

**EFFECTO DEL SILICIO EN LA FERTILIDAD DEL SUELO, EN LA
INCIDENCIA DE ENFERMEDADES Y EL RENDIMIENTO DEL CULTIVO
DE ARROZ (*Oryza sativa*) var CR 4477
Código 5402-2151-8601**

Ing. Parménides Furcal B., M.Sc. Instituto Tecnológico de Costa Rica, TEC. Escuela de Agronomía, Sede San Carlos.

Informe elaborado por:

Ing. Parménides Furcal B., M.Sc. Instituto Tecnológico de Costa Rica, TEC. Escuela de Agronomía, Sede San Carlos.

Enero de 2012

AGRADECIMIENTO

Se agradece al Instituto Tecnológico de Costa Rica, TEC, mediante la Vicerrectoría de Investigación y Extensión y la Escuela de Agronomía, por el apoyo financiero y por las facilidades brindadas para esta investigación, respectivamente.

Un reconocimiento sincero a Carlos Araya y Ronny Bogantes, personal administrativo de la Escuela de Agronomía que participaron en las actividades de campo durante el período de este proyecto. Sin olvidar al mismo tiempo, las labores activas de los estudiantes de Agronomía: Alejandra Herrera Barrantes y Wagner Andrade Carballo.

Tabla de contenido

1. Introducción.....	1
Objetivo General.....	2
Objetivos específicos.....	2
2. Revisión de literatura.....	2
Clasificación del cultivo de arroz.....	2
Morfología del cultivo de arroz.....	2
Órganos vegetativos.....	3
Órganos florales.....	3
Fases de desarrollo.....	4
Generalidades del elemento silicio.....	4
Función del silicio en el suelo.....	6
Efecto del silicio contra los insectos y las enfermedades.....	7
Variedad de arroz CR4477.....	9
3. Materiales y métodos.....	10
Localización del experimento.....	10
Material utilizado en los tratamientos.....	10
Manejo del cultivo.....	10
VARIABLES DE MEDICIÓN.....	11
Tratamientos y diseño experimental.....	13
4. Resultados y discusión.....	14
Efecto de la aplicación de silicio en la fertilidad de los suelos.....	14
Efecto de la aplicación de silicio en la concentración de nutrimentos en las hojas.....	19
Incidencia de enfermedades y plagas insectiles en el cultivo.....	23
Componentes de rendimientos.....	25
Tallos totales y efectivos.....	25
Cantidad y longitud de panículas por categoría.....	25
Porcentaje de granos llenos y vanos.....	25
Peso de 1000 granos de arroz en granza.....	26
Rendimiento arroz en granza.....	27
Calidad de granos en granza.....	28
5. Conclusiones y recomendaciones.....	32
6. Bibliografía.....	33
7. Anexos.....	36

Lista de cuadros

Cuadro	Título	Página
1.	Características molineras de la variedad CR4477 obtenidas en el periodo 2005/2006. Laboratorio Control Calidad, CONARROZ 2006.....	10
2.	Porcentaje de incidencia de enfermedades en los ciclos del cultivo 2010 y 2011. ITCR, San Carlos, Costa Rica. Diciembre 2011.....	23
3.	Porcentaje de incidencia de larvas y pupas en los ciclos del cultivo 2010 y 2011. ITCR, San Carlos, Costa Rica. Diciembre 2011.....	24
4.	Resultados de análisis de calidad de arroz de acuerdo a los Métodos de Análisis de Calidad de Arroz (MACA) del Laboratorio de Control de Calidad de CONARROZ basado en el Reglamento Técnico de Arroz en Granza “RTCR 406-2007”. ITCR, San Carlos, Costa Rica. Diciembre 2011.....	29
5.	Factores y grados de calidad para el arroz en granza tipo largo, según CONARROZ 2008. ITCR, San Carlos, Costa Rica. Diciembre 2011.....	30
6.	Evaluación de los grados de calidad, según los resultados de los análisis realizados por CONARROZ a las muestras de cada tratamiento. ITCR, San Carlos, Costa Rica. Diciembre 2011.....	30
7.	Resultados de análisis de calidad del arroz cosechado en cada tratamiento, según los Métodos de Análisis de Calidad de Arroz (MACA). Clasificación por componentes de rendimiento según bases establecidas por el Ministerio de Economía de Industria y Comercio (MEIC). ITCR, San Carlos, Costa Rica. Diciembre 2011.....	31

Lista de figuras

Figura	Título	Página
1.	Comportamiento de la hifa del hongo según la presencia o no de silicio debajo de la cutícula de un corte de una hoja de monocotiledónea. Fuente: Vladimir V. Matichenkov mencionado por Orejuela J.D. (2010).....	9
2.	Interacción del contenido de zinc en el suelo en los tratamientos con silicio y la aplicación o no de plaguicidas, durante la siembra de 2011. ITCR, San Carlos, Costa Rica 2011.....	15
3.	Interacción del contenido de cobre en el suelo en los tratamientos con silicio y la aplicación o no de plaguicidas, durante la siembra de 2011. ITCR, San Carlos, Costa Rica 2011.....	15
4.	Valores de pH en suelo, previo a la siembra y posterior a la cosecha en el 2010 y 2011. ITCR, San Carlos, Costa Rica 2011.....	16
5.	Valores de acidez en suelo, previo a la siembra y posterior a la cosecha en el 2010 y 2011. ITCR, San Carlos, Costa Rica 2011.....	17
6.	Valores de suma de bases en suelo, previo a la siembra y posterior a la cosecha en el 2010 y 2011. ITCR, San Carlos, Costa Rica 2011.....	18
7.	Valores de saturación de aluminio en suelo, previo a la siembra y posterior a la cosecha en el 2010 y 2011. ITCR, San Carlos, Costa Rica 2011.....	19
8.	Contenido de zinc en las hojas en los tratamientos aplicados durante los ciclos 2010 y 2011 del cultivo. ITCR, San Carlos, Costa Rica 2011.....	20
9.	Interacción del contenido de zinc en las hojas en los tratamientos con silicio y la aplicación o no de plaguicidas, durante la siembra de 2011. ITCR, San Carlos, Costa Rica 2011.....	20
10.	Interacción del contenido de magnesio en las hojas en los tratamientos con silicio y la aplicación o no de plaguicidas, durante la siembra de 2011. ITCR, San Carlos, Costa Rica 2011.....	21
11.	Contenido de manganeso en las hojas en los tratamientos aplicados durante la siembra de 2010. ITCR, San Carlos, Costa Rica 2011.....	22
12.	Contenido de silicio en las hojas en los tratamientos aplicados durante los dos ciclos del cultivo de arroz. ITCR, San Carlos, Costa Rica 2011.....	22
13.	Interacción del porcentaje de panículas categoría 1 en los tratamientos con silicio y la aplicación o no de plaguicidas, durante la siembra de 2011. ITCR, San Carlos, Costa Rica 2011.....	26
14.	Interacción del peso promedio de 1000 granos de arroz en granza en la cosecha de 2010. ITCR, San Carlos, Costa Rica 2011.....	27
15.	Peso promedio de 1000 granos de arroz en granza en las dos cosechas 2010 y 2011. ITCR, San Carlos, Costa Rica 2011.....	27
16.	Rendimiento de arroz en granza en los dos ciclos del cultivo 2010 y 2011. ITCR, San Carlos, Costa Rica 2011.....	28

Lista de anexos

Anexos	Título	Página
1.	Manejo agronómico realizado en el cultivo de arroz var CR 4477. ITCR, Finca La Vega, San Carlos, Costa Rica, Diciembre 2011.....	36
2.	Análisis estadísticos de los resultados químicos de elementos nutritivos en suelos. ITCR, San Carlos, Costa Rica. Diciembre 2011.....	37
3.	Resultados de análisis químicos de suelo hechos por Agro Análisis de Costa Rica S.A. en las cosechas 2010 y 2011. ITCR, Finca La Vega, San Carlos, Costa Rica. Diciembre 2011.....	41
4.	Análisis estadísticos de los resultados químicos elementos en las hojas de arroz a los 90 días después de la siembra. ITCR, San Carlos, Costa Rica. Diciembre 2011.....	43
5.	Resultados de análisis químicos de hojas de arroz hechos por Agro Análisis de Costa Rica S.A. en las cosechas 2010 y 2011. ITCR, Finca La Vega, San Carlos, Costa Rica. Diciembre 2011.....	47
6.	Población de plantas muestreadas para determinar incidencia de plagas y enfermedades en los dos ciclos del cultivo. ITCR, Finca La Vega. San Carlos, Costa Rica. Diciembre 2011.....	49
7.	Porcentaje de granos llenos y vanos y peso de 1000 granos de arroz por cosecha. ITCR, Finca La Vega. San Carlos, Costa Rica. Diciembre 2011.....	50
8.	Análisis estadísticos de la variable peso de 1000 granos de arroz al momento de la cosecha 2011. ITCR, Finca La Vega, San Carlos, Costa Rica. Diciembre de 2011.....	51
9.	Análisis estadísticos de la variable rendimiento de arroz en granza al momento de las cosechas 2010 y 2011. ITCR, Finca La Vega, San Carlos, Costa Rica. Diciembre de 2011.....	52

RESUMEN

Se realizó un estudio en la Finca La Vega de San Carlos, propiedad del Instituto Tecnológico de Costa Rica, con el objetivo general de evaluar el efecto de la aplicación de silicio sobre la fertilidad del suelo, la incidencia de plagas y enfermedades, el rendimiento y la calidad molinera en la variedad de arroz CR 4477, entre mayo y octubre de los años 2010 y 2011. Se establecieron cinco tratamientos: silicio al suelo (SS), silicio al suelo más plaguicidas (alternativas químicas) (SSP), silicio foliar (SF), silicio foliar más plaguicidas (alternativas químicas) (SFP) y testigo comercial (TT), utilizando un modelo estadístico de Bloques al Azar con arreglo factorial $2 \times 2 + 1$. Como fuente de silicio se utilizaron Tecnosilix® en polvo al 70% de SiO_2 para ser aplicado al suelo y líquido concentrado (Tecnosilix® 40% SiO_2 y 36% MgO) aplicado a nivel de hojas del cultivo. Con relación al uso de plaguicida se utilizó el protocolo de manejo establecido por la finca. El silicio al suelo se aplicó 15 días antes de siembra a la dosis de 100 kg SiO_2/ha y el silicio foliar en dos aplicaciones a 4 l/ha a los 17 y 30 días después de la siembra. Las variables de respuesta medidas en el suelo fueron acidez intercambiable, pH, sumatoria de bases y contenido de P, Si, Mn, Fe, Cu y Zn. A nivel foliar se evaluó además del silicio, el contenido de la mayoría de los elementos esenciales en la nutrición vegetal. Además, se determinó el porcentaje de incidencia de enfermedades y plagas, así como el rendimiento de arroz, la calidad molinera del grano de arroz y los componentes de rendimiento (porcentaje de efectividad de tallos, número de granos llenos y vanos, peso de 1000 granos, longitud de panícula). Los resultados obtenidos mostraron que no hubo efecto ($p > 0,05$) del silicio en la fertilidad del suelo, en la incidencia de enfermedades y plagas insectiles, ni en las variables de rendimiento y la calidad molinera. Sin embargo, los resultados sugieren que la combinación de silicio aplicado al suelo y el uso de plaguicidas incrementan el contenido de zinc en el suelo y en las hojas. Finalmente los resultados mostraron que la aplicación de alternativas químicas (plaguicidas) influyó positivamente en el peso y rendimiento del grano de arroz ($p \leq 0,05$).

Palabras claves: Arroz, *Oryza sativa*, silicio, fertilidad del suelo, incidencia de plagas, incidencia de enfermedades, rendimiento, calidad molinera.

1. Introducción

En el país en la actualidad se distribuye fuentes de silicio formulado por empresas extranjeras e importadas desde países como Colombia y Guatemala. Al iniciarse la distribución, es de esperar que posteriormente ingresen al país otros productos a base de este elemento. Estos productos son recomendados para la mayoría de los cultivos que se siembran en el país; como por ejemplo: banano, piña, arroz, caña de azúcar, hortalizas, ornamentales, raíces y tubérculos, entre otros; sin considerar las características de suelos donde se encuentran plantados ni la dosis y frecuencia con que se deben aplicar según las condiciones.

El procedimiento de ventas debería seguir un proceso inverso, en primera instancia probar el o los producto(s) en los suelos del país y luego proceder a su distribución; sin embargo en el país se distribuyen y se recomiendan para cualquier orden y tipo de suelo sin conocer sus características y sin la certeza de la eficiencia de los productos. Al momento de establecer este estudio, en nuestro medio existían pocos resultados publicados de investigaciones consistentes que respalden los beneficios que pueden generar estas fuentes de silicio, ya sea al suelo, a los cultivos en los cuales se recomiendan, ni el costo/beneficio que el productor puede obtener. En ese sentido, se recurre a investigaciones producidas fuera de nuestra frontera donde se encuentra que, el uso de estos productos tienen bondades cuando son utilizados mayormente en gramíneas y en suelos tropicales, principalmente cuando estos son ácidos, tienen tendencia ácida o con otra degradación de fertilidad química (Quero 2008, Viana 2008, Chaudhary *et al.* 2003, Hernández 2002, Fihlo *et al.* 2000), pero que además los silicatos tienen otros efectos importantes como lo es la resistencia contra enfermedades, al ataque de insectos y al “volcamiento”, de las plantas de arroz (Hernández 2002, Fihlo *et al.* 2000). Estos estudios, dentro de las gramíneas, se han llevado a cabo a mayor escala en arroz y caña de azúcar (Chaudhary *et al.* 2003, Hernández 2002, Kornörfer *et al.* 2002, Fihlo *et al.* 2000).

Los suelos tropicales normalmente son ácidos o con tendencia a la acidez, debido a la baja saturación de bases, sea por la extracción de las plantas por el uso intensivo de los suelos, la lixiviación y la escorrentía a causa de las lluvias a través del tiempo o de pH ácido y baja capacidad de intercambio catiónico por su origen, es decir, baja fertilidad. Estos suelos degradados son comunes en América Latina como lo indica Brady (1992), mencionado por Fihlo *et al.* (2000), a lo cual no escapa Costa Rica. Sin embargo, a pesar de lo anterior, en el trópico se encuentran suelos de buena fertilidad, donde la probabilidad de encontrar efectos positivos a la aplicación de silicio es baja.

Los beneficios que pueden ser alcanzados en el suelo con la presencia de silicio, es la restauración de la fertilidad de los suelos a través del tiempo, al elevar la capacidad de intercambio catiónico, mejorar el contenido de calcio, magnesio, fósforo, entre otros elementos (Quero 2008, Hernández 2002, Fihlo *et al.* 2000). Las variaciones en la concentración del silicio, también tienen efectos sobre otros procesos del suelo como en la toxicidad por hierro y manganeso en el cultivo de arroz (Hernández 2002, Fihlo *et al.* 2000), esta toxicidad se da en Costa Rica, según el manejo del agua en área bajo riego o por encharcamiento en zonas de cultivo de arroz en secano. La razón más acertada es que la presencia de silicio en las plantas, hace que de las hojas y tallos se incremente la cantidad de oxígeno que impulsan las plantas hacia la raíz, de este modo llega al parénquima oxidando la rizosfera, logrando que

el Fe y Mn reducido (producto de agua en cultivo de arroz) se oxide, evitando una excesiva toma de estos elementos por parte de las plantas (Viana 2008).

En el caso de arroz, se ha comprobado que el silicio induce una excelente resistencia contra enfermedades como *Rhizoctonia*, *Pyricularia*, *Helminthosporium*, *Rynchosporium*, *Sarocladium*, etc. (Viana 2008), las cuales según la variedad y la época de siembra son muy importantes en la producción de arroz en Costa Rica. En el país, el hongo *Sarocladium oryzae* en conjunto con las bacterias *Pseudomonas* y *Xanthomonas* y el ácaro *Steneotarsonemus spinky* forman un complejo que ocasiona, según Rivera¹, alto índice de vaneo y manchado del granos.

Es probable que por estos beneficios, en Japón el 25% del área cultivada con arroz recibe anualmente aplicaciones de silicatos de calcio que puede variar de 0,5 a 1,0 t/ha, las cantidades recomendadas son de 1,5 a 2,0 t/ha (Fihlo *et al.* 2000). De igual forma, en Brasil desde 1990 la siembra de arroz en zonas degradadas recibe aporte de silicatos (Fihlo *et al.* 2000).

Por la presencia de productos silicatados a la venta por diferentes distribuidores en los últimos cuatro años, y no disponer de fuentes de información importantes de su comportamiento en nuestros medios, por el auge del cultivo del arroz en el país y por los beneficios ya descritos en el suelo y en cultivos que se atribuyen al uso de silicio, es que se planteó la propuesta de establecer un experimento de partida con el uso de silicio en arroz.

Objetivo General

Evaluar el efecto de la aplicación de silicio y las alternativas químicas, sobre la fertilidad del suelo, la incidencia de enfermedades y plagas insectiles, el rendimiento y la calidad de granos del cultivo de arroz.

Objetivos específicos

Evaluar el efecto de la aplicación del silicio en la fertilidad del suelo.

Evaluar el efecto de la aplicación del silicio y alternativas químicas sobre la incidencia de enfermedades y plagas insectiles en el cultivo de arroz desde la fase reproductiva hasta la cosecha.

Valorar el efecto del uso de silicio y alternativas químicas en el rendimiento y la calidad de granos del cultivo de arroz.

2. Revisión de literatura

Clasificación del cultivo de arroz

La clasificación científica de acuerdo con Alfaro (2008) es la siguiente: Familia Poaceae. Genero *Oryza*. Especie *O. sativa* y Nombre científico *Oryza sativa*

Morfología del cultivo de arroz

La planta de arroz (*Oryza sativa*) es una gramínea anual, conformada de tallos redondos, huecos, compuestos por nudos y entrenudos, con hojas de lámina plana unidas al tallo por una vaina y con inflorescencia tipo panícula (CIAT 1985). La altura de la planta varía desde los mutantes enanos de 0,3 a 0,4m de alto o las variedades

¹ Rivera, C. 2009. Comunicación personal. El Pelón de la Bajura, Liberia

flotantes alcanzando más de siete metros de alto. Pero las variedades comerciales oscilan entre 1 a 2 m de altura. Respecto con las variedades de Costa Rica, estas tienen alturas que oscilan entre 0,9 a 1,2 m de altura (Murillo y González 1982). Estos autores mencionan que la planta de arroz está adaptada en crecer en suelos inundados y a la vez en suelos de secano. Además la planta puede dividirse en dos partes: órganos vegetativos, comprende raíces, tallos y hojas y órganos florales que comprende los vástagos que constan de panícula y espiguillas.

Órganos vegetativos

Raíz

Las raíces son fibrosas y consisten en radículas y vellos radicales. Las raíces embrionarias presentan pocas ramificaciones y tienen poca duración, después de la germinación y son reemplazadas por las raíces adventicias secundarias que crecen libremente y se producen a partir de los nudos subterráneos de los tallos jóvenes (Universidad de Filipinas 1975).

Tallo

Según Topolanski (1975), el tallo es erecto, cilíndrico y hueco y está constituido por una serie de nudos y entrenudos característicos de las gramíneas. Los entrenudos son más cortos en la base del tallo y se alargan hacia el extremo superior.

Los retoños se desarrollan a partir del tallo principal en orden alterno; los primarios se desarrollan de los nudos más bajos y producen tallos secundarios que a su vez producen los tallos terciarios (Murillo y González 1982).

