

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
FACULTAD DE AGRONOMIA
MAESTRIA DE MEJORAMIENTO GENETICO**



Trabajo de Graduación

**Evaluación y selección de líneas avanzadas de arroz
(*Oriza sativa* L.) con alto contenido de Zn en
condiciones de riego y seco de Nicaragua**

Autor: Sergio Antonio Cuadra Castillo

Asesor: Ing. MSc. Vidal Marín

**Managua, Nicaragua
Julio del 2016**

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
FACULTAD DE AGRONOMIA
MAESTRIA DE MEJORAMIENTO GENETICO**



**Trabajo de graduación para optar al título de
Maestro en Ciencias en Mejoramiento Genético
de Cultivos y Animales**

**Evaluación y selección de líneas avanzadas de arroz
(*Oriza sativa* L.) con alto contenido de Zn en
condiciones de riego y secano de Nicaragua**

Autor: Sergio Antonio Cuadra Castillo

Asesor: Ing. MSc. Vidal Marín

**Managua, Nicaragua
Julio del 2016**

Este trabajo de graduación fue evaluado y aprobado por el honorable tribunal examinador designado por la Decanatura de la Facultad y/o director de sede: AGRONOMIA (FAGRO-UNA) como requisito parcial para optar al título profesional de: MAESTRO EN CIENCIAS EN MEJORAMIENTO GENETICO.

Miembros del tribunal examinador

Dr. Víctor Aguilar B.

Presidente

Ing. MSc. Isabel Chavarría

Secretario

Ing. MSc. Denis Téllez G.

Vocal

Lugar y Fecha (día/mes/año): Sala magna FAGRO, viernes 15/07/2016 (10:00 am)

INDICE DE CONTENIDO

SECCION	PAGINA
DEDICATORIA	i
AGRADECIMIENTOS	ii
INDICE DE CUADROS	iii
INDICE DE FIGURAS	iv
INDICE DE ANEXOS	v
RESUMEN	vi
ABSTRACT	vii
I INTRODUCCIÓN	1
II OBJETIVOS	3
III MATERIALES Y MÉTODOS	4
3.1. Descripción del Experimento	4
3.1.1. Localización	4
3.2. Diseño del Experimento	6
3.2.1. Material Biológico en Estudio	7
3.2.2. Variables Evaluadas	8
3.2.3. Análisis Estadístico	12
3.3. Manejo Agronómico del Cultivo	12
IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN	14
4.1. Primera Fase: Evaluación y Selección en Vivero	14
4.1.1. Variables de Rendimiento, Calidad Industrial y Nutricional	14
4.1.2. Variables de Crecimiento y Desarrollo	19
4.2. Segunda Fase: Evaluación y Selección de Líneas Avanzadas	21
4.2.1. Variables del Componente del Rendimiento	21
4.2.2. Variables de Crecimiento y Desarrollo	24
4.2.3. Variables de Calidad Industrial	27
4.3. Tercera Fase: Evaluación Multi-ambiental de Rendimiento	32
4.3.1. Variables Productivas: Rendimiento	32
V CONCLUSIONES	37
VI RECOMENDACIONES	38
VII LITERATURA CITADA	39
VIII ANEXOS	40

Dedicatoria

A mi entrañable Padre: **Sergio Ramiro Cuadra Rivera (q.e.p.d)**, quien recientemente y sin previo aviso se me adelantó de esta vida. Infinitamente gracias por su apoyo incondicional. Donde se encuentre, siempre serán inolvidable los momentos que compartimos juntos, en especial los de mi infancia. Siempre vivirás en nuestro recuerdo. Hasta pronto **PAPA**.

A mi madre: **María Magdalena Castillo Valle**, de quien siempre conservo un singular aprecio y cariño, y a quien le debo lo que soy.

A quienes fueron fuente de inspiración de esta loable tarea, en especial mis hijos: **Sergio Miguel, Kelly Valeska, Alondra Belén, Sergio Antonio y Sergio Rafael**, todos **Cuadra**.

A mi abuelo materno: **Cruz Antonio Castillo Valdivia (q.e.p.d)**, una ejemplar persona en todos los aspectos de la vida. Aunque no lo conocí en vida, son innumerables los testimonios sobre él. Significa para mí, el faro más luminoso que alumbra mi camino hasta el punto que hoy me encuentro y hasta donde pueda llegar.

A todos mis tíos y tías, primos y primas, quienes son y serán como mis padres y hermanos, les dedico este esfuerzo.

Ing. Sergio Antonio Cuadra Castillo

Agradecimientos

A mi tutor: Profesor **Vidal Marín**, por sus consejos y observaciones, que han sido claves para lograr con buen término esta sustancial contribución a la diversidad varietal del cultivo de arroz en condiciones de riego y secano del país.

A quienes me apoyaron en la fase de campo, trabajadores, compañeros de trabajo y amigos, que contribuyeron con este esfuerzo de trabajo de tesis: **Jesenia Sandoval, Danilo Huerta, Marvin Jiménez, Juan Toval, Luis Álvarez y Juan Oporta**.

Al Instituto Nicaragüense de Tecnología Agropecuaria (**INTA**) quien me dio la oportunidad de progresar intelectualmente para beneficio y servicio de Nicaragua.

A los profesores de la Universidad Nacional Agraria (**UNA**), Alma Mater, que siempre llevo en mi corazón, por la calidad de su enseñanza y prestigio.

Al Proyecto de arroz biofortificado **CIAT-Harvest Plus** por introducir el germoplasma y proporcionar el financiamiento de campo y laboratorio de la primer fase de la investigación.

Al Proyecto nacional de arroz de secano **Proyecto de Investigación e Innovación para Mejorar la Productividad de la Semilla de Arroz en Nicaragua (INTA-Taiwán)**, por el mantenimiento y purificación de los materiales promisorios identificados.

Ing. Sergio Antonio Cuadra Castillo

INDICÉ DE CUADROS

CUADRO	PAGINA
1 Descripción de los sitios donde se establecieron los ensayos de arroz con alto contenido de zinc en condiciones de riego y secano, durante el período 2014 -2015.	4
2 Condiciones agro climáticas fase de vivero de líneas de arroz. TAINIC, 2014.	4
3 Resultados del análisis químico y físico de suelo en la fase de vivero de líneas de arroz. TAINIC, 2014.	5
4 Condiciones agro climáticas en la evaluación de líneas avanzadas de arroz. TAINIC, 2015.	5
5 Resultados del análisis químico y físico de suelo en la fase de evaluación de líneas avanzadas de arroz. TAINIC, 2015.	6
6 Descripción de los tratamientos de líneas avanzadas de arroz con alto contenido de zinc.	8
7 Aplicación de la escala CIAT para fertilidad de espiguillas.	10
8 Aplicación de la escala CIAT para altura de planta.	11
9 Aplicación de la escala CIAT para acame de planta.	11
10 Aplicación de la escala CIAT para Senescencia.	11
11 Aplicación de escala CIAT de grano descascarado.	12
12 Comportamiento productivo, nutricional e industrial de los genotipos seleccionados en la fase de vivero de arroz. TAINIC, 2014.	16
13 Resultados del comportamiento agronómico de los mejores materiales productivo del Vivero de Arroz. TAINIC, 2014.	20
14 Resultados del componente del rendimiento en evaluación de líneas avanzadas. TAINIC, 2015.	23
15 Resultados de variables de crecimiento y desarrollo de la evaluación de líneas avanzadas de arroz. TAINIC, 2015.	26
16 Resultados de Calidad Industrial de la evaluación de líneas avanzadas de arroz. TAINIC, 2015.	27
17 Resultados del análisis de correlación en la evaluación de líneas avanzadas de arroz. TAINIC, 2015.	29
18 Resultados productivos de la evaluación multi-ambiental de rendimiento de líneas avanzadas de arroz en riego y secano de Nicaragua. 2015.	34

INDICÉ DE FIGURAS

FIGURA		PAGINA
1	Histograma de dispersión de frecuencia relativa del contenido de Zinc (mg/kg) en el grano pulido de líneas evaluadas en el Vivero. TAINIC, 2014.	17
2	Gráfico de dispersión entre los contenidos de zinc en el suelo y grano pulido de arroz en el vivero con pH ligeramente alcalino. TAINIC, 2014.	18
3	Dendograma resultante del análisis de conglomerado con las variables del componente del rendimiento en la evaluación de líneas avanzadas.	31
4	Rendimientos medios por ambientes, en la evaluación multi-ambiental de Rendimiento de líneas avanzadas de arroz. 2015.	33
5	Rendimientos medios por genotipos, obtenidos en seis ambientes de riego y secano de Nicaragua. Evaluación multi-ambiental de rendimiento, 2015.	33
6	Grafico Biplot según el plano conformado para los dos componentes principales (CP1 y CP2). Evaluación multi-ambiental de líneas de arroz. 2015.	36

INDICÉ DE ANEXOS

ANEXO	PAGINA
1 Esquema del proceso de mejoramiento genético de arroz.	40
2 Resultados de rendimiento, contenido de zinc y altura de planta en el vivero de arroz.	41
3 Modelos aditivos lineales utilizados	43
4 Plano de campo de evaluación en vivero	44
5 Plano de campo de evaluación de líneas avanzadas	45
6 Plano de campo de evaluación multi-ambiental	46

Evaluación y selección de líneas avanzadas de arroz (*Oriza sativa* L.) con alto contenido de Zinc en condiciones de riego y secano de Nicaragua

RESUMEN

Se presentan los resultados de las fases de evaluación-selección de líneas avanzadas de arroz con alto contenido de zinc a nivel de vivero, evaluación de líneas avanzadas y evaluación multi-ambiental. Estos ensayos se establecieron en condiciones de riego y secano del 2014 y 2015, en el Centro Experimental de Arroz “TAINIC” y en diferentes regiones de secano del sub ciclo invierno del 2015. El Diseño empleado fue de Bloques Incompletos No Balanceados (AlphaLattice). Se midieron datos de comportamiento agronómico, calidad de grano y contenido de zinc en el grano pulido mediante la metodología de fluorescencia de rayos X (FRX). De los genotipos evaluados se seleccionaron cuatro que combinan características agronómicas, industriales y nutricionales deseables. Se estableció una relación positiva entre la cantidad de zinc disponible en el suelo y su influencia en la cantidad de zinc encontrada en grano pulido. Se determinó diferencias significativas entre los Genotipos, Ambientes e Interacción Genotipo*Ambiente. Se seleccionaron genotipos que presentan un comportamiento adaptativo amplio y genotipos con adaptación específica para cada condición agroclimática y de manejo. Se identificaron dos Mega-ambientes con genotipos en común. En el primero formado por los sitios de Pantasma y Jalapa destaca el genotipo IR31917-45-3-2-1-1SR-5-M (T4). El segundo Mega-ambiente formado por los sitios de Masatepe y San Carlos destaca el genotipo CT18504-4-5-3Vi-2-3P (T14). En los ambientes únicos de Posoltega y Darío los mejores genotipos fueron IR75870-5-8-5-B-2-B-1SR-8-M (T6) y CT19298-(100)-1-2-3-1-4MP (T1) respectivamente. Las variables que más influenciaron en la producción son en primer lugar días a madures, confirmando la tendencia de que a ciclo más extenso del cultivo habrá mayor rendimiento; en segundo lugar, la variable más influyente es longitud de panícula.

Palabras clave: nutrición, zinc, grano, suelo, fluorescencia de rayos X

Evaluation and selection of advanced lines rice (*Oryza sativa* L.) with high Zinc content in Irrigation and rainfed conditions in Nicaragua

ABSTRACT

The results of the evaluation-selection stage of advanced lines of rice are high in zinc nursery level, advanced lines and evaluation of multi-environmental assessment are presented. These trials were established in Irrigation and rainfed conditions of 2014 and 2015, at the Experimental Center of Rice "TAINIC" and in different regions of sub rainfed winter cycle 2015. The design was unbalanced Incomplete Block (Alpha Lattice). Data agronomic performance, grain quality and zinc content in grain polishing methodology by X-ray fluorescence (XRF) were measured. Of the four selected genotypes evaluated that combine agricultural, industrial and nutritional characteristics desirable. A positive relationship between the amount of zinc available in the soil and its influence on the amount of zinc found in grain polished established. Significant differences between genotypes, environments and genotype * environment interaction was determined. Genotypes exhibit a broad adaptive behavior and genotypes with specific adaptation for each agroclimática and selected operating condition. two mega-environments common genotypes were identified. In the first consisting Pantasma sites and highlights Jalapa genotype IR31917-45-3-2-1-1SR-5-M (T4). The second Mega-environment formed by the sites of Masatepe and San Carlos highlights the genotype CT18504-4-5-3Vi-2-3P (T14). In Posoltega unique environments and Dario the best genotypes were IR75870-5-8-5-B-2-B-1SR-8-M (T6) and CT19298- (100) -1-2-3-1-4MP (T1) respectively. Variables that most influenced performance in production are first days maturity, confirming the trend that more extensive crop cycle will be higher performance; secondly, the most influential variable is panicle length.

Keywords: nutrition, zinc, grain, soil, X-ray fluorescence

I. INTRODUCCIÓN

El arroz (*Oriza sativa* L.) es la principal fuente de alimento para miles de millones de personas en el mundo. En Nicaragua el consumo per cápita de arroz casi se duplicó en los últimos diez años, pasando de 29.5 kg a 50 kg, parte importante de este consumo se satisface con producción nacional. Durante el ciclo agrícola 2012/13, se cultivaron aproximadamente 101,148 ha de arroz, con una producción de 268,659 toneladas de arroz paddy o granza y un rendimiento promedio de 2.65 t ha⁻¹ (Dirección estadísticas MAG-FOR, 2013). El consumo nacional anual es de 240 mil toneladas de arroz oro, siendo el déficit del 20%.

Existen altas deficiencias en zinc, hierro y vitamina A en las poblaciones de los países en desarrollo, la deficiencia de zinc es reportada como la quinta causa principal de las enfermedades y muertes en estos países. Los problemas de salud causados por la deficiencia de zinc incluyen anorexia, enanismo, sistema inmunológico débil, lesiones en la piel, hipogonadismo y diarrea (McClain et al., 1985). Se estima que para hombres de 15 a 74 años se necesitan alrededor de 12 a 15 mg de zinc al día, mientras que las mujeres de la misma edad se necesitan alrededor de 68 mg de zinc al día (Sandstead, 1985).

En regiones donde la población hace uso masivo del arroz como base de la alimentación presentan problemas nutricionales relacionados con deficiencias en minerales (Fe y Zn), vitaminas, anemia y ceguera, entre otros. Los niños, ancianos y mujeres embarazadas son los más afectados y vulnerables. Según la Doctora Pachón del Proyecto Agro Salud (2007), en meso América el 28% de las mujeres son anémicas y del 20 al 40% de la niñez padecen del mismo déficit.

Las estrategias empleadas para combatir la malnutrición no han dado los resultados esperados. Datos de reciente publicación indican que el fitomejoramiento constituye una herramienta eficiente, confiable y de menor costo para el desarrollo de germoplasmas con mayor valor nutricional (Martínez, *et al.*, 2007). Lo anterior justifica el incremento del interés que ha adquirido el estudio de la bioacumulación de Zn en el endosperma del cultivo alto consumo popular como es el caso del arroz.

En años recientes ya se han liberado en países como Bolivia, Cuba y Panamá variedades con alto contenido nutricional como Azucena, Saavedra 27, IACUBA 30, IDIAP GAB 2, IDIAP GAB 6, IDIAP GAB 8 y IDIAP GAB 11. El contenido de zinc en el endosperma de estas variedades osciló entre 13.2 y 18.6 mg/kg.

Este trabajo hace parte de las estrategias importantes desarrolladas para contribuir al mejoramiento de la seguridad alimentaria, la nutrición y la salud en las regiones de Nicaragua con mayor prevalencia de desnutrición. Se tiene como objetivo el mejorar el valor nutricional del arroz, aumentando su contenido de zinc en el grano pulido (de una línea base de 16 ppm hasta 28 ppm), manteniendo sus buenas calidades agronómicas (rendimiento, resistencia a enfermedades, calidad de grano y molinera).

