

UNIVERSIDAD DE PANAMÁ
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS
ESCUELA DE INGENIERÍA AGRÍCOLA

**COMPARACIÓN DE CINCO NIVELES DE SILICIO EN EL CULTIVO DE ARROZ,
VARIEDAD LAGUNA, EN LA FINCA ESPIGA DEL REY, UBICADA EN CANTA
GALLO, DISTRITO DE ALANJE, PROVINCIA DE CHIRIQUÍ. PANAMÁ.**

ASESOR: ALEXIS SAMUDIO

GABRIELA VIGIL SANTAMARÍA

4-757-2470

II SEMESTRE

2017

**COMPARACIÓN DE CINCO NIVELES DE SILICIO EN EL CULTIVO DE ARROZ,
VARIEDAD LAGUNA, EN LA FINCA ESPIGA DEL REY, UBICADA EN CANTA
GALLO, DISTRITO DE ALANJE, PROVINCIA DE CHIRIQUÍ. PANAMÁ.**

**TRABAJO DE GRADUACIÓN SOMETIDA PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE
INGENIERO AGRÓNOMO EN MANEJO DE CUENCAS Y AMBIENTE**

**FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS
ESCUELA DE INGENIERIA AGRÍCOLA**

**PERMISO PARA SU PUBLICACIÓN, REPRODUCCIÓN TOAL O PARCIAL DEBE
SER OBTENIDA DE LA FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS**

APROBADO:

PROF. ING. ALEXIS SAMUDIO -----

DIRECTOR

PROFA. ING. FELICITA GONZALEZ -----

ASESOR

PROF. ING. ARIEL JAÉN -----

ASESOR

DAVID, CHIRIQUÍ

REPUBLICA DE PANAMÁ

2017

Dedicatoria

Dedico esta tesis a Dios mi padre celestial, a mis padres como logro de su formación y crianza, a mis hermanas Nallilys y Asiole, a mis preciosos Ángela y Alex y a mi mejor amigo, compañero y colega, Pedro Pablo.

Gabriela Vigil

Agradecimiento

“Yo les he dicho estas cosas para que en mí hallen paz. En este mundo afrontarán aflicciones pero anímense, Yo he vencido al mundo.” Juan 16:33.

En primera instancia, y como lo más importante le agradezco a Dios por darme la oportunidad de culminar exitosamente mi carrera universitaria, por su gran amor y misericordia; a mis padres Nicanor Vigil y Lesbia Santamaría que siempre fueron mis mayores fanáticos y pilares; a mis hermanas por su constante apoyo y regaño; a mis sobrinos que día con día me daban la fuerza y esperanza para continuar; a mis familiares, amigos y compañeros; igualmente a mi profesor asesor Ing. Alexis Samudio por su apoyo incondicional, comprensión y ayuda, a la Ing. Ana y al Sr. Reynaldo Morales y a su hijo Ing. Víctor Morales por su colaboración en la realización de este trabajo de grado.

De igual manera a una persona muy especial que estuvo conmigo desde el día cero, que me brindó su apoyo, amistad, compañía y amor, Pedro Pablo.

Gabriela Vigil

ÍNDICE GENERAL

Dedicatoria	iii
Agradecimiento	iv
Índice de cuadro.....	vii
Índice de gráficas y figuras.....	viii
Índice de anexos	ix
Resumen.....	x
Abstract	xi
Introducción.....	1
Planteamiento del problema	2
Antecedentes	3
Justificación	5
Objetivos	6
General.....	6
Específicos	6
Hipótesis	7
Hipótesis Alternativa	7
Hipótesis Nula.....	7
Alcances y limitaciones	7
CAPÍTULO 1	9
1. Marco teórico.....	9
1.1. Generalidades del cultivo de arroz.	9
1.2. Morfología del arroz.	9
1.3. Fases del desarrollo del cultivo de arroz.	12
1.4. Variedad de arroz Laguna.....	14
1.5. Características de los suelos arenosos.....	15
1.6. Generalidades del silicio (Si).	15
1.6.1. Importancia del silicio (Si).	16
1.6.2. Función del silicio (Si) en el suelo.....	17
1.6.3. Silicio (Si) en el cultivo de arroz.....	18
1.6.4. Deficiencia y toxicidad del silicio (Si) en el cultivo de arroz.	19
1.6.5. Magnesil (Fertilizante).	20

CAPÍTULO 2	21
2. Marco metodológico	21
2.1. Características del área de estudio	21
2.1.1. Definición y localización del área del estudio	21
2.1.2. Geología y geomorfología	21
2.1.3. Zona de vida y vegetación	22
2.1.4. Clima	22
2.2. Metodología	22
2.2.1. Muestreo y análisis de suelo	23
2.2.2. Establecimiento de las parcelas de muestreo	23
2.2.3. Evaluación del muestreo foliar de cada tratamiento con silicio (Si).	24
2.2.4. Metodología para el análisis de muestras foliares en el laboratorio para la determinación de silicio (Si).	25
2.3. Parámetros estimados	27
2.3.1. Análisis de fertilidad del suelo	27
2.3.2. Cantidad de silicio (Si) en las plantas de arroz.	27
2.3.3. Absorción de silicio (Si) en dos etapas de crecimiento.	27
2.3.4. Rendimiento de la variedad Laguna con la aplicación de silicio (Si).	27
2.3.5. Peso de cien granos de arroz.	28
2.3.6. Arreglo de las parcelas en campo.	28
CAPÍTULO 3	21
3. RESULTADOS	21
3.1. Análisis químico del suelo.	21
3.2. Cantidad de silicio (Si) en las plantas de arroz.	30
3.3. Absorción de silicio (Si) en dos etapas de crecimiento.	32
3.4. Rendimiento de la variedad Laguna con la aplicación de silicio (Si).	34
3.5. Peso de cien granos de arroz.	36
Conclusiones.....	38
Recomendaciones.....	40
Referencias bibliográficas	42
Anexos	49

Índice de cuadro

CUADRO		PÁG.
I	Arreglo de las parcelas y disposición general del ensayo.....	28
II	Análisis químico del suelo. Finca Espiga del Rey-Canta Gallo. 2017.....	30
III	Contenido de silicio (Si) en las plantas de arroz por tratamiento. Finca Espiga del Rey-Canta Gallo. 2017.....	32
IV	Peso de cien granos de arroz de la variedad Laguna por tratamiento de silicio (Si). Finca Espiga del Rey-Canta Gallo. 2017.....	36

Índice de gráficas y figuras

FIGURA		PÁG.
1.	Fases de crecimiento del arroz.....	13
2.	Absorción del silicio (Si) por la planta de arroz en dos muestreo. Finca Espiga del Rey-Canta Gallo. 2017.....	34
3.	Rendimiento de la variedad Laguna por tratamiento de silicio (Si). Finca espiga del Rey –Canta Gallo. 2017.....	36

Índice de anexos

ANEXO		PÁG.
1	Muestreo de suelo y establecimiento del ensayo.....	49
2	Recolección de muestras foliares, pesado, secado y molienda.....	49
3	Preparación de las muestras foliares para la determinación de silicio (Si).....	50

COMPARACIÓN DE CINCO NIVELES DE SILICIO EN EL CULTIVO DE ARROZ, VARIEDAD LAGUNA, EN LA FINCA ESPIGA DEL REY, UBICADA EN CANTA GALLO, DISTRITO DE ALANJE, PROVINCIA DE CHIRIQUÍ. PANAMÁ.

Vigil Santamaría, G. 2017. Comparación de cinco niveles de silicio en el cultivo de arroz, variedad Laguna, en la finca Espiga del Rey, ubicada en Canta Gallo, distrito de Alanje, provincia de Chiriquí. Panamá. Tesis Ing. en Manejo de Cuenca y Ambiente. Chiriquí, Panamá. Universidad de Panamá. Facultad de Ciencias Agropecuarias. 61 p.

Resumen

En Panamá en los años, 2015-2016 según la Contraloría Nacional se cosecharon más de 12 364 millones de kg de arroz, en una superficie aproximada de 93 000 hectáreas; sin embargo, estas cifras varían por las constantes adversidades que sufre la producción de este cultivo en el país. La fertilización química con silicio (Si), se presenta como una herramienta alterna tecnológica para la luchar con la degradación de los suelos y la sostenibilidad de la agricultura intensiva. Para el crecimiento adecuado y normal del arroz es necesario tener presente este elemento; el mismo es absorbido por las plantas en forma de ácido monosilícico, el silicio (Si) da diversos atributos al cultivo como: resistencia a enfermedades y al ataque de insectos, tallos más erectos y translocación del fósforo. La investigación en curso engloba la comparación de diferentes tratamientos de silicio (Si), en la finca Espiga del Rey ubicada en el corregimiento de Canta Gallo a 8°21'45.90"N y 82°37'22.74"O, distrito de Alanje, la misma se encuentra en una zona de alta precipitación y posee suelos franco-arenosos, se dedica en su totalidad a la producción pecuaria y agrícola específicamente a la producción de arroz. En el presente trabajo se utilizó el diseño de bloques completamente al azar con cuatro (4) repeticiones y seis (6) tratamientos, haciendo un total de 24 unidades experimentales, los tratamientos utilizados fueron de 29.8, 59.6, 119.2, 178.8, 238.5 kg de Si ha⁻¹ y el testigo cero (0), donde se estudió el efecto de una solución enriquecida de silicio (Magnesil), aplicada después de la siembra; se evaluó a nivel foliar el porcentaje de silicio (Si) y el rendimiento de la variedad Laguna. Los resultados obtenidos mostraron que los tratamientos de 119.2 kg de Si ha⁻¹ y 29.8 kg de Si ha⁻¹, contienen el porcentaje más alto de silicio (Si) con 0.20 y 0.19, respectivamente. Unido a esto los mejores rendimientos en la variedad Laguna fueron los tratamientos de 29.8 kg de Si ha⁻¹ y 119.2 kg de Si ha⁻¹; con 6 776.6 y 6 355.0 kg de arroz en cáscara/ha; mientras que, el tratamiento testigo obtuvo un rendimiento de 5 934.1 g de arroz en cáscara/ha.

