of Rice as Influenced by Agronomic Biofortification of Zn and Fe under Methods of Rice Cultivation. *Int. J. Pure App. Biosci.* 5 (5): 456-459.
- Mohanty, S. 2013. Trends in global rice consumption. *Rice Today* 12(1): 44-45.
- Muthayya, S.; Sugimoto, J.; Montgomery, S.; Maberly, G. 2014. An overview of global rice production, supply, trade, and consumption. *Ann. N.Y. Acad. Sci.* 1324: 7-14.
- Phattarakul, N.; Rerkasem, B.; Li, L.; Hu, L.; Zou, C.; Ram, H.; Sohu, B.; Kang, B.; Surek, H.; Kalayci, M.; Yazici, A.; Zhang, F.; Cakmak, I. 2012. Biofortification of rice grain with zinc through zinc fertilization in different countries. *Plant Soil* 361: 131-141.
- Radhika, K.; Hemalatha, S.; Maragatham, S.; Praveena, S. 2013. Effect of foliar application of micronutrients on the yield components of rice and soil available micronutrients status. *Asian Journal of Soil Science* 8(2): 419-421.
- Rout, G.; Sahoo, S. 2015. Role of iron in plant growth and metabolism. *Reviews in Agricultural Science* 3: 1-24.
- Roholla, S.; Shahsavari, M.; Rezaei, M. 2011. A general overview on manganese (Mn) importance for crops production. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences* 5(9): 1799-1803.
- Saha, S.; Chakraborty, M.; Padhan, D.; Saha, B.; Murmu, S.; Batabyal, K.; Seth, A.; Hazra, G.; Mandal, B. and Bell, R. 2017. Agronomic biofortification of zinc in rice: Influence of cultivars and zinc application methods on grain yield and zinc bioavailability. *Field Crops Research* 210: 52-60.

- Serraj, R.; McNally, K.; Slamet, I.; Kohli, A.; Haefele, S.; Atlin, G.; Kumar, A. 2011. Drought resistance improvement in rice: An integrated genetic and resource management strategy. *Plant Production Science* 14(1): 1-14.
- Siddika, M.; Abedin, M.; Sharmin, T.; Hanif, M.; Chandra, P. 2016. Effect of different micronutrients on growth and yield of rice. *International Journal of Plant and Soil Science* 12(6): 1-8.
- Shayganya, J.; Peivandya, N.; Ghasemi, S. 2012. Increased yield of direct seeded rice (*Oryza sativa* L.) by foliar fertilization through multi-component fertilizers. *Archives of Agronomy and Soil Science* 58(10): 1091-1098.
- Yamasaki, H.; Pilon, M.; Shikanai, T. 2008. How do plants respond to copper deficiency?. *Plant Signaling & Behavior* 3(4): 231-232.
- Yuan, L.; Wu, L.; Yang, C.; Lv, Q. 2012. Effects of iron and zinc foliar applications on rice plants and their grain accumulation and grain nutritional quality. *J Sci Food Agric.* 93(2): 254-261.
- Yruela, I. 2005. Copper in plants. *Brazilian Journal of Plant Physiology* 17(1): 145-156.
- Zaman, Q.; Aslam, Z.; Yaseen, M.; Ihsan, M.; Khaliq, A.; Fahad, S.; Bashir, S.; Ramzani, P.; Naeem, M. 2017. Zinc biofortification in rice: leveraging agricultura to moderate hidden hunger in developing countries. *Archives of Agronomy and Soil Science* 64(2): 147-161.
- Zhu, G.; Peng, S.; Huang, J.; Cui, K.; Nie, L.; Wang, F. 2016. Genetic improvements in rice yield and concomitant increases in radiation and nitrogen use efficiency in middle reaches of Yangtze river. *Scientific Reports* 6: 21049.
- Zhang, C.; Zhao, W.; Gao, A.; Su, T.; Wang, Y.; Zhang, Y.; Zhou, X.; He, X. 2017. How Could Agronomic Biofortification of Rice Be an Alternative Strategy With Higher Cost-Effectiveness for Human Iron and Zinc Deficiency in China?. *Food and Nutrition Bulletin* 39(2): 246-259.