

**Influencia de dos sistemas de riego en la
absorción de arsénico, y el crecimiento y
rendimiento de dos variedades de arroz
(*Oryza sativa*) bajo siembra directa e indirecta**

**Gustavo Francisco Pazmiño Sánchez
Ricardo Andrés Mendieta Argüello**

**Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano
Honduras**

Noviembre, 2018

ZAMORANO
CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA

Influencia de dos sistemas de riego en la absorción de arsénico, y el crecimiento y rendimiento de dos variedades de arroz (*Oryza sativa*) bajo siembra directa e indirecta

Proyecto especial de graduación presentado como requisito parcial para optar al título de Ingenieros Agrónomos en el Grado Académico de Licenciatura

Presentado por

Gustavo Francisco Pazmiño Sánchez
Ricardo Andrés Mendieta Argüello

Zamorano, Honduras

Noviembre, 2018

Influencia de dos sistemas de riego en la absorción de arsénico, y el crecimiento y rendimiento de dos variedades de arroz (*Oryza sativa*) bajo siembra directa e indirecta

**Gustavo Francisco Pazmiño Sánchez
Ricardo Andrés Mendieta Argüello**

Resumen. El arroz es un grano básico y el principal alimento para el 50% de la población mundial. Estudios recientes han demostrado que el cultivo del arroz bajo inundación tiene efectos negativos para la salud humana, porque es capaz de absorber y traslocar al grano mayores cantidades de arsénico que otros cultivos de granos básicos, además de aportar hasta un 10% del metano antropogénico total. El objetivo del estudio fue evaluar el efecto del riego por goteo e inundación en la acumulación de arsénico en el grano del arroz de dos variedades DICTA Playitas y DICTA Comayagua, sembradas en forma directa e indirecta, y en el crecimiento y rendimiento del cultivo. Este experimento se realizó en el lote 10, Zona II de Zamorano, a 790 msnm, temperatura promedio de 27 °C y precipitación de 360 mm en todo el ciclo. Se utilizó un diseño de bloques completos al azar en parcelas divididas, con cuatro repeticiones. Los resultados mostraron que el rendimiento bajo el riego por inundación fue superior al de goteo en un 35%. Así mismo, el macollamiento, la altura de planta y el peso específico del grano fueron mayores en el riego por inundación. La concentración de arsénico se vio afectada por los tres factores y las interacciones de riego × sistema de siembra y riego × siembra × variedad. El uso de riego por goteo redujo significativamente la absorción de arsénico en el cultivo, por lo que podría ser una práctica sostenible para el ambiente y la salud humana.

Palabras clave: Concentración de arsénico, riego por goteo, riego por inundación, salud.

Abstract. Rice is well known as a basic grain that represents the principal food source for 50% of the world's population. Recent studies have shown that the cultivation of rice under flood has negative effects on human health, because it is capable to absorb and translocate greater amounts of arsenic to the grain than other basic grain crops, in addition planting rice contributes a 10% to the total amount of anthropogenic methane on Earth. The purpose of the study was to test the effect of drip and flooding irrigation systems in the accumulation of the amount of arsenic in the grain of two rice varieties DICTA Playitas and DICTA Comayagua, sown directly and indirectly, and in the growth and yield of the crop. This experiment was carried out in the lot number 10, on Zone II in Zamorano, at 790 meters above sea level, the average temperature is of 27 °C and the precipitation of 360 mm throughout the cycle. The blocks that were studied were completely random and divided into plots with four repetitions. The results showed that the yield using flood irrigation was 35% superior compared to the one of drip irrigation. Likewise, rice tillering, height and specific grain weight were higher in flood irrigation. The concentration of arsenic was affected by the three factors and the interactions of irrigation × sowing and irrigation systems × sowing × plant variety. The use of drip irrigation reduced in a significant way the absorption of arsenic from the crop, so it could be a sustainable practice for the environment and human health.

Key words: Arsenic concentration, drip irrigation, flood irrigation, health.

CONTENIDO

Portadilla.....	i
Página de firmas.....	ii
Resumen.....	iii
Contenido.....	iv
Índice de Cuadros, Figuras y Anexos.....	v
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. MATERIALES Y MÉTODOS.....	3
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	15
4. CONCLUSIONES.....	23
5. RECOMENDACIONES.....	24
6. LITERATURA CITADA.....	25
7. ANEXOS.....	28

ÍNDICE DE CUADROS, FIGURAS Y ANEXOS

Cuadros	Página
1. Descripción de los 8 tratamientos del experimento y su codificación.	4
2. Descripción de los factores considerados en el estudio.....	5
3. Requerimientos nutricionales del arroz en kg/ha para la producción de una tonelada métrica de producto.....	8
4. Fraccionamiento en porcentaje de los nutrientes en tres aplicaciones a los 15, 25 y 55 días después de emergencia.....	9
5. Descripción en número de las dos parcelas experimentales homogenizadas para formar una muestra, según el croquis del experimento, y su respectiva rotulación enviada a la FHIA para los análisis de arsénico.	12
6. Significancia del efecto de los factores en las variables de número de macollas por planta, altura de la planta y días a floración en el lote 10 de Zona II, en Zamorano, Honduras.	15
7. Efecto independiente de la variedad y el sistema de riego en el número de macollas por planta en la producción de arroz en el lote 10 de Zona II, en Zamorano, Honduras.	16
8. Efecto de la interacción entre el sistema de riego y el sistema de siembra en la altura de la planta en la producción de arroz del lote 10 de Zona II, en Zamorano, Honduras.....	16
9. Efecto de la interacción entre el sistema de riego y variedad en la altura de la planta en la producción de arroz del lote 10 de Zona II en Zamorano, Honduras	17
10. Efecto de la interacción entre el sistema de riego y sistema de siembra en los días a floración en la producción de arroz en el lote 10 de Zona II, en Zamorano, Honduras.....	17
11. Significancia del efecto de los factores sobre las variables de rendimiento, peso específico del grano y concentración de arsénico en el grano en la producción de arroz del lote 10 de Zona II, en Zamorano, Honduras.....	18
12. Efecto de la interacción entre sistema de riego y sistema de siembra en el rendimiento en la producción de arroz en el lote 10 de Zona II, en Zamorano, Honduras.....	18
13. Efecto de la interacción entre sistema de siembra y variedad en el rendimiento en la producción de arroz del lote 10 de Zona II, en Zamorano, Honduras.	19
14. Efecto de la interacción entre sistema de siembra y variedad en el rendimiento en la producción de arroz del lote 10 de Zona II, en Zamorano, Honduras	19
15. Efectos independientes de la variedad, sistema de siembra y sistema de riego en el peso específico de 1000 semillas en la producción de arroz del lote 10 de Zona II, en Zamorano, Honduras.....	20

16. Resultados de los análisis de agua y suelo inicial y final en la concentración de arsénico.....	21
17. Efecto de la interacción entre el sistema de riego, sistema de siembra y variedad en la concentración de arsénico en el grano en la producción de arroz del lote 10 de Zona II en Zamorano, Honduras.....	22

Figuras Página

1. División del lote en parcelas según el sistema de riego (A) Parcela del riego por inundación, la cual consta de cuatro bloques divididos por diques. (B) Parcela del riego por goteo, la cual consta de cuatro bloques divididos por calles	3
2. Diseño de campo, el cual detalla los ocho tratamientos (identificados por el mismo color), 4 bloques o repeticiones (señalado en la imagen), y la aleatorización de los tratamientos dentro de cada bloque.	4
3. Diseño de la parcela de riego por inundación con sus respectivas medidas.	6
4. Diseño de lote de riego por goteo con sus respectivas medidas.....	6
5. Diseño del semillero para una sola variedad con sus respectivas medidas.	7
6. Trasplante de las plántulas a las cuatro hileras correspondientes por parcela experimental.	8
7. Cosecha manual de las parcelas experimentales (A) Corte manual con tijeras de podar de los tallos, como mínimo 5 cm por debajo de la panícula. (B) Recolecta de las panículas en baldes rotulados con el número de la parcela experimental..	11
8. Croquis individual de una parcela experimental, indicando el área de la cual se obtuvo los datos de las variables macollamiento, altura de la planta, rendimiento, peso de 1000 granos y concentración de arsénico en el grano.	13
9. Parcela experimental de riego por inundación con floración al 100%.....	13
10. Medición de la altura de la planta con un flexómetro de una de las parcelas experimentales del sistema de riego por inundación.	14

Anexos Página

1. Resultados otorgados por la FHIA del análisis de arsénico de la laguna de Zona II y del suelo del lote ocupado para el experimento, antes del establecimiento del mismo.	28
2. Analisis de suelos del lote #10 realizado en el laboratorio de suelos de la Escuela Agricola Panamericana.....	30
3. Analisis de arsenico realizado por la FHIA a las 16 muestras de grano, una de tejido y dos de suelo.	31

1. INTRODUCCIÓN

El arroz está dentro de la categoría de los granos básicos y es el principal alimento de más del 50% de la población mundial. Químicamente, el arroz contiene vitaminas y aminoácidos esenciales, y el 80% del grano está compuesto por almidón, brindando más del 20% de los requerimientos energéticos diarios de los seres humanos, superando los aportes nutricionales del maíz y del trigo (FAO 2004). En el 2017, la producción mundial de arroz fue de 760 millones de toneladas métricas y registro un crecimiento del 0.6% en comparación con el año 2016 (FAO 2018). El incremento de la población mundial y por ende de la demanda de este grano, obliga a los agricultores a desarrollar nuevos métodos de producción que sean eficientes en el uso de los recursos disponibles (FAO 2005).

Existen diferentes sistemas de producción del cultivo de arroz, los cuales están basados en la forma adecuada de suplir la demanda hídrica al cultivo de la manera más eficiente. A nivel comercial, el arroz es producido bajo riego y arroz de secano. Cuando se produce bajo riego, es común, realizar riegos por inundación, bajo el cual, el cultivo se mantiene bajo una lámina de agua de 2 a 4 pulgadas (Echeverría 2015). La planta no presenta ningún daño por ahogamiento, por ser considerada una gramínea semiacuática (Olmos 2007). Según Jara y Benavides (2014) este sistema de producción tiene un rendimiento en grano, en promedio de 6.5 a 7 toneladas por hectárea en parcelas experimentales.