Hojas

Las hojas están dispuestas en ángulo con el tallo en dos hileras, una en cada nudo y se puede distinguir de otros pastos por la presencia tanto de aurícula como de lígula, caracterizándose la aurícula como apéndices situados a cada lado de la base de la lámina que tienen forma de hoz y la lígula es la estructura triangular de textura membranosa que difiere de tamaño, color y forma según las variedades del arroz (CIAT 2005). También presenta la hoja bandera la cual es la última hoja de la planta de arroz que acompaña la panícula (Vergara 1990).

La formación de las hojas se genera de una en una y salen del tallo principal y cada una se produce cada siete días y se encuentran dispuestas en forma alterna (Vergara 1990).

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 (CIAT 1985).

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 (CIAT 1985).

Grano

El grano del arroz es el órgano maduro, en el cual la lemma, pálea, raquilla, lemmas 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 1986).

Fases de desarrollo

CIAT (1985), cita que el crecimiento de la planta de arroz es un proceso fisiológico continuo que comprende un ciclo completo desde la germinación hasta la maduración del grano. Este crecimiento muestra un patrón común en el tiempo, que puede variar ligeramente dependiendo de características genéticas de la planta o la influencia del ambiente.

La planta de arroz tiene tres fases de crecimiento claramente definidas, las cuales son: fase vegetativa, fase reproductiva y fase de maduración (Murillo y González 1982).

Fase vegetativa

Esta fase comprende desde la germinación de la semilla hasta el inicio de la diferenciación de la panícula (Murillo y González 1982).

Fase reproductiva

Esta fase comprende el periodo de inicio de la formación de la panoja y la floración. La formación de la panoja puede iniciar antes de alcanzar su máximo macollamiento, en el momento de mayor actividad de producción de hijos o después de este.

Fase de maduración

La fase de maduración comprende el periodo entre la floración y la maduración completa del grano. Esta fase dura entre 25 a 30 días según la variedad. El grano de arroz que se desarrolla después de la fecundación es un proceso continuo que pasa por diferentes etapas bien diferenciadas antes de la maduración completa (Murillo y González 1982).

Generalidades del elemento silicio

El silicio (Si), base de mayoría de las arcillas, es el segundo elemento más abundante en la corteza terrestre, sin embargo gran parte es inerte e insoluble como el cuarzo ($\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$) y en arena. Pero en la corteza terrestre se encuentran formas biogeoquímicas activas de silicio como las derivadas del ácido silícico; ortosilícico, H_4SiO_4 y metasilícico, H_2SiO_3 (Quero 2008), formas que pueden ser absorbidas y asimiladas por las plantas desde la solución de suelos (Fertilizantes de Centroamérica 2008). Según Wild (1992), el silicio se absorbe como $\text{Si}(\text{OH})_4$ y el **4 a 7%** de la materia seca aérea en arroz es silicio, mientras que en otras gramíneas es de **1 a 2%**.

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 (Hernández 2002, Fihlo *et al.* 2000). 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 (Viana 2008).

Según Topolanski (1975) 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.

De acuerdo a las explicaciones de Quero (2008), 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, según Epstein (1999), en arroz la absorción de silicio es el doble de la de nitrógeno. La caña de azúcar, puede producir más de 180 t/ha de caña en suelos con pH mayor a 7,5 y un contenido de silicio en el suelo mayor al 22%. Mientras que en condiciones de suelo ácido con pH de menor a 6,0 y un contenido de silicio de 16%, la producción es de 60 a 80 t/ha. Como ejemplo de extracciones tenemos: caña de azúcar (300-700 kg/ha de Si), arroz (150-300 kg/ha de Si), asimismo según Chaudhary *et al.* (2003) una buena producción de arroz extrae del suelo entre 467 y 560 kg/ha de Si, ocurriendo una alta producción y acumulación de SiO₂ en la epidermis de las hojas. Tales valores de silicio absorbidos no pueden ser completamente explicados por la absorción pasiva (tal como la difusión o flujo de masa) porque en la capa del suelo de 20 cm, en promedio se encuentran a penas de 0,1 a 1,6 kg/ha de H₄SiO₄. Algunos resultados han mostrado que las raíces de arroz poseen la capacidad específica de concentrar Si en la solución externa (Quero 2008). Takahashi *et al.* (1990) obtuvo diferencias porcentuales en la acumulación de silicio, debiéndose a la habilidad de la raíz para absorber este elemento del suelo.

El silicio constituye entre el 0,1 y el 10% del peso seco de las plantas superiores. En comparación, el calcio está presente en valores que van de 0,1 a 0,6% y el azufre de 0,1 a 1,5%. El arroz acumula hasta 10% de silicio y en general las monocotiledóneas acumulan más silicio que las dicotiledóneas, aunque estas diferencias pueden darse incluso a nivel de variedades (Epstein 1999, Ma *et al.* 2002). No obstante, los análisis realizados indican que la concentración de silicio y por lo tanto la presencia de fitolitos, es más influenciada por la posición filogenética, es decir, por efecto de género y especie, que por factores ambientales tales como disponibilidad de agua y del mismo silicio.

La acumulación de silicio en las plantas varía de forma considerable en las distintas especies. Mitani *et al.* (2005), observaron características en la distribución y acumulación de Si en plantas superiores, clasificando como acumuladoras las pertenecientes a las familias Gramineae y Cyperaceae, con acumulación intermedia se ubican las Cucurbitales, Urticales y Commelinaceae, y las demás especies se clasifican como plantas con baja acumulación de

silicio. Mitani *et al.* (2005), obtuvieron contenidos en arroz, cucurbitáceas y tomate del 7,3%, 2,3% y 0,2 % de Si en peso seco respectivamente.

Hernández (2002) y Quero (2008) mencionan que, además de las gramíneas, el silicio es esencial para cultivos como el tomate, el pepino, como ejemplo de la presencia biológica del silicio, además, se puede mencionar que este se encuentra presente en semillas de pistacho, avena, cebada y frijol en concentraciones de 1,4; 4,25; 2;42 y 1,20 g/kg, respectivamente. En hojas se encuentran concentraciones de 0,5 a 30 g/kg (Quero 2008) y en el cultivo de chile la producción y calidad de cosecha se incrementan con la aplicación de fertilizantes, aguas de riego y compost ricos en silicio.

El silicio juega un papel importante en la planta, este elemento controla el desarrollo del sistema radicular, la asimilación y distribución de nutrientes minerales, incrementa la resistencia de la planta al estrés abiótico (temperatura, viento, alta concentración de sales y metales pesados, hidrocarburos, aluminio, etc.) y biótico (insectos, hongos, enfermedades) (Quero 2007, 2008; Viana 2008, Chaudhary *et al.* 2003, Hernández 2002). Según Hernández (2002) en las gramíneas se deposita en la pared celular de la epidermis, pelos, brácteas, etc. También se deposita en el interior, como sucede en el xilema (Fihlo *et al.* 2000). El silicio es depositado como sílice hidratada amorfa ($\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$), primeramente en el retículo endoplasmático, pared celular y en los espacios intercelulares (Wild 1992). Intracelularmente, se acumula también en células epidérmicas especializadas llamadas células silíceas.

En Japón, el nivel crítico del silicio disponible está alrededor de 10 mg de SiO_2 por 100g de suelo. En ese sentido, cuando los valores están por debajo de este nivel, las plantas de arroz responden a la aplicación del silicio (Hernández 2002).

Las plantas deficientes en silicio son quebradizas y susceptibles de infecciones fúngicas. La presencia de silicio, en contenido adecuado, aumenta el rendimiento del cultivo de arroz y la resistencia al ataque de hongos (Hernández 2002, Fihlo *et al.* 2000).

Función del silicio en el suelo

El tratamiento del suelo con productos a base de silicio químicamente activo restaura la degradación y optimiza la fertilidad del suelo, a través de mejorar sus propiedades físicas y químicas, al mantener los nutrientes en forma disponible para la planta y mejorar la capacidad de intercambio catiónico, sobre todo en pH mayor a 7,0 (Quero 2008).

Adicionalmente, con la acción de factores climáticos y de suelos, como: temperatura, lluvia y el CO_2 disuelto en el agua en la forma de ácido carbónico ($\text{H}_2\text{CO}_3/\text{CO}_2$) (Viana 2008, Quero 2008) que actúan sobre los minerales arcillosos liberando elementos minerales, formándose a su vez silicatos de calcio, magnesio, potasio, zinc, hierro, incrementando grandemente la capacidad de intercambio catiónico de los suelos y el pH del suelo se torna básico. En estas condiciones de pH y capacidad de intercambio catiónico, los suelos son altamente productivos. En estos suelos se encuentran de **100 a 200 mg/kg** de estas formas de silicio soluble (Quero 2008).

El contenido de silicio y aluminio se relacionan con el pH de la solución del suelo. A medida que el pH del suelo se eleva, es decir pasa de ácido a básico, el contenido de silicio se incrementa a una relación de 79,05 t/ha de

silicio elemental. Cantidad que es removido por requerimientos del cultivo y la erosión hídrica causada por la lluvia. Al ser removido el silicio, el aluminio se incrementa en el suelo, ocasionando problemas de acidez y posible toxicidad a las raíces de los cultivos (Quero 2008).

Para lograr cantidad importante de silicio asimilable por las plantas, debe aplicarse al suelo productos que al reaccionar con el agua forme Ácido Monosilícico (Ácido Silícico) que es débilmente adherido en el suelo. Éste a pesar de tener poca migración en el suelo (Fertilizante de Centroamérica 2008), tiene el inconveniente que puede perderse por lixiviación (Viana 2008). El anión silicato al tener afinidad con el anión fosfato, al aumentar la concentración de Ácido Monosilícico en la solución del suelo produce transformaciones que hacen que fosfatos no aprovechables por las plantas, se conviertan en fosfatos aprovechables (Fertilizante de Centroamérica 2008). Una vez formado el Ácido Silícico, este reacciona con los fosfatos insolubles de hierro, manganeso, aluminio y calcio formando silicatos de cada uno de estos elementos, productos que son insolubles, por consiguiente, no pueden ser absorbidos por las plantas, liberando el ion ortofosfato primario (forma de fósforo que absorben las plantas) para que entre a la solución del suelo (Viana 2008). Según Quero (2008), la reacción química que al aplicar silicio solubiliza al fósforo, especialmente con el hierro, sería la siguiente: $2\text{FePO}_4 + \text{H}_4\text{SiO}_4 = \text{Fe}_2\text{SiO}_4 + 2\text{H}_2\text{PO}_4^-$.

La recuperación del fósforo insoluble en compuestos de hierro, aluminio, calcio entre otros, es de gran importancia, debido que este elemento presente en el suelo o aplicado a través de la fertilización con productos orgánicos o inorgánicos pueden ser fijados en mayor o menor cantidad dependiendo del pH. Al ser recuperados se aumenta la eficiencia y como consecuencia la disminución en los costos de producción del productor.

En un estudio realizado por Kornörfer *et al.* (2002) con niveles de agua y dosis de 0, 200, 400 y 600 kg/ha de silicato de calcio en dos suelos meteorizados de Brasil, se obtuvo que los contenidos de Si en los suelos fueron mayores conforme la dosis de silicato. Además la cantidad de Si absorbido por las plantas fue proporcional al extraído del suelo y promovió el rendimiento de granos y la tolerancia a la falta de agua.

El arroz puede responder al uso del silicio dependiendo de su contenido en el suelo. Desde la década de los 50's los japoneses han estudiado el silicio en relación al suelo, en las plantas y con fertilización del arroz con este elemento. De esa manera, con estos datos y otros obtenidos en Corea y Taiwán, se ha observado que el contenido crítico de silicio en los residuos de cosecha de arroz fue de 6,15% en Japón y Corea y de 5,1% en Taiwán. Asimismo en regiones tropicales de la India y Sri Lanka, las variedades parecen responder a las aplicaciones de silicio cuando el tenor de la paja es menor de 3,7%.

En Japón el 25% del área cultivada con arroz recibe anualmente aplicaciones de silicatos de calcio que puede variar de 0,5 a 1,0 t, las cantidades recomendadas son de 1,5 a 2,0 t/ha (Fihlo *et al.* 2000). En el sentido de utilizar la estrategia de control de enfermedades y de corrección de suelos a través de uso de silicatos, se debe, a corto plazo, proceder a una evaluación de las fuentes y su efecto potencial en el uso en la agricultura.

Efecto del silicio contra los insectos y las enfermedades

Los beneficios de la mayor concentración de silicio (natural o al suministro a través de los procesos de fertilización) en el suelo son vistos en la nutrición y producción desde diferentes ámbitos, destacando los siguientes

en el sistema Suelo-Planta: refuerza en la planta su capacidad de almacenamiento y distribución de carbohidratos requeridos para el crecimiento y producción de cosecha (Quero 2008), tiene acción sinérgica con el calcio, el magnesio y el potasio, mejorando la vida media de las cosechas percederas (Viana 2008), autoprotección contra enfermedades causadas por hongos y bacterias, resistencia al ataque de insectos y ácaros y a las condiciones desfavorables de clima. Puede estimular el desarrollo y actividad de estructuras poliméricas en la cutícula (Chaudhary *et al.* 2003, Quero 2008). Según Viana (2008a) las estructuras tricomas, cuando se aplican productos a base de silicio logran acumular una gran cantidad de ese elemento, esto las torna rígidas impidiendo que los insectos puedan introducir su aparato bucal y su estilete reproductivo, por lo que emigran buscando plantas más propicias para alimentarse y ovipositar, lográndose por lo tanto una “Resistencia Mecánica” al ataque de insectos (Fihlo *et al.* 2000, Hernández 2002, Chaudhary 2003, Viana 2008a). De igual modo, Fihlo *et al.* (2000), indican que el mecanismo de resistencia a enfermedades ha sido atribuido al silicio como constituyente de la pared celular, tornándola menos accesible a enzimas de degradación. El Si absorbido es depositado en la pared celular, debajo de la cutícula aumentando la rigidez de las células y pudiendo elevar el contenido de hemicelulosa y lignina de la pared celular, además de eso, algunos autores indican que el Si tiene protección sistémica contra hongos (Figura 1).

Según Viana (2008), el Dióxido de Silicio (SiO_2) que se acumula bajo la cutícula de las hojas, tallos y raíces en forma de cristales de silicio, es posible que provenga del proceso de la transpiración de las plantas, esa agua producto del proceso mencionado puede provenir del Ácido Silícico (H_4SiO_4), según la reacción $n(\text{Si}(\text{OH})_4) \rightarrow (\text{SiO}_2) + 2n(\text{H}_2\text{O})$ (Fertilizante de Centroamérica 2008), formándose el SiO_2 , el cual produce resistencia a la entrada de las hifas de los hongos y a los aparatos bucales de los insectos, minimizando el ataque de los chupadores y de los masticadores en sus primeros instares, dificultando de esta manera los daños en general. Datnoff *et al.* 1990, 1991, Osuma-Canizales *et al.* 1991; Kornörfer *et al.* 1999a, mencionado por Fihlo *et al.* (2000) indican que la incidencia de las enfermedades es menor cuando el tenor de Si en el tejido vegetal es mayor. En el caso específico del arroz, se ha comprobado que el Silicio presenta una excelente resistencia contra enfermedades como *Rhizoctonia*, *Pyricularia*, *Helminthosporium*, *Sarocladium*, etc. (Viana, 2008), todas estas enfermedades importantes en la producción de arroz en Costa Rica, según la variedad y época de siembra, en ese sentido *Sarocladium* ha sido una de las enfermedades más discutidas en los últimos años y que las esporas de esta son transportados por *S. Spinky* causando la pudrición de la vaina y manchado del grano, la cual constituye un complejo de enfermedades y reportada en Costa Rica en mayo del 2004, desde entonces los esfuerzos se han enfocado a revisar la información científica y en capacitación con el objetivo de desarrollar investigaciones básicas y aplicadas que permiten el manejo del complejo ácaro-hongo (Almaguel y Botta 2005).

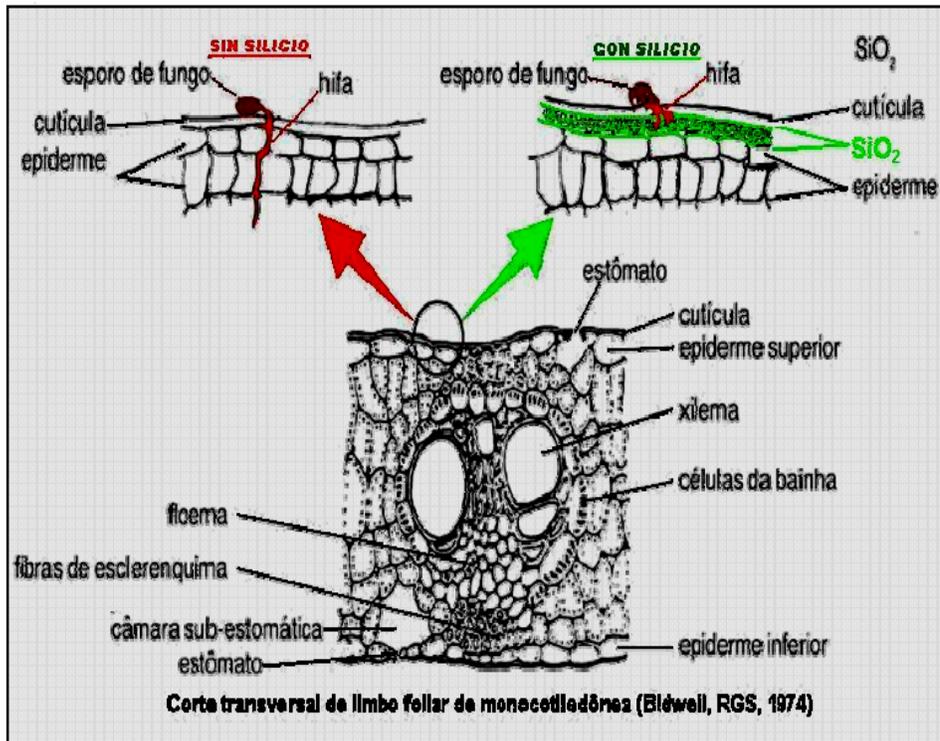


Figura 1. Comportamiento de la hifa del hongo según la presencia o no de silicio debajo de la cutícula de un corte de una hoja de monocotiledónea. Fuente: Vladimir V. Matichenkov mencionado por Orejuela J.D. (2010).

Variedad de arroz CR4477

Características agronómicas

La variedad CR4477 tiene la cualidad de presentar buena adaptación en secano y muy buena bajo riego, además tiene buena respuesta al nitrógeno (Oficina Nacional de Semillas 2003).

Características morfológicas

La altura de la planta de la variedad CR4477 en promedio es de 93 cm, la floración es a los 84 días y los días de cosecha es a los 115, respecto a su macollamiento es intermedio y su acame es resistente (Oficina Nacional de Semillas 2003).

Resistencia a enfermedades

La variedad CR 4477 es tolerante a *Helminthosporium* y hoja blanca y muy tolerante a *Pyricularia*, además presenta susceptibilidad a *Rhizoctonia*, *Pseudomonas* y *Sarocladium* (Oficina Nacional de Semillas 2003)

Características molineras

Las principales características molineras que presenta la variedad CR4477, analizadas en el periodo 2005-2006 por el laboratorio Control Calidad CONARROZ, se muestra en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Características molineras de la variedad CR4477 obtenidas en el periodo 2005/2006. Laboratorio Control Calidad, CONARROZ 2006.

