

Efecto de niveles de hierro sobre dos variedades de arroz en dos condiciones hídricas

Joffre David Arregui Silvavela

Zamorano

Departamento de Agronomía

Agosto, 1998

Efecto de niveles de hierro sobre dos variedades de arroz en dos condiciones hídricas

Proyecto especial presentado como requisito parcial para optar
al título de Ingeniero Agrónomo en el Grado
Académico de Licenciatura

presentado por

Joffre David Arregui Silvavela

Zamorano-Honduras
Agosto, 1998

El autor concede a Zamorano permiso para reproducir y distribuir copias de este trabajo para fines educativos. Para otras personas físicas o jurídicas se reservan los derechos de autor.

Joffre David Arregui Silvavela

Zamorano-Honduras
Agosto, 1998

**Efecto de niveles de hierro sobre dos variedades de arroz en dos
condiciones hídricas**

presentado por

Joffre David Arregui Silvavela

Aprobada:

Pablo E. Paz, Ph. D.
Asesor Principal

Juan Carlos Rosas, Ph. D.
Jefe del Departamento de Agronomía

Ana Margoth de Andrews, Ph. D.
Asesora

Antonio Flores, Ph. D.
Decano Académico

Juan José Alán, Ph. D.
Asesor

Keith L. Andrews, Ph. D.
Director

Juan José Alán, Ph. D.
Coordinador PIA

DEDICATORIA

Al *Señor*, por guiar siempre mi camino y haberme permitido alcanzar una de las metas en mi vida.

A *mis padres y hermanas*, por el apoyo y confianza que han depositado en mí.

AGRADECIMIENTOS

A mi asesor principal Dr. Pablo Paz, por su confianza y guía en la realización de este trabajo.

A la Dr. Ana M. Andrews, por su aporte profesional para llevar a cabo este estudio.

Al Dr. Juan José Alán, por sus consejos y aportes para llevar a cabo este trabajo.

A mis amigos Rodolfo Pacheco, Edison Jerez, Julio Hasing, Juan Peñaherrera, Carlos Bravo, Andrés Macías, Juan J. Olaechea, Pedro Vargas, Marco Haro, Alvaro Perez, Augusto Terán, Hemerson Salazar, Guillermo Toruño, Jaime Del Carmen, José García, Christian Chicaiza, René Barrientos, Emilio Luque, Carlos Carpio, Federico Charris y todos mis compañeros del PIA, por los momentos compartidos en Zamorano.

Al personal del Departamento de Agronomía, por su apoyo al desarrollo de este trabajo.

AGRADECIMIENTO A PATROCINADORES

Agradezco a mis tíos Alfredo Marún Abii-saad y Marco Arregui Marún por haber contribuido con el financiamiento necesario para lograr una de las cosas más importantes y preciadas, mi formación profesional.

Agradezco a la Fundación Privada “Wilson Popenoe” por financiar parcialmente mis estudios en el Programa de Agrónomo.

RESUMEN

Arregui, Joffre 1998. Efecto de niveles de hierro sobre dos variedades de arroz en dos condiciones hídricas, 50 p.

Debido a la situación por la que atraviesa la seguridad alimentaria latinoamericana y al gran consumo e importancia económica del arroz se realizó esta investigación. La producción continua de arroz bajo condiciones de inundación produce acumulación de altos contenidos de Fe, lo que provoca disminución de los rendimientos. Los objetivos del ensayo fueron: 1. Determinar los efectos de cuatro niveles de Fe en los componentes fenológicos en varias épocas de corte de dos variedades de arroz, bajo dos condiciones hídricas; y 2. Evaluar las interacciones de los factores (condición hídrica x variedad x concentración de Fe). El ensayo se realizó en un invernadero del Departamento de Agronomía de Zamorano. Se sembró bajo las condiciones hídricas de inundado y no inundado, a cada una de ellas se aplicó 100 kg/ha de N y 120 kg/ha de P_2O_5 , lo cual fue aprovechado por las dos variedades empleadas: ORYZICA 3 y CUYAMEL 3820. Las concentraciones de Fe que se usaron fueron: 76 ppm, que era lo que poseía el suelo y constituía el testigo, 300 ppm, 600 ppm y 900 ppm, aplicados por intermedio de cloruro férrico. Se obtuvieron efectos debido a las condiciones hídricas y a las concentraciones de Fe, en la mayoría de variables estudiadas. Desde la concentración de 300 ppm de Fe se encontró fitotoxicidad en la germinación del cultivo. Con el continuar del ciclo del arroz la concentración que afectó más significativamente fue la de 900 ppm en la mayoría de las variables, y más fuertemente en condiciones de inundación. Las variedades empleadas poco influyeron en el desempeño fenológico, por ello, se recomienda realizar estudios buscando variedades resistentes a este elemento.

Palabras claves: inundado, fitotóxico, condición hídrica, concentración, fenológica.

NOTA DE PRENSA

El incremento en las concentraciones de hierro en suelos de producción de arroz ocasionan efectos negativos.

Las limitantes de la producción de arroz son variadas y complejas, en donde tienen que ver las distintas formas de producción y labores culturales. En ciertos lugares se produce arroz continuamente bajo inundación, produciendo con el tiempo altas concentraciones de hierro, que posteriormente promueve toxicidad llegando a mermar la productividad del cultivo.

Así lo demuestra un ensayo realizado en las unidades experimentales de arroz de Zamorano, donde se evaluó el efecto de varias concentraciones de hierro, en condiciones de inundación y riego continuo empleando dos variedades distintas.

Uno de los principales problemas de este cultivo es que requiere de altas cantidades de agua para encontrarse en condiciones óptimas, pero en condiciones de producción continua en inundación, se promueve la acumulación de hierro en su forma ferrosa, debido a la falta de oxígeno en el suelo, bajo pH, poco contenido de materia orgánica, actuando negativamente sobre el arroz.

Con el fin de determinar las concentraciones donde inician los efectos negativos, se estableció un experimento entre mayo y julio de 1998, en el que se evaluaron dos condiciones hídricas: inundado y no inundado, probando en cada uno de ellos cuatro concentraciones de hierro: 76 ppm que era lo que poseía el suelo, 300, 600 y 900 ppm; en dos variedades de arroz: CUYAMEL 3820 y ORYZICA 3, evaluando los efectos a los quince, treinta y cuarenta y cinco días después de la germinación.

El estudio determinó que la germinación en ambas condiciones hídricas fue afectada desde las 300 ppm de hierro, también se observó que el sistema más afectado por este elemento fue en el sistema de inundación, a las 900 ppm de hierro durante los treinta y cuarenta y cinco días, disminuyendo considerablemente altura, grosor, peso fresco total de las plantas, de las raíces y el peso seco total de las mismas.

En condiciones hídricas de no inundación, las altas concentraciones de hierro, no afectaron significativamente al cultivo, debido a que el hierro se encontraba en forma férrica que no es tan dañino.

Por todo lo expuesto en esta nota, cuando se produzca este problema se recomienda: encalar el suelo, proporcionar materia orgánica al suelo, oxigenar el suelo evitando la inundación del cultivo, realizar riegos con la finalidad de lavar el suelo, rotar cultivos, utilizar material vegetativo resistente, entre otras.

CONTENIDO

	Portadilla.....	i
	Autoria.....	ii
	Página de firmas.....	iii
	Dedicatoria.....	iv
	Agradecimientos.....	v
	Agradecimientos a patrocinadores.....	vi
	Resumen.....	vii
	Nota de prensa.....	viii
	Contenido.....	ix
	Indice de Cuadros.....	xii
1.	INTRODUCCIÓN.....	1
2.	REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
2.1	GENERALIDADES DEL CULTIVO.....	3
2.1.1	Morfología de la planta de arroz.....	3
2.1.2	Taxonomía.....	4
2.1.3	Duración de las fases de crecimiento.....	4
2.2	SISTEMAS DE PRODUCCIÓN.....	4
2.2.1	Producción en secano.....	4
2.2.2	Sistema de irrigación rotacional.....	6
2.2.3	Sistema de inundación continua.....	7
2.3	TOXICIDAD POR HIERRO.....	8
3.	MATERIALES Y MÉTODOS.....	12
3.1	MATERIAL VEGETAL.....	12
3.2	DISEÑO EXPERIMENTAL.....	13
3.3	TRATAMIENTOS.....	13
3.4	DISEÑO ESTADÍSTICO.....	14
3.5	VARIABLES ESTUDIADAS.....	14
3.5.1	Porcentaje de germinación.....	14
3.5.2	Días a germinación.....	14
3.5.3	Altura de plantas (cm).....	14
3.5.4	Grosor de plantas (cm).....	14
3.5.5	Macollamiento de plantas.....	15
3.5.6	Peso fresco total de planta (g).....	15
3.5.7	Peso fresco del sistema radicular (g).....	15
3.5.8	Contenido de materia seca total (g).....	15
3.6	LABORES CULTURALES.....	15
3.6.1	Análisis del suelo a emplear en el ensayo.....	15
3.6.2	Análisis de germinación.....	15

3.6.3	Recolección del suelo.....	16
3.6.4	Establecimiento de niveles de Fe en las unidades experimentales.....	16
3.6.5	Aplicación de N, P y K, de acuerdo a los requerimientos del cultivo.....	16
3.6.6	Suministro de agua.....	16
3.7	ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	16
4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	17
4.1	EFFECTOS OBTENIDOS A LOS QUINCE DÍAS DESPUÉS DE LA SIEMBRA.....	19
4.2	COMPONENTES FENOLÓGICOS.....	20
4.2.1	Porcentaje de germinación a los cinco días después de la siembra.....	20
4.2.2	Porcentaje de germinación a los siete días después de la siembra.....	21
4.2.3	Porcentaje de germinación a los nueve días después de germinación.....	22
4.2.4	Altura de planta (cm).....	23
4.2.5	Grosor de planta (mm).....	24
4.2.6	Peso fresco total (g).....	25
4.2.7	Peso fresco de la raíz (g).....	26
4.2.8	Peso seco total (g).....	27
4.3	EFFECTOS OBTENIDOS A LOS TREINTA DÍAS DESPUÉS DE LA SIEMBRA	28
4.3.1	Porcentaje de germinación a los cinco días después de la siembra.....	31
4.3.2	Porcentaje de germinación a los siete días después de la siembra.....	32
4.3.3	Porcentaje de germinación a los nueve días después de la siembra.....	33
4.3.4	Altura de planta (cm).....	34
4.3.5	Grosor de planta (cm).....	35
4.3.6	Macollamiento de las plantas.....	36
4.3.7	Peso fresco total (g).....	37
4.3.8	Peso fresco de la raíz (g).....	38
4.3.9	Peso seco total (g).....	38
4.4	EFFECTOS OBTENIDOS A LOS CUARENTA Y CINCO DÍAS DESPUÉS DE LA SIEMBRA	40
4.4.1	Porcentaje de germinación a los cinco días después de la siembra.....	43
4.4.2	Porcentaje de germinación a los siete días después de la siembra.....	44
4.4.3	Porcentaje de germinación a los nueve días después de la siembra.....	45
4.4.4	Altura de planta (cm).....	46
4.4.5	Grosor de planta (cm).....	47
4.4.6	Macollamiento de las plantas.....	48
4.4.7	Peso fresco total (g).....	49
4.4.8	Peso fresco de la raíz (g).....	50
4.4.9	Peso seco total (g).....	51
5.	CONCLUSIONES.....	53
6.	RECOMENDACIONES.....	54
7.	BIBLIOGRAFÍA.....	55

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro		
1.	Fases de crecimiento y desarrollo del arroz.....	4
2.	Resultados obtenidos del análisis de suelo de la terraza 3 de Colindres, Zamorano, Honduras, 1998.....	12
3.	Porcentajes de germinación, de las variedades empleadas en el ensayo, realizado por el laboratorio de semillas de CITESGRAN, Zamorano, 1998.	13
4.	Condiciones hídricas, variedades y concentraciones de Fe empleadas en el ensayo, Zamorano, 1998.....	13
5.	Resultados obtenidos en el estudio por las variables agronómicas o fenológicas en los distintos tratamientos a los 15 días después de la germinación.....	17
6.	Niveles de significancia obtenidos en el ANDEVA por los distintos tratamientos y sus respectivas interacciones.....	18
7.	Efectos simples de los distintos tratamientos aplicados sobre los eventos fenológicos durante los primeros 15 días después de la germinación.....	18
8.	Efectos de la interacción de la condición hídrica por las concentraciones de Fe sobre las variables estudiadas.....	19
9.	Porcentajes de germinación de las diversas variedades a los cinco días después de la siembra.....	20
10.	Porcentajes de germinación en las diversas concentraciones de Fe a los cinco días después de la siembra.....	20
11.	Porcentajes de germinación de las diversas variedades a los siete días después de la siembra.....	21
12.	Porcentajes de germinación en las diversas concentraciones de Fe a los siete días después de la siembra.....	21
13.	Porcentajes de germinación de las diversas variedades a los nueve días después de la siembra.....	22
14.	Porcentajes de germinación en las diversas concentraciones de Fe a los nueve días después de la siembra.....	22
15.	Alturas de plantas en las diversas concentraciones de Fe.....	23
16.	Altura de planta de las variedades empleadas en las distintas condiciones hídricas.....	24
17.	Grosor de planta debido a la interacción de las condiciones hídricas por las concentraciones de Fe.....	24
18.	Peso fresco total de las diferentes variedades de arroz usadas en el ensayo..	25
19.	Peso fresco total debido a la interacción de las condiciones hídricas por las concentraciones de Fe.....	25
20.	Peso fresco de la raíz debido a la interacción de las condiciones hídricas por las concentraciones de Fe.....	26
21.	Peso seco total debido a la interacción de las condiciones hídricas por las concentraciones de Fe.....	27
22.	Resultados obtenidos en el estudio por las variables agronómicas o fenológicas en los distintos tratamientos a los treinta días después de la	

	germinación.....	29
23.	Niveles de significancia obtenidos en el ANDEVA por los distintos tratamientos y sus respectivas interacciones.....	30
24.	Efectos simples de los distintos tratamientos aplicados sobre los eventos fenológicos durante los 30 días después de la germinación.....	30
25.	Efectos de la interacción de la condición hídrica por las concentraciones de Fe sobre las variables estudiadas.....	31
26.	Porcentajes de germinación a los cinco días después de la siembra de las variedades de arroz en las distintas concentraciones de Fe.....	31
27.	Porcentajes de germinación del arroz en las diversas condiciones hídricas a los siete días después de la siembra.....	32
28.	Porcentajes de germinación de las diversas variedades a los siete días después de la siembra.....	32
29.	Porcentajes de germinación en las diversas concentraciones de Fe a los siete días después de la siembra.....	33
30.	Porcentajes de germinación de las diversas concentraciones de Fe a los nueve días después de la siembra.....	33
31.	Porcentajes de germinación a los nueve días después de la siembra de las variedades empleadas en las distintas condiciones hídricas.....	34
32.	Alturas de plantas de arroz en las diversas condiciones hídricas investigadas.....	34
33.	Alturas de plantas de las diversas variedades evaluadas.....	35
34.	Alturas de plantas en las diversas concentraciones de Fe.....	35
35.	Grosor de planta de las diversas variedades empleadas en las condiciones hídricas.....	36
36.	Grosor de planta debido a la interacción de las condiciones hídricas por las concentraciones de Fe.....	36
37.	Peso fresco total de las diversas variedades evaluadas.....	37
38.	Peso fresco total debido a la interacción de las condiciones hídricas por las concentraciones de Fe.....	37
39.	Peso fresco de la raíz debido a la interacción de las condiciones hídricas por las concentraciones de Fe.....	38
40.	Peso seco total debido a la interacción de las condiciones hídricas por las concentraciones de Fe.....	39
41.	Resultados obtenidos en el estudio por las variables agronómicas o fenológicas en los distintos tratamientos a los 45 días después de la germinación.....	41
42.	Niveles de significancia obtenidos en el ANDEVA por los distintos tratamientos y sus respectivas interacciones.....	42
43.	Efectos simples de los distintos tratamientos aplicados sobre los eventos fenológicos durante los primeros 45 días después de la germinación.....	42
44.	Efectos de la interacción de la condición hídrica por las concentraciones de Fe sobre las variables estudiadas.....	43
45.	Porcentajes de germinación a los cinco días después de la siembra de las variedades empleadas en las distintas condiciones hídricas.....	43
46.	Porcentajes de germinación a los cinco días después de la siembra de las	

	variedades de arroz en las distintas concentraciones de Fe.....	44
47.	Porcentajes de germinación a los siete días después de la siembra de las variedades empleadas en las distintas condiciones hídricas.....	44
48.	Porcentajes de germinación a los siete días después de la siembra de la interacción de las distintas condiciones hídricas por las concentraciones de Fe	45
49.	Porcentajes de germinación a los nueve días después de la siembra de las variedades empleadas en las distintas condiciones hídricas.....	45
50.	Porcentajes de germinación a los nueve días después de la siembra de la interacción de las distintas condiciones hídricas por las concentraciones de Fe	46
51.	Alturas de plantas de arroz en las diversas condiciones hídricas investigadas.....	46
52.	Alturas de plantas en las diversas concentraciones de Fe.....	47
53.	Grosor de plantas de arroz en las diversas condiciones hídricas investigadas.....	47
54.	Grosor de plantas en las diversas concentraciones de Fe.....	48
55.	Macollamiento del arroz en las diversas concentraciones de Fe.....	49
56.	Peso fresco total del arroz en la interacción de las distintas condiciones hídricas por las concentraciones de Fe.....	49
57.	Peso fresco total de las variedades de arroz en las distintas concentraciones de Fe.....	50
58.	Peso fresco de la raíz del arroz en la interacción de las distintas condiciones hídricas por las concentraciones de Fe.....	50
59.	Peso fresco de la raíz de las variedades de arroz en las distintas concentraciones de Fe.....	51
60.	Peso seco total del arroz en la interacción de las distintas condiciones hídricas por las concentraciones de Fe.....	52
61.	Peso seco total de las variedades de arroz en las distintas concentraciones de Fe.....	52

1. INTRODUCCION

En el mundo actual el crecimiento demográfico es vertiginoso. Nuestro deber es aumentar la eficiencia de la productividad de los cultivos y, así, lograr la seguridad alimentaria tanto de la población existente como de la venidera.