El otro sistema de producción común, es conocido como sistema de secano. El arroz de secano, tiene como principio, usar agua lluvia para suplir el requerimiento de agua del cultivo. El cultivo demanda una tasa de precipitación anual mínima de 1,500 mm o inviernos que aporten como mínimo 1,000 mm de lámina de agua (SAG 2003). Sin embargo, cuando el agua lluvia no llega a proveer la tasa de precipitación mínima para el cultivo, el requerimiento hídrico se puede complementar con la adición de agua de una fuente suplementaria. Cuando esto sucede, al sistema de producción de secano se le denomina, secano favorecido. En Honduras, el arroz de secano rinde de 2.7 a 3.5 toneladas por hectárea (Jara y Benavides 2014). En la Escuela Agrícola Panamericana, desde el año 2014, la Unidad de Granos y Semillas ha realizado investigaciones en el cultivo de arroz. Estos estudios han tenido su enfoque, en comparar los sistemas de riego tradicionales, inundación y aspersión, contra el sistema de riego por goteo.

El riego por goteo, es un sistema usado tradicionalmente en cultivos de maíz, sorgo, caña de azúcar, soya, frijol y otros, pero, en la actualidad no se cuenta con estudios o producción comercial en arroz bajo este sistema de riego. Al implementar el sistema de riego por goteo en arroz, se debe mantener el suelo saturado de agua al 100% (Argueta 2017). La razón de probar en el cultivo, el riego por goteo, radica en tres argumentos principales. La poca disponibilidad y alto costo del agua en la actualidad, las altas emisiones de gases

contaminantes del arroz producido por inundación y la absorción de arsénico, un metal pesado y tóxico que se acumula en el arroz producido por inundación de 10 a 20 veces más que en otros cereales (Bastías y Beldarrain 2016).

El arroz es cultivado por dos sistemas de siembra, la siembra directa e indirecta. El sistema de siembra directa consiste en depositar la semilla directamente en el suelo, sin realizar labor alguna con la semilla, previo a la siembra. Por otro lado, la siembra indirecta consiste en colocar la semilla en un vivero o semillero, únicamente para la producción de plántulas. Estas plántulas son trasladadas al campo definitivo después de un periodo de tiempo en el vivero. (Tinoco y Acuña 2009).

En este estudio, se usaron dos variedades liberadas en el 2010 en Honduras, por la Secretaría de Agricultura y Ganadería (SAG). Estas fueron liberadas con los nombres de DICTA Playitas FL6-88 y DICTA Comayagua FL4-20. DICTA Playitas posee un rendimiento promedio a nivel nacional de hasta 6.4 t/ha, mientras que DICTA Comayagua tiene un potencial de rendimiento promedio de 5.8 t/ha (DICTA 2012).

Los principales productores de este cultivo a nivel mundial son China, India, Indonesia y Bangladesh (FAO 2018). En este último país ocurrió, según la OMS, el mayor caso de envenenamiento por arsénico de la historia. Los primeros estudios tuvieron su enfoque en la contaminación del agua potable, cuya fuente fueron ríos cuyo lecho rocoso es rico en arsénico. Posteriormente, se descubrió que, aparte de la contaminación directa por el consumo de agua potable, también había contaminación indirecta al consumir alimentos, cuya producción consto de fuentes hídricas contaminadas de arsénico. Dentro de esos cultivos, el arroz tiende a acumular de 10 a 20 veces más arsénico que otros cereales, debido a su morfología y condiciones de producción única en comparación con otros cultivos (FAO 2006).

En el año 2012, se conoció que los principales sitios donde se produce arroz en USA, contenían niveles altos de arsénico inorgánico y orgánico por el excesivo uso de pesticidas elaborados con base en compuestos arsenicales (Medina 2018). Esto derivó en una preocupación para el gobierno de la república de Honduras, país que importaba de USA el 70% de arroz a consumir (FAO 2012). Adicionalmente, según FAO (2007), las prácticas de riego distintas a las prácticas tradicionales (riego por inundación) acumulan menos arsénico. En Bangladesh se evaluó la producción por lechos elevados, pequeñas camas elevadas como máximo a 15 cm de altura versus el sistema de producción común. La producción con lechos elevados reduce el anegamiento y por ende la concentración de arsénico fue menor que en riego por inundación. Con estos antecedentes, se intenta comparar el uso del riego por goteo en la producción de arroz, como alternativa a las prácticas convencionales de riego por inundación para reducir o eliminar el riesgo de intoxicación con arsénico.

Bajo este contexto se presenta el siguiente objetivo:

- Evaluar el efecto del sistema de riego por goteo e inundación en la absorción de arsénico, y el crecimiento y rendimiento de las variedades de arroz DICTA Playitas y DICTA Comayagua en siembras directa e indirecta.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación del estudio.

El experimento se llevó a cabo en el lote #10 de Zona II en la Escuela Agrícola Panamericana Zamorano, en el departamento de Francisco Morazán, Honduras. El lote está a una altura de 790 msnm, con una temperatura promedio de 27 ° C y con una precipitación de 360 mm durante todo el ciclo de cultivo.

Cultivo.

El cultivo usado para esta investigación fue el arroz (*Oryza Sativa*), de dos variedades comunes en las zonas productoras de arroz del país.

Diseño experimental.

El estudio se estableció bajo un diseño estadístico de parcelas divididas con bloques completamente al azar, siendo la parcela principal, el sistema de riego y las parcelas experimentales, la interacción entre variedades y sistemas de siembra. Para ello, antes de la aleatorización, se dividió el lote en dos parcelas según el sistema de riego aplicado, inundación o goteo. Estas parcelas estuvieron separadas por una calle de 5 m. Los tratamientos tuvieron cuatro bloques o repeticiones, los cuales estaban separados por diques necesarios para la construcción de piscinas en el riego por inundación. En el riego por goteo, las parcelas no fueron separadas por diques, sino que solamente por calles (Figura 1).

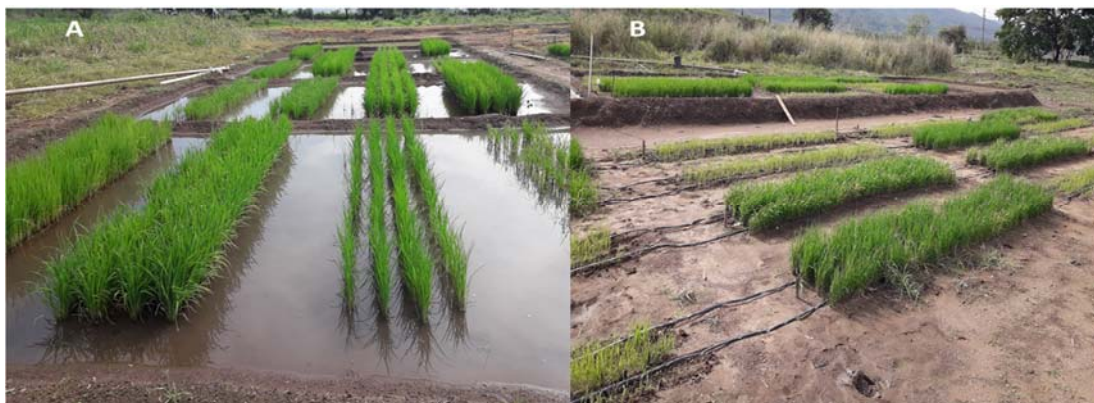


Figura 1. División del lote en parcelas según el sistema de riego (A) Parcela del riego por inundación, la cual consta de cuatro bloques divididos por diques. (B) Parcela del riego por goteo, la cual consta de cuatro bloques divididos por calles.

El estudio constó de 8 tratamientos derivados de la interacción de tres factores como son sistema de riego, variedad y sistema de siembra. Para facilitar el manejo en campo, se realizó una codificación de cada uno de los tratamientos (Cuadro 1).

Cuadro 1. Descripción de los 8 tratamientos del experimento y su codificación.

Numero	Tratamientos			Codificación del tratamiento
	Sistema de riego	Variedad	Sistema de siembra	
1	Inundación	D. Playitas	Directa	R1-V1-S1
2	Inundación	D. Playitas	Indirecta	R1-V1-S2
3	Inundación	D. Comayagua	Directa	R1-V2-S1
4	Inundación	D. Comayagua	Indirecta	R1-V2-S2
5	Goteo	D. Playitas	Directa	R2-V1-S1
6	Goteo	D. Playitas	Indirecta	R2-V1-S2
7	Goteo	D. Comayagua	Directa	R2-V2-S1
8	Goteo	D. Comayagua	Indirecta	R2-V2-S2

D. Playitas = DICTA Playitas FL6-88

D. Comayagua = DICTA Comayagua FL4-20

Cada tratamiento constó de cuatro repeticiones o bloques resultando en 32 parcelas experimentales o denominadas subparcelas. Cada parcela (sistema de riego) tuvo 16 parcelas experimentales que fueron aleatorizadas de manera que cada bloque contenga los cuatro tratamientos correspondientes a cada parcela (Figura 2).



Figura 2. Diseño de campo, el cual detalla los ocho tratamientos (identificados por el mismo color), 4 bloques o repeticiones (señalado en la imagen), y la aleatorización de los tratamientos dentro de cada bloque.

Los factores considerados para el estudio fueron: dos sistemas de riego, dos variedades nacionales de arroz y dos métodos de siembra (Cuadro 2).

Cuadro 2. Descripción de los factores considerados en el estudio.

Factor		
Sistema de riego	Variedad	Sistema de siembra
Inundación	DICTA Playitas FL6-88	Directa
Goteo	DICTA Comayagua FL4-20	Indirecta

Análisis estadístico.

El análisis estadístico se realizó utilizando el Sistema de Análisis Estadístico, SAS[®], versión 9.4. y se hizo una separación de medias con el método Duncan.

Manejo del cultivo.

Análisis de suelo y fuente de agua. Antes del establecimiento del experimento, se realizó un análisis de metales pesados, específicamente para arsénico en el suelo y en el agua de riego. La muestra de suelo fue obtenida de seis puntos aleatorios del lote, con ayuda de un barreno. Esta muestra fue homogenizada y llevada a un peso de 1 kg. Para la muestra de agua, se recolectó un litro de agua de la laguna de Zona II: El agua de esta laguna es usada para el riego de los cultivos que se establecen en los diferentes lotes a lo largo del año. Las dos muestras fueron rotuladas y enviadas a la FHIA para sus respectivos análisis.