II. OBJETIVOS

2.1. Objetivo general:

Identificar líneas avanzadas de arroz de alto potencial productivo, calidad industrial y nutricional que puedan ser incorporadas por su adaptación a los sistemas de producción de riego y secano de Nicaragua

2.2. Objetivos específicos:

2.2.1. Evaluar líneas avanzadas de arroz con respecto a parámetros de rendimiento, fenológicos y calidad industrial.

2.2.2. Valorar la calidad nutricional de líneas de arroz en cuanto a contenido de Zinc.

2.2.3. Determinar la respuesta de contenido de zinc en grano con relación al contenido en suelo.

2.2.4. Seleccionar líneas de arroz con alto potencial de rendimiento y contenido de zinc en distintas condiciones riego y secano.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Descripción del experimento

3.1.1. Localización

El Vivero y la Evaluación de líneas avanzadas, se establecieron en el Centro Experimental de Arroz TAINIC. La Evaluación multi-ambiental se estableció en dos ambientes de riego y cuatro de seco. La siembra se realizó entre junio y agosto del 2015 (esquema de mejora en anexo 1).

Cuadro 1. Descripción de los sitios donde se establecieron los ensayos de arroz con alto contenido de zinc en condiciones de riego y seco, durante el período 2014 -2015.

Fase	Municipio	Coordenadas	Altitud (msnm)	Fecha de:	
				Siembra	Cosecha
Vivero	Darío*	12°48'01.06"N; 86°09'42.26"O	445	Jul. 17/2014	Oct-Nov/2014
Evaluación de líneas avanzadas	Darío*	12°48'01.06"N; 86°09'42.26"O	445	Ene.12/2015	Abr-May/2015
	Jalapa	13°56'37.46"N; 86°06'11.75"O	661	Jul.02/2015	Oct-Nov/2015
Evaluación Multi-ambiental	Posoltega	12°33'10.04"N; 86°58'47.79"O	83	Ago.20/2015	Nov-Dic/2015
	Masatepe*	11°52'13.70"N; 86°09'41.01"O	503	Jul.03/2015	Oct-Nov/2015
	San Carlos	11°08'00.01"N; 84°45'57.03"O	49	Jul. 22/2015	Oct-Nov/2015
	Pantasma	13°22'36.33"N; 85°56'23.40"O	389	Jun. 24/2015	Oct-Nov/2015
	Darío*	12°48'01.06"N; 86°09'42.26"O	445	Jul. 06/2015	Oct-Nov/2015

*ensayos con riego

En la fase de vivero, las condiciones agroclimáticas registraron una media de horas/luz/día de 6.8 horas. La temperatura media y mínima fue de 25.4 y 20.8 °C respectivamente. La humedad relativa media fue de 75.6% y velocidad del viento media fue 7.3 km/h. La precipitación total fue de 418.5 mm, siendo el mes más lluvioso el de octubre con 187.5 mm. Las condiciones de siembra en el TAINIC es riego complementario (cuadro 2).

Cuadro 2. Condiciones agroclimáticas fase de vivero de líneas de arroz. TAINIC, 2014.

Datos Climáticos	Mes/2014					Media/ Total
	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	
Insolación total (Hrs./luz)	235.8	216.9	187.4	175.4	211.1	205.3*
Temperatura media (°C)	26.2	26	25.2	24.6	24.8	25.4*
Temp. nocturna (°C)	22.5	20.8	20.3	20.4	20.1	20.8*
Humedad Relativa media (%)	66	74	80	83	75	75.6*
Veloc./viento media (Km/H)	10.1	7.2	6.1	4.7	8.6	7.3*
Precipitación total (mm)	17	111.2	95.3	187.5	7.5	418.5+

*promedios; + total

Los suelos del TAINIC son pardos oscuros, arcillosos y profundos (60 cm), con buen drenaje y con pH ligeramente alcalino. Según clasificación de Quintana (1983), en los primeros 30 cm de profundidad se encontraron contenidos medios en nitrógeno, altos en fósforo, bajos en hierro y zinc (cuadro 3).

Cuadro 3. Resultados del análisis químico y físico de suelo en la fase de vivero de líneas de arroz. TAINIC, 2014.

Profundidad (cm)	pH (H ₂ O)	M.O. (%)	ppm			arcilla	limo (%)	arena	Textura
			P	Fe	Zn				
0-30	7.39	3.33	56.07	6.4	1.2	57.6	28	14.4	Arcillosa

Las condiciones agroclimáticas durante el desarrollo del cultivo de la fase de Evaluación de líneas avanzadas fueron óptimas con una intensidad lumínica desde la emergencia a cosecha (120 días promedio) de 1008 horas/luz y una media de 8.4 horas/luz/día, 26.1°C de temperatura media, 62.4% como promedio de humedad relativa, 10.3 km/hora promedio de velocidad del viento y una precipitación total de 26.3 mm (cuadro 4).

Cuadro 4. Condiciones agroclimáticas en la evaluación de líneas avanzadas de arroz. TAINIC, 2015.

Datos Climáticos	Mes/2015					Media/ Total
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	
Insolación total (horas/luz)	261.4	247.3	268.7	259.0	225.3	252.3*
Temperatura media (°C)	25.2	25.6	25.6	27.1	27.1	26.1*
Temperatura nocturna (°C)	20.7	18.8	19.7	19.6	21.2	20.0*
Humedad Relativa media (%)	62	64	62	60	64	62.4*
Velocidad/viento media (km/h)	12.2	10.8	11.1	9.0	8.3	10.3*
Precipitación total (mm)	5.4	11.4	1.4	1.2	6.9	26.3+

*promedios; + total

En la fase de Evaluación de líneas avanzadas, las condiciones de suelos fueron pardos oscuros, arcillosos y profundos (60 cm), con buen drenaje y con pH ligeramente alcalino. Según clasificación de Quintana (1983), en los primeros 30 cm de profundidad se encontraron contenidos medios en nitrógeno, altos en fósforo, potasio, calcio y magnesio, bajos en zinc (cuadro 5).

Cuadro 5. Resultados del análisis químico y físico de suelo en la fase de evaluación de líneas avanzadas de arroz. TAINIC, 2015.

Profundidad (cm)	pH (H ₂ O)	M.O. (%)	N (%)	ppm			K Meq/100 g de s.	Ca	Mg	arcilla	limo	arena	Textura
				P	Fe	Zn							
0-30	7.56	2.26	0.11	45.5	128	2.95	0.43	30.9	8.16	57.6	28	14.4	Arcillosa

Las condiciones de precipitación durante la fase de Evaluación Multi-ambiental fueron deficitarias en la mayoría de las localidades. Se exceptúan los ambientes de Darío y Masatepe porque estos fueron manejados con riego complementario. En este ciclo la disminución de los regímenes de lluvia varió entre 15 y 30% con respecto a la norma histórica, que fluctúa entre 1200-1700 mm/año. Los ambientes de secano con menos lluvias durante el ciclo del cultivo fueron en orden descendente: San Carlos (980 mm), Jalapa (920 mm), Posoltega (790 mm) y Pantasma (740 mm).

3.2. Diseño experimental

El diseño utilizado en el Vivero fue Diseño de Bloques Incompletos No Balanceado para un ambiente (Alpha Lattice) 10 * 10, con tres repeticiones. En total se evaluaron 91 tratamientos, siendo el genotipo IR 64 el testigo universal para Latinoamérica repetido una vez por bloque, y la variedad INTA L-9 fue el comparador o testigo local. Cada parcela experimental, se conformó de 2 surcos de 3 metros de longitud, separados a 0.25 m para un área de 1.5 m². El área de la parcela útil, la formaron los 2 metros centrales de los surcos para un área de 1 m².

El diseño utilizado en la Evaluación de líneas avanzadas fue Bloques Incompletos No Balanceado para un ambiente (Alpha Lattice) 5 * 5, con cuatro repeticiones. En total se evaluaron 25 tratamientos, las variedades testigos fueron: INTA L-8, INTA L-9 e INTA Dorado. Cada parcela experimental, se conformó de 4 surcos de 5 metros de longitud, separados a 0.25 m para un área de 5.0 m². El área de la parcela útil, la formaron los cuatro metros centrales de los dos surcos centrales para un área de 2.0 m².

El diseño utilizado en la Evaluación Multi-ambiental fue Bloques Incompletos No Balanceado para varios ambientes (Alpha Lattice) 4 * 4, con cuatro repeticiones por ambientes y seis ambientes. En total se evaluaron 16 tratamientos, las variedades testigos fueron: INTA L-9 e INTA Dorado. Cada parcela experimental, se conformó de 5 surcos de 5 metros de longitud, separados a 0.25 m para un área de 6.25 m². El área de la parcela útil, la formaron los cuatro metros centrales de los tres surcos centrales para un área de 3.0 m².

3.2.1. Material biológico en estudio.

En la primer fase de selección (Evaluación del vivero), fueron introducidas del CIAT, 86 líneas mejoradas avanzadas (F6), provenientes de cruces convencionales (hibrido simple), cruces inter específicos (cultivo de tejido) y de mejoramiento poblacional, tanto de condiciones de riego como de secano (cuadro 6).

En una segunda etapa de selección (Evaluación de líneas avanzadas) se evaluaron los mejores materiales del vivero (cuadro 6).

Una tercera etapa (Evaluación Multi-ambiental), consistió en evaluar los materiales seleccionados de la Evaluación de líneas avanzadas (cuadro 6).

Cuadro 6. Descripción de los tratamientos de líneas avanzadas de arroz con alto contenido de zinc.

TRATAM	DENOMINACIÓN	TRATAM	DENOMINACIÓN	TRATAM	DENOMINACIÓN
1	CT19298-(100)-1-2-3-1-4MP ^{1/2/}	31	IR87233-61-15-2-2-M ^{1/2/}	61	PCT-11\0\0\2,Bo\2\1>92-M-3-4-1-M
2	926 ^{1/2/}	32	IR55423-01-1SR-1-M	62	PCT-4\SA\1\1,Bo\3\1>204-1-3-3-M-2-M
3	CT19561-3-1-1P-2-4-2-M ^{1/}	33	IR77378-11-B-6-1-B-3SR-4-M	63	CT11231-2-2-1-3-M-5-2-M-3-M
4	PCT-4\SA\2\1,Bo\4\1>119-1-2-M	34	IR77378-11-B-6-1-B-1SR-3-M ^{1/2/}	64	PCT-11\0\0\2>Bo\2\1>87-1-1-6-1-1-M
5	PCT-4\0\0\3>138-1-4-M	35	CT23073-9-8-2	65	PCT-4\SA\1\1>669-M-5-M-2-M-5-M
6	PCT-11\0\0\2,Bo\4\1>125-1-4-M	36	IR90154-53-2-2-M ^{1/2/}	66	126-C409-2-1-4-3-M
7	PCT-4\0\0\3>220-1-6-M	37	IR90154-53-2-1-M ^{1/}	67	PCT-11\0\0\2,Bo\1\1>58-1-1-3-1-M ^{1/}
8	PCT-11\0\0\2,Bo\4\1>128-1-2-2-1-M	38	IR90167-35-1-M-1SR-2-M	68	PCT-11\0\0\2,Bo\2\1>125-M-3-2-3-1-M
9	PCT-11\0\0\2,Bo\4\1>28-1-1-4-1-M	39	IR90140-47-3-M-2SR-1-M ^{1/}	69	CT11231-2-2-1-3-M-5-2-M-1-M
10	PCT-4\SA\2\1,Bo\4\1>205-1-4-M	40	PCT-4\0\0\1>295-2-1-1-3-3 ^{1/}	70	PCT-4\SA\5\1>1754-5-1-5-3-1-M
11	PCT-4\SA\2\1,Bo\4\1>188-1-1-M	41	PCT-4\0\0\1>295-2-3-1-2-4	71	CT11891-3-3-3-M-1-5-M
12	PCT-4\SA\8\1>9-1-4-M	42	PCT-4\0\0\1>295-2-3-1-3-3	72	PCT-4\SA\1\1,SA\2\1>1118-2-7-5-1-M
13	PCT-4\0\0\3>233-1-4-M	43	PCT-4\0\0\1>295-2-6-1-3-2	73	PCT-11\0\0\2,Bo\2\1>32-M-1-1-5-2-M
14	PCT-4\SA\2\1,Bo\4\1>312-1-4-M	44	PCT-4\0\0\1>295-2-1-1-2-3	74	PCT-4\SA\1\1,SA\2\1>746-1-2-2-1-4-M
15	PCT-11\0\0\2,Bo\4\1>23-1-1-M ^{1/}	45	PCT-4\0\0\1>295-2-6-1-3-3	75	PCT-4\SA\1\1,SA\4\1>11-1-1-M
16	PCT-4\SA\2\1,Bo\4\1>183-1-4-M	46	PCT-4\SA\7\1>24-M-3-2-2-2-M	76	PCT-4\SA\2\1,Bo\4\1>8-1-2-M ^{1/}
17	PCT-11\0\0\2,Bo\4\1>171-1-1-M	47	PCT-4\0\0\1>295-2-6-3-3-1-M	77	PCT-4\SA\1\1>1260-M-6-M-6-M
18	IR31917-45-3-2-1-3SR-3-M	48	PCT-4\0\0\1>295-2-1-1-2-2	78	PCT-11\0\0\2,Bo\3\1>1-M-3-1-1-1-M ^{1/}
19	IR87233-24-23-2-1-M	49	PCT-4\0\0\1>295-2-3-1-3-5	79	PCT-11\0\0\2,Bo\2\1>46-M-3-2-4-2-M ^{1/}
20	IR87233-135-2-3-3-M ^{1/}	50	PCT-4\SA\1\1,Bo\3\1>60-3-2-4-M-1	80	CT11231-2-2-1-3-M-4-2-M
21	IR31917-45-3-2-1-2SR-1-M ^{1/}	51	PCT-4\SA\1\1,Bo\3\1>42-1-4-5-M	81	PCT-4\SA\5\1>1754-5-1-4-4-2-M
22	IR77430-14-B-1-2-B-3-4SR-1-M ^{1/2/}	52	PCT-4\0\0\1>295-2-3-2-1-4	82	PCT-11\0\0\2,Bo\2\1>133-M-5-1-4-3-M
23	IR31917-45-3-2-1-1SR-5-M ^{2/}	53	PCT-4\0\0\1>295-2-6-3-3-3	83	CT11231-2-2-1-M-6-5-M-4-M
24	IR31917-45-3-2-1-3SR-2-M	54	PCT-4\SA\1\1,Bo\3\1>37-2-6-3-M-3	84	CT11891-3-3-3-M-5-6-M
25	IR55423-01-1SR-2-M	55	PCT-4\0\0\1>295-2-1-1-3-2	85	PCT-4\SA\1\1,Bo\3\1>42-1-6-1-M
26	IR75870-5-8-5-B-2-B-2-1-M	56	PCT-4\0\0\1>295-2-3-1-3-1	86	Fedearroz 50 ^{1/*}
27	IR31917-45-3-2-1-3SR-4-M	57	PCT-11\0\0\2,Bo\2\1>82-3-3-1-3-1	87	Azucena
28	IR87233-19-4-2-2-M ^{1/2/}	58	PCT-4\SA\1\1,Bo\3\1>204-1-3-6-M-3-M	88	PCT-4\SA\1\1,Bo\3\1>109-1-1-1-M
29	IR75870-5-8-5-B-2-B-1SR-8-M ^{1/2/}	59	PCT-11\0\0\3>1044-M-2-3-M-1-M ^{1/}	89	IR68144-2B-2-2-3-1-166
30	IR77392-67-B-5-16-B-2-2-1-M	60	PCT-11\0\0\2,Bo\2\1>487-3-1-3-2-3	90	INTA L-9 ^{1/*}
				91	IR64 ^{1/2/**}

Vivero= tratamientos 1 al 91; Evaluación de líneas avanzadas^{1/}; Evaluación Multi-ambiental^{2/}

*Testigo Local; ** Testigo Centinela

3.2.2. Variables evaluadas

El resultado de la evaluación de cada variable se realizó aplicando la escala de evaluación estándar para arroz (CIAT, 1983). El tamaño de muestra para caracteres cuantitativos de crecimiento, desarrollo y componentes de rendimiento fue de 10 muestras elegidas de forma aleatoria en los surcos centrales de cada parcela.

Variables utilizadas como criterios de selección

Floración (Fl)

Se registró el número de días, desde la emergencia hasta cuando el 50% de las plantas estaban espigando.

Maduración (Mat)

Se registró el número de días, desde la emergencia hasta cuando el 50% de las plantas estaban en madurez fisiológica (20-22% humedad de grano).

Incidencia por *Pyricularia oryzae* en la hoja, cuello y en los nudos de la planta (BI y NBI)

Se realizó un muestreo en 20 plantas para determinar presencia o no de la enfermedad y posteriormente se calculó el porcentaje de incidencia. Tiempo de evaluación, floración.

