



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE BABAHOYO
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS
CARRERA DE INGENIERÍA AGROPECUARIA



TRABAJO DE TITULACIÓN

Trabajo Experimental, presentado al H. Consejo Directivo de la Facultad, como previo requisito para la obtención del título de:

INGENIERO AGROPECUARIO

TEMA:

“Respuesta agronómica del cultivo de arroz (*Oryza sativa* L.), a la aplicación de fertilizantes con Silicio y Magnesio, en condiciones de secano”.

AUTOR:

Cristhian Miguel Zamora Valero

TUTOR:

Ing. Agr. Eduardo Colina Navarrete, MSc.

Babahoyo-Los Ríos-Ecuador

2019



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE BABAHOYO
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS
CARRERA DE INGENIERÍA AGROPECUARIA



TRABAJO DE TITULACIÓN

Trabajo experimental, presentado al H. Consejo Directivo de la
Facultad, como requisito previo para obtener el título de:

INGENIERO AGROPECUARIO

TEMA:

"Respuesta agronómica del cultivo de arroz (*Oryza sativa* L.), a la
aplicación de fertilizantes con Silicio y Magnesio, en condiciones de
secano"

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN


Ing. Agr. Oscar Mora Castro, MBA.

PRESIDENTE


Ing. Agr. Carlos Barros Veas, MSc.

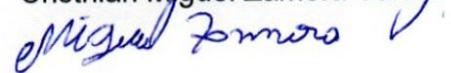
VOCAL


Ing. Agr. Antonio Alcivar Torres, MSc.

VOCAL

La responsabilidad por la investigación, análisis, resultados, conclusiones y recomendaciones presentadas y sustentadas en este Trabajo Experimental son de exclusividad del autor.

Cristhian Mjguel Zamora Valero



DEDICATORIA

Éste trabajo va dedicado para mis padres, Federico Zamora y Lucinda Valero, quienes me enseñaron los valores para seguir adelante y a quienes día a día les debo lo que soy, tanto en mi vida personal como profesional.

A mis hermanos Wilson y Rafael, como ejemplo de superación y a quien le tengo todo el cariño del mundo.

A mis compañeros de aula, con quienes compartí buenos y gratos momentos.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a mi Dios, por permitirme alcanzar esta meta de ser Ingeniero Agropecuario de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Técnica de Babahoyo.

A quienes conforman la FACIAG, por quienes he adquirido conocimiento de los sabios profesores.

CONTENIDO

I.	INTRODUCCIÓN	1
1.1.	Objetivos	2
1.1.1.	General.....	2
1.1.2.	Específicos	2
II.	MARCO TEÓRICO	3
III.	MATERIALES Y MÉTODOS	12
3.1.	Ubicación y descripción de sitio experimental	12
3.2.	Características del suelo.....	12
3.3.	Material genético	12
3.4.	Factores estudiados	12
3.5.	Métodos	13
3.6.	Tratamientos.....	13
3.7.	Diseño experimental	13
3.8.	Análisis de varianza.....	14
3.8.1.	Características del área experimental.....	14
3.9.	Manejo del ensayo.....	14
3.9.1.	Preparación del terreno.....	14
3.9.2.	Siembra.....	15
3.9.3.	Fertilización	15
3.9.4.	Riego.....	16
3.9.5.	Control de malezas	16
3.9.6.	Control de insectos- plagas y enfermedades	16
3.9.7.	Cosecha	16
3.10.	Datos evaluados	17
3.10.1.	Altura de planta	17
3.10.2.	Número de macollos/m ²	17
3.10.3.	Número de panículas/m ²	17
3.10.4.	Longitud de panículas	17
3.10.5.	Granos por panículas	17
3.10.6.	Peso de 1000 semillas	18

3.10.7. Rendimiento por hectárea	18
3.10.8. Análisis Económico	18
IV. RESULTADOS.....	19
4.1. Altura de planta	19
4.2. Número de macollos/m ²	20
4.3. Número de panículas/m ²	21
4.4. Longitud de panículas	22
4.5. Número de granos por panículas	23
4.6. Peso de 1000 granos	24
4.7. Rendimiento	25
4.8. Análisis económico.....	26
V. CONCLUSIONES	28
VI. RECOMENDACIONES.....	29
VII. RESUMEN	30
VIII. SUMMARY.....	31
IX. BIBLIOGRAFIA	32
ANEXOS	35

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Tratamientos estudiados en la respuesta del cultivo de arroz, a la aplicación de fertilización con Silicio y Magnesio. FACIAG, UTB. 2018.....	13
Cuadro 2. Dosificación de los fertilizantes a utilizarse en el ensayo: “Respuesta del cultivo de arroz (<i>Oryza sativa</i> L.), a la aplicación de fertilizantes con Silicio y Magnesio”. FACIAG, UTB. 2018	15
Cuadro 3. Altura de planta, en respuesta del cultivo de arroz a la aplicación de fertilizantes con Silicio y Magnesio. FACIAG, UTB. 2018	19
Cuadro 4. Número de macollos/m ² , en respuesta del cultivo de arroz a la aplicación de fertilizantes con Silicio y Magnesio. FACIAG, UTB. 2018.....	20
Cuadro 5. Número de panículas/m ² , en respuesta del cultivo de arroz a la aplicación de fertilizantes con Silicio y Magnesio. FACIAG, UTB. 2018.....	21
Cuadro 6. Longitud de panícula (cm), en respuesta del cultivo de arroz a la aplicación de fertilizantes con Silicio y Magnesio. FACIAG, UTB. 2018.....	22
Cuadro 7. Número de granos por panículas, en respuesta del cultivo de arroz a la aplicación de fertilizantes con Silicio y Magnesio. FACIAG, UTB. 2018.....	23
Cuadro 8. Peso de 1000 granos (g), en respuesta del cultivo de arroz a la aplicación de fertilizantes con Silicio y Magnesio. FACIAG, UTB. 2018.....	24
Cuadro 9. Rendimiento (kg/ha), en respuesta del cultivo de arroz a la aplicación de fertilizantes con Silicio y Magnesio. FACIAG, UTB. 2018	25
Cuadro 10. Costos fijos/ha, en respuesta del cultivo de arroz a la aplicación de fertilizantes con Silicio y Magnesio. FACIAG, UTB. 2018	26
Cuadro 11. Análisis económico/ha, en respuesta del cultivo de arroz a la aplicación de fertilizantes con Silicio y Magnesio. FACIAG, UTB. 2018.....	27
Cuadro 12. Altura de planta, en respuesta del cultivo de arroz a la aplicación de fertilizantes con Silicio y Magnesio. FACIAG, UTB. 2018	36
Cuadro 13. Número de macollos/m ² , en respuesta del cultivo de arroz a la aplicación de fertilizantes con Silicio y Magnesio. FACIAG, UTB. 2018.....	37
Cuadro 14. Número de panículas/m ² , en respuesta del cultivo de arroz a la aplicación de fertilizantes con Silicio y Magnesio. FACIAG, UTB. 2018.....	38
Cuadro 15. Longitud de panícula, en respuesta del cultivo de arroz a la aplicación	

de fertilizantes con Silicio y Magnesio. FACIAG, UTB. 2018.....	39
Cuadro 16. Granos por panículas, en respuesta del cultivo de arroz a la aplicación de fertilizantes con Silicio y Magnesio. FACIAG, UTB. 2018.....	40
Cuadro 17. Peso de 1000 granos, en respuesta del cultivo de arroz a la aplicación de fertilizantes con Silicio y Magnesio. FACIAG, UTB. 2018.....	41
Cuadro 18. Rendimiento (kg/ha), en respuesta del cultivo de arroz a la aplicación de fertilizantes con Silicio y Magnesio. FACIAG, UTB. 2018.....	42

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1. Visita del coordinador de titulación, Ing. Edwin Hasang	43
Fig. 2. Toma de la variable altura de planta	43
Fig. 3. Número de macollos/m ²	44
Fig. 4. Evaluando longitud de panícula	44

I. INTRODUCCIÓN

El arroz (*Oryza sativa* L.) es el alimento básico para la población mundial y el cultivo más importante, si se considera la extensión de la superficie de siembra y la cantidad de personas, que depende de su producción. Ocupa el segundo lugar después del trigo, proporciona más calorías que cualquier otro cereal, típico de Asia meridional y Oriental, aunque también es ampliamente cultivado en África y en América, intensivamente en algunos puntos de Europa meridional, sobre todo en las regiones mediterráneas.