Impureza (%)	9.4
Humedad (%)	20.0
Rendimiento de pilada (%)	70.0
Quebrado grueso (%)	23.2
Puntilla (%)	4.4
Quebrado (%)	27.7
Rendimiento entero (%)	50.7
Rendimiento arroz comercial(%)	66.9
Rendimiento de semolina (%)	9.9
Yesoso (%)	1.69

3. Materiales y métodos

Localización del experimento

El estudio de campo comprendió dos períodos, desde abril a octubre de 2010 y 2011, respectivamente, en un mismo lote (6B) en finca La Vega, localizada en Florencia de San Carlos, Alajuela, Costa Rica, propiedad del Instituto Tecnológico de Costa Rica. Esta finca se encuentra a una altura de 75 msnm. Las lluvias durante cada uno de los períodos de campo fueron de 2.229,7 mm y 2.144,6 con una mínima de 125,2 y 19 mm en el mes de abril en los años 2010 y 2011 respectivamente, y una máxima de 476,2 en el mes de junio del 2010 y 533,9 mm en el mes de julio del 2011. La temperatura máxima se produjo en abril con valor de 31,6°C y 32,1°C en los años 2010 y 2011 respectivamente y una mínima entre 21,7 y 21,1 °C, siendo el valor mínimo en el mes de octubre y agosto respectivamente.

Material utilizado en los tratamientos

En las parcelas que llevaron tratamiento al suelo se aplicó silicio 15 días antes de la siembra a una dosis de 100 kg/ha de óxido de silicio, el Tecnosilix® utilizado contiene 70% de SiO₂ p/p. Mientras que el tratamiento con silicio foliar se utilizó silicio líquido concentrado a una dosis de 4 l/ha (dosis recomendada por los representantes de la casa comercial) en dos aplicaciones, a los 17 y 30 días después de la siembra, utilizando el producto comercial Tecnosilix®, que contiene 40% de SiO₂ y 36% de MgO. Como tratamiento plaguicida (alternativas químicas) se utilizó el manejo de la finca, el cual se presenta en el Anexo 1.

Manejo del cultivo

La variedad utilizada fue la CR 4477 a una densidad de 128 kilogramos de semilla por hectárea, sembrada en hilera con sembradora marca Súper Tatú SD2. Esta es una variedad que tradicionalmente se siembra en la zona, el inicio del primordio floral de este material es a partir de los 51 días después de la germinación (DDS), la floración se inicia a los 80 DDS y la cosecha se realiza a partir de los 115 DDS, en el periodo intermedio de estas dos últimas fases, existe la de maduración de granos. El manejo en cuanto a control de malezas, plagas insectiles y enfermedades fue el mismo que usó la finca a nivel comercial, con la diferencia que hubo parcelas que no llevaron tratamientos con

agroquímicos contra plagas y enfermedades. En general, el manejo del experimento fue similar al de la finca, con algunas excepciones para la prevención de deficiencias nutricionales y presión de malezas.

Para la preparación del suelo se hicieron tres pases de rastra y una aplicación de herbicidas tres días después de la siembra. Ésta se realizó el 14 y 10 de mayo en el año 2010 y 2011, respectivamente, cosechándose al finalizar setiembre.

VARIABLES DE MEDICIÓN

Elementos en el Suelo

Respecto al análisis de suelo, se realizó análisis químico completo más silicio en forma general previo a la siembra, posterior a la cosecha se hicieron los mismos análisis en todas las unidades experimentales, estos análisis fueron hechos en el Laboratorio químico Agro Análisis de Costa Rica S.A.

Se utilizó el método Olsen modificado para el fósforo y elementos menores y KCl 1N para calcio, magnesio y acidez. Estos análisis se hicieron con el objetivo de conocer posibles cambios por efecto de los tratamientos en las propiedades químicas que influyen en la fertilidad de los suelos, como: acidez, saturación de bases, contenido de los elementos nutritivos (P, Fe, Mn, Zn), entre otros. La saturación de bases hace referencia al contenido de Ca, Mg, K y Na respecto a la capacidad de intercambio catiónico (CIC). En este estudio se utilizó la capacidad de intercambio catiónico efectiva (CICE) que es la sumatoria de Ca, Mg, K y Al, analizados en forma independientes, el Na (sodio) no fue considerado por el bajo contenido en la zona donde se ubica la finca.

Elementos Foliares

La toma de las muestras se realizó a los 89 y 90 DDS en los años 2010 y 2011 respectivamente en todas las unidades experimentales, la hoja muestreada fue la tercera más joven abierta.

Los análisis foliares se realizaron en el Laboratorio químico Agro Análisis de Costa Rica, tomando en consideración los elementos N, Ca, K, Mg, S, P, Si, Cu, Zn, Fe, Mn y B.

Enfermedades y plagas insectiles

Para el área de muestreo de la incidencia de enfermedades y plagas insectiles se utilizó una cuadrícula de 0,25 m² (50 cm x 50cm), durante la fase crítica del cultivo (fase reproductiva y maduración del grano) colocando al azar en cada unidad experimental.

En el primer año (2010), las evaluaciones se realizaron cada dos semanas a partir de los 55 hasta los 95 DDS, es decir a los 55, 67, 81 y 95 DDS, no se realizó la de los 115 DDS debido que el arroz estaba en maduración avanzada. En cambio, en el 2011 sólo se hicieron dos evaluaciones, a los 68 y a los 90, dada la baja incidencia de las plagas presentes y la experiencia del primer año. Las evaluaciones se realizaron contando el total de plantas y posteriormente se contaban las plantas que presentaban síntomas, además la cantidad de larvas y pupas presentes en la cuadrícula.

$$\text{Porcentaje de Incidencia} = \left[\frac{\# \text{ plantas enfermas}}{\text{Total de plantas}} \right] * 100$$

Porcentaje de granos manchados

Durante la cosecha realizada para la medición del rendimiento, se tomaron muestras que fueron enviadas al laboratorio de CONARROZ, donde se analizó la calidad molinera para reforzar el objetivo sobre la incidencia de enfermedades y plagas insectiles en los tratamientos.

A través de los resultados de calidad molinera, se determinó el porcentaje de granos manchados en cada unidad experimental.

Rendimiento

La evaluación del rendimiento se realizó cosechando las plantas en un área de 3,2 m² (seis hileras de ancho con cuatro metros de largo) repetida dos veces en cada área útil, es decir que se cosecharon 6,4 m² por repetición. Todas las plantas con sus respectivas espigas cosechadas en esta área, dentro cada unidad experimental, fueron introducidas en una trilladora accionada por la toma de fuerzas de un tractor, proceso en el cual se obtiene el grano relativamente limpio, es decir igual o parecido a una cosechadora mecánica. Luego se pesó en balanzas electrónica, obteniéndose el peso de arroz en granza con un porcentaje de humedad alrededor de 21%, del cual se tomó una muestras entre 4 y 5 kg para ser enviada al Laboratorio de la Corporación Nacional Arrocera (CONARROZ).

Análisis de componentes del rendimiento

Se realizó un muestreo a partir de una cuadrícula de 0,25 m² en dos puntos al azar por unidad experimental (0,50 m²), para evaluar los componentes de rendimiento. Se separaron categorías de acuerdo con la longitud de la panícula y se realizó el conteo de granos llenos, vanos y el peso de 1000 granos.

Para los componentes de rendimiento en el primer año se consideraron todas las plantas del muestreo antes mencionado, evaluando: porcentaje de efectividad de tallos, número de granos llenos, número de granos vanos, peso de 1000 granos y longitud de panícula. Respecto a las panículas se le calculó la longitud y se ordenaron en categorías por su tamaño y se estableció el aporte de cada una de ellas al rendimiento en términos porcentuales. Para analizar el porcentaje de efectividad de tallos, se contabilizaron las plantas con espiga y sin espiga del área muestreada. La longitud de panícula se midió en centímetros en cada una de las plantas presentes en el muestreo de 0,50m², tomando desde el nudo ciliar hasta el ápice de la misma y se clasificó en las categorías: **categoría 1:** menor a 20cm, **categoría 2:** entre 20 a 25 cm y **categoría 3:** mayores a 25cm. De las panículas analizadas anteriormente, se contó manualmente de cinco panículas en cada categoría, la cantidad de granos llenos, vanos y totales por panícula. Respecto al peso de 1000 granos se contaron manualmente de cada categoría y se pesaron en una balanza analítica.

En el año 2011 se hizo el mismo procedimiento, con la diferencia que en lugar de considerar la totalidad de plantas, se tomaron 50 panículas al azar para hacer la clasificación de categorías y 20 panículas al azar para hacer el conteo de granos vanos, llenos y totales. En ambos años de cosecha, como grano vano se contabilizaban aquellas semillas que estaban vacías totalmente sin endospermo visible y palpable y sólo se apreciaba la cáscara. Al tener una sumatoria de granos llenos y vanos por categoría fue posible expresar el valor en porcentaje respecto a un total.

Calidad molinera

Del arroz cosechado en el área útil, se envió muestras al laboratorio de CONARROZ, para determinar las diferentes variables establecidas por la Corporación, tales como impureza, humedad, rendimiento de pilada, rendimiento de grano entero, rendimiento de grano quebrado grueso, rendimiento de puntilla, rendimiento de semolina, porcentaje de grano yesoso, porcentaje de grano rojo, porcentaje de grano dañado, porcentaje de grano manchado, semillas objetables, granos dañados por calor y grados de calidad.

Tratamientos y diseño experimental

El estudio se estableció considerando cinco tratamientos, a saber:

1. Cultivo de arroz sin silicio y con tratamiento para el control de enfermedades y plagas (tratamiento testigo = TT). Es el manejo aplicado en los lotes comerciales del ITCR.
2. Cultivo de arroz con silicio aplicado al suelo y con tratamiento para el control de enfermedades y plagas (Tratamiento silicio al suelo con plaguicidas o alternativas químicas = SSP)
3. Cultivo de arroz con silicio aplicado al suelo y sin tratamiento para el control de enfermedades y plagas (tratamiento silicio al suelo = SS)
4. Cultivo de arroz con silicio aplicado al follaje y con tratamiento para el control de enfermedades y plagas (tratamiento silicio foliar con plaguicidas o alternativas químicas = SFP)
5. Cultivo de arroz con silicio aplicado al follaje y sin tratamiento para el control de enfermedades y plagas (tratamiento silicio foliar = SF)

Cada tratamiento contó con cuatro repeticiones con un área de 300 m² cada una, para un total de 1.200 m² por tratamiento, por lo tanto el experimento contó con 6.000 m² más 286,5 m² de bordes, para un total de 6.285,5 m². Las unidades experimentales se separaron por 0,5 m y dentro de cada una de estas se escogió puntos de muestreo, principalmente en el centro de la unidad experimental, donde se realizaron las evaluaciones. Cada bloque fue separado por 0,5 m; el hecho de considerar una área relativamente grande y con espacio entre bloques y unidades experimentales fue con el propósito de manejar mejor las maquinarias y evitar efecto de traslape o deriva con las aplicaciones hacia el área útil.

El ensayo se realizó en un diseño en bloques al azar con cuatro repeticiones con arreglo factorial aumentado 2 x 2 + 1, donde los factores son silicio, sea este aplicado al suelo o foliar, y aplicación o no del control de plagas y enfermedades en cada uno de los tratamientos silicio (suelo y foliar) más un adicional que fungió como testigo, es decir, sin aplicación de silicio pero con aplicación de control de plagas y enfermedades.

Para el análisis de los datos de cada variable se utilizó el programa InfoStat versión 2008. Las variables que se contemplaron para la evaluación de los tratamientos fueron sometidos a un análisis de varianza. Posteriormente a este análisis, cuando existieron diferencias significativas, se realizó la prueba de medias de Tukey. Además, a la variable incidencia de plagas y enfermedades se le realizó pruebas no paramétricas utilizando Friedman, igualmente se analizó descriptivamente en forma numérica y gráfica utilizando Excel.

Para el análisis estadístico de los datos se utilizó el siguiente modelo:

$$Y_{ijk} = \mu + A_i + P_j + B_k + (A P)_{ij} + e_{ijkl}$$

Dónde:

Y_{ij} = Variable dependiente (observación)

μ = Media general

A_i = Efecto de la i-ésima aplicación de silicio (suelo y foliar) (2 factores)

P_j = Efecto de la j-ésima aplicación o no del control de plagas y enfermedades (2 factores)

B_k = Efecto del k-ésimo bloque

$(A \times P)_{ij}$ = Efecto de la interacción entre los factores A_i y P_j

e_{ijkl} = Error Experimental

4. Resultados y discusión

Efecto de la aplicación de silicio en la fertilidad de los suelos

Al realizar los análisis estadísticos de los resultados de análisis de suelos, se encontró que únicamente hubo diferencias significativas ($p \leq 0,05$) entre los tratamientos en el elemento zinc y en las interacciones entre la aplicación de silicio y de plaguicidas en los elementos zinc y cobre en siembra de 2011. En la Figura 2, es evidente que al usar silicio al suelo debe aplicarse plaguicidas para aumentar el contenido de zinc, por el contrario el uso de silicio foliar (SF) es ligeramente superior que cuando se aplican silicio foliar y plaguicidas conjuntamente (SFP). Estos resultados contradicen lo expuesto por Quero y Cárdenas (2006), quienes indican que el uso de silicio al suelo optimiza la nutrición en elementos como fósforo, potasio y zinc, en este estudio para que el zinc se mejore es necesario el uso de plaguicida, al pensar que el uso de plaguicida no debería tener efecto en el suelo, se podría asegurar entonces que estos resultados no son efectos atribuibles a los tratamientos con silicio aplicado al suelo (SS) se les adicione o no plaguicidas. En la Figura 3, se presentan los resultados del cobre, los cuales son similares a los del zinc, donde los mejores contenidos de cobre en el suelo se obtiene con la aplicación de silicio al suelo más plaguicidas (SSP), pero si se aplica silicio foliar (SF) el uso de plaguicidas no mejora el contenido de cobre. El hecho que el SF mejore los contenidos de cobre y zinc en el suelo, podría deberse a que el SF se aplicó dos veces entre los 15 y 30 DDS cuando el producto puede llegar al suelo por menor intercepción por las hojas del cultivo y que al parecer este producto influye en mejorar estos elementos, mientras que el producto en polvo para ser aplicado al suelo no tenga esas propiedades. Los resultados estadísticos hecho a los análisis de suelos se pueden ver en el Anexo 2.

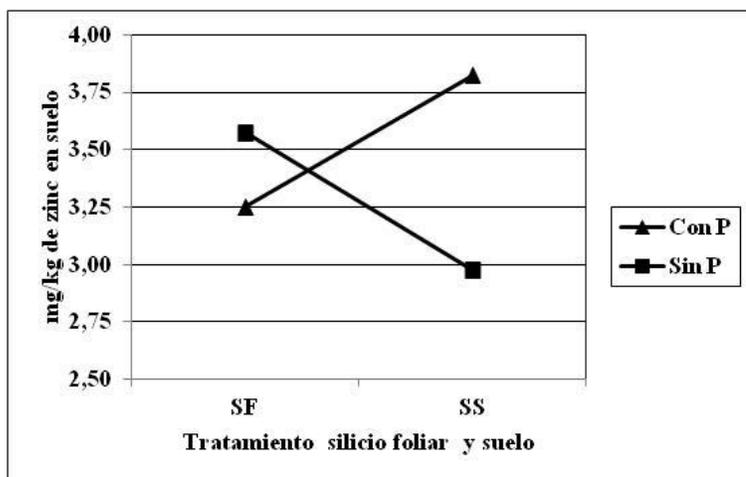


Figura 2. Interacción del contenido de zinc en el suelo en los tratamientos con silicio y la aplicación o no de plaguicidas, durante la siembra de 2011. ITCR, San Carlos, Costa Rica 2011.

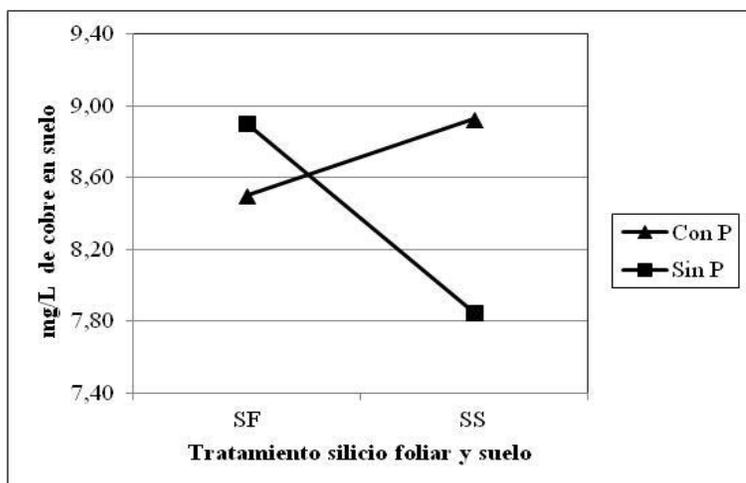


Figura 3. Interacción del contenido de cobre en el suelo en los tratamientos con silicio y la aplicación o no de plaguicidas, durante la siembra de 2011. ITCR, San Carlos, Costa Rica 2011.

En las Figuras 4, 5 y 6 se observa la comparación de los resultados obtenidos a partir del análisis de suelo inicial, que se realizó en el mes de abril previo a la siembra, con los realizados en octubre posterior a la cosecha. Los resultados obtenidos fueron similares, sin presentarse efecto del silicio en las variables de pH, acidez intercambiable, sumatoria de bases, fósforo, silicio, potasio, magnesio, calcio, manganeso e hierro; resultados contrarios a lo esperado y a lo propuesto por Quero y Cárdenas (2006), Fertilizantes de Centroamérica (2008), Quero (2008), Viana (2008), entre otros autores. Los resultados de estos análisis se presentan en el Anexo 3.

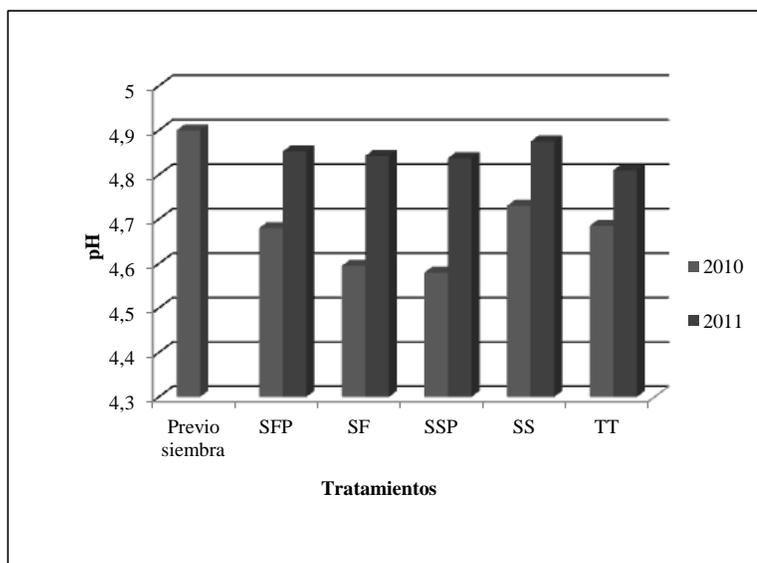


Figura 4. Valores de pH en suelo, previo a la siembra y posterior a la cosecha en el 2010 y 2011. ITCR, San Carlos, Costa Rica 2011.

En la Figura 4, el pH presenta un rango promedio de valores que se encuentra entre 4,72 y 4,58 para la siembra 2010 perteneciendo a los tratamientos SS y SSP respectivamente, mismos que prácticamente son similares. Para la siembra 2011 el rango promedio de pH es de 4,87 y 4,81 pertenecientes a los tratamientos SS, SF y al testigo (TT). Se observa que el pH es superior en 2011 que en 2010, este resultado podría sugerir que después de dos aplicaciones de silicio mejoró esta variable de suelo, pero al parecer no fue así debido a que el valor de pH inicial es similar a los de 2011. Al relacionar estos valores con el pH previo a la siembra (4,9), aunque este es ligeramente superior a los demás valores, son muy similares, resultados que sugieren que el silicio no tuvo efecto en el pH del suelo. El pH dentro el intervalo 4,5 a 5,0, en el cual se enmarcan los resultados de este estudio, categoriza al suelo muy fuertemente ácido Porta *et al.* (1994), estos valores se encuentran por debajo del rango de pH 5,5 a 6,5, mismo que es considerado el más adecuado para la solubilidad de la mayoría de los nutrientes, (Bertsch 1987).