En el transcurso y evolución de la agricultura poshispánica en Latinoamérica, el cultivo del arroz (*Oryza sativa* L.) tiene una gran importancia, debido al gran consumo por parte de la mayoría de la población. Sin embargo, el aumento en el rendimiento de este cultivo, ha sido bajo; el promedio actual es de 3.5 t/ha, contribuyendo en forma modesta a satisfacer la demanda creciente de alimento (De Datta, 1986a).

La FAO (1993), indica que el cultivo de arroz en inundación y en secano cubre, a nivel mundial, un área de aproximadamente 150 millones de hectáreas. El incremento rápido en el área de producción de este cereal se inició a finales de la década de los sesenta con la introducción de variedades enanas de alto rendimiento. Conjuntamente con el mejoramiento y la prueba e introducción de esas variedades, se seleccionaron plantas resistentes a diferentes enfermedades y, se desarrollaron mejores métodos agronómicos y de manejo del cultivo, como fueron de la producción en aumento en áreas de irrigación, el uso de distintas fuentes de nitrógeno (N), de otros elementos y la tecnificación de la producción de semilla.

Debido a la inseguridad alimentaria que afecta el desarrollo en toda Latinoamérica, se ha tropezado con ciertos contratiempos en la búsqueda de la maximización de la eficiencia en la producción del arroz. Así, vemos que hubo poca o muy baja generación y difusión de nuevas variedades en las diferentes regiones, lo cual está altamente correlacionado con la fortaleza del programa nacional de cada país. Uno de los contratiempos en la producción de este cereal, son los diferentes grados de intoxicación con hierro en suelos de inundación empleados para producirlo, a causa de la falta de oxígeno en el suelo como consecuencia de las condiciones del anegamiento.

En Zamorano, se siembra arroz en Julio, tanto en inundación como en secano, por medio de siembra directa, realizándose la cosecha a inicios de diciembre, lo cual nos indica que la producción de arroz puede ser una alternativa de inversión. La continua producción de arroz en Zamorano dentro de los mismos lotes en las terrazas de Colindres, nos permite prever que en un futuro puedan existir problemas por altas concentraciones de Fe. El presente ensayo nos permitirá determinar el umbral de contaminación del suelo por exceso de este mineral en que se afectaría la producción de arroz, y determinar que tan lejos nos encontramos de enfrentar este factor limitante.

Los resultados, también, ayudarán a técnicos y productores a conocer las consecuencias potenciales de suelos con alto contenido de Fe y tratar de seleccionar variedades que se adapten mejor a diferentes sistemas de producción. De esta manera, se podrá anticipar y manejar el problema potencial de exceso de Fe en suelos dedicados al cultivo del arroz.

Entre los objetivos del ensayo se encuentran: 1) determinar el efecto de cuatro niveles de Fe en los componentes fenológicos en varias épocas de corte de dos variedades de arroz: CICA 8 y ORIZICA 3, en dos condiciones hídricas; 2) evaluar las interacciones de los factores (variedad x concentración de Fe x condiciones hídricas).

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 GENERALIDADES DEL CULTIVO

El poder subsistir en condiciones de anegamiento es una de las características más importantes del arroz, además de que es una planta herbácea anual. En condiciones favorables este cultivo puede comportarse como una planta semiperenne por la capacidad de producir hijuelos en abundancia (Universidad de Filipinas, 1975).

2.1.1 Morfología de la planta de arroz

La morfología del arroz puede agruparse de la siguiente manera: a) órganos vegetativos, que comprenden las raíces, las hojas y los tallos; b) órganos reproductores, que constan de la panícula que es un conjunto de espiguillas (Universidad de Filipinas, 1975).

Los tallos están constituidos por entrenudos de distintas longitudes y están limitados por nudos; en cada nudo se inserta una vaina foliar que envuelve el entrenudo superior. El arroz está compuesto por tallos erectos, redondos y huecos, dispuestos en macollas. El arroz está provisto de siete u ocho a once o quince hojas, alcanza un tamaño variable entre los 65 y 170 cm, dependiendo de las variedades y las condiciones climatológicas. Las hojas, de forma puntiaguda, tienen una longitud muy variada incluso dentro de las mismas variedades; las hojas, más viejas, son generalmente más estrechas y cortas. El ancho varía entre 11 y 32 mm. Presenta raicillas fibrosas y fasciculadas (Tinarelli, 1989).

La panícula es una inflorescencia más o menos compacta y estrecha de 22 a 26 cm de longitud, sostenida por el último entrenudo llamado cuello; está constituida por el raquis del que salen, con una forma muy variable, siete a veinte raquillas o bifurcaciones primarias de distintas longitudes que forman los racimos. Cuando la inflorescencia está en madurez fisiológica adopta una disposición de arco medio colgante, según la variedad. Las flores, sostenidas por pedúnculos o pedicelos, están dispuestas a lo largo de las raquillas y en la cima de las mismas. Cada raquis lleva cinco a quince flores o más. La flor es completa y es una espiguilla con un pistilo con dos estigmas y que también posee seis estambres. Está cubierta por dos pequeñas glumas y de dos grandes glumillas, que en la madurez envuelven el grano o cariósipide. El sistema radical de la planta de arroz, es fibrilar y no posee raíz principal, su capacidad de absorción es en aproximadamente los primeros 40 a 50 cm de profundidad del suelo y depende mucho de las condiciones de este (Tinarelli, 1989).

2.1.2 Taxonomía

Dentro del grupo de las monocotiledóneas fanerógamas, el arroz, se encuentra en el orden de las Glumiflorales, forma parte del género *Oryza*, y *Oryzea* es su tribu, dentro de las Gramineas (Tinarelli, 1989).

2.1.3 Duración de las fases de crecimiento

La planta de arroz muestra un patrón general de desarrollo que se presenta en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Fases de crecimiento y desarrollo del arroz

FASES	TIEMPO DE DURACIÓN
a) Fase vegetativa activa o básica	Para la mayoría de las variedades dura de 25 a 65 días.
b) Fase vegetativa retardada, empieza desde la culminación de la fase vegetativa activa hasta el comienzo de la formación de panojas	Es sumamente variable y depende mucho de la longitud del día y las variaciones de la estación.
c) Fase reproductiva, desde la formación de panojas hasta la floración	Aproximadamente unos 35 días, independientemente de la variedad.
d) Fase de maduración, desde la floración hasta la madurez fisiológica	Dura de 25 a 45 días.

Fuente: (Universidad de Filipinas, 1975)

El ciclo abarca un total de 130 a 150 días para todas las fases de desarrollo y crecimiento de la planta desde la siembra a madurez del cultivo, aunque existen otras variedades de menor ciclo, en donde se reducen 30 a 40 días aproximadamente (Universidad de Filipinas, 1975).

2.2 SISTEMAS DE PRODUCCIÓN

2.2.1 Producción en secano

El arroz de secano, conocido también como arroz de tierras altas, se refiere al arroz cultivado en tierras altas con pendiente y niveladas pero que no son bordeadas, que se preparan y siembran en condiciones secas y cuya humedad proviene de la lluvia (De Datta, 1975).

2.2.1.1 Problemas de la producción en secano

Distribución de la precipitación pluvial. La cantidad y variación de la precipitación son dos limitaciones importantes para la producción del arroz de secano. Debido a que el cultivo se encuentra supeditado a la presencia de lluvias para subsistir, es muy riesgoso como inversión, debido a que no se puede predecir este tipo de factor climatológico y es el primer factor de producción causante de problemas en la producción de arroz (De Datta y Beachell, 1972; citados por De Datta, 1986).

Cambio de los nutrimentos del suelo. Las formas y la disponibilidad de los nutrimentos están íntimamente relacionadas con el suministro de humedad al suelo. Estos cambios en los nutrimentos cuando hay bajo contenido de humedad tienen efectos directos sobre la nutrición y crecimiento del arroz de secano. Entre los aspectos que determinan el crecimiento en suelos oxidados (aeróbicos) están la deficiencia de P, la deficiencia de Fe en suelos neutros y alcalinos; la toxicidad por Mn y Al en suelos ácidos fertilizados con sulfato de amonio (Ponnamperuma y Castro, 1972; citados por De Datta, 1986).

Competencia de malas hierbas. La competencia de las malezas en el arroz de secano es tan importante que la pérdida total de un cultivo es normal si no se combaten las distintas malezas (De Datta, 1986a).

Ataque del tizón. El ataque del tizón o añublo (*Xanthomonas oryzae*), es más grave para el arroz de secano que para el arroz de riego o inundación. Esto se debe a que además de darse las condiciones climáticas para que se presente la enfermedad, el cultivo, debido al estrés hídrico y a los niveles bajos de Si en secano, provocados por la no liberación de este en el suelo, bajo estas condiciones, sea más susceptible (Paz, 1998)¹.

2.2.1.2 Requerimientos varietales. La mayoría de las variedades criollas cultivadas como arroz de secano son de tamaño medio a altas, con hojas de color verde pálido relativamente largas, escasa formación de hijuelos y panículas largas bien cortantes (Chang y Vergara, 1975; citados por De Datta, 1986).

Debido a que son plantas grandes, la mayoría de las variedades de arroz de secano tienen un tallo débil y son susceptibles al acame. También son plantas de maduración precoz, 100 a 125 días y poseen raicillas más profundas que la mayoría de las variedades de anegación (Krupp, Abilay y Alvarez, 1972; citados por De Datta, 1986).

La mayoría de las variedades de arroz de secano tienen un nivel de adaptación a la sequía aceptable y producen respuestas bajas pero estables de casi una t/ha (De Datta, 1986a). Las variedades que producen de tres a cuatro t/ha como cultivo de secano tienen las siguientes características vegetativas:

- Tamaño semienano a intermedio (100 a 125 cm de altura)
- Capacidad de formación de vástagos de moderada a intensa
- Tolerancia y recuperación al estrés hídrico moderado
- Resistencia al acame
- Resistencia al tizón añublo y al tizón foliar bacteriano (De Datta, 1986a).

¹ PAZ P. E. 1998. Cultivo de arroz. Zamorano. (Comunicación personal).

2.2.1.3 Características de crecimiento. El crecimiento del arroz de secano depende de la cantidad y distribución de la lluvia en la zona a lo largo de la estación. En general, las plantas son más pequeñas y las variedades enanas suelen no producir rendimientos tan elevados como las variedades de tamaño medio (cerca de 130 cm de altura). Cuando el suelo está seco, las variedades de tamaño medio son tan altas como las variedades pequeñas que se desarrollan en condiciones de riego ideales. En caso de que haya agua estancada de 30 a 50 cm de profundidad en las tierras de secano, el arroz de tamaño intermedio tiene mejores oportunidades para producir rendimientos de dos a tres t/ha (De Datta, 1986b).

2.2.1.4 Requerimientos de agua. La precipitación de 900 a 1000 mm durante la estación de crecimiento es la mejor para producir rendimientos aceptables con un nivel moderado de manejo del agua. Es necesaria una más elevada precipitación cuando el manejo es menos satisfactorio. En un ensayo realizado durante la época húmeda de 1966, el uso total de agua para el arroz de temporal fue de casi la mitad (457 mm) del utilizado con 10 cm de inundación continua (803 mm). Las pérdidas por percolación fueron muchísimo menores en el caso de arroz de temporal (De Datta y Williams, 1968; citados por De Datta, 1986).

2.2.2 Sistema de irrigación rotacional

La irrigación rotacional continua es la utilización y aplicación de cantidades adecuadas y necesarias de agua a las tierras a intervalos regulares. A menudo, el terreno puede tener poca agua estancada entre los riegos, pero idealmente no debe secarse tanto que se produzca estrés por falta de humedad. La irrigación rotacional se utiliza en terrenos grandes con un suministro de agua limitado a fin de asegurarse una mejor equidad en el uso del agua. Una ventaja importante de este sistema es, tal vez, el uso más eficaz y mejor de la lluvia en el arrozal (De Datta, 1986b).

2.2.2.1 Rendimiento de grano. Aunque el desempeño aumentó notablemente al incrementar la cantidad de irrigación entre cuatro y ocho mm/día, el método de riego rotacional es apto para obtener un rendimiento aceptable. En un experimento realizado en las Filipinas, los rendimientos de grano no cambiaron sustancialmente a intervalos de cuatro a ocho días entre riegos, aunque disminuyó una t/ha o más cuando el intervalo de riego aumentó hasta diez días (De Datta, Krupp, Alvarez y Modgal, 1973; citados por De Datta, 1986).

2.2.2.2 Características de crecimiento del arroz y eficiencia en el uso del agua. En general, la altura de la planta, el número de hijuelos, el índice de tamaño foliar y la producción de materia seca disminuyen a medida que aumenta el intervalo de irrigación de cuatro a diez días. La resistencia al acame es, generalmente, mayor en el sistema de irrigación continua (De Datta, Krupp, Alvarez y Modgal, 1973; citados por De Datta, 1986).

La eficacia en el uso del agua disminuye a medida que aumenta el periodo de crecimiento y la tasa de irrigación sin importar el intervalo (De Datta, Krupp, Alvarez y Modgal, 1973; citados por De Datta, 1986).

2.2.2.3 Requerimientos de agua. La cantidad de agua para la irrigación continua va de moderada a mínima. Los requerimientos por evapotranspiración son de casi 60 mm durante un período de irrigación de 90 a 100 días. Las pérdidas por infiltración son significativamente bajas. Las pérdidas por percolación son un poco más bajas que en los métodos de inundación continua. Con un buen manejo del agua, los requerimientos totales pueden ser tan bajos como de 600 a 700 mm (De Datta, 1986b).

2.2.2.4 Otros requerimientos de manejo. En general, el número de otros requerimientos de manejo aumenta con la irrigación continua. Así, el combate de malezas y las aplicaciones de fertilizantes nitrogenados tiene que coordinarse con las tasas y frecuencias de irrigación. Es posible que la distribución y estabilidad de los herbicidas sean inadecuadas a menos que se desarrollen alternativas específicas para manejar el agua durante los primeros siete a diez días después del trasplante para el uso eficaz de los herbicidas. Si se utilizan los métodos tradicionales, tal vez sea necesario recurrir al desyerbe manual o mecánico, lo cual nos aumenta los costos (De Datta, 1986b). Debido a la alternancia de las condiciones de humedad o sequía y de inundación completa, es posible que se lixivie o evapore una cierta cantidad de N, por lo que este elemento debe aplicarse en dosis divididas y en forma correcta (De Datta, 1986b).

2.2.3 Sistema de inundación continua

Una razón importantísima para inundar un cultivo de arroz es que la mayoría de las variedades crecen mucho más y producen rendimientos más elevados cuando se desarrollan en un suelo inundado. El agua influye en las características fenotípicas de la planta, en el estado fisiológico y los nutrimentos del suelo y la naturaleza y grado de combate de las malezas (De Datta, 1986b).

2.2.3.1 Características fenotípicas de la planta de arroz. La altura de la planta de arroz está íntimamente relacionada con la profundidad del agua en el cultivo del arroz y las condiciones topográficas del terreno. En general, aumenta a medida que aumenta la profundidad del agua. Por otro lado, el número de hijuelos, parece estar inversamente ligado con la profundidad del agua, por lo menos dentro de un límite relativamente grande de condiciones de humedad. A medida disminuye la cantidad de humedad en el suelo, disminuye el número de hijuelos y esto se produce más pronunciadamente que bajo el efecto de una mayor profundidad del agua (De Datta, 1986b).

La dureza del tallo de la planta de arroz, y en consecuencia la resistencia al acame, disminuyen conforme aumenta el tamaño de la planta. De este modo, la dureza del tallo disminuye si aumenta su altura a medida que aumenta la profundidad del agua. No se tienen pruebas de que la relación grano-paja esté influenciada por las prácticas culturales de manejo del agua en los arrozales (De Datta, 1986b).

2.2.3.2 Nivel de los nutrientes y características físicas de los suelos inundados. Una de las ventajas de anegar los suelos es que aumenta la disposición de muchos nutrientes en particular P, K, Ca, Si y Fe. Sin embargo, si el suelo es sumamente permeable, los nutrientes son lixiviados lejos de la zona de la raíz. Existen beneficios y pérdidas debido al drenaje interno de los suelos arroceros (De Datta, 1986b).