El Ecuador, mantiene una producción promedio de 3,2 toneladas métricas de arroz superando solamente a Bolivia y Paraguay. El área es de 350.000 has sembradas, de las cuales un 30 % es constante durante todo un año, y el resto se maneja en secano favorecido¹.

En la actualidad, en nuestro país se siembra algunas variedades de arroz, las cuales los rendimientos se ven influenciados por la falta de paquetes tecnológicos, lo que conlleva a generar alternativas que suplan las carencias en el sector arrocero que deben ser evaluados en campos experimentales y con pruebas comerciales.

La variedad de arroz de grano extra largo posee un mayor rendimiento y una buena calidad molinera y culinaria. La productividad es elevada, hasta las 86 sacas por hectárea. El sabor es nítido, el arroz es extra grande, su coloración es transparente. En calidad culinaria excelente en un 95 %².

El inadecuado manejo de la fertilización es una de las causas de la disminución en los rendimientos. Esto se debe a que el agricultor, solamente aplica fertilizante a base de Nitrógeno y en rara ocasión formulaciones de Fósforo

¹ Ministerio de Agricultura Ganadería Acuacultura y Pesca (MAGAP). 2016

² Disponible en <http://enlacesyproyectos.org/nueva-variedad-de-arroz-con-mayor-rendimiento/>

y Potasio.

Actualmente, existe la tendencia de incorporar fertilizantes que posean otros nutrientes, como son el silicio y magnesio, que conlleva a mejorar el rendimiento y desarrollo del cultivo.

El bajo rendimiento del arroz por unidad de superficie, es uno de los factores que inciden en el cultivo, debido a desbalances nutricionales por el uso continuo de N, P y K.

En el presente trabajo, se incorporó el Silicio y Magnesio como fertilización complementaria, para mejorar la producción e incrementar los rendimientos en el cultivo de arroz bajo condiciones de secano.

1.1. Objetivos

1.1.1. General

Evaluar el cultivo de arroz, a la fertilización complementaria con Silicio y Magnesio, en época lluviosa.

1.1.2. Específicos

1. Determinar los efectos de Silicio y Magnesio en la producción y rendimiento del arroz.
2. Identificar el o las mejores dosis de Silicio y Magnesio aplicado al follaje o suelo.
3. Analizar económicamente la incorporación de Silicio y Magnesio en el balance nutricional de cada tratamiento.

II. MARCO TEÓRICO

Sánchez *et al.* (2014) indican que el cultivo del arroz ha desarrollado un papel importante, tanto en generación de empleo, como en desarrollo regional y estabilidad socioeconómica de las zonas arroceras. Después del trigo, el arroz es el cereal más cultivado en el mundo.

Cedeño *et al.* (2018) difunde que el arroz (*Oryza 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. 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.

Sánchez (2014) señala que en arroz, los micronutrientes han tomado gran importancia, lo cual se atribuye a la extracción continua de parte de los cultivos que disminuye su concentración en el suelo; el empleo de fertilizantes puros; el uso de variedades mejoradas que están más adaptadas a las deficiencias y toxicidades y el uso intensivo de los suelos con dos o más cosechas al año.

Rodríguez (2013) manifiesta que la cantidad de nutrimentos removidos del suelo por una cosecha de arroz varía con el cultivar, la producción de biomasa, el suelo, el clima y el manejo. De esta forma se pueden encontrar diferencias muy grandes de extracción de nutrimentos por el arroz en diferentes condiciones y latitudes.

Trinidad y Aguilar (2014) divulgan que la fertilización se ha convertido en una práctica común e importante para los productores, porque corrige las deficiencias nutrimentales de las plantas, favorece el buen desarrollo de los cultivos y mejora el rendimiento y la calidad del producto.

Para Dothée y Ortiz (2017) una de las mayores limitantes en los rendimientos y la calidad del arroz (*Oryza sativa* L.) se debe a la deficiente nutrición del cultivo. La respuesta de la planta a la suficiencia de todos los nutrimentos se traduce en una optimización de la calidad del grano y aumento de los rendimientos. El arroz cultivado ha mostrado síntomas visuales, amarillamiento, posiblemente asociado a deficiencias nutricionales aunque no se ha determinado con certeza el origen de los mismos.

Cedeño *et al.* (2018) explican que 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. 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 2 mil millones de personas, entre estos niños y mujeres embarazadas carecen de estos nutrimentos.

De la Cruz y García-Serrano (2014) expresan que los cultivos pueden enriquecerse en micronutrientes a través del proceso llamado biofortificación, que puede ser genética o agronómica. Esta última consiste en el uso de fertilizantes que contienen micronutrientes para conseguir, en las partes comestibles de las plantas, una mayor concentración de dichos nutrientes y que, de esta manera, estén disponibles para incorporarse al organismo humano. Así, son cada día más numerosas las experiencias que reflejan la importancia de aportar micronutrientes a los cultivos para garantizar su contenido en los vegetales.

De acuerdo a Almendros *et al.* (2015), una gran cantidad de cultivos están afectados por la deficiencia de micronutrientes, siendo algunos de ellos los siguientes: cereales, leguminosas, algodón y tabaco. Debido a esta deficiencia se pueden tener pérdidas de hasta un 30 % en la producción de cereales de grano

como el maíz, el trigo o el arroz sin la aparición de síntomas visibles de estrés en la planta. Las deficiencias más acusadas, manifestadas con síntomas en las hojas, pueden provocar mayores pérdidas en los cultivos, e incluso pueden llevar a la pérdida total de los mismos. La aplicación al suelo de productos fertilizantes que contienen distintas formas de zinc es una práctica habitual que tiene por objeto corregir dichas deficiencias. La efectividad de estos productos depende de numerosos factores, tales como el tipo de suelo y el tipo de cultivo.

De la Cruz y García-Serrano (2014) mencionan que se estima que los fertilizantes son responsables del 50 % de la producción mundial de alimentos. Por lo tanto, su papel es fundamental en la consecución de la seguridad alimentaria. Numerosas experiencias demuestran cómo el aumento de los rendimientos agrícolas se debe, en gran medida, a la fertilización.

Barahona-Amores (2018) aclara que el manejo eficiente de cualquier cultivo se basa en el conocimiento adecuado de su fenología. La importancia de determinar épocas de aplicación de fertilizantes de acuerdo a etapas de máxima absorción, así como, la cantidad total de nutrientes que la planta requiere para su desarrollo, radica en que ayudan a desarrollar prácticas adecuadas para mejorar el crecimiento integral de la planta, mediante la aplicación de los nutrientes en proporciones adecuadas, para optimizar la producción sin degradar los recursos naturales.

De la Cruz y García-Serrano (2014) sostienen que los fertilizantes contribuyen de manera muy importante a la producción de alimentos poniendo a disposición de los cultivos los nutrientes que necesitan en las cantidades adecuadas, determinando el rendimiento de la cosecha y también, de forma decisiva, la calidad de los alimentos.

Rodríguez (2013) comenta que específicamente en lo que respecta a absorción de nutrimentos, variedades modernas de alta producción (un promedio

de 5 t/ha de grano) en general pueden remover del suelo 110 kg N, 34 kg P₂O₅, 156 kg K₂O, 0,23 kg MgO, 20 kg CaO, 5 kg S, 2 kg Fe, 2 kg Mn, 200 g Zn, 150 g Cu, 150 g B, 250 kg Si y 25 kg de Cl/ha. La extracción de Si y K₂O es particularmente alta en las panículas y paja que se saca de la plantación al momento de la cosecha. Sin embargo, si solo se remueve el grano y la paja es devuelta e incorporada de nuevo al suelo, la extracción de Si y K₂O se reduce considerablemente, aunque cantidades significantes de N y P₂O₅ sean removidos.