Palabras claves: magnesil, variedad Laguna, niveles de silicio, cultivo de arroz.

COMPARISON OF FIVE LEVELS OF SILICON IN RICE CULTIVATION, VARIETY LAGUNA, IN THE ESPIGA DEL REY ESTATE, LOCATED IN THE SMALL TOWN OF CANTA GALLO, ALANJE DISTRICT, PROVINCE OF CHIRIQUÍ. PANAMÁ.

Vigil Santamaría, G. 2017. COMPARISON OF FIVE LEVELS OF SILICON IN RICE CULTIVATION, VARIETY LAGUNA, IN THE ESPIGA DEL REY ESTATE, LOCATED IN THE SMALL TOWN OF CANTA GALLO, ALANJE DISTRICT, PROVINCE OF CHIRIQUI. PANAMA. Thesis ing. watershed and environment management. Chiriquí, Panamá, Universidad de Panamá. Facultad de Ciencias Agropecuarias. 61 pages.

Abstract

In Panama, in the years 2015 – 2016 (according to the national auditor's office) were harvested more than 12 364 million kg of rice, in an area of approximately 93 000 hectares; However, these figures vary by the constant difficulties suffered by the production of this crop in the country. Chemical fertilization with Silicon (Si) is presented as an alternative technological tool to fight against the soil degradation and the sustainability of the intensive agriculture. For an adequate and normal growth of rice it is necessary to keep this element in mind; It is absorbed by the plants in the form of monosilic acid, silicon (Si) it gives many attributes to the crop such as: resistance to diseases and insect attack, the plants stem more erect and translocation of phosphorus. The ongoing research includes the comparison of different treatments of Silicon (Si), in the Espiga del Rey Estate located in the small town of Canta Gallo a 8°21'45.90"N y 82°37'22.74"W, Alanje district. It is located in an area of high rainfall and sandy soils. The estate is dedicated in its entirety to the livestock and agricultural production specifically to rice production. This work used the design of completely randomized blocks with four repetitions (4) and six (6) treatments, making a total of 24 experimental units, the treatments used were 29.8, 59.6, 119.2, 178.8, 238.5 kg de Si ha⁻¹ and the witness cero (0), where we studied the effect of a solution enriched Silicon (magnesil), applied after planting; The foliar level percentage of Silicon (Si) was also evaluated and the performance of the variety Laguna. The results showed that treatments of 119.2 Si kg/ha and 29.8 Si kg/ ha, contain the highest percentage of Silicon (Si) with 0.20 0.19, respectively. Attached to this the best yields in the Laguna range were the treatments of 29.8 Si kg / ha and 119.2 Si kg / ha; with 6 776.6 and 6 355.0 kg of rice / ha; while the control treatment obtained a yield of 5 934.1 g rice / ha.

Key words: magnesil, variety Laguna, silicon levels, rice cr

Introducción

La población mundial se incrementa en un 1,2 por ciento anualmente, lo que significa 82 millones de personas; en el 2014 se calcularon 7 200 millones y se estima una población de 8 100 millones para el año 2025 (ONU, 2014). Este aumento en la situación demográfica del mundo, es el principal indicador de que los agricultores poseen un gran reto en la producción de alimento.

El arroz es uno de los granos más consumidos mundialmente, ocupando el primer lugar en superficie dedicada a su producción. Actualmente este rubro ha sido atacado por una serie de enfermedades, causadas principalmente por los cambios climáticos y la no adecuada fertilización; tanto del suelo como de la planta.

Los macro y micro nutrimentos son los responsables del crecimiento exitoso de este cultivo, en cada una de sus fases; aplicando la dosis adecuada de estos elementos nos garantizaría un aumento en la producción; con ello satisfacer la demanda actual, evitar riesgos en la seguridad alimenticia e incrementar la economía de los productores.

El silicio (Si) es un elemento que forma parte importante del crecimiento y formación de la espiga y la cubierta del grano de arroz, además de aumentar la absorción de otros elementos esenciales para el cultivo como el fósforo (P).

La planta de arroz absorbe grandes cantidades de silicio, alcanzando niveles superiores al 10 por ciento de su peso total; su absorción es paralela al aumento de

materia seca a través de las diversas etapas de desarrollo del cultivo, este elemento es obtenido principalmente en las hojas, debido al gran contenido de fotosíntatos.

La continua producción de arroz en el tiempo, promueve una constante remoción de nutrimentos del suelo; incluido el silicio, que de no ser restituidos afectarán el rendimiento en futuras siembras, causando agotamiento y degradación.

Planteamiento del problema

El silicio (Si) es un nutrimento esencial para el crecimiento de la planta de arroz, debido a que la ausencia o presencia excesiva de este elemento pueden causar bajos rendimientos en la producción; lo que acarrea un desequilibrio en la seguridad alimenticia y en la economía de los productores de la región.

Los suelos tropicales normalmente son ácidos, dado a la baja saturación de bases, ya sea por la extracción de las plantas o por el uso intensivo de los suelos debido a la producción continua, entre otras razones; el distrito de Alanje posee suelos franco-arenosos y arenosos; los cuales presentan poca disponibilidad de silicio (Si) al realizar el análisis de suelo; lo mismo perjudica directamente al cultivo, ocasionando vulnerabilidad a enfermedades y baja producción. Por consiguiente, se debe tener una fuente adecuada de silicio (Si) para fertilizar el suelo y el arroz, y con esto garantizar altos rendimientos.

Antecedentes

Andrade (2006), propone la aplicación de ceniza de arroz como fuente de silicio (Si), en el cultivo de arroz, complementándola con fertilización de fósforo y potasio; comparando cuatro períodos de estudios de crecimiento de la plántula a los 15, 30, 35 y 60 días; además menciona que la dosis de 394,7 kg de SiO₂ ha⁻¹ (0.5 Tha⁻¹) permitió alcanzar los más altos rendimientos con 7.49 Tha⁻¹ de grano con humedad de 22 %, superior en 0.09 T en los tratamientos sin uso de silicio (Si). Dosis mayores produjeron disminución en la producción.

Quero citado por Coloma (2015), menciona que el silicio aumenta el crecimiento y modifica la arquitectura de las plantas, tiene potencial para aumentar la productividad y disminuye el ataque de enfermedades fungosas, este nutrimento protege a los cultivos contra el ataque de enfermedades e insectos plagas debido a que la acumulación de silicio en los tejidos vegetales permite proteger a la planta fortaleciendo mecánica y bioquímicamente sus tejidos evitando su deterioro.

Furcal (2012), realizó una investigación sobre el efecto del silicio en la fertilidad del suelo, en la incidencia de enfermedades y el rendimiento del cultivo de arroz (***Oryza sativa***) var CR 447, con el objetivo de conocer posibles cambios por efecto de los tratamientos en las propiedades químicas del suelo. Al finalizar la investigación concluyó que la aplicación de silicio tanto al suelo como a nivel foliar no mostró mejoría en el cultivo de arroz; sin embargo, el uso de silicio combinado con

plaguicidas (control con alternativas químicas), tiende a presentar acción positiva en el contenido de zinc y cobre en el suelo.

Furcal y Herrera (2013), evaluaron el efecto del silicio en la fertilidad del suelo, la incidencia de enfermedades y plagas insectiles, el rendimiento y la calidad de granos del cultivo de arroz, logrando concluir que hubo diferencia estadística ($p \leq 0,05$) entre los tratamientos con respecto al elemento zinc y en las interacciones entre la aplicación de silicio y de plaguicidas en los elementos zinc y cobre disponibles en el suelo en la siembra de 2011. Estos resultados contradicen lo expuesto por Quero y Cárdenas (2006), quienes indican que el silicio aplicado al suelo optimiza la nutrición en elementos como fósforo (P), potasio (K) y zinc (Zn).

Coloma (2015), realizó un estudio sobre efecto de la aplicación foliar con dos fuentes de silicio en la agronomía y rendimiento del cultivo de arroz (*Oryza sativa L.*). Donde menciona que en arroz, la suplementación con silicio produce un aumento en la producción, en la masa de semillas, el número de granos, panículas y la disminución de la esterilidad. Con la aplicación de silicio, la longitud de las hojas, principal responsable de la altura, tiende a aumentar de acuerdo con el desarrollo de la planta. La mayor expansión foliar determina una asimilación de gas carbónico por la planta.

Al finalizar la investigación el autor anteriormente citado, expresó que el grupo de tratamientos con ácido monosilícico (16% de silicio (Si)) presentaron el mayor número de macollos y panículas/planta; utilizando la dosis de 1 L ha^{-1} .

La variedad de arroz F- 50 (Laguna) es una gramínea anual, el tamaño de la planta varía entre 0,4 m y 0,7 m. Esta variedad salió al mercado en el año 1988, es una planta compacta de crecimiento inicial rápido, rústica de follaje y con un verde intenso con un alto potencial de rendimiento en su producción. (Barzola, 2012)

Justificación

El arroz forma parte de la alimentación de más de la mitad de la población mundial siendo el grano número uno si se considera la cantidad de superficie que se utiliza para su producción, unido con el aumento exponencial de la natalidad del mundo; resalta lo importante de tener herramientas alternas para optimizar la producción de alimentos. Dado que el arroz es el grano básico de mayor producción en Panamá, se debe mantener altos niveles de producción. Debido al interés del productor se utilizó la variedad Laguna, la cual posee diversos beneficios por su composición genética.

El silicio (Si) es el segundo elemento más abundante en la corteza terrestre; sin embargo, para el desarrollo de la planta se necesita pequeñas cantidades, cuando este elemento no se encuentra en la cantidad adecuada el arroz puede presentar una deficiencia o toxicidad. Por su parte una plántula de arroz fertilizada con silicio

(Si) puede evitar el ingreso discriminado de hierro (Fe) y manganeso (Mn), lo cual permite absorber el doble de la cantidad de nitrógeno (N). (Coloma, 2015).