Incidencia de manchado de grano

En 10 panículas se contaron los granos (espiguillas) totales y granos manchados con al menos un 25% de afectación. Luego, se realizó el respectivo cálculo para obtener el porcentaje de grano manchado. Tiempo de evaluación, madurez fisiológica.

Rendimiento de granza en kg ha⁻¹ al 14% de humedad

Se determinó el rendimiento potencial de arroz granza de cada línea de arroz, expresándolo en kg ha⁻¹ y considerando un 14% de humedad, el cálculo se realizó de la siguiente manera: $100 - H^\circ \text{ Campo} / 86$. Tiempo de evaluación, madurez fisiológica.

Calidad industrial

Se pesaron 200 gramos de arroz granza seco y limpio, con un porcentaje de humedad del 14%, posteriormente a través de un proceso de molinería se obtuvieron los respectivos índices de pilada y calidad industrial de grano. Tiempo de evaluación, 10 días después de la cosecha.

Contenido nutricional

El contenido de zinc en el grano pulido se obtuvo mediante la metodología de fluorescencia de rayos X (FRX). La muestra de 50 gramos por cada línea fue enviada al laboratorio del CIAT-Colombia para su respectivo análisis. Se define como fluorescencia de rayos X (FRX), a la emisión de fotones de alta energía provenientes de las capas atómicas del elemento de interés. Esta técnica (FRX) es sumamente útil en la determinación de elementos que se encuentran en diferentes materiales de origen orgánico o mineral.

Variables adicionales

Habilidad de macollamiento

Se realizó recuento de tallos productivos por metro lineal, en estado lechoso del grano.

Longitud de la panícula

Se promedió la longitud de 10 panículas en cm, de la base o nudo ciliar al ápice de la panícula. Tiempo de evaluación, madures fisiológica.

Granos por panícula

Se promedió el número de granos de 10 panículas. Tiempo de evaluación, madures fisiológica.

Fertilidad de las espiguillas

Se promedió y contaron los granos (espiguillas) totales y los enteros de 10 panículas. Luego se calculó el respectivo porcentaje de fertilidad. Evaluada en madurez fisiológica.

Cuadro 7. Aplicación de la escala CIAT para fertilidad de espiguillas.

Clasificación	Categorías
1	Altamente fértiles (mas del 90%)
3	Fértiles (75-89%)
5	Parcialmente fértiles (50-74%)
7	Estériles (10-49%)
9	Altamente estériles (menos del 10%)

Peso de 1000 granos granza

Se pesaron 1000 granos granza en gramos calculados al 14% de humedad. Tiempo de evaluación, madures fisiológica.

Altura de la planta

Se registró y promedio la altura de 10 plantas en cm, midiendo desde la superficie del suelo hasta la punta de la panícula más alta. Tiempo de evaluación, madures fisiológica.

Cuadro 8. Aplicación de la escala CIAT para altura de planta.

Clasificación	Categorías
1	Menos de 100 cm planta semienana.
5	101-130 cm planta intermedia.
9	Más de 130 cm planta alta.

Acame o volcamiento de planta (Lg)

Se realizó una estimación visual del porcentaje de plantas acamadas. Tiempo de evaluación, madures fisiológica.

Cuadro 9. Aplicación de la escala CIAT para acame de planta.

Clasificación	Categorías
1	Tallos fuertes (Sin volcamiento).
3	Tallos moderadamente fuertes (1 al 15% de acame).
5	Tallos moderadamente débiles o intermedios (16 al 50% de acame).
7	Tallos débiles (51 al 99% de acame).
9	Tallos muy débiles (100% de acame).

Senescencia (Sen)

Se realizó una estimación visual del porcentaje de follaje amarillo al momento del inicio de la madures fisiológica. Tiempo de evaluación, madures fisiológica.

Cuadro 10. Aplicación de la escala CIAT para Senescencia.

Clasificación	Categorías
1	Tardía y lenta (< del 20% de amarillamiento de hojas)
5	Intermedia (amarillamiento de hojas entre el 21 y 50%)
9	Temprana y rápida (amarillamiento de las hojas superior al 50%)

Longitud y Forma del grano

La evaluación de la calidad del grano involucra característica como la longitud y forma del grano descascarado. Tiempo de evaluación, madures fisiológica.

Cuadro 11. Aplicación de escala CIAT de grano descascarado.

Designación	Longitud (mm)	Escala	Forma	Long./Ancho (mm)	Escala
Extra largo	7.50 +	1	Delgado	3.0 +	1
Largo	6.61 – 7.49	3	Medio	2.1 – 3.0	3
Medio	5.51 – 6.60	5	Ovalado	1.1 – 2.0	5
Corto	- de 5.50	7	Redondo	- de 1.1	7

3.2.3. Análisis estadístico

Se realizó el Análisis de Varianza para probar la hipótesis de igualdad entre medias de tratamientos. Se utilizó la prueba de separación de medias de rangos múltiples de Tukey al 5% de significancia ($P = 0.05$). También se realizaron Análisis de Regresión por Genotipo, Multiambiental, Frecuencia, Regresión, Correlación y Conglomerado. Los programas usados fueron INFOSTAT e INFO GEN. La normalidad y homogeneidad de datos fue comprobada mediante las pruebas de Shapiro-Wilk y Levene. Se aplicaron transformaciones en datos que no correspondían con los supuestos del ANDEVA.

3.3. Manejo agronómico del cultivo

En cada ensayo se tomaron los datos de manejo agronómico, incluyendo fertilizantes, aplicaciones de riego, datos climáticos y análisis químico de los suelos. La preparación del suelo en el Vivero fue mecanizada y con suelo anegado, esta consistió en un pase con rotadisco realizado 10 días antes de la siembra (das) y dos pases de banca, tres días antes de la siembra.

La preparación del suelo en la Evaluación de líneas avanzadas fue mecanizada y en seco, esta consistió de un pase de arado, dos de gradeo y uno de nivelación, estas labores iniciaron desde 10 días antes de la siembra (das).

En ambos experimentos la distancia entre surco fue de 0.25 m, depositando la semilla a chorrillo ralo a razón de 120 kg ha⁻¹. La emergencia inicio a los ocho días después de sembrado. Al momento de la siembra el suelo estaba en condiciones de capacidad de campo, el primer riego se realizó un día después de la siembra y el último 15 días antes de iniciar la cosecha según el ciclo del material.

En cuanto a las láminas de riego estas se mantuvieron en dependencia del crecimiento del cultivo. Iniciando con láminas de 5 a 10 cm en las fases iniciales (vegetativa), hasta los 15 cm durante la etapa reproductiva.

Durante la Evaluación Multi-ambiental de Rendimiento, en cinco ambientes (Darío, Jalapa, Posoltega, Masatepe y Pantasma) la preparación del suelo fue mediante tracción mecánica (arado y gradeo) y la siembra en surco a chorrillo (130 kg ha⁻¹). Solamente en San Carlos, se preparó con tracción animal y la siembra fue al espeque (51 kg ha⁻¹).

En todos los ensayos el día de la siembra, se aplicó al fondo del surco fertilizante de la fórmula 18-46-00a razón de 130 kg ha⁻¹ más 65 kg ha⁻¹ de MOP (00-00-60). A los 15 y 35 días después de la emergencia (dde), se aplicó Urea 46% a razón de 130 kg ha⁻¹ por fraccionamiento. A los 55 dde, se realizó un último fraccionamiento de UREA 46%, en dosis de 65 kg ha⁻¹ más 65 kg ha⁻¹ de MOP (00-00-60). En total se aplicó 173-60-39 kg ha⁻¹ de N-P₂O₅-K₂O respectivamente.

Con respecto al control de malezas (hoja ancha, poaceas y ciperáceas), durante toda la etapa de desarrollo del cultivo se garantizó un estricto control de malezas. Los métodos usados fueron mecánicos, manuales y químicos (Glifosato, Clomazone, Bispiribac Sodio y Cihalofop).

Para la prevención y control de plagas como chinche de la espiga (*Oebalus insularis*) y enfermedades se realizaron aplicaciones de: Engeo (Thiamethoxam + Lambda – Cihalotrina), Rienda (Deltamethrin, triazophos), Actara (Thiametoxan), Carbendazin, Amistar (Azoxistrobina).

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Primera Fase: Evaluación y Selección en Vivero

4.1.1. Rendimiento, madures, calidad industrial y nutricional

Los principales criterios de selección en la fase de vivero fueron rendimiento, precocidad, contenido nutricional y calidad industrial. El análisis de varianza determinó que existe diferencias significativas y altamente significativa ($P = 0.05$, $P = 0.001$) en las variables, rendimiento, días a madurez después de la emergencia y calidad nutricional. El Coeficiente de Variación es considerado aceptable, y varió entre 4.4 y 25.8% (cuadro 12).

Los factores más importantes que afectan al rendimiento del cultivo del arroz son los siguientes: El potencial de la variedad y la reacción al abonado, el grado de control de las enfermedades, los insectos y las malas hierbas, los métodos de cultivo incluyendo la regulación del drenaje y del riego, el empleo eficaz de fertilizantes y el clima (Doyle, 1986).

Se identificaron 21 materiales promisorios que superan las 8 t ha⁻¹ granza. Entre estos se encuentra el testigo local, INTA L-9 que alcanzó el puesto 16 entre los más productivos con 8.4 t ha⁻¹. El 15% de los materiales introducidos superaron productivamente al Testigo local (INTA L-9) y solamente el 1% superó al testigo universal (IR64). El tratamiento 37 (IR90154-53-2-1-M), supero estadísticamente al rendimiento obtenido por los tratamientos 6, 12, 87 y 10. La diferencia productiva entre el mejor tratamiento (T37) y el peor tratamiento (T10) es del 38.1% (anexo 2). El testigo (repetitivo) universal para Latinoamérica, IR 64, se comportó como un genotipo altamente productivo de alta estabilidad.

En lo que se refiere a días a madurez a partir de la emergencia, se identificaron entre los genotipos que superan las 8 t ha⁻¹, materiales cuya madurez fluctúa entre los 95 y 103 días. Este es el caso de los tratamientos: T67, T79, T78, T41 y T59 respectivamente. Estos materiales precoces y altamente productivos podrían ser una buena alternativa para las condiciones de secano que presentan períodos de lluvias irregulares y deficitarias o para las condiciones de riego donde el recurso agua es cada vez más limitante.

Identificar genotipos con alta productividad y que adicionalmente contengan alto contenido de zinc es una de las prioridades de la presente evaluación. Se encontraron 13 tratamientos cuyos contenidos de zinc fluctúan entre 18.0 y 20.3 mg/kg zinc, a la vez presentan rendimientos considerados intermedios y bajos que varían entre 4.8 y 7.4 t ha⁻¹. Estos tratamientos con alto contenido de zinc, podrían ser utilizados en un programa de mejoramiento como progenitores para realizar cruzamientos entre donantes seleccionados y genotipos con alto potencial de rendimiento, tolerancia a enfermedades e insectos, y buena calidad de grano (anexo 2).

Entre los tratamientos más productivos se encontraron 5 genotipos cuyos contenidos de zinc fluctúan entre 16.3 y 16.7, entre ellos se encuentra el Testigo INTA L-9 (cuadro 12). Estas medias no difieren estadísticamente con las líneas de mayor contenido nutricional evaluadas en el vivero.

En Nicaragua, el promedio en el contenido de zinc de las variedades comerciales de arroz es 16 ppm, lo cual constituye la línea base a superar. Los bajos índices de Desviación estándar y Coeficiente de variación obtenidos en el contenido de zinc en el arroz pulido indican que los datos fluctúan cerca de la media y no se encuentran demasiados dispersos de está (cuadro 12).

La calidad industrial es otro aspecto importante a considerar además de la productividad y contenido nutricional (cuadro 12). Los genotipos altamente productivos presentan índices superiores al 65% de rendimiento de arroz oro y relación de grano entero quebrado (R E/Q) que exceden las calidades 90/10. Se podría concluir, que todos los genotipos altamente productivos cumplen con los parámetros de calidad exigidos por el mercado.

El mejoramiento de la calidad nutricional debe combinarse con las características de interés para los agricultores y consumidores tales como buen potencial de rendimiento, resistencias a plagas y enfermedades, y buena calidad de grano. Los materiales promisorios que superaron productivamente al testigo INTA L-9 o mostraron otras características de interés (precocidad, contenido nutricional y calidad industrial) son los seleccionados para conformar la siguiente fase de investigación: Evaluación de líneas avanzadas.

Cuadro 12. Comportamiento productivo, nutricional e industrial de los genotipos seleccionados en la fase de vivero de arroz. TAINIC, 2014.

TRATAM	IDENTIFICACION GENO TIPO	Rendimiento		Madurez		Contenido de Zinc				Calidad Industrial	
		kg ha ⁻¹	Tuk	Días	Tuk	mg/kg	Tuk	DE	%CV	% Oro	R E/Q
37	IR90154-53-2-1-M	10931	a*	113	a-m*	13.5	f-k*	0.6	4.8	66	90/10
98	IR 64	10166	ab	114	a-j	13.6	f-k	1.2	8.8	68	93/07
29	IR75870-5-8-5-B-2-B-1SR-8-M	9464	ab	114	a-j	13.2	f-k	0.5	3.6	68	91/09
39	IR90140-47-3-M-2SR-1-M	9320	ab	114	a-j	16.3	a-k	2.9	17.8	68	96/04
2	926	9235	ab	109	a-q	14.1	e-k	0.9	6.7	66	90/10
34	IR77378-11-B-6-1-B-1SR-3-M	9141	ab	110	a-p	12.3	k	1.3	10.8	65	85/15
67	PCT-11\0\0\2,Bo\1\1>58-1-1-3-1-M	9096	ab	103	c-q	13.8	f-k	0.6	4.0	69	95/05
36	IR90154-53-2-2-M	9064	ab	112	a-n	13.4	f-k	0.4	3.1	67	94/06
28	IR87233-19-4-2-2-M	8988	ab	112	a-n	13.5	f-k	0.5	3.5	69	96/04
20	IR87233-135-2-3-3-M	8936	ab	115	a-h	13.3	f-k	1.1	8.6	67	95/05
79	PCT-11\0\0\2,Bo\2\1>46-M-3-2-4-2-M	8875	ab	99	g-q	14.8	b-k	1.7	11.2	67	92/08
78	PCT-11\0\0\2,Bo\3\1>1-M-3-1-1-1-M	8712	ab	98	i-q	16.7	a-k	3.2	19.5	56	92/08
86	Fe de Arroz 50	8538	ab	121	a	16.5	a-k	3.5	21.1	58	90/10
41	PCT-4\0\0\1>295-2-3-1-2-4	8439	ab	96	o-q	17.0	a-k	3.7	21.8	69	81/19
90	Testigo LOCAL (INTA L-9)	8434	ab	116	a-f	16.3	a-k	3.4	20.8	66	90/10
3	CT19561-3-1-1P-2-4-2-M	8381	ab	115	a-g	13.1	h-k	0.7	5.6	66	95/05
23	IR31917-45-3-2-1-1SR-5-M	8191	ab	107	a-q	12.1	k	1.9	15.4	67	92/08
31	IR87233-61-15-2-2-M	8123	ab	115	a-a	14.1	d-k	0.6	4.5	67	93/07
1	CT19298-(100)-1-2-3-1-4MP	8119	ab	117	a-d	13.7	f-k	1.2	8.6	66	88/12
59	PCT-11\0\0\3>1044-M-2-3-M-1-M	8053	ab	95	pq	15.4	b-k	2.3	14.8	69	93/07
15	PCT-11\0\0\2,Bo\4\1>23-1-1-M	8010	ab	106	a-q	14.6	b-k	2.3	15.7	70	77/23
76	PCT-4\SA\2\1,Bo\4\1>8-1-2-M	7909	ab	108	a-q	16.5	a-k	3.2	19.4	67	90/10
22	IR77430-14-B-1-2-B-3-4SR-1-M	7872	ab	112	a-o	13.2	g-k	0.4	2.9	62	92/08
MEDIA		6944		107		15.3		1.7	11		
Pr > F Para Genotipo		0.0009**		0.0001*		0.0001*					
Pr > F Para Repetición		0.6982NS		0.0442*		0.0052					
Pr > F Para Bloque		0.0242*		0.0001		0.0032					
DMS		6317		16.4		5.18					
CV (%)		25.8		4.4		9.62					
R²		0.5		0.86		0.72					

*Medias con la misma letra son estadísticamente iguales, según TUKEY con P=0.05.
DE= Desviación estándar; C.V. = Coeficiente de variación; RE/Q= Relación entero/quebrado

La gráfica de frecuencia (figura 1), para contenido de zinc muestra que el 38% de los genotipos superan los 16 mg/kg de zinc en el grano pulido. La media general fue de 15.3 mg/kg zinc, con valores mínimos y máximos de 11.9 y 20.3 mg/kg.