Barahona-Amores (2018) afirma que la fertilización constituye un factor importante en la obtención de altos rendimientos. La respuesta a la fertilización depende de la variedad, fertilidad del suelo, clima, manejo del agua y manejo de plagas. Conociendo el consumo total de nutrientes de un cultivo se puede estimar la dosis necesaria para obtener el rendimiento deseado, lo cual se logra, confrontando el consumo total con las cantidades presentes en el suelo para así determinar las cantidades necesarias para llegar a la meta establecida.

De la Cruz y García-Serrano (2014) definen que actualmente las deficiencias de micronutrientes en la dieta son un problema grave a escala mundial, especialmente en países en vías de desarrollo, donde afecta a más del 50% de la población. El déficit de determinados micronutrientes tiene asociados una serie de problemas como la baja estatura, anemia, mayor susceptibilidad a enfermedades infecciosas etc. Este problema global debe enfrentarse rápidamente y de una manera eficiente. No solo los nutrientes primarios (N, P, K) son esenciales para la correcta nutrición de los cultivos, los nutrientes secundarios y micronutrientes son igualmente necesarios. Estos últimos forman parte de los diez oligoelementos básicos para la nutrición humana, y por lo tanto, deben suministrarse a través de la dieta.

Según Pilaloo *et al.* (2017), la planta de arroz requiere varios nutrientes esenciales para llegar a un óptimo rendimiento. Estos son los elementos mayores

e incluyen nitrógeno, fósforo, potasio, magnesio, azufre, carbono, hidrógeno y oxígeno. Aquellos elementos que son requeridos en menores cantidades pero que son esenciales para el crecimiento y desarrollo de las plantas son conocidos como elementos menores o trazas, e incluyen hierro, manganeso, cobre, zinc, boro, molibdeno, cloro y silicio.

Fertiberia (2018) reporta que los nutrientes principales de los cultivos son el nitrógeno, el fósforo y el potasio. Además de estos, el arroz absorbe también cantidades importantes de silicio, magnesio, azufre y zinc. El silicio, magnesio y azufre son nutrientes necesarios para el cultivo del arroz. El proceso de inundación aumenta la solubilidad de los compuestos y aumenta su disponibilidad.

AGRI-CROP (2019) considera que hay micro elementos o micro nutrientes benéficos importantes para algunas plantas como el Silicio (Si). Funciones del Silicio, por ejemplo en el arroz:

- El Si es un elemento benéfico para el arroz pero sus funciones fisiológicas todavía no son claramente comprendidas.
- La planta requiere este elemento para desarrollar hojas, tallos y raíces fuertes. La formación de una capa gruesa de células epidérmicas reduce la susceptibilidad de la planta a enfermedades fungosas y bacteriales y al ataque de insectos.
- Las plantas de arroz adecuadamente abastecidas con Silicio tienen hojas y hábitos de crecimiento erectos. Esto contribuye al uso eficiente de la luz y por lo tanto al uso eficiente de N.
- El Silicio incrementa la disponibilidad de Fosforo (P) en el suelo y el poder de oxidación de las raíces y alivia la toxicidad por Fe y Mn al reducir la absorción de estos elementos por la planta.

Chen (2017) determina que el silicio es el segundo elemento más abundante en la corteza terrestre y se puede encontrar una gran cantidad de él en la tierra;

sin embargo, el silicio solo puede ser absorbido por la planta en forma de ácido monosilícico. La mayoría de las dicotiledóneas (plantas de hojas amplias) recogen pequeñas cantidades de silicio y acumulan menos del 0,5 % en sus tejidos. Algunas monocotiledóneas como el arroz y otros pastos de humedales acumulan entre un 5 y un 10 % de silicio en sus tejidos, lo que es más alto que los valores normales de nitrógeno o potasio.

AGRI-CROP (2019) expone que los síntomas de deficiencia de silicio y efectos en el crecimiento:

- Las hojas se tornan suaves y se agobian, esto incrementa la sombra mutua y reduce la actividad fotosintética, lo que reduce el rendimiento.
- El incremento de enfermedades como piricularia (*Pyricularia oryzae*) o mancha café (*Helminthosporium oryzae*) pueden indicar deficiencia de Silicio.
- La aplicación de N tiende a producir hojas caídas y flácidas, mientras que el Si ayuda a mantener las hojas erectas.
- Una severa deficiencia de silicio reduce el número de espigas por m² y el número de espiguillas llenas por espiga.
- Las plantas con deficiencia de Silicio son particularmente susceptibles al volcamiento.

Chen (2017) asegura que la función del silicio parece beneficiar a ciertas plantas cuando están bajo estrés. Se ha comprobado que mejora la tolerancia a las sequías y retrasa la defoliación prematura de algunos cultivos que no se riegan y que puede mejorar la capacidad de resistencia de las plantas a las toxicidades de micronutrientes y de otros metales. Además, se ha comprobado que el silicio ayuda a incrementar la resistencia del tallo.

En cuanto a la deficiencia del silicio, no se considera un elemento esencial, la mayoría de las plantas crecerán de manera normal sin él. No obstante, unas pocas plantas han manifestado efectos perjudiciales si no se aplica silicio. Como se mencionó anteriormente, el arroz, el trigo y otros cultivos gramíneos exhiben

una incidencia reducida de encorvamiento cuando se les proporciona silicio. En algunas plantas, la deficiencia de silicio también puede incrementar la posibilidad de que adquieran toxicidad por manganeso, cobre o hierro (Chen, 2017).

Chen (2017) argumenta que en la toxicidad, aunque es poco común, los niveles de silicio en exceso pueden competir con la absorción de otros nutrientes. Se comprobó que los altos niveles de silicio en plantas, las deformó. Las plantas consideradas como “no acumuladoras” de silicio son más sensibles al exceso de silicio en comparación con las que son “acumuladoras”.

Promix (2018) publica que el magnesio (Mg), junto con el calcio y el azufre, es uno de los tres nutrientes secundarios que requieren las plantas para un desarrollo normal, saludable. Se consideran secundarios debido a su cantidad y no a su importancia, evitemos confusiones. La falta de un nutriente secundario es tan perjudicial para el desarrollo de las plantas como la de cualquiera de los tres de carácter primario (nitrógeno, fósforo y potasio) o la deficiencia de micronutrientes (hierro, manganeso, boro, zinc, cobre y molibdeno). Además, en algunas plantas, la concentración de magnesio en el tejido es comparable a la de fósforo, un nutriente primario.

Hurtado (2018) refiere que el magnesio es parte de la molécula de clorofila, siendo esencial en el proceso de fotosíntesis para la producción de carbohidratos, teniendo en cuenta la gran influencia en el peso del grano y responsable del color verde de la planta. Dos factores que influyen en la nutrición con magnesio a nivel de potasio y temperatura del suelo. Estos últimos autores demuestran que la medida de la dosis de potasio aumenta, la absorción de magnesio así como el efecto antagónico de absorción K-Mg. De este modo, en los suelos con bajo contenido de magnesio se puede inducir una deficiencia de este nutriente por aplicaciones de potasio. Por otro lado, las bajas temperaturas del suelo en la zona radicular han disminuido en la absorción de magnesio.

Promix (2018) señala que la función del magnesio, para realizar un trabajo adecuado, muchas de las enzimas pertenecientes a las células de las plantas necesitan magnesio. Sin embargo, la función más importante de este elemento es la de átomo central en la molécula de clorofila. La clorofila es el pigmento que da a las plantas su color verde y lleva a cabo el proceso de la fotosíntesis; también interviene en la activación de un sinnúmero de enzimas necesarias para su desarrollo y contribuye a la síntesis de proteínas.

Kali (2018) indica que aunque el arroz tiene las necesidades más bajas de magnesio entre los cereales, la fertilización del magnesio en el arroz, se está convirtiendo en una práctica habitual especialmente en sistemas de cultivos con altos rendimientos debido al agotamiento del magnesio en muchos suelos. El magnesio juega un papel esencial en el rendimiento y la calidad:

- El magnesio es el átomo central de la molécula de la clorofila
- El magnesio está involucrado en la asimilación del CO₂ y la síntesis de proteína y tiene un gran impacto sobre el valor nutricional del arroz
- El magnesio activa numerosos enzimas
- Un adecuado aporte de magnesio significa una mayor proporción en el molido del arroz.