La degradación de los suelos juega un papel importante en el crecimiento de las plantas; ya que, las raíces absorben de él los nutrimentos necesarios para su desarrollo adecuado, el arroz dispone del silicio (Si) que se encuentra mayormente en la epidermis del tallo, las hojas y la gluma.

Objetivos

General

Comparar el efecto de cinco niveles de silicio en la producción de arroz de la variedad Laguna, en la finca Espiga del Rey, ubicada en Canta Gallo, Distrito de Alanje, Provincia de Chiriquí. Panamá.

Específicos

- * Evaluar el efecto de cinco niveles de silicio (Si) en el rendimiento del cultivo de arroz de la variedad Laguna, en la finca Espiga del Rey.
- * Determinar el nivel de silicio (Si) adecuado para incrementar los rendimientos en la variedad Laguna.

* Analizar estadísticamente los resultados de la respuesta al silicio (Si) en la variedad Laguna, para recomendar las dosis adecuadas aplicables en la producción de arroz; en la finca Espiga del Rey.

Hipótesis

Hipótesis Alternativa

La variedad Laguna demuestra respuesta positiva a la aplicación de diferentes niveles de silicio (Si) al suelo, influyendo en la producción del Cultivo de Arroz, en la Finca Espiga de Rey.

Hipótesis Nula

La variedad Laguna no demuestra respuesta positiva a la aplicación de diferentes niveles de silicio (Si) al suelo, influyendo en la producción del Cultivo de Arroz, en la Finca Espiga de Rey.

Alcances y limitaciones

El arroz es un grano básico de gran importancia a nivel mundial, si en sus fases de crecimiento este no posee todos los macro y micro nutrientes requeridos; puede sufrir variaciones causantes de pérdidas en su producción; debido a esto, esta investigación tiene como alcance principal brindar un documento como aporte de

información para consulta de productores, investigaciones futuras y profesionales en el área agropecuaria; de manera regional y nacional, sobre la dosis adecuada de silicio (Si) en el cultivo de arroz, para evitar la disminución en la producción.

Algunas de las limitaciones de la investigación es el acceso al sitio de estudio y el establecimiento correcto de las parcelas, debido a diversos factores climáticos, de igual manera se puede mencionar la aplicación de la metodología para la determinación de silicio (Si) en el suelo y tejido vegetal.

CAPÍTULO 1

1. Marco teórico

1.1. Generalidades del cultivo de arroz.

El género *Oryza* incluye unas 24 especies, todas tropicales, con dos áreas de concentración: África Central Y Malasia-Filipinas. En América hay cinco especies; una especie silvestre, *O. perennis* se alla tanto en Asia como en África y América. (León, 1987).

El arroz es una poaceae anual, de tallos redondos y huecos compuestos por nudos y entrenudos, hojas de lámina plana unidas al tallo por la vaina y su inflorescencia es en panícula. El tamaño de la planta varía de 0.4 m (enanas) hasta más de 7.0 m (flotantes). (Arregocés et al, 1987).

1.2. Morfología del arroz.

El arroz posee órganos vegetativos y reproductores tales como: raíces, tallos y hoja; flores y semilla respectivamente. (Arregocés et al, 1987)

Raíz

Durante su desarrollo la planta de arroz tiene dos clases de raíces, las seminales o temporales y las secundarias o permanentes. En los primeros estados de crecimiento las raíces son blancas, poco ramificadas y relativamente gruesas; a medida que la

planta crece, se alargan, se adelgazan y se vuelven flácidas, ramificándose abundantemente.

Las raíces son protegidas en la punta por una masa de células de forma semejante a la de un dedal, que facilita su penetración en el suelo. Las raíces adventicias maduras son fibrosas, con raíces secundarias y pelos radicales, y con frecuencia forman verticilos a partir de los nudos, que están sobre la superficie del suelo. (Arregocés et al, 1987).

La raíz primaria es de corta duración pues sostiene a la semilla y la nutre por pocas semanas. Una vez formado el tallo, de los nudos inferiores salen raíces adventicias permanentes, que son al principio blancas y suaves, cubiertas de pelos absorbentes, y luego se tornan lignificadas, pardas y duras. (León, 1987).

Hojas

Las hojas del arroz, de posición alterna, se forman de vaina, cuello y lámina. La vaina es una estructura cilíndrica, abierta hasta la base, que sale de la parte superior del nudo. En los entrenudos inferiores no solo los cubre sino que envuelve también las bases de las hojas siguientes; en los entrenudos superiores, en cambio, es más corta y abierta. (León, 1987).

La lígula del cuello de la hoja aparece como una prolongación de la parte superior de la vaina. Es una estructura triangular, hasta dos centímetros de largo, bífida, membranosa y transparente. La forma y estructura de la lámina está dada por la clase, número y distribución de los haces vasculares. Estos son de dos tipos: grandes y aislados, pequeños y en grupos.

Tallo

El tallo está formado por la alternación de nudos y entrenudos. En el nudo o región nodal se forman una hoja y una yema, esta última puede desarrollarse y formar una macolla. La yema se encuentra entre el nudo y la base de la vaina de la hoja.

El septo de la parte interna del nudo que separa los dos entrenudos adyacentes, el entrenudo maduro es hueco, finamente estriado. Su superficie exterior carece de vello, y su brillo y color dependen de la variedad. La longitud del entrenudo varia siendo mayor la de los entrenudos de la parte más alta del tallo. Los entrenudos, en base del tallo, son cortos y se van endureciendo, hasta formar una sección sólida. (Arregocés et al, 1987).

Órganos florales

Panícula

Las flores de la planta de arroz están agrupadas en una inflorescencia compuesta, está situada sobre el nudo apical del tallo, llamado nudo ciliar y su forma es de arco ciliado. (Furcal, 2012).

De acuerdo con Murillo y González (1982), la panícula inicia a partir del nudo superior y está compuesta de espiguillas. De las ramas primarias se desarrollan las secundarias y de estas se forman las ramas terciarias. Además depende de la variedad, según la longitud varía la forma y ángulo de colocación de las ramas primarias, peso y densidad de la panícula (número de espiguillas por unidad de longitud).

Espiguillas

Es la unidad de la inflorescencia y está unida a las ramificaciones por el pedicelo. Una espiguilla consta de la raquilla y está formada por dos glumas externas (lemas estériles), la lema y la palea (Furcal, 2012).

Grano o Semilla

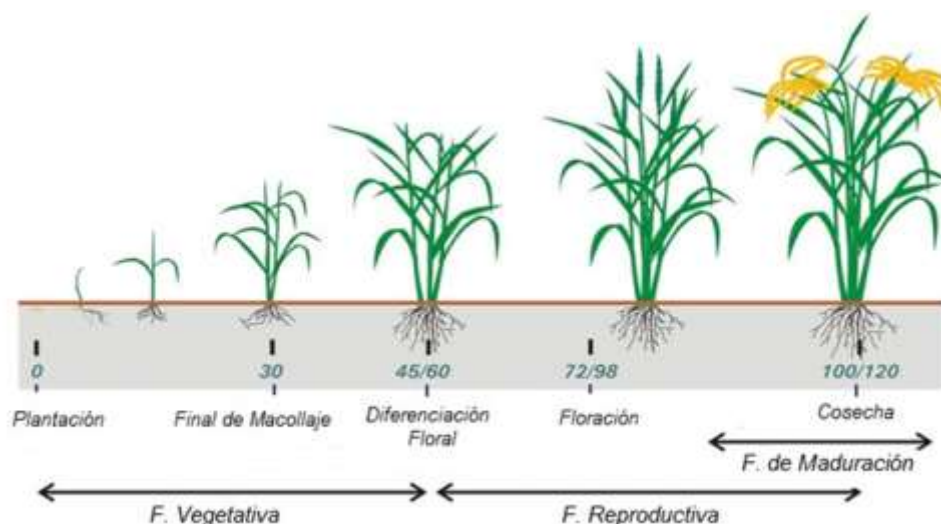
El grano del arroz es el órgano maduro, en el cual la lema, pálea, raquilla, lemas estériles y la arista, cuando está presente, están firmemente unidas a él. El grano descascarado de arroz (cariósipide) con un pericarpio pardusco se conoce como arroz de café; el grano de arroz sin cascara con un pericarpio rojo, es el arroz rojo (De Datta citado por Furcal, 2012).

1.3. Fases del desarrollo del cultivo de arroz.

Arregocés y Fernández (1980), definen el crecimiento de la planta de arroz como un proceso fisiológico continuo que comprende un ciclo completo desde la germinación hasta la maduración del grano. Este crecimiento tiene un patrón común en el tiempo, que puede variar ligeramente dependiendo de características genéticas de la planta o de la influencia del ambiente.

El mismo autor nos indica que el ciclo de vida de la planta de arroz está generalmente comprendido dentro de un rango de 100 a 210 días, con la moda entre 110 a 210 días.

La Figura 1 muestra las tres fases de crecimiento del arroz; la fase vegetativa, comprende desde la germinación de la semilla hasta el inicio de la diferenciación floral o de la panícula; la fase reproductiva, engloba el período de formación de la panoja y la floración. La formación de la panoja puede iniciarse antes de alcanzar su máximo macollamiento, en el momento de mayor actividad de producción de hijos y después de este; y la fase de maduración, que contempla los períodos de floración y maduración completa del grano. Esta fase dura de 25 a 30 días según la variedad, el grano se desarrolla después de la fecundación y es un proceso continuo que pasa por diversas etapas bien diferenciadas antes de su maduración completa. (Murillo y González, 1982).



Fuente: Arocha, 2014. Fases de crecimiento del arroz.

Figura. 1. Fases de crecimiento del arroz. (Arocha, 2014).

1.4. Variedad de arroz Laguna.

La variedad Laguna hace parte del sistema Clearfield, Tomás (2007) lo define como un sistema integrado de control de malas hierbas basado en el desarrollo de variedades tolerante a las imidazolinonas mediante técnicas tradicionales de inducción de mutaciones y mejora genética convencional, por lo tanto se trata de semillas no transgénicas. Para la siembra se recomienda, si es en seco y semilla tapada de 120- 180 kg/Ha o 2.64-3.96 qq/ha de semilla. Con sembradora de precisión entre 100 a 130 Kg/Ha, pose una óptima producción de 200 a 250 plantas /m² y 500 a 600 panículas/m². (FEDEARROZ, 2000).