Para que el experimento pueda cumplir sus objetivos, se debía verificar que exista presencia de arsénico en el suelo y en el agua a usar para riego. Para considerar que un sustrato sólido y un líquido tengan presencia de arsénico, existen valores mínimos estandarizados internacionalmente y conocidos como “norma”. En consecuencia, se procedió con el inicio del experimento.

Preparación y delimitación del terreno. Previamente al establecimiento del estudio, el lote estuvo ocupado por frijol (*Phaseolus vulgaris*). Luego de su cosecha, se pasó la rastra liviana para incorporar los residuos del cultivo anterior al suelo. Debido a que el experimento posee dos sistemas de riego, se dividió el lote en dos partes no iguales.

La parcela de riego por inundación constó con un largo de 20 m y un ancho de seis metros. Dentro de esta parcela, se establecieron cuatro piscinas de cuatro metros de largo y seis metros de ancho cada una, dejando calles entre cada una de las piscinas. Las calles que separaban las piscinas tenían un metro de ancho, mientras que las calles de los bordes tenían 50 cm de ancho. Las bordas de la piscina tuvieron una altura de 30 cm. Se niveló el suelo de cada piscina para mantener una tabla de agua. Posteriormente, se compactó el suelo, con

el objetivo de eliminar los macroporos para reducir la infiltración y pérdida de agua. Las parcelas experimentales se delimitaron con cabuya y estacas de tal manera que cada parcela tenía un ancho de 0.6 m, una separación con los diques laterales de 0.4 m y entre parcelas una distancia de 0.6 m. El ancho de los diques laterales fue de 50 cm, mientras que los que separaban los bloques era de 1 m (Figura 3).

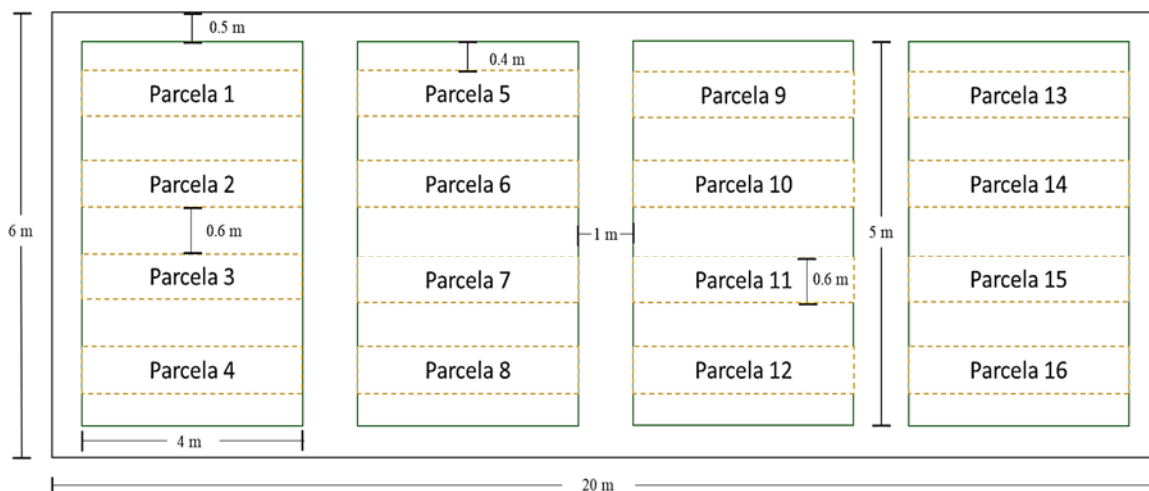


Figura 3. Diseño de la parcela de riego por inundación con sus respectivas medidas.

En cuanto al espacio otorgado a las parcelas con el sistema de riego por goteo, su preparación solo consistió de mullir el suelo con piocha y azadón. La delimitación del área para este sistema fue de 19 m de largo y 4.2 m de ancho. Entre bloques había una separación de 1 m, y entre parcelas una separación de 0.6 m, igual que el ancho de las mismas (Figura 4).

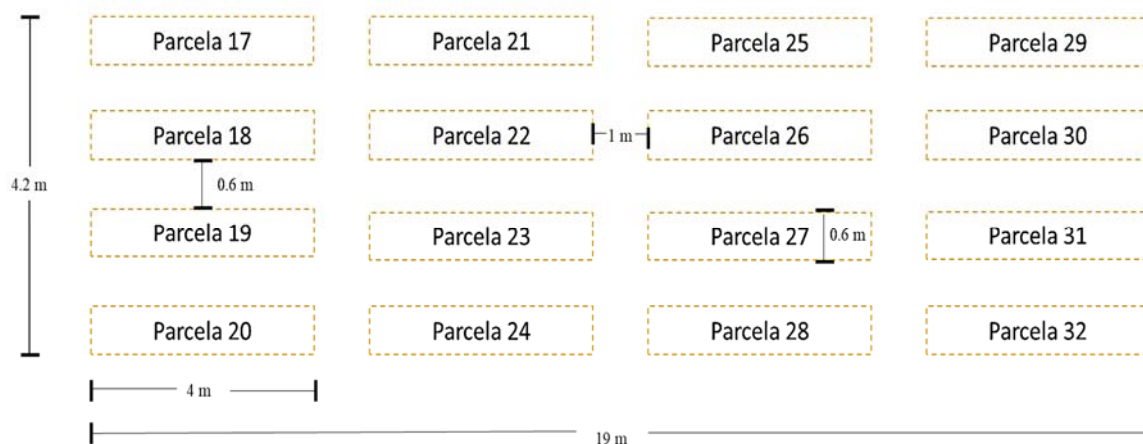


Figura 4. Diseño de lote de riego por goteo con sus respectivas medidas.

Siembra. El 18 de abril del 2018, se realizó la siembra de 16 parcelas, correspondientes al método de siembra directa. En ocho parcelas se sembró DICTA Playita FL6-88 y en otras ocho DICTA Comayagua FL4-20. Cada parcela contaba con cuatro hileras o surcos de 4 m de largo, separadas por 20 cm cada una. Según Jara y Benavides (2014), el mejor rendimiento en grano se obtiene con una densidad de siembra de 118.2 kg de semilla por hectárea. Las semillas de las dos variedades tuvieron un porcentaje de germinación del 95%. Hay 65 semillas por gramo de arroz (Gomez 2012). Con cada uno de estas condicionantes, se distribuyeron por hilera 646 semillas, esperando la emergencia de 614 plantas.

Semillero. Se brindó un espacio cerca al experimento para la construcción de cuatro camas destinadas a ser semillero. Es importante recalcar que no se controlaron las condiciones climáticas como se realiza, por lo general, en viveros o semilleros dedicados a la producción de plántulas. Se sembraron las variedades DICTA Playita FL6-88 y DICTA Comayagua FL4-20, cada una en dos camas, para su posterior trasplante a las parcelas experimentales correspondientes al sistema de siembra indirecto. El terreno asignado para el semillero tuvo un largo de 8 m con un ancho de 6.6 m. Cada una de las camas tuvo un ancho de 1.2 m y un largo de 8 m, con una distancia de 1.8 m de centro a centro de cama y una separación entre cama de 0.6 m (Figura 5).

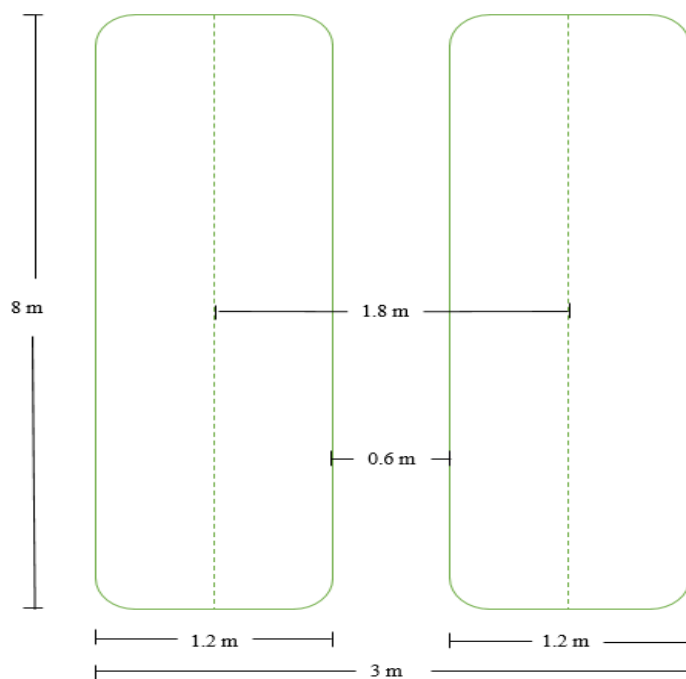


Figura 5. Diseño del semillero para una sola variedad con sus respectivas medidas.

Se consideró el mismo dato usado para la siembra, en el que por una hilera de una parcela se requieren sembrar 646 semillas en el semillero. Dentro del semillero se sembró a una distancia de 5 cm entre hileras ubicadas horizontalmente, colocando 65 semillas a lo largo de la hilera de 1.2 m. La siembra del semillero fue en el mismo día de la siembra directa a las parcelas.

Trasplante. Treinta días después de la siembra del semillero, se procedió a realizar el trasplante a las parcelas de siembra indirecta, correspondiendo el croquis del experimento en cuanto a las variedades. Se extrajeron las plantas del semillero, se colocaron en bandejas y llevaron a las parcelas correspondientes. Se contaron 614 plántulas para colocarlas en las hileras de 4 m con una separación aproximada de 7 mm entre planta (Figura 6).



Figura 6. Trasplante de las plántulas a las cuatro hileras correspondientes por parcela experimental.

Riego por goteo. Mediante el uso de la cinta de riego marca AZUDLINE[®] se llevaba a diario el suelo a un 100% de saturación con la aplicación de una lámina de agua de 9 mm/día por cuatro horas. Se colocó dos cintas por parcela, una cinta en el centro de dos hileras.