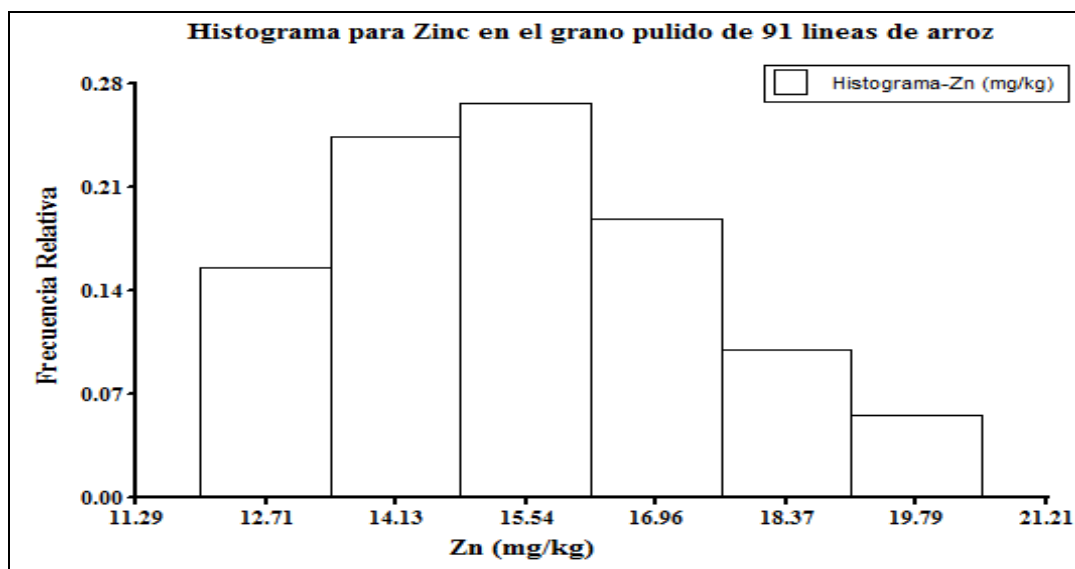


Figura 1. Histograma de frecuencia relativa del contenido de Zn (mg/kg) en el grano pulido de líneas evaluadas en el Vivero. TAINIC, invierno 2014.

Datos obtenidos en el IRRI (Choudhury. 1991), indican que las condiciones climáticas y de suelos influyen en la expresión del contenido de zinc en el grano de arroz. Estudios recientes realizados por Borrero et al del CIAT-Colombia (2014) y por Nova et al del IDIAF-República Dominicana (2008), relacionan que la expresión del zinc en el grano pulido además del carácter genético depende de varios factores que incluyen manejo, suelo y clima.

El zinc es un elemento traza en suelos, plantas y animales, su concentración suele ser muy baja (inferior a 0.1%). El zinc actúa de forma funcional, estructural o como co-factor regulador de un gran número de enzimas, un exceso de concentración produce perturbaciones en el desarrollo y crecimiento vegetal, que se considera como toxicidad. En el suelo, el contenido de zinc soluble en agua, disminuye con la elevación de pH. Un alto pH del suelo, está correlacionado con la disminución del zinc en el tejido vegetal (Harter, 1991). En base a lo anterior se debe de considerar que los contenidos disponibles de zinc en el suelo del TAINIC son bajos y el pH ligeramente alcalino, siendo estas condiciones determinantes para que los contenidos de zinc en el grano fueran también entre bajos y medios. El rango más común de Zn total en el suelo se sitúa entre 10 y 300 mg/kg con una media de 50 mg/kg (Goldschmidt, 1954).

En este experimento se determinó que el contenido de zinc en el grano está fuertemente vinculado al contenido del elemento en suelo (figura 2). El análisis de regresión con un coeficiente de determinación $R^2=74\%$, explica que la variabilidad en el contenido de zinc en el grano está influenciada por el contenido de zinc en el suelo. Mostrando una tendencia que no logra determinar el punto de inflexión, de que a mayor contenido de zinc en el suelo, se incrementa el contenido del mismo en el grano pulido.

Donde se cultiva arroz de secano, el pH del suelo es más ácido con mayores contenidos de zinc en el suelo por lo que habría que comprobar en futuras investigaciones si la tendencia mostrada en condiciones con pH alcalino se mantiene o incrementaría en otras condiciones de suelo con pH más neutro o ácido y con mayor disponibilidad de zinc. Para el de arroz de riego, se podría aportar zinc al suelo con el objetivo de lograr un balance nutricional que contribuya a incrementar tanto el rendimiento como el contenido de zinc en el grano y la calidad del mismo. Cabe destacar, que las disponibilidades de zinc encontradas en el suelo durante el estudio son consideradas bajas, infiriendo que al menos el 38% de las líneas presentan alta capacidad de absorción de zinc por su naturaleza genética.

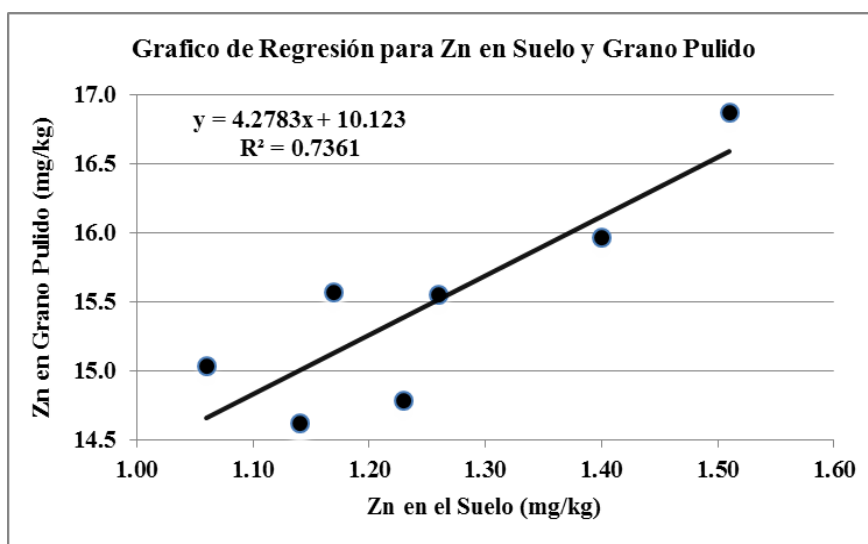


Figura 2. Gráfico de dispersión entre los contenidos de zinc en el suelo y grano pulido de arroz en el Vivero con pH de suelo ligeramente alcalino. TAINIC, 2014.

4.1.2. Variables de crecimiento y desarrollo

En lo que se refiere a días a floración, 19 de los 24 genotipos con mayor productividad florecieron entre los 65 y 81 días después de la emergencia (cuadro 13). Otro grupo estadísticamente diferente, está conformado por los tratamientos: T67, T79, T78, T41 y T59 cuya floración fluctúa entre los 55 y 63 días. Ambos grupos se caracterizan por presentar materiales con alta productividad. La característica de precocidad combinada con buen rendimiento, es muy apreciada por los agricultores, ya que los materiales usados comercialmente llegan a la madurez después de los 120 días. El uso de variedades precoces implicaría un menor gasto por riego y un mejor ajuste al cambio climático para las condiciones de secano con inviernos irregulares y deficitarios.

La altura de planta es una característica varietal que influye directamente en la capacidad de rendimiento y es un factor de mucha importancia al momento de tomar criterios en el proceso de selección. La escogencia de determinada altura de planta al momento de hacer selección varietal adquiere importancia desde el punto de vista agronómico por la relación existente entre altura de planta y la resistencia de ésta al acame. Así mismo, la cosecha mecánica y manual es otro factor de importancia al considerar la altura en el proceso de selección. Existen variedades o líneas de porte bajo y porte alto donde las variedades comerciales su altura oscilan entre 1-1.5 m. El rendimiento y la repuesta al nitrógeno de las variedades de arroz están fuertemente correlacionadas inversamente con la altura de la planta (CIAT, 1983).

En el vivero, los rangos de altura de planta variaron desde 147.1 hasta 72.1 cm, existiendo diferencias estadísticas entre ellas (cuadro 13 y anexo 2). Plantas con menos de 100 cm se consideran tipo semienanas, de 100 a 130 cm tipo intermedias y mayores de 130 cm plantas de porte alto. El rango de altura de las plantas que inducen los mayores rendimiento osciló entre 90.2 y 113.2 cm.

En cuanto a la incidencia de pyricularia (*Pyricularia oryzae*) la gran mayoría de los tratamientos del vivero presentaron porcentajes entre 1 y 5% de la enfermedad al nivel de la hoja. La menor incidencia en los materiales más productivos se presentó en los tratamientos: 98, 67, 79, 78, 90, 3, 59 y 15. Estos niveles bajos de incidencia que se presentaron en el experimento podrían estar relacionados a las faltas de condiciones ambientales para el desarrollo de la enfermedad. Meneses *et al.*, (2001), menciona que las temperaturas óptimas para que se desarrolle la Pyricularia (germinación de las conidiosporas del hongo) son 28 °C y con una humedad relativa de 85-93%. En estas condiciones, se pueden producir pérdidas superiores al 70% del rendimiento agrícola y muchos granos cosechados pierden calidad.

Cuadro 13. Resultados del comportamiento agronómico de los mejores materiales productivos del Vivero de Arroz. TAINIC, 2014.

TRATAM	Identificación del Genotipo	Floración		Altura Pta		Inc. Pyric.	
		Dias	Tuk	cm	Tuk	%	^{1/1} Tuk
37	IR90154-53-2-1-M	73	a-m*	102.4	h-x*	3.7	ab*
98	IR 64	74	a-j	101.1	i-y	1.3	b
29	IR75870-5-8-5-B-2-B-1SR-8-M	74	a-j	102.5	h-x	1.7	ab
39	IR90140-47-3-M-2SR-1-M	74	a-j	98.0	k-y	3.0	ab
2	926	69	a-q	103.7	g-x	2.3	ab
34	IR77378-11-B-6-1-B-1SR-3-M	70	a-p	90.2	v-y	2.0	ab
67	PCT-11\0\0\2,Bo\1\1>58-1-1-3-1-M	63	c-q	104.5	f-x	1.0	b
36	IR90154-53-2-2-M	72	a-n	102.8	h-x	2.0	ab
28	IR87233-19-4-2-2-M	72	a-n	100.7	i-y	1.7	ab
20	IR87233-135-2-3-3-M	75	a-n	102.3	h-x	2.3	ab
79	PCT-11\0\0\2,Bo\2\1>46-M-3-2-4-2-M	59	g-q	108.0	e-s	1.0	b
78	PCT-11\0\0\2,Bo\3\1>1-M-3-1-1-1-M	58	i-q	100.1	i-y	1.0	b
86	Fe de Arroz 50	81	a	94.9	n-y	2.0	ab
41	PCT-4\0\0\1>295-2-3-1-2-4	56	o-q	97.6	l-y	2.0	ab
90	Testigo LOCAL (INTA L-9)	76	a-f	109.5	d-p	1.3	b
3	CT19561-3-1-1P-2-4-2-M	75	a-g	102.9	h-x	1.3	b
23	IR31917-45-3-2-1-1SR-5-M	67	a-q	101.4	i-y	1.7	ab
31	IR87233-61-15-2-2-M	75	a-h	99.4	i-y	2.3	ab
1	CT19298-(100)-1-2-3-1-4MP	77	a-d	100.7	i-y	2.7	ab
59	PCT-11\0\0\3>1044-M-2-3-M-1-M	55	pq	93.9	n-y	1.3	b
15	PCT-11\0\0\2,Bo\4\1>23-1-1-M	66	a-q	113.2	d-m	1.0	b
76	PCT-4\SA\2\1,Bo\4\1>8-1-2-M	68	a-q	113.2	d-m	2.0	ab
22	IR77430-14-B-1-2-B-3-4SR-1-M	72	a-q	107.3	e-t	3.0	ab
Pr > F Para Genotipo		<0.0001**		<0.0001**		<0.0001**	
Pr > F Para Repetición		0.0481*		0.0022**		0.0150*	
Pr > F Para Bloque		<0.0001**		<0.0001**		0.0011**	
DMS		16.6		16.7		0.309	
CV		7.07		4.59		13.93	

*Medias con la misma letra son estadísticamente iguales, según TUKEY con P=0.05.

^{1/1}Prueba de TUKEY realizada para datos transformados con $\sqrt{\%}$

4.2. Segunda Fase: Evaluación y selección de líneas avanzadas

4.2.1. Variables de componente del rendimiento: rendimiento, macollas productivas por planta, longitud de panícula, granos y fertilidad de panícula, peso de mil granos.

El análisis de varianza determinó que existe diferencias altamente significativa ($P=0.001$) en las variables de rendimiento, macollamiento, longitud de panícula, granos y fertilidad de panícula, y peso de mil granos (cuadro 14). Los valores del Coeficiente de Variación para los diferentes caracteres fueron relativamente bajos (1.89 a 9.04%), indicando alta confiabilidad de los datos obtenidos en la fase de campo. Al realizar las pruebas de Shapiro-Wilk y Levene, los valores no presentan diferencias significativas para ninguno de los caracteres estudiados, determinándose que los datos son normales y homogéneos, comprobando que los mismos cumplen con los supuestos del ANDEVA.

En lo que se refiere a rendimiento se identificaron 12 genotipos (cuadro 14), que comparten la misma categoría estadística y cuyos rendimientos medios varían entre 8.8 y 10.6 t ha⁻¹, siendo estadísticamente superiores al rendimiento alcanzada por el testigo INTA L-8. Entre estos 12 tratamientos se encuentran los testigos INTA L-9 e INTA Dorado, con rendimientos de 8.8 y 9.3 t ha⁻¹ respectivamente. El 64% de los tratamientos introducidos superaron estadísticamente al testigo INTA L-8.

En la variable número de macollas productivas por metro lineal, las medias variaron entre 97 y 160 macollas. Ocho de los genotipos mostraron las máximas cantidades de macollas con valores que fluctúan desde 129 hasta 160 (cuadro 14). En la variable longitud de panícula, las medias variaron desde 16.6 hasta 24.7 cm. Catorce de los genotipos, presentaron la mayor longitud con valores de 20.4 hasta 24.7 cm.

De Datta (1986), señala que las condiciones climáticas pueden ser la causa de que se formen un mayor número de espiguillas o granos, sobre todo la radiación solar que favorece la actividad fotosintética, produciendo así un incremento en los carbohidratos. Las medias variaron desde 65 hasta 130 granos por panícula. Trece de las líneas en estudio, conforman una misma categoría estadística, y en ella se encuentran el mayor número de granos por panícula con valores de 98 a 130.

Dieciséis genotipos, presentaron los mayores índices de fertilidad de espiga cuyos porcentajes fluctúan entre 81.1 y 90.3%, siendo estadísticamente iguales entre sí. El porcentaje mínimo obtenido fue de 73.2% y el máximo de 90.3%. Según la escala de fertilidad del CIAT, 2 tratamientos se clasifican en la escala 1, plantas altamente fértiles (>90% de fertilidad). Veintiún tratamientos se clasifican en la escala 3, plantas fértiles (75 al 89% de fertilidad). Los restantes 2 tratamientos se clasifican en la categoría 5, o sea panículas parcialmente fértiles (50 al 74% de fertilidad).

Jenings (1981), plantea que la fertilidad de las espiguillas es un prerequisite para obtener altos rendimientos, con un buen manejo del cultivo y un crecimiento apropiado se obtiene altos rendimientos para una esterilidad normal de las espiguillas del 10 al 15%. Un porcentaje mayor de esterilidad es preocupante. La esterilidad es común en materiales mejorados de arroz y tiene tres causas principales: Temperaturas extremas, volcamiento y esterilidad híbrida o incompatibilidad genética. En este sentido Somarriba (1998), menciona que, la temperatura crítica para la inducción de esterilidad se sitúa, durante la floración con temperatura inferior de 22 °C provocando la falta de apertura de las glumas (lema y palea), si la temperatura es inferior a 15 °C no se produce fecundación, mayores de 35 °C son críticas para la antesis y habrá mayor número de granos vanos, disminuye el número de espiguillas y puede llegar a causar esterilidad. En este experimento, la temperatura promedio durante la floración fue de 25.6 °C, estando en el rango óptimo.