Según FEDEARROZ (2000), para su germinación la inundación temprana puede retrasarla, reduce su vigor y macollamiento, esta variedad posee como características relevantes su alto vigor, el cual mejora cuando se pre-abona, posee un macollamiento alto y es tolerante al volcamiento.

Dentro de los requerimientos nos indica el mismo autor que la variedad Laguna requiere 2.5 kg de silicio (Si)/T, y resiste retraso en las cosechas; se recomienda cortes en humedades entre 22 y 24 %. Posee gran adaptabilidad y presenta vaneamiento en condiciones de baja luminosidad.

1.5. Características de los suelos arenosos.

El suelo está compuesto por minerales, materia orgánica, diminutos organismos vegetales y animales, aire y agua. Las plantas y animales que crecen y mueren dentro y sobre el suelo son descompuestos por los microorganismos, transformados en materia orgánica y mezclados con el suelo. El tamaño de las partículas minerales que forman el suelo determina sus propiedades físicas textura, estructura, porosidad y el color. (FAO, 1999). El mismo autor, define Los suelos arenosos, como los más sueltos, fáciles de trabajar pero tienen pocas reservas de nutrimentos aprovechables por las plantas.

Según el MIDA (2013), El tipo de suelos que predomina en el distrito de Alanje es franco –arenoso y arenoso. La alta capacidad agrológica de estos suelos ha permitido el desarrollo de diversas actividades, principalmente la siembra de arroz y otros cultivos de mayor importancia como maíz, frijol, sandía, zapallo, melón, yuca, ñame, plátanos y guandú.

1.6. Generalidades del silicio (Si).

El silicio es un elemento químico cuyo símbolo es "Si" y que se encuentra en la tabla periódica en el grupo 14 o IVA. Por su abundancia ($2,57 \times 10^5$ ppm.), es el segundo elemento que más se encuentra en la corteza terrestre después del oxígeno ($4,95 \times 10^5$ ppm.). Este material compone alrededor del 20% de la corteza terrestre. No se

encuentra en la naturaleza en estado puro sino, generalmente, combinado con oxígeno en su mayoría formando óxidos de Si (SiO_2 , dióxido de silicio) y silicatos. (INET, 2012).

Según Azabache citado por García (2012); el silicio (Si) en el suelo varía de 230 a 350 g/kg; en suelos arenosos no meteorizados pueden contener 400 g/ kg de este elemento y los suelos tropicales altamente meteorizados pueden contener 90 g/kg de (Si). Las fuentes principales de Si incluyen minerales silicatos primarios y secundarios, y cuarzo (SiO_2).

1.6.1. Importancia del silicio (Si).

En la década de los 50, Japón y Corea del Sur fueron los primeros países en reconocer la importancia del sílice en la producción agrícola, especialmente en arroz. Ellos clasificaron este elemento como esencial. En el 2004, Brasil fue el tercer país en reconocer formalmente el silicio como nutrimento esencial. El ministerio de agricultura de Brasil, que regula la producción comercial de fertilizantes estableció que el Si es un micronutrimento benéfico. En la actualidad, el Si todavía no es reconocido como un elemento esencial y en muchos países se vende solo como una enmienda o acondicionador de suelos en vez de como un fertilizante. (Coloma, 2015).

El silicio no es considerado esencial para los vegetales superiores porque no responde a los criterios directos e indirectos de la esencialidad. A pesar de eso, su

absorción puede ocasionar efectos benéficos para algunos cultivos como son resistencia a plagas, tolerancia a la toxicidad por metales pesados, al estrés hídrico y salino, menor evapotranspiración, promoción del crecimiento y nodulación en leguminosas, efecto en la actividad de las enzimas y en la composición mineral, mejoría de la arquitectura de las plantas, reducción del encamado de las plantas y por consiguiente aumento de la tasa fotosintética. (Castellanos et al., 2015).

1.6.2. Función del silicio (Si) en el suelo.

Según Quero citado por Furcal (2012), el tratamiento del suelo con productos a base de silicio químicamente activo disminuye la degradación y optimiza la fertilidad del suelo, a través de mejorar sus propiedades físicas y químicas, al mantener los nutrimentos en forma disponible para la planta y mejorar la capacidad de intercambio catiónico, sobre todo en pH mayor a 7,0.

Los fertilizantes que contienen silicio (Si), son generalmente levemente alcalinos. El silicio soluble reduce la toxicidad del aluminio (Al), porque el ácido monosilícico reacciona con aluminio (Al) móvil y produce aluminosilicatos poco solubles. Esto significa que las enmiendas de silicio se pueden utilizar para mejorar las características químicas de suelos ácidos. Numerosos experimentos de campo han demostrado que la fertilización con silicio tiene más influencia en el crecimiento vegetal en suelos ácidos que enmendando con cal. (Ayres, Fox y otros citado por Piedrahíta, 2008).

Matichenkov y Bocharniko, citado por Piedrahíta (2008); demostraron que el tratamiento del suelo con materiales ricos en silicio aumenta la capacidad de absorción de agua y la capacidad de intercambio catiónico de los suelos.

1.6.3. Silicio (Si) en el cultivo de arroz.

Las variaciones en la concentración del silicio, también tienen efectos sobre diferentes procesos del suelo, el desarrollo de microorganismos y el crecimiento de plantas. Se ha observado que los silicatos disminuyen la toxicidad por hierro y manganeso en el cultivo de arroz. Una de las formas como la presencia de silicio disminuye la toxicidad del hierro y manganeso en las plantas es debido a que el silicio permite que desde las hojas y tallos se incrementa la cantidad de oxígeno que impulsan las plantas hacia la raíz llegando al parénquima, oxidando la rizosfera, logrando que el Fe y Mn reducido se oxide, evitando una excesiva toma de estos por parte de las plantas (Coloma 2015).

Según Topolanski citado por Furcal (2012), el arroz necesita disponer de silicio que se encuentra mayormente en la epidermis del tallo, las hojas y las glumas, este elemento previamente ha sido absorbido del suelo, si faltara el silicio asimilable se reduce la absorción y movilización de nitrógeno, fósforo y potasio.

Según lo expuesto por Quero citado Furcal (2012), grandes cantidades de silicio son absorbidas por los cultivos, dentro de estos los que extraen silicio con mayor intensidad son las gramíneas, que tienen además una alta eficiencia fotosintética, por ejemplo, en arroz la absorción de silicio es el doble de la de nitrógeno.

1.6.4. Deficiencia y toxicidad del silicio (Si) en el cultivo de arroz.

Bloodnick (2016), menciona que el 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 el arroz, el trigo y otros cultivos gramíneos exhiben una incidencia reducida de encorvamiento cuando se les proporciona silicio. Los tomates pueden tener un desarrollo anormal de su flor, y al igual que los pepinos y las fresas, pueden tener un conjunto reducido y posiblemente deforme de frutas. En algunas plantas, la deficiencia de silicio también puede incrementar la posibilidad de que adquieran toxicidad por manganeso, cobre o hierro. Aunque es poco común, los niveles de silicio en exceso pueden competir con la absorción de otros nutrimentos.

Zaragoza (2012), expresa que el silicio (Si) es absorbido por las plantas en forma de ácido monosilícico Si(OH)_4 y transportado igualmente, a través del xilema, siendo su distribución en la planta dependiente de los órganos involucrados. Después de solidificarse debajo de la cutícula, sobre las células epidérmicas, el silicio se vuelve inmóvil dentro de la planta de arroz. Los silicatos se encuentran almacenados en la paja, la cáscara del grano y en los propios granos de arroz. Por otra parte, las deficiencias de absorción de silicio activo por las plantas de arroz, provocan una serie de problemas nutrimentales, cuyos síntomas se manifiestan de las siguientes formas: hojas caídas, aparición de manchas oscuras en las hojas y las plantas de arroz presentan menos resistencia a la *Bipolarisaryzae* y a la *Pyricularia grisea*

1.6.5. Magnesil (Fertilizante).

EL silicio (Si) presente en el magnesil ($MgO \cdot SiO_2$) en contacto con el suelo genera ácido monosilícico que es la forma soluble que actúa en el suelo y la única forma química como las plantas pueden tomar silicio del suelo. El magnesil posee 37 % de silicio en forma de silicato; puede ser aplicado en una diversidad de cultivos como banano, arroz, maíz, palma aceitera, brócoli, forraje entre otros. La dosis varía de 2 a 3 kg/ha, o según recomendaciones del técnico y/o exigencias del cultivo, basados en análisis de suelos y foliares. (DELCORP S.A., 2010).

Según Mejisulfatos (2017), en la planta, el silicio del magnesil promueve una mayor producción de materia seca, activa las defensas naturales promoviendo la síntesis de fitoalexinas y, por lo tanto, disminuye la incidencia de enfermedades fungosas y bacteriales; actúa como una barrera física impidiendo la germinación de las esporas de los patógenos y dificulta el ataque de las plagas al localizarse como una capa continua entre la cutícula y las células de la epidermis. EL magnesil mejora el uso eficiente del agua en la planta, siendo esta propiedad de alta importancia en las épocas de sequía, en los suelos mejora la eficiencia del fósforo aplicado y fijado, neutraliza metales pesados como cadmio, arsénico, plomo, cromo y aluminio.

CAPÍTULO 2

2. Marco metodológico

2.1. Características del área de estudio

2.1.1. Definición y localización del área del estudio

El estudio se realizó en la Finca Espiga del Rey, Corregimiento de Canta Gallo, Distrito de Alanje, Provincia de Chiriquí, República de Panamá; ubicada a 8°21'45.90" N y 82°37'22.74" O, donde sus principales actividades son la producción de arroz y la cría de ganado.