Las ventajas del drenaje interno son las disminuciones de las cantidades de bióxido de carbono, Fe y de sustancias reductoras y la prevención de la presencia de elevadas cantidades de bióxido de carbono, Fe y ácidos orgánicos en suelos fríos. Las desventajas o defectos de este proceso son la pérdida de agua y de nutrientes. El drenaje es benéfico en suelos fríos, suelos salinos y alcalinos y en suelos regados con agua salina y alcalina (Ponnamperuma, 1971; citado por De Datta, 1986).

La toxicidad suele ser más observable cuando el oxígeno del suelo se termina debido a la rápida descomposición de altas cantidades de materia orgánica (raíces, hojarasca, etc.). Los suelos pueden oxigenarse al efectuar su drenaje con secamiento moderado. De este modo, las sustancias reducidas se oxidan y los gases tóxicos pueden salirse a través de la superficie del suelo. La percolación del agua puede oxigenar el suelo y lixiviar sustancias tóxicas más allá de la zona de la rizosfera. Tasas de percolación de dos a tres mm/día pueden corregir los problemas de toxicidad (De Datta, 1986b).

2.3 TOXICIDAD POR HIERRO

La toxicidad de Fe es un desorden nutricional que se produce en suelos ácidos con pH inferiores a 5.0 por un exceso de este elemento disuelto en el H₂O. Este problema se produce en suelos ultisoles, oxisoles, suelos ácidos sulfatados jóvenes, suelos ácidos arenosos y en histosoles ácidos, y está asociado con niveles bajos de materia orgánica, deficiencias de N, P, K, Si, Ca, Zn, bajos contenidos de bases y de Mn y toxicidad de H₂S o de sustancias orgánicas (Lantin y Neue, 1989).

Según Cheaney y Jennings, (1975); este problema nutricional es muy grave cuando los suelos están inundados y muy ácidos, con pH generalmente inferior a 5.5; mientras que en condiciones de seco, no hay ningún inconveniente con elevadas concentraciones de este elemento.

La inundación de un suelo motiva la disminución química de Fe(III) K y Mn(IV), así como también de otros elementos químicos. Se producen distintos ácidos orgánicos, como el acético y el butírico y gases como el bióxido de carbono, el metano y el ácido sulfhídrico. Todas estas sustancias, con excepción del metano, cuando se producen en elevadas cantidades, pueden retrasar el desarrollo de la rizosfera, inhibir la absorción de los nutrientes y producir la descomposición de la raíz, por lo común, entre las fases de plántula y de inicio de la formación de panícula. Esta sintomatología toxicológica se identifica como enfermedades fisiológicas, tales como el akiochi (suelos arroceros degradados) en Japón y bronceamiento en Sri Lanka (De Datta, 1986b).

Se ha comprobado que la aparición de grandes extensiones cultivadas de arroz con síntomas de anaranjamiento y amarillamiento, en varias zonas productoras de Brasil, se debe a suelos que poseen altas concentraciones de Fe, cuyo efecto fitotóxico se acentúa con el anegamiento de suelos previamente fangueados, especialmente en áreas nuevas y de los primeros años de cultivo (Bacha e Ishiy, 1986).

La sintomatología característica son pequeñísimas manchas rojas en las hojas más viejas, que avanzan rápidamente hasta darle una descoloración a la parte afectada de forma rojiza, anaranjada, violeta, o amarilla que se extiende hasta las bases de las hojas, para posteriormente tornarse pardas, secarse y enrollarse sobre sí mismas (Lantin y Neue, 1989).

La sintomatología de toxicidad por Fe se presenta de dos formas: directa e indirecta, y puede llegar a causar daños graves. La indirecta produce amarillamiento foliar y las raíces se recubren con una capa de Fe, perdiendo su funcionamiento e inactivándose. Este problema está íntimamente ligado con la deficiencia de P. En este tipo de toxicidad por Fe, las hojas no han absorbido cantidades excesivas de Fe. La toxicidad directa aparece cuando las hojas absorben grandes cantidades de Fe, presentándose manchas pequeñas, rojizas, herrumbrosas, sobre las puntas de las hojas inferiores, avanzando entre las nervaduras foliares (Cheaney y Jennings, 1975).

La sintomatología expresada a través de cambios de colores de las plantas se intensifica debido a que las altas concentraciones de Fe, promueven una mayor capacidad de oxidación de la rizosfera, donde el hierro ferroso se oxida y se precipita como hierro férrico (Bacha e Ishiy, 1986).

El efecto tóxico debido a altas concentraciones de Fe, se manifiesta con la presencia de bronceamiento y posterior anaranjamiento del área foliar para luego concluir con el secamiento y muerte de las hojas (Howeler, citado por Chen, Dixon y Turner, 1981).

Según Howeler, (1980) y recalado por Chen, Dixon y Turner (1981), la sintomatología fitotóxica por elevadas concentraciones de Fe, se presenta cuando en la solución de suelo se precipita este elemento en forma férrica de una forma tan intensa, que produce una capa sobre la superficie de las raíces una capa que interfiere y reduce la absorción de nutrimentos por parte del cultivo.

Entre los factores que afectan la resistencia a este problema, se encuentra el estado nutricional de la planta; las deficiencias de Mg, P, K y Mn disminuyen el poder de soportar este problema, por medio de la exclusión de Fe que tienen las raíces de arroz, y se tiene que prestar mayor atención a las plantas deficientes en K, debido a que son las que presentan mayor susceptibilidad a la toxicidad por altas concentraciones de Fe y exhiben síntomas severos (Yoshida, 1981).

En condiciones de inundación, los arrozales ubicados en suelos ácidos, ricos en materia orgánica y con elevadas cantidades de Fe, presentan una drástica merma en el desarrollo y crecimiento de la planta, y en suelos pueden en ciertas ocasiones llegar a presentar concentraciones de hasta 600 ppm después de una a tres semanas de inundación (Ponnamperuma, 1977).

En suelos con este tipo de problemas, en donde se presentan síntomas de toxicidad, las concentraciones varían entre 10 y 1000 mg/l; en cambio en experimentos realizados en macetas, con suelos ácidos latosólicos se observaron síntomas a una concentración de 300 a 500 mg/l de Fe, mientras que en el área de producción niveles de Fe de 20 a 40 mg/l relacionados con deficiencias de nutrimentos resultaron en severos síntomas de toxicidad de Fe (Lantin y Neue, 1989).

Según Yoshida, et al, (1976); las plantas de arroz son susceptibles bajo condiciones, que contengan concentraciones de Fe que estén fuera del rango de 70 a 300 mg/kg de suelo.

Cuando se presenta toxicidad por Fe, en plantas jóvenes, éstas sufren un grave retraso en su desarrollo y crecimiento; si se da en etapas más tardías, el crecimiento vegetativo no se reduce severamente, pero el rendimiento de grano baja en 12% en una variedad tolerante y un 88% en susceptibles debido a la esterilidad que produce este problema sobre el grano (Lantin y Neue, 1989).

Las concentraciones de Fe dentro de la planta, estarán influenciadas por los tipos de variedades y tipos de suelos. En ensayos de cinco semanas de edad, sobre suelos arcillosos ácidos e inundados, presentaron síntomas de toxicidad con concentraciones de Fe dentro de la planta de 500 hasta 3000 mg/kg; en cambio en suelos neutros, con un mal drenaje, no se observaron síntomas cuando los contenidos de Fe estaban entre 500 y 5000 mg/kg en la paja recogida en el campo (Lantin y Neue, 1989).

En los Llanos Orientales colombianos, al presentarse síntomas de amarillamiento y anaranjamiento de los arrozales, suelen corregirlos con aplicaciones de cal, materia orgánica y fertilizantes, entre otras; con el propósito de producir procesos violentos del suelo para elevar su pH y para que las máximas concentraciones de Fe se presenten cuando las plantas están más jóvenes, debido a que el cultivo en estas etapas presentan, en general, problemas menos graves que en etapas maduras (Howeler, 1980).

En condiciones, de concentraciones no tan tóxicas de Fe, una de las alternativas más económicas, eficientes y de fácil utilización; es el empleo de variedades resistentes que toleran la presencia de este elemento. Los fitomejoradores, deben de prestar mucha atención al desempeño, de los materiales con los cuales trabajan con respecto a este problema, debido a que está es una característica varietal de gran utilidad para seleccionar genotipos resistentes y tolerantes a este problema (Bacha e Ishiy, 1986).

Se ha podido concluir, tomando en cuenta diversas investigaciones, que la tolerancia a elevadas concentraciones de Fe es una manifestación de la reacción de los tejidos de la planta, en lugar de una resistencia a su absorción. Entre los mecanismos propuestos, se dice que bajo condiciones de suelos ácidos, los SO_4 y el Cl causan una absorción excesiva de Fe, en cantidades más elevadas de las requeridas por parte de la planta (Lantin y Neue, 1989).

En las respuestas de diversos materiales vegetativos, en diversos ensayos sobre suelos con elevadas cantidades de Fe, se han encontrado diversas reacciones; unos presentan un grado elevado de toxicidad en la fase inicial del cultivo y luego mueren, y otros son resistentes durante todo el ciclo hasta llegar a madurez fisiológica. También existen genotipos que presentan susceptibilidad en los primeros estados para luego, gradualmente, llegar a ser resistentes en la fase final. Existen reacciones contrarias, en donde, al principio, no presentan sintomatología, para, posteriormente, mostrar susceptibilidad. Con menor frecuencia se presentan casos en donde las plantas son susceptibles en su fase inicial, se vuelven resistentes al inicio de la fase reproductiva y posteriormente muestran reacciones de susceptibilidad tres semanas después (Bacha e Ishiy, 1986).

Lo más recomendable para evitar problemas de fitotoxicidad por Fe, es mantener una debida relación entre los nutrimentos minerales del suelo en el cultivo de arroz bajo riego (Sanzo, Muñiz, SanMiguel y Alemán, 1995).

3. MATERIALES Y METODOS

El ensayo se realizó en uno de los invernaderos del Departamento de Agronomía, ubicado dentro de Zamorano, a 30 km al sureste de la capital, Tegucigalpa, y a una altitud de 805 metros sobre el nivel del mar. Se empleo para realizar el experimento y llenar las macetas, suelo obtenido de la zona donde se produce arroz en Zamorano, de la terraza 3 de Colindres.

El suelo de la terraza 3 de Colindres, es franco arcilloso, en donde los análisis realizados por el laboratorio de suelos de Zamorano, nos indica que posee un pH fuertemente ácido, concentraciones medias tanto de materia orgánica, como de N, P y de Mg; mientras que el K, Ca y Fe se encontraron en concentraciones altas (Cuadro 2).

Cuadro 2. Resultados obtenidos del análisis de suelo de la terraza 3 de Colindres, Zamorano, Honduras, 1998.

ANÁLISIS	CANTIDAD	
pH (H ₂ O)	5.04	FA
<i>Materia orgánica</i>	3.54%	M
Nitrógeno total	0.12%	M
Fósforo	23	M
Potasio	284	A
Calcio	1822	A
Magnesio	187	M
Hierro	76	A

Fuente: Laboratorio de suelos, Depto. Agronomía, Zamorano.

3.1 MATERIAL VEGETATIVO

Se utilizaron las variedades: CICA 8 y ORYZICA 3, las cuales son variedades que se desarrollaron para condiciones de inundación.

Estas variedades fueron sometidas a un análisis de semillas, dentro del Laboratorio de CITESGRAN, Depto. de Agronomía, Zamorano, en donde se examinó el porcentaje de germinación del material vegetativo tanto en arena, como en papel Kimpak, obteniéndose los resultados mostrados en el Cuadro 3.

Cuadro 3. Porcentajes de germinación, de las variedades empleadas en el ensayo, realizado por el laboratorio de semillas de CITESGRAN, Zamorano, 1998.

	Arena	Kimpak
Oryzica 3	92%	92%
Cuyamel 3820	90%	91%

3.2 DISEÑO EXPERIMENTAL

Se colocaron las macetas de un galón de capacidad en un diseño de bloques sub-subdivididos, cada una de las macetas constaron de tres plantas, considerando a éstas una parcela experimental. Se empleo cloruro férrico para obtener las concentraciones adecuadas de Fe, para lo cual se tomó en consideración el aporte del suelo.

La distribución del ensayo en el invernadero fue de la siguiente forma:

- Parcela grande: Condiciones hídricas
- Sub-parcela: Variedades de arroz
- Sub-sub parcela: Concentraciones de Fe

Para este experimento se utilizaron tres repeticiones por cada parcela experimental, en donde se evaluó el efecto producido por las variedades, por las dos condiciones hídricas: inundado y riego continuo y principalmente el efecto de los diferentes niveles de Fe.

Se utilizaron diversas prácticas en cada maceta para evitar las pérdidas de agua y por ende reducir las variaciones de las concentraciones de Fe, para lo cual se obstruyeron las fugas y se revistieron las macetas con bolsas de polipropileno.

3.3 TRATAMIENTOS

En el Cuadro 4, se presentan las variedades, condiciones hídricas y concentraciones de Fe empleadas en el experimento.

Para poder fijar las diversas concentraciones de Fe aquí empleadas, se revisó literatura y se pudo apreciar que los síntomas están determinados por varios factores como son: condiciones ambientales, tipo de suelo, contenido de materia orgánica, etc; pero casi en la mayoría de ensayos se empiezan a observar efectos desde concentraciones de 300 ppm en adelante (Fageria, Baligar y Jones, 1991).

Cuadro 4. Condiciones hídricas, variedades y concentraciones de Fe empleadas en el ensayo, Zamorano, 1998.

Condiciones hídricas	Variedades	Niveles de Fe
Inundado	Cica 8	El que tiene el suelo
No inundado	Oryzica 3	300 ppm
		600 ppm
		900 ppm

3.4 DISEÑO ESTADÍSTICO

Se utilizó un arreglo factorial de 2 X 2 X 4 X 3, los factores correspondieron a dos variedades, dos condiciones hídricas y cuatro niveles de Fe; en donde cada tratamiento tuvo tres repeticiones.

En este mismo ensayo se realizó la toma de datos en tres épocas de corte distintas, las cuales fueron: a los 15 días después de germinado el cultivo, a los 35 días y por último a los 45 días después de germinado; con el objetivo de poder apreciar el efecto paulatino de las concentraciones de Fe a través del tiempo.

3.5 VARIABLES ESTUDIADAS

Las variables estudiadas fueron de orden fenológico.

3.5.1 Porcentaje de germinación

Se sembraron 20 semillas por cada unidad experimental, la cual la constituyen cada una de las macetas, para posteriormente observar cuantas germinaron y así poder obtener el porcentaje respectivo y poderlo comparar con el obtenido en el análisis realizado en el laboratorio.

3.5.2 Días a germinación

Para poder realizar la toma de datos de esta variable, se fijaron tres fechas: a los cinco días de sembrado, a los siete días de sembrado y por último a los nueve días; en donde se examinó el número de semillas germinadas y a los cuantos días de sembrado se obtuvo la mayor germinación.

3.5.3 Altura de plantas (cm)

Se tomó la altura desde la base del tallo hasta la hoja bandera, por intermedio de una regla graduada en centímetros.

3.5.4 Grosor de plantas (cm)

Para poder tomar esta variable, se empleo un pie de rey, el cual sirvió para medir el grosor de las plantas a la altura de la base de tallo.

3.5.5 Macollamiento de plantas

Simplemente se procedió a observar el número de hijuelos que produjo la planta en cada una de las unidades experimentales, para determinar así el grado de efecto de las diversas concentraciones de Fe sobre esta característica fenológica.

3.5.6 Peso fresco total de la planta (g)

Se realizó cuidadosamente el desentierro de cada una de las plantas de cada unidad experimental, para luego lavar bien el sistema radical, evitando la pérdida de raicillas por parte de las plantas; para posteriormente pesarlas cuidadosamente.

3.5.7 Peso fresco del sistema radicular (g)

Posterior al pesado de la planta completa, se realizó el corte de la raíz a la altura de la base del tallo y se procedió a pesar el mismo; con el fin de poder captar más obviamente el efecto de las concentraciones de Fe sobre el sistema radical, el cual es el más afectado.

3.5.8 Contenido de materia seca total (g)

Se tomó cada una de las plantas que fueron antes pesadas y se colocaron en un horno a 70 °C por 48 h, para así extraerles el agua y posteriormente pesarlas.

3.6 LABORES CULTURALES

3.6.1 Análisis del suelo a emplear en el ensayo

Luego de determinar como sustrato para las macetas del ensayo, al suelo de la terraza 3 de Colindres, se procedió a realizar el respectivo muestreo y posteriormente el análisis por parte del laboratorio de suelos de Zamorano, en donde se determinó los distintos niveles en que se encontraban los distintos elementos.

3.6.2 Análisis de germinación

Con el objetivo de comparar los porcentajes de germinación de las variedades: CUYAMEL 3820 y ORYZICA 3, con respecto a los resultados obtenidos en el ensayo, se enviaron las muestras al laboratorio de semillas de CITESGRAN, para que realizaran el análisis respectivo.

3.6.3 Recolección del suelo

Posterior a haber determinado la cantidad de suelo por maceta, se procedió a sustraer las cantidades necesarias de suelo para realizar el experimento de la terraza 3 de Colindres.