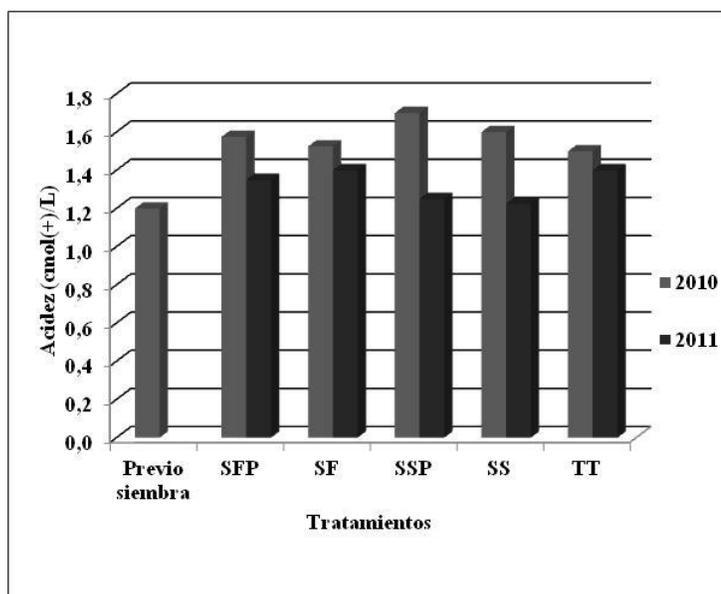


Figura 5. Valores de acidez en suelo, previo a la siembra y posterior a la cosecha en el 2010 y 2011. ITCR, San Carlos, Costa Rica 2011.

Los resultados obtenidos de acidez intercambiable (Figura 5) tiene valores similares dentro de un rango que se encuentra 1,20 a 1,70 cmol (+)/L correspondiente al muestreo previo a la siembra y al tratamiento SSP en la siembra 2010, respectivamente. Para la siembra 2011 el rango de valores promedio es de 1,22 a 1,40 perteneciente a los tratamientos SS y SF, TT, respectivamente. A pesar que en el 2011 los valores de acidez son menores que los obtenidos en el 2010, estos resultados permiten indicar que el silicio no mejoró la acidez del suelo, dado que el valor al inicio del estudio es muy similar a los valores de los tratamientos con silicio al suelo (SS y SSP) después de dos aplicaciones, en 2010 y 2011. Henríquez y Cabalceta (1999) indican que el nivel crítico de acidez intercambiable para los suelos de Costa Rica es de 0,5 cmol (+)/L, por lo que los valores obtenidos en la investigación son mayores a este nivel.

En el caso de la sumatoria de bases, el rango de suficiencia es de 5,0 a 25 (Bertsch 1987). Los resultados obtenidos en los análisis realizados se encuentran dentro de los valores 19,2 y 21,90 en el 2010 y de 20,39 a 21,33 en el 2011 (Figura 6), valores próximos al nivel máximo de este rango de suficiencia, lo que indica que este suelo tiene buen contenido de bases. A pesar que el valor obtenido previo a la siembra (19,11) es menor que los alcanzados en los análisis realizados después de las siembras en 2010 y 2011, estos son muy similares, no presentándose diferencias, de manera tal que el silicio no tuvo efecto en la suma de bases.

En la Figura 7 se observa como la saturación de aluminio fue significativamente menor en los tratamientos con silicio al suelo (SS y SSP) del año 2011 respecto a los resultados de 2010. A pesar de lo anterior, no existe una explicación clara porqué estos dos tratamientos presentaron valores altos en 2010 respecto al valor obtenido previo a las aplicaciones de silicio y al testigo. Podría decirse que el silicio tiene su efecto en el suelo

después de varias aplicaciones a través del tiempo, partiendo de los resultados positivos en acidez de suelos encontrado por Vindas (2011) después de dos años de aplicaciones de silicio cada mes en banano. Sin embargo, cualquier valor de saturación de aluminio de los obtenidos en este estudio se considera bueno.

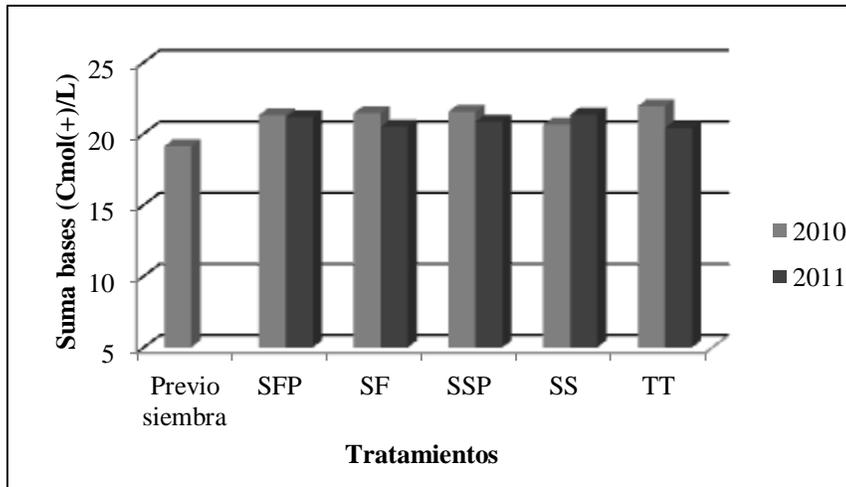


Figura 6. Valores de suma de bases en suelo, previo a la siembra y posterior a la cosecha en el 2010 y 2011. ITCR, San Carlos, Costa Rica 2011.

Los valores de pH, acidez intercambiable y sumatoria de bases son similares antes y después de la primera aplicación de silicio (2010), presentando ligeros cambios en la segunda aplicación (2011) respecto al aporte en 2010. Se esperaba cambios significativos después de dos aplicaciones de silicio, es decir pH más alto, acidez más baja y sumatoria de bases más alta, por lo que estos resultados contradicen lo expuesto por Quero y Cárdenas (2006), Quero (2008), Viana (2008), quienes indican que con la acción de factores climáticos y de suelos, actuando sobre los materiales arcillosos del suelo liberan ácido silícico formando silicatos de calcio, magnesio, potasio, zinc, hierro, incrementando fuertemente la capacidad de intercambio catiónico del suelo, contribuyendo esto a que el pH se torne básico, dando las condiciones de buena fertilidad de suelo, para que este sea altamente productivo. Por otro lado, Kornörfer *et al.* (2002) encontraron que a medida que aumentaron la dosis de Silicio en el suelo se aumentó en las plantas de arroz y promovió el rendimiento de granos, en este estudio el silicio aplicado en el suelo no presentó aumento en el suelo ni en las hojas (Anexos 2 y 4), quizás la dosis recomendada fue baja, pues según Quero (2008) el suelo debe tener entre 100 a 200 mg/kg para tener respuesta positiva y en este estudio no se alcanzaron estos contenidos. Quizás la interpretación de los resultados del análisis de silicio se dificulta debido a la variabilidad de los mismos (Anexos 3 y 5), pero esto no implica que no haya respuesta en el rendimiento de arroz, variable que no alcanzó los incrementos esperados.

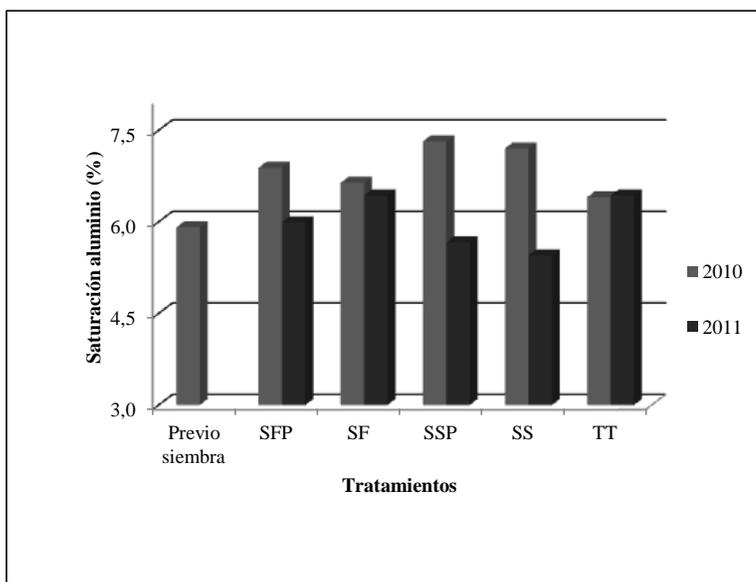


Figura 7. Valores de saturación de aluminio en suelo, previo a la siembra y posterior a la cosecha en el 2010 y 2011. ITCR, San Carlos, Costa Rica 2011.

Efecto de la aplicación de silicio en la concentración de nutrientes en las hojas.

Al realizar los análisis estadísticos se encontró que hubo diferencias significativas ($P \leq 0,05$) en el contenido de zinc en las hojas entre tratamientos y en la interacción silicio-plaguicidas en el 2011.

En la Figura 8, se observa que en 2010 el tratamiento silicio foliar (SF), aunque no presenta diferencia significativa ($P > 0,05$), es el más alto en cuanto a tenor de zinc en las hojas, en cambio en el año 2011 el mejor tratamiento, con diferencia significativa ($P \leq 0,05$), fue silicio al suelo más el uso de plaguicidas (SSP). En la Figura 9 se confirma que el mejor tratamiento en la siembra 2011, para el contenido de zinc en las hojas, es la aplicación de silicio al suelo más el uso plaguicidas (SSP), por el contrario, cuando se aplica silicio foliar (SF) sugiere que indistintamente se puede o no hacer uso de plaguicidas, aunque en ese caso económicamente debe ser mejor no hacer uso de ellos. La prueba de Tuckey (Anexo 4) indica que el tratamiento con silicio al suelo (SS) es superior al tratamiento silicio foliar, superando estos al testigo en contenido de zinc en las hojas.

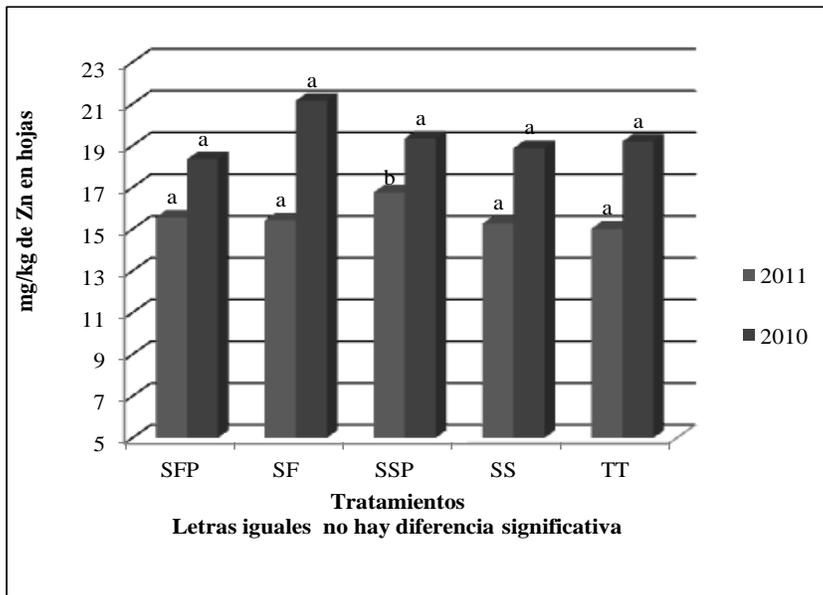


Figura 8. Contenido de zinc en las hojas en los tratamientos aplicados durante los ciclos 2010 y 2011 del cultivo. ITCR, San Carlos, Costa Rica 2011.

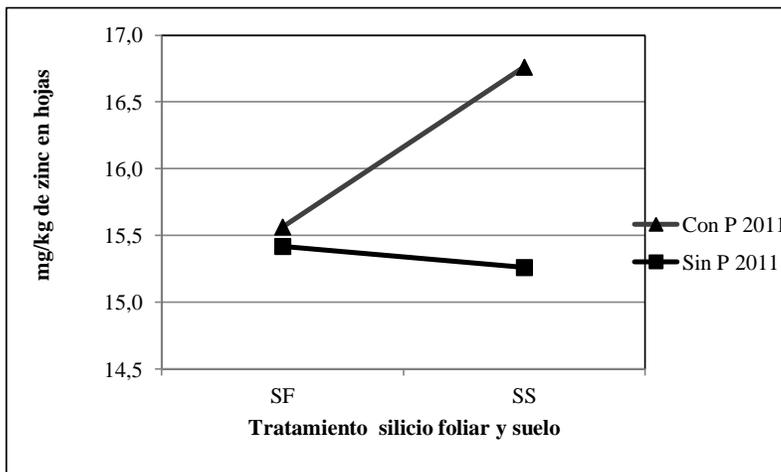


Figura 9. Interacción del contenido de zinc en las hojas en los tratamientos con silicio y la aplicación o no de plaguicidas, durante la siembra de 2011. ITCR, San Carlos, Costa Rica 2011.

En los resultados de la siembra de 2011, la interacción silicio-plaguicida fue significativa ($p \leq 0,05$) en el contenido de magnesio foliar del arroz. La Figura 10 muestra que los mejores tratamientos son silicio al suelo más el uso de plaguicidas (SSP) y el silicio foliar sin plaguicidas (SF). Es decir el uso de silicio al suelo sin plaguicidas (SS) presenta contenido bajo de magnesio en las hojas, indicando que el uso de plaguicidas fue importante cuando

se hizo la aplicación de silicio al suelo (SS) constituyéndose en el tratamiento SSP. Por el contrario, el contenido de magnesio en las hojas fue más alto cuando se hizo uso de silicio foliar (SF) sin la aplicación de plaguicidas.

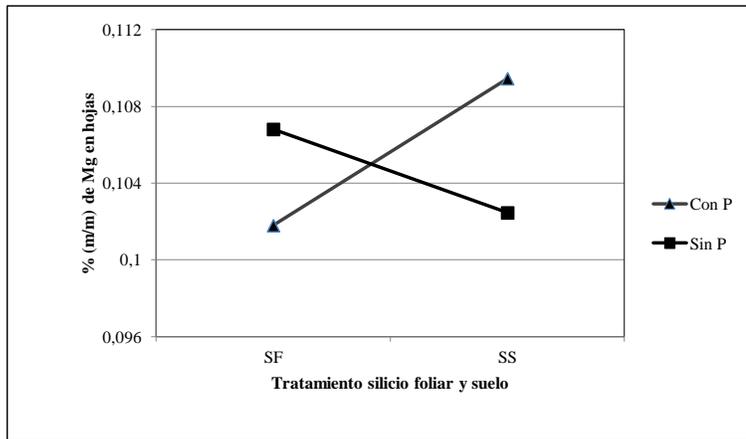


Figura 10. Interacción del contenido de magnesio en las hojas en los tratamientos con silicio y la aplicación o no de plaguicidas, durante la siembra de 2011. ITCR, San Carlos, Costa Rica 2011.

En la Figura 11 se muestra que el contenido de manganeso a nivel de hojas en la siembra de 2010, este elemento fue mayor en el tratamiento silicio foliar (SF) respecto a los demás tratamientos, mostrando diferencias significativas ($P \leq 0,05$). Todos los tratamientos tienen valores de Mn dentro del rango considerado adecuado para el arroz, es decir con poca probabilidad de ocasionar toxicidad para este cultivo por no superar 1000 mg/kg (Rodríguez 1999).

Los elementos que mostraron diferencias significativas, tales como el Zn tanto en suelo como en hojas, el Cu en suelo, el Mg y el Mn en hojas, la tendencia es que los mejores tratamientos han sido el SSP y el SF, lo que sugiere que la aplicación de silicio solo al suelo (SS) no tuvo efecto positivo, puesto que fue necesario el aporte de plaguicidas (SSP). En cambio, el SF sí tuvo efecto positivo sin necesidad del uso de plaguicidas. Esto indica que el uso de silicio foliar, al parecer mejora la absorción de estos elementos desde el suelo, por el contrario al aplicar el silicio al suelo es necesario el uso de plaguicidas para mejorar el contenido de esos elementos.

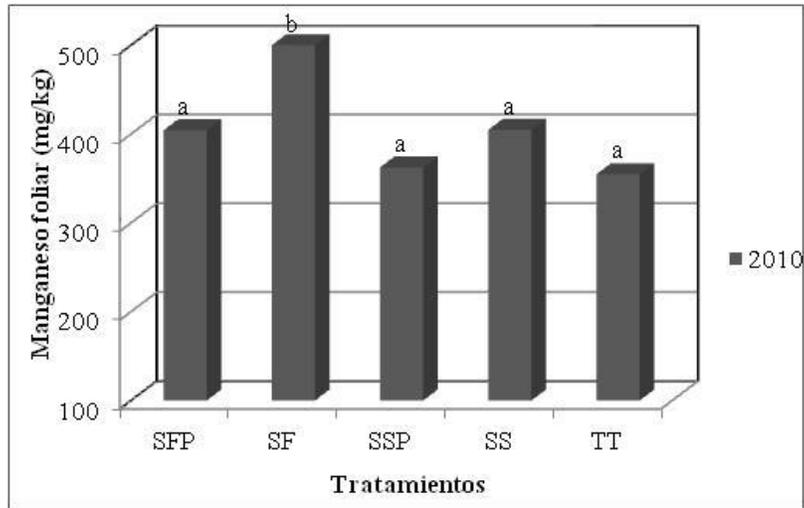


Figura 11. Contenido de manganeso en las hojas en los tratamientos aplicados durante la siembra de 2010. ITCR, San Carlos, Costa Rica 2011.

El silicio, un elemento que no mostró diferencia significativa ($P > 0,05$) en los tratamientos tanto en 2010 como en 2011, se encontró que fue más alto a nivel de hojas en los tratamientos con silicio SS, SF, SSP y SFP respecto al testigo TT (Figura 12). No obstante, los resultados en las unidades experimentales fueron muy variables (Anexos 3 y 5) para asegurar que la aplicación de silicio mejoró o no su contenido en el suelo y en las hojas. Además se presentó, a través de la prueba de t, que los valores de silicio en las hojas en el primer año fueron significativamente mayores que en la segunda siembra.

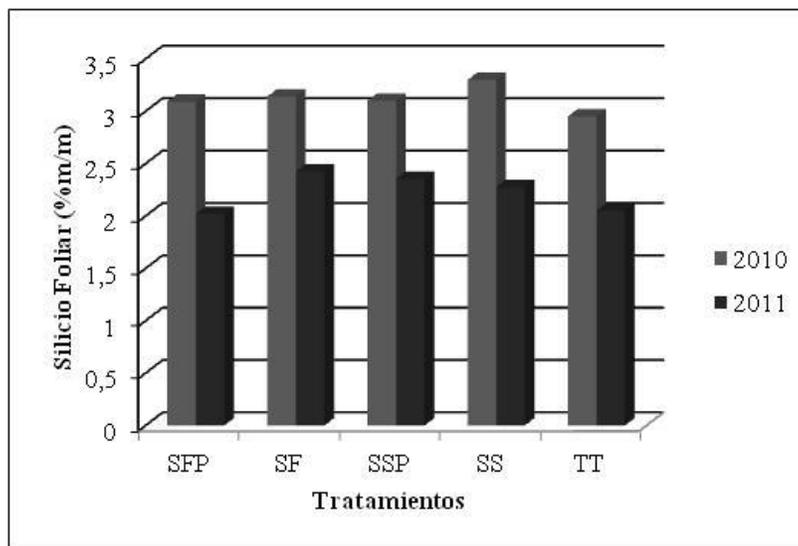


Figura 12. Contenido de silicio en las hojas en los tratamientos aplicados durante los ciclos del cultivo de arroz. ITCR, San Carlos, Costa Rica 2011.