Hurtado (2018) explica que la nutrición del cultivo interactúa con otros factores de producción. La mejor nutrición del cultivo resulta en una mayor eficiencia del uso del agua en general el factor más importante en la producción de trigo. La respuesta a la fertilización, la misma disponibilidad de nutrientes, depende del potencial de rendimiento de la variedad y la adaptación a las condiciones edafo-climáticas del sitio. Los cultivos con mejor nutrición son más tolerantes o menos afectados por enfermedades foliares necrotroficas.

Kali (2018) expresa que la deficiencia de magnesio puede ser causada por una baja disponibilidad del magnesio en el suelo o un decrecimiento del magnesio debido a un radio sub-óptimo entre Ca:Mg intercambiables. El índice óptimo Ca :

Mg en el arroz entre el encañado y la iniciación de la panícula es de 1 - 1.5 : 1. Para prevenir la deficiencia de magnesio la concentración de Mg en la hoja debe hallarse en el rango óptimo descrito anteriormente. La concentración de Mg en el suelo debe ser $> 3 \text{ cmolc Mg}$.

Promix (2018) divulga que el magnesio tiene movilidad en las plantas, así que los síntomas de su deficiencia aparecen primero en las hojas más viejas: se tornan amarillas con venas verdes (i. e., clorosis intervenal). Aunque por lo general la disponibilidad del magnesio para ser absorbido por las plantas no resulta afectada significativamente por el pH de los sustratos para cultivo sin suelo, sí aumenta a medida que éste se incrementa. La deficiencia de magnesio a menudo es provocada por la falta de aplicación, pero también puede ser inducida si existen altos niveles de calcio, de potasio o de sodio en el sustrato.

La toxicidad de magnesio es muy rara en los cultivos de invernaderos y viveros, generalmente es en cultivos de campo abierto. En altos niveles, este elemento compite con el calcio y el potasio para ser absorbido por la planta, pudiendo causar deficiencia de ellos en el tejido foliar (Promix, 2018).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Ubicación y descripción de sitio experimental

El presente trabajo experimental, se realizó en los terrenos de la Cooperativa “San Antonio”, de propiedad del Sr. Gilberto Federico Zamora Vera, ubicados en el km. 1,0 vía Baba – Isla de Bejucal, ubicada en las coordenadas geográficas de 197165,89 UTM Latitud Sur, 351695,02 Longitud Oeste, con una altura de 8 msnm.

La zona, tiene un clima tropical, con una temperatura media anual de 25,6 °C, precipitación anual 1.730 mm, humedad relativa de 82%.³

3.2. Características del suelo

El suelo es de origen aluvial, topografía plana, textura franco arcillosa, drenaje y fertilidad regular.

3.3. Material genético

Se empleó la semilla de arroz variedad Iniap FL 1480 “Cristalino”, que se caracteriza por ser resistente a varias plagas y enfermedades, como la pudrición de la vaina, manchado de grano, quemazón y sogata. Además que posee un mayor contenido de proteínas y de zinc.

3.4. Factores estudiados

Variable dependiente: dosis de fertilizantes a base de silicio y magnesio.

Variable independiente: manejo del cultivo del arroz.

³ Datos tomados de la Estación Agrometeorológica de la Facultad de Ciencias Agropecuarias UTB. 2018

3.5. Métodos

Se utilizaron los métodos inductivo – deductivo, deductivo – inductivo y experimental.

3.6. Tratamientos

Los tratamientos estuvieron constituidos por las dos dosis de Silicio y tres dosis de Magnesio, tal como se describe a continuación:

Cuadro 1. Tratamientos estudiados en la respuesta del cultivo de arroz, a la aplicación de fertilización con Silicio y Magnesio. FACIAG, UTB. 2018

Tratamientos		
Nº	Dosis kg/ ha ⁴	
	Si	Mg
T1	5	10
T2	5	20
T3	5	30
T4	10	10
T5	10	20
T6	10	30
T7	0	0

Dosis propuestas por casa comercial

3.7. Diseño experimental

De acuerdo con los tratamientos planteados en la presente trabajo experimental se utilizó el diseño experimental “Bloques al azar” con 3 repeticiones.

Las variables evaluadas fueron sometidas al análisis de variancia y para

⁴ Dosis propuesta por Fertisa. S. A. 2017.

determinar la diferencia estadística entre las medias de los tratamientos, se aplicará la prueba de Tukey al 95 % de probabilidad.

3.8. Análisis de varianza

El análisis de varianza se desarrolló bajo el siguiente esquema:

Fuente de variación	Grados de libertad
Tratamiento	6
Repetición	2
Error experimental	12
Total	20

3.8.1. Características del área experimental

Descripción	Dimensión
Ancho de parcela	: 5,0 m
Longitud de parcela	: 6,0 m
Área de la parcela	: 30,0 m ²
Área total del experimento	: 700 m ²

3.9. Manejo del ensayo

Se efectuaron todas las labores que requiere el cultivo de arroz para su normal desarrollo.

3.9.1. Preparación del terreno

La preparación del suelo se realizó mediante dos pases de arado y dos de rastra, para dejar el suelo en condición óptima de siembra.

3.9.2. Siembra

La siembra se realizó en forma manual, al voleo a una densidad de 100 kg/ha de semilla.

3.9.3. Fertilización

El programa de fertilización se realizó de acuerdo a los tratamientos establecidos para el presente estudio. Las aplicaciones se efectuaron de forma fraccionada con silicio y magnesio según el siguiente cuadro:

Cuadro 2. Dosificación de los fertilizantes a utilizarse en el ensayo: “Respuesta del cultivo de arroz (*Oryza sativa* L.), a la aplicación de fertilizantes con Silicio y Magnesio”. FACIAG, UTB. 2018

Tratamientos	Días de aplicación	
	15 dds	30 dds
	Dosis (kg/ha) Si – Mg	Dosis (kg/ha) Si - Mg
T1	0 – 5	5 - 5
T2	0 – 10	5 - 10
T3	0 – 15	5 - 15
T4	5 – 5	5 - 5
T5	5 – 10	5 - 10
T6	5 – 15	5 - 15
T7	0	0

La fertilización mineral se realizó con Nitrógeno, Fósforo y Potasio, utilizando como fuente Urea (46 % de N), DAP (18 % de N - 46 % de P₂O₅) y Muriato de Potasio (60 % de K₂O) en dosis de 120 – 60 – 90 kg/ha. El nitrógeno se aplicó al voleo, fraccionado en partes iguales a los 20 – 35 – 50 días después de la siembra; mientras que el fósforo y potasio al momento de la siembra de manera

dirigida.

3.9.4. Riego

El cultivo se estableció bajo condiciones de secano, por tanto estuvo a expensas de las lluvias.

3.9.5. Control de malezas

Se realizó a los tres días después de la siembra en postemergencia temprana. Los productos utilizados fueron Clomit (*Clomazone*), en dosis de 1,0 L/ha y Nominee (*Bispiribac sodium*) 250 cc/ha y 2-4 D Amina 0,4 L/ha.

En postemergencia tardía no se realizó control de malezas porque se controló con lámina de agua.

3.9.6. Control de insectos- plagas y enfermedades

Se realizaron monitoreos constantes aplicando de manera preventiva Clorpirifos en dosis de 750 cc/ha, a los 10 días después de la siembra.

Para la prevención de enfermedades se utilizó Silvacur Combi (*Tebuconazole + Tridimenol*) en dosis de 1,0 L/ha a los 25 días después de la siembra.

3.9.7. Cosecha

Se efectuó en forma manual, cuando el cultivo alcanzó la madurez fisiológica en los diferentes tratamientos

3.10. Datos evaluados

Para determinar los resultados se evaluaron diferentes variables.

3.10.1. Altura de planta

Al momento de la cosecha, se midió desde la superficie del suelo hasta el ápice de la panícula más sobresaliente, excluyendo las aristas. Esto se realizó en diez plantas al azar, en cada parcela y su resultado se expresó en centímetros.

3.10.2. Número de macollos/m²

En cada parcela experimental dentro del área útil, se lanzó un marco de madera de un 1,0 m², donde se contabilizó el número de macollos existentes.

3.10.3. Número de panículas/m²

Se lo realizó en el mismo metro cuadrado que se evaluó el número de macollos, contabilizando el número de panículas en forma manual.