3.6.4 Establecimiento de niveles de Fe en las unidades experimentales

Para determinar las diversas concentraciones de Fe en las unidades experimentales se revisó literatura y se observó que el límite donde se empiezan a observar síntomas de toxicidad es muy variable y depende de muchos factores, pero en la mayoría de los casos parece repetirse la sintomatología desde concentraciones de 300 ppm en adelante, y para realizar las diversas concentraciones (300 ppm, 600 ppm y 900 ppm), siempre se tomó en cuenta el aporte de este elemento por parte del suelo.

3.6.5 Aplicación de N, P y K, de acuerdo a los requerimientos del cultivo

Para este ensayo se aplicaron las cantidades recomendadas de estos elementos que se utilizan para la producción en esta zona, es decir, 100 kg/ha de N en forma de urea, y 120 kg/ha de P utilizando P_2O_5 , por medio de la fórmula comercial 0-46-0. No hubo la necesidad de aplicar K debido a que en el suelo existe suficiente para llenar los requerimientos de la planta.

3.6.6 Suministro de agua

Para esta labor se utilizó agua de la llave, en donde se aplicó 200 ml de este elemento, cada dos días por igual a todas las unidades experimentales; hasta el décimo tercer día en donde se comenzaron a inundar aquellas unidades experimentales por tratamiento, mientras que el resto se continuó con el mismo patrón de riego que al comienzo.

3.7 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Se utilizó el paquete “Statistical System” (SAS[®] versión 6.7). En el análisis de varianza se determinó la significancia de los tratamientos a una probabilidad menor de 0.10 dentro de los diversos tratamientos. En aquellas variables que resultaron significativas se procedió a realizar el cálculo de separación de medias utilizando el método de SNK y además se empleó una separación de medias modificada (LSD).

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados como efecto de los tratamientos sobre las variables estudiadas se presentan en el Cuadro 5.

Cuadro 5. Resultados obtenidos en el estudio por las variables agronómicas o fenológicas en los distintos tratamientos a los 15 días después de la germinación.

Cond. Hídrica	Variedades	Conce ntrac. de Fe	5 días plts. germinac.	7 días plts. germinac.	9 días plts. Germinac.	Altur. De plta. (cm)	Groso r de plta. (mm)	Peso fresco total (g)	Peso fresco raíz (g)	Peso seco total (g)
	Cuyamel	Control	17	18	18	30.78	2.33	1.1	1.22	0.20
		300 ppm	7	13	14	25.33	1.89	0.64	0.37	0.09
		600 ppm	4	10	10	22.36	1.49	0.47	0.27	0.09
Inundado	Cuyamel	900 ppm	1	4	4	17.81	1.11	0.40	0.22	0.09
	Oryzica	Control	12	15	16	30.06	2.44	0.88	0.47	0.17
		300 ppm	6	12	13	27.28	1.89	0.69	0.39	0.12
		600 ppm	4	7	8	21.67	1.45	0.41	0.24	0.09
	Oryzica	900 ppm	1	3	3	16.50	0.75	0.32	0.18	0.07
	Cuyamel	Control	11	15	15	24.61	1.11	0.48	0.20	0.11
		300 ppm	9	15	16	23.11	0.89	0.47	0.21	0.09
		600 ppm	4	10	11	23.61	0.72	0.43	0.17	0.10
No inundado	Cuyamel	900 ppm	3	3	4	11.83	0.53	0.55	0.14	0.05
	Oryzica	Control	13	16	16	21.00	1.00	0.50	0.29	0.10
		300 ppm	7	14	14	18.28	0.72	0.31	0.16	0.11
		600 ppm	3	8	11	17.39	0.50	0.30	0.19	0.08
	Oryzica	900 ppm	1	2	2	8.78	0.17	0.16	0.10	0.03

Cuadro 6. Niveles de significancia obtenidos en el ANDEVA por los distintos tratamientos y sus respectivas interacciones.

	5 días de germinac.	7 días de germinac.	9 días de germinac.	Altur. de plta. (cm)	Grosor de plta. (mm)	Peso fresco total (g)	Peso fresco raíz (g)	Peso seco total (g)
Repeticiones	0.8548	0.3700	0.2546	0.3444	0.3560	0.5668	0.7040	0.7059
Condic. Hídrica	0.6979	0.9111	0.9128	0.0001 **	0.0001 **	0.0007 **	0.0001 **	0.0007 **
Variedad	0.0587 **	0.0401 **	0.1075 *	0.0481 **	0.1372	0.0427 **	0.6100	0.4397
Concent. de Fe	0.0001 **	0.0001 **	0.0001 **	0.0001 **	0.0001 **	0.0002 **	0.0001 **	0.0001 **
Cond. X Variedad	0.6979	0.5044	0.5850	0.0689 **	0.4582	0.4784	0.5635	0.9423
Cond. X Conc. Fe	0.2943	0.4361	0.3569	0.2446	0.0518 **	0.0205 **	0.0287 **	0.0110 **
Varied. X Conc. Fe	0.9549	0.8556	0.9341	0.9364	0.5862	0.6903	0.8957	0.2194

Se colocó * en pruebas F que son significativas, por ser iguales o menores a 0.10.

Cuadro 7. Efectos simples de los distintos tratamientos aplicados sobre los eventos fenológicos durante los primeros 15 días después de la germinación.

Variab le	5 días de germinac.	7 días de germinac.	9 días de germinac.	Altur. de plta. (cm)	Grosor de plta. (mm)	Peso fresco total (g)	Peso fresco raíz (g)	Peso seco total (g)
1. Cond. Hídrica								
INUNDADO	6	10	11	24	1.67	0.61	0.33	0.12
NO INUND.	6	10	11	19	0.70	0.40	0.18	0.08
2. Variedades								
CUYAMEL	7	11	12	22.43	1.26	0.57	0.26	0.10
ORIZICA	6	9	10	20.12	1.11	0.45	0.25	0.10
3. Conc. de Fe								
CONTROL	13	16	16	27	1.72	0.74	0.37	0.15
300 ppm	7	14	14	23	1.35	0.53	0.28	0.10
600 ppm	4	9	10	21	1.04	0.40	0.22	0.09
900 ppm	1	3	3	14	0.64	0.36	0.16	0.06

Números en **negritas** por tener alta significancia en el ANDEVA.

Cuadro 8. Efectos de la interacción de la condición hídrica por las concentraciones de Fe sobre las variables estudiadas.

CONDICIÓN HÍDRICA	Concentración de Fe	Grosor de plta. (mm)	Peso fresco total (g)	Peso fresco raíz (g)	Peso seco total (g)
Inundado	Control	2.39	0.99	0.50	0.19
Inundado	300 ppm	1.89	0.67	0.38	0.11
Inundado	600 ppm	1.46	0.44	0.25	0.09
Inundado	900 ppm	0.93	0.36	0.20	0.08
no inundado	Control	1.05	0.49	0.24	0.11
no inundado	300 ppm	0.80	0.39	0.18	0.10
no inundado	600 ppm	0.61	0.37	0.18	0.09
no inundado	900 ppm	0.35	0.35	0.12	0.04

El análisis estadístico de estos datos reveló que existieron diferencias significativas a un alpha de 10% sobre las diferentes variables estudiadas. En el Cuadro 6 se consignan los niveles de significancia obtenidos mediante este análisis. Los efectos simples de los tratamientos aplicados se observan en el Cuadro 7 y el efecto de la interacción de la condición hídrica por las concentraciones de Fe lo cual se aprecia en el Cuadro 8.

4.1 EFECTOS OBTENIDOS A LOS 15 DÍAS DESPUÉS DE LA SIEMBRA

Durante todo el desarrollo y crecimiento de esta fase del experimento, la germinación y evolución del cultivo fue la siguiente:

Las cantidades de semillas que germinaban, iban en disminución con el aumento de las concentraciones de Fe, observándose así, que aquellas unidades experimentales con concentraciones de Fe, iguales a las del suelo, poseían un mayor número de plántulas germinadas, pero a medida que aumentaba la concentración de Fe, disminuía el porcentaje de germinación; mostrándose más marcado este comportamiento, en la condición hídrica de inundación y con la variedad ORYZICA.

En cuanto a la apariencia externa que poseía el ensayo durante los quince primeros días, era interesante, en donde se observó, una mejor apariencia en aquellas plantas de arroz que se encontraban a menores concentraciones de Fe, observándose con un mejor color verde, mayor tamaño, más saludables y de mayor grosor, a aquellas plantas que se encontraban a 76 ppm de Fe, que era la que poseía el suelo, que se empleo de sustrato; lo que también se pudo apreciar además de que a medida que aumentaba la concentración de Fe, la apariencia de las plantas era peor, era que a concentraciones de 900 ppm de Fe, se daba un mayor número de plantas muertas y amarillentas, lo cual no ocurría a 300 y 600 ppm.

A continuación se describen en orden los efectos de los distintos tratamientos aquí investigados sobre las variables fenológicas.

4.2 COMPONENTES FENOLÓGICOS

4.2.1 Porcentaje de germinación a los cinco días después de la siembra

El modelo que se empleó para medir esta variable fue altamente significativa con un F de 0.0001, un R^2 de 0.865 y un coeficiente de variación de 34.24, por algún estímulo extraño al experimento que produjo una variación del 34% con respecto al promedio de semillas germinadas en el experimento, lo cual no pudo ser explicado por el modelo estadístico.

Se encontraron diferencias significativas en el porcentaje de germinación a los cinco días después de la siembra por motivos de las variedades empleadas y las concentraciones de Fe aplicadas, por lo cual se tuvo que aplicar una separación de medias simples a esta variable, como se puede observar en el Cuadro 9.

Cuadro 9. Porcentajes de germinación de las diversas variedades a los cinco días después de la siembra.

Variedades de arroz	Porcentaje de germinación
Cuyamel 3820	35% a
Oryzica 3	25% b

Letras asignadas de acuerdo a la separación de medias simple.

El estudio estadístico del porcentaje de germinación de acuerdo con las variedades aquí empleadas, muestra claramente que existen diferencias significativas, siendo CUYAMEL la variedad con mayor porcentaje de germinación que ORYZICA, cabe destacar que los porcentajes aquí obtenidos como promedios son bajos, debido a que al realizarse la separación de medias, el programa estadístico tomó todos los datos obtenidos por las variedades en las diversas concentraciones y condiciones hídricas.

A continuación en el Cuadro 10, observamos los resultados obtenidos en la separación de medias simple, por motivos de las concentraciones de Fe empleadas en el ensayo.

Cuadro 10. Porcentajes de germinación en las diversas concentraciones de Fe a los cinco días después de la siembra.

Concentraciones de Fe	Porcentaje de germinación
Control	65% a
300 ppm	35% b
600 ppm	20% c
900 ppm	5% d

Letras asignadas de acuerdo a la separación de medias simple.

Se observa claramente que a medida que aumenta la concentración de Fe en el suelo disminuye el porcentaje de germinación, siendo más alta la germinación en el control, es decir, con la cantidad de Fe que posee el suelo; a continuación con 35% de germinación a concentraciones de 300 ppm de Fe, luego a 600 ppm y por último con una pésima germinación de 5% a las 900 ppm de Fe.

Este efecto de disminución de la germinación a medida que aumenta la concentración de Fe se debe, al exceso de Fe, que en condiciones de secano, es causado por el ión férrico, que actúa en los primeros 30 cm; mientras que en condiciones de anaerobia, produce efectos negativos el ión ferroso, que se produce al reducirse el ión férrico.

4.2.2 Porcentaje de germinación a los siete días después de la siembra

El modelo estadístico como en la variable anterior tuvo una alta significancia (F de 0.0001), un R^2 de 0.51 y 25% de C.V. que se considera que no está en el límite de lo permisible por el grado de dificultad del experimento, dentro de esta variable se encontraron efectos por motivos de las variedades empleadas y las concentraciones de Fe. En el Cuadro 11 se muestra el comportamiento de las variedades con respecto a la germinación a los siete días expresada en porcentaje, siendo CUYAMEL la variedad con mayor porcentaje, seguida por ORYZICA.

Cuadro 11. Porcentajes de germinación de las diversas variedades a los siete días después de la siembra.

Variedades de Arroz	Porcentaje de germinación
Cuyamel 3820	55% a
Oryzica 3	45% b

Letras asignadas de acuerdo a la separación de medias simple.

A continuación el Cuadro 12, nos muestra como a medida que aumenta las concentraciones de Fe, disminuye el porcentaje de germinación, obteniéndose la más alta germinación con la concentración de Fe del suelo y esto debido a lo señalado en la variable anterior, elevadas concentraciones de Fe que producen un efecto negativo, debido a la catalización del Fe, permitiendo la formación de oxígeno libre radicado en los cloroplastos (Price y Hendry, 1991).

Cuadro 12. Porcentajes de germinación en las diversas concentraciones de Fe a los siete días después de la siembra.

Concentraciones de Fe	Porcentaje de germinación
Control	80% a
300 ppm	70% b
600 ppm	45% c
900 ppm	15% d

Letras asignadas de acuerdo a la separación de medias simple.

4.2.3 Porcentaje de germinación a los nueve días de germinación

El modelo estadístico empleado obtuvo una significancia de 0.0001, un R^2 de 0.847 y un C.V. del 23.88%, siendo poco aceptable debido al grado de dificultad del ensayo, dentro de los tratamientos que afectaron el experimento están las variedades empleadas y las concentraciones de Fe, para lo cual se aplicó una separación de medias simple, expresada en el Cuadro 13.

Cuadro 13. Porcentajes de germinación de las diversas variedades a los nueve días después de la siembra.

Variedades de arroz	Porcentaje de germinación
Cuyamel 3820	60% a
Oryzica 3	50% a

Letras asignadas de acuerdo a la separación de medias simple.

El análisis estadístico, nos muestra claramente que no existe diferencia alguna estadísticamente hablando en el porcentaje de germinación entre las dos variedades a los nueve días de germinación, pero aún el porcentaje promedio de germinación está muy por debajo del obtenido por estas variedades en el laboratorio.

El otro tratamiento que produjo efectos significativos fue la concentración de Fe, por lo cual también se empleó una separación de medias simple como lo apreciamos en el Cuadro 14.

Cuadro 14. Porcentajes de germinación en las diversas concentraciones de Fe a los nueve días después de la siembra.

Concentraciones de Fe	Porcentaje de germinación
Control	80% a
300 ppm	70% b
600 ppm	50% c
900 ppm	20% d

Letras asignadas de acuerdo a la separación de medias simple.

El efecto debido a las concentraciones de Fe fue el mismo que se dio en las dos variables anteriores, disminución de los porcentajes de germinación a medida que aumenta la cantidad de Fe en el suelo, motivado por un aumento de las cantidades de Fe en el suelo que provocaron un efecto fitotóxico negativo.

Todos estos resultados, nos presentan un aumento del porcentaje de germinación a medida que pasan más días con respecto a la siembra, encontrándose más marcado este patrón entre los cinco días después de la siembra con respecto a las otras dos fechas de toma de datos, y todo esto es motivado por la catalización del Fe, que permite la formación de oxígeno libre que se radica en los cloroplastos, lo cual es negativo.

4.2.4 Altura de planta (cm)

El modelo estadístico empleado para analizar esta variable obtuvo una alta significancia (F de 0.0001), un R^2 de 0.767 y un C.V. del 18.34%, lo cual es aceptable para este experimento, estadísticamente se encontraron efectos significativos, con un alpha menor a 0.10, por motivos de concentraciones de Fe y la interacción condiciones hídricas por variedades de arroz.

A continuación podemos observar los resultados promedios obtenidos en esta variable por motivos de las concentraciones de Fe en la separación de medias simple, presentado en el Cuadro 15.

Cuadro 15. Alturas de plantas en las diversas concentraciones de Fe.

Concentraciones de Fe	Altura de planta (cm)
Control	26.61 a
300 ppm	23.50 b
600 ppm	21.26 b
900 ppm	13.73 c

Letras asignadas de acuerdo a la separación de medias simple.

Analizando los resultados, encontramos que, el tratamiento control presenta las plantas más altas, seguidas por las que se encuentran a 300 y 600 ppm de Fe, que entre las cuales no se encontró diferencia alguna estadísticamente hablando, para quedar como las plantas de menor tamaño aquellas que se encontraron a 900 ppm de Fe.

Este comportamiento, en donde el tamaño de las plantas está inversamente ligado con la concentración de Fe, se debe al antagonismo causado por este elemento dentro de la planta, también lo motiva la disminución de la capacidad de absorción y funcionamiento de las raicillas y la producción de sustancias reducidas tóxicas para la planta, como Mn, N, K, P, entre otras (Cheaney y Jennings, 1975).

En el Cuadro 16, podemos apreciar los resultados obtenidos por la interacción de las variedades empleadas y las condiciones hídricas, en donde se aplicó una separación de medias modificada.

Cuadro 16. Altura de planta de las variedades empleadas en las distintas condiciones hídricas.

Variedades de arroz	Condición hídrica	
	Inundado	No inundado
Cuyamel 3820	24.07 cm	20.79 cm
Oryzica 3	23.88 cm	16.36 cm

Después de observar el cuadro de resultados de la separación de medias modificada, observamos que las dos variedades de arroz en anegamiento poseen mayor altura con respecto al tamaño obtenido por las mismas en condición de no anegamiento y también nos demuestra que entre las dos variedades solo existen diferencias significativas en condiciones de no inundación.