Tinarelli (1989), plantea que las características estéticas del arroz dependen de los caracteres genéticos de cada variedad, ya sea su forma, longitud, grosor, tamaño de cada grano. Además afirma que las plagas inciden directamente en el llenado y en la producción misma. El tratamiento 20 (T20), alcanzó el mayor peso por mil granos con 30.9 gramos, siendo estadísticamente superior al peso obtenido por otros 18 tratamientos, cuyos pesos oscilaron entre 21.6 y 26.0 gramos. El T20 comparte la misma categoría estadística con otros 6 tratamientos cuyos pesos fluctúan entre 26.7 y 28.9 gramos (cuadro 14).

Cuadro 14. Resultados del componente del rendimiento en evaluación de líneas avanzadas. TAINIC, 2015.

TRATAM	Identificación del Genotipo	Rend. 14% H°		Macollas/metro		Long./Panic.		Granos/Panic.		Fert./Panicula		Peso Mil Granos		
		kg ha ⁻¹	Tuk	und	^{1/1} /Tuk	cm	Tuk	und	Tuk	%	^{12/1} /Tuk (Esc)	gr	Tuk	
1	CT19298-(100)-1-2-3-1-4MP	10654	a*	134	a-e**	21.3	abc*	117	abc*	73.2	e**	(5)	26.4	b-f*
6	IR77430-14-B-1-2-B-3-4SR-1-M	10246	ab	109	e-g	23.2	abc	130	a	75.0	de	(3)	23.5	efg
13	IR90154-53-2-1-M	9698	abc	136	a-e	21.0	abc	114	a-f	84.6	a-d	(3)	24.8	b-g
22	IR 64	9639	abc	147	abc	20.4	a-f	83	fgh	88.0	ab	(3)	24.2	c-g
25	INTA Dorado (TL)	9291	abc	129	a-f	20.4	b-f	93	b-h	84.2	a-d	(3)	25.0	b-g
9	IR75870-5-8-5-B-2-B-1SR-8-M	9204	abc	120	b-g	23.5	abc	89	c-h	84.5	a-d	(3)	23.9	d-g
8	IR87233-19-4-2-2-M	9154	abc	118	c-g	21.0	abc	88	c-h	86.9	abc	(3)	23.3	e-g
21	Fe de Arroz 50	9178	abc	151	ab	22.7	a-e	116	a-e	76.9	de	(3)	25.1	b-g
10	IR87233-61-15-2-2-M	8920	abc	160	a	22.2	abc	83	f-h	88.3	ab	(3)	22.8	fg
7	IR31917-45-3-2-1-1SR-5-M	8912	abc	149	abc	21.9	abc	122	ab	82.2	a-e	(3)	21.6	g
24	INTA L-9 (TL)	8835	abc	105	fg	24.4	ab	118	abc	77.7	c-e	(3)	26.0	b-f
11	IR77378-11-B-6-1-B-1SR-3-M	8817	abc	143	a-d	19.5	c	104	a-g	79.0	b-e	(3)	26.7	a-f
3	CT19561-3-1-1P-2-4-2-M	8651	bcd	112	d-g	24.0	abc	98	a-g	89.5	a	(3)	25.3	b-g
12	IR90154-53-2-2-M	8601	bcd	119	c-g	22.0	abc	106	a-g	78.9	b-e	(3)	23.5	efg
5	IR87233-135-2-3-3-M	8304	cd	112	efg	21.3	abc	85	d-h	90.3	a	(1)	23.9	d-g
14	IR90140-47-3-M-2SR-1-M	7761	cde	125	b-f	21.0	abc	117	a-d	83.9	a-d	(3)	24.3	c-g
23	INTA L-8 (TL)	6851	def	111	efg	24.7	a	110	a-g	81.7	a-e	(3)	25.6	b-g
2	926	6813	def	113	d-g	20.7	abc	90	b-h	89.4	a	(3)	27.1	a-e
15	PCT-4\0\0\1>295-2-3-1-2-4	6031	efg	97	g	19.1	def	79	gh	88.1	ab	(3)	28.9	ab
17	PCT-11\0\0\2,Bo\1\1>58-1-1-3-1-M	5748	fg	102	fg	18.9	ef	80	gh	90.5	a	(1)	28.8	ab
4	PCT-11\0\0\2,Bo\4\1>23-1-1-M	5562	fg	126	b-f	19.7	c	114	a-f	60.1	f	(5)	25.9	b-g
19	PCT-11\0\0\2,Bo\3\1>1-M-3-1-1-1-M	5499	fg	114	d-g	19.6	c-f	65	h	81.1	a-e	(3)	28.2	abc
20	PCT-11\0\0\2,Bo\2\1>46-M-3-2-4-2-M	5232	fg	97	g	18.7	ef	88	ch	74.1	e	(3)	30.9	a
16	PCT-11\0\0\3>1044-M-2-3-M-1-M	5158	fg	119	b-g	16.6	f	84	e-h	84.6	a-d	(3)	28.1	a-d
18	PCT-4\SA\2\1,Bo\4\1>8-1-2-M	4410	fg	117	c-g	19.5	c-f	100	a-g	75.3	de	(3)	24.0	c-g
Media		7897		122.7		21.1		98.9		81.9			25.5	
Prueba de Shapiro-Wilk (Test Normalidad)		0.0618NS		0.3747NS		0.5267NS		0.2231NS		0.0001*			0.1734NS	
Prueba de Levene (Test Homogeneidad)		0.0563NS		0.1174NS		0.1734NS		0.1171NS		0.1242NS			0.0515NS	
Pr > F Para Genotipo		<0.0001		<0.0001		<0.0001		<0.0001		<0.0001			<0.0001	
Pr > F Para Repetición		0.0093		0.0958		0.0906		0.3618		0.4059			0.7144	
Pr > F Para Bloque		<0.0001		0.0968		0.2597		<0.0001		<0.0001			0.0474	
DMS		1940		0.1044		4.2		32.5		0.526			3.7	
CV (%)		9.04		1.86		7.37		12.1		2.16			6.11	
R ²		0.86		0.76		0.76		0.8		0.85			0.79	

*Medias con la misma letra son estadísticamente iguales, según TUKEY con P=0.05.

**Prueba de TUKEY realizada para datos transformados con: ^{1/1}Log (Y) y ^{12/1}√%

4.2.2. Variables de crecimiento y desarrollo: altura y acame de planta, días a floración y madures, senescencia de planta, incidencia de manchado de grano y pyricularia

Los rangos de altura de planta variaron desde 78.4 hasta 103.6 cm, existiendo diferencias estadísticas entre ellas (cuadro 19). Plantas con menos de 100 cm (escala 1), se consideran tipo semienanas, siendo este el caso de la mayoría de los genotipos evaluados a excepción de un genotipo (T 4) que se clasifica en la escala 3 o sea planta intermedia (100 a 130 cm de altura).

Contìn (1990), menciona que en el cultivo del arroz la resistencia al acame disminuye al aumentar la altura de las plantas, por lo tanto la fuerza de los tallos disminuye. Cuando los tallos son cortos y robustos poseen resistencia a doblarse. Un factor muy importante a considerar en el volcamiento, es la velocidad del viento. Este presentó velocidades bajas (9.0 y 8.3 km/h) durante los meses correspondientes a la etapa de maduración del grano (octubre y noviembre) respectivamente.

Cuando se analizó el acame de los tratamientos, mediante el sistema de evaluación estándar para arroz del CIAT, se determinó que la totalidad de los genotipos evaluados se clasifican en la categoría 3 del CIAT como plantas con tallos moderadamente fuertes (1-15% de plantas volcadas). Los rangos de acame variaron desde 1.04 hasta 3.5%, existiendo diferencias estadísticas entre ellas.

En días a floración y madurez, los genotipos mostraron comportamiento tardío (>120 días), intermedio (110 - 119 días) y precoces. Los seis genotipos tardíos, alcanzaron la floración entre los 80 y 93 días, y la madurez entre los 120 y 125 días. Otro grupo importante, entre los que se encuentran genotipos con buena productividad lo conforman 12 genotipos que maduraron entre los 110 y 119 días. Este grupo con madurez intermedia, es un grupo estratégico desde el punto de vista de optimización del riego y de adaptación al cambio climático para condiciones de secano. Un tercer y último grupo lo conforman los 7 genotipos menos productivos, que logran la madures entre los 86 y 104 días, lo cual podría ser de interés para las regiones de secano más desfavorecidas pluviométricamente (cuadro 15).

Comúnmente se piensa que la rápida senescencia de las hojas puede ir en detrimento del rendimiento si los granos no están completamente llenos. Al evaluar esta variable se encontró que todos los tratamientos presentan una senescencia intermedia según escala del CIAT. Entre estos hay un grupo de genotipos formados por cuatro genotipos que presentan menos porcentajes de amarillamiento de hojas al momento de la madurez fisiológica (22.5%). Cabe destacar que estos genotipos con menos porcentaje de amarillamiento de las hojas se encuentran entre los más productivos, y que a medida que aumenta la senescencia al momento de la madurez fisiológica tienden a rendir menos como se muestra en la correlación de estos parámetros (cuadro 17).

El tratamiento 25 (INTA L-9), fue el que presentó menor incidencia de manchado de grano con 1.1%, por lo tanto se clasificaron en la escala 1 (< del 1% de lesión) junto con otros 15 tratamientos cuyas incidencias de manchado oscila entre 1.4 y 4.8%. Los restantes ocho tratamientos se clasifican en las escalas 5 del CIAT (6-25% de incidencia). El principal patógeno del complejo del manchado del grano es el hongo *Helminthosporium oryzae*, le siguen en orden de importancia Cercospora, Rhynchosporium, Alternaria, Fusarium entre otros. Esta enfermedad es más común en los sistemas de secano que en los de riego. Es más severa en suelos ácidos. Los granos se pueden infectar antes o después de la cosecha y esta varía desde manchas pequeñas color café hasta pardeado completo de las glumas. También se puede extender hasta el endospermo y afectar el embrión. Durante la floración ocasiona mayor pérdida en el peso de la semilla.

Meneses *et al.*, (2001), menciona que las temperaturas óptimas para que se desarrolle la Pyricularia (germinación de las conidiosporas del hongo) son 28 °C y con una humedad relativa de 85-93%. Durante el experimento la temperatura promedio fue de 26.1°C y la Humedad relativa media fue de 62.4 °C lo cual no constituye condiciones favorables para el desarrollo de los principales patógenos que afectan al cultivo del arroz. Según las observaciones de campo efectuado a pyricularia, indica que todos los genotipos se clasifican en la escala 3 del CIAT al presentar entre 1 y 5% de incidencia de la enfermedad tanto al nivel de la hoja, cuello y nudo de la planta.

Cuadro 15. Resultados de variables de crecimiento y desarrollo de la evaluación de líneas avanzadas de arroz. TAINIC, 2015.

TRAT	IDENTIFICACION GENOTIPO	Altura/Planta			Pts Acamadas			Floración		Madures		Senescencia		Manch/Gra		Pyricularia			
		cm	Tuk (Esc)	(1)	%	^{1/1} /Tuk (Esc)	(3)	Días	Tuk	Días	Tuk	%	^{1/2} /Tuk	%	^{1/1} /Tuk	%	^{1/1} /Tuk (Esc)		
1	CT19298-(100)-1-2-3-1-4MP	83.9	c-h*	(1)	1.0	d**	(3)	82.7	d-e*	120.3	b-e*	22.5	b**(5)	3.6	e-g**	1.7	bc**	(3)	
6	IR77430-14-B-1-2-B-3-4SR-1-M	89.7	b-f	(1)	2.5	abc	(3)	79.7	e-i	120.3	b-e	23.7	ab (5)	4.8	c-g	1.0	c	(3)	
13	IR90154-53-2-1-M	81.2	f-h	(1)	1.5	cd	(3)	81.0	e-i	115.5	f-i	22.5	b (5)	8.2	a-d	1.0	c	(3)	
22	IR 64	81.9	d-h	(1)	1.5	cd	(3)	81.3	e-h	114.3	g-i	22.5	b (5)	2.5	e-g	1.0	c	(3)	
25	INTA Dorado (TL)	81.6	f-h	(1)	1.5	cd	(3)	93.3	a	125.0	a	25.0	ab (5)	1.8	e-g	3.0	b	(3)	
9	IR75870-5-8-5-B-2-B-1SR-8-M	84.4	c-h	(1)	1.0	d	(3)	80.0	e-i	113.3	h-j	27.5	ab (5)	4.1	d-g	1.0	c	(3)	
8	IR87233-19-4-2-2-M	81.3	f-h	(1)	1.5	cd	(3)	78.0	ij	110.3	j	23.7	ab (5)	4.1	d-g	1.0	c	(3)	
21	Fe de Arroz 50	89.7	b-f	(1)	3.0	ab	(3)	85.0	cd	122.3	abc	25.0	ab (5)	1.8	e-g	1.0	c	(3)	
10	IR87233-61-15-2-2-M	78.4	h	(1)	3.0	ab	(3)	82.7	de	115.7	f-i	30.0	ab (5)	5.1	c-f	1.0	c	(3)	
7	IR31917-45-3-2-1-1SR-5-M	83.3	d-h	(1)	1.5	cd	(3)	78.5	h-j	117.5	d-g	30.0	ab (5)	3.6	d-g	1.0	c	(3)	
24	INTA L-9 (TL)	92.3	bc	(1)	2.0	bcd	(3)	82.3	d-g	119.7	c-e	25.0	ab (5)	1.1	g	1.0	c	(3)	
11	IR77378-11-B-6-1-B-1SR-3-M	88.7	b-f	(1)	1.5	cd	(3)	91.0	ab	123.7	ab	36.3	ab (5)	1.4	fg	5.0	a	(3)	
3	CT19561-3-1-1P-2-4-2-M	85.1	b-h	(1)	1.0	d	(3)	82.5	d-f	120.5	b-d	21.2	b (5)	2.5	e-g	1.0	c	(3)	
12	IR90154-53-2-2-M	88.1	b-g	(1)	2.0	abcd	(3)	79.5	f-i	118.7	c-f	26.3	ab (5)	4.8	c-g	1.5	bc	(3)	
5	IR87233-135-2-3-3-M	81.7	e-h	(1)	1.5	cd	(3)	82.3	d-g	115.7	f-i	26.3	ab (5)	4.5	d-g	1.0	c	(3)	
14	IR90140-47-3-M-2SR-1-M	83.7	c-h	(1)	1.0	d	(3)	79.3	g-i	112.5	ij	31.3	ab (5)	11.3	abc	1.0	c	(3)	
23	INTA L-8 (TL)	88.9	b-f	(1)	1.5	cd	(3)	88.0	bc	118.3	d-f	28.7	ab (5)	2.0	e-g	1.5	bc	(3)	
2	926	79.5	gh	(1)	2.0	abcd	(3)	75.5	jk	116.7	e-h	32.5	ab (5)	2.8	e-g	1.0	c	(3)	
15	PCT-4\0\0\1>295-2-3-1-2-4	93.7	b	(1)	3.5	a	(3)	59.7	mn	86.0	lm	21.3	b (5)	5.4	c-f	1.0	c	(3)	
17	PCT-11\0\0\2,Bo\1\1>58-1-1-3-1-M	87.8	b-g	(1)	2.0	bcd	(3)	60.5	m	86.7	l	47.5	a (5)	5.9	b-e	2.0	bc	(3)	
4	PCT-11\0\0\2,Bo\4\1>23-1-1-M	103.6	a	(3)	1.0	d	(3)	73.3	k	103.5	k	17.5	b (3)	14.4	a	1.0	c	(3)	
19	PCT-11\0\0\2,Bo\3\1>1-M-3-1-1-1-M	86.3	b-h	(1)	1.0	d	(3)	56.7	no	82.7	m	27.5	ab (5)	3.5	d-g	1.0	c	(3)	
20	PCT-11\0\0\2,Bo\2\1>46-M-3-2-4-2-M	90.5	b-e	(1)	1.5	cd	(3)	59.5	m-o	88.3	l	31.3	ab (5)	6.7	b-e	1.5	bc	(3)	
16	PCT-11\0\0\3>1044-M-2-3-M-1-M	82.2	d-h	(1)	2.5	abc	(3)	56.5	o	85.7	lm	30.0	ab (5)	6.2	b-e	1.5	bc	(3)	
18	PCT-4\SA\2\1,Bo\4\1>8-1-2-M	90.7	b-f	(1)	1.5	cd	(3)	69.3	l	100.0	k	35.0	ab (5)	13.1	ab	1.0	c	(3)	
Media		86.3		1.74		76.7		110.1		27.6		5.0		1.4					
Prueba de Shapiro-Wilk (Test Normalidad)		0.0227*		0.0001*		0.0001*		0.0001*		0.0001*		0.0001*		0.0037*		0.0001*			
Prueba de Levene (Test Homogeneidad)		0.4186NS		0.2895NS		0.2556NS		0.0519NS		0.3900NS		0.1517NS		0.0001*					
Pr > F Para Genotipo		<0.0001*		0.0103*		0.0001*		0.0001*		0.0122*		0.0001*							
Pr > F Para Repetición		<0.0001		0.0100		0.5738		0.0827		0.0667		0.622							
Pr > F Para Bloque		<0.0001		0.1830		0.0001		0.0001		0.3044		0.0371							
DMS		8.9		0.48		3.19		3.69		2.07		1.21							
CV (%)		3.79		27.2		1.45		1.1		15.04		21.67							
R2		0.86		0.61		0.99		0.99		0.53		0.81							

*Medias con la misma letra son estadísticamente iguales, según TUKEY con P=0.05.
 **Prueba de TUKEY realizada para datos transformados con: ^{1/1}√%y ^{1/2}/ Arco Seno√%

4.2.3 Variables de calidad industrial: porcentaje de arroz oro y entero, forma del grano.

Con respecto a la calidad industrial la mayoría de los genotipos altamente productivos presentan índices próximos al 65 y 55% de rendimiento de arroz oro y entero (cuadro 16). Con respecto a la relación de grano entero quebrado (R E/Q), estos materiales promisorios exceden las calidades 85/15, presentan tamaño de grano largo y extralargo con forma alargada. Todos los genotipos reúnen las calidades industriales exigidas por el comercio.