Riego por inundación. Las piscinas se mantuvieron con una lámina de agua de entre 76 y 102 mm durante todo el ciclo del cultivo. A diario se medía con una cinta métrica el alto de la lámina para tomar la decisión de administrar agua o no a las piscinas.

Fertilización. Se realizó un plan de fertilización basado en los requerimientos del cultivo y en la presencia de nutrientes en el suelo, según los análisis.

El cálculo se realizó, de acuerdo a las recomendaciones de Bertsch (2009), quien brinda valores promedio del requerimiento en kilogramos de N, P y K para la producción de una tonelada métrica de producto. A los valores obtenidos para la producción de una t/ha de grano, se los multiplicó por 7 t/ha, resultado del promedio de los rendimientos en experimentos anteriores entre el sistema de riego por goteo e inundación (Cuadro 3).

Cuadro 3. Requerimientos nutricionales del arroz en kg/ha para la producción de una tonelada métrica de producto

t/ha	Requerimiento de nutriente en kg/ha		
	Nitrógeno	Fosforo	Potasio
1	21	4	25
7	147	28	175

Fuente: Bertsch (2009).

A posterior, se calculó la cantidad a aplicar obteniendo la diferencia entre los requerimientos según literatura y la concentración de los mismos en el suelo. El fraccionamiento de las fertilizaciones se realizó de acuerdo a las curvas de absorción de N, P, K, detalladas por Bertsch (2009). Para este experimento, se fraccionó en tres partes la fertilización para ser aplicada durante el ciclo del cultivo (Cuadro 4).

Cuadro 4. Fraccionamiento en porcentaje de los nutrientes en tres aplicaciones a los 15, 25 y 55 días después de emergencia.

Número de aplicación	DDE*	Porcentaje de nutriente (%)		
		Nitrógeno	Fosforo	Potasio
1	15	40	100	30
2	25	40	0	40
3	55	20	0	30

DDE= Días después de emergencia

En cuanto a los microelementos, se realizó aplicaciones a partir del día 80, usando 1 L de Ultrafert, nombre comercial del fertilizante foliar usado en el experimento.

Control de malezas. Para el control de malezas de las parcelas, se realizó control químico y manual. A los 20 días de la siembra se aplicó Propanil y clomazone, un herbicida selectivo para arroz de nombre comercial Arromax[®]. Propanil controla un amplio espectro de hojas anchas y ciperáceas, complementado con clomazone que ataca principalmente a las gramíneas. La aplicación se realizó en las dos parcelas y en el semillero. Posteriormente, el control se realizó manualmente cada quince días. Dentro de las parcelas experimentales se desmalezó a mano y dentro de las piscinas y bloques, desde los diques y calles hasta los límites de las parcelas experimentales, se desmalezo con azadón. Cabe resaltar que este herbicida no está elaborado en base a moléculas arsenicales, situación que de ser positiva, afectaría el estudio.

Control de enfermedades. La estrategia para el control de patógenos en el experimento fue aplicar ciertos fungicidas de diferentes familias químicas y mecanismos de acción desde la etapa de diferenciación, aún sin presencia de los patógenos, 80 días después de siembra (DDS). Al inicio de la etapa fenológica de reproducción, la planta detiene el origen de nuevos brotes, se enfoca en la elongación de los ya establecidos y a la vez comienza con la

preparación de la planta para la floración. Por historial de los cultivares de arroz en la EAP en años anteriores, se conoce que desde esta etapa fenológica los patógenos se manifiestan intensivamente. Al ser esta una investigación enfocada en conocer ciertas variables productivas, se busca mantener el cultivo libre de patógenos para que los resultados no se vean afectados por la presencia de una enfermedad por algún periodo en específico.

El control de patógenos se realizó rotando tres fungicidas comerciales para un correcto manejo de enfermedades. La primera aplicación constó de la mezcla de dos fungicidas físicamente compatibles, Benomyl y Nativo[®], los cuales se recomienda usar como máximo dos veces por ciclo de cultivo. El fungicida cuyo ingrediente activo es el Benomyl, de la familia benzimidazol, actúa curativamente contra *Pyricularia Oryzae*, *Cercospora Oryzae* y *Helminthosporium Oryzae*. Nativo[®] posee dos ingredientes activos Tebuconazole y Trifloxystrobin los cuales al ser de las familias químicas triazol y estrobirulina, respectivamente, tienen un espectro de control muy amplio sobre varios patógenos. Después de quince días se aplicó Mancozeb, fungicida protectante con un espectro de acción amplio. Diez días después por la baja residualidad de mancozeb, se usó de nuevo Nativo[®]. Quince días después se aplicó Benomyl de nuevo. Ninguno de los fungicidas aplicados está elaborado en base a compuestos arsenicales.

Control de insectos. Se aplicó la misma estrategia usada en el control de enfermedades. Sin embargo, solo se realizaron dos aplicaciones de insecticidas debido a la baja incidencia de insectos en las parcelas del experimento. A los 85 días después de siembra se empleó el insecticida Conquest[®], cuyos ingredientes activos son Lambdacihalotrina y Tiametoxam. A los 110 DDS se realizó la segunda aplicación con el insecticida Connect[®], compuesto de Imidacloprid y Beta-ciflutrina, dos ingredientes activos con distinto mecanismo de acción. A pesar de que dos de los ingredientes activos pertenezcan a la familia de los Piretroides, grupo químico de insecticidas que en su mayoría de ingredientes activos tienen compuestos arsenicales, los usados en este estudio, no contenían.

Cosecha. Antes de la cosecha, se monitoreó el porcentaje de humedad del grano. Se recomienda que el porcentaje de humedad a cosecha sea no menor a 22% y no mayor a 26%, ya que el arroz se cosecha mecánicamente casi en el 100% de los casos. Para verificar la humedad, se obtuvieron cuatro panículas de las dos hileras centrales de las 32 parcelas experimentales. Se desgranaron las panículas, se contaron 100 granos y se pesaron en una balanza. Se introdujo en un horno a 60 °C, por tres días. Al finalizar este periodo, se pesó y mediante una fórmula se estimó el porcentaje de humedad de las muestras. Solo se cosechaban las parcelas que habían llegado al valor óptimo de humedad para cosecha. Sin embargo, por carecer de tiempo, las parcelas experimentales con sistema de siembra indirecta, del sistema de riego por inundación se cosecharon con humedades que rondaban el 29-30%, manualmente.

La cosecha se realizó cortando con tijeras de podar el tallo principal de cada planta como mínimo 5 cm por debajo de la panícula, y se colocó las mismas en un balde rotulado por parcela experimental, para su posterior desgrane y limpieza (Figura 7).

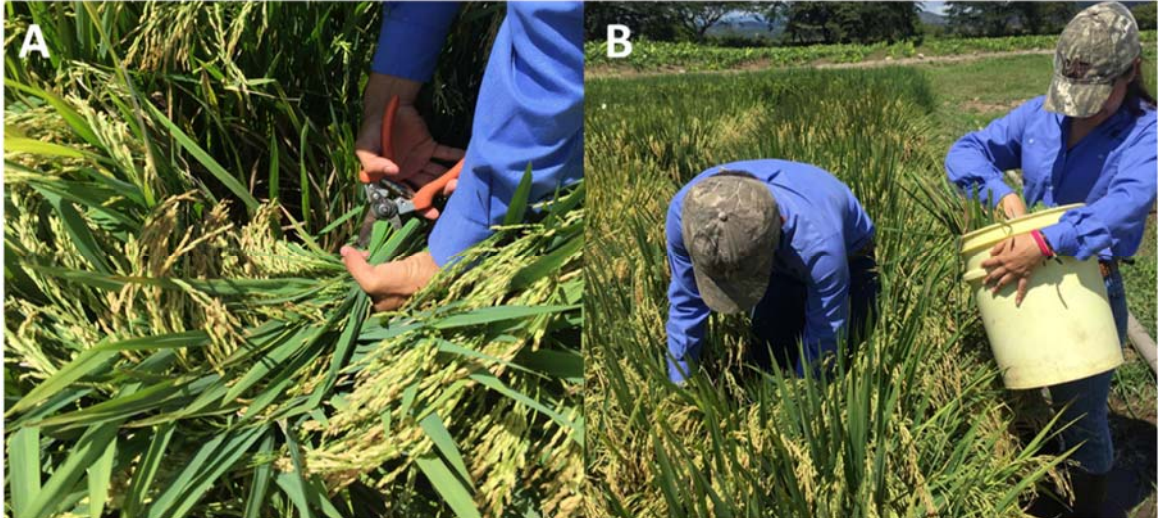


Figura 7. Cosecha manual de las parcelas experimentales (A) Corte manual con tijeras de podar de los tallos, como mínimo 5 cm por debajo de la panícula. (B) Recolecta de las panículas en baldes rotulados con el número de la parcela experimental.

Preparación de muestras para análisis de arsénico. El cuadro 5 lista los tratamientos o muestras tomadas y preparadas para ser enviadas para análisis. Se usó el grano cosechado en los cuales se evaluó la variable de rendimiento y peso específico de 1000 granos. Aleatoriamente unimos dos parcelas por tratamiento en una sola bandeja. Con la ayuda del homogeneizador del laboratorio de granos y semillas de la EAP, se homogenizo la muestra obtenida de las dos repeticiones. Además de que con un ventilador se limpió la muestra de residuos de polvo, grano vano o grano malformado. Se pesaron 300 gramos de grano y se colocaron en una bolsa plástica, la cual había sido rotulada por números no correspondientes al número de parcela experimental (Cuadro 5).

Cuadro 5. Descripción en número de las dos parcelas experimentales homogenizadas para formar una muestra, según el croquis del experimento, y su respectiva rotulación enviada a la FHIA para los análisis de arsénico.