El que se hallan obtenido mayores tamaños en condiciones anaeróbicas, se debe a que le permiten a las plantas, estar en condiciones más óptimas, con sus requerimientos hídricos satisfechos, lo cual les permite desarrollarse de mejor manera y además que se desarrolla fisiológicamente mejor la planta.

4.2.5 Grosor de planta (mm)

El modelo estadístico tuvo una significancia de (F 0.0001), un R^2 de 0.851 y un C.V. de 27.71; lo cual nos dice que existió en el experimento 27.71% de variación con respecto al promedio de grosor de planta obtenido en el experimento y que dicha variación no pudo ser explicada por el modelo, debido a que fue originada por agentes ajenos o desconocidos al ensayo, como podría ser la dificultad de medir el grosor del tallo con un pie de rey.

En el Cuadro 17, se presenta el efecto significativo que tuvo la interacción de las concentraciones de Fe por las condiciones hídricas, por lo cual se aplicó una separación de medias modificada.

Cuadro 17. Grosor de planta debido a la interacción de las condiciones hídricas por las concentraciones de Fe.

		Concent. de Fe		
Condic. hídri.	Control	300 ppm	600 ppm	900 ppm
Inundado	2.39 mm	1.89 mm	1.47 mm	0.93 mm
No inundado	1.05 mm	0.80 mm	0.61 mm	0.35 mm

Los resultados nos muestran claramente como existió un mayor grosor de planta en condiciones de inundación con respecto a condiciones de no anegamiento en cada uno de las diferentes concentraciones de Fe y dentro de cada condición hídrica a medida que aumenta la cantidad de Fe en el suelo, disminuye el grosor de planta, pero dicho comportamiento se ve más fuertemente marcado en el sistema inundado, esto es debido a que en condiciones de anaeróbicas, el Fe se reduce a condiciones tóxicas para la planta afectando más y más a medida que aumenta la cantidad de Fe (Lantin y Neue, 1989).

4.2.6 Peso fresco total (g)

La significancia del modelo estadístico fue de (F 0.0003), un R^2 de 0.643, lo cual nos dice que el modelo empleado solo logró explicar el 64.30% de la variación, lo cual es bajo; el C. V. es de 39.28%, siendo este porcentaje extraño a los límites permisibles, y se cree que fue producto de la pérdida de parte de las raicillas, al extraer las plantas de las macetas.

En el Cuadro 18, se presentan los resultados del efecto de las variedades sobre el peso fresco total.

Cuadro 18. Peso fresco total de las diferentes variedades de arroz usadas en el ensayo.

Variedades de arroz	Peso fresco total (g)
Cuyamel 3820	0.57 a
Oryzica 3	0.45 b

Letras asignadas de acuerdo a la separación de medias simple.

Los resultados de la separación de medias simple, nos presenta una diferencia marcada entre las dos variedades en donde la variedad CUYAMEL pesa más que la ORYZICA, debido a diferencias genéticas.

El segundo factor que tuvo efecto significativo sobre el peso fresco total es la interacción de las condiciones hídricas por las concentraciones de Fe, como podemos ver en el Cuadro 19.

Cuadro 19. Peso fresco total debido a la interacción de las condiciones hídricas por las concentraciones de Fe.

		Concent. de Fe		
Condic. hídri.	Control	300 ppm	600 ppm	900 ppm
Inundado	0.99 g	0.67 g	0.44 g	0.36 g
No inundado	0.49 g	0.39 g	0.37 g	0.35 g

Los resultados de la separación de medias modificada presenta, en inundación el patrón de disminución de peso fresco total bien marcado, a medida que va en aumento la concentración de Fe, lo cual no ocurre en condiciones de no anegamiento, donde no existe diferencia significativa alguna a través de las diferentes concentraciones.

Este patrón que muestra los resultados, se deben a que en condiciones anaeróbicas el suelo reduce rápidamente el Fe a forma ferrosa, lo cual no ocurre en suelos no anegados, produciendo esta sustancia ferrosa problemas en la absorción y funcionamiento del sistema radicular, problemas por antagonismo de elementos básicos en la planta, que terminan produciendo una disminución en el peso de las plantas (Howeler, 1980).

4.2.7 Peso fresco de la raíz (g)

El modelo aplicado a este experimento obtuvo una significancia (F 0.0001), un R^2 de 0.739 y un C. V. de 32.55%, el cual no está entre los límites permisibles para este tipo de experimentos y que además nos indica que existió una alta variación con respecto al promedio obtenido en el ensayo sobre esta variable y que fue motivada por agentes ajenos al experimento.

En el Cuadro 20, podemos observar los resultados obtenidos por el factor que más influyó en el experimento, la interacción de las condiciones hídricas por las concentraciones de Fe, al cual se le aplicó una separación de medias modificada.

Cuadro 20. Peso fresco de la raíz debido a la interacción de las condiciones hídricas por las concentraciones de Fe.

		Concent. de Fe		
Condic. Hídri.	Control	300 ppm	600 ppm	900 ppm
Inundado	0.50 g	0.38 g	0.25 g	0.20 g
No inundado	0.24 g	0.18 g	0.18 g	0.12 g

Los resultados de la separación de medias modificada presentan, en condiciones de inundación una disminución significativa en los pesos de la raíces, en donde a medida que aumenta la concentración de Fe disminuye su peso, pero llega a un punto en donde el peso obtenido entre el cambio de concentraciones de 600 a 900 ppm, no se encuentra diferencia significativa alguna; en cambio en condiciones aeróbicas de suelo, no se encuentran diferencias significativas en el peso de las raíces a medida que el suelo aumenta en sus concentraciones de Fe.

Como se señaló en la variable anterior, todo esto se debe a que en condiciones de inundación se produce una reducción de Fe, el cual se torna en forma ferrosa, lo cual no ocurre en condiciones de no inundación (Bacha e Ishiy, 1986).

Este patrón de respuesta, es debido al efecto que tiene el Fe sobre el sistema radical de la planta, en donde se forma una película que impide su absorción y normal desenvolvimiento, tomando en cuenta también que las elevadas concentraciones producen efectos fitotóxicos que evitan un normal desarrollo de las raíces, como se dijo anteriormente, producto de la catalización del Fe, que motiva la liberación de oxígeno, que se radica en los cloroplastos (Sanzo, Muñiz, SanMiguel y Alemán, 1995).

4.2.8 Peso seco total (g)

El modelo estadístico obtuvo una significancia de (F 0.0001), un R^2 de 0.728 y un C.V. de 29.63%, que tampoco está dentro de los límites permisibles para este tipo de ensayos y que estuvo motivado por agentes ajenos a la investigación, como se cree que fue, el no poder extraer por completo las raíces de las plantas.

En el cuadro a continuación detallado, podemos apreciar el efecto que tuvo la interacción de las condiciones hídricas por las concentraciones de Fe, a la cual se le aplicó nuevamente una separación de medias modificada.

Cuadro 21. Peso seco total debido a la interacción de las condiciones hídricas por las concentraciones de Fe.

		Concent. de Fe		
Condic. hídri.	Control	300 ppm	600 ppm	900 ppm
Inundado	0.19 g	0.11 g	0.09 g	0.08 g
No inundado	0.11 g	0.10 g	0.09 g	0.04 g

Los resultados de la separación de medias presentan en condición de inundación, la existencia de diferencias significativas del tratamiento control con respecto al resto de concentraciones de Fe, en donde el mayor peso lo obtuvo este, debido a que entre las tres restantes no existe diferencia alguna en condiciones de inundación; en cambio en condiciones de no anegamiento, es al contrario solamente existen diferencias significativas entre el tratamiento de 900 ppm con respecto al resto, en donde se observa una mayor disminución en su peso.

Este patrón de respuesta, es debido al efecto que tiene el Fe sobre el sistema radical de la planta, en donde se forma una película que impide su absorción y normal desenvolvimiento, tomando en cuenta también que las elevadas concentraciones producen efectos fitotóxicos que evitan un normal desarrollo de las raíces (Sanzo, Muñiz, SanMiguel y Alemán, 1995).

4.3 EFECTOS OBTENIDOS A LOS 30 DÍAS DESPUÉS DE LA SIEMBRA

Durante todo el desarrollo y crecimiento de los 30 primeros días del ciclo del cultivo, la germinación y evolución del cultivo fue la siguiente:

Las germinaciones obtenidas en esta fase del cultivo fueron bastantes parecidas a las anteriores, y se mostraban en disminución con el aumento de las concentraciones de Fe, observándose así, que aquellas unidades experimentales con concentraciones de Fe, iguales a las del suelo, poseían un mayor número de plántulas germinadas, pero a medida que aumentaba la concentración de Fe, disminuía el porcentaje de germinación; mostrándose más marcado este comportamiento, en la condición hídrica de inundación y con la variedad ORYZICA.

En cuanto a la apariencia externa del experimento, a los 30 días después de la germinación, presentó un cambio distinto y de consideración, en donde las plantas de mayor color verde oscuro, se presentaban en aquellos tratamientos de 300 y 600 ppm de Fe, además que superaban un poco en tamaño a aquellas que se consideraban control.

Aquellas plantas que se encontraban con 76 ppm de Fe, que era lo que poseía el suelo, tenían un color verde pálido y un poco más pequeñas que aquellas que las descritas antes, para concluir aquellas que constituían el tratamiento de 900 ppm de Fe, eran las de peor apariencia, con un color amarillento, de menor tamaño y ya se comenzaron a observar algunas plantas muertas, este patrón de apariencia descrito era para aquellas plantas que constituían la condición hídrica inundada y en las dos variedades.

Aquellas plantas que se encontraban bajo condiciones de no inundación, no presentaban diferencias entre ellas a lo largo de los tratamientos de Fe, hasta la última concentración (900 ppm de Fe), donde existían plantas muertas y otras de menor tamaño.

La principal diferencia entre las plantas de inundado y no inundado, era su tamaño, observándose menores alturas de plantas en condiciones no inundadas y menos efectos toxicológicos.

A continuación apreciamos los resultados obtenidos por las variables estudiadas a los 30 días después de la siembra (Cuadro 22).

En el Cuadro 23 se consignan los niveles de significancia obtenidos mediante el análisis de varianza.

Los efectos simples de los tratamientos aplicados se observan en el Cuadro 24 y el efecto de la interacción de la condición hídrica por las concentraciones de Fe lo cual se aprecia en el Cuadro 25.

Cuadro 22. Resultados obtenidos en el estudio por las variables agronómicas o fenológicas en los distintos tratamientos a los treinta días después de la germinación.

Cond. Hidrica	Variedades	Conc. de Fe	5 días de germinac. pntas.	7 días de germinac. pntas.	9 días de germinac. Pntas.	Maco - llamie.	Altur. de plta. (cm)	Grosor de plta. (cm)	Peso fresco total (g)	Peso fresco raíz (g)	Peso seco total (g)
	Cuyamel	Control	15	18	18	3	48.33	2.11	21.90	17.14	6.80
		300 ppm	10	16	17	4	55.15	2.26	18.07	11.39	4.60
		600 ppm	11	13	14	3	55.56	2.15	17.72	11.52	4.98
Inundado	Cuyamel	900 ppm	3	5	6	2	35.47	1.35	3.33	1.77	0.64
	Oryzic.	Control	13	17	18	2	45.37	1.39	15.52	12.23	4.75
		300 ppm	3	11	14	3	52.05	1.94	18.62	13.80	5.34
		600 ppm	0	2	3	3	48.78	1.83	11.13	7.13	3.55
	Oryzic.	900 ppm	0	1	1	1	17.93	0.40	2.50	1.37	0.78
	Cuyamel	Control	18	19	19	3	49.81	1.17	3.17	0.81	0.98
		300 ppm	9	16	16	3	43.69	1.31	3.66	0.75	0.97
		600 ppm	3	6	7	2	40.39	0.86	2.15	0.43	0.62
No inundado	Cuyamel	900 ppm	1	2	3	2	35.78	0.77	2.08	0.38	0.54
	Oryzic.	Control	7	15	16	3	34.82	1.01	1.72	0.33	0.51
		300 ppm	4	11	13	3	32.56	1.07	2.20	0.61	0.83
		600 ppm	1	5	6	3	26.93	0.74	1.69	0.33	0.58
	Oryzic.	900 ppm	0	2	2	3	37.75	1.02	2.08	0.21	0.82

Cuadro 23. Niveles de significancia obtenidos en el ANDEVA por los distintos tratamientos y sus respectivas interacciones.

	5 días de germinac.	7 días de germinac.	9 días de germinac.	Macollamiento	Altur. de plta. (cm)	Grosor de plta. (mm)	Peso fresco total (g)	Peso fresco raíz (g)	Peso seco total (g)
Repeticiones	0.6161	0.5132	0.8907	0.4114	0.7212	0.1994	0.0781 *	0.0858 *	0.1770
Condic. hídrica	0.1699	0.0984 *	0.2295	0.5342	0.0255 **	0.0001 **	0.0001 **	0.0001 **	0.0001 **
Varied.	0.0001 **	0.0001 **	0.0001 **	0.5342	0.0777 *	0.0063 **	0.0373 **	0.2053	0.3608
Concent. de Fe	0.0001 **	0.0001 **	0.0001 **	0.0316 **	0.0079 **	0.0003 **	0.0001 **	0.0001 **	0.0003 **
Cond. X Varied.	0.2470	0.1204	0.0452 **	0.1258	0.8397	0.0265 **	0.2058	0.3198	0.4918
Cond. X Conc. Fe	0.2733	0.7865	0.8467	0.1275	0.1647	0.0033 **	0.0001 **	0.0001 **	0.0006 **
Varie. X Conc. Fe	0.0857 *	0.2577	0.1981	0.9776	0.8359	0.9047	0.4105	0.3034	0.4573

Se coloco * en pruebas F que son significativas, por ser iguales o menores a 0.10.

Cuadro 24. Efectos simples de los distintos tratamientos aplicados sobre los eventos fenológicos durante los 30 días después de la germinación.

Variable	5 días de germinac.	7 días de germinac.	9 días de germinac.	Macollamiento	Altur. de plta. (cm)	Grosor de plta. (cm)	Peso fresco total (g)	Peso fresco raíz (g)	Peso seco total (g)
1. Cond. Hídrica INUNDADO NO INUND.	7	11	11	3	44.83	1.68	13.60	9.54	3.92
	6	9	10	3	36.05	0.99	2.34	0.48	0.73
2. Variedades CUYAMEL ORIZICA	8.62	11.96	12.46	3	43.86	1.50	9.01	5.52	2.51
	4	7.96	9.21	3	37.02	1.17	6.93	4.50	2.14
3. Conc. de Fe CONTROL 300 ppm 600 ppm 900 ppm	14	17	18	3	44.58	1.42	10.58	7.63	3.26
	7	14	15	3	45.86	1.64	10.64	6.64	2.93
	4	6	8	3	42.92	1.39	8.17	4.85	2.43
	1	3	3	2	28.40	0.89	2.50	0.93	0.70

Números en **negritas** por tener alta significancia en el ANDEVA.

Cuadro 25. Efectos de la interacción de la condición hídrica por las concentraciones de Fe sobre las variables estudiadas.

Condición hídrica	Concentración de Fe	Grosor de plta. (cm)	Peso fresco total (g)	Peso fresco raíz (g)	Peso seco total (g)
Inundado	Control	1.75	18.71	14.69	5.77
Inundado	300 ppm	2.10	18.34	12.59	4.97
Inundado	600 ppm	1.99	14.42	9.32	4.26
Inundado	900 ppm	0.87	2.92	1.57	0.71
No inundado	Control	1.09	2.44	0.57	0.75
No inundado	300 ppm	1.19	2.93	0.68	0.90
No inundado	600 ppm	0.80	1.92	0.38	0.60
No inundado	900 ppm	0.90	2.08	0.30	0.68

El análisis estadístico de estos datos reveló que existieron diferencias significativas a un alpha de 10% sobre las diferentes variables aquí descritas.

4.3.1 Porcentaje de germinación a los cinco días después de la siembra

El modelo estadístico empleado para evaluar esta variable tuvo una significancia de (F 0.0001), un R^2 de 0.870 y un coeficiente de variación de 40.74%, lo cual se debe a agentes externos al experimento (profundidad de siembra, distribución de agua en las macetas) que produjeron una variación de este tipo con respecto al promedio de semillas germinadas dentro del ensayo.

En el Cuadro 26, podemos apreciar los resultados obtenidos por la interacción entre las variedades y las concentraciones de Fe que influyó sobre manera en esta variable.

Cuadro 26. Porcentaje de germinación a los cinco días después de la siembra de las variedades de arroz en las distintas concentraciones de Fe.

Variedades	Concent. de Fe			
	Control	300 ppm	600 ppm	900 ppm
Cuyamel	80%	50%	35%	10%
Oryzica	55%	15%	5%	0%

Los resultados de la separación de medias modificada, nos presentan diferencias significativas en el porcentaje de germinación de cada variedad en las diversas concentraciones de Fe, en donde a medida que aumenta la cantidad de Fe en el suelo disminuye la germinación; pero este efecto negativo afecta mayormente a la variedad Oryzica, como podemos apreciar con menor germinación en cada una de las diversas concentraciones.