Cuadro 16. Calidad Industrial de la evaluación de líneas avanzadas de arroz. TAINIC, 2015.

TRAT	IDENTIFICACION GENOTIPO	Calidad del Arroz									
		% Oro	% Entero	R E/Q	Largo (mm)	Tukey (Esc)	Ancho (mm)	Tukey	R L/A	Forma	
1	CT19298-(100)-1-2-3-1-4MP	63	54	87/13	8.5	a-d*	(1)	2.3	bc*	3.7	Alargado
6	IR77430-14-B-1-2-B-3-4SR-1-M	63	56	90/10	8.8	abc	(1)	2.2	c	4.0	Alargado
13	IR90154-53-2-1-M	73	71	98/02	9.2	a	(1)	2.3	bc	4.0	Alargado
22	IR 64	63	60	96/04	8.3	a-d	(1)	2.2	bc	3.8	Alargado
25	INTA Dorado (TL)	59	52	89/11	8.4	a-d	(1)	2.1	c	4.0	Alargado
9	IR75870-5-8-5-B-2-B-1SR-8-M	62	59	96/04	8.9	ab	(1)	2.4	abc	3.7	Alargado
8	IR87233-19-4-2-2-M	65	61	94/06	8.8	abc	(1)	2.0	c	4.4	Alargado
21	Fe de Arroz 50	64	59	94/06	8.3	a-d	(1)	2.4	abc	3.5	Alargado
10	IR87233-61-15-2-2-M	63	59	96/04	8.5	a-d	(1)	2.2	bc	3.9	Alargado
7	IR31917-45-3-2-1-1SR-5-M	59	48	83/17	7.9	b-d	(1)	2.3	bc	3.4	Alargado
24	INTA L-9 (TL)	66	61	94/06	8.6	a-d	(1)	2.3	bc	3.7	Alargado
11	IR77378-11-B-6-1-B-1SR-3-M	68	62	91/09	8.3	a-d	(1)	2.2	bc	3.8	Alargado
3	CT19561-3-1-1P-2-4-2-M	64	59	92/08	8.5	a-d	(1)	2.1	c	4.0	Alargado
12	IR90154-53-2-2-M	63	59	94/06	8.5	a-d	(1)	2.1	c	4.0	Alargado
5	IR87233-135-2-3-3-M	66	62	96/04	8.2	a-d	(1)	2.1	c	3.9	Alargado
14	IR90140-47-3-M-2SR-1-M	63	60	96/04	9.0	ab	(1)	2.1	c	4.3	Alargado
23	INTA L-8 (TL)	66	63	90/10	9.1	a	(1)	2.1	c	4.3	Alargado
2	926	64	39	64/36	8.6	a-d	(1)	2.1	c	4.1	Alargado
15	PCT-4\0\1>295-2-3-1-2-4	68	62	92/08	7.6	d	(1)	2.2	bc	3.5	Alargado
17	PCT-11\0\0\2,Bo\1\1>58-1-1-3-1-M	66	60	93/07	9.0	ab	(1)	2.4	abc	3.8	Alargado
4	PCT-11\0\0\2,Bo\4\1>23-1-1-M	64	42	68/32	8.2	a-d	(1)	2.8	ab	2.9	Media
19	PCT-11\0\0\2,Bo\3\1>1-M-3-1-1-1-M	66	58	90/10	8.9	ab	(1)	2.4	abc	3.7	Alargado
20	PCT-11\0\0\2,Bo\2\1>46-M-3-2-4-2-M	51	41	82/18	8.9	ab	(1)	2.3	bc	3.9	Alargado
16	PCT-11\0\0\3>1044-M-2-3-M-1-M	69	66	96/04	8.5	a-d	(1)	2.2	bc	3.9	Alargado
18	PCT-4\SA\2\1,Bo\4\1>8-1-2-M	64	56	89/11	7.7	cd	(1)	2.9	a	2.7	Media
Media		64.1	57.2		8.5			2.3			
Prueba de Shapiro-Wilk (Test Normalidad)					0.0454		0.0001				
Prueba de Levene (Test Homogeneidad)					0.0124		0.0004				
Pr > F Para Genotipo					0.0001		0.0003				
Pr > F Para Repetición					0.1947		0.8814				
Pr > F Para Bloque					0.0775		0.1037				
DMS					1.08		0.60				
CV (%)					4.2		9.7				
R ²					0.68		0.60				

*Medias con la misma letra son estadísticamente iguales, según TUKEY con P=0.05.

Se encontró altos y significativos coeficientes de correlación entre el rendimiento con macolla, longitud de panícula, granos por panícula, peso de grano y madures, indicando asociación lineal positiva entre estas (cuadro 17). Lo anterior significa que el incremento del rendimiento será positivo a medida que se incrementan los valores de las variables asociadas.

También se encontraron coeficientes de correlación significativos y cercanos a -1, indicando una fuerte asociación lineal negativa entre el rendimiento con senescencia y manchado de grano. Así el rendimiento disminuye a medida que los valores de estas variables aumentan. Es decir que para el caso de senescencia de las hojas es conveniente identificar genotipos que alcanzan la madures con hojas con un color verde natural y no con un alto porcentaje de hojas amarillas.

De acuerdo al análisis de correlación, se puede afirmar categóricamente que las principales variables que influyen en la Producción son en primer lugar días a madures, confirmando la tendencia de que a ciclo más extenso del cultivo habrá mayor rendimiento; en segundo lugar, la variable más influyente es longitud de panícula.

Las variables del componente del rendimiento que mostraron asociación significativa entre ellas, fueron las que se incluyeron en el Análisis de Conglomerado para definir agrupamientos de genotipos por características a fines o en común. Estas variables fueron: rendimiento, macollas, longitud de panícula, granos por panícula y peso de grano.

Cuadro 17. Resultados del análisis de correlación en la evaluación de líneas avanzadas de arroz. TAINIC, 2015.

VARIABLES	Análisis de Correlación									
	Rendim.	Macollas	Long./Pan.	Granos/Pan.	Fert./Pan	PMG	Madures	Senescencia	Pyricularia	Manchado
Rendimiento (kg/ha)	1	0.3878	0.5031	0.3584	0.1269	0.4409	0.75737	-0.23893	0.07424	-0.45578
		<.0001	<.0001	0.0003	0.2083	<.0001	<.0001	0.0167	0.4629	<.0001
Macollas/Pta. (unds)	0.3878	1	0.1194	0.1876	-0.0354	-0.4756	0.42057	-0.10227	0.11791	-0.09085
	<.0001		0.2367	0.0617	0.7262	<.0001	<.0001	0.3113	0.2427	0.3687
Longit./Paníc. (cm)	0.5031	0.1194	1	0.3536	0.0217	-0.388	0.5864	-0.22756	-0.13536	-0.26948
	<.0001	0.2367		0.0003	0.8305	<.0001	0.2367	<.0001	0.1793	0.0067
Granos/Panícula (unds)	0.3584	0.1876	0.3536	1	-0.4693	-0.3521	0.51197	-0.14669	-0.00551	0.09694
	0.0003	0.0617	0.0003		<.0001	0.0003	<.0001	0.1453	0.9566	0.3373
Fertil./Panícula (%)	0.1269	-0.0354	0.0217	-0.4693	1	-0.3693	-0.00619	0.19081	-0.00528	-0.3693
	0.2083	0.7262	0.8305	<.0001		0.0002	0.9513	0.0572	0.9584	0.0002
Peso Mil Granos (g)	0.4409	-0.0419	-0.083	-0.3521	-0.3693	1	-0.58056	0.15158	0.09299	-0.01512
	<.0001	0.7977	0.6108	0.0003	0.0002		<.0001	0.1322	0.3575	0.8813
Madures (DDE)	0.75737	0.42057	0.5864	0.51197	-0.00619	-0.58056	1	-0.19257	0.16296	-0.36321
	<.0001	<.0001	0.2367	<.0001	0.9513	<.0001		0.0549	0.1052	0.0002
Senescencia (%)	-0.23893	-0.10227	-0.22756	-0.14669	0.19081	0.15158	-0.19257	1	0.18098	0.01046
	0.0167	0.3113	<.0001	0.1453	0.0572	0.1322	0.0549		0.0716	0.9177
Pyricularia (%)	0.07424	0.11791	-0.13536	-0.00551	-0.00528	0.09299	0.16296	0.18098	1	-0.2074
	0.4629	0.2427	0.1793	0.9566	0.9584	0.3575	0.1052	0.0716		0.0384
Manchado (%)	-0.45578	-0.09085	-0.26948	0.09694	-0.3693	-0.01512	-0.36321	0.01046	-0.2074	1
	<.0001	0.3687	0.0067	0.3373	0.0002	0.8813	0.0002	0.9177	0.0384	

Pearson Correlation Coefficients, N = 100

Prob> |r| under H0: Rho=0

El análisis de conglomerado, permite agrupar los diferentes genotipos según sus características en común. Las variables que se incluyen en este análisis son: rendimiento, macollas, longitud de panícula, granos por panícula y peso de grano, por ser las que mostraron significancia y alta asociatividad en el análisis de correlación (Ver figura 3). El criterio de corte o aproximación utilizado fue el de tomar la distancia euclídea que se encuentra a la mitad del rango total de los valores de la distancia. En este caso el 50% de la distancia corresponde a 1.98.

De los coeficientes de correlación cofenéticos se concluye que para este caso, el algoritmo de encadenamiento promedio (UPGMA) de conglomeración jerárquica, produjo conglomerados más afines a la estructura, ya que la correlación cofenética usando este método de agrupamiento (0.742) fue la mayor que la encontrada usando otras técnicas.

El criterio de aproximación del 25%, permite agrupar los diferentes genotipos en tres grupos con características en común. El primer grupo conformado por los tratamientos: 18, 4, 16, 19, 20, 17 y 15, se caracteriza por ser los más precoces e inducir bajos valores en: rendimientos, macollamiento, longitud y número de grano por panícula. También induce valores medios y bajos en el peso de grano.

Un segundo grupo lo conforman los tratamientos: T6, T14, T12, T25, T8, T5, T24, T23, T9 y T3. Se caracteriza por ciclo intermedio en su mayoría, con rendimientos altos (T6, T25 y T9) y medios, mediana capacidad de macollamiento, mayor longitud de panícula, medios y bajos pesos de granos, valores medios de granos por panícula.

El tercer grupo lo conforman los tratamientos: T22, T10, T7, T11, T21, T13 y T1. Este es un grupo notablemente superior al resto de genotipos agrupados en los anteriormente. Lo anterior se debe a que son los de ciclo más largo en su mayoría, son los más productivos e inducen mayor capacidad de macollamiento, tienen los mayores granos por panícula y peso de grano. Sin embargo, la longitud de panícula que caracteriza a este grupo de genotipos es de tamaño mediana

Los materiales seleccionados para la siguiente fase de investigación (Evaluación multi-ambiental) en diversos ambientes del país, resultan de los genotipos que conforman el tercer grupo de selección del conglomerado más los 3 tratamientos más productivos del grupo 2 del conglomerado.

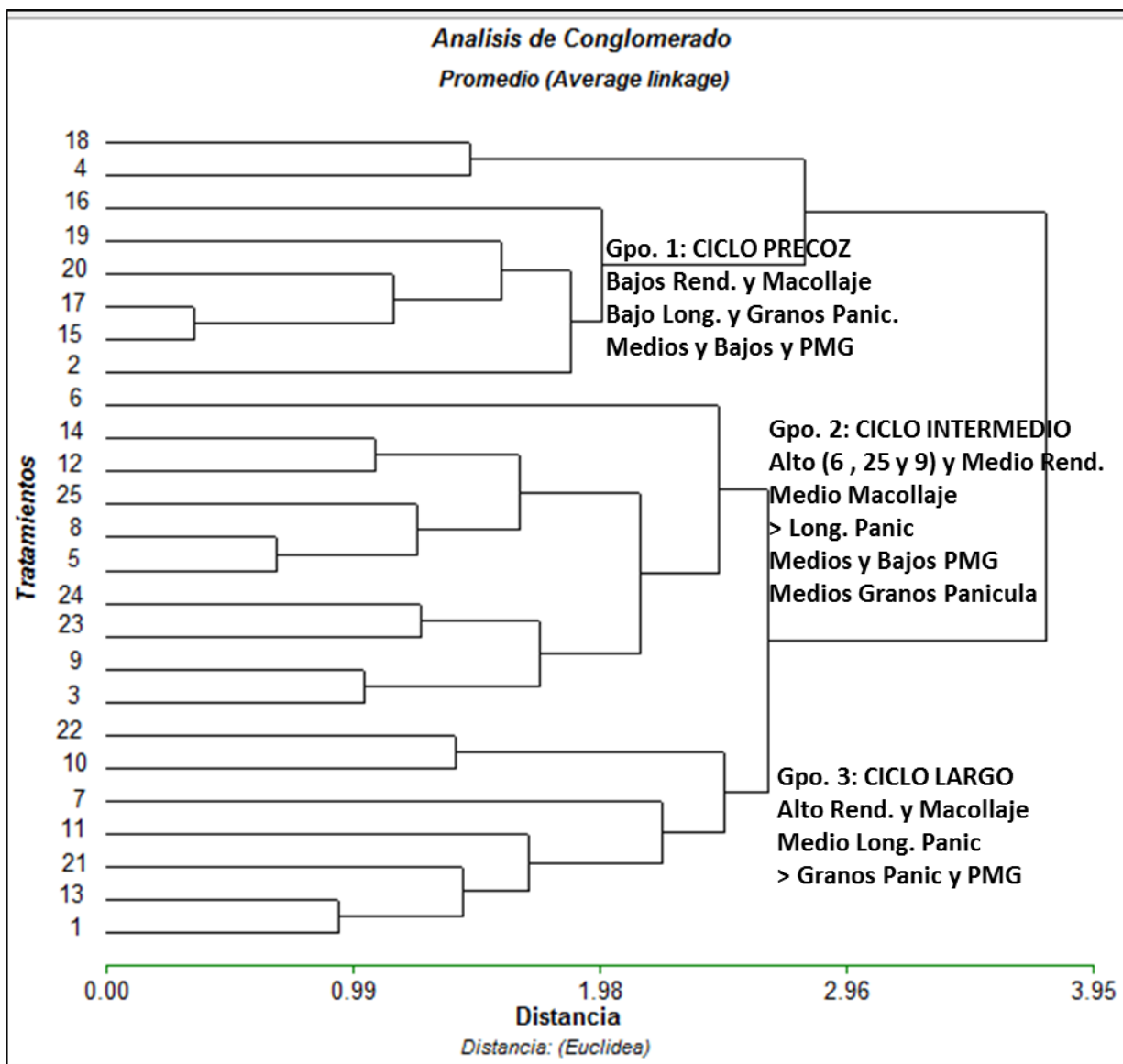


Figura 3. Dendrograma resultante del análisis de conglomerado con las variables del componente del rendimiento en la Evaluación de líneas avanzadas de arroz.