3.10.4. Longitud de panículas

En diez panículas por parcela experimental, se tomó al azar la longitud de panículas, cuya distancia es la comprendida entre el nudo ciliar y el ápice de la panícula. El resultado fue expresado en cm.

3.10.5. Granos por panículas

En 10 panículas la azar por parcela experimental se contabilizó el número de granos por panículas.

3.10.6. Peso de 1000 semillas

Se tomó al azar 1000 semillas por tratamiento al 14 % de humedad y se pesó en una balanza de precisión. El valor se expresó en gramos.

3.10.7. Rendimiento por hectárea

Estuvo determinado por el peso de los granos provenientes del área útil por cada parcela experimental. El peso se ajustó al 14 % de humedad y se transformó a tonelada por hectárea. Para uniformizar los pesos se empleó la fórmula siguiente⁵:

$$Pu = \frac{Pa (100 - ha)}{(100 - hd)}$$

Pu=peso uniformizado

Pa= peso actual

ha=humedad actual

hd=humedad deseada

3.10.8. Análisis Económico

Se consideró los ingresos y egresos, para luego calcular la utilidad o beneficio neto, por cada tratamiento.

⁵ Datos proporcionados en Tesis de Ingeniería Agronómica. 2018

IV. RESULTADOS

4.1. Altura de planta

En el Cuadro 3, se observan los promedios de la variable altura de planta. El análisis de varianza reportó diferencias altamente significativas y el coeficiente de variación fue 1,12 %.

El mayor promedio correspondió a la aplicación de 10 kg/ha de Silicio + 20 kg/ha de Magnesio con 109,0 cm; estadísticamente igual a las aplicaciones de 10 kg/ha de Silicio + 10 kg/ha de Magnesio; 10 kg/ha de Silicio + 30 kg/ha de Magnesio y superiores estadísticamente a los demás tratamientos, siendo el menor valor para el testigo absoluto con 99,7 cm.

Cuadro 3. Altura de planta, en respuesta del cultivo de arroz a la aplicación de fertilizantes con Silicio y Magnesio. FACIAG, UTB. 2018

Nº	Tratamientos		Altura de planta (cm)
	Dosis kg/ ha		
	Si	Mg	
T1	5	10	104,2 b
T2	5	20	105,6 b
T3	5	30	105,5 b
T4	10	10	106,3 ab
T5	10	20	109,0 a
T6	10	30	107,4 ab
T7	0	0	99,7 c
Promedio general			105,4
Significancia estadística			**
Coeficiente de variación			1,12 %

Promedios con la misma letra no difieren significativamente según la Prueba de Tukey.

**= altamente significativo

4.2. Número de macollos/m²

Los promedios de número de macollos/m² se registran en el Cuadro 4. El análisis de varianza mostró diferencias altamente significativas y el coeficiente de variación fue 2,43 %.

La aplicación de 10 kg/ha de Silicio + 20 kg/ha de Magnesio detectó el mayor valor (510 macollos/m²), estadísticamente igual al empleo de las aplicaciones de 5 kg/ha de Silicio + 10 kg/ha de Magnesio; 10 kg/ha de Silicio + 30 kg/ha de Magnesio y superiores estadísticamente a los demás tratamientos, siendo el menor valor para el testigo absoluto (432 macollos/m²).

Cuadro 4. Número de macollos/m², en respuesta del cultivo de arroz a la aplicación de fertilizantes con Silicio y Magnesio. FACIAG, UTB. 2018

Nº	Tratamientos		Número de macollos/m ²
	Dosis kg/ ha		
	Si	Mg	
T1	5	10	479 ab
T2	5	20	463 bc
T3	5	30	449 bc
T4	10	10	461 bc
T5	10	20	510 a
T6	10	30	481 ab
T7	0	0	432 c
Promedio general			468
Significancia estadística			**
Coeficiente de variación			2,43 %

Promedios con la misma letra no difieren significativamente según la Prueba de Tukey.

**= altamente significativo

4.3. Número de panículas/m²

Los promedios de número de panículas/m² muestran el análisis de varianza con diferencias altamente significativas y el coeficiente de variación 4,67 % (Cuadro 5).

La aplicación de 10 kg/ha de Silicio + 20 kg/ha de Magnesio superó los resultados con 448 panículas/m², estadísticamente superior al resto de tratamientos, siendo el menor promedio para el testigo absoluto con 324 panículas/m².

Cuadro 5. Número de panículas/m², en respuesta del cultivo de arroz a la aplicación de fertilizantes con Silicio y Magnesio. FACIAG, UTB. 2018

Nº	Tratamientos		Número de panículas/m ²
	Dosis kg/ ha		
	Si	Mg	
T1	5	10	347 bc
T2	5	20	365 bc
T3	5	30	374 bc
T4	10	10	389 b
T5	10	20	448 a
T6	10	30	389 b
T7	0	0	324 c
Promedio general			377
Significancia estadística			**
Coeficiente de variación			4,67 %

Promedios con la misma letra no difieren significativamente según la Prueba de Tukey.

**= altamente significativo

4.4. Longitud de panículas

En el Cuadro 6, se reportan los promedios de la variable longitud de panícula. El análisis de varianza reportó diferencias significativas y el coeficiente de variación fue 3,17 %.

El mayor promedio correspondió a la aplicación de 10 kg/ha de Silicio + 20 kg/ha de Magnesio con 26,7 cm; estadísticamente igual a las aplicaciones de 5 kg/ha de Silicio + 10 kg/ha de Magnesio; 5 kg/ha de Silicio + 20 kg/ha de Magnesio; 5 kg/ha de Silicio + 30 kg/ha de Magnesio; 10 kg/ha de Silicio + 10 kg/ha de Magnesio; 10 kg/ha de Silicio + 30 kg/ha de Magnesio y superiores al testigo absoluto con 23,5 cm.

Cuadro 6. Longitud de panícula (cm), en respuesta del cultivo de arroz a la aplicación de fertilizantes con Silicio y Magnesio. FACIAG, UTB. 2018

Nº	Tratamientos		Longitud de panícula (cm)
	Dosis kg/ ha		
	Si	Mg	
T1	5	10	24,5 ab
T2	5	20	24,9 ab
T3	5	30	24,8 ab
T4	10	10	24,7 ab
T5	10	20	26,7 a
T6	10	30	26,5 a
T7	0	0	23,5 b
Promedio general			25,1
Significancia estadística			*
Coeficiente de variación			3,17 %

Promedios con la misma letra no difieren significativamente según la Prueba de Tukey.

*= significativo

4.5. Número de granos por panículas

Los promedios de número de granos por panículas se registran en el Cuadro 7. El análisis de varianza mostró diferencias altamente significativas y el coeficiente de variación fue 3,02 %.

La aplicación de 10 kg/ha de Silicio + 20 kg/ha de Magnesio detectó el mayor valor (164 granos/panículas), estadísticamente superiores a los demás tratamientos, siendo el menor valor para el testigo absoluto (130 granos/panículas).

Cuadro 7. Número de granos por panículas, en respuesta del cultivo de arroz a la aplicación de fertilizantes con Silicio y Magnesio. FACIAG, UTB. 2018

Nº	Tratamientos		Número de granos por panículas
	Dosis kg/ ha		
	Si	Mg	
T1	5	10	140 bc
T2	5	20	148 b
T3	5	30	148 b
T4	10	10	149 b
T5	10	20	164 a
T6	10	30	150 b
T7	0	0	130 c
Promedio general			147
Significancia estadística			**
Coeficiente de variación			3,02 %

Promedios con la misma letra no difieren significativamente según la Prueba de Tukey.

**= altamente significativo

4.6. Peso de 1000 granos

Los promedios de peso de 1000 granos se observan en el Cuadro 8. El análisis de varianza obtuvo diferencias altamente significativas y el coeficiente de variación 3,93 %.

La aplicación de 10 kg/ha de Silicio + 20 kg/ha de Magnesio superó los resultados con 26,0 g, estadísticamente igual al uso de 10 kg/ha de Silicio + 30 kg/ha de Magnesio y superiores estadísticamente al resto de tratamientos, siendo el menor promedio para el testigo absoluto con 20,9 g.