2.1.2. Geología y geomorfología

Según ANAM (2012), las rocas predominantes en la región baja de la cuenca del Río Chico, en el corregimiento de Canta Gallo son los basaltos, basaltos andesitas y tobas. Los basaltos nacen en secciones masivas, se trata de rocas duras y compactas afaníticas y porfídicas, oscuras y densas. En esta zona se observaron materiales aluviales de diversas granulometrías y arena fina. Los flancos presentan afloramientos de las rocas basálticas.

El factor fundamental en su elaboración es el proceso de levantamiento regional de la Cordillera Central de la cual la cuesta aluvial sus afluentes y valles contiguos inmediatos conforman su flanco sur; se puede clasificar como un sistema trenzado, asociados a un sistema de abanicos aluviales, cabe mencionar que la morfología

confirma que la cuenca se ubica en una zona que en su mayoría data del cuaternario antiguo y medio, en un medio dominante por emplazamientos volcánicos.

2.1.3. Zona de vida y vegetación

La finca Espiga del Rey se encuentra ubicada en la zona de vida Bosque Húmedo Tropical (bh-T) de acuerdo con la clasificación de Holdrige; esta zona de vida posee una extensión total en el país se acerca a los 24 530 kilómetros cuadrados, es decir que ocupa un 32 por ciento de la superficie total del país; la mayor parte se caracteriza por planicies de pendientes leves, ideales para el crecimiento de muchas especies forestales tropicales de valor comercial mundial, son tierras bien drenadas o que pueden drenarse, óptima para la agricultura actual o futura, o bien para que queden disponibles para el uso forestal. (IGNTG; 2007).

2.1.4. Clima

Se manifiestan dos tipos de clima en el distrito de Alanje; el tropical de sabana (Awi) y el tropical húmedo (Ami), ambos se caracterizan por una estación seca de unos tres meses de duración y temperaturas medias en el mes más fresco. (MIDA, 2013).

2.2. Metodología

Para llevar a cabo esta investigación se procedió con la siguiente metodología, se inició con el análisis de suelo, para conocer la situación actual de los macro y micro

nutrimentos, su disposición y cantidad; luego el establecimiento de parcelas, establecimiento en campo del diseño de bloques completamente al azar, siembra y aplicación de los tratamientos, finalmente se procedió a realizar los estudios de laboratorio.

2.2.1. Muestreo y análisis de suelo

El muestreo de suelo se realizó con un barreno holandés siguiendo líneas imaginarias en zigzag lo que permite cubrir de manera más fácil y efectiva todo el terreno; se recolectaron diez (10) sub-muestras de suelo, en un área de tres (3) hectáreas destinadas para la producción de arroz, luego se procedió a homogenizar las sub- muestras en una sola bolsa (para conformar una sola muestra compuesta) que fueron analizadas en el laboratorio de suelos de la Facultad de Ciencias Agropecuarias sede Chiriquí.

2.2.2. Establecimiento de las parcelas de muestreo

El establecimiento del ensayo se realizó en una parcela comercial previamente sembrada, donde se marcaron veinticuatro (24) parcelas, compuestas por cuatro (4) repeticiones y seis (6) tratamientos; las cuales poseen un área de 10 metros cuadrados, cinco (5) metros de largo y dos (2) metros de ancho cada una, separadas una de otra por un área 2.5 metros cuadrados, cinco (5) metros de largo y 0.50 metros de ancho, los tratamientos se distribuyeron en bloques completamente al azar, que van desde 29.8 kg de silicio (Si)/ha hasta 238.5 kg de

silicio (Si)/ha, incluyendo el testigo de 0 kg de Si/ha; se utilizó como fuente fertilizante magnesil que posee 17.3 por ciento de Silicio (Si).

La parcela comercial fue fertilizada con cinco (5) quintales de fosfato diamónico, cuyo aporte fue de 40.8 kg de N y 104.3 Kg de P_2O_5 ; siete (7) quintales de 30-0-20 aportando 95.2 kg de N y 63.5 kg de K_2O , cuatro (4) quintales de magnesil los cuáles aportaron 28 kg de MgO y 29 kg de Si, tres (3) quintales de urea, brindando al suelo 62.6 kg de N y dos (2) quintales de K-Mag, con un aporte de 19.9 kg de K_2O , 16.3 kg de MgO y 19.9 kg de S; cabe destacar que las parcelas marcadas del ensayo no fueron fertilizadas con silicio (Si).

2.2.3. Evaluación del muestreo foliar de cada tratamiento con silicio (Si).

Se evaluaron el efecto de diferentes niveles de silicio (Si), en muestras foliares obtenidas en campo, para obtener estos valores se realizaron dos muestreos foliares, a los 45 y 60 días, después de la siembra; se recolectaron 24 sub muestras en cada muestreo por parcela. El material foliar se procedió a secar a $65^{\circ} C$, y molerlo posteriormente, y después deben se guardaron en bolsas o en recipientes de vidrio con tapas, para evitar la absorción de humedad, por último se llevó al laboratorio para el estudio de los macro y micro nutrimentos; unido con los datos del rendimiento del cultivo.

Según Samudio (1997), cualquier parte de la planta puede ser muestreada y analizada en el laboratorio. Pese a ello son las hojas las que son consideradas como

mejores indicadores, ya que es en ellas donde se concentra la producción de fotosíntatos, o sea, la principal actividad fisiológica de la planta.

La preparación de la muestra envuelve varios procesos, inicialmente el secado rápido a temperatura ambiente para remover el agua de la superficie y luego en el horno o estufas a temperaturas entre 65 -70°C que remuevan toda el agua de los tejidos, la duración del proceso es variable, aunque generalmente no dura más de 24 horas. (Samudio, 1997)

El autor mencionado anteriormente explica que el análisis foliar para el cultivo de arroz, se debe realizar de la siguiente manera:

Estado de crecimiento

- Plántulas (30 cm)
- Antes de la floración
- No es recomendable muestrear después de la floración

Parte de la planta a muestrear

- Planta (30 cm), toda la parte aérea.
- Antes de la floración, las cuatro hojas superiores bien desarrollados.

2.2.4. Metodología para el análisis de muestras foliares en el laboratorio para la determinación de silicio (Si).

Se inició con el pesado de las muestras de tejido vegetal (0.1 g), se le añadieron 2 mililitros de H₂O₂ al 35 por ciento y 4.5 mililitros de NaOH al 50 por ciento, en tubos

de polietileno de 50 ml previamente enjuagados con agua desmineralizada; cada tubo se agitó suavemente y se cubrieron con tapas plásticas sueltas, para luego colocarlas en un autoclave a 138 kPa durante una (1) hora, posteriormente se dejaron enfriar y se retiraron los tubos; luego se llevó el contenido a 50 ml con agua desmineralizada.

El silicio (Si) de la muestra analizadas se determinó colorimétricamente mediante el siguiente procedimiento, el cuál es una modificación del procedimiento descrito por Hor-witz (1970); a cada muestra se le añadió 25 ml de ácido acético al 20 por ciento, 10 mililitros de solución de molidnato de amonio (54 g/L, pH 7,0), cinco (5) mililitros de ácido tartárico al 20 por ciento, un (1) mililitros de solución reductora y ácido acético al 20 por ciento hasta llevarlo a un volumen de 50 mililitros. La solución reductora se preparó combinando la solución A (0.8 g de Na_2SO_3 en 10 mililitros de agua desmineralizada, más 0.16 g de 1-amino-2-naftanl-4-ácido sulfónico); con la solución B (10 g de NaHSO_3 disueltos en 80 ml de agua desmineralizada) y se diluyó hasta 250 ml.

Después de que se añadieron todos los reactivos a la muestra de 50 mililitros de extracto, se mezclaron bien y se dejaron reposar por 30 minutos; luego se leyeron las muestras en el colorímetro a una longitud de onda de 650 nm; los resultados fueron analizados estadísticamente utilizando el programa SAS.(SAS, 2014).

2.3. Parámetros estimados

2.3.1. Análisis de fertilidad del suelo

Se determinaron las concentraciones de: potasio (K), fósforo (P), calcio (Ca), magnesio (Mg), cobre (Cu), manganeso (Mn), zinc (Zn) y silicio (Si); a través de un análisis químico al inicio del ensayo; según metodologías para estos fines.

2.3.2. Cantidad de silicio (Si) en las plantas de arroz.

Se analizaron las muestras por separado de cada tratamiento y repetición en el laboratorio, para obtener el valor de silicio (Si) presente en las muestras foliares, para así poder comparar el efecto de los niveles aplicados al suelo; utilizando una modificación de la metodología descrita por Hor-witz (1970).

2.3.3. Absorción de silicio (Si) en dos etapas de crecimiento.

Se cuantificó el contenido de silicio (Si) absorbido por la planta de arroz en dos períodos de crecimiento, a los 45 y 60 días, después de la siembra; y así conocer la absorción de silicio (Si) en estas etapas fenológicas del cultivo.

2.3.4. Rendimiento de la variedad Laguna con la aplicación de silicio (Si).

Se evaluó el rendimiento total en kg ha⁻¹ de la variedad Laguna, tomando en cuenta el porcentaje de humedad; mediante la utilización de una fórmula analítica que considera el peso y área de las parcelas, la humedad y un factor de corrección.

2.3.5. Peso de cien granos de arroz.

Con la cuantificación del peso de cien granos de arroz se conoció el efecto en esta variable de producción en la finca Espiga del Rey, la misma se realizó seleccionando cien granos de arroz de cada tratamiento y repetición, y se pesó cada muestra.

2.3.6. Arreglo de las parcelas en campo.

CUADRO I. ARREGLO DE LAS PARCELAS Y DISPOSICIÓN GENERAL DEL ENSAYO. FINCA ESPIGA DEL REY. 2017.