4.3. Tercera Fase: Evaluación multi-ambiental de rendimiento

4.3.1. Variable productiva: Rendimiento

Las mejores líneas seleccionadas en la Evaluación de líneas avanzadas de arroz conformaron los materiales que fueron evaluados en una tercera fase de selección para determinar la adaptación por ambiente. Este experimento multi-ambiental de rendimiento fue establecido en 6 ambientes de condiciones de riego y seco de Nicaragua de la época de invierno del 2015.

El análisis de varianza para rendimiento determinó que existe diferencias altamente significativa ($\alpha=0.0001$) entre genotipos, ambientes e interacción genotipo * ambiente. El Coeficiente de variación es considerado aceptable (15.5%) al igual que el Coeficiente de determinación ($R^2=0.92$).

La interacción genotipo por ambiente (GXA) se define como el comportamiento relativo diferencial que muestran los genotipos cuando se les somete a diferentes ambientes; o expresado en otros términos, es la incapacidad de un genotipo para responder similarmente cuando se le siembra en varios ambientes (figura 4).

Los ambientes de Darío y Masatepe fueron los más productivos, no existen diferencias estadísticas entre ellos. Ambos sitios superan significativamente a los rendimientos medios obtenidos por los otros cuatro ambientes. Estos dos sitios se caracterizan por ser establecidos en condiciones de riego, con condiciones climáticas y de suelo óptimas al cultivo.

Los cuatro ambientes de seco presentaron rendimientos medios inferiores a los alcanzados en riego. En orden descendente de importancia productiva se ubica en primer lugar Jalapa, seguido de San Carlos, Posoltega y Pantasma, siendo todos estadísticamente diferentes entre sí.

En Jalapa y San Carlos, las condiciones climáticas (precipitación) fueron óptimas al cultivo; en cambio los sitios de Posoltega y Pantasma, se caracterizaron por prevalecer lluvias deficitarias y erráticas durante todo el ciclo del cultivo.

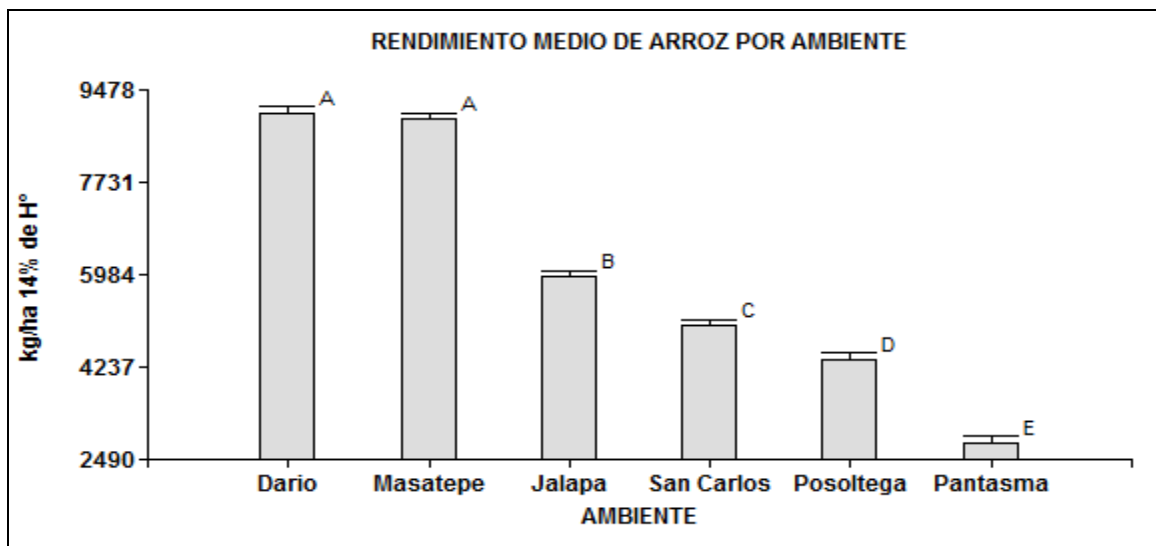


Figura 4. Rendimientos medios por Ambientes, en la evaluación multi-ambiental de rendimiento de líneas avanzadas de arroz. Ambientes de riego y secano del 2015.

Los tratamientos 4, 14, 8 y 11 (IR31917-45-3-2-1-1SR-5-M, CT18504-4-5-3Vi-2-3P, IR77378-11-B-6-1-B-1SR-3-M y CT16344-CA-12-M) destacan productivamente con resultados significativos sobre los alcanzados por los demás 12 tratamientos (figura 5). El rendimiento medio (seis ambientes) de los principales cuatro tratamientos productivos oscilo entre 6.5 y 7.3 t ha⁻¹. El tratamiento 4 (IR31917-45-3-2-1-1SR-5-M), superó productivamente en un 21.8% con respecto al obtenido por el mejor testigo (INTA L-9), siendo estadísticamente diferentes entre sí.

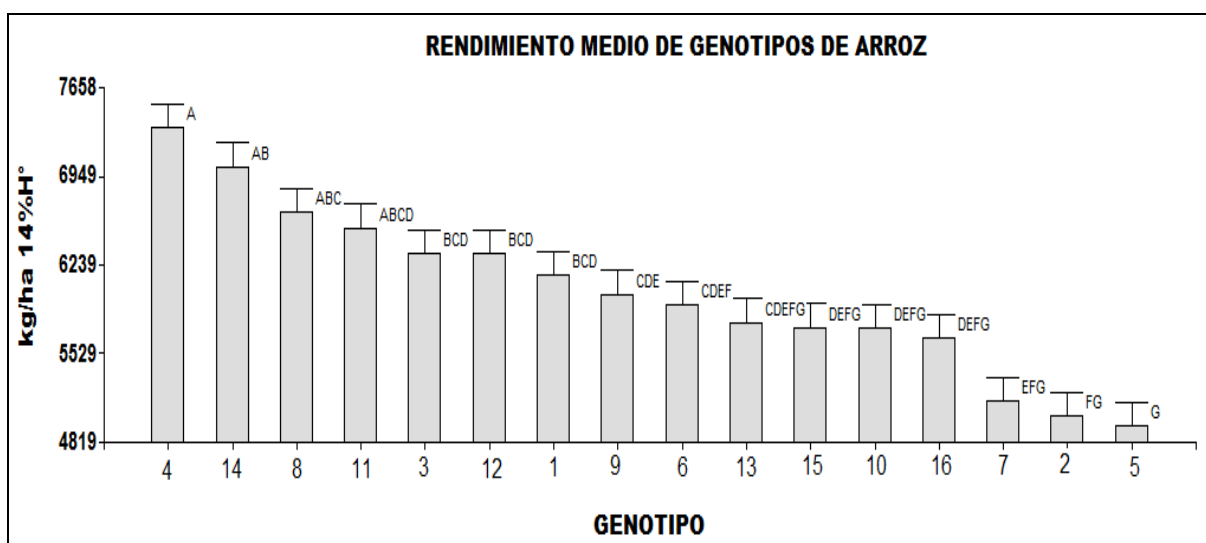


Figura 5. Rendimientos medios por Genotipos, obtenidos en seis ambientes de riego y secano de Nicaragua. Evaluación multi-ambiental de rendimiento, 2015.

El análisis de varianza determinó que existe interacción entre los genotipos con el ambiente (cuadro 18). El Coeficiente de Variación es considerado aceptable para cada ambiente (3.6 a 28.2%) al igual que el Coeficiente de Determinación ($R^2=0.58$ a 0.98).

Para los ambientes de Pantasma y Jalapa, el genotipo que presenta el mejor comportamiento adaptativo es IR31917-45-3-2-1-1SR-5-M (T4). Para los ambientes de Masatepe y San Carlos, CT18504-4-5-3Vi-2-3P (T 14), es la mejor alternativa varietal. En las condiciones de Posoltega, el genotipo IR75870-5-8-5-B-2-B-1SR-8-M (T6) presento el mejor comportamiento productivo. En las condiciones de riego de Darío, la mejor opción resulta el genotipo CT19298-(100)-1-2-3-1-4MP (T1).

Cuadro 18. Resultados productivos de la Evaluación Multi-ambiental de rendimiento de líneas avanzadas de arroz en riego y secano de Nicaragua. 2015.

Trat.	Genotipo	Ambiente						Media
		Pantasma	Jalapa	Masatepe	San Carlos	Posoltega	Darío	
4	IR31917-45-3-2-1-1SR-5-M	6119	10033	10643	4644	3682	8912	7339 a*
14	CT18504-4-5-3Vi-2-3P	2941	7191	11344	6545	5195	8929	7024 ab
8	IR77378-11-B-6-1-B-1SR-3-M	1988	6979	11203	5380	5608	8817	6663 abc
11	CT16344-CA-12-M	2739	7507	10455	5908	4684	7929	6537 abcd
3	IR77430-14-B-1-2-B-3-4SR-1-M	4203	5873	8353	4489	4827	10247	6332 bcd
12	PCT-11/0/0/2,BO/1>66-1-7-1	1735	7451	10261	6511	3875	8144	6330 bcd
1	CT19298-(100)-1-2-3-1-4MP	3031	6291	7348	5293	4348	10654	6161 bcd
9	IR90154-53-2-1-M	2669	6300	7335	5847	3904	9969	6004 cde
6	IR75870-5-8-5-B-2-B-1SR-8-M	2661	4580	9436	3849	5784	9204	5919 cdef
13	CT16658-5-2-3SR-2-1-M	1854	4721	9578	5350	3991	9181	5779 cdefg
15	INTA L-9 (TL)	2845	2734	9387	6177	4447	8835	5738 cdefg
10	IR 64	2698	6335	8341	4335	3040	9639	5731 defg
16	INTA Dorado (TL)	2410	4955	9460	3392	4400	9291	5651 defg
7	IR87233-61-15-2-2-M	1576	4979	6115	4994	4317	8920	5150 efg
2	926	2353	5968	7258	3905	3833	6881	5033 fg
5	IR87233-19-4-2-2-M	3093	3270	6340	3688	4144	9154	4948 g
	Media	2807 E	5948 B	8929 A	5019 C	4380 D	9044 A	6021
Pr>Ambiente								0.0001**
Pr>Genotipo								0.0006**
Pr>Genotipo * Ambiente								0.0001**
DMS								812
CV (%)								28.2
R²								0.85

*Medias con la misma letra son estadísticamente iguales, según TUKEY con $P=0.05$.

Se aplicó el Modelo de Regresión por Genotipo (Modelo GREG) y gráfico denominado GEE BILOT. Este es un modelo lineal-bilineal que remueve el efecto de genotipo y expresa la respuesta en función del Ambiente + Genotipo-Ambiente (E+GE). Este modelo se aplica cuando los genotipos constituyen una fuente de variación importante y es de interés identificar ambientes que contribuyen a la interacción Genotipo*Ambiente, y ambientes ganadores dentro de mega-ambientes para determinados grupos de genotipos.

En estos datos el rendimiento promedio, fue de 5948 a 7339 kg ha⁻¹ con una media de 6021 kg ha⁻¹. El Análisis de varianza determina efecto altamente significativo por la Interacción Genotipo * Ambiente. Los dos Componentes Principales explican el 72.1% de la variabilidad y por tanto se puede suponer que ellas son suficientes para explicar los patrones debidos a la interacción (figura 6).

En la base de datos analizada, los genotipos extremos que definen el polígono envolvente están dados por los tratamientos 4, 14, 15 y 5. Estos son genotipos de comportamiento extremo es decir los de mejor o peor rendimiento en determinados ambientes. Así tenemos los tratamientos 4 y 14 que presentaron un mejor comportamiento productivo en Jalapa y Masatepe, y los tratamientos 5 y 15 como los peores productivamente en Darío y Posoltega.

En el cuadrante que tiene como vértice el genotipo 4, que a su vez mostró el mejor comportamiento en el Mega-ambiente que contiene a los sitios de Pantasma y Jalapa. El vértice que contiene al tratamiento 14, se comporta como un Mega-ambiente conformado por los sitios de Masatepe y San Carlos, en este Mega-ambiente los mejores tratamientos son el 14, 12 y 8.

El cuadrante cuyo vértice está determinado por el genotipo 5, involucra al sitio de Darío, en este se destacan los tratamientos 1, 3, 9, 10, 16, 7 y 2. El cuadrante cuyo vértice está determinado por el tratamiento 15, involucra al sitio de Posoltega, en este se destacan los tratamientos 6 y 13.

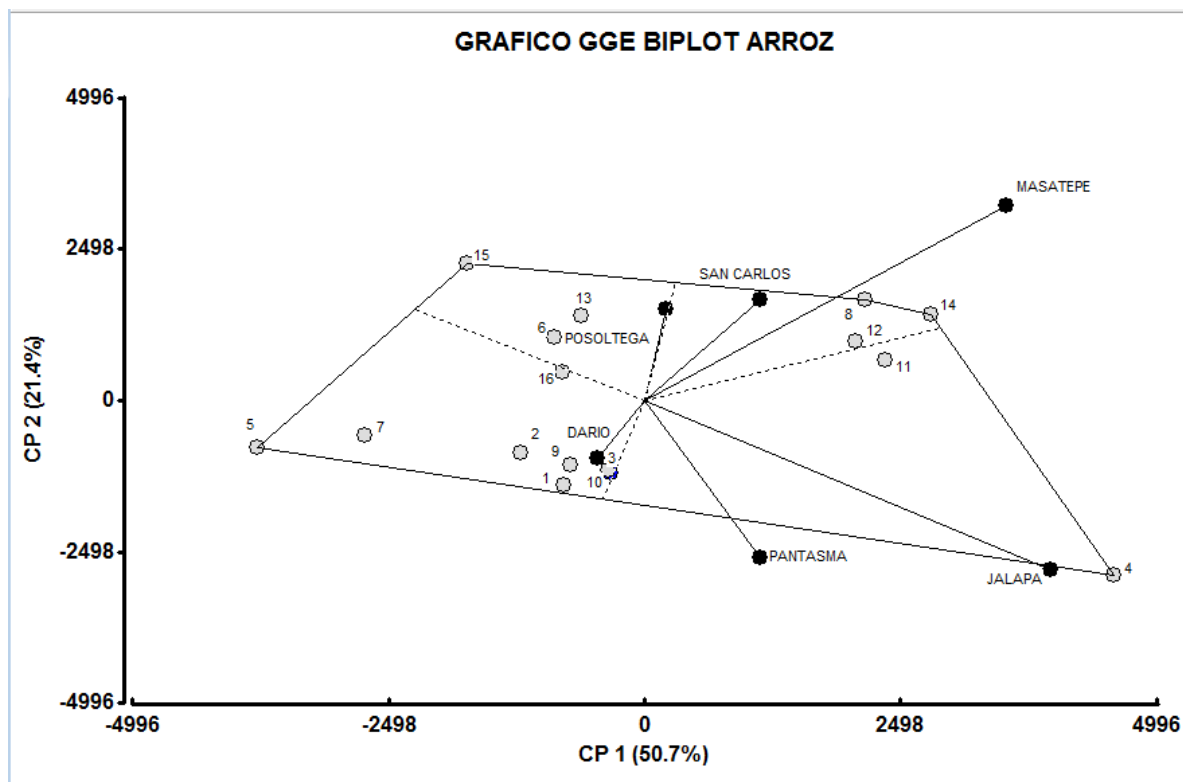


Figura 6. Grafico Biplot según el plano conformado para los dos componentes principales (CP1 y CP2). Evaluación multi-ambiental de líneas de arroz, 2015.

V. CONCLUSIONES

Se seleccionaron cuatro genotipos que combinan características agronómicas, industriales y nutricionales deseables.

Se estableció una relación positiva entre la cantidad de zinc disponible en el suelo y su influencia en la cantidad de zinc encontrada en grano pulido.

Se determinó diferencias significativas entre los Genotipos, Ambientes e Interacción Genotipo*Ambiente. Se seleccionaron genotipos que presentan un comportamiento adaptativo amplio y genotipos con adaptación específica para cada condición agroclimática y de manejo.

Se identificaron dos Mega-ambientes con genotipos en común. En el primero formado por los sitios de Pantasma y Jalapa destaca el genotipo IR31917-45-3-2-1-1SR-5-M (T4). El segundo Mega-ambiente formado por los sitios de Masatepe y San Carlos destaca el genotipo CT18504-4-5-3Vi-2-3P (T14). En los ambientes únicos de Posoltega y Darío los mejores genotipos fueron IR75870-5-8-5-B-2-B-1SR-8-M (T6) y CT19298-(100)-1-2-3-1-4MP (T1) respectivamente.