Cuadro 8. Peso de 1000 granos (g), en respuesta del cultivo de arroz a la aplicación de fertilizantes con Silicio y Magnesio. FACIAG, UTB. 2018

Nº	Tratamientos		Peso de 1000 granos (g)
	Si	Mg	
T1	5	10	21,9 c
T2	5	20	21,9 bc
T3	5	30	22,2 bc
T4	10	10	22,2 bc
T5	10	20	26,0 a
T6	10	30	24,5 ab
T7	0	0	20,9 c
Promedio general			22,8
Significancia estadística			**
Coeficiente de variación			3,93 %

Promedios con la misma letra no difieren significativamente según la Prueba de Tukey.

**= altamente significativo

4.7. Rendimiento

En el Cuadro 9, se reportan los promedios de rendimiento en kg/ha. El análisis de varianza presentó diferencias altamente significativas y el coeficiente de variación fue 6,21 %.

El mayor promedio correspondió a la aplicación de 10 kg/ha de Silicio + 20 kg/ha de Magnesio con 6033,3 kg/ha; estadísticamente igual a las aplicaciones de 5 kg/ha de Silicio + 30 kg/ha de Magnesio; 10 kg/ha de Silicio + 10 kg/ha de Magnesio; 10 kg/ha de Silicio + 30 kg/ha de Magnesio y superiores estadísticamente al reto de tratamientos. El menor valor fue para el testigo absoluto con 3516,7 kg/ha.

Cuadro 9. Rendimiento (kg/ha), en respuesta del cultivo de arroz a la aplicación de fertilizantes con Silicio y Magnesio. FACIAG, UTB. 2018

Nº	Tratamientos		Rendimiento (kg/ha)
	Dosis kg/ ha		
	Si	Mg	
T1	5	10	4757,4 b
T2	5	20	5051,5 b
T3	5	30	5270,4 ab
T4	10	10	5328,6 ab
T5	10	20	6033,3 a
T6	10	30	5200,7 ab
T7	0	0	3516,7 c
Promedio general			5022,7
Significancia estadística			**
Coeficiente de variación			6,21 %

Promedios con la misma letra no difieren significativamente según la Prueba de Tukey.

**= altamente significativo

4.8. Análisis económico

El análisis económico (Cuadro 11), presentó mayor beneficio neto el uso de 10 kg/ha de Silicio + 20 kg/ha de Magnesio con \$ 565,1.

Cuadro 10. Costos fijos/ha, en respuesta del cultivo de arroz a la aplicación de fertilizantes con Silicio y Magnesio. FACIAG, UTB. 2018

Descripción	Unidades	Cantidad	Costo Unitario (\$)	Valor Total (\$)
Alquiler de terreno	ha	1	250,00	250,00
Siembra				
Semilla	sacos	2	90,00	180,00
Mano de obra	jornales	4	12,00	48,00
Preparación del terreno				
Arada y rastra	u	4	25,00	100,00
Control de malezas				
Clomit	L	1	17,50	17,50
Nominee	funda	1	23,00	23,00
2-4 D Amina	L	0,4	14,00	5,60
Mano de obra	jornales	4	12,00	48,00
Control fitosanitario				
Clorpirifos	L	0,75	12,00	9,00
Silvacur combi	L	1	32,00	32,00
Mano de obra	jornales	6	12,00	72,00
Fertilización				
Urea	sacos	5,2	21,50	112,02
DAP	sacos	2,6	29,75	77,35
Muriato de potasio	sacos	3	20,50	61,50
Mano de obra	jornales	12	12,00	144,00
Sub Total				785,10
Administración (5 %)				39,26
Total Costo Fijo				824,36

Cuadro 11. Análisis económico/ha, en respuesta del cultivo de arroz a la aplicación de fertilizantes con Silicio y Magnesio. FACIAG, UTB. 2018

Nº	Tratamientos		Rend. kg/ha	Sacos 210 lb	Valor de producción (USD)	Fijos	Costo de producción (USD)				Beneficio neto (USD)
	Dosis kg/ ha						Variables	Total	Beneficio neto (USD)		
	Si	Mg								Productos	
T1	5	10	4757,4	49,8	1594,9	824,4	170,0	72,0	174,4	1240,8	354,1
T2	5	20	5051,5	52,9	1693,5	824,4	280,0	72,0	185,2	1361,6	331,9
T3	5	30	5270,4	55,2	1766,9	824,4	390,0	72,0	193,3	1479,6	287,3
T4	10	10	5328,6	55,8	1786,4	824,4	230,0	72,0	195,4	1321,7	464,7
T5	10	20	6033,3	63,2	2022,7	824,4	340,0	72,0	221,2	1457,6	565,1
T6	10	30	5200,7	54,5	1743,6	824,4	450,0	72,0	190,7	1537,1	206,5
T7	0	0	3516,7	36,8	1179,0	824,4	0,0	0,0	129,0	953,3	225,7

Oxido de Magnesio= \$ 11,0 (kg)

Oxido de Silicio = \$ 12,0 (kg)

Jornal = \$ 12,00

Costo = \$ 32 (210 lb)

Cosecha + transporte = \$ 3,50

V. CONCLUSIONES

Por los resultados obtenidos se concluye:

1. Se presentó excelente respuesta del cultivo de arroz, variedad Iniap FL 1480 "Cristalino", a la fertilización complementaria con Silicio y Magnesio.
2. Las características agronómicas como altura de planta, macollos y panículas por metro cuadrado, longitud de panícula, granos por panículas y peso de 1000 granos obtuvo excelente respuesta con la aplicación de 10 kg/ha de Silicio + 20 kg/ha de Magnesio a los 15 y 30 días después de la siembra.
3. El mayor rendimiento del grano y mayor beneficio neto lo alcanzó el uso de 10 kg/ha de Silicio + 20 kg/ha de Magnesio con 6033,3 kg/ha y \$ 565,1.

VI. RECOMENDACIONES

Por lo detallado anteriormente se recomienda:

1. Aplicar 10 kg/ha de Silicio + 20 kg/ha de Magnesio complementario a la fertilización mineral en el cultivo de arroz en época lluviosa.
2. Realizar investigaciones con otros microelementos para obtener mejor resultado en el cultivo de arroz.
3. Replicar el ensayo en época seca (arroz bajo riego).

VII. RESUMEN

El presente trabajo experimental, se realizó en los terrenos de la Cooperativa “San Antonio”, de propiedad del Sr. Gilberto Federico Zamora Vera, ubicados en el km. 1,0 vía Baba – Isla de Bejucal, ubicada en las coordenadas geográficas de 197165,89 UTM Latitud Sur, 351695,02 Longitud Oeste, con una altura de 8 msnm. La zona, tiene un clima tropical, con una temperatura media anual de 25,6 °C, precipitación anual 1.730 mm, humedad relativa de 82 %. El suelo es de origen aluvial, topografía plana, textura franco arcillosa, drenaje y fertilidad regular. Se empleó la semilla de arroz variedad Iniap FL 1480 “Cristalino”. Los tratamientos estuvieron constituidos por las dos dosis de Silicio (5, 10 kg/ha) y tres dosis de Magnesio (10, 20, 30 kg/ha) aplicados a los 15 y 30 días después de la siembra. Se utilizó el diseño experimental “Bloques al azar” con 3 repeticiones. Las variables evaluadas fueron sometidas al análisis de variancia y para determinar la diferencia estadística entre las medias de los tratamientos, se aplicará la prueba de Tukey al 95 % de probabilidad. Se efectuaron en el cultivo las labores de preparación del terreno, siembra, fertilización, riego, control de malezas, control de insectos- plagas y enfermedades y cosecha. Para determinar los resultados se evaluaron las variables de altura de planta, número de macollos y panículas/m², longitud de panículas, granos por panículas, peso de 1000 semillas, rendimiento por hectárea y análisis económico. Por los resultados obtenidos se determinó que se presentó excelente respuesta del cultivo de arroz, variedad Iniap FL 1480 “Cristalino”, a la fertilización complementaria con Silicio y Magnesio; las características agronómicas como altura de planta, macollos y panículas por metro cuadrado, longitud de panícula, granos por panículas y peso de 1000 granos obtuvo excelente respuesta con la aplicación de 10 kg/ha de Silicio + 20 kg/ha de Magnesio a los 15 y 30 días después de la siembra; el mayor rendimiento del grano y mayor beneficio neto lo alcanzó el uso de 10 kg/ha de Silicio + 20 kg/ha de Magnesio con 6033,3 kg/ha y \$ 565,1.