Este desenvolvimiento de la semilla de arroz se debe, al efecto fitotóxico que produce tanta concentración de Fe sobre la semilla, lo cual no deja que germine la semilla con normalidad; también se ve una menor germinación entre las dos condiciones hídricas, debido a que en inundación se mantiene por mucho más tiempo y mejor la humedad del suelo, lo cual permite una mayor germinación del arroz.

4.3.2 Porcentaje de germinación a los siete días después de la siembra

La significancia que obtuvo el modelo estadístico fue de (F 0.0001), un R^2 de 0.884 y un C.V. fuera de lo aceptable de 27.27%, que significa la existencia de tal porcentaje de variación con respecto al promedio que obtuvo esta variable dentro del ensayo y que fue motivado por agentes ajenos a la investigación, como los que fueron anotados en la anterior variable.

Al realizar el análisis de variación, se encontraron efectos significativos por motivos de las condiciones hídricas, las variedades empleadas y las concentraciones de Fe, como podemos apreciar en las separaciones de medias simples en los Cuadros 27, 28 y 29.

Cuadro 27. Porcentajes de germinación del arroz en las diversas condiciones hídricas a los siete días después de la siembra.

Condiciones hídricas	Porcentaje de germinación
Inundado	55% a
No inundado	45% b

Letras asignadas de acuerdo a la separación de medias simple.

Los resultados del análisis estadístico nos muestra, la existencia de diferencias significativas en el porcentaje de germinación, en donde existe una mayor germinación en el sistema de inundación, debido a que se presenta una mejor condición ambiental para la semilla en anegamiento (De Datta, 1986a).

Cuadro 28. Porcentajes de germinación de las diversas variedades a los siete días después de la siembra.

Variedades de arroz	Porcentaje de germinación
Cuyamel 3820	60% a
Oryzica 3	40% b

Letras asignadas de acuerdo a la separación de medias simple.

La separación de medias simple nos indica que CUYAMEL posee un mejor porcentaje de germinación, que la variedad ORYZICA 3, debido a que la segunda estuvo mayor tiempo almacenada, lo cual produce una disminución paulatina de la germinación por motivos de tiempo (Paz, 1998²).

Cuadro 29. Porcentajes de germinación en las diversas concentraciones de Fe a los siete días después de la siembra.

Concentraciones de Fe	Porcentaje de germinación
Control	85% a
300 ppm	70% b
600 ppm	30% c
900 ppm	15% d

Letras asignadas de acuerdo a la separación de medias simple.

Los resultados nos muestran, el mismo patrón, en donde a medida que aumenta la concentración de Fe, disminuye el porcentaje de germinación y todo esto debido al efecto producido por este elemento, el cual fue explicado en la variable pasada.

4.3.3 Porcentaje de germinación a los nueve días después de la siembra

El modelo estadístico tuvo una excelente significancia (F 0.0001), un R^2 de 0.909 y un C. V. de 21.76%, el cual no es aceptable para este tipo de ensayos investigativos.

El análisis de varianza encontró efectos significativos por motivos de las concentraciones de Fe y la interacción de las variedades empleadas en las diversas condiciones hídricas, como se pueden apreciar en los Cuadros 30 y 31.

Cuadro 30. Porcentajes de germinación en las diversas concentraciones de Fe a los nueve días después de la siembra.

Concentraciones de Fe	Porcentaje de germinación
Control	90% a
300 ppm	75% b
600 ppm	40% c
900 ppm	15% d

Letras asignadas de acuerdo a la separación de medias simple.

² PAZ, P. E. 1998. Producción de arroz. Zamorano. (Comunicación personal).

Los resultados obtenidos, nos muestran nuevamente que a medida que aumenta la cantidad de Fe en el suelo, disminuye la germinación, por motivos de aumento de las concentraciones de este elemento que produjeron efectos fitotóxicos.

Cuadro 31. Porcentajes de germinación a los nueve días después de la siembra de las variedades empleadas en las distintas condiciones hídricas.

	Condición hídrica	
Variedades de arroz	Inundado	No inundado
Cuyamel 3820	70%	55%
Oryzica 3	45%	45%

Los resultados de la separación de medias modificada, nos presenta en el caso de la variedad CUYAMEL diferencias significativas en el porcentaje de germinación, teniendo esta variedad mayor germinación en anegamiento; lo cual no ocurre con la variedad ORYZICA, que tuvo una germinación igual en las dos condiciones hídricas y muy por debajo que la anterior variedad.

4.3.4 Altura de planta (cm)

El modelo estadístico tuvo una significancia de (F 0.0370), un R^2 de 0.474 y un C. V. elevado de 32.15%, por agentes externos al ensayo, como son: el poco tiempo que a pasado desde la siembra, variando bastante por motivos de la profundidad con que se colocó la semilla y estos motivaron este tipo de variación con respecto al promedio de altura obtenido en este experimento.

El análisis de varianza encontró efectos significativos, por motivos de condiciones hídricas, variedades utilizadas y concentraciones de Fe; lo que se puede apreciar en los Cuadros de resultados 32, 33 y 34.

Cuadro 32. Alturas de plantas de arroz en las diversas condiciones hídricas investigadas.

Condiciones hídricas	Altura de planta (cm)	
Inundado	44.83	a
No inundado	36.05	b

Letras asignadas de acuerdo a la separación de medias simple.

Los resultados nos presentan, diferencias significativas entre las alturas de planta obtenidas en las dos condiciones hídricas evaluadas, en donde los mayores tamaños se obtienen en condiciones de anegamiento, esto se debe a que el cultivo se encuentra en las condiciones ambientales que a él más le conviene, debido a que requiere altas cantidades de agua (De Datta, 1986b).

Cuadro 33. Alturas de plantas de las variedades evaluadas.

Variedades de arroz	Altura de planta (cm)	
Cuyamel 3820	43.86	a
Oryzica 3	37.02	b

Letras asignadas de acuerdo a la separación de medias simple.

La separación de medias simple, nos muestra que existen diferencias significativas entre las alturas obtenidas por estas variedades, siendo más alta la variedad CUYAMEL; estos resultados obtenidos corresponden a expresiones genéticas, debido a que es producto de la genética propia de las plantas.

Cuadro 34. Alturas de plantas en las diversas concentraciones de Fe.

Concentraciones de Fe	Altura de planta (cm)	
Control	44.58	a
300 ppm	45.86	a
600 ppm	42.92	a
900 ppm	28.40	b

Letras asignadas de acuerdo a la separación de medias simple.

En esta variable, se puede apreciar que ya no se sigue el mismo patrón, aquí apreciamos que solamente afectó significativamente de forma distinta, al aplicar 900 ppm de Fe, a la altura de las plantas, lo cual contradice a lo expresado por Howeler, (1980). debido a que él sostiene que se observan menos problemas en plantas más jóvenes, lo contrario a los resultados obtenidos en este ensayo; pero en cambio Lantin y Neue, (1989), apoyan lo obtenido aquí, debido a que ellos expresan que al afectar el Fe en etapas más tempranas, afecta más en su desarrollo vegetativo.

4.3.5 Grosor de planta (cm)

El modelo estadístico tuvo una significancia de (F 0.0001), un R^2 de 0.749 y un C. V. de 28.51%, lo cual no entra en los márgenes de aceptación para este tipo de ensayos, debido a que expresa un porcentaje elevado de variación por agentes desconocidos a la investigación, como se cree que podrían ser, la dificultad de tomar el diámetro de las plantas con el pie de rey y otras alternativas planteadas en las variables pasadas.

El análisis de varianza encontró diferencias significativas, por motivos de dos interacciones: condiciones hídricas por variedades empleadas en el ensayo, de la cual veremos los resultados en el Cuadro 35; la segunda interacción que influyó es, condición hídrica por concentración de Fe, que se presentan sus resultados en el Cuadro 36.

Cuadro 35. Grosor de planta de las diversas variedades empleadas en las distintas condiciones hídricas.

	Condición hídrica	
Variedades de arroz	Inundado	No inundado
Cuyamel 3820	1.97 cm	1.03 cm
Oryzica 3	1.39 cm	0.96 cm

El análisis de separación de medias modificada, nos presenta diferencias significativas en el grosor de las plantas, de ambas variedades en las distintas condiciones hídricas, es decir, en anegamiento, tanto CUYAMEL, como ORYZICA, presentan mayor grosor que en condiciones de no inundación. Estos resultados se obtienen debido a que las condiciones ambientales son más favorables en situaciones de inundación, mayor disponibilidad de nutrimentos, etc. (De Datta, 1986a).

Cuadro 36. Grosor de planta debido a la interacción de las condiciones hídricas por las concentraciones de Fe.

		Concent. de Fe		
Condic. Hídri.	Control	300 ppm	600 ppm	900 ppm
Inundado	1.75 cm	2.10 cm	1.99 cm	0.87 cm
No inundado	1.09 cm	1.19 cm	0.80 cm	0.90 cm

El cuadro de resultados, nos muestra un patrón de respuesta a las concentraciones de Fe diferente, así observamos que en condición de anegamiento, solo se encuentra diferencias significativas a las 900 ppm de Fe, en donde disminuyó el diámetro; en cambio en condición de no inundación, no se encontraron diferencias significativas entre las diversas concentraciones de Fe.

El hecho de que se produzcan efectos de disminución en el diámetro de las plantas, a concentraciones elevadas de Fe, solamente en condiciones de anegamiento, se debe a que el Fe sufre una reducción de forma férrica a ferrosa, cuya reacción se da solamente en condiciones anaeróbicas, de inundación (Bacha e Ishiy, 1986).

4.3.6 Macollamiento de las plantas

En esta variable el modelo estadístico aplicado, no fue significativo obtuvo en la prueba F una significancia del 0.1561, un R^2 de 0.393 y un C. V. del 33.93%; por lo cual debido al no ser significativo el modelo, nos indica que la producción de hijuelos va a ser la misma en las distintas condiciones hídricas, en las distintas concentraciones de Fe y por todas las variedades empleadas.

4.3.7 Peso fresco total (g)

El modelo estadístico empleado para esta variable, obtuvo una significancia de (F 0.0001), un R^2 de 0.880 y un C. V. de 41.59%, el cual se debe a agentes ajenos al experimento, como pudo haber sido, el no poder extraer del suelo por completo, las raíces de las plantas de arroz.

El análisis de varianza, encontró efectos significativos por motivos de las variedades empleadas y la interacción de las condiciones hídricas por las concentraciones de Fe, los cuales están expresados en los cuadros 37 y 38, mostrados a continuación.

Cuadro 37. Peso fresco total de las diversas variedades evaluadas.

Variedades de arroz	Peso fresco total (g)
Cuyamel 3820	9.01 a
Oryzica 3	6.93 b

Letras asignadas de acuerdo a la separación de medias simple.

La separación de medias simple, nos muestra claramente que existen diferencias significativas en el peso fresco total, entre ambas variedades, siendo CUYAMEL con mayor peso, esto se debe a que también es de mayor tamaño y como se sabe parte aérea es proporcional al sistema radicular, haciéndola por ende de mayor peso que la ORYZICA (De Datta, 1986a).

Cuadro 38. Peso fresco total debido a la interacción de las condiciones hídricas por las concentraciones de Fe.

		Concent. de Fe		
Condic. hídri.	Control	300 ppm	600 ppm	900 ppm
Inundado	18.71 g	18.34 g	14.42 g	2.92 g
No inundado	2.44 g	2.93 g	1.92 g	2.08 g

El cuadro de resultados, nos muestra que en anegamiento el control y aquellas observaciones a 300 ppm de Fe no tuvieron diferencias algunas, en cambio a 600 ppm de Fe se encontraron diferencias significativas y lo mismo ocurrió a 900 ppm, en donde a medida que aumentó la cantidad de Fe disminuyó su peso; en cambio en condiciones no anaeróbicas del suelo no se encontraron diferencias, a lo largo de las distintas concentraciones de Fe. Este patrón de no encontrar efectos de las concentraciones de Fe en condiciones de no anegamiento, como se dijo en la variable anterior, se debe a que no se produce la reducción del Fe de férrico a ferroso, el cual es el que causa el daño al cultivo (Sanzo, Muñiz, SanMiguel y Alemán, 1995).

4.3.8 Peso fresco de la raíz (g)

El modelo estadístico aplicado a esta variable, obtuvo una significancia de (F 0.0001), un R^2 de 0.870, y un C. V. de 54.75%, el cual es muy elevado y se debe a agentes externos al ensayo.

En el Cuadro 39, podemos ver los resultados obtenidos de la interacción de dos factores del efecto de la interacción de las condiciones hídricas por las concentraciones de Fe, sobre el peso fresco de la raíz.

Cuadro 39. Peso fresco de la raíz debido a la interacción de las condiciones hídricas por las concentraciones de Fe.

		Concent. de Fe		
Condic. hídri.	Control	300 ppm	600 ppm	900 ppm
Inundado	14.69 g	12.59 g	9.32 g	1.57 g
No inunda.	0.57 g	0.68 g	0.38 g	0.30 g

El cuadro de resultados de la separación de medias modificada, nos presenta que en anegamiento el control y aquellas observaciones a 300 ppm de Fe no tuvieron diferencias algunas, en cambio a 600 ppm de Fe se encontraron diferencias significativas y lo mismo ocurrió a 900 ppm, en donde a medida que aumentó la cantidad de Fe disminuyó su peso; en cambio en condiciones no anaeróbicas del suelo, no se encontraron diferencias a lo largo de las distintas concentraciones de Fe. Este patrón de no encontrar efectos de las concentraciones de Fe en condiciones de no anegamiento, como se dijo en la variable anterior, se debe a que no se produce la reducción del Fe férrico a ferroso, el cual es el que causa el daño al cultivo (Lantin, Neue, 1989).

4.3.9 Peso seco total (g)

El modelo estadístico obtuvo una significancia de (F 0.0001), un R^2 de 0.782 y un C.V. de 59.42%, que tampoco está dentro de los límites permisibles para este tipo de ensayos y que estuvo motivado por agentes ajenos a la investigación, y que fueron anotados en la variable anterior.

El análisis de varianza, encontró efectos significativos únicamente por motivos de la interacción de las condiciones hídricas por las concentraciones de Fe, cuyos resultados los podemos observar en el Cuadro 40.

Cuadro 40. Peso seco total debido a la interacción de las condiciones hídricas por las concentraciones de Fe.

		Concent. de Fe		
Condic. Hídri.	Control	300 ppm	600 ppm	900 ppm
Inundado	5.77 g	4.97 g	4.26 g	0.71 g
No inundado	0.75 g	0.90 g	0.60 g	0.68 g

El cuadro de resultados, nos muestra un patrón de respuesta a las concentraciones de Fe diferente, así observamos que en condición de anegamiento, solo se encuentra diferencias significativas a las 900 ppm de Fe, en donde disminuyó el peso seco total de las plantas; en cambio en condición de no inundación, no se encontraron diferencias significativas entre las diversas concentraciones de Fe, debido a que obtuvieron pesos iguales, estadísticamente hablando.

Como se ha venido diciendo, a lo largo de las variables anteriores, el hecho de que las concentraciones de Fe solo afecten en condiciones de inundación, se debe a la reducción del Fe, a formas dañinas, en este caso a forma ferrosa (Bacha e Ishiy, 1986).

El peso seco total en condiciones de inundación, a través de las distintas concentraciones de Fe, es superior al obtenido en condiciones de no inundación, esto se debe a que la genética del cultivo es para condiciones de anegamiento, ya que el arroz, se desarrolla fisiológicamente mejor (De Datta, 1986b).

4.4 EFECTOS OBTENIDOS A LOS 45 DÍAS DESPUÉS DE LA SIEMBRA

Durante todo el desarrollo y crecimiento de los 45 primeros días del ciclo del cultivo, la germinación y evolución del cultivo es muy parecida a la anterior y se desarrollo de la siguiente forma:

Las germinaciones obtenidas en esta fase del cultivo fueron bastantes parecidas a las anteriores, y se mostraban en disminución con el aumento de las concentraciones de Fe, observándose así, que aquellas unidades experimentales con concentraciones de Fe, iguales a las del suelo, poseían un mayor número de plántulas germinadas, pero a medida que aumentaba la concentración de Fe, disminuía el porcentaje de germinación; mostrándose más marcado este comportamiento, en la condición hídrica de inundación y con la variedad ORYZICA.

En cuanto a la apariencia externa del experimento, presentó un cambio distinto y de consideración, en donde las plantas de mayor color verde oscuro, se presentaban en aquellos tratamientos de 300 y 600 ppm de Fe, además que superaban un poco en tamaño a aquellas que se consideraban control.

Aquellas plantas que se encontraban con 76 ppm de Fe, que era lo que poseía el suelo, tenían un color verde pálido y un poco más pequeñas que aquellas que las descritas antes, para concluir aquellas que constituían el tratamiento de 900 ppm de Fe, eran las de peor apariencia, con un color amarillento, de menor tamaño y ya se comenzaron a observar muchas más plantas muertas que en los casos anteriores, este patrón de apariencia descrito era para aquellas plantas que constituían la condición hídrica inundada y en las dos variedades.