Tratamiento codificado	Parcelas experimentales unidas para formar una muestra	Rotulación de muestra para el análisis de arsénico
R1-V1-S1	8-16	1-10
R1-V2-S2	2-7	2-11
R1-V2-S1	11-13	5-12
R1-V1-S2	3-6	6-9
R1-V2-S2	4-5	7-13
R1-V1-S1	1-10	14-3
R1-V1-S2	9-14	8-16
R1-V2-S2	12-15	4-15
R2-V1-S1	17-24	17-26
R2-V1-S1	26-32	29-23
R2-V2-S1	18-29	22-25
R2-V2-S1	23-27	28-31
R2-V2-S2	20-28	19-30
R2-V2-S2	21-31	24-32
R2-V1-S2	22-25	20-22
R2-V1-S2	19-30	27-18

Así como se realizó un análisis de arsénico de suelo del lote antes de establecer el experimento, se realizó el mismo análisis en la etapa final del ciclo de cultivo. Se obtuvieron dos muestras de suelo, una del sistema de riego por goteo y otra del sistema de riego por inundación. Estas muestras fueron obtenidas del suelo por debajo de las plantas recién cosechadas, de por lo menos uno de los cuatro tratamientos correspondientes a cada sistema de riego. La muestra obtenida de parcela de uno de los tratamientos fue homogenizada con las otras tres muestras de los tratamientos restantes por parcela.

Adicionalmente, también se hizo un análisis de tejido representando en una sola muestra obtenida de las 32 parcelas experimentales. Estas tres muestras no se pudieron analizar estadísticamente, pero sirvieron como indicadores de comparación de la absorción de arsénico por los dos sistemas de riego.

Variables medidas.

Macollamiento. Al día 70 después de siembra (DDS), se tomaron ocho unidades de producción (plantas ya macolladas) de cada parcela experimental, en forma aleatoria, para contar el número de macollas. Las unidades de producción solo podían ser obtenidas de las dos hileras centrales de cada parcela experimental. No se tomaron en cuenta para muestreo de macollamiento la primera y cuarta hilera, ni tampoco, el primer metro de cada extremo de la parcela experimental, lo anterior para evitar el efecto borde (Figura 8).

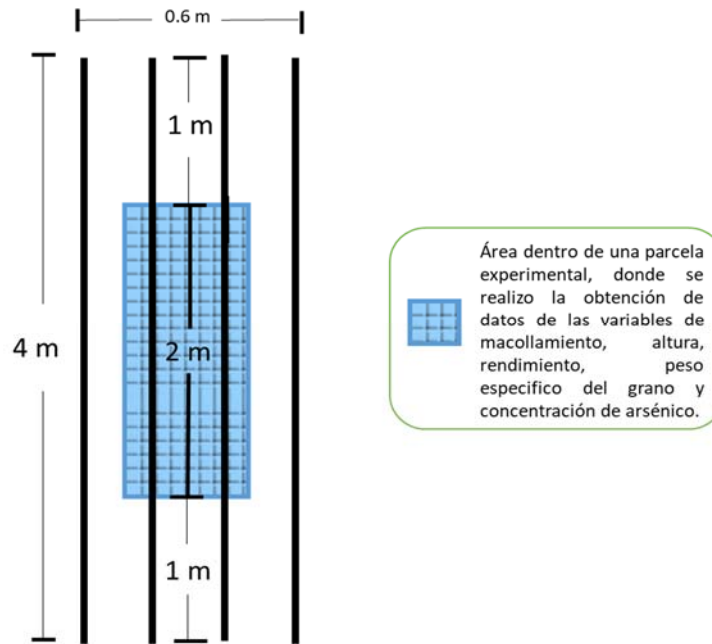


Figura 8. Croquis individual de una parcela experimental, indicando el área de la cual se obtuvo los datos de las variables macollamiento, altura de la planta, rendimiento, peso de 1000 granos y concentración de arsénico en el grano.

Días a floración. Se realizó un monitoreo cada 2 días a partir del día 80 DDS, puesto que según la ficha técnica de las variedades estudiadas, la floración ocurre entre los días 90 a 105 del cultivo (DICTA 2012). Se tomó la variable conocida como DF-50, la cual requiere que el 50 % de las plantas hayan florecido (muestra de la panícula) para registrar el día a floración de cada parcela experimental (Figura 9).



Figura 9. Parcela experimental de riego por inundación con floración al 100%

Altura de la planta. Quince días después de alcanzar el 100% de floración en cada parcela, se llevó a cabo la medición de la altura de 8 plantas escogidas de forma aleatoria, dentro del área detallada en la figura 8. El dato se obtuvo al medir con un flexómetro, desde la base, sobre la superficie del suelo, hasta el nudo terminal de la planta (Figura 10).



Figura 10. Medición de la altura de la planta con un flexómetro de una de las parcelas experimentales del sistema de riego por inundación.

Rendimiento. Para obtener el rendimiento de las parcelas, se cosecho el área detallada en la Figura 8. Se cortó los tallos de las plantas dentro de los 2 m lineales de las dos hileras centrales. Se desgrano las panojas, se limpió y elimino todo material vegetativo. Se pesó el grano obtenido, en una balanza. A posterior se procedió a secar el grano, en un horno por tres días a 60 °C para obtener la humedad y ajustar el peso a una humedad de 13%.

Peso de 1,000 granos. De las muestras obtenidas para evaluar rendimiento y después del secado en el horno, se contaron 1000 granos y se obtuvo el peso final del grano. El peso específico fue también ajustado al 13%.

Concentración de arsénico en el grano. Los análisis para determinar la concentración de arsénico en el grano, suelo, agua y tejido se realizaron en la Fundación Hondureña de Investigación Agrícola (FHIA). Se enviaron 300 gramos de grano por muestra. En el laboratorio químico agrícola de la FHIA, se realizó mediante espectrometría de absorción atómica el análisis de arsénico. El método ejecutado por la FHIA, es detallado en la sección 3114 B de la Asociación Americana de Salud Pública (APHA 2005).

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El número de macollas obtenidas por planta se vio afectada por los factores sistema de riego y variedades de forma independiente. La variable altura de la planta presentó diferencia significativa en los tres factores de forma independiente, además de la interacción entre sistema de riego × variedades y sistema de riego × sistema de siembra. En los días a floración del cultivo influyeron el sistema de riego y el sistema de siembra de forma independiente, además de la interacción entre estos dos (Cuadro 6).

A continuación, se discutirán los resultados del efecto simple del factor riego y variedad para las macollas, mientras que, en el caso de las variables de altura y floración, se describe el efecto de la interacción de los factores que presentaron diferencias significativas.

Cuadro 6. Significancia del efecto de los factores en las variables de número de macollas por planta, altura de la planta y días a floración en el lote 10 de Zona II, en Zamorano, Honduras.

Factores	Macollas	Altura	Floración
Sistema de riego	0.0002 **	0.0001 **	0.0001 **
Sistema de siembra	0.89 ns	0.0001 **	0.0001 **
Variedades	0.002 **	0.0001 **	0.54 ns
S. riego × Variedades	0.77 ns	0.02 *	0.71 ns
S. siembra × Variedades	0.13 ns	0.55 ns	0.39 ns
S. riego × S. siembra	0.66 ns	0.0001 **	0.0005 **
S. riego × S. siembra × Variedades	0.87 ns	0.99 ns	0.9 ns

*, **, ns Significativo al (P<0.05) y (P<0.01), y no significativo.

La variedad DICTA Comayagua tuvo mayor número de macollas en comparación con la variedad DICTA Playitas. El sistema de riego por inundación produjo mayor número de macollas con una media de 7 macollas por unidad de producción *versus* el sistema de riego por goteo, que obtuvo 6 macollas (Cuadro 7).

En referencia al número de macollas obtenido por variedad, los resultados coinciden con Argueta (2017), quien mostro que la variedad DICTA Playitas brinda menor número de brotes por unidad de producción en comparación con DICTA Comayagua. Mientras que al evaluar el número de macollas en el factor riego, hay coincidencia con los resultados de Echeverría (2015) quien demuestra que el cultivo de arroz desarrollo mayor número de

brotos por unidad de producción bajo una lámina de agua constante mínima de 76 mm. Paez y Barrios (1995) afirman que la condición ideal para la expresión del potencial genético total del cultivo de arroz es bajo el sistema de riego por inundación, por ser considerada una planta semiacuática.

Cuadro 7. Efecto independiente de la variedad y el sistema de riego en el número de macollas por planta en la producción de arroz en el lote 10 de Zona II, en Zamorano, Honduras.

Factor		Número de macollas	Factor		Número de macollas
Variedad	Comayagua	7 a ^ε	Sistema de riego	Inundación	7 a
	Playitas	6 b		Goteo	6 b

^ε Medias con distinta letra en la misma columna indican diferencia significativa ($P \leq 0.05$)

El sistema de riego inundación y siembra indirecta expresó la mayor altura de planta, obteniendo 80.4 cm. Mientras que los tratamientos bajo el sistema de riego por goteo no tuvieron diferencia significativa, obteniendo las alturas más bajas (Cuadro 8).

Esta diferencia pudo haberse debido a que el arroz bajo siembra indirecta estuvo aproximadamente 20 días más en la etapa fenológica vegetativa, lo cual permitió que la planta tenga mayor elongación.

Cuadro 8. Efecto de la interacción entre el sistema de riego y el sistema de siembra en la altura de la planta en la producción de arroz del lote 10 de Zona II, en Zamorano, Honduras.

Sistema de riego	Altura (cm)	
	Sistema de siembra Indirecta	Sistema de siembra Directa
Inundación	80.4 a ^ε	70.5 b
Goteo	58.9 c	58.4 c

^ε Medias con distinta letra en la misma columna indican diferencia significativa ($P \leq 0.05$)

El tratamiento bajo el sistema de riego por inundación y la variedad DICTA Playitas expresó una mayor altura de planta de 79 cm, mientras que el riego por goteo y la variedad DICTA Comayagua obtuvo la menor altura de 57 cm (Cuadro 9).

El sistema de inundación obtuvo mayor altura, independientemente de la variedad. Esta diferencia se debe a que el suelo bajo el sistema de riego por goteo no se mantuvo saturado permanentemente (100% saturado) durante todo el ciclo del cultivo, por lo cual el crecimiento de las plantas se vio afectado en periodos que no hubo precipitación.

Cuadro 9. Efecto de la interacción entre el sistema de riego y variedad en la altura de la planta en la producción de arroz del lote 10 de Zona II, en Zamorano, Honduras.