Palabras claves: arroz, fertilización, magnesio, micronutrientes, silicio.

VIII. SUMMARY

The present experimental work was carried out on the grounds of the Cooperativa "San Antonio", owned by Mr. Gilberto Federico Zamora Vera, located at km. 1.0 via Baba - Bejucal Island, located at the geographic coordinates of 197165.89 UTM South Latitude, 351695.02 West Longitude, with a height of 8 masl. The area has a tropical climate, with an average annual temperature of 25.6 ° C, annual precipitation 1,730 mm, relative humidity of 82%. The soil is of alluvial origin, flat topography, clay loam texture, drainage and regular fertility. The rice seed variety Iniap FL 1480 "Cristalino" was used. The treatments consisted of the two doses of Silicon (5, 10 kg / ha) and three doses of Magnesium (10, 20, 30 kg / ha) applied at 15 and 30 days after sowing. The experimental design "Random blocks" with 3 repetitions was used. The variables evaluated were subjected to the analysis of variance and to determine the statistical difference between the means of the treatments, the Tukey test will be applied at 95% probability. The tasks of land preparation, sowing, fertilization, irrigation, weed control, insect control, pests and diseases, and harvesting were carried out in the crop. To determine the results, the variables of plant height, number of tillers and panicles / m², length of panicles, grains per panicles, weight of 1000 seeds, yield per hectare and economic analysis were evaluated. For the results obtained it was determined that an excellent response of the rice crop, variety Iniap FL 1480 "Cristalino", to the complementary fertilization with Silicon and Magnesium was presented; agronomic traits such as plant height, tillers and panicles per square meter, panicle length, grains per panicle and 1000 grain weight obtained excellent response with application of 10 kg / ha Silicon + 20 kg / ha of magnesium at 15 and 30 days after sowing; the greater yield of the grain and greater net benefit reached the use of 10 kg / ha of Silicon + 20 kg / ha of Magnesium with 6033.3 kg / ha and \$ 565.1.

Keywords: rice, fertilization, magnesium, micronutrients, silicon.

IX. BIBLIOGRAFIA

- AGRI-CROP. 2019. Importancia General del Silicio en Cultivos de Arroz y Palma Aceitera. Disponible en <https://sites.google.com/site/agricrop4/home>
- Almendros, P., Rico, M., López, L., Álvarez, J. 2015. Deficiencia de zinc en los cultivos y correctores de carencia del micronutriente. "Vida Rural", v. 19 (n. 280); pp. 12-16. ISSN 1133-8938.
- Barahona-Amores, L., Villarreal-Núñez, J., Samaniego-Sánchez, R., Quirós-McIntire, E. 2018. Absorción de nutrientes de dos variedades de arroz en un suelo entisol bajo secano en Tonosí-Panamá. Ciencia Agropecuaria N°. 28:56-74
- Cedeño, J., Cedeño, G., Alcívar, J., Cargua, J., Cedeño, F., Cedeño, J., Constante, G. 2018. Incremento del rendimiento y calidad nutricional del arroz con fertilización NPK complementada con micronutrientes. Scientia Agropecuaria. *versión impresa* ISSN 2077-9917. Scientia Agropecuaria vol.9 no.4 Trujillo oct./dic. 2018.
<http://dx.doi.org/10.17268/sci.agropecu.2018.04.05>
- Chen, J. 2017. Rol del silicio en el cultivo de plantas. Promix. Disponible en <https://www.pthorticulture.com/es/centro-de-formacion/rol-del-silicio-en-el-cultiChen, J., 2017. vo-de-plantas/>
- De la Cruz, A., García-Serrano, P. 2014. La contribución de los fertilizantes a la producción y a la calidad de los alimentos. Fertiberia S.A. Noticias Empresas del Sector. Vida Rural.
- Dothée, N. y Ortiz, A. 2017. Diagnóstico nutricional del cultivo de arroz (*Oryza sativa* L.) variedad Fedearroz 50 en un suelo del municipio Anzoátegui,

- Cojedes. Disponible en https://www.researchgate.net/publication/48223625_Diagnostico_nutricional_del_cultivo_de_arroz_Oryza_sativa_L_variedad_fedearroz_50_en_un_suelo_del_municipio_Anzoategui_Cojedes
- Fertiberia. 2018. Guía del abonado para todo tipo de cultivos. Disponible en <http://www.fertiberia.com/es/agricultura/servicios-al-agricultor/guia-del-abonado/arroz/>
- Hurtado, N. 2018. Microelementos en la fertilización y manejo del cultivo. Disponible en <https://editorialderiego.com/2018/04/microelementos-en-la-fertilizacion-y-manejo-del-cultivo/>
- Kali. 2018. El cultivo de arroz. Disponible en https://www.kali-gmbh.com/eses/fertiliser/advisory_service/crops/rice.html
- Pilaloo, W., Alvarado, A., Pacheco, P., 2017. Reducción de la fertilización edáfica con aplicación de fertilizantes foliares en cultivo de arroz”, Revista DELOS: Desarrollo Local Sostenible, n. 29.
- Promix. 2018. La función del magnesio en el cultivo de plantas. Disponible en <https://www.pthorticulture.com/es/servicios-al-productor/jose-chen-lopez/>
- Rodríguez, J. 2013. Fertilización del cultivo del arroz (*Oryza sativa*). Conferencia 74. XI Congreso Nacional Agronómico / III Congreso Nacional de Suelos.
- Sánchez, G., Yepes, R., Mesa, J. 2014. Diagnóstico de la fertilidad de los suelos y estimativos sobre las necesidades de fertilizantes para el distrito de riego del Rio Zulia (Norte de Santander). Agronomía Colombiana. Volumen XIII, Nº.2; Pág. 169-185

Sánchez, L. 2014. Micronutrientes en el cultivo del arroz. Fedearroz.. Vol. 27 (294)
p. 31-32.

Trinidad, A., Aguilar, D. 2014. Fertilización foliar, un respaldo importante en el
rendimiento de los cultivos Terra Latinoamericana. Sociedad Mexicana de la
Ciencia del Suelo, A.C. Chapingo, México. Vol. 17, núm. 3, pp. 247-255

ANEXOS

Cuadros de resultados, análisis de varianza y prueba de significancia estadística.

Cuadro 12. Altura de planta, en respuesta del cultivo de arroz a la aplicación de fertilizantes con Silicio y Magnesio. FACIAG, UTB. 2018

Nº	Tratamientos		Repeticiones			Prom.
	Dosis kg/ ha		I	II	III	
	Si	Mg				
T1	5	10	104,5	104,7	103,5	104,2
T2	5	20	105,6	105,8	105,4	105,6
T3	5	30	104,7	105,8	105,9	105,5
T4	10	10	105,3	106,6	107,0	106,3
T5	10	20	109,6	108,5	108,9	109,0
T6	10	30	106,5	107,8	108,0	107,4
T7	0	0	98,8	102,8	97,5	99,7

Variable N R² R² Aj CV
Al pl 21 0,91 0,84 1,12

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V. SC gl CM F p-valor
 Modelo. 159,40 8 19,93 14,42 <0,0001
 Tratam 155,40 6 25,90 18,75 <0,0001
 Rep 4,00 2 2,00 1,45 0,2730
 Error 16,58 12 1,38
Total 175,98 20

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=3,35862

Error: 1,3813 gl: 12

Tratam Medias n E.E.

T5 109,00 3 0,68 A
 T6 107,43 3 0,68 A B
 T4 106,30 3 0,68 A B
 T2 105,60 3 0,68 B
 T3 105,47 3 0,68 B
 T1 104,23 3 0,68 B
T7 99,70 3 0,68 C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Cuadro 13. Número de macollos/m², en respuesta del cultivo de arroz a la aplicación de fertilizantes con Silicio y Magnesio. FACIAG, UTB. 2018

Tratamientos			Repeticiones			Prom.
Nº	Dosis kg/ ha		I	II	III	
	Si	Mg				
T1	5	10	473	499	465	479
T2	5	20	467	475	448	463
T3	5	30	452	442	454	449
T4	10	10	463	478	443	461
T5	10	20	510	503	516	510
T6	10	30	468	497	477	481
T7	0	0	431	436	428	432

Variable N R² R² Aj CV
Macollos 21 0,89 0,81 2,43

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V. SC gl CM F p-valor
 Modelo. 11982,57 8 1497,82 11,61 0,0001
 Tratam 11256,57 6 1876,10 14,54 0,0001
 Rep 726,00 2 363,00 2,81 0,0995
 Error 1548,00 12 129,00
Total 13530,57 20

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=32,45666

Error: 129,0000 gl: 12

Tratam Medias n E.E.