Incidencia de enfermedades y plagas insectiles en el cultivo.

Según Datnoff *et al.* (1990 y 1991), Osuna-Canizales *et al.* (1991), Philo *et al.* (2000), Hernández (2002), Claudhary *et al.* (2003) y Viana (2008^a), la aplicación del silicio tiende a reducir la incidencia y severidad de enfermedades e insectos en el cultivo del arroz. Jones y Handreck (1967) y Wild (1992) asocian este comportamiento a que el silicio es absorbido por las plantas como un ácido silícico $\text{Si}(\text{OH})_4$, lo que hace suponer que el mecanismo de resistencia de la planta esté asociado a la cantidad de silicio en el tejido celular, esta resistencia aumenta conforme aumenta el contenido de silicio en la planta, sin embargo, contrario a lo anterior en el ensayo establecido no se encontró efectos positivos a la aplicación de silicio tanto al suelo como a las hojas. En los Cuadros 2 y 3, se observa que en el ciclo de 2010 la incidencia de enfermedades e insectos fue mayor que en el ciclo 2011, a pesar de eso, esta incidencia no tuvo efecto en el rendimiento en el 2010, pero sí en el 2011, como se verá en el punto de rendimiento de arroz. Además es apreciable que esta incidencia fue muy variable entre unidades experimentales, la cual podría incidir si hay o no efecto en los tratamientos aplicados. Sin embargo, se debe considerar que son variables producto de agentes biológicos que, por lo general, arrojan alta variabilidad. Del mismo modo que en los Cuadros antes mencionados el promedio de los valores muestra que ni los tratamientos con silicio ni la adición de fungicidas e insecticidas a estos, tuvieron claridad en el efecto contra las enfermedades y plagas; en una fecha el tratamiento testigo (sin silicio pero con productos químicos) fue el menos afectado, pero en otra sucedió lo contrario.

Cuadro 2. Porcentaje de incidencia de enfermedades en los ciclos del cultivo 2010 y 2011. ITCR, San Calos, Costa Rica. Diciembre 2011.

	Muestreo 1	Muestreo 2	Muestreo 3		Muestreo 4	
Tratamientos	2010	2010	2010	2011	2010	2011
TT						
Desv. Estándar	5,5882	2,7638	1,2904	1,3781	5,1483	1,8051
Promedio	7,02	5,39	4,74	1,77	9,65	2,85
SSP						
Desv. Estándar	2,9055	7,8478	8,1503	0,7673	6,4792	1,8791
Promedio	7,56	9,16	11,01	0,92	6,65	2,75
SS						
Desv. Estándar	4,3432	2,8150	6,8931	0,9927	2,3053	3,3396
Promedio	7,98	6,79	10,52	1,40	7,58	4,04
SFP						
Desv. Estándar	2,3817	2,4771	3,6204	0,6367	4,9546	2,0845
Promedio	5,71	6,24	7,75	1,19	7,20	2,56
SF						
Desv. Estándar	1,9670	1,6168	3,5745	0,1722	4,2464	1,0015
Promedio	5,45	5,30	9,15	0,75	9,32	2,12

Cuadro 3. Porcentaje de incidencia de larvas y pupas en los ciclos del cultivo 2010 y 2011. ITCR, San Calos, Costa Rica. Diciembre 2011.

Tratamientos	Muestreo 1	Muestreo 2	Muestreo 3		Muestreo 4	
	2010	2010	2010	2011	2010	2011
TT						
Desv. Estándar	0,0000	2,7538	5,8523	0,3904	0,5000	0,0000
Promedio	0,00	3,25	3,25	0,34	0,25	0,00
SSP						
Desv. Estándar	0,0000	6,0000	7,8475	0,3311	1,0000	0,0000
Promedio	0,00	3,00	4,25	0,17	0,50	0,00
SS						
Desv. Estándar	0,0000	3,8297	7,6757	0,3597	0,9574	0,0000
Promedio	0,00	8,00	8,25	0,18	0,75	0,00
SFP						
Desv. Estándar	0,0000	2,9439	5,5000	0,0000	0,5000	0,0000
Promedio	0,00	3,00	2,75	0,00	0,25	0,00
SF						
Desv. Estándar	0,0000	5,7373	7,6757	0,3973	0,9574	0,0000
Promedio	0,00	6,25	12,25	0,34	1,25	0,00

Tal como se observa en el Anexo 6, los análisis estadísticos realizados a la población de plantas muestreadas para incidencia de enfermedad no muestran diferencias estadísticas significativas ($P > 0,05$), lo que sugiere que hubo uniformidad en la población de plantas muestreadas, por lo que la variabilidad en los resultados de incidencia de enfermedades e insectos no estuvo inducida por esta variable.

De acuerdo a la variedad utilizada CR 4477, ésta es susceptible a *Rhizoctonia* sp., *Pseudomonas* sp. y *Sarocladium* sp., mostrando una tolerancia alta a *Pyricularia* sp y cierta tolerancia a *Helminthosporium* sp. (ONS 2003), lo que concuerda con observaciones realizadas, donde en muestras tomadas en los diferentes tratamientos y observadas en el microscopio se determinó la presencia de *Rhizoctonia* y en menor grado *Helminthosporium*, estos datos no fueron separados para ser analizados en forma independientes.

Clarkson y Cook citados por Smith *et al.* (1992) mencionan que en el cultivo de trigo durante un periodo de 20 años de prospecciones, obtuvieron que el 34% de los campos se mostraron afectados por *Rhizoctonia*, sin embargo, la incidencia dentro de cada parcela en general era baja, con una infección media cada año que varió del 3 al 31% y una incidencia media global del 10%. Para el cultivo de arroz no se reporta qué nivel de incidencia podría considerarse crítico o bajo, sin embargo de acuerdo a los niveles de incidencia totales obtenidos en este estudio (Cuadro 2), y tomando como referencia la información presentada por Smith y colaboradores, podría considerarse

que los niveles reportados en este experimento son bajos, siendo el valor más alto 22,12% con un promedio de 11,01% de incidencia de enfermedades en el tratamiento silicio al suelo con productos químicos (SSP), es probable que la presión de inóculos inicial no haya sido alta en el área experimental. De la misma manera, la mayor cantidad de larvas y pupas fue de 22% con un promedio de 12,25% en el tratamiento silicio foliar sin el uso de productos para enfermedades e insectos (SF) (Cuadro 3).

Componentes de rendimientos

Tallos totales y efectivos

La determinación del número de tallos efectivos y tallos totales se realizó durante la cosecha de 2010 (124 DDS), los tratamientos no presentaron diferencias estadísticas significativas ($P > 0,05$), no mostrando un efecto positivo con la aplicación de silicio ni de plaguicidas. En el tratamiento silicio al suelo (SS), se contabilizaron 480 tallos promedio por m^2 , siendo este el tratamiento con mayor cantidad de tallos por m^2 , mientras que el tratamiento con menores tallos en promedio resultó ser el SSP con 416 tallos m^2 ; mientras que el testigo presentó un promedio de 440 tallos por m^2 , sin presentar diferencias. De igual manera ocurrió para los tallos efectivos en los diferentes tratamientos mencionados.

Cantidad y longitud de panículas por categoría

Respecto a las panículas se hizo conteo y se clasificaron por categorías de longitud. De acuerdo al conteo de panículas en cada clasificación, no se obtuvo diferencias estadísticas significativas ($P > 0,05$), entre los tratamientos, excepto en la categoría 1 durante la cosecha 2011, en la que se encontró interacción entre plaguicida y silicio, como se muestra en la Figura 13, donde la mayor cantidad de panícula en la categoría 1 (menos de 20 cm) fue el tratamiento silicio foliar sin plaguicidas (SF), cuando a este tratamiento se le aplica plaguicidas esta categoría de panícula baja en forma importante (indica que tiene menor cantidad de panículas con longitud menor de 20 cm, es decir que es mejor por tener panículas mayor de 20 cm). Por el contrario en las categorías 2 y 3, que son las de mayor longitud, no hubo diferencias significativas ($P > 0,05$) entre tratamientos. Esta clasificación es importante, puesto que mayor cantidad de panículas de categoría 1, es un indicativo que las panículas de ese tratamiento son más cortas (menor probabilidad de tener más granos).

Porcentaje de granos llenos y vanos

En esta variable al realizar el análisis estadístico no se mostraron diferencias estadísticas significativas ($P > 0,05$) entre los tratamientos en las dos cosechas 2010 y 2011. En general, el porcentaje de granos llenos y vanos es similar entre los tratamientos (Anexo 7).

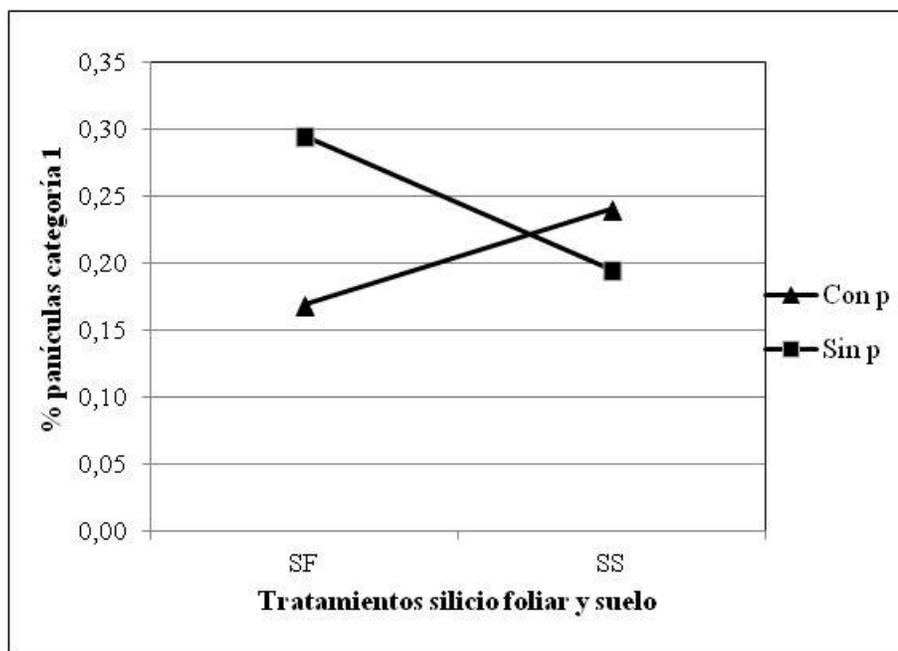


Figura 13. Interacción del porcentaje de panículas categoría 1 en los tratamientos con silicio y la aplicación o no de plaguicidas, durante la siembra de 2011. ITCR, San Carlos, Costa Rica 2011.

Peso de 1000 granos de arroz en granza

Respecto al peso de 1000 granos de cada tratamiento, no presentaron diferencias significativas ($P > 0,05$) en la cosecha 2010, pero sí entre la interacción Silicio-Plaguicida ($P \leq 0,05$), siendo el mejor tratamiento la aplicación de silicio foliar sin plaguicida (SF) y el más bajo peso lo obtuvo el silicio al suelo sin plaguicida (SS) (Figura 14). Por el contrario, en la cosecha 2011 hubo diferencias significativas ($P \leq 0,05$) cuando se aplicó plaguicidas respecto a aquellos tratamientos donde no se hizo aplicación, como se aprecia en la Figura 15 y en el Anexo 8. Es claro que los tratamientos SFP, SSP y TT (con plaguicidas) superaron a los tratamientos SF y SS (sin plaguicidas) en ambas cosechas. En forma independiente, el tratamiento significativamente con menor peso de 1000 granos fue silicio foliar (SF) en el 2011, mientras que en el 2010 el tratamiento con menor peso fue silicio al suelo (SS).

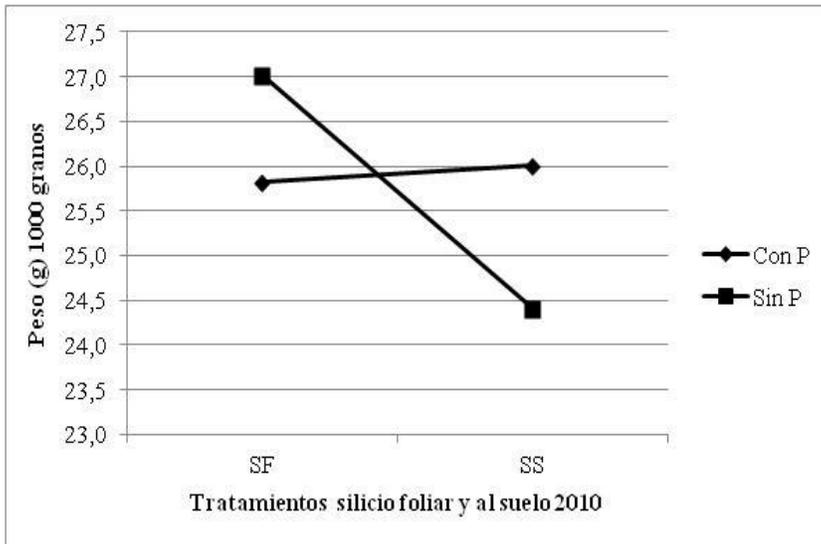


Figura 14. Interacción del peso promedio de 1000 granos de arroz en granza en la cosecha de 2010. ITCR, San Carlos, Costa Rica 2011

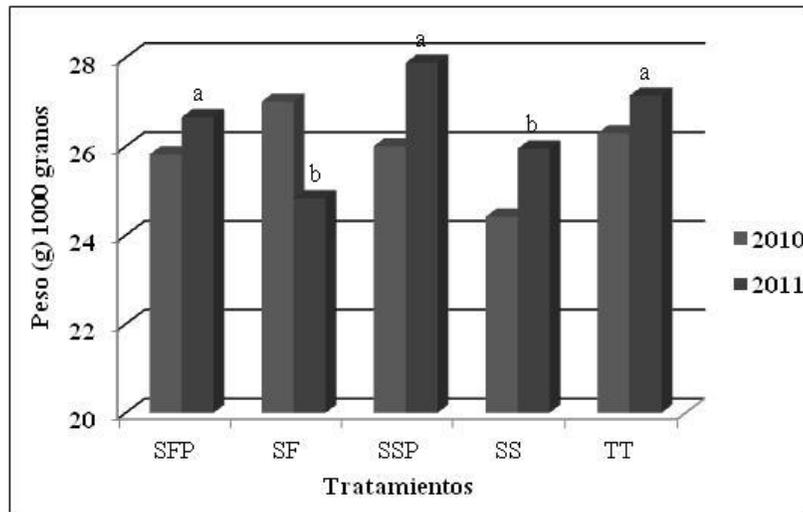


Figura 15. Peso promedio de 1000 granos de arroz en granza en las dos cosechas 2010 y 2011. ITCR, San Carlos, Costa Rica 2011.

Rendimiento arroz en granza

Los datos de rendimiento se presentan en peso húmedo y con impurezas, igual a como los reporta ONS (2003), con la diferencia que en este estudio la recolección se hizo manual, lo que puede manifestarse en un rendimiento mayor al obtenido a nivel nacional (5 a 6,5 t/ha).

El rendimiento de las dos cosechas se muestra en Figura 16, presentándose diferencias significativas ($P \leq 0,05$) en los tratamientos con plaguicidas (SFP, SSP, TT) frente a aquellos sin plaguicidas (SF, SS) en la cosecha de 2011. En ninguna de las cosechas los tratamientos con sólo silicio (SS y SF) tuvieron efecto significativo, entre ellos o frente al testigo (TT), como se muestra en la Figura 22 y el Anexo 9. El tratamiento silicio foliar con plaguicida (SFP) presentó el mayor rendimiento, seguido por el testigo (TT), el tratamiento con menor rendimiento fue silicio foliar (SF) y silicio al suelo (SS), por lo que se considera que la aplicación de silicio, tanto al suelo como foliar no influyó en el aumento del rendimiento del cultivo de arroz, contrario a lo indicado por Deren *et al.* (1994) y Savant *et al.* (1997) citados por Datnoff y Rodríguez (2005), quienes mencionan que el efecto del Silicio al reducir enfermedades provoca un aumento en el rendimiento, ya sea por peso del grano o número de granos por panícula sin importar las mejoras genéticas de los cultivares, en este caso fue por peso del grano. Varios autores, entre ellos (Quero 2008, Viana 2008 y Orejuela 2010) también consideran que el silicio mejora desde el ámbito suelo-planta, es decir fertilidad del suelo y resistencia mecánica contra enfermedades e insectos, por lo que genera un aumento en el rendimiento de cultivos, no encontrándose en este estudio mejora significativa por la aplicación de silicio en estas relaciones fertilidad de suelo, resistencia a enfermedades y rendimiento de granos de arroz.

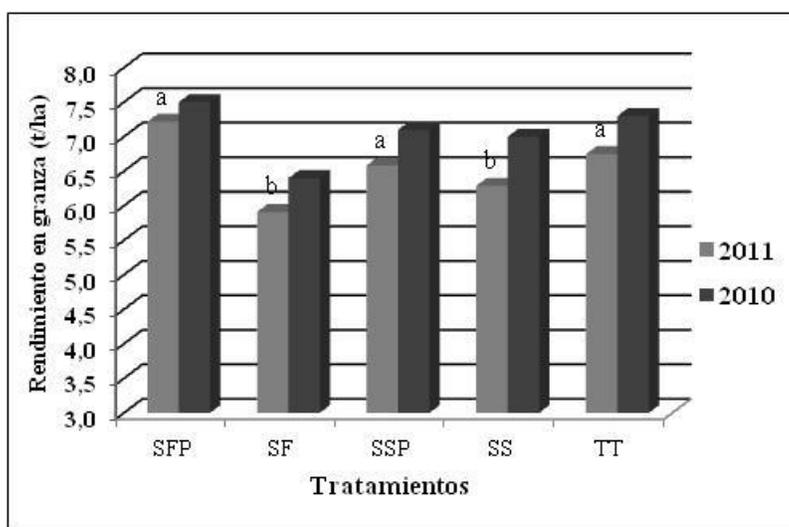


Figura 16. Rendimiento de arroz en granza en los dos ciclos del cultivo 2010 y 2011. ITCR, San Carlos, Costa Rica 2011.

Calidad de granos en granza

Según los resultados de calidad molinera, el Cuadro 4 muestra que el arroz en la cosecha de 2011 fue recolectado con una humedad mayor que en el 2010, pero siempre muy similar entre tratamientos en cada cosecha, esto afecta el peso inicial para obtener el rendimiento en granza de la cosecha. En ese mismo cuadro, se observa que el rendimiento de pilada es mayor en la cosecha de 2011 respecto a la cosecha de 2010, con la particularidad que

esos rendimientos son similares entre los tratamientos en cada cosecha, por lo que el cambio pudo deberse a efecto climático o de manejo de cosecha y no por efecto de tratamientos.

Cuadro 4. Resultados de análisis de calidad de arroz de acuerdo a los Métodos de Análisis de Calidad de Arroz (MACA) del Laboratorio de Control de Calidad de CONARROZ basado en el Reglamento Técnico de Arroz en Granza “RTCR 406-2007”. ITCR, San Carlos, Costa Rica. Diciembre 2011.