Sistema de riego	Altura (cm)	
	Variedad	
	Playitas	Comayagua
Inundación	79 a [€]	72 b
Goteo	60 c	57 d

[€] Medias con distinta letra en la misma columna indican diferencia significativa ($P \leq 0.05$)

El sistema de riego por goteo en siembra indirecta necesitó mayor cantidad de días para alcanzar el 50% de la floración, mientras que el arroz bajo inundación y siembra directa necesitó alrededor de 19 días menos para alcanzar el mismo porcentaje de floración en la parcela (Cuadro 10).

Esta diferencia pudo deberse a que el sistema de riego por goteo no estuvo 100% saturado de manera permanente, ocasionando esporádicamente algún estrés hídrico en las parcelas durante la canícula entre los 70 y 85 DDS, inicio de la etapa reproductiva. Por lo cual la floración se retrasó en las parcelas experimentales bajo riego por goteo. El estrés hídrico presente al inicio de esta etapa, retrasa los procesos fisiológicos de la planta (Quintero 2009).

Cuadro 10. Efecto de la interacción entre el sistema de riego y sistema de siembra en los días a floración en la producción de arroz en el lote 10 de Zona II, en Zamorano, Honduras.

Sistema de riego	Floración	
	Sistema de siembra	
	Indirecta	Directa
Goteo	122 a [€]	120 b
Inundación	108 c	103 d

[€] Medias con distinta letra en la misma columna indican diferencia significativa ($P \leq 0.05$)

El rendimiento obtenido se vio afectado por los tres factores de forma independiente y de las interacciones entre estos, a excepción de la interacción triple. El peso específico de 1,000 granos se vio afectado por los tres factores de forma independiente, sin embargo, no presentó ningún efecto bajo alguna interacción. Mientras que la concentración de arsénico en el grano se vio afectada por los tres factores de forma independiente, por la interacción entre el sistema de riego y sistema de siembra y la interacción triple entre los factores del estudio (Cuadro 11).

A continuación, se detallarán los tratamientos individuales de los tres factores para el peso específico, mientras que, en el caso de las variables rendimiento y concentración de

arsénico, se detallaran únicamente las interacciones de factores que presentaron diferencias estadísticamente significativas.

Cuadro 11. Significancia del efecto de los factores sobre las variables de rendimiento, peso específico del grano y concentración de arsénico en el grano en la producción de arroz del lote 10 de Zona II, en Zamorano, Honduras.

Factores	Rendimiento	Peso específico 1,000 granos	Arsénico en grano
Sistema de riego	0.0001 **	0.0003 **	0.008 **
Sistema de siembra	0.0001 **	0.004 **	0.007 **
Variedades	0.0001 **	0.0002 **	0.03 *
S. riego × Variedades	0.001 **	0.08 ns	0.06 ns
S. siembra × Variedades	0.01 *	0.5 ns	0.058 ns
S. riego × S. siembra	0.0001 **	0.07 ns	0.0001 **
S. riego × S. siembra × Variedades	0.8 ns	0.6 ns	0.002 **

*, **, ns Significativo al (P<0.05) y (P<0.01), y no significativo.

El riego por inundación y siembra directa obtuvo el mejor rendimiento, con un valor de 12.1 t/ha. Mientras que la interacción entre el riego por goteo y la siembra indirecta obtuvo hasta un 35% menos (Cuadro 12).

Los resultados obtenidos concuerdan con Echeverría (2015), donde demuestra que el cultivo bajo una lámina de agua de 102 mm obtiene mayores rendimientos en comparación a otros sistemas de riego. Según FONAIAP (1995), el cultivo de arroz muestra gran afinidad del cultivo hacia altas láminas de agua, lo cual favorece el rendimiento de arroz bajo sistemas de inundación.

Cuadro 12. Efecto de la interacción entre sistema de riego y sistema de siembra en el rendimiento en la producción de arroz en el lote 10 de Zona II, en Zamorano, Honduras.

Sistema de riego	Rendimiento(t/ha)	
	Sistema de siembra	
	Directa	Indirecta
Inundación	12.1 a [€]	10.7 b
Goteo	7.5 c	7.3 d

[€] Medias con distinta letra en la misma columna indican diferencia significativa (P ≤ 0.05).

El sistema de inundación y la variedad DICTA Playitas obtuvo el mejor rendimiento, 11.7 t/ha, seguido por DICTA Comayagua bajo inundación, 11 t/ha. Mientras que con riego por

goteo obtuvo menores rendimientos, independientemente de la variedad utilizada (Cuadro 13).

Los resultados obtenidos concuerdan con Jara y Benavides (2014), quienes demostraron mejores resultados bajo el sistema por inundación. La variedad DICTA Playitas bajo riego por inundación obtuvo mayor rendimiento con una media de 11.7 t métricas de grano por hectárea. Según DICTA (2012), el rendimiento de la variedad DICTA Playitas es superior al alcanzado por DICTA Comayagua.

Cuadro 13. Efecto de la interacción entre sistema de siembra y variedad en el rendimiento en la producción de arroz del lote 10 de Zona II, en Zamorano, Honduras.

Rendimiento (t/ha)		
Sistema de riego	Variedades	
	Playitas	Comayagua
Inundación	11.7 a ^ε	11.0 b
Goteo	7.4 c	7.3 c

^ε Medias con distinta letra en la misma columna indican diferencia significativa ($P \leq 0.05$)

La variedad DICTA Playitas bajo siembra directa obtuvo un rendimiento superior. Mientras que la siembra indirecta no tuvo diferencia significativa, obteniendo los rendimientos más bajos (Cuadro 14).

Los resultados obtenidos bajo siembra indirecta difieren de los obtenidos en experimentos anteriores, donde demuestran que el rendimiento bajo este sistema de siembra fue mayor que el sistema de siembra tradicional (Fuentes 2009). La diferencia de estos resultados puede deberse a que en el experimento realizado en el 2009 utilizaron plantas obtenidas de viveros donde contaban con condiciones ambientales controladas, mientras que en el actual experimento se utilizaron plantas de viveros donde no se controlaban estas condiciones.

Cuadro 14. Efecto de la interacción entre sistema de siembra y variedad en el rendimiento en la producción de arroz del lote 10 de Zona II, en Zamorano, Honduras

Rendimiento (t/ha)		
Sistema de siembra	Variedades	
	Playitas	Comayagua
Directa	9.9 a ^ε	9.4 b
Indirecta	9.1 c	9.0 c

^ε Medias con distinta letra en la misma columna indican diferencia significativa ($P \leq 0.05$)

La variable peso específico del grano se vio afectada de forma directa por los tres factores, de forma independiente mas no por la interacción de ninguno de ellos. La variedad DICTA Playita, el método de siembra directa y el sistema de riego por inundación fueron los que obtuvieron mayor peso específico con valores de 32.2, 30.4 y 30.5 gramos respectivamente (Cuadro 15).

Estos resultados no coinciden con los experimentos desarrollados anteriormente, los cuales mostraron que no existe diferencia significativa en el peso específico de 1000 granos al momento de aplicar cualquier sistema de riego (Echeverría 2015; Monasterio *et al.* 2012). Posiblemente esta diferencia se deba a que las plantas bajo el sistema de riego por goteo se vieron afectados por la canícula que se presentó durante los 15 primeros días de la etapa de floración, siendo esta el punto más sensible del desarrollo del cultivo (Quintero 2009).

Cuadro 15. Efectos independientes de la variedad, sistema de siembra y sistema de riego en el peso específico de 1000 semillas en la producción de arroz del lote 10 de Zona II, en Zamorano, Honduras.

Factor		Peso específico (g)
Variedad	Playita	32.2 a [€]
	Comayagua	28.0 b
Sistema de siembra	Directa	30.4 a
	Indirecta	20.8 b
Sistema de riego	Inundación	30.5 a
	Goteo	29.7 b

[€] Medias con distinta letra en la misma columna indican diferencia significativa ($P \leq 0.05$)

Antes de realizar el experimento, se tomaron muestras de suelo y agua para determinar la cantidad de arsénico presente en estos. Los resultados indicaron que el agua de la laguna de Zona II tenía una concentración de 2.27 ug/litro de arsénico, valor muy por debajo de 10 ug/litro que es la norma para que un líquido se considere contaminada por arsénico. Sin embargo, el suelo mostró un valor de 12.64 ppm, valor por encima de la norma de 5 ppm, que es la norma para que un suelo no se considere contaminado por este metal (Cuadro 16) (Presidencia de la Republica Ecuador 2013).

El uso de plaguicidas y agua contaminada han sido consideradas como las principales fuentes de contaminación de este elemento en el suelo (Mercado *et al.* 2009). Por lo cual se volvió a realizar un análisis de suelo para determinar la concentración de arsénico al final del experimento. Definitivamente aumentó la cantidad de arsénico en el suelo bajo los dos sistemas de riego. Sin embargo, el área ocupada por el sistema de riego por goteo aumentó la cantidad de arsénico en 58%, en comparación con el sistema de riego por inundación que solo aumentó 1%. Esto debido a que en el sistema de riego por inundación solo se hizo cuatro recambios de agua para labores de fertilización, mientras que las parcelas establecidas bajo el sistema de riego por goteo estuvieron expuestas a la fuente de agua,

durante cuatro horas diarias por todo el ciclo de cultivo. La concentración de arsénico presente en el suelo del sistema de riego por goteo pudo quedarse adherida a las partículas del suelo, en comparación al arsénico presente en el suelo bajo el sistema de riego por inundación, que se trasloco a la planta.

Cuadro 16. Resultados de los análisis de agua y suelo inicial y final en la concentración de arsénico

Muestras	Goteo		Inundación	
	Agua µg/L	Suelo mg/kg	Agua µg/L	Suelo mg/kg
Inicial	2.27	12.64	2.27	12.64
Final	-	20.02	-	12.66
Norma	10	5	10	5

- indica que no se realizó análisis de la fuente de agua al culminar el experimento.

Se observó la concentración de arsénico más alta de 4.52 mg/kg en la interacción entre el sistema de inundación, siembra directa y la variedad Dicta Comayagua (Cuadro 17). Los resultados obtenidos sobrepasan el nivel máximo permitido en el arroz de 0,2 mg/kg (FAO 2008). Sin embargo, la interacción entre el sistema de riego por inundación, siembra indirecta y las dos variedades presentaron medias menores significativamente que las sembradas directamente en sistema de riego por inundación. Las parcelas de siembra indirecta alcanzaron la etapa reproductiva 20 días después en comparación a las parcelas de siembra directa. Por lo cual se cree que estas plantas necesitaban más días para traslocar el arsénico a la planta. Probablemente la translocación del arsénico al grano ocurre en la última etapa del cultivo.