Aquellas plantas que se encontraban bajo condiciones de no inundación, no presentaban diferencias entre ellas a lo largo de los tratamientos de Fe, hasta la última concentración (900 ppm de Fe), donde existían plantas muertas y otras de menor tamaño.

A continuación apreciamos los resultados obtenidos por las variables estudiadas a los 45 días después de la siembra (Cuadro 41).

En el Cuadro 42 se consignan los niveles de significancia obtenidos mediante el análisis de varianza.

Los efectos simples de los tratamientos aplicados se observan en el Cuadro 43 y el efecto de la interacción de la condición hídrica por las concentraciones de Fe lo cual se aprecia en el Cuadro 44.

Cuadro 41. Resultados obtenidos en el estudio por las variables agronómicas o fenológicas en los distintos tratamientos a los cuarenta y cinco días después de la germinación.

Cond. hídrica	Variedades	Conc. de Fe	5 días de germinac. pltas.	7 días de germinac. pltas.	9 días de germinac. pltas.	Maco - llamie.	Altur. de plta. (cm)	Grosor de plta. (cm)	Peso fresco total (g)	Peso fresco raíz (g)	Peso seco total (g)
	Cuyamel	Control	16	19	19	3	61.01	2.16	15.54	8.07	3.32
		300 ppm	11	15	15	3	65.89	2.53	29.18	17.77	7.80
		600 ppm	8	10	12	4	66.79	2.57	29.25	17.04	7.73
Inundado	Cuyamel	900 ppm	2	3	3	1	19.00	0.68	5.61	3.16	1.66
	Oryzic.	Control	13	17	19	3	67.14	2.53	23.24	15.39	6.22
		300 ppm	3	6	8	5	72.17	2.89	28.83	16.17	7.09
		600 ppm	0	1	2	1	33.98	0.87	3.86	1.89	0.66
	Oryzic.	900 ppm	0	1	1	1	17.00	0.53	1.57	0.80	0.30
	Cuyamel	Control	18	19	19	4	46.60	1.40	5.31	1.65	1.68
		300 ppm	9	15	15	3	49.19	1.36	4.58	0.82	1.43
		600 ppm	1	2	3	2	29.89	0.80	2.41	0.54	0.60
No inundado	Cuyamel	900 ppm	0	1	1	1	13.50	0.33	0.90	0.13	0.17
	Oryzic.	Control	13	16	18	4	45.48	1.44	3.78	0.76	1.29
		300 ppm	5	13	14	3	37.93	1.28	3.33	0.72	0.95
		600 ppm	1	3	4	3	29.87	0.89	2.14	0.26	0.61
	Oryzic.	900 ppm	0	1	1	0	9.97	0.17	0.27	0.004	0.15

Cuadro 42. Niveles de significancia obtenidos en el ANDEVA por los distintos tratamientos y sus respectivas interacciones.

	5 días de germinac.	7 días de germinac.	9 días de germinac.	Macollamiento	Altur. de plta. (cm)	Grosor de plta. (mm)	Peso fresco total (g)	Peso fresco raíz (g)	Peso seco total (g)
Repeticiones	0.9441	0.8324	0.9475	0.1415	0.3437	0.3417	0.2109	0.1884	0.1416
Condic. hídrica	0.1923	0.5557	0.4229	0.3844	0.0023 **	0.0001 **	0.0001 **	0.0001 **	0.0001 **
Varied.	0.0001 **	0.0002 **	0.0035 **	0.3844	0.3748	0.3916	0.0807 *	0.1862	0.1304
Concent. de Fe	0.0001 **	0.0001 **	0.0001 **	0.0001 **	0.0001 **	0.0001 **	0.0001 **	0.0007 **	0.0001 **
Cond. X Varied.	0.0303 **	0.0071 **	0.0046 **	0.5131	0.8807	0.4870	0.2070	0.2926	0.2514
Cond. X Conc. Fe	0.1142	0.0422 **	0.0676 *	0.5706	0.6288	0.2487	0.0016 **	0.0026 **	0.0204 **
Varie. X Conc. Fe	0.0179 **	0.1882	0.2634	0.3758	0.6317	0.1854	0.0230 **	0.0277 **	0.0465 **

Se coloco * en pruebas F que son significativas, por ser iguales o menores a 0.10.

Cuadro 43. Efectos simples de los distintos tratamientos aplicados sobre los eventos fenológicos durante los 45 días después de la germinación.

Variable	5 días de germinac.	7 días de germinac.	9 días de germinac.	Macollamiento	Altur. de plta. (cm)	Grosor de plta. (cm)	Peso fresco total(g)	Peso fresco raíz (g)	Peso seco total(g)
1. Cond. hídrica Inundado No inunda.	7	9	10	3	50.37	1.84	17.13	10.03	4.35
	6	9	9	2	32.80	0.96	2.84	0.61	0.86
2. Variedades Cuyamel Oryzica	8.04	10.42	11	3	43.98	1.48	11.60	6.15	3.05
	4.37	7.21	8	2	39.19	1.32	8.38	4.50	2.16
3. Conc. De Fe Control 300 ppm 600 ppm 900 ppm	15	18	19	3	55.06	1.88	11.97	6.46	3.13
	7	12	13	4	56.29	2.02	16.48	8.87	3.32
	2	4	5	3	40.12	1.28	9.41	4.93	2.40
	1	1	1	1	14.87	0.43	2.09	1.03	0.57

Números en **negritas** por tener alta significancia en el ANDEVA.

Cuadro 44. Efectos de la interacción de la condición hídrica por las concentraciones de Fe sobre las variables estudiadas.

condic. hídrica	Concentración de Fe	7 días de germinac.	9 días de germinac.	Peso fresco total (g)	Peso fresco raíz (g)	Peso seco total (g)
Inundado	Control	18	19	19.39	11.73	4.77
Inundado	300 ppm	11	12	29.00	16.97	5.22
Inundado	600 ppm	6	7	16.55	9.47	4.20
Inundado	900 ppm	2	2	3.59	1.98	0.98
No inunda.	Control	17	18	4.54	1.20	1.18
No inunda.	300 ppm	14	14	3.95	0.77	1.09
No inunda.	600 ppm	2	3	2.28	0.40	0.60
No inunda.	900 ppm	1	1	0.58	0.09	0.16

El análisis estadístico de estos datos reveló que existieron diferencias significativas a un alpha de 10% sobre las diferentes variables aquí descritas.

4.4.1 Porcentaje de germinación a los cinco días después de la siembra

El modelo estadístico empleado para evaluar esta variable tuvo una significancia de (F 0.0001), un R^2 de 0.918 y un coeficiente de variación de 34.93%, lo cual se debe a agentes externos (diferentes profundidades de siembra, etc.), al experimento, que produjeron una variación de este tipo con respecto al promedio de semillas germinadas dentro del ensayo.

El análisis de varianza, encontró diferencias significativas en esta variable por motivos de la interacción de las condiciones hídricas por las variedades empleadas y también por la interacción entre las variedades usadas por las concentraciones de Fe, como muestran los Cuadros 45 y 46.

Cuadro 45. Porcentajes de germinación a los cinco días después de la siembra de las variedades empleadas en las distintas condiciones hídricas.

Variedades de arroz	Condición hídrica	
	Inundado	No inundado
Cuyamel 3820	50%	35%
Oryzica 3	20%	25%

Los resultados de la separación de medias modificada, nos presenta a CUYAMEL con un mayor porcentaje de germinación con respecto a ORYZICA dentro de las dos condiciones hídricas y además nos muestra como no existen diferencias significativas en la germinación de ORYZICA dentro de las dos condiciones hídricas. También se puede apreciar que en general, dentro de las dos variedades se obtuvo una mayor germinación en condiciones de anegamiento, debido a una mejor condición de microclima en el suelo que permite una mejor germinación.

Cuadro 46. Porcentaje de germinación a los cinco días después de la siembra de las variedades de arroz en las distintas concentraciones de Fe.

Variedades	Concent. de Fe			
	Control	300 ppm	600 ppm	900 ppm
Cuyamel	85%	50%	20%	5%
Oryzica	65%	20%	0%	0%

Dentro de la variedad CUYAMEL existieron diferencias significativas a lo largo de las diversas concentraciones de Fe, en donde a medida que aumentó la cantidad de Fe disminuía la germinación, y ORYZICA presentó el mismo patrón a diferencia que desde las 600 ppm de Fe dejó de germinar semilla alguna, este desempeño se debe simplemente como se señaló en las explicaciones anteriores en la acumulación de Fe cerca de las semillas, lo cual produjo efectos tóxicos, evitando un normal desenvolvimiento de la semilla a la hora de germinar.

4.4.2 Porcentaje de germinación a los siete días después de la siembra

La significancia que obtuvo el modelo estadístico fue de (F 0.0001), un R^2 de 0.907 y un C.V. fuera de lo aceptable de 30.27%, que significa la existencia de tal porcentaje de variación con respecto al promedio que obtuvo esta variable dentro del ensayo y que fue motivado por agentes ajenos a la investigación, señalados en la variable pasada.

Al realizar el análisis de variación, se encontraron efectos significativos por motivos de estas dos interacciones: condiciones hídricas por variedades empleadas y condiciones hídricas por concentraciones de Fe, presentadas en los Cuadros 47 y 48.

Cuadro 47. Porcentajes de germinación a los siete días después de la siembra de las variedades empleadas en las distintas condiciones hídricas.

Variedades de arroz	Condición hídrica	
	Inundado	No inundado
Cuyamel 3820	60%	45%
Oryzica 3	30%	40%

La variedad CUYAMEL posee diferencias significativas, entre la germinación en condiciones de anegamiento y de no anegamiento, en donde la condición anaeróbica presenta mayor porcentaje de germinación; lo cual no ocurre con ORYZICA, donde no se encontraron diferencias significativas, aunque se comporto algo mejor en no inundado.

Cuadro 48. Porcentajes de germinación a los siete días después de la siembra de la interacción de las distintas condiciones hídricas por las concentraciones de Fe.

		Concent. de Fe		
Condic. hídri.	Control	300 ppm	600 ppm	900 ppm
Inundado	90%	55%	30%	10%
No inundado	85%	70%	10%	5%

Dentro de las dos condiciones hídricas, se presenta el mismo desempeño, a medida que aumenta la concentración de Fe en el suelo, disminuye significativamente el porcentaje de germinación, siendo más baja la germinación en condiciones de no anegamiento; este comportamiento se debe principalmente por lo anotado en la variable anterior.

4.4.3 Porcentaje de germinación a los nueve días después de la siembra

El modelo estadístico tuvo una excelente significancia (F 0.0001), un R^2 de 0.899 y un C. V. de 29.57%, el cual no es aceptable para este tipo de ensayos investigativos, se cree que este C. V. se deba a una desigual profundidad de siembra, mala distribución de las concentraciones de Fe.

En el análisis de varianza se encontraron efectos significativos por motivos de la interacción de las condiciones hídricas por las variedades empleadas y por el efecto de las condiciones hídricas por las concentraciones de Fe, como se puede observar en los Cuadros 49 y 50.

Cuadro 49. Porcentajes de germinación a los nueve días después de la siembra de las variedades empleadas en las distintas condiciones hídricas.

	Condición hídrica	
Variedades de arroz	Inundado	No inundado
Cuyamel 3820	60%	45%
Oryzica 3	35%	45%

La variedad CUYAMEL posee diferencias significativas, entre la germinación en condiciones de anegamiento y de no anegamiento, en donde la condición anaeróbica presenta mayor porcentaje de germinación; lo cual no ocurre con ORYZICA, que obtuvo mejor germinación en condiciones no inundadas, otro aspecto importante es que las dos variedades poseen el mismo porcentaje de germinación en condiciones aeróbicas.

Cuadro 50. Porcentajes de germinación a los nueve días después de la siembra de la interacción de las distintas condiciones hídricas por las concentraciones de Fe.

		Concent. de Fe		
Condic. Hídri.	Control	300 ppm	600 ppm	900 ppm
Inundado	95%	60%	35%	10%
No inundado	90%	70%	15%	5%

El mismo patrón de respuesta de la variable anterior, se nos presenta en este cuadro de respuesta, en donde disminuye el porcentaje de germinación a medida que aumenta la concentración de Fe en las distintas condiciones hídricas; debido al aumento de la concentración del Fe que evita la normal germinación de las semillas, por toxicidad.

4.4.4 Altura de planta (cm)

El modelo estadístico tuvo una significancia de (F 0.0005), un R^2 de 0.632 y un C.V. elevado de 44.32%, por agentes externos al ensayo, como podrían ser: el corto tiempo desde la siembra a la toma de datos, la profundidad de siembra, la desuniformidad en la aplicación de Fe que motivaron este tipo de variación con respecto al promedio de altura obtenido en este experimento.

El análisis de varianza encontró efectos significativos, por motivos de condiciones hídricas y concentraciones de Fe; lo que se puede apreciar en los Cuadros de resultados 51 y 52.

Cuadro 51. Alturas de plantas de arroz en las diversas condiciones hídricas investigadas.

Condiciones hídricas	Altura de planta (cm)
Inundado	50.37 a
No inundado	32.80 b

Letras asignadas de acuerdo a la separación de medias simple.

Los resultados nos presentan, diferencias significativas entre las alturas de plantas obtenidas en las dos condiciones hídricas evaluadas, en donde los mayores tamaños se obtienen en condiciones de anegamiento, esto se debe a que el cultivo se encuentra en las condiciones ambientales que al arroz más le conviene, debido a que requiere altas cantidades de agua (De Datta, 1986).

Cuadro 52. Alturas de plantas en las diversas concentraciones de Fe.

Concentraciones de Fe	Altura de planta (cm)	
Control	56.29	a
300 ppm	55.06	a
600 ppm	40.12	b
900 ppm	14.87	c

Letras asignadas de acuerdo a la separación de medias simple.

En esta variable, se presenta tanto al control, como a las observaciones que se encontraban a 300 ppm de Fe, sin diferencia alguna, es decir con alturas iguales, estadísticamente hablando; en cambio a partir de las 600 ppm de Fe ya se afecta el tamaño de las plantas, y más aún a las 900 ppm, en donde la altura disminuye en mayor proporción, esto se debe a que al formarse el ion ferroso, este forma una película alrededor de las raíces y evita el normal funcionamiento de la misma, además de que produce antagonismo este elemento con otros.

4.4.5 Grosor de planta (cm)

El modelo estadístico tuvo una significancia de (F 0.0001), un R^2 de 0.728 y un C. V. de 43.64; lo cual nos dice que existió en el experimento 43.64% de variación con respecto al promedio de grosor de planta obtenido en el experimento y que dicha variación no pudo ser explicada por el modelo, debido a que fue origina por agentes ajenos o desconocidos al ensayo, que se cree se deban a: dificultad en la toma del diámetro de los tallos, con el pie de rey, efecto del uso de macetas, la cual le quita libertad, de expansión al arroz, entre otros.

El análisis de varianza encontró efectos significativos, por motivos de condiciones hídricas y concentraciones de Fe; lo que se presenta en los Cuadros de resultados 53 y 54.

Cuadro 53. Grosor de plantas de arroz en las diversas condiciones hídricas investigadas.

Condiciones hídricas	Grosor de planta (cm)	
Inundado	1.84	a
No inundado	0.96	b

Letras asignadas de acuerdo a la separación de medias simple.

Los resultados nos presentan, diferencias significativas entre el grosor de las plantas obtenidas en las dos condiciones hídricas evaluadas, debido a una mejor nutrición de las plantas de arroz y a una mejor condición fisiológica de las mismas, por estar en el habitat, más propicio para el cultivo, aunque el efecto tóxico del Fe sea más fuerte en esta condición.

Cuadro 54. Grosor de plantas en las diversas concentraciones de Fe.

Concentraciones de Fe	Grosor de planta (cm)	
Control	1.88	a
300 ppm	2.01	a
600 ppm	1.28	b
900 ppm	0.43	c

Letras asignadas de acuerdo a la separación de medias simple.

El patrón de respuesta, presentado en el cuadro de la separación de medias modificado, es similar al de la variable anterior, en donde no se encontraron diferencias significativas entre las dos primeras concentraciones (Control y 300 ppm de Fe), pero desde las 600 ppm de Fe, se empezó a observar disminuciones en el grosor de las plantas, que mostraron diferencias significativas con las anteriores, lo cual se volvió a repetir a las 900 ppm de Fe, en donde hubo una disminución de mayor proporción, que en la anterior, debido al efecto negativo que produce el Fe ferroso, en las plantas de arroz: disminución en la absorción de la raíz, efecto antagónico de este elemento con otros, dentro de la planta, entre otros.

4.4.6 Macollamiento de las plantas

El modelo aplicado a este experimento obtuvo una significancia (F 0.0025), un R^2 de 0.581 y un C. V. de 49.90%, el cual no está entre los límites permisibles para este tipo de experimentos y que además nos indica que existió una alta variación con respecto al promedio obtenido en el ensayo sobre esta variable y que fue motivada por agentes ajenos al experimento, que pudieron ser: la disminución de libertad, para expandirse, dentro de una maceta, por parte de las plantas, el hecho de la toma de datos a tan corto tiempo, de la siembra.

En el Cuadro 55, se presenta el único factor que tuvo efectos significativos sobre esta variable, las diversas concentraciones de Fe.

Cuadro 55. Macollamiento del arroz en las diversas concentraciones de Fe.