Variable	2010					2011				
	Tratamientos									
	TT	SS	SSP	SF	SFP	TT	SS	SSP	SF	SFP
Humedad inicial (%)	22.1	21.7	21.6	21.6	21.3	24.1	23.1	23.0	24.1	23.7
Humedad de análisis (%)	12.7	12.6	12.8	12.9	12.6	12.4	12.7	12.4	12.6	12.5
Impureza de análisis (%)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Rendimiento de pilada (%)	64.4	64.0	66.6	65.7	63.8	69.5	67.9	69.9	67.4	69.0
Rendimiento de entero (%)	48.2	48.7	51.3	49.8	49.7	54.6	52.4	54.9	48.8	54.3
Rendimiento de quebrado grueso (%)	12.6	11.8	11.9	12.2	10.5	10.1	10.4	9.9	12.8	10.0
Rendimiento de puntilla (%)	3.6	3.6	3.5	3.7	3.5	4.8	5.0	5.0	5.8	4.7
Rendimiento de semolina (%)	13.4	13.6	13.1	13.8	14.2	10.9	12.2	10.9	12.9	11.5
Grano Yesoso (%)	5.1	4.5	5.6	4.4	4.2	3.9	4.5	3.3	4.5	4.8
Grano rojo (%)	0.03	0.0	0.0	0.02	0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0
Grano dañado (%)	2.8	2.7	2.3	2.2	2.8	4.7	2.0	3.2	1.8	7.7
Grano manchado (%)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Semillas objetables (Nº/500g)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Granos dañados por calor (Nº/500g)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Grado de calidad	4.2	3.7	4	3.5	3.7	Sm	4	4	4	Sm
Grado verde (%)	-	-	-	-	-	5	5	1	5	8

De acuerdo a estudio de caracterización del arroz en granza, se establece el grado de calidad 2 (Cuadro 5) como base comercial. A partir de esta base, se establece bonificación en precio comercial para el Grano Entero (grado de calidad 1) por cada saco de arroz seco y limpio de 73, 6 kg y descuentos o castigos para ese mismo peso para los grados de calidad 3 y 4, en la misma proporción que la bonificación aplicada para el grado de calidad 1. El arroz con calidad por debajo del grado 4, se comercializa como “según muestra” (sm) (Cuadros 4, 5 y 6), es decir que la relación compra/venta o negociación entre el industrial/productor se define entre las partes, según Jiménez².

²Jiménez, D. 2011. Comunicación personal. CONARROZ. San José.

Cuadro 5. Factores y grados de calidad para el arroz en granza tipo largo, según CONARROZ 2008. ITCR, San Carlos, Costa Rica. Diciembre 2011.

Grado de calidad	Semillas objetables y granos dañados por calor (Nº/500g)	Porcentaje máximos de granos			
		Manchados	Yesosos	Rojos	Dañados
1	2	0,50	1,00	0,50	1,00
2	10	1,50	2,50	1,50	2,00
3	20	2,50	4,00	3,00	3,00
4	35	4,00	7,00	4,50	4,00

Según muestra (Sm): Se clasifica como “según muestra” al lote que no reúna los requisitos de alguno de los grados 1, 2, 3 y 4, de manera que la negociación será definida entre las partes.

En el Cuadro 6 se observa que el arroz en ningún tratamiento llega al grado de calidad 2 (Grado base), todos están entre los grados 3 y 4. En la cosecha de 2011, tanto el tratamiento testigo (TT) como el tratamiento silicio foliar más plaguicida (SFP) presentan la clasificación más baja “según muestra” (sm) por efecto de porcentaje de granos dañados que supera el nivel 4 (Cuadros 5 y 6). En ese sentido, este arroz, sin importar el tratamiento, se comercializaría con un descuento respecto a la calidad grado 2 que es la base comercial, es decir sería castigado por calidad. A pesar de lo anterior, el tratamiento con mejor pago sería el testigo (TT) en la cosecha 2010 que alcanzó una calidad 4,2, pero ese mismo tratamiento sería uno de los dos más mal pagado en la cosecha de 2011. En el análisis estadístico realizado a las variables de calidad molinera en la cosecha 2010, no hubo diferencias entre tratamientos. Basado en los grados de calidad del arroz presentado por CONARROZ en el Cuadro 5, además de estos resultados, los tratamientos no mostraron un efecto positivo en la calidad de la producción.

Cuadro 6. Evaluación de los grados de calidad, según los resultados de los análisis realizados por CONARROZ a las muestras de cada tratamiento. ITCR, San Carlos, Costa Rica. Diciembre 2011.

Variable	2010					2011				
	Tratamientos									
	TT	SS	SSP	SF	SFP	TT	SS	SSP	SF	SFP
GY (%)	5.1	4.5	5.6	4.4	4.2	3.9	4.5	3.3	4.5	4.8
GR (%)	0.03	0.0	0.0	0.02	0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0
GD (%)	2.8	2.7	2.3	2.2	2.8	4.7	2.0	3.2	1.8	7.7
GM (%)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Grado de calidad	4.2	3.7	4	3.5	3.7	Sm	4	4	4	Sm

Simbología: **GY:** Porcentaje de grano yesoso; **GR:** Porcentaje de grano rojo; **GD:** Porcentaje de grano dañado; **GM:** Porcentaje de grano manchado.

En el Cuadro 7 se consignan los componentes del rendimiento del arroz pilado, es evidente que el mayor porcentaje de grano entero (%GE) se alcanzó en la cosecha de 2011, siempre por encima del porcentaje establecido por el MEIC (Ministerio de Economía, Industria y Comercio), excepto para el tratamiento con silicio foliar (SF) que fue muy parecido a los porcentajes de grano entero obtenidos en los tratamientos de la cosecha de 2010. Este componente es el de mayor valor en la comercialización del arroz pilado por los industriales, aunque no es igualmente positivo para el productor si su producción fuera afectado por variables del arroz como grano rojo, grano manchado, entre otras (Cuadro 5). El rendimiento del grano quebrado grueso (Cuadro 7) no supera a la base establecida para obtener un grado de calidad 2, por lo que es distribuido a los rendimientos de puntilla y semolina, obteniendo un menor precio. Por otro lado, los rendimientos de puntilla y de semolina son muy similares entre tratamientos para una misma cosecha, siendo superiores a la base establecida por el MEIC, resultando una disminución en el precio por saco debido a que estos son pagados a una cuarta parte del precio del rendimiento entero (CONARROZ 2009). A través de estos resultados es posible deducir que el silicio no tuvo efecto positivo en los componentes del rendimiento del arroz pilado. Este deterioro de la calidad en el grano puede estar inducido por factores tales como acción de microorganismos, insectos, humedad o causas mecánicas, para efectos de esta investigación no se valoró cuál o cuáles de estos factores incidieron en la calidad de grano, además puede deber a la interacción de estos factores.

Cuadro 7. Resultados de análisis de calidad del arroz cosechado en cada tratamiento, según los Métodos de Análisis de Calidad de Arroz (MACA). Clasificación por componentes de rendimiento según bases establecidas por el Ministerio de Economía de Industria y Comercio (MEIC). ITCR, San Carlos, Costa Rica. Diciembre 2011.

Variable	Componentes de Rendimiento. Bases establecidas por el MEIC	2010					2011				
		Tratamientos									
		TT	SS	SSP	SF	SFP	TT	SS	SSP	SF	SFP
RE(%)	52,264	48.2	48.7	51.3	49.8	49.7	54.6	52.4	54.9	48.8	54.3
RQG (%)	13,066	12.6	11.8	11.9	12.2	10.5	10.1	10.4	9.9	12.8	10.0
RP(%)	2,5	3.6	3.6	3.5	3.7	3.5	4.8	5.0	5.0	5.8	4.7
RS(%)	9	13.4	13.6	13.1	13.8	14.2	10.9	12.2	10.9	12.9	11.5

Simbología: RE: Rendimiento de grano entero; RQG: Rendimiento de grano quebrado grueso; RP: Rendimiento de puntilla; RS: Rendimiento de semolina.

5. Conclusiones y recomendaciones

Con base en los resultados obtenidos y las condiciones en que se desarrolló la investigación se concluye que:

- La aplicación de silicio tanto al suelo como a nivel de las hojas no influyó en la fertilidad química de los suelos en estudio.
- La aplicación de silicio tanto al suelo como a nivel foliar no mostró mejoría en el tenor de silicio en las hojas del cultivo de arroz.
- 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. También en el zinc y magnesio en las hojas de arroz, pero este efecto no se tradujo en rendimiento de granos.
- La aplicación de silicio combinado con plaguicidas no presentó efectos positivos en la reducción de enfermedades y plagas, tampoco en el rendimiento y la calidad del grano de arroz.
- La aplicación de plaguicidas (control con alternativas químicas) mejoró el peso del grano de arroz y el rendimiento de arroz en granza.
- La utilización de silicio tanto al suelo como en las hojas del cultivo, no generó un efecto directo hacia la reducción de enfermedades y plagas en el cultivo.
- La aplicación de silicio tanto al suelo como a nivel de las hojas no mostró mejoría en el rendimiento ni en la calidad del grano de arroz.

Basado en lo anterior se recomienda:

- Utilizar diferentes fuentes de silicio, para así poder obtener mayor criterio de conocimiento de este insumo y de la calidad de las fuentes del mismo en nuestro medio.
- Hacer el estudio con aplicaciones más frecuentes y en un lapso de al menos dos años en suelos más degradados.
- Calibrar mejor la metodología de los análisis del elemento silicio en el país.
- Futuras evaluaciones de incidencia de enfermedades y nivel poblacional de insectos, se recomienda realizarlas en lotes aislados de fincas comerciales, para que estas no sean afectadas por el manejo comercial de la finca.

6. Bibliografía

- Almaguel, L; Botta, E. 2005. Curso de postgrado de Acarología. Manejo integrado de *Stenotarsonemus spinky*, Smiley. Resultados de Cuba y Transferencia para la región de Latinoamérica y el Caribe. La Habana. INISAV.
- Alfaro, D. 2008. Curso Sistema de producción de granos básicos. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Santa Clara. San Carlos.
- Bertsch, F. 1987. Niveles críticos en suelos. CIA (Centro de Investigación Agronómico). UCR. San José, Costa Rica.
- CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical). 1985. Arroz: Investigación y Producción. Cali, Colombia. 696p.
- CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical) 2005. Morfología de la Planta de Arroz. Cali, Colombia. (en línea) Consultado el 20/8/2009. Disponible en: <http://www.ciat.cgiar.org/riceweb/esp/inicio.htm>
- Chaudhary, R.C; Nanda, J.S; Tran, D.V. 2003. Guía para identificar las limitaciones de campo en la producción de arroz. Problemas y limitaciones de la producción de arroz. Depósito de documentos de la FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). Departamento de Agricultura. Roma 2003. Disponible en www.fao.org/DOCREP/006/Y2778sO2.htm. Consultado el 29 de setiembre de 2008.
- CONARROZ (Corporación Arrocera Nacional). Laboratorio de Control Calidad. 2006. Principales características molineras de variedades nacionales periodo 2005/2006.
- CONARROZ (Corporación Arrocera Nacional). 2008. RTCR 406-2007: Arroz en granza especificaciones y métodos de análisis para la comercialización e industrialización. Decreto N 34487- MEIC- MAG-S. La Gaceta N87.
- CONARROZ (Corporación Arrocera Nacional). 2009. Reglamento interno del mecanismo para la valoración del arroz en granza.
- De Datta, S.K. 1986. Producción de arroz. Fundamentos y Prácticas. Editorial Limusa. México. 690p.
- Datnoff, L.E.; Raid, R.N.; Snyder, G.H., Jones, D.B. 1990. Evaluation of calcium silicate slag and nitrogen on brown spot, neck rot, and sheath blight development on rice. *Biological and Cultural Tests for Control of Plant diseases*, St. Paul, v.5, p.65
- Datnoff, L. E.; Raid, R.N.; Snyder, G.H; Jones, D.B. 1991. Effect of calcium silicate on blast and brown spot intensities and yields of rice. *Plant Disease*. 75(7):729-732.
- Datnoff, L.; Rodriguez, F. 2005. The role of silicon in suppressing rice diseases. APSnet feature. Disponible en <http://www.apsnet.org/publications/apsnetfeatures/Pages/SiliconInRiceDiseases.aspx>. Consultado el 17 febrero 2011.
- Epstein, E. 1999. Silicon. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology* 50 (1):641-664.
- Fertilizante de Centroamérica (Panamá) S.A (2002-2004). Informes Técnicos. El Silicio en la Agricultura. Disponible en webmaster@fertica.com.pa. Consultado el 15 de diciembre de 2008.

- Filho, B., M.P; Zinder, G.H; Prabhu, A.S; Datnoff, L.E; Kornörfer, G.H. 2000. Importancia do silicio para a cultura do arroz. Uma revisão de literatura. Potafos. Encarte Técnico. Informações Agronômicas Nº 89-Marzo/2000.
- Hernández G., R 2002. Nutrición mineral de las plantas. Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales. Universidad de los Andes-Mérida, Venezuela. Disponible en www.forest.ula.ve/~rubenhg. Consultado el 11 de diciembre de 2008.
- Henríquez, C; Cabalceta G. 1999. Guia práctica para el estudio introductorio de los suelos con un enfoque agrícola. Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo. UCR, Escuela de Fitotecnia. Facultad de Agronomía.
- InfoStat.2008. InfoStat versión 2008. Grupo InfoStat FCA. Universidad Nacional de Cordoba. Primera edición. ED. Brujas, Argentina.
- Jones, L.H.P.; Handreck, K.A. 1967. Silica in soils, plants and animals. *Advances in Agronomy*, New York, v.19, p.107-149.
- Kornörfer G.H.; Faria, R.J.; Datnoff,L.E.; Pereira, L.E. (2002). Influência do silicato do cálcium atolerância do arroz de sequeiro ao déficit hídrico do solo. In: Reunião Brasileira de Fertilizante do solo e nutrição de plantas. Rio de Janeiro. Informancões Agronômicas Nº 99-Septiembre/2002. P.16. Resumos. SBCS.143p.
- Murillo, J.I; González R. 1982. Manual de producción para el arroz de secano. CAFESA. San José Costa Rica. 132p.
- ONS (Oficina Nacional de Semillas). 2003. Características varietales y agronómicas de los materiales de arroz pertenecientes al registro de variedades comerciales (RVC) de la ONS. DOC 09-2003 D.T.
- Orejuela J, 2010. Evaluación de la Aplicación de Varias Dosis de Ácido Monosilícico en la Producción del Cultivo de Arroz. Var. INIAP 15. (en línea). Guayaquil, EC. Consultado el 22 mayo. 2010. Formato pdf. Disponible en: <http://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/10892/3/OREJUELAS%20MAGALLANES%20JUAN%20DARIO.pdf>.
- Osuna-Canizales, F.J.; DeDatta, S.K; Bonman, J.M. 1991. Nitrogen form and silicon nutrition effects on resistance to blast disease of rice. *Plant and Soil*, The Hague, v.135, p.223-231.
- Porta, J; Acevedo, M; Roquero, C. 1994 Edafología para la agricultura y el medio ambiente. Editorial Mundi-Prensa. Madrid, España. 807p.
- Quero, E; Cárdenas, C. 2006. Nueva tecnología para optimizar la producción agrícola tecnificada y tradicional y mejorar la calidad agrícola de los suelos. Instituto Tecnológico Superior de Uruapan. 16p.
- Quero, E. 2007. 12 virtudes del silicio. *Biotecnología*. Abril 2007. Nº 63. Teorema ambiental. Revista Técnico Ambiental. Editorial 3W México S.A de CV. Consultado el 29 de septiembre de 2008. Disponible en: www.teorema.com.mex.
- Quero, E. 2008. Silicio en la producción de chile. La biosilicificación Proceso biológico fundamental en la productividad vegetal. Consultado el 29 de septiembre de 2008. Disponible en <http://loquequero.com/potal>.
- Ma, J; Takahashi, E. 2002. Soil, Fertilizer, and plant Silicon Research in Japan. Elsevier Science. Amsterdam.
- Mitani, N; Feng Ma, J. 2005. Uptake system of silicon in different plant species. *Journal of Experimental Botany* 56 (414): 1255-1261.

- Rodríguez, J.H. 1999. Fertilización del cultivo del arroz (*Oryza sativa*). In XI Congreso Nacional Agronómico/ III Congreso Nacional de Suelos 19 al 23 de julio. Disponible en http://www.mag.go.cr/congreso_agronomico_xi/a50-6907-III_123.pdf. Consultado 23 de agosto 2011.
- Smith, I.M; Dunez, J; Phillips, D.H; Lelliott, R.A; Archer, S.A. 1992. Manual de enfermedades de las plantas. Editorial Mundi-Prensa. Madrid, España 671p.
- Takahashi, E; Ma, F; Miyake Y. 1990. The possibility of silicon as an essential element for higher plants. *Agricultural and food chemistry* (2): 99-122.
- Topolanski, B. 1975. El arroz su cultivo y producción. 1era edición. Editorial Hemisferio sur. Buenos Aires. México. 304p.
- Universidad de Filipinas. 1975. Cultivo de arroz. Manual de producción. Editorial Limusa. México. 426p
- Vergara, B. 1990. Guía del agricultor para el cultivo del arroz. México. Editorial Limusa. 221p.
- Viana, J.E. 2008. Importancia del silicio en la nutrición vegetal. Agromil. Tolima, Colombia. Consultado el 15 de septiembre de 2008. Disponible en www.silicioagromil.com.
- Viana, J.E 2008a. El silicio y la mosca blanca. Agromil. Tolima.Colombia. Consultado el 15 de septiembre de 2008. Disponible en www.silicioagromil.com.
- Vindas C., F. A. 2011. Efecto de la fertilización edáfica con dos fertilizantes silicatados sobre el pH y el aluminio intercambiable del suelo, la severidad de la sigatoka negra y la producción del banano (*Musa* AAA, cv. Grande Naine). Tesis para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería en Agronomía. PP 20-77. ITCR, Escuela de Agronomía, Sede, San Carlos. Costa Rica, 2011.
- Wild, A 1992. Condiciones del suelo y desarrollo de las plantas según Russell. Mundi-Prensa. Madrid. 1045p.

7. Anexos

Anexo 1. Manejo agronómico realizado en el cultivo de arroz var CR 4477. ITCR, Finca La Vega, San Carlos. Costa Rica, Diciembre 2011.