El bajo nivel de arsénico presente en el grano bajo el sistema de riego por goteo puede ser comparado con experimentos desarrollados en lechos elevados (camellones de máximo 20 cm de altura), ya que en ninguno de los experimentos hay anegamiento del suelo. En este estudio demostraron disminuir la cantidad de arsénico concentrada en el grano, además de reducir en un 35% la cantidad de agua utilizada durante el ciclo del cultivo (FAO 2007).

Según Bastías y Beldarrain (2016), las concentraciones de arsénico van disminuyendo al momento de ocurrir la translocación desde la raíz hasta el grano. En otras palabras, las concentraciones decaen a medida el órgano de la planta está más alejado de la fuente del metal, el suelo.

Cuadro 17. Efecto de la interacción entre el sistema de riego, sistema de siembra y variedad en la concentración de arsénico en el grano en la producción de arroz del lote 10 de Zona II en Zamorano, Honduras.

Concentración de arsénico en el grano (mg/kg)				
Sistema de siembra				
Sistema de riego	Directa		Indirecta	
	Comayagua	Playitas	Comayagua	Playitas
Inundación	4.52 a ^ε	3.07 b	0.0018 c	0.0184 c
Goteo	0.0018 c	0.0018 c	0.0018 c	0.0018 c

^ε Medias con distinta letra en la misma columna indican diferencia significativa ($P \leq 0.05$)

4. CONCLUSIONES

- Los sistemas de riego por goteo e inundación afectaron las variables de crecimiento y desarrollo del cultivo.
- El sistema de siembra influyó en todas las variables estudiadas a excepción del número de macollas por planta.
- Las variedades DICTA Playitas FL6-88 y DICTA Comayagua FL4-20 tuvieron efecto en todas las variables a excepción de los días a floración.
- La concentración de arsénico en el grano se vio afectada por la interacción de los tres factores del estudio.

5. RECOMENDACIONES

- Realizar un análisis económico comparando el costo/beneficio de los dos sistemas de riego utilizados en el estudio.
- Realizar un estudio pre-comercial con los dos sistemas de riego, la variedad DICTA Playitas FL6-88 y el sistema de siembra directa, y evaluar la concentración de arsénico en las diferentes etapas fenológicas.
- Caracterizar los lotes de producción de Zamorano, en cuanto a la acumulación de arsénico y otros metales.
- Establecer normas en el ámbito legislativo, las cuales castiguen y sancionen a los productores de arroz que ofrezcan al mercado grano contaminado por arsénico, de esta manera promover la implementación del riego por goteo.
- Realizar en el laboratorio de la Escuela Agrícola Panamericana los análisis de arsénico, esto debido a los altos costos que aporta el realizar los análisis en empresas externas.

6. LITERATURA CITADA

- American Public Health Association (APHA). 2005. Metodo 3114: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. Metals by hydride generation atomic absorption spectrometry. [consultado 2018 sep 30]. <https://law.resource.org/pub/us/cfr/ibr/002/apha.method.3114.1992.pdf>.
- Argueta C. 2017. Efecto de la humedad de suelo en arroz (*Oryza sativa* L.) bajo el sistema de riego por goteo, a dos densidades de siembra [Tesis]. Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano-Honduras. 21 p. [consultado 2018 agt 28]. <https://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/6048/1/CPA-2017-012.pdf>.
- Bastías JM, Beldarrain T. 2016. Arsenic translocation in rice cultivation and its implication for human health. *Chilean J. Agric.* 76(1):114–122. eng. doi:10.4067/S0718-58392016000100016.
- Bertsch F. 2009. Absorción de nutrimentos por los cultivos. 1ª ed. ACCSA. Costa Rica. 308 p.
- Dirección de Ciencia y Tecnología Agropecuaria (DICTA). 2012. Descripción de las variedades de arroz: Programa Nacional de Semillas [Programa Nacional de Arroz]. Honduras. 3 p. [consultado 2018 sep 30]. <http://www.dicta.hn/files/2016- Caracteristicas-agronicas-variedad-de-arroz-Dicta-Playitas,-F.pdf>.
- Echeverría O. 2015. Efecto de tres sistemas de riego y dos variedades en el rendimiento de arroz (*Oryza sativa*) bajo dos métodos de siembra [Tesis]. Escuela Agrícola Panamericana Zamorano-Honduras. 23 p. [consultado 2018 agt 22]. <https://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/4578/1/CPA-2015-031.pdf>.
- FAO. 2004. Arroz y la Nutrición Humana: Año internacional del arroz. <http://www.fao.org/rice2004/es/f-sheet/hoja3.pdf>.
- FAO. 2005. El arroz es la vida: Incrementar la producción sostenible de arroz, clave de la seguridad alimentaria mundial. [consultado 2018 agt 4]. <http://www.fao.org/newsroom/es/focus/2004/36887/index.html>.
- FAO. 2006. Amenaza de arsénico en Bangladesh. Departamento de Agricultura y protección del consumidor. [consultado 2017 nov 14]. <http://www.fao.org/ag/esp/revista/0605sp1.htm>.

- FAO. 2007. La amenaza del arsénico en el arroz, reducir los niveles de arsenico en el arroz mediante practicas de riego mejoradas. Roma. [consultado 2017 nov 09]. <http://www.fao.org/newsroom/es/news/2007/1000734/index.html>.
- FAO. 2008. La remediación de arsénico para el desarrollo sostenible de la agricultura, la seguridad alimentaria y la salud en Bangladesh. Departamento de Ordenación de Recursos Naturales y Medio Ambiente - Gestión de las Aguas. [consultado 2017 nov 09]. http://www.fao.org/nr/wman/abst/wman_080102_es.htm.
- FAO. 2012. Preocupación en Honduras por el arsénico encontrado en el arroz importado de Estados Unidos. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Honduras. [consultado 2018 agt 04]. <http://www.fao.org/in-action/agronoticias/detail/es/c/510590/>.
- FAO. 2018. Seguimiento del Mercado del Arroz de la FAO, producción mundial de arroz en cascara. [consultado 2018 sep 5]. 21(1). <http://www.fao.org/3/I9243ES/i9243es.pdf>.
- FONAIAP. 1995. Efecto del Manejo de riego y la densidad de siembra en el cultivo de arroz en la Portuguesa. CORINA. Caracas, Venezuela. 25 p.
- Fuentes L. 2009. Efectos de la siembra directa y el trasplante en el rendimiento del arroz, en áreas de productores privados. [Tesis]. Universidad Ilich Lenin de las Tunas. Cuba. 46 p. [consultado 2018 oct 09]. <http://roa.ult.edu.cu/bitstream/123456789/884/1/Liusmila%20%20Fuentes.pdf>.
- Gomez C. 2012. Uso de Variedades de arroz por diferentes sectores productivos de Honduras: Programa Nacional de Arroz. Honduras: Secretaría de Agricultura y Ganadería (SAG). [consultado 2018 oct 01]. 23 p. [file:///D:/Downloads/USO-DE-VARIEDADES-DE-ARROZ-POR-DIFERENTES-SECTORES-PRODUCTIVOS%20\(4\).pdf](file:///D:/Downloads/USO-DE-VARIEDADES-DE-ARROZ-POR-DIFERENTES-SECTORES-PRODUCTIVOS%20(4).pdf).
- Jara E, Benavides A. 2014. Comparación de tres sistemas de riego para la producción de arroz con tres densidades de siembra en Zamorano [Tesis]. Escuela Agrícola Panamericana Zamorano-Honduras. 27 p. [consultado 2018 agt 22]. <https://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/3445/1/CPA-2014-013.pdf>.
- Medina M. 2018. Ingesta de Arsenico: El impacto en la alimentación y la salud humana. Medica Expo. [consultado 2018 agt 03]. 35:93–102. eng. <https://www.scielosp.org/pdf/rpmesp/2018.v35n1/93-102/es>.
- Mercado M, García ME, Quintanilla J. 2009. Evaluación de los Niveles de Contaminación por Plomo y Arsénico en muestras de Suelos y productos Agrícolas Procedentes de la región cercana al Complejo metalúrgico Vinto. Rev. Bol. Química. [consultado 2018 oct 06]. 26(2):101–110. eng. http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0250-54602009000200009&lng=es&tlng=pt.

- Olmos S. 2007. Morfología y Fases fenológicas de la planta de arroz: Apunte de morfología y fenología. Universidad Nacional del Nordeste. Argentina. [consultado 2018 agt 22]. 13 p. <http://www.acpaarrozcorrientes.org.ar/academico/Apunte-MORFOLOGIA.pdf>.
- Paez O, Barrios C. 1995. Efecto de la interacción densidad de siembra lámina de agua sobre el crecimiento, desarrollo y producción de arroz en época de verano. Facultad Agronoma. Mexico [consultado 2018 oct 05]. [///D:/Respaldo/C/Users/carlos.argueta/Downloads/11548-11819-1- PB%20\(4\).pdf](///D:/Respaldo/C/Users/carlos.argueta/Downloads/11548-11819-1- PB%20(4).pdf).
- Presidencia de la Republica Ecuador. 2013. Norma de Calidad Ambiental del recurso suelo y criterios de remediación para suelos contaminados: Criterios de Calidad de suelo. Anexo 2. [consultado 2018 oct 01]. 6:341–370. <http://extwprlegs1.fao.org/docs/pdf/ecu112181.pdf>.
- Quintero C. 2009. Factores limitantes para el crecimiento y productividad del arroz en Entre Ríos, Argentina. [Tesis]. Universidade da Coruña. Argentina. 179 p; [consultado 2018 oct 09]. <https://core.ac.uk/download/pdf/61897928.pdf>.
- Secretaría de Ganadería y Agricultura (SAG). 2003. Manual Técnico para el cultivo del arroz: Programa de arroz. Comayagua, Honduras: 59 p. [consultado 2018 de agt 22]. <https://curlacavunah.files.wordpress.com/2010/04/el-cultivo-del-arroz.pdf>.
- Tinoco R, Acuña A. 2009. Manual de recomendaciones técnicas cultivo de arroz. San Jose, Costa Rica. [consultado 2018 oct 03]. http://www.platicar.go.cr/images/buscador/documents/pdf/2018/Cultivo_de_arroz_Tinoco_2009_min_edited.pdf

7. ANEXOS

Anexo 1. Resultados otorgados por la FHIA del análisis de arsénico de la laguna de Zona II y del suelo del lote ocupado para el experimento, antes del establecimiento del mismo.