T5 509,67 3 6,56 A
 T6 480,67 3 6,56 A B
 T1 479,00 3 6,56 A B
 T2 463,33 3 6,56 B C
 T4 461,33 3 6,56 B C
 T3 449,33 3 6,56 B C
T7 431,67 3 6,56 C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Cuadro 14. Número de panículas/m², en respuesta del cultivo de arroz a la aplicación de fertilizantes con Silicio y Magnesio. FACIAG, UTB. 2018

Nº	Tratamientos		Repeticiones			Prom.
	Dosis kg/ ha		I	II	III	
	Si	Mg				
T1	5	10	348	358	335	347
T2	5	20	356	371	368	365
T3	5	30	363	387	371	374
T4	10	10	367	376	423	389
T5	10	20	449	457	439	448
T6	10	30	369	378	421	389
T7	0	0	325	334	312	324

Variable N R² R² Aj CV
Paniculas 21 0,89 0,81 4,67

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V. SC gl CM F p-valor
 Modelo. 28566,00 8 3570,75 11,55 0,0001
 Tratam 27823,90 6 4637,32 15,00 0,0001
 Rep 742,10 2 371,05 1,20 0,3348
 Error 3709,24 12 309,10
Total 32275,24 20

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=50,24128

Error: 309,1032 gl: 12

Tratam Medias n E.E.

T5 448,33 3 10,15 A
 T6 389,33 3 10,15 B
 T4 388,67 3 10,15 B
 T3 373,67 3 10,15 B C
 T2 365,00 3 10,15 B C
 T1 347,00 3 10,15 B C
T7 323,67 3 10,15 C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Cuadro 15. Longitud de panícula, en respuesta del cultivo de arroz a la aplicación de fertilizantes con Silicio y Magnesio. FACIAG, UTB. 2018

Nº	Tratamientos		Repeticiones			Prom.
	Dosis kg/ ha		I	II	III	
	Si	Mg				
T1	5	10	25,3	24,7	23,5	24,5
T2	5	20	24,8	24,0	25,8	24,9
T3	5	30	24,6	25,0	24,7	24,8
T4	10	10	25,0	24,3	24,9	24,7
T5	10	20	27,5	26,0	26,5	26,7
T6	10	30	25,7	26,5	27,3	26,5
T7	0	0	22,4	23,5	24,5	23,5

Variable N R² R²Aj CV
Long paniculas 21 0,76 0,60 3,17

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V. SC gl CM F p-valor
 Modelo. 23,95 8 2,99 4,73 0,0082
 Tratam 23,21 6 3,87 6,11 0,0039
 Rep 0,74 2 0,37 0,58 0,5724
 Error 7,59 12 0,63
Total 31,54 20

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=2,27318

Error: 0,6328 gl: 12

Tratam Medias n E.E.

T5 26,67 3 0,46 A
 T6 26,50 3 0,46 A
 T2 24,87 3 0,46 A B
 T3 24,77 3 0,46 A B
 T4 24,73 3 0,46 A B
 T1 24,50 3 0,46 A B
T7 23,47 3 0,46 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Cuadro 16. Granos por panículas, en respuesta del cultivo de arroz a la aplicación de fertilizantes con Silicio y Magnesio. FACIAG, UTB. 2018

Nº	Tratamientos		Repeticiones			Prom.
	Dosis kg/ ha		I	II	III	
	Si	Mg				
T1	5	10	142	140	139	140
T2	5	20	143	149	151	148
T3	5	30	150	148	145	148
T4	10	10	152	143	152	149
T5	10	20	167	166	159	164
T6	10	30	148	144	158	150
T7	0	0	128	130	131	130

Variable N R² R² Aj CV
Granos pani 21 0,89 0,82 3,02

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V. SC gl CM F p-valor
 Modelo. 1959,81 8 244,98 12,46 0,0001
 Tratam 1943,14 6 323,86 16,47 <0,0001
 Rep 16,67 2 8,33 0,42 0,6640
 Error 236,00 12 19,67
Total 2195,81 20

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=12,67285

Error: 19,6667 gl: 12

Tratam Medias n E.E.

T5 164,00 3 2,56 A
 T6 150,00 3 2,56 B
 T4 149,00 3 2,56 B
 T2 147,67 3 2,56 B
 T3 147,67 3 2,56 B
 T1 140,33 3 2,56 B C
T7 129,67 3 2,56 C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Cuadro 17. Peso de 1000 granos, en respuesta del cultivo de arroz a la aplicación de fertilizantes con Silicio y Magnesio. FACIAG, UTB. 2018

Nº	Tratamientos		Repeticiones			Prom.
	Dosis kg/ ha		I	II	III	
	Si	Mg				
T1	5	10	21,3	22,9	21,5	21,9
T2	5	20	22,5	21,0	22,3	21,9
T3	5	30	21,5	22,7	22,3	22,2
T4	10	10	22,5	21,8	22,4	22,2
T5	10	20	25,8	26,3	26,0	26,0
T6	10	30	24,8	25,7	22,9	24,5
T7	0	0	20,6	20,1	21,9	20,9

Variable N R² R²Aj CV
Peso 1000 granos 21 0,86 0,76 3,93

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V. SC gl CM F p-valor
 Modelo. 57,94 8 7,24 9,02 0,0005
 Tratam 57,76 6 9,63 11,98 0,0002
 Rep 0,18 2 0,09 0,11 0,8949
 Error 9,64 12 0,80
Total 67,58 20

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=2,56128

Error: 0,8033 gl: 12

Tratam Medias n E.E.

T5 26,03 3 0,52 A
 T6 24,47 3 0,52 A B
 T4 22,23 3 0,52 B C
 T3 22,17 3 0,52 B C
 T2 21,93 3 0,52 B C
 T1 21,90 3 0,52 C
T7 20,87 3 0,52 C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Cuadro 18. Rendimiento (kg/ha), en respuesta del cultivo de arroz a la aplicación de fertilizantes con Silicio y Magnesio. FACIAG, UTB. 2018

Nº	Tratamientos		Repeticiones			Prom.
	Dosis kg/ ha		I	II	III	
	Si	Mg				
T1	5	10	4509,3	4946,5	4816,3	4757,4
T2	5	20	5384,5	4815,5	4954,5	5051,5
T3	5	30	5188,8	5254,4	5368,0	5270,4
T4	10	10	5189,4	5344,9	5451,5	5328,6
T5	10	20	6736,3	5681,9	5681,9	6033,3
T6	10	30	5620,0	4946,5	5035,6	5200,7
T7	0	0	3756,8	3578,9	3214,5	3516,7

Variable N R² R² Aj CV
Rend 21 0,90 0,84 6,21

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V. SC gl CM F p-valor
 Modelo. 10964152,63 8 1370519,08 14,09 0,0001
 Tratam 10641684,07 6 1773614,01 18,23 <0,0001
 Rep 322468,56 2 161234,28 1,66 0,2314
 Error 1167196,86 12 97266,40
Total 12131349,49 20

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=891,23122

Error: 97266,4049 gl: 12

Tratam Medias n E.E.

T5 6033,37 3 180,06 A
 T4 5328,60 3 180,06 A B
 T3 5270,40 3 180,06 A B
 T6 5200,70 3 180,06 A B
 T2 5051,50 3 180,06 B
 T1 4757,37 3 180,06 B
T7 3516,73 3 180,06 C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Fotografías



Fig. 1. Visita del coordinador de titulación, Ing. Edwin Hasang



Fig. 2. Toma de la variable altura de planta



Fig. 3. Número de macollos/m²



Fig. 4. Evaluando longitud de panícula