Fecha* *1er día es actividad del 1er año siembra	Actividad en el año de siembra		Dosis productos/ comentarios
	2010	2011	
Marzo/abril 22 - 7 de abril	Preparación suelos Chapia ronda, estaquillado y separación de lotes	Preparación suelos Estaquillado y separación de lotes	
29 - 15 de abril	Fertilización Si al suelo (oxido de silicio al 70% p/p)	Fertilización Si al suelo (oxido de silicio al 70% p/p)	Dosis: 100 kg SiO ₂ /ha= 143 kg Tecnosilix 70% = 4.3 kg P.Comercial/ parcela 300 m ² . Aplicación en los tratamientos correspondientes.
14 - 10 de mayo 14 - 10 de mayo 17 - 13 de mayo	Siembra Fertilización: 13-24-20 Herbicidas Pre emergente. Cosmoin 33 3 ml Metsulfuron: 10 g Invest: 46,7 g Glifosato: 5,33 L 2,4 D: 1,7L Pendimetalina: 2L Butaclor (Machete 60 EC): 3,33L	Siembra Fertilización: 10-30-10 Herbicidas Pre emergente. DAP-Plus (para pH): 267 ml Maphor 10 wp (Sualfonilurea): 250 g Rifit 50 EC- Acetanilida: 1.67 L Machete 60 EC (Butachlor) : 2,67 L Root aut 36 SL (Glifosato): 2.33 L WK 50% SL (Penetrante- Humectante): 267 ml	128 kg semilla/ha 138 kg/ha (3 qq/ha) <u>Dosis productos/ha.</u> <u>Volumen de agua: 200</u> <u>L agua/ha ("Boom"</u> <u>con capacidad 600 L)</u>
24 - 19 de mayo/ 14 - 9 de junio	Aplicación de silicio foliar. Tecnosilix 40%SiO ₂ +36%MgO. 10 y 30 DDS	Aplicación de silicio foliar. Tecnosilix 40%SiO ₂ +36%MgO 9 y 29 DDS	Dosis: 4 l/ha en 200 L agua. 120 ml producto en 6 L de agua/parcela de 300 m ² . DDS= Días después de la siembra. Aplicación en los tratamientos correspondientes.
3 de junio 11 de junio 17 de junio 24 de junio	Fertilización foliar Fertilización 30-0-15-4(S) Fertilización foliar Fertilización 18-0-30-1,05 (Zn)- 3,37 (S)		4 l/ha 138 kg/ha 4L/ha 158 kg/ha
30 -15 de junio	Herbicida, Plaguicidas	Herbicida,Plaguicidas.	<u>Dosis productos/ha.</u>

	Dap plus: 200 ml Metsulfuron: 17,3 g Clincher: 630 ml Propanil: 5 L Designee: 115 ml Karate zeon: 330 ml WK: 330 ml	Dap Plus: 200ml. Metsulfuron: 10 g Karate zeon: 467 ml Ectrán: 120 ml Prowl (Pendimentalina): 1,67 L Rifit: 1 L + WK: 333 ml Aplicación lotes Normal Dap Plus 600 l Karate Zeon 1.4 l Agronil 21 l Garlón 1.4 l Nufiim 800 ml	<u>Volumen de agua: 200 L agua/ha ("Boom" con capacidad 600 L).</u> Aplicación de fungicidas e insecticidas solo en las parcelas de los tratamientos correspondientes.
02 de Julio	Fertilización 26-0-26-10-6(S) Fungicida, Insecticida y foliares. Dap plus: 200 ml Carbendazina: 600 ml Silvacur: 400 ml	Fungicida, Insecticida y foliares. Bayfolán Forte: 2,8 L Silvacur: 0,8 L Carbendacina: 1 L	126,5 kg/ha <u>Dosis productos/ha. Volumen de agua: 200 L agua/ha ("Boom" con capacidad 600 L).</u>
03 -13 de agosto	Citokin: 1 L Tecamin: 750 ml Dimetoato: 1,2 L WK: 250 ml	Cepex: 0,8 L Curacrón (insecticida): 1,2 L WK: 400 ml	Aplicación de fungicidas e insecticidas solo en las parcelas de los tratamientos correspondientes.
13 /9 -10 de agosto	Muestreo para análisis foliar	Muestreo para análisis foliar. 2do conteo incidencia enfermedad	Muestreo a los 90 DDS
Setiembre y Octubre	Cosecha	Cosecha	Inicio evaluación de tratamientos.

Anexo 2. Análisis estadísticos de los resultados químicos de elementos nutritivos en suelos. ITCR, San Carlos, Costa Rica. Diciembre 2011.

Observación: se presentan los análisis con alguna diferencia significativa. Cuando la interacción resultó ser significativa, se procedió a la separación de los factores.

Tabla: 12/12/2011 - 07:52:16 p.m.

Variable	N	R²	R² Aj	CV
K	20	0,55	0,28	17,14

*Datos desbalanceados en celdas.
Para otra descomposición de la SC
especifique los contrastes apropiados.. !!*

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	0,18	7	0,03	2,06	0,1293
Silicio	0,04	2	0,02	1,69	0,2258
Plaguicida	0,06	1	0,06	4,90	0,0469
Bloques	0,07	3	0,02	1,93	0,1786

Silicio*Plaguicida	4,6E-03	1	4,6E-03	0,36	0,5572
Error	0,15	12	0,01		
Total	0,33	19			

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=0,16737

Error: 0,0125 gl: 12

Silicio	Medias	n	E.E.	
Foliar	0,60	8	0,04	A
Testigo	0,67	4	0,06	A
Suelo	0,70	8	0,04	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p<= 0,05)

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=0,11004

Error: 0,0125 gl: 12

Plaguicida	Medias	n	E.E.	
Sin P	0,59	8	0,04	A
Con P	0,70	12	0,03	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p<= 0,05)

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
P	20	0,60	0,37	14,30

Datos desbalanceados en celdas.

Para otra descomposición de la SC

especifique los contrastes apropiados.. !!

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	156,83	7	22,40	2,56	0,0728
Silicio	23,54	2	11,77	1,35	0,2965
Plaguicida	36,91	1	36,91	4,22	0,0623
Bloques	58,87	3	19,62	2,25	0,1354
Silicio*Plaguicida	37,52	1	37,52	4,29	0,0604
Error	104,83	12	8,74		
Total	261,66	19			

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=4,42539

Error: 8,7356 gl: 12

Silicio	Medias	n	E.E.	
Foliar	19,56	8	1,09	A
Suelo	20,88	8	1,09	A
Testigo	22,50	4	1,54	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p<= 0,05)

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=2,90946

Error: 8,7356 gl: 12

Plaguicida	Medias	n	E.E.	
Sin P	18,70	8	1,09	A
Con P	21,99	12	0,89	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p<= 0,05)

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Fe	20	0,43	0,10	12,61

Datos desbalanceados en celdas.

Para otra descomposición de la SC

especifique los contrastes apropiados.. !!

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	33833,80	7	4833,40	1,30	0,3301
Silicio	5315,88	2	2657,94	0,71	0,5097
Plaguicida	20235,06	1	20235,06	5,43	0,0381
Bloques	4652,80	3	1550,93	0,42	0,7446
Silicio*Plaguicida	3630,06	1	3630,06	0,97	0,3432
Error	44724,20	12	3727,02		
Total	78558,00	19			

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=91,40837

Error: 3727,0167 gl: 12

Silicio	Medias	n	E.E.
Foliar	470,25	8	22,54 A
Suelo	482,38	8	22,54 A
Testigo	514,75	4	31,88 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p<= 0,05)

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=60,09631

Error: 3727,0167 gl: 12

Plaguicida	Medias	n	E.E.
Sin P	440,75	8	22,54 A
Con P	512,83	12	18,41 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p<= 0,05)

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Cu	20	0,62	0,40	6,71

Datos desbalanceados en celdas.

Para otra descomposición de la SC

especifique los contrastes apropiados.. !!

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	6,53	7	0,93	2,84	0,0538
Silicio	0,41	2	0,20	0,62	0,5550
Plaguicida	0,46	1	0,46	1,39	0,2613
Bloques	3,49	3	1,16	3,55	0,0479
Silicio*Plaguicida	2,18	1	2,18	6,63	0,0243
Error	3,94	12	0,33		
Total	10,46	19			

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=0,85741

Error: 0,3279 gl: 12

Silicio	Medias	n	E.E.
Suelo	8,39	8	0,21 A
Testigo	8,48	4	0,30 A
Foliar	8,70	8	0,21 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p<= 0,05)

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=0,56370

Error: 0,3279 gl: 12

Plaguicida	Medias	n	E.E.
------------	--------	---	------

Sin P	8,38	8	0,21	A
Con P	8,63	12	0,17	A

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

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Si	20	0,71	0,54	31,20

Datos desbalanceados en celdas.

Para otra descomposición de la SC especifique los contrastes apropiados.. !!

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	12473,45	7	1781,92	4,20	0,0145
Silicio	349,58	2	174,79	0,41	0,6713
Plaguicida	698,28	1	698,28	1,65	0,2237
Bloques	10989,83	3	3663,28	8,64	0,0025
Silicio*Plaguicida	435,77	1	435,77	1,03	0,3308
Error	5089,91	12	424,16		
Total	17563,37	19			

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=30,83684

Error: 424,1594 gl: 12

Silicio	Medias	n	E.E.
Testigo	60,75	4	10,76 A
Foliar	63,70	8	7,61 A
Suelo	70,96	8	7,61 A

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

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=20,27364

Error: 424,1594 gl: 12

Plaguicida	Medias	n	E.E.
Sin P	60,73	8	7,61 A
Con P	69,54	12	6,21 A

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

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Zn	20	0,71	0,53	7,95

Datos desbalanceados en celdas.

Para otra descomposición de la SC especifique los contrastes apropiados.. !!

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	2,10	7	0,30	4,12	0,0156
Silicio	3,8E-03	2	1,9E-03	0,03	0,9747
Plaguicida	0,28	1	0,28	3,78	0,0758
Bloques	0,44	3	0,15	2,03	0,1638
Silicio*Plaguicida	1,38	1	1,38	18,91	0,0009
Error	0,88	12	0,07		
Total	2,98	19			

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=0,40454

Error: 0,0730 gl: 12

<i>Silicio</i>	<i>Medias</i>	<i>n</i>	<i>E.E.</i>
<i>Testigo</i>	3,38	4	0,14 A
<i>Suelo</i>	3,40	8	0,10 A
<i>Foliar</i>	3,41	8	0,10 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p<= 0,05)

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=0,26597

Error: 0,0730 gl: 12

<i>Plaguicida</i>	<i>Medias</i>	<i>n</i>	<i>E.E.</i>
<i>Sin P</i>	3,28	8	0,10 A
<i>Con P</i>	3,48	12	0,08 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p<= 0,05)

Anexo 3. Resultados de análisis químicos de suelo hechos por Agro Análisis de Costa Rica S.A. en las cosechas 2010 y 2011. ITCR, Finca La Vega, San Carlos, Costa Rica. Diciembre 2011.

Resultados de análisis de suelo.											
Año 2010.											
Tratamiento	pH	cmol(+)/L					mg/L				
		K	Ca	Mg	Acidez	P	Si	Fe	Cu	Zn	Mn
Previo siembra	4,9	1,08	14,09	3,94	1,2	29	44,7	564	11,8	4,6	145
Posterior a cosecha											
SFP	4,65	0,53	16,9	4,03	1,75	27,7	78	492	11,9	18,5	32,3
SFP	4,71	0,65	16,6	3,88	1,4	18,9	42,2	448	10,3	15,7	26
Promedio	4,68	0,59	16,75	3,96	1,58	23,28	60,1	470	11,1	17,1	29,15
DSt	0,04	0,08	0,21	0,11	0,25	6,22	25,31	31,11	1,13	1,98	4,45
SSP	4,6	0,73	17	3,85	1,7	29,4	45,7	589	12,4	92,3	33,1
SSP	4,56	0,65	16,8	4,02	1,7	20,7	36,8	422	12,6	99,9	30,8
Promedio	4,58	0,69	16,92	3,93	1,7	25,03	41,24	505,5	12,5	96,1	31,95
DSt	0,03	0,06	0,14	0,12	0,00	6,15	6,29	9	0,14	5,37	1,63
SF	4,5	0,66	17,8	3,98	1,7	37,8	44,3	636	12,7	94,3	36,5
SF	4,69	0,61	16,1	3,75	1,350	21,9	39	575	10,9	26,1	40,8
Promedio	4,6	0,63	16,95	3,86	1,53	29,82	41,67	605,5	11,8	60,2	38,65
DSt	0,13	0,04	1,20	0,16	0,25	11,24	3,75	43,13	1,27	48,22	3,04
SS	4,6	0,65	15,7	3,75	1,8	27,5	50,5	467	10,5	23,3	27,5
SS	4,86	0,77	16,6	3,73	1,4	26,5	45,8	492	9,8	8,6	30,4
Promedio	4,73	0,71	16,16	3,74	1,6	26,97	48,16	479,5	10,15	15,95	28,95
DSt	0,18	0,08	0,64	0,01	0,28	0,71	3,32	17,68	0,49	10,39	2,05
TT	4,71	0,75	16,3	3,91	1,5	25,6	57,4	538	10,9	16,1	27
TT	4,66	0,81	17,7	4,4	1,5	21,7	42,1	482	10,9	50,7	30,5

Promedio	4,69	0,78	16,99	4,16	1,5	23,64	49,72	510	10,9	33,4	28,75
DSt	0,04	0,04	0,99	0,35	0,00	2,76	10,82	39,60	0,00	24,47	2,47

Resultado análisis suelo.											
Año 2011.											
Tratamiento	pH	cmol (+)/L				mg/L					
		K	Ca	Mg	Acidez	P	Fe	Cu	Si	Zn	Mn
Previa siembra	4,9	1,08	14,09	3,94	1,2	29	564	11,8	44,7	4,6	145
Posterior a cosecha											
SFP	4,82	0,66	17,18	4,41	1,50	22,9	518	9,6	121	3,2	128
	4,96	0,67	16,34	3,82	1,00	16,3	408	7,3	43,4	2,7	123
	4,82	0,62	16,72	3,89	1,40	17,5	456	8,6	30,7	3,4	145
	4,81	0,62	15,71	3,96	1,50	21,5	581	8,5	107	3,7	172
Promedio	4,85	0,64	16,49	4,02	1,35	19,54	490,7	8,50	75,54	3,25	142,00
DSt	0,07	0,02	0,62	0,27	0,24	3,16	75,15	0,94	45,15	0,42	22,11
SF	4,92	0,75	16,73	3,95	1,00	22,0	433	9,6	80,4	3,8	128
	4,75	0,43	15,28	3,70	1,80	21,5	450	8,7	30,0	3,5	126
	4,93	0,50	16,37	4,03	1,30	16,4	425	8,4	35,0	3,5	135
	4,77	0,53	15,61	4,04	1,50	18,4	491	8,9	62,1	3,5	156
Promedio	4,84	0,55	15,99	3,93	1,40	19,59	449,7	8,90	51,88	3,58	136,25
DSt	0,10	0,14	0,67	0,16	0,34	2,65	29,41	0,51	23,67	0,15	13,72
SSP	4,80	0,70	16,10	3,85	1,40	24,7	530	9,7	87,2	3,7	142
	4,86	0,72	16,49	3,68	1,30	23,7	505	8,9	47,6	3,7	129
	4,86	0,95	16,50	3,80	1,00	26,3	548	9,0	59,2	4,3	132
	4,83	0,74	15,84	3,99	1,30	21,0	549	8,1	95,4	3,6	157
Promedio	4,84	0,78	16,23	3,83	1,25	23,93	533,0	8,93	72,35	3,83	140,00
DSt	0,03	0,12	0,32	0,13	0,17	2,21	20,61	0,66	22,64	0,32	12,62
SS	4,83	0,73	16,16	3,99	1,50	20,5	463	8,2	101	3,2	157
	4,96	0,59	18,01	4,10	1,00	18,2	408	8,2	90,8	2,9	131
	4,86	0,78	15,81	4,09	1,30	17,3	452	7,7	16,9	3,1	146
	4,85	0,38	16,53	4,17	1,10	15,3	404	7,3	69,6	2,7	145
Promedio	4,88	0,62	16,62	4,09	1,23	17,80	431,7	7,85	69,63	2,98	144,75
DSt	0,06	0,18	0,97	0,07	0,22	2,16	30,12	0,44	37,53	0,22	10,66
TT	4,74	0,62	16,15	4,17	1,70	25,5	492	8,7	67,4	3,5	123
	4,90	0,73	16,49	4,22	1,10	21,7	529	8,6	33,6	3,3	153
	4,81	0,76	14,91	3,58	1,40	27,4	631	9,3	43,1	3,7	147
	4,79	0,56	15,23	4,16	1,40	15,4	407	7,3	98,9	3,0	148
Promedio	4,81	0,67	15,69	4,03	1,40	22,50	514,7	8,48	60,76	3,38	142,75
DSt	0,07	0,10	0,75	0,31	0,24	5,25	92,82	0,84	29,14	0,30	13,43

Anexo 4. Análisis estadísticos de los resultados químicos elementos en las hojas de arroz a los 90 días después de la siembra. ITCR, San Carlos, Costa Rica. Diciembre 2011.

Análisis de la varianza.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Mn	16	0,83	0,71	16,28

Año 2010

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	204387,50	6	34064,58	7,18	0,0049
Bloques	148592,25	3	49530,75	10,44	0,0027
Fertilización	24964,00	1	24964,00	5,26	0,0475
Plaguicida	25281,00	1	25281,00	5,33	0,0464
Fertilización*Plaguicida	5550,25	1	5550,25	1,17	0,3076
Error	42710,25	9	4745,58		
Total	247097,75	15			

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=77,91374

Error: 4745,5833 gl: 9

Fertilizacion	Medias	n	
Suelo	383,63	8	A
Foliar	462,63	8	B

Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$)

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=77,91374

Error: 4745,5833 gl: 9

Plaguicida	Medias	n	
CP	383,38	8	A
SP	462,88	8	B

Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$)

Tabla: 12/12/2011 - 07:34:17 p.m.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
K	20	0,47	0,17	3,27

Datos desbalanceados en celdas.

Para otra descomposición de la SC

especifique los contrastes apropiados.. !!

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	0,06	7	0,01	1,55	0,2417
Silicio	3,7E-03	2	1,8E-03	0,35	0,7149
Plaguicida	0,05	1	0,05	8,50	0,0129
Bloques	0,01	3	2,0E-03	0,37	0,7744
Silicio*Plaguicida	2,8E-03	1	2,8E-03	0,52	0,4851

Error	0,06	12	0,01
Total	0,12	19	

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=0,10912

Error: 0,0053 gl: 12

Silicio	Medias	n	E.E.	
Foliar	2,21	8	0,03	A
Testigo	2,24	4	0,04	A
Suelo	2,24	8	0,03	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p<= 0,05)

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=0,07174

Error: 0,0053 gl: 12

Plaguicida	Medias	n	E.E.	
Sin P	2,17	8	0,03	A
Con P	2,26	12	0,02	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p<= 0,05)

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Mg	20	0,57	0,32	4,73

Datos desbalanceados en celdas.

Para otra descomposición de la SC

especifique los contrastes apropiados.. !!

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	3,9E-04	7	5,6E-05	2,31	0,0974
Silicio	6,8E-05	2	3,4E-05	1,40	0,2849
Plaguicida	6,2E-06	1	6,2E-06	0,26	0,6203
Bloques	1,6E-04	3	5,3E-05	2,21	0,1400
Silicio*Plaguicida	1,6E-04	1	1,6E-04	6,47	0,0258
Error	2,9E-04	12	2,4E-05		
Total	6,8E-04	19			

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=0,00736

Error: 0,0000 gl: 12

Silicio	Medias	n	E.E.	
Foliar	0,10	8	1,8E-03	A
Testigo	0,10	4	2,6E-03	A
Suelo	0,11	8	1,8E-03	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p<= 0,05)

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=0,00484

Error: 0,0000 gl: 12

Plaguicida	Medias	n	E.E.	
Sin P	0,10	8	1,8E-03	A
Con P	0,10	12	1,5E-03	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p<= 0,05)

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Si	20	0,30	0,00	20,26

Datos desbalanceados en celdas.

Para otra descomposición de la SC
especifique los contrastes apropiados.. !!