Concentraciones de Fe	Producción de hijuelos	
Control	3	a
300 ppm	4	a
600 ppm	3	a
900 ppm	1	b

Letras asignadas de acuerdo a la separación de medias simple.

El cuadro de resultados, nos presenta un desenvolvimiento de esta variable, distinto al patrón de las otras variables, solo se muestran diferencias significativas en la producción de hijuelos, a las 900 ppm de Fe, en donde disminuye en gran proporción la producción de hijuelos; producto de un mal desarrollo y crecimiento de la planta, a tan alta concentración de Fe, el cual evita un normal desenvolvimiento de la raíz, metabolismo, nutrición de la planta.

4.4.7 Peso fresco total (g)

El modelo estadístico empleado para esta variable, obtuvo una significancia de (F 0.0001), un R^2 de 0.805 y un C.V. de 61.97%, el cual se debe a agentes ajenos al experimento, entre los cuales, se cree: la pérdida parcial de las raíces, al momento de extraer las plantas de las macetas.

El análisis de varianza se encontró efectos significativos por motivos de la interacción de las condiciones hídricas por las concentraciones de Fe y por el efecto de las concentraciones de Fe sobre las diversas variedades empleadas en el ensayo, como se presentan en los Cuadros 56 y 57.

Cuadro 56. Peso fresco total del arroz en la interacción de las distintas condiciones hídricas por las concentraciones de Fe.

		Concent. de Fe		
Condic. hídri.	Control	300 ppm	600 ppm	900 ppm
Inundado	19.39 g	17.00 g	16.55 g	3.59 g
No inundado	4.54 g	3.95 g	2.28 g	0.58 g

El Cuadro de separación de medias modificada, nos presenta un patrón de respuesta en la condición hídrica anegada, en donde a medida que aumenta la concentración de Fe, va disminuyendo el peso fresco total; debido al cambio que produce la condición anaeróbica en el Fe, el cual se reduce y transforma en forma ferroso, que afecta todas las funciones del arroz. En cambio en condiciones de no inundación, no existen diferencias significativas a lo largo de las primeras tres concentraciones de Fe, solo observándose efectos negativos a 900 ppm de Fe, en su estado férrico, debido a la gran cantidad de este elemento, en el suelo.

Cuadro 57. Peso fresco total de las variedades de arroz en las distintas concentraciones de Fe.

		Concent. de Fe		
Variedades	Control	300 ppm	600 ppm	900 ppm
Cuyamel	12.43 g	16.88 g	15.83 g	3.25 g
Oryzica	13.51 g	16.08 g	3.00 g	0.92 g

Lo que nos presenta el cuadro de resultados con la variedad CUYAMEL, es un patrón distinto al mostrado por las otras variables, en donde esta variedad no muestra diferencias significativas a lo largo de las tres primeras concentraciones de Fe, mientras que a 900 ppm de Fe sí, donde el peso fresco total es sumamente menor al obtenido en las anteriores; en cambio ORYZICA, presenta el mismo patrón que CUYAMEL, pero con una variante, que se empieza a notar diferencias significativas desde las 600 ppm de concentración de Fe, acentuándose más estas diferencias a las 900 ppm.

4.3.8 Peso fresco de la raíz (g)

El modelo estadístico aplicado a esta variable, obtuvo una significancia de (F 0.0001), un R^2 de 0.779, y un C. V. de 79.23%, el cual es muy elevado y se debe a agentes externos al ensayo, como se cree que son: la dificultad de extraer por completo, el sistema radicular de las plantas, la cantidad variada de humedad que posean, entre otras.

El análisis de varianza se encontró efectos significativos, igual que en la variable anterior, por motivos de la interacción de las condiciones hídricas por las concentraciones de Fe y por el efecto de las concentraciones de Fe sobre las diversas variedades empleadas en el ensayo, como se presentan en los Cuadros 58 y 59.

Cuadro 58. Peso fresco de la raíz del arroz en la interacción de las distintas condiciones hídricas por las concentraciones de Fe.

		Concent. de Fe		
Condic. hídri.	Control	300 ppm	600 ppm	900 ppm
Inundado	13.72 g	16.97 g	9.47 g	1.98 g
No inundado	1.20 g	0.77 g	0.40 g	0.09 g

Los resultados nos presentan, con la condición hídrica inundada, un patrón distinto al mostrado por las otras variables, en donde esta condición hídrica no muestra diferencias significativas a lo largo de las dos primeras concentraciones de Fe, mientras que a 600 ppm de Fe sí, y acentuándose más a 900 ppm con un menor peso de raíz; en cambio en condiciones de no inundación, se observan diferencias significativas a lo largo de las diversas concentraciones de Fe; esta respuesta se debe al cambio que ocurre en anegamiento con el Fe y que no se da en condiciones aeróbicas del suelo.

Cuadro 59. Peso fresco de la raíz de las variedades de arroz en las distintas concentraciones de Fe.

		Concent. de Fe		
Variedades	Control	300 ppm	600 ppm	900 ppm
Cuyamel	8.86 g	9.29 g	8.79 g	1.64 g
Oryzica	8.07 g	8.44 g	1.07 g	0.42 g

El cuadro de resultados, nos presenta con la variedad CUYAMEL, un patrón igual al mostrado por la variable anterior, en donde esta variedad no muestra diferencias significativas a lo largo de las tres primeras concentraciones de Fe, mientras que a 900 ppm de Fe sí, donde el peso fresco total es sumamente menor al obtenido en las anteriores; en cambio ORYZICA, presenta un patrón parecido al de CUYAMEL, pero con una variante, que se empieza a notar diferencias significativas desde las 600 ppm de concentración de Fe, acentuándose más estas diferencias a las 900 ppm, debido a la disminución del peso obtenido.

4.4.8 Peso seco total (g)

El modelo estadístico aplicado a esta variable, obtuvo una significancia de (F 0.0001), un R^2 de 0.726, y un C. V. de 76.34%, el cual es muy elevado y se debe a agentes externos al ensayo, como se cree que son: la dificultad de extraer por completo, el sistema radicular de las plantas, la cantidad variada de humedad que posean, entre otras.

El análisis de varianza se encontró efectos significativos, igual que en la variable anterior, por motivos de la interacción de las condiciones hídricas por las concentraciones de Fe y por el efecto de las concentraciones de Fe sobre las diversas variedades empleadas en el ensayo, como se presentan en los Cuadros 60 y 61.

Cuadro 60. Peso seco total del arroz en la interacción de las distintas condiciones hídricas por las concentraciones de Fe.

		Concent. de Fe		
Condic. hídri.	Control	300 ppm	600 ppm	900 ppm
Inundado	4.77 g	5.22 g	4.20 g	0.98 g
no inundado	1.18 g	1.09 g	0.60 g	0.16 g

El cuadro de resultados nos presenta, que la condición hídrica de inundación, no presenta diferencias significativas a lo largo de las tres primeras concentraciones de Fe, pero la última nos muestra una disminución significativa, debido al efecto fitotóxico del Fe, en forma ferrosa.

En cambio en la condición hídrica de no anegamiento, no muestra diferencias significativas a lo largo de las distintas concentraciones de Fe, esto se debe a que en condiciones aeróbicas, el Fe se mantiene en forma férrica, no dañina al cultivo.

También se aprecia, que a lo largo de las distintas concentraciones de Fe, en condiciones de inundación se obtienen mayores pesos secos totales que en no inundado, debido a una mejor condición fisiológica del cultivo.

Cuadro 61. Peso seco total de las variedades de arroz en las distintas concentraciones de Fe.

		Concent. de Fe		
Variedades	Control	300 ppm	600 ppm	900 ppm
Cuyamel	4.50 g	4.62 g	4.16 g	0.91 g
Oryzica	3.85 g	4.02 g	0.64 g	0.22 g

El cuadro de resultados, nos presenta con la variedad CUYAMEL, un patrón igual al mostrado por la variable anterior, en donde esta variedad no muestra diferencias significativas a lo largo de las tres primeras concentraciones de Fe, mientras que a 900 ppm de Fe sí, donde el peso seco total es sumamente menor al obtenido en las anteriores; en cambio ORYZICA, presenta un patrón parecido al de CUYAMEL, pero con una variante, que se empieza a notar diferencias significativas desde las 600 ppm de concentración de Fe, acentuándose más estas diferencias a las 900 ppm, debido a la disminución del peso obtenido.

Así podemos decir, que la variedad CUYAMEL, es la menos afectada por elevadas concentraciones de Fe, debido a que posee una genética superior a la otra variedad, aquí empleada.

5. CONCLUSIONES

Las condiciones hídricas, las concentraciones de Fe y sus respectivas interacciones tienen efectos significativos.

Las variedades tuvieron pocos efectos significativos.

En inundación se presentan los mayores problemas de toxicidad por Fe.

En condiciones de no inundación se presentan problemas de toxicidad por Fe en las más altas concentraciones.

6. RECOMENDACIONES

Repetir el ensayo para obtener los efectos hasta cosecha.

Realizar posteriormente el ensayo en el campo, en aquellas áreas de producción donde se tenga este problema.

Evaluar el ensayo con diferentes fuentes de nitrógeno y su fraccionamiento.

Determinar los mejores suelos de producción de arroz en condiciones de inundación en Zamorano y realizar un estudio que determine el grado de posibilidad de que ocurra este problema y en cuanto tiempo.

Realizar análisis foliares y de suelos posteriores a la toma de datos.

7. BIBLIOGRAFIA

BACHA, R.; ISHIY, T. 1986. Toxicidad por hierro en arroz. Arroz en las Américas (Col.) 7(1):1 – 4 p.

CHANG, T.; VERGARA, B. 1975. Varietal diversity and morpho-agronomic characteristics of upland rice. International Rice Research Institute. Major research in upland rice. Los Baños, Filipinas. p72 - 90.

Citado por: DE DATTA, S. K. 1986b. Producción de arroz; prácticas en el uso y manejo del agua para el cultivo de arroz. Trad. Manuel Guzmán Ortiz y Zulai Marcela Fuentes Ortega. Balderas, México. Limusa. p 293.

CHEANEY, R. L.; JENNINGS, P. R. 1975. Problemas en cultivos de arroz en América Latina. Cali, Colombia. CIAT. p 86 – 87.

CHEN, D. D.; DIXON, J. B.; TURNER, F. T. 1981. Iron crating on rice roots: mineralogy and quality influencing factors. Soil Soc. Am. J., Madison, 44:635-5.

Citado por: BACHA, R.; ISHIY, T. 1986. Toxicidad por hierro en arroz. Arroz en las Américas (Col.) 7(1):1 – 4 p.

DE DATTA, S. K. 1975. Upland rice around the world. International Rice Research Institute. Major research in upland rice. Los Baños, Filipinas. p 2 – 11.

Citado por: DE DATTA, S. K. 1986a. Producción de arroz; sistemas de cultivo del arroz. Trad. Manuel Guzmán Ortiz y Zulai Marcela Fuentes Ortega. Balderas, México. Limusa. p 290.

-----, S. K. 1986a. Producción de arroz; sistemas de cultivo del arroz. Trad. Manuel Guzmán Ortiz y Zulai Marcela Fuentes Ortega. Balderas, México. Limusa. p 257 – 298.

-----, S. K. 1986b. Producción de arroz; prácticas en el uso y manejo del agua para el cultivo de arroz. Trad. Manuel Guzmán Ortiz y Zulai Marcela Fuentes Ortega. Balderas, México. Limusa. p 341 – 394.

-----, S. K.; BEACHELL, H. 1972. Varietal response to some factors affecting production of upland rice. International Rice Research Institute. Rice breeding. Los Baños, Filipinas. p 685 – 700.

Citado por: DE DATTA, S. K. 1986a. Producción de arroz; sistemas de cultivo del arroz. Trad. Manuel Guzmán Ortiz y Zulai Marcela Fuentes Ortega. Balderas, México. Limusa. p 292.

-----, S. K.; KRUPP, H.; ALVAREZ, E.; MODGAL, S. 1973. Water management practices in flooded tropical rice. International Rice Research Institute. Water management in Philippine irrigation systems: research and operations. Los Baños, Filipinas. p 1 – 18.

Citado por: DE DATTA, S. K. 1986b. Producción de arroz; prácticas en el uso y manejo del agua para el cultivo de arroz. Trad. Manuel Guzmán Ortiz y Zulai Marcela Fuentes Ortega. Balderas, México. Limusa. p 373 – 375.

-----, S. K.; WILLIAMS, E. 1968. Rice cultural practices. Effects of water management practices on the growth characteristics and grain yield of rice. Proceedings and papers, fourth seminar on economic and social studies (rice production). Committee for the coordination of investigations of the Lower Mekong Basin. Los Baños, Filipinas. p 78 – 79.

Citado por: DE DATTA, S. K. 1986b. Producción de arroz; prácticas en el uso y manejo del agua para el cultivo de arroz. Trad. Manuel Guzmán Ortiz y Zulai Marcela Fuentes Ortega. Balderas, México. Limusa. p 378 – 380.

FAGERIA, N. K.; BALIGAR, V. C.; JONES, C. A. 1991. Growth and mineral nutrition of field crops. New York, New York. Marcel Dekker. p 183 – 185.

FAO. Estadísticas de Producción. 1993. No. 104. Vol. 45. Dependencia de Datos Básicos, Dirección Estadística FAO. Roma, Italia. 72 p.

HOWELER, R. H. 1980. Anaranjamiento y toxicidad por hierro en arroz de riego en los Llanos Orientales de Colombia. En: Curso de investigación para la producción de arroz, CIAT, 1981. (Documento no publicado).

Citado por: BACHA, R.; ISHIY, T. 1986. Toxicidad por hierro en arroz. Arroz en las Américas (Col.) 7(1):1 – 4 p.

KRUPP, H.; ABILAY, W; ALVAREZ, E. 1972. Some water stress effects on rice. International Rice Research Institute. Rice breeding. Los Baños, Filipinas. p 663 – 675.

Citado por: DE DATTA, S. K. 1986a. Producción de arroz; sistemas de cultivo del arroz. Trad. Manuel Guzmán Ortiz y Zulai Marcela Fuentes Ortega. Balderas, México. Limusa. p 293.

LANTIN, R.; NEUE, H. 1989. Toxicidad de hierro: Un desorden nutricional en el Arroz de Riego. Arroz en las Américas (Col.) 10(1): 7 – 9 p.

PONNAMPERUMA, F. 1971. Critical examination of soil and water management practices in rice production. Second IRRI workshop on field experimentation. (mimeógrafo inédito).

Citado por: DE DATTA, S. K. 1986b. Producción de arroz; prácticas en el uso y manejo del agua para el cultivo de arroz. Trad. Manuel Guzmán Ortiz y Zulai Marcela Fuentes Ortega. Balderas, México. Limusa. p 342 – 343.

-----, F. 1977. Physicochemical properties of submerged soils in relation to fertility. IRRI Research Paper Series, 5. 32 p.

Citado por: BACHA, R.; ISHIY, T. 1986. Toxicidad por hierro en arroz. Arroz en las Américas (Col.) 7(1):1 – 4 p.

-----, F.; CASTRO, R. 1972. Varietal differences in resistance to adverse soil conditions. International Rice Research Institute. Rice breeding. Los Baños, Filipinas. p 677 – 684.

Citado por: DE DATTA, S. K. 1986a. Producción de arroz; sistemas de cultivo del arroz. Trad. Manuel Guzmán Ortiz y Zulai Marcela Fuentes Ortega. Balderas, México. Limusa . p 294.

PRICE, A. H.; HENDRY, G. A. F. 1991. Iron-catalysed oxygen radical formation and its possible contribution to drought damage in nine native grasses and three cereals. Plant Cell Environ. 14, 477 – 484.

Citado por: MARSCHNER, H. 1995. Mineral nutrition of higher plants. 2ª. Ed. Academic Press Inc. San Diego, California. p 324.

SANZO, R.; MUÑIZ, O.; SANMIGUEL, A.; ALEMAN, A. 1995. En suelos de Cuba, el hierro con riego puede ser tóxico. Arroz en las Américas (Col.) 16(1): 5 – 6 p.

TINARELLI, A. 1989. El arroz. Traducido al español del italiano por Ramón Miguel Carreres. 2ed. Madrid, España. Mundi-Prensa. 575 p.

UNIVERSIDAD DE FILIPINAS. 1975. Cultivo de arroz; Manual de producción. Trad. del inglés por Agustín Contin. México D. F., Limusa. p 13 – 33.

YOSHIDA, S. 1981. Iron. En: Fundamentals of rice crop science. Los Baños, The International Rice Research Institute. p 156 – 160.

Citado por: BACHA, R.; ISHIY, T. 1986. Toxicidad por hierro en arroz. Arroz en las Américas (Col.) 7(1):1 – 4 p.

-----, S.; FORNO, D. A.; COOK, J. H.; GÓMEZ, K. A. 1976. Laboratory manual for physiological studies of rice. 3ª. Ed. International Rice Research Institute (IRRI), Los Baños, Filipinas.

Citado por: SANZO, R.; MUÑIZ, O.; SANMIGUEL, A.; ALEMAN, A. 1995. En suelos de Cuba, el hierro con riego puede ser tóxico. Arroz en las Américas (Col.) 16(1): 5 – 6 p.