Número	Tratamiento (kg de Si/ha)	kg de magnesil/ha	Número	Tratamiento (kg de Si/ha)	kg de magnesil/ha
1	29.8	172.30	13	0	0
2	119.2	689.20	14	29.8	172.30
3	238.5	1 378.40	15	59.6	344.60
4	178.8	1 033.80	16	178.8	1 033.80
5	59.6	344.60	17	119.2	689.20
6	0	0	18	238.5	1 378.40
7	119.2	689.20	19	238.5	1 378.40
8	59.6	344.60	20	178.8	1 033.80
9	238.5	1 378.40	21	119.2	689.20
10	178.8	1 033.80	22	0	0
11	0	0	23	59.6	344.60
12	29.8	172.30	24	29.8	172.30

CAPÍTULO 3

3. RESULTADOS

3.1. Análisis químico del suelo.

En el Cuadro II. Se muestran los resultados del análisis químico del suelo estudiado antes de la siembra. En el suelo se presenta un contenido medio de calcio (Ca) y hierro (Fe); de igual manera el potasio (K), fósforo (P) y cobre (Cu); se encuentran en alta concentración en las parcelas; por su parte el silicio (Si) disponible en el suelo con 11.0 partes por millón (ppm), considerado un contenido bajo indicando posible deficiencia de silicio (Si) en el cultivo; los microelementos boro (B), zinc (Z), magnesio (Mg), manganeso (Mn) y azufre (S); presentaron un bajo contenido.

Dado que el suelo presenta bajo contenido de silicio (Si), la fertilización química como una herramienta alterna para aumentar la producción puede ser una estrategia efectiva, pudiéndose reflejar dicho efecto en el rendimiento debido a la alta absorción de silicio (Si) por el cultivo.

En estudios realizados en Japón indican que el nivel crítico del silicio disponible para el cultivo está alrededor de 100 partes por millón. En este sentido, cuando los valores están por debajo de este nivel, las plantas de arroz responden a la aplicación del silicio; Hernández citado por Furcal (2013), correlacionándolo con el suelo estudiado donde el contenido de silicio (Si) es bajo, las plantas de arroz se

verían afectadas positivamente después de la aplicación de la fuente fertilizante (magnesil).

Además según García (2012), el silicio tiene acción sinérgica con el calcio (Ca), magnesio (Mg), hierro (Fe), Zinc (Zn) y molibdeno (Mo); empleando materiales ricos en silicio se reduce la toxicidad de aluminio, optimiza el pH, mejora la nutrición; debido a que el silicio activa el intercambio catiónico y la movilización de nutrientes. Cabe destacar que en el análisis químico de suelo realizado, se presentan niveles medios de calcio (Ca), hierro (Fe) y bajos de magnesio (Mg), y zinc (Zn), los cuales mantienen una acción sinérgica con este nutriente; aplicando silicio se lograría un equilibrio en las cantidades de los diferentes nutrientes que se aplican a suelo y que tomara la planta.

CUADRO II. ANÁLISIS QUÍMICO DEL SUELO INICIAL. FINCA ESPIGA DEL REY .2017.

Parámetros	K	Ca	Mg	P	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn	Si
	Cmol/kg			mg/L							
	0.38	2.34	0.11	40.65	10.3	0.46	17.1	45.4	0.20	0.10	11.0
Interpretación	Medio	Medio	Bajo	Alto	Bajo	Bajo	Alto	Medio	Bajo	Bajo	Bajo

3.2. Cantidad de silicio (Si) en las plantas de arroz.

En el cuadro III. Se presentan los diferentes contenidos de silicio (si) en las plantas de arroz por tratamiento en la finca Espiga del Rey-Canta Gallo 2016; calculado con la media de Duncan.

El tratamiento dos de 119.2 kg Si ha⁻¹ presenta el mayor contenido de silicio (Si) con 0.20 por ciento, seguido del tratamiento uno de 29.8 kg Si ha⁻¹ , con 0.19 por ciento, el tratamiento cinco de 59.6 kg Si ha⁻¹ , con un porcentaje de 0.13, luego el tratamiento seis (testigo) con 0.13, y por último los tratamientos tres de 238.5 kg Si ha⁻¹ y el tratamiento cuatro de 178.8 kg Si ha⁻¹ , con un porcentaje de 0.12.

Los tratamientos no presentan diferencia significativa entre ellos según la prueba de Duncan P<0.05 por ciento, Degiovanni (2010) citando a Marachmer, menciona que el requerimiento de silicio (Si) es muy bajo en el arroz y ocurre en el estado reproductivo; en este estudio los tratamientos con mayor cantidad de silicio (Si), son los de menor aplicación lo que está estrechamente relacionado con lo mencionado por el autor.

Además el anterior autor indica que las aplicaciones con silicio (Si) al suelo permiten la disponibilidad del nutrimento e incrementan la tolerancia de la planta al exceso de hierro (Fe) y manganeso (Mn), por consiguiente los resultados de la cantidad de silicio (Si) presente en la planta por tratamiento, no presentaron significancias entre ellos.

ANOVA GENERAL UTILIZADA.

Sistema SAS					
Procedimiento GLM					
Variable dependiente: Rend.					
Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr>F
Modelo	8	6609988.97	826248.62	1.71	0.1770
Error	15	7257913.91	483860.93		
Total correcto	23	13867902.88			
	R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE		Rend media
	0.476639	11.23175	695.6011		6193.168

El carácter esencial del silicio (Si) solo se ha comprobado en algunas especies de plantas superiores, aunque es benéfico para algunas bajo ciertas condiciones; las ciperáceas, las gramíneas y algunas leguminosas acumulan el silicio (Si). (Hernández, 2002). El arroz pertenece al grupo de las gramíneas, los que indica que esta planta puede absorber y acumular silicio (Si) en sus paredes celulares.

CUADRO III. CONTENIDO DE SILICIO (Si) EN LAS PLANTAS DE ARROZ POR TRATAMIENTO EN LA FINCA ESPIGA DEL REY-CANTA GALLO 2017.

# de tratamientos	Tratamientos (kg de Si/ha ⁻¹)	Contenido de silicio (Si) en el follaje (%)	Rendimiento de la variedad Laguna (kg/ha)
1	119.2	0.20 a	6 355.0
2	29.8	0.19 a	6 776.6
3	59.6	0.13 a	6 551.3
4	0	0.13 a	5 934.1
5	118.8	0.12 a	5 674.9
6	238.5	0.12 a	5 867.1

*Medias seguidas por la misma letra no difieren significativamente de acuerdo con la prueba de rangos múltiples de Duncan.

3.3. Absorción de silicio (Si) en dos etapas de crecimiento.

El contenido de silicio (Si) absorbido en dos etapas de crecimiento y en los granos de la variedad Laguna en la finca Espiga del Rey-Canta Gallo, se determinó a los 45 días y 60 días.

La figura 2, muestra la cantidad de silicio (Si) presente en dos muestreos por cada tratamiento de estudio, donde el segundo tratamiento se divide en foliar y granos. El 0.05 por ciento de absorción de silicio (Si) es el porcentaje más pequeño que corresponde a los granos; el muestreo uno y dos foliares presentan valores más altos 0.13 y 0.26 por ciento de silicio (Si) respectivamente, lo cual expresa que el muestreo dos es el de mayor absorción. Esto nos señala que la planta de arroz en este caso la variedad Laguna, presenta su mayor absorción de silicio (Si) en las primeras etapas fenológicas; por consiguiente requiere de la disponibilidad en el suelo de este elemento para su correcto desarrollo.

En la figura 2, se compara estadísticamente el contenido de silicio absorbido en sus dos etapas de crecimiento, 45 y 60 días, al igual que en los granos mediante la prueba de rangos múltiples de Duncan; en el caso del muestreo dos difiere significativamente del muestreo uno, lo que coincide con Hernández, (2002), que señala que la planta de arroz absorbe el silicio (Si) de manera creciente con el tiempo, el elemento se acumula en la paja, la cual contiene cerca de 140 kg de Si ha⁻¹ a los 105 días de edad del cultivo, cantidad que aumentado a 243 kg de Si ha⁻¹ a los 140 días; en la panícula se acumula aproximadamente 26 kg de Si ha⁻¹ a los 105 días; por su parte en el grano el contenido se aproxima a 137 kg de Si ha⁻¹ (33% del total absorbido por la planta), a los 140 días; esto coincide con los porcentajes de los muestreos, debido a que los valores más altos de absorción de silicio (Si) se dan en el muestreo dos realizado a los 60 días donde la planta de arroz ya poseía la paja; y los contenidos más bajos de absorción se presentaron en el muestreo uno, efectuado a los 45 días.

El arroz necesita disponer de silicio que se encuentra mayormente en la epidermis del tallo, las hojas y las glumas, este elemento previamente ha sido absorbido del suelo; (Topolanski citado por Furcal, 2012), según lo citado anteriormente la planta de arroz absorbe este elemento del suelo, lo que esta correlacionado directamente con las primeras etapas de crecimientos del cultivo.

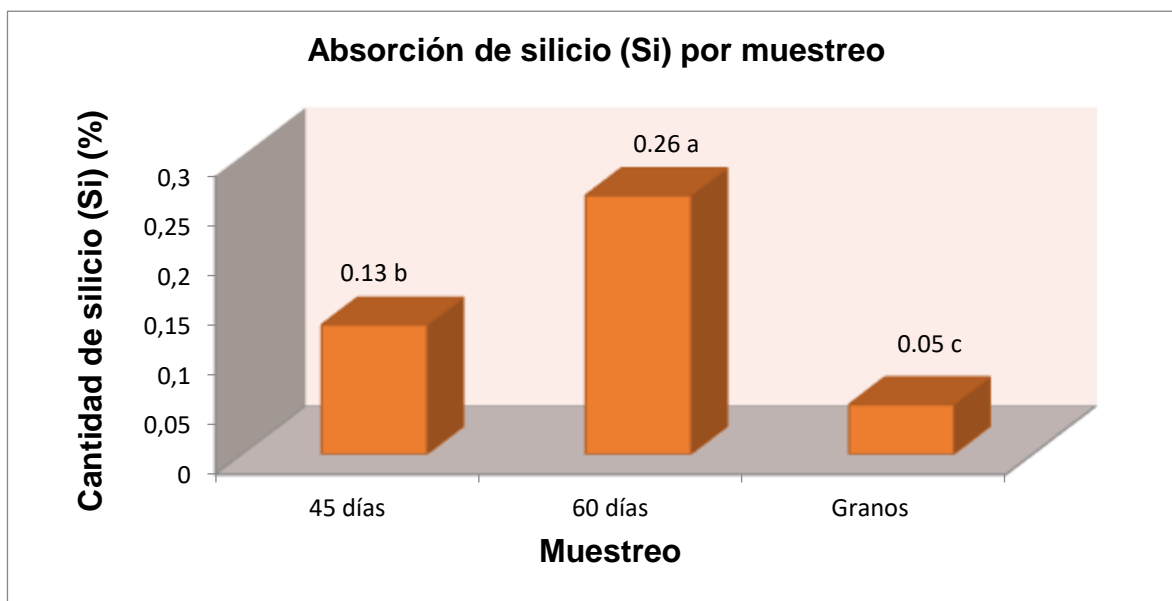


Figura 2. Absorción de silicio (Si) por la planta de arroz en dos muestreos. Finca Espiga del Rey- Canta Gallo 2017.