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	1,03	7	0,15	0,72	0,6575
Silicio	0,19	2	0,09	0,46	0,6415
Plaguicida	0,11	1	0,11	0,53	0,4815
Bloques	0,50	3	0,17	0,83	0,5046
Silicio*Plaguicida	0,23	1	0,23	1,12	0,3104
Error	2,44	12	0,20		
Total	3,47	19			

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=0,67505

Error: 0,2033 gl: 12

Silicio	Medias	n	E.E.
Testigo	2,05	4	0,24 A
Foliar	2,22	8	0,17 A
Suelo	2,32	8	0,17 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p<= 0,05)

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=0,44381

Error: 0,2033 gl: 12

Plaguicida	Medias	n	E.E.
Con P	2,14	12	0,14 A
Sin P	2,35	8	0,17 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p<= 0,05)

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Zn-2010	20	0,52	0,23	13,92

Datos desbalanceados en celdas.
Para otra descomposición de la SC
especifique los contrastes apropiados.. !!

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	91,50	7	13,07	1,83	0,1715
Silicio	4,52	2	2,26	0,32	0,7353
Plaguicida	10,08	1	10,08	1,41	0,2583
Bloques	71,02	3	23,67	3,31	0,0574
Silicio*Plaguicida	5,88	1	5,88	0,82	0,3826
Error	85,89	12	7,16		
Total	177,39	19			

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Zn 2011	20	0,91	0,86	2,04

Datos desbalanceados en celdas.

Para otra descomposición de la SC
especifique los contrastes apropiados.. !!

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	12,78	7	1,83	17,94	<0,0001
Silicio	2,90	2	1,45	14,26	0,0007
Plaguicida	2,89	1	2,89	28,40	0,0002
Bloques	5,16	3	1,72	16,92	0,0001
Silicio*Plaguicida	1,82	1	1,82	17,91	0,0012
Error	1,22	12	0,10		
Total	14,00	19			

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=0,47761

Error: 0,1017 gl: 12

Silicio	Medias	n	E.E.	
Testigo	15,00	4	0,17	A
Foliar	15,49	8	0,12	B
Suelo	16,01	8	0,12	C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p<= 0,05)

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=0,31400

Error: 0,1017 gl: 12

Plaguicida	Medias	n	E.E.	
Sin P	15,33	8	0,12	A
Con P	15,78	12	0,10	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p<= 0,05)

Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas iguales. Silicio foliar ciclos 2010 y 2011.

	Si-2010	Si-2011
Media	3,1140	2,2254
Varianza	0,6267	0,1821
Observaciones	20	20
Varianza agrupada	0,40442064	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	38	
Estadístico t	4,41870005513612	
P(T<=t) una cola	4,0023E-05	
Valor crítico de t (una cola)	1,68595446	
P(T<=t) dos colas	0,0000800	
Valor crítico de t (dos colas)	2,02439415	

Anexo 5. Resultados de análisis químicos de hojas de arroz hechos por Agro Análisis de Costa Rica S.A. en las cosechas 2010 y 2011. ITCR, Finca La Vega, San Carlos, Costa Rica. Diciembre 2011.

Resultados 2010	%m/m							mg/kg			
	Tratamiento	N	P	K	Ca	Mg	Si	S	Fe	Zn	Mn
SFP		2,73	0,15	2,41	0,45	0,13	2,32	0,25	87,6	18,2	349
		2,59	0,14	2,51	0,5	0,16	3,08	0,21	89,9	17,6	399
		2,48	0,13	2,69	0,35	0,14	3,12	0,19	69,8	16,2	315
		2,43	0,13	2,68	0,45	0,17	3,82	0,16	101	21,4	554
Promedio	2,56	0,14	2,57	0,44	0,15	3,09	0,2	87,09	18,35	404,11	
DSt	0,13	0,01	0,14	0,06	0,02	0,61	0,04	12,92	2,20	105,63	
SSP		2,71	0,15	2,51	0,42	0,15	2,3	0,21	80,4	18,3	288
		2,63	0,16	2,37	0,47	0,13	3,13	0,19	83	19,3	384
		2,69	0,14	2,32	0,42	0,13	3,37	0,19	72,7	19,5	331
		2,62	0,13	2,57	0,51	0,18	3,59	0,17	94,6	20,4	447
Promedio	2,66	0,14	2,44	0,45	0,15	3,1	0,19	82,69	19,35	362,42	
DSt	0,04	0,01	0,12	0,04	0,02	0,56	0,02	9,07	0,86	68,67	
SF		2,77	0,16	2,64	0,51	0,16	1,6	0,21	94	16,8	373
		2,12	0,14	2,72	0,47	0,15	3,72	0,19	92,5	19,9	503
		2,39	0,14	2,57	0,56	0,16	3,88	0,2	89	26,3	559
		2,21	0,12	2,4	0,47	0,15	3,35	0,15	96,6	21,6	649
Promedio	2,37	0,14	2,58	0,5	0,16	3,14	0,19	93,01	21,15	521,2	
DSt	0,29	0,02	0,14	0,04	0,01	1,05	0,03	3,17	3,97	115,55	
SS		2,5	0,15	2,61	0,44	0,13	2,36	0,23	69,9	15,8	295
		2,78	0,16	2,48	0,55	0,15	2,55	0,2	101	20,6	406
		2,58	0,13	2,57	0,37	0,15	4,31	0,19	70,5	14,8	252
		2,04	0,12	2,63	0,53	0,16	3,98	0,17	98,6	24,3	666
Promedio	2,48	0,14	2,57	0,47	0,15	3,3	0,2	85,08	18,88	404,62	
DSt	0,31	0,02	0,07	0,08	0,01	0,99	0,02	17,12	4,41	185,86	
TT		2,59	0,15	2,55	0,45	0,15	1,91	0,23	85,1	18,5	300
		2,87	0,14	2,25	0,42	0,14	2,3	0,21	86,3	18	366
		2,56	0,15	2,34	0,39	0,12	4,25	0,2	96,8	17,5	321
		2,67	0,13	2,63	0,45	0,18	3,34	0,19	93,5	22,8	432
Promedio	2,67	0,14	2,44	0,43	0,15	2,95	0,21	90,45	19,2	354,74	
DSt	0,14	0,01	0,18	0,03	0,02	1,06	0,02	5,64	2,43	58,40	

Resultados 2011	% m/m							mg/kg				
Tratamiento	N	P	K	Ca	Mg	Si	S	Fe	Cu	Zn	Mn	B
SFP	1,87	0,16	2,33	0,39	0,10	1,57	0,22	50,5	6,4	16,1	438	31,5
	2,09	0,15	2,23	0,46	0,10	1,82	0,23	87,8	6,4	15,1	497	16,3
	1,90	0,16	2,23	0,46	0,10	2,47	0,25	59,2	5,4	15,9	479	17,4
	1,97	0,16	2,21	0,45	0,10	2,23	0,22	75,2	5,3	15,2	540	24,5
Promedio	1,96	0,16	2,25	0,44	0,10	2,02	0,23	68,15	5,88	15,56	488,51	22,45
DSt	0,10	0,00	0,05	0,04	0,00	0,40	0,01	16,60	0,57	0,52	42,07	7,06
SF	2,17	0,18	2,17	0,47	0,11	2,71	0,28	80,2	6,7	16,2	487	22,9
	2,19	0,16	2,17	0,45	0,11	2,11	0,22	89,6	6,3	15,6	559	16,7
	1,81	0,16	2,18	0,43	0,10	2,42	0,26	52,2	6,4	15,1	492	17,3
	1,74	0,15	2,16	0,45	0,10	2,46	0,21	54,4	5,2	14,7	668	16,2
Promedio	1,98	0,16	2,17	0,45	0,11	2,42	0,24	69,11	6,13	15,42	551,35	18,27
DSt	0,24	0,01	0,01	0,02	0,01	0,24	0,03	18,64	0,67	0,67	84,03	3,14
SSP	2,15	0,17	2,25	0,45	0,11	2,38	0,24	74,9	6,9	17,6	406	21,0
	2,33	0,17	2,34	0,47	0,11	2,78	0,24	79,4	6,4	16,3	568	17,1
	2,12	0,17	2,30	0,45	0,12	2,26	0,25	50,2	5,8	16,9	316	15,5
	1,44	0,16	2,33	0,44	0,10	1,99	0,23	57,6	6,1	16,3	490	11,9
Promedio	2,01	0,16	2,30	0,45	0,11	2,35	0,24	65,52	6,30	16,76	445,28	16,37
DSt	0,39	0,00	0,04	0,01	0,01	0,33	0,01	13,89	0,48	0,60	108,59	3,76
SS	2,33	0,16	2,12	0,45	0,11	1,57	0,26	53,9	6,6	15,9	335	19,5
	2,30	0,16	2,15	0,45	0,10	1,86	0,24	65,0	6,3	15,4	462	19,4
	2,05	0,17	2,15	0,46	0,10	2,33	0,26	50,7	6,2	15,5	396	13,8
	1,76	0,14	2,27	0,46	0,10	3,35	0,21	49,5	5,1	14,2	632	15,1
Promedio	2,11	0,16	2,17	0,45	0,10	2,28	0,24	54,78	6,04	15,26	456,19	16,95
DSt	0,26	0,01	0,07	0,01	0,00	0,78	0,02	7,04	0,65	0,71	128,30	2,92
TT	2,15	0,17	2,34	0,42	0,11	1,99	0,25	62,8	6,4	15,6	361	14,4
	2,24	0,16	2,10	0,48	0,10	2,09	0,23	95,8	6,1	14,9	568	18,1
	1,80	0,16	2,33	0,42	0,10	1,82	0,24	47,5	5,7	15,5	339	17,2
	2,08	0,14	2,17	0,43	0,10	2,30	0,22	56,3	5,5	14,0	515	13,4
Promedio	2,07	0,16	2,24	0,43	0,10	2,05	0,23	65,59	5,95	15,02	446,04	15,79
DSt	0,19	0,01	0,12	0,03	0,01	0,20	0,01	21,09	0,39	0,72	113,14	2,24

Anexo 6. Población de plantas muestreadas para determinar incidencia de plagas y enfermedades en los dos ciclos del cultivo. ITCR, Finca La Vega. San Carlos, Costa Rica. Diciembre 2011.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Ptas/m² 2-2010	20	0,33	0,00	12,73

Datos desbalanceados en celdas.
Para otra descomposición de la SC
especifique los contrastes apropiados.. !!

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	26228,80	7	3746,97	0,85	0,5708
Silicio	1220,80	2	610,40	0,14	0,8725
Plaguicida	2304,00	1	2304,00	0,52	0,4843
Bloques	22560,00	3	7520,00	1,70	0,2199
Silicio*Plaguicida	144,00	1	144,00	0,03	0,8598
Error	53080,00	12	4423,33		
Total	79308,80	19			

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Ptas/m² 3-2010	20	0,58	0,34	11,16

Datos desbalanceados en celdas.
Para otra descomposición de la SC
especifique los contrastes apropiados.. !!

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	70296,00	7	10042,29	2,38	0,0896
Silicio	5454,00	2	2727,00	0,65	0,5414
Plaguicida	17689,00	1	17689,00	4,19	0,0632
Bloques	46192,00	3	15397,33	3,65	0,0445
Silicio*Plaguicida	961,00	1	961,00	0,23	0,6418
Error	50648,00	12	4220,67		
Total	120944,00	19			

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Ptas/m² 1-2011	20	0,26	0,00	13,73

Datos desbalanceados en celdas.
Para otra descomposición de la SC
especifique los contrastes apropiados.. !!

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	31678,40	7	4525,49	0,60	0,7461
Silicio	18727,20	2	9363,60	1,24	0,3241
Plaguicida	5476,00	1	5476,00	0,72	0,4112
Bloques	7331,20	3	2443,73	0,32	0,8084

Silicio*Plaguicida	144,00	1	144,00	0,02	0,8925
Error	90660,80	12	7555,07		
Total	122339,20	19			

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Ptas/m 2 2-2011	20	0,42	0,08	9,36

Datos desbalanceados en celdas.
 Para otra descomposición de la SC
 especifique los contrastes apropiados.. !!

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	27480,80	7	3925,83	1,25	0,3516
Silicio	7194,80	2	3597,40	1,14	0,3516
Plaguicida	9801,00	1	9801,00	3,11	0,1032
Bloques	10364,00	3	3454,67	1,10	0,3883
Silicio*Plaguicida	121,00	1	121,00	0,04	0,8479
Error	37808,00	12	3150,67		
Total	65288,80	19			

Anexo 7. Porcentaje de granos llenos y vanos y peso de 1000 granos de arroz por cosecha. ITCR, Finca La Vega. San Carlos, Costa Rica. Diciembre 2011.

		Unidades experimentales por cosecha							
Tratamiento	Variable	Cosecha 2010				Cosecha 2011			
		I	II	III	IV	I	II	III	IV
SFP	G. llenos	87,48	89,82	87,64	86,17	66,00	92,00	88,32	93,17
	G. vanos	12,52	10,18	12,36	13,83	34,00	7,86	11,68	6,83
	P. 1000 granos	24,57	27,04	26,75	24,93	26,32	27,02	25,50	27,80
SF	G. llenos	83,13	82,24	78,52	80,85	90,00	75,90	75,98	93,11
	G. vanos	16,87	17,76	21,48	19,15	9,92	24,02	24,02	6,89
	P. 1000 granos	24,80	26,51	28,91	27,83	25,20	23,14	23,14	27,86
SSP	G. llenos	85,06	87,95	83,45	79,80	87,00	92,00	91,26	91,38
	G. vanos	14,94	12,05	16,55	20,17	12,98	7,55	9,20	8,62
	P. 1000 granos	26,40	25,40	27,91	24,31	27,04	27,74	27,76	29,00
SS	G. llenos	79,97	81,50	86,81	78,89	91,00	83,00	93,11	89,20
	G. vanos	20,03	18,50	13,19	21,11	7,00	17,32	6,89	10,80
	P. 1000 granos	23,09	24,93	25,80	23,85	26,00	25,70	26,50	25,60
TT	G. llenos	90,14	82,45	75,51	82,30	91,00	93,00	91,70	85,23
	G. vanos	9,86	17,55	24,49	17,70	9,30	7,24	8,30	14,77
	P. 1000 granos	27,60	25,17	25,99	26,10	27,88	25,80	27,50	27,40

Anexo 8. Análisis estadísticos de la variable peso de 1000 granos de arroz al momento de la cosecha 2011.
ITCR, Finca La Vega, San Carlos, Costa Rica. Diciembre de 2011.

Ciclo 2010

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
P. (g) 1000 granos-2010	20	0,57	0,31	4,79

Datos desbalanceados en celdas.

Para otra descomposición de la SC

especifique los contrastes apropiados.. !!

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	24,21	7	3,46	2,24	0,1046
Silicio	6,34	2	3,17	2,06	0,1706
Plaguicida	0,16	1	0,16	0,10	0,7536
Bloques	9,99	3	3,33	2,16	0,1458
Silicio*Plaguicida	7,72	1	7,72	5,01	0,0449
Error	18,50	12	1,54		
Total	42,71	19			

Ciclo 2011

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Peso (g) 1000 granos	20	0,67	0,48	4,19

Datos desbalanceados en celdas.

Para otra descomposición de la SC

especifique los contrastes apropiados.. !!

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	29,87	7	4,27	3,46	0,0289
Silicio	7,59	2	3,79	3,07	0,0836
Plaguicida	14,14	1	14,14	11,45	0,0054
Silicio*Plaguicida	0,01	1	0,01	0,01	0,9228
Bloques	8,13	3	2,71	2,19	0,1415
Error	14,82	12	1,23		
Total	44,68	19			

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=1,66367

Error: 1,2346 gl: 12

Silicio	Medias	n	E.E.
Foliar	25,75	8	0,41 A
Suelo	26,92	8	0,41 A
Testigo	27,15	4	0,58 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p<= 0,05)

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=1,09378

Error: 1,2346 gl: 12

Plaguicida	Medias	n	E.E.
Sin P	25,39	8	0,41 A
Con P	27,23	12	0,34 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p<= 0,05)

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Peso (g) 1000 granos	20	0,67	0,48	4,19

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	29,87	7	4,27	3,46	0,0289
Tratamiento	21,74	4	5,43	4,40	0,0203
Bloques	8,13	3	2,71	2,19	0,1415
Error	14,82	12	1,23		
Total	44,68	19			

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=2,50431

Error: 1,2346 gl: 12

Tratamiento	Medias	n	E.E.
SF	24,84	4	0,56 A
SS	25,95	4	0,56 A B
SFP	26,66	4	0,56 A B
TT	27,15	4	0,56 A B
SSP	27,89	4	0,56 B

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

Anexo 9. Análisis estadísticos de la variable rendimiento de arroz en granza al momento de las cosechas 2010 y 2011. ITCR, Finca La Vega, San Carlos, Costa Rica. Diciembre de 2011.

CICLO 2010

Análisis de la Varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Peso 6,4m ²	16	0,71	0,51	8,01

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	3861808,54	6	643634,76	3,60	0,0420
Bloque	2394980,11	3	798326,70	4,47	0,0350
Fertilización	7538,58	1	7538,58	0,04	0,8419
Plaguicidas	815002,70	1	815002,70	4,56	0,0615
Fertilización*Plaguicidas	644287,16	1	644287,16	3,60	0,0901
Error	1608761,02	9	178751,22		
Total	5470569,56	15			

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=478,18259

Error: 178751,2245 gl: 9

Fertilización	Medias	n
Foliar	5258,01	8 A
Suelo	5301,43	8 A

Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$)

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=478,18259

Error: 178751,2245 gl: 9

Plaguicidas	Medias	n
SP	5054,03	8 A
CP	5505,41	8 A

Letras distintas indican diferencias significativas($p \leq 0,05$)

Análisis de la Varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Peso 6,4m2	20	0,72	0,56	7,08

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	4492862,06	7	641837,44	4,52	0,0111
Bloque	2887414,05	3	962471,35	6,78	0,0063
Tratamiento	1605448,01	4	401362,00	2,83	0,0729
Error	1704342,65	12	142028,55		
Total	6197204,71	19			

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=849,45767

Error: 142028,5540 gl: 12

Tratamiento	Medias	n		
SF	4831,65	4	A	
SS	5276,40	4	A	B
SSP	5326,45	4	A	B
TT	5487,85	4	A	B
SFP	5684,38	4		B

CICLO 2011

D:\Furcal\Proyecto Silicio en Arroz\Labores proyecto de silicio 2011\Rendimiento de granos.IDB2: 14/12/2011 - 01:51:21 p.m.

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Rend. (t/ha)	20	0,49	0,20	9,18

Datos desbalanceados en celdas.

Para otra descomposición de la SC

especifique los contrastes apropiados.. !!

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	4,23	7	0,60	1,67	0,2075
Silicio	0,26	2	0,13	0,36	0,7059
Plaguicida	2,58	1	2,58	7,14	0,0203
Bloques	0,36	3	0,12	0,33	0,8033
Silicio*Plaguicida	1,03	1	1,03	2,84	0,1176
Error	4,34	12	0,36		
Total	8,57	19			

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=0,90039

Error: 0,3616 gl: 12

Silicio	Medias	n	E.E.	
Suelo	6,44	8	0,22	A
Foliar	6,56	8	0,22	A
Testigo	6,75	4	0,31	A

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

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=0,59196

Error: 0,3616 gl: 12

Plaguicida	Medias	n	E.E.	
Sin P	6,10	8	0,22	A
Con P	6,85	12	0,18	B

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

Tabla: 14/12/2011 - 09:22:12 a.m.

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Rend. (t/ha)	20	0,49	0,20	9,18

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	4,23	7	0,60	1,67	0,2075
Tratamiento	3,87	4	0,97	2,67	0,0836
Bloques	0,36	3	0,12	0,33	0,8033
Error	4,34	12	0,36		
Total	8,57	19			

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=1,35535

Error: 0,3616 gl: 12

Tratamiento	Medias	n	E.E.	
SF	5,91	4	0,30	A
SS	6,29	4	0,30	A
SSP	6,59	4	0,30	A
TT	6,75	4	0,30	A
SFP	7,22	4	0,30	A

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