FUNDACIÓN HONDUREÑA DE INVESTIGACIÓN AGRÍCOLA



CODIGO: RT-41
Versión No. 2
Pág. 1/2

Laboratorio Químico Agrícola INFORME DE RESULTADOS DE ENSAYO

Cliente: Escuela Agrícola Panamericana	Muestra No.: 0494
Dirección: Valle del Yeguaré, Fco. Morazán.	Fecha de Ingreso: 2018/04/19
Contacto: Dr. Renán Pineda	Fecha de Ejecución del Análisis: 2018/04/25 - 27
Entregada Por: Encomienda	Solicitud #: 40757
Mtra. Recolectada Por: El cliente	Factura #: 0384
Matriz: Agua superficial para riego	Informe: Lqa #0189/18
Condiciones de recepción de mtra: Cantidad suficiente, conservada en hielo y en un envase adecuado suministrado por el cliente, no preservada por el cliente.	
Identificación: "Agua de Laguna Zona II"	Fecha de Emisión de Informe: 2018, Abril 27

Determinación Química	Resultado	Norma	Método
Arsénico [As] *	2.27 ± 0.13 µg/L	10 µg/L	3114-C

Norma: Norma Técnica Nacional para la Calidad del Agua Potable, según Acuerdo No. 84 Julio 10, 1995.
Método: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 22th edition 2012.

* Ensayo Acreditado (ver alcance en www.eca.or.cr)

** Ensayo No Acreditado

por *Arturo Suárez*
Arturo Suárez, Ph.D.
Jefe Lab. Químico Agrícola



www.fhia.org/hn/lqa/agua-superficial-para-riego/lqa0189/18

Los resultados presentados corresponden únicamente a las muestras suministradas por el cliente al Laboratorio Químico Agrícola de la FHIA.
Este informe de Resultados de Ensayos no es válido legalmente, en su totalidad, en la legislación vigente del país. Químico Agrícola de la FHIA.

Apartado Postal 2067, San Pedro Sula, Cortés, Honduras, C.A.
Tels. PBX: (504) 2668-2470, 2668-2827, 2668-2864, Fax: (504) 2668-2313
Correo electrónico: fhia@fhia-hn.org
La Lima, Cortés, Honduras, C.A.
www.fhia.org/hn

Anexo 2. Analisis de suelos del lote #10 realizado en el laboratorio de suelos de la Escuela Agricola Panamericana



LABORATORIO DE SUELOS ZAMORANO
INFORME DE RESULTADOS DE ANÁLISIS DE SUELOS

LSZ-F126-1
 VERSIÓN V03

Sistema de Gestión de Calidad ISO 17025

Solicitante	Fecha Ingreso Muestra	Fecha Envío Informe	Procedencia de la muestra	Página			
Módulo Granos Semillas	2018-01-31	2018-02-12	EAP, Zamorano	1 de 1			
Dirección del cliente	N° Lote de Análisis	Cultivo	Informe N°	Anexo Recomendación			
Eap, Zamorano	2018-04	--	2018-024	Sí:		No:	x

	Bajo
	Medio
	Alto

Código Interno Lab.	Muestra	pH (H ₂ O)	g/100g			mg/Kg (extractable)				
			C.O.	M.O.	N _{total}	P	K	Ca	Mg	Na
18-S-0161	Suelo/Tesis	6.09	1.289801	2.22	0.11	206	543	1848	144	28
Rango Medio			2.00	0.20	13	Por: Saturación de bases				
			4.00	0.50	30					

Métodos: K, Ca, Mg, Na: Solución extractora Mehlich 3, determinados por espectrofotometría de absorción atómica. P: Solución extractora Mehlich 3, determinado por colorimetría. % Carbono Orgánico: Metodo de Walkley & Black para suelos minerales no salinos con incertidumbre de ±0.04 (C.O.= 58% de MO) % N total: 5% de M.O. pH: 1:1 en agua: AOAC 994.16 rango de 4,00-7,00 con incertidumbre de ±0,10.

El laboratorio no se hace responsable por el estado de la muestra al ingresar a nuestras instalaciones. Los resultados se relacionan solo con las muestras recibidas. El laboratorio se exonera de responsabilidad por reproducción parcial o total del informe, o el uso que pueda darsele. El lote de análisis remite la fecha de ejecución de análisis. Se utiliza coma como separador decimal según el sistema internacional de Unidades

Responsable del análisis: E. Aguilera
 Ing. Eusebio Aguilera Núñez

Vo.Bo.: GA
 Dra. Gloria Arévalo de Gauggel
 Directora Unidad de Suelos



E-mail: laboratoriosuelos@zamorano.edu, ggaggel@zamorano.edu., Tel: (504) 2287-2000 ext. 2316 Fax: (504) 2287-6242 Cel: 9969-6846
 Laboratorio de Suelos, Departamento de Ciencia y Producción Agropecuaria Apartado Postal # 93 Tegucigalpa-Honduras. Km 30 Carret. Danlí

Anexo 3. Analisis de arsenico realizado por la FHIA a las 16 muestras de grano, una de tejido y dos de suelo.



FUNDACIÓN HONDUREÑA DE INVESTIGACIÓN AGRÍCOLA

CODIGO: RT-41
Versión No. 2
Pág. 1/2

**Laboratorio Químico Agrícola
INFORME DE RESULTADOS DE ENSAYO**

Cliente: Escuela Agrícola Panamericana	Muestra No.: 1073 - 1082
Dirección: Valle del Yeguaré, Fco. Morazán.	Fecha de Ingreso: 2018/09/24
Contacto: Dr. Renán Pineda	Fecha de Ejecución del Análisis: 2018/09/26 – 2018/10/01
Entregada Por: Encomienda	Solicitud #: 41396
Mtra. Recolectada Por: El cliente	Factura #: 01883
Matriz: Hoja, Suelo, Grano de arroz (con casulla)	Informe: Lqa #0484/18
Condiciones de recepción de mtra: Cantidad suficiente, envase adecuado suministrado por el cliente.	
Identificación: ---	Fecha de Emisión de Informe: 2018, Octubre 01

Lab. No.	Identificación	Arsénico (As)
		mg/kg
1073	Hoja. Tejido	0.40
1074	Suelo. Gateo	20.02
1075	Suelo. Inun.	12.65
1076	1 - 10	2.80
1077	2 - 11	3.63
1078	5 - 12	5.40
1079	6 - 9	0.035
1080	7 - 13	<0.0018
1081	14 - 3	<0.0018
1082	8 - 16	<0.0018
Método		3050 EPA/EAA-Hidruros

Método: (EPA) Environmental Analysis 3rd. Third Edition 1997.
(EAA) Espectrofotómetro de Absorción Atómica.


Arturo Suárez, Ph. D.
Jefe Lab. Químico Agrícola



mo/miac/SoL41394/18n0484/18

Los resultados presentados son meramente informativos a las muestras suministradas por el cliente al Laboratorio Químico Agrícola de la FHIA.
Este informe de Resultados de Análisis no se puede reproducir, copiar ni su totalidad, ni su reproducción, en ningún caso, sin el consentimiento escrito de la FHIA.

Apartado Postal 2067, San Pedro Sula, Cortés, Honduras, C.A.
Tels. PBX: (504) 2668-2470, 2668-2827, 2668-2864, Fax: (504) 2668-2313
Correo electrónico: fhia@fhia-hn.org
La Lima, Cortés, Honduras, C.A.
www.fhia.org.hn



FUNDACIÓN HONDUREÑA DE INVESTIGACIÓN AGRÍCOLA

CODIGO: RT-41
Versión No. 2
Pág. 2/2

Laboratorio Químico Agrícola
INFORME DE RESULTADOS DE ENSAYO

Cliente: Escuela Agrícola Panamericana	Muestra No.: 1083 - 1091
Dirección: Valle del Yeguaire, Fco. Morazán.	Fecha de Ingreso: 2018/09/24
Contacto: Dr. Renán Pineda	Fecha de Ejecución del Análisis: 2018/09/26 – 2018/10/01
Entregada Por: Encomienda	Solicitud #: 41396
Mtra. Recolectada Por: El cliente	Factura #: 01883
Matriz: Grano de arroz (con casulla)	Informe: Lqa #0484-A/18
Condiciones de recepción de mtra: Cantidad suficiente, envase adecuado suministrado por el cliente.	
Identificación: ---	Fecha de Emisión de Informe: 2018, Octubre 01

Lab. No.	Identificación	Arsénico (As)
		mg/kg
1083	4 - 15	<0.0018
1084	17 - 26	3.34
1085	29 - 23	<0.0018
1086	22 - 25	<0.0018
1087	28 - 31	<0.0018
1088	20 - 22	<0.0018
1089	19 - 30	<0.0018
1090	24 - 32	<0.0018
1091	27 - 18	<0.0018
Método		3050 EPA/EAA-Hidruros

-----U.L-----

Método: [EPA] Environmental Analysis 3rd. Third Edition 1997.
[EAA] Espectrofotómetro de Absorción Atómica.

Arturo Suárez
Arturo Suárez, Ph.D.
Jefe Lab. Químico Agrícola



no./lqa/tel/41396/lqa0484-A/18

Los resultados presentados corresponden únicamente a las muestras suministradas por el cliente al Laboratorio Químico Agrícola de la FIA.

Este informe de resultados de ensayo no se podrá reproducir excepto en la totalidad de la reproducción escrita del Lab. Químico Agrícola de la FIA.

Apartado Postal 2067, San Pedro Sula, Cortés, Honduras, C.A.
Tels. PBX: (504) 2668-2470, 2668-2827, 2668-2864, Fax: (504) 2668-2313
Correo electrónico: fhia@fhia-hn.org
La Lima, Cortés, Honduras, C.A.