*Medias seguidas por la misma letra no difieren significativamente de acuerdo con la prueba de rangos múltiples de Duncan.

3.4. Rendimiento de la variedad Laguna con la aplicación de silicio (Si).

En la figura 3. Se presenta los promedios observados mediante la prueba de Duncan, el cual indica que la media más alta de los rendimientos por tratamiento de la variedad Laguna en presencia de diversos contenidos de silicio (Si); los

cuales están expresados en kg/ha y calculadas con un 14 por ciento de humedad, el de mayor rendimiento fue el tratamiento de 29.8 kg de Si ha⁻¹, con un rendimiento de 6 776.6 kg de granos/ha, seguido por los tratamientos de 59.6 kg de Si ha⁻¹ con un rendimiento de 6 551.3 kg de granos/ha y 119.2 kg de Si ha⁻¹ con 6 355.0 kg de granos/ha; por último los rendimientos más bajos fueron los tratamientos de 238.5 kg de Si ha⁻¹ y 178.8 kg de Si ha⁻¹; con 5 967.1 kg de granos/ha y 5 674.9 kg de granos/ha respectivamente. Cabe destacar que el tratamiento testigo posee un rendimiento alto con 5 934.1 kg de arroz/ha.

Lo anteriormente mencionado nos indica que los tratamientos con menores dosificaciones de silicio (Si) son aquellos que poseen un mayor rendimiento; y viceversa; según FEDEARROZ (2000), la variedad Laguna posee gran adaptabilidad, considerando las condiciones de clima, precipitación y tipo de suelo estudiado; esta variedad puede alcanzar grandes rendimientos con bajas aplicaciones.

La cantidad de silicio presente en el suelo según el análisis químico previamente realizado indica que es baja; sin embargo, el rendimiento de esta variedad no se ve afectada debido a que el contenido del elemento presente en el suelo está probablemente en alta disponibilidad para la planta.

En los estudios realizados por Quesada et al, citado por Degiovanni (2010), se demuestra que el silicio (Si) causa un efecto positivo en el rendimiento del cultivo, en la altura de las plantas y en el proceso del llenado de grano; correlacionándolo con este estudio coincide debido a que se presenta un aumento en el rendimiento de la variedad Laguna en la finca espiga del Rey.

Por otra parte Kornorfer et al citado por Furcal (2013), encontraron que a medida que aumentaron la dosis de silicio (Si) en el suelo, aumentó el contenido en las plantas de arroz y promovió el rendimiento de granos; sin embargo, en esta investigación se obtuvo respuestas opuestas debido a que los tratamientos que reflejaron mayores rendimientos son aquellos que contenían menos silicio (Si), de igual manera estos resultados pueden estar influenciado por factores climáticos del lugar, tipo de suelo, variedad utilizada y contenido de nutrimentos disponibles.

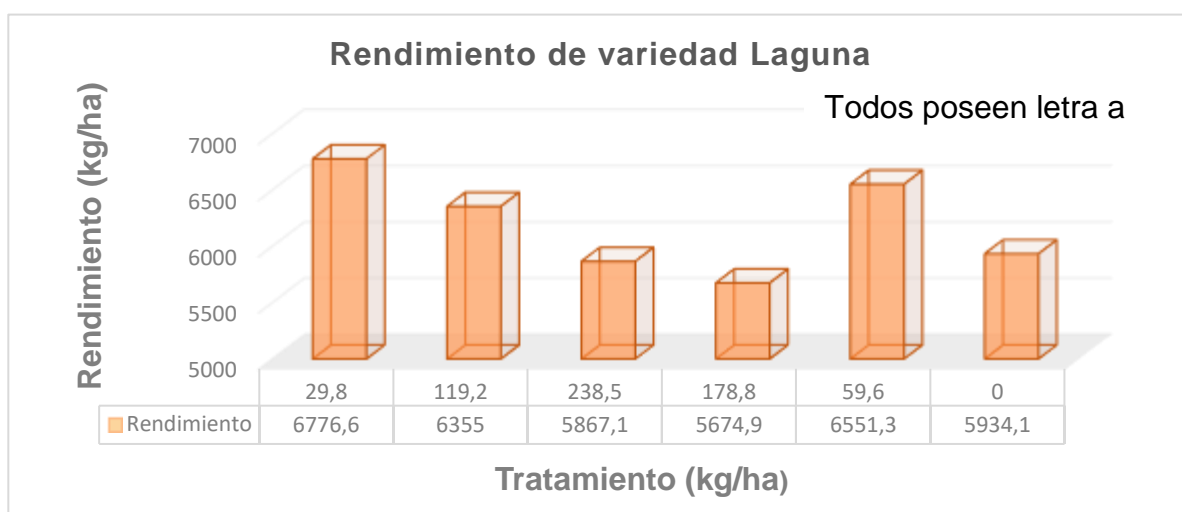


Figura 3. Rendimiento de la variedad Laguna por tratamiento de silicio (Si). Finca Espiga del Rey- Canta Gallo 2017.

*Medias seguidas por la misma letra no difieren significativamente de acuerdo con la prueba de rangos múltiples de Duncan.

3.5. Peso de cien granos de arroz.

En el cuadro IV. Se puede observar el peso de 100 granos de arroz por tratamiento en la finca Espiga del Rey-Canta Gallo 2016.

Los tratamientos con mayor peso fueron 119.2 kg de Si/ha, 238.5 kg de Si/ha, 59.6 kg de Si/ha y el testigo (cero); siendo el tratamiento dos el que posee el mayor peso con 3.0 g, por otra parte los tratamiento de 178.8 kg de Si/ha y 29.8 kg de Si/ha poseen los menores pesos, cabe destacar que basado en la prueba de rango múltiple de Duncan estos pesos no difieren significativamente entre ellos.

No obstante el tratamiento con el mayor peso de granos coincide con el segundo tratamiento de mayor rendimiento; sin embargo, cinco de los tratamientos poseen un peso promedio de 2.9 g, lo que indica que en este caso el peso de cien granos de la variedad Laguna es contante.

CUADRO IV. CUANTIFICACIÓN Y PESO DE CIEN GRANOS DE ARROZ DE LA VARIEDAD LAGUNA POR TRATAMIENTO DE SILICIO (Si). FINCA ESPIGA DEL REY- CANTA GALLO 2016.

Números de tratamientos	1	2	3	4	5	6
Tratamientos de silicio (kg/ha)	29.8	119.2	238.5	178.8	59.6	0
Peso de 100 granos de arroz (g)	2.90	3.00	2.95	2.90	2.92	2.97

Conclusiones

1. Los diferentes niveles que corresponden a los tratamientos mostraron diferencias en el contenido de silicio (Si), presentándose un mayor contenido en los tratamientos de 119.2 kg de Si ha⁻¹ y 29.8 kg de Si ha⁻¹ ; por su parte los tratamientos de 59.6 kg de Si/ha y el tratamiento testigo (cero) obtuvieron valores medios, sin embargo los tratamientos de 178.8 kg de Si ha⁻¹ y 238.5 kg de Si ha⁻¹ , que poseían mayor cantidad de silicio (Si) obtuvieron los valores más bajos; no obstante, estas diferencias no son significativas, debido a que el contenido presente en el suelo esta probablemente en alta disponibilidad para la planta,
2. La dosis de 29.8 kg de Si ha⁻¹ logró alcanzar los niveles más altos en el rendimiento de la variedad Laguna con 6 776.6 kg de granos/ha con el 14 por ciento de humedad; seguido del tratamiento de 59.6 kg de Si ha⁻¹ con un rendimiento de 6 551.3 kg de granos/ha, y el tratamiento de 119.2 kg con 6 355.0 kg de granos/ha; los tratamientos de 178.8 kg de Si ha⁻¹ y 238.5 kg de Si ha⁻¹ registraron los rendimientos más bajos con 5 674.9 y 5 867.1 kg de granos/ha respectivamente; posiblemente por la interacción del silicio con otros cationes como calcio y magnesio.
3. Los resultados de la respuesta al silicio (Si) de la variedad Laguna fueron representados por la prueba de Duncan (P<0.05), obteniendo como las

dosis más adecuadas a los tratamientos de 29.8 kg de Si ha⁻¹ y 119.2 kg de Si ha⁻¹ siendo esta la fuente de fertilización química, cuyos rendimientos alcanzaron más de 6 toneladas por hectáreas de arroz en ambos tratamientos. De igual manera el mejor peso de cien grano de arroz correspondió a al tratamiento de 119.2 kg de Si ha⁻¹ con 3.00 g, seguido del tratamiento de 29.8 kg de Si ha⁻¹ con 2.97 g.

En conclusión se recomienda la dosis de 29.8 kg de Si ha⁻¹, debido a que presentó los niveles más altos de rendimientos y peso de la variedad Laguna; con el menor costo, en la finca Espiga del Rey-Canta Gallo.

Recomendaciones

- ✓ Mantener los niveles adecuados de silicio (Si) en el suelo para asegurar la obtención de este elemento por el cultivo en sus primeras etapas fenológicas; mediante la incorporación al suelo de fertilización química, debido a que la cantidad correcta de silicio (Si) en suelo aumentará los rendimientos de la variedad Laguna en la finca.

- ✓ Realizar investigaciones futuras enfocadas en el contenido y relación de otros cationes en la variedad Laguna; con ello comparar los resultados y obtener los niveles más adecuados para aumentar los rendimientos en la finca Espiga del Rey, y además ser utilizado como referencia para los productores de áreas vecinas.

- ✓ Establecer una adecuada fertilización química con silicio (Si) en todas las parcelas de la finca Espiga del Rey-Canta Gallo dedicadas a la producción de arroz, con el fin de corregir la dosificación de fertilizantes y así disminuir gastos, y a la vez aumentar los rendimientos del cultivo de manera general en la finca.

- ✓ Enfocar futuras investigaciones al estudio de la aplicación de silicio (Si), en otras variedades para el efecto de rendimiento y peso de grano; realizando mayor cantidad de muestreos por fases de crecimiento. Además analizar

los costos de inversión de las fuentes fertilizantes vs los rendimientos y peso de granos alcanzados.

Referencias bibliográficas

Andrade, L. 2006. Evaluación de cinco dosis de Aplicación de Ceniza de Cascarilla de Arroz como Fuente de Silicio y Complemento a la Fertilización con Fósforo y Potasio en el Cultivo de Arroz *Oryza sativa*, variedad F-50 (en línea). Tesis de Grado. Guayaquil. Ecuador. 134 p. Consultado el 28 de enero del 2017. Disponible en: http://www.cib.espol.edu.ec/Digipath/D_Tesis_PDF/D-35474.pdf

Arocha, A. 2014. Cultivos cerealeros de Venezuela (en línea). Consultado el 6 de marzo del 2017. disponible en: <https://es.slideshare.net/AlfredoJavier1/cultivos-cerealeros-de-venezuela>

Arregocés et al. 1987. Morfología de la Planta de Arroz (Guía de Estudio). 1 ed. Cali, COL. CIAT. 16 páginas.

Arregocés, O.; Fernández, F. 1980. Crecimiento y Etapas de Desarrollo de la Planta de Arroz. 1 ed. Cali, COL. CIAT. 29 p.

Barzola, J.2012. Producción de Arroz Bajo Riego de la Variedad F-50 Mediante el Uso de Briquetas Compuestas de N.P.K en el Cantón de Daule (en línea). Tesis. Lic. Guayaquil. Ecuador. Escuela Superior Politécnica del Litoral. 124 Pág.

Consultado el 24 de Octubre de 2016. Disponible en:
http://www.cib.espol.edu.ec/Digipath/D_Tesis_PDF/D-92390.pdf

Bloodnick E. 2016. Rol del Silicio en Cultivo de Plantas (en línea). Consultado el 3 de Enero del 2017. Disponible en:<http://www.pthorticulture.com/es/centro-de-formacion/rol-del-silicio-en-el-cultivo-de-plantas/>

Castellanos et al, 2015. El Silicio en la Resistencia de los Cultivos (en línea). Consultado el 5 de Enero del 2017. Disponible en:
http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0258-59362015000500002

Coloma, L. 2015. Efecto de la Aplicación Foliar con dos Fuentes de Silicio en la Agronomía y Rendimiento del Cultivo de Arroz (*Oryza sativa L*)(en línea). Tesis de Grado. Guayaquil, Ecuador. 74 pág. Consultado el 27 de Enero del 2017. Disponible en:
[file:///C:/Users/usuario/Downloads/TESIS%20Leyla%20Mariela%20Coloma%20Cede%20de%20C3%B1o%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/usuario/Downloads/TESIS%20Leyla%20Mariela%20Coloma%20Cede%20de%20C3%B1o%20(1).pdf)

Contraloría Nacional de Panamá, 2015-2016. Estadísticas de producción de arroz en el periodo 2015-2016 (en línea). PMA. Consultado el 5 de junio del 2016. Disponible en: <https://www.contraloria.gob.pa/>

Degiovanni et al. 2010. Producción Eco-Eficiente del Arroz en América Latina tomo 1 (en línea). CALI. COL. CATIE. Consultado el 24 de julio de 2017. Disponible en: http://ciat-library.ciat.cgiar.org/Articulos_Ciat/2010_Degiovanni-Produccion_eco-eficiente_del_arroz.pdf

DELCORP S.A., 2010. Magensil Fertilizante para el Cultivo de Arroz (en línea). Consultado el 30 de Enero del 2017. Disponible en: <http://www.asopran.org/images/tecnicas/magnesil.pdf> 2010

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura), 1999. Suelos Arenosos (en línea). Consultado el 12 de Enero del 2017. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/009/ah645s/AH645S04.htm>

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura), 2003. Estado de la Diversidad Biológica de los Árboles y Bosques en Panamá (en línea). Consultado el 28 de Enero del 2017. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/007/j0604s/j0604s03.htm>

FEDEARROZ (Federación Nacional de Arroceros), 2000. Semilla Lagunas CL (en línea). Consultado el 11 de Enero del 2017. Disponible en: http://www.fedearroz.com.co/new/agroquimicos2.php?prod=Fedearroz_Lagunas

Furcal, P. 2012. Efecto del Silicio en la Fertilidad del Suelo, en la Incidencia de Enfermedades y el Rendimiento del Cultivo de Arroz *Oryza sativa* (en línea). Tesis de Grado. San Carlos. Costa Rica. 54 p. Consultado de 13 de Enero del 2017. Disponible en: http://bibliodigital.itcr.ac.cr/bitstream/handle/2238/2855/Informe_Final.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Furcal, P.; Herrera, A. 2013. Efecto del Silicio y Plaguicidas en la Fertilidad del Suelo y Rendimiento del Arroz (en línea). Agronomía Mesoamericana. Consultado el 7 de Enero del 2017. Disponible en: http://www.mag.go.cr/rev_meso/v24n02_365.pdf

García, D. 2012. Efecto de la Aplicación de Dosis de Silicio más Abono Orgánico en la Poda de Rehabilitación en las Plantas de Café Variedad Catimor en el Distrito de Alonso de Alvarado Roque, Provincia de Lamas (en línea). Tesis de Grado. Tarapoto. Perú. 74 p. Consultado el 6 de Enero del 2017. Disponible en: <http://tesis.unsm.edu.pe/jspui/bitstream/11458/462/1/Dany%20Garc%C3%ADa%20Bartra.pdf>

Hernández, G. 2002. Nutrición Mineral de las Plantas (en línea). Mérida. VEN. Consultado el 23 de julio de 2017. Disponible en: <http://www.forest.ula.ve/~rubenhg/nutricionmineral/>

IGNTG (Instituto Nacional Geográfico Tommy Guardia), MOP (Ministerio de Obras Públicas). 2007. Atlas de la República de Panamá. (CD-ROM). Panamá.

INET (Instituto Nacional de educación Tecnológica), 2012. El elemento Silicio (en línea). Capítulo 11. Consultado el 27 de Enero del 2017. Disponible en: <http://www.inet.edu.ar/wp-content/uploads/2012/11/silicio.pdf>

León, J. 1987. Botánica de los Cultivos Tropicales. 1 ed. San José, CR. IICA. 462 páginas.

Mejisulfatos, 2017. Magnesil Fertilizante (en línea). Consultado el 30 de Enero del 2017. Disponible en: <http://mejisulfatos.com/wp-content/uploads/2016/08/Ficha-t%C3%A9cnica-Magnesil-granulado.pdf>

MIAMBIENTE (Ministerio de Ambiente), 2012. Línea Base: Diagnóstico Biofísico, Socioeconómico y Potencial Energético de la Cuenca Hidrográfica del Río Chico (en línea). Consultado el 24 de Enero del 2017. Disponible en: http://www.miambiente.gob.pa/images/stories/documentos_caf/Linea_Base_Rio_Chico.pdf

MIDA (Ministerio de Desarrollo Agropecuario), 2013. Caracterización de la Agencia de Alanje. Consultado el 5 de Enero del 2017. Disponible en: http://www.mida.gob.pa/upload/documentos/agencia_de_alanje.pdf

Murillo, J.; González R. 1982. Manual de producción para el arroz de secano. CAFESA. San José, CR. 132p.

ONU (Organización de las Naciones Unidas), 2014. Situación Demográfica en el Mundo, 2014 (en línea). Consultado el 23 de Enero del 2017. Disponible en: <http://www.un.org/en/development/desa/population/publications/pdf/trends/Concise%20Report%20on%20the%20World%20Population%20Situation%202014/es.pdf>

Piedrahíta, O. 2008. El Silicio como Fertilizante (en línea). Consultado el 23 de Enero del 2017. Disponible en: http://www.nuprec.com/Nuprec_Sp_archivos/Literatura/Silicio/Silicio%20en%20las%20plantas.pdf

Samudio, A. 1997. El Análisis Foliar y el Diagnóstico de Deficiencias Nutrimientales en los Cultivos. Monografía M.Sc. Ing. Agr. Panamá, Chiriquí. Universidad de Panamá, Facultad de Ciencias Agropecuarias. 23 pág.

SAS Institute Inc. 2014. Introducción a la programación en SAS® Studio 3.2 (en línea). Cary. USA. Consultado el 12 de agosto del 2017. Disponible en: <http://support.sas.com/documentation/onlinedoc/sasstudio/index.html>.

Tomás, M. 2007. Sistema Clearfield (en línea). Consultado el 12 de agosto del 2017. Disponible en: <http://www.phytoma.com/tienda/articulos-editorial/227-192-octubre-2007/8556-sistema-clearfield-la-tecnologia-del-futuro-en-el-control-de-malas-hierbas>

Anexos

Anexo 1. Muestreo de suelo y establecimiento del ensayo.



Anexo 2. Recolección de muestras foliares, pesado, secado y molienda.





Anexo 3. Preparación de las muestras foliares para la determinación de silicio (Si).



Pesado de muestras foliares



Muestra foliar + H_2O_2 + $NaOH$



Digestión de las muestras
foliares en autoclave



Muestra foliar + ácido acético + molidnato de
amonio + ácido tartárico + solución
reductora.



Determinación de silicio
colorímetramente