Las variables que más influenciaron en la producción son en primer lugar días a madurez, confirmando la tendencia de que a ciclo más extenso del cultivo habrá mayor rendimiento; en segundo lugar, la variable más influyente es longitud de panícula.

VI. RECOMENDACIONES

Trece genotipos que presentaron contenidos de zinc superiores a 18 mg/kg, pero no necesariamente de mayor rendimiento. Estas podrían ser utilizadas como progenitores para realizar cruzamientos entre donantes seleccionados y genotipos con alto potencial de rendimiento, tolerancia a enfermedades e insectos, y buena calidad de grano.

Los materiales seleccionados para cada ambiente, se sugieren sean validados en más sitios para confirmar los resultados obtenidos.

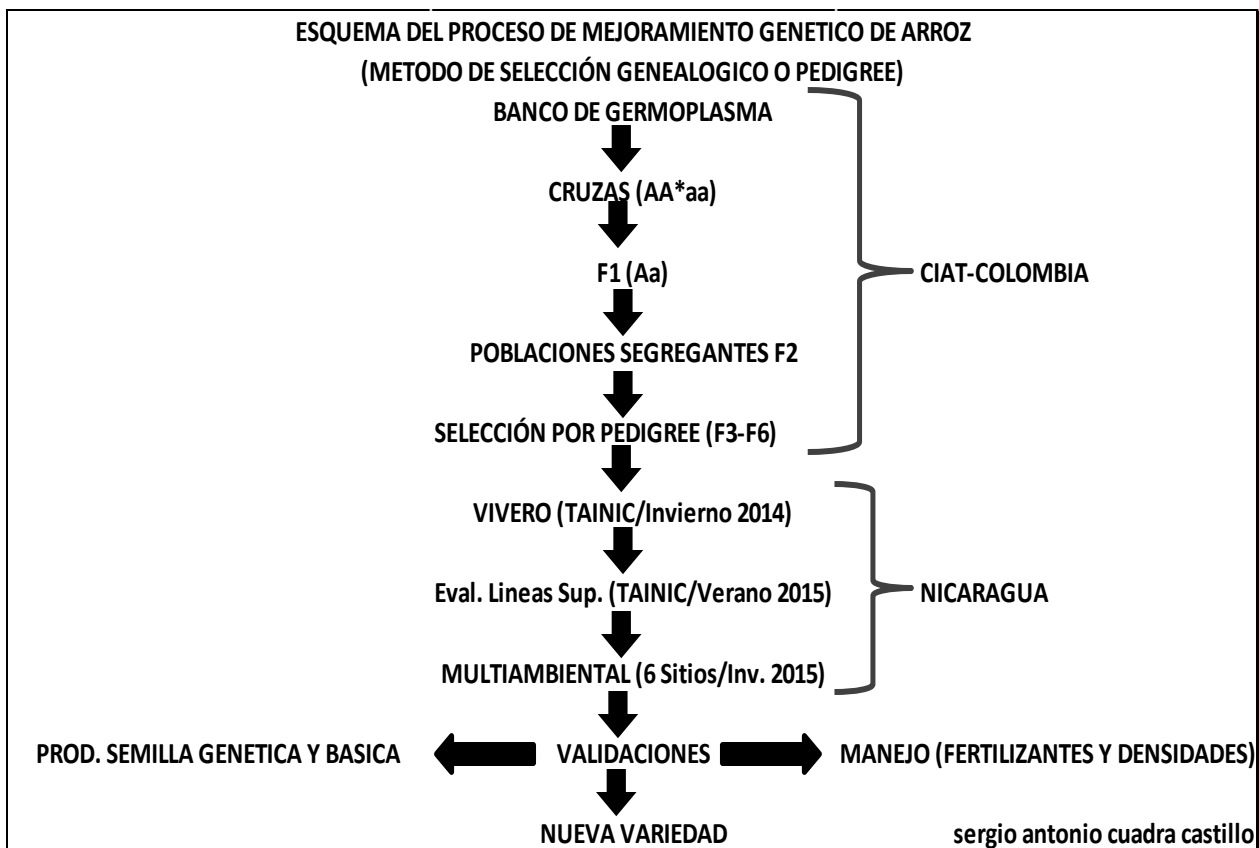
Considerar realizar aportes de zinc al suelo vía edáfica o foliar que contribuya a mejorar el balance nutricional en suelos con pH ligeramente alcalino.

VII. LITERATURA CITADA

- Borrero, J. *et al.* 2014. Evaluación del contenido de Zinc en el grano pulido de líneas de arroz de riego y secano favorecido de Colombia. Poster CIAT-HARVESTPLUS.
- CIAT.1983. Sistema de Evaluación Estándar para arroz. 2ª.ed. Manuel Rosero traductor y adaptador. Cali, Colombia. Autor.
- Chandler, R.F. 1984. Arroz en los trópicos. Guía para el desarrollo de programas Nacionales. IICA. San José, Costa Rica.
- Choudhury, N.H.1991. Parboiling and consumer demand for parboiled rice in South Asia. In: Rice grain marketing and quality issues. International Rice Research Institute Conference. 27-31 August 1990. Seoul, Korea. P. 47-54.
- Contín, A. 1990. Cultivo del arroz. Manual de producción. Editorial LIMUSA, cuarta edición. México D, F., México.
- De Datta, S. 1986. Producción de Arroz: Fundamentos y Prácticas. Investigador del IRRI. Los Baños, Filipinas. Editorial LIMUSA.
- Doyle, J. 1966. FAO. La respuesta del arroz al abonado. Roma, Italia. P, 71.
- Goldschmidt, V.M. 1954. Geochemistry, Oxford Univ. Press, London, UK.
- Jennigs, Coffman y Kaufman. 1981. Mejoramiento de arroz. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). Cali, Colombia. CIAT.
- Martínez, C. *et al.* 2007. Desarrollo de germoplasma con mayor valor nutricional para combatir la desnutrición en América Latina. Mesa de arroz y sorgo. Resúmenes, 4 págs. LIII Congreso PCCMCA, Antigua-Guatemala. Memoria de PCCMCA.
- MAG. 2013. Dirección estadística del MAG. Managua, Nicaragua. Autor.
- McClain, Craig J, Edward J, Kasarskis Jr and Allen JJ. 1985. Functional consequences of zinc deficiency. Progress in Food and Nutrition Science 9:185–226.
- Meneses, C. *et al.* 2001. Guía para el trabajo de campo en el manejo integrado de plagas de arroz. Cuarta edición. P,71.
- Nova, J. *et al.* 2007. Hierro y Zinc en el suelo y su expresión en el grano de arroz. Poster, CIAT- HARVESTPLUS-IDIAF, Republica Dominicana.
- Pachón, H. 2007. Conferencia Magistral sobre Biodisponibilidad de micros nutrientes en cultivos. LIII Congreso PCCMCA, Antigua-Guatemala
- Somarriba, C. 1998. Texto de Granos Básicos, Escuela de Producción Vegetal. UNA. Managua, Nicaragua. P, 197.
- Tinarelli, A. 1989. El arroz. Editorial Hemisferio Sur. Buenos Aires, Argentina. P, 304.

VIII. ANEXOS

Anexo1. Esquema del proceso de mejoramiento genético de arroz.



Anexo 2. Resultados de rendimiento, contenido de zinc y altura de planta en Vivero de arroz.

TRAT	IDENTIFICACION GENOTIPO	Rendimiento		Contenido de Zinc		Altura	
		kg ha ⁻¹	Tuk.	mg/kg	Tuk.	cm	Tuk.
37	IR90154-53-2-1-M	10931	a*	13.5	e-l*	102.4	h-x
98	IR 64	10166	ab	12.2	l	101.1	i-x
92	IR 64	9877	ab	13.4	e-l	101.4	i-y
29	IR75870-5-8-5-B-2-B-1SR-8-M	9464	ab	13.2	e-l	102.5	h-x
39	IR90140-47-3-M-2SR-1-M	9320	ab	16.3	a-l	98.0	k-y
2	926	9235	ab	14	d-l	103.7	g-x
34	IR77378-11-B-6-1-B-1SR-3-M	9141	ab	12.3	lk	90.2	u-y
67	PCT-11\0\0\2,Bo\1\1>58-1-1-3-1-M	9096	ab	13.8	e-l	104.5	f-x
36	IR90154-53-2-2-M	9064	ab	13.4	e-l	102.8	h-x
28	IR87233-19-4-2-2-M	8988	ab	13.5	e-l	100.7	i-y
20	IR87233-135-2-3-3-M	8936	ab	13.3	e-l	102.3	h-x
79	PCT-11\0\0\2,Bo\2\1>46-M-3-2-4-2-M	8875	ab	14.8	b-l	108.0	e-s
78	PCT-11\0\0\2,Bo\3\1>1-M-3-1-1-1-M	8712	ab	16.7	a-l	100.1	i-y
86	Fe de arroz 50	8538	ab	16.5	a-l	94.9	n-y
41	PCT-4\0\0\1>295-2-3-1-2-4	8439	ab	17	a-l	97.6	l-y
90	Testigo LOCAL (INTA L-9)	8434	ab	16.3	a-l	109.5	d-p
3	CT19561-3-1-1P-2-4-2-M	8381	ab	13.1	f-l	102.9	h-x
97	IR 64	8287	ab	13.6	f-l	102.6	h-x
23	IR31917-45-3-2-1-1SR-5-M	8191	ab	12.1	l	101.4	i-x
91	IR 64	8145	ab	14.3	d-l	103.7	g-x
31	IR87233-61-15-2-2-M	8123	ab	14.1	d-l	99.1	i-y
1	CT19298-(100)-1-2-3-1-4MP	8119	ab	13.7	e-l	100.7	i-y
59	PCT-11\0\0\3>1044-M-2-3-M-1-M	8053	ab	15.4	a-l	93.9	n-y
15	PCT-11\0\0\2,Bo\4\1>23-1-1-M	8010	ab	14.6	b-l	113.2	d-k
76	PCT-4\SA\2\1,Bo\4\1>8-1-2-M	7909	ab	16.5	a-l	113.2	d-k
22	IR77430-14-B-1-2-B-3-4SR-1-M	7872	ab	13.2	e-l	105.3	f-w
32	IR55423-01-1SR-1-M	7842	ab	11.9	l	87.7	x-z
65	PCT-4\SA\1\1>669-M-5-M-2-M-5-M	7730	ab	17	a-l	96.1	n-y
27	IR31917-45-3-2-1-3SR-4-M	7586	ab	14.8	b-l	93.0	p-y
68	PCT-11\0\0\2,Bo\2\1>125-M-3-2-3-1-M	7512	ab	16.4	a-l	113.2	d-m
44	PCT-4\0\0\1>295-2-1-1-2-3	7439	ab	18.4	a-e	95.0	n-y
26	IR75870-5-8-5-B-2-B-2-1-M	7425	ab	14.1	d-l	103.3	h-x
94	IR 64	7395	ab	13.6	e-l	101.1	i-x
95	IR 64	7387	ab	13.6	e-l	110.3	d-o
19	IR87233-24-23-2-1-M	7308	ab	13.5	e-l	106.2	e-u
84	CT11891-3-3-3-M-5-6-M	7269	ab	15.9	a-l	93.0	p-y
99	IR 64	7183	ab	12.8	h-l	97.2	m-y
54	PCT-4\SA\1\1,Bo\3\1>37-2-6-3-M-3	7103	ab	15.5	a-l	114.9	d-j
21	IR31917-45-3-2-1-2SR-1-M	7080	ab	15.7	a-l	96.8	m-y
8	PCT-11\0\0\2,Bo\4\1>128-1-2-2-1-M	7039	ab	12.3	kl	119.1	c-h
93	IR 64	6969	ab	13.8	e-l	106.9	e-u
24	IR31917-45-3-2-1-3SR-2-M	6946	ab	13.4	e-l	93.7	o-y
96	IR 64	6921	ab	13.5	e-l	102.9	h-x
62	PCT-4\SA\1\1,Bo\3\1>204-1-3-3-M-2-M	6917	ab	13.3	e-l	107.4	e-t
43	PCT-4\0\0\1>295-2-6-1-3-2	6904	ab	18	a-i	109.7	d-p
100	IR 64	6893	ab	13.4	e-l	102.0	i-x
74	PCT-4\SA\1\1,SA\2\1>746-1-2-2-1-4-M	6887	ab	14.5	b-l	101.6	i-x
70	PCT-4\SA\5\1>1754-5-1-5-3-1-M	6848	ab	13	g-l	98.1	k-y
73	PCT-11\0\0\2,Bo\2\1>32-M-1-1-5-2-M	6791	ab	17.7	a-j	113.2	d-k
48	PCT-4\0\0\1>295-2-1-1-2-2	6764	ab	18	a-h	96.9	m-y
7	PCT-4\0\0\3>220-1-6-M	6753	ab	12.8	h-l	132.1	a-c
42	PCT-4\0\0\1>295-2-3-1-3-3	6748	ab	18.4	a-e	99.0	i-y
58	PCT-4\SA\1\1,Bo\3\1>204-1-3-6-M-3-M	6728	ab	16	a-l	94.4	n-y

TRAT	IDENTIFICACION GENOTIPO	Rendimiento		Contenido de Zinc		Altura	
		kg ha ⁻¹	Tukey	mg/kg	Tukey	cm	Tuk.
69	CT11231-2-2-1-3-M-5-2-M-1-M	6726	ab	15.9	a-l	91.2	t-y
33	IR77378-11-B-6-1-B-3SR-4-M	6623	ab	12.0	l	92.5	r-y
80	CT11231-2-2-1-3-M-4-2-M	6590	ab	14.2	d-l	98.7	i-y
82	PCT-11\0\0\2,Bo\2\1>133-M-5-1-4-3-M	6587	ab	14.1	d-l	108.1	e-s
50	PCT-4\SA\1\1,Bo\3\1>60-3-2-4-M-1	6587	ab	20.3	a	108.0	e-s
46	PCT-4\SA\7\1>24-M-3-2-2-2-M	6585	ab	15.9	a-l	99.5	i-y
45	PCT-4\0\0\1>295-2-6-1-3-3	6546	ab	18.2	a-g	115.1	d-i
11	PCT-4\SA\2\1,Bo\4\1>188-1-1-M	6525	ab	14.2	d-l	147.1	a
85	PCT-4\SA\1\1,Bo\3\1>42-1-6-1-M	6512	ab	14.9	b-l	95.3	n-y
89	IR68144-2B-2-2-3-1-166	6491	ab	19.2	a-d	72.1	z
14	PCT-4\SA\2\1,Bo\4\1>312-1-4-M	6452	ab	13.8	e-l	114.4	d-k
18	IR31917-45-3-2-1-3SR-3-M	6439	ab	13.5	e-l	97.3	m-y
81	PCT-4\SA\5\1>1754-5-1-4-4-2-M	6423	ab	14.1	d-l	94.8	n-y
4	PCT-4\SA\2\1,Bo\4\1>119-1-2-M	6385	ab	15.1	a-l	122.7	c-e
83	CT11231-2-2-1-M-6-5-M-4-M	6342	ab	15.8	a-l	97.3	m-y
63	CT11231-2-2-1-3-M-5-2-M-3-M	6318	ab	16.5	a-l	108.5	e-r
5	PCT-4\0\0\3>138-1-4-M	6308	ab	19.7	ab	125.8	b-d
30	IR77392-67-B-5-16-B-2-2-1-M	6262	ab	14.7	b-l	102.7	h-x
75	PCT-4\SA\1\1,SA\4\1>111-1-1-M	6043	ab	13.3	e-l	120.8	c-f
9	PCT-11\0\0\2,Bo\4\1>28-1-1-4-1-M	6039	ab	15.3	a-l	120.7	c-f
49	PCT-4\0\0\1>295-2-3-1-3-5	6014	ab	17.5	a-k	100.7	i-y
13	PCT-4\0\0\3>233-1-4-M	5934	ab	16.5	a-l	110.1	d-o
40	PCT-4\0\0\1>295-2-1-1-3-3	5892	ab	16.8	a-l	103.8	g-x
47	PCT-4\0\0\1>295-2-6-3-3-1-M	5891	ab	16.3	a-l	95.9	n-y
52	PCT-4\0\0\1>295-2-3-2-1-4	5875	ab	16.5	a-l	98.9	i-y
53	PCT-4\0\0\1>295-2-6-3-3-3	5869	ab	19.6	a-c	108.3	e-r
64	PCT-11\0\0\2>Bo\2\1>87-1-1-6-1-1-M	5731	ab	16.1	a-l	96.0	n-y
60	PCT-11\0\0\2,Bo\2\1>487-3-1-3-2-3	5717	ab	15.8	a-l	100.9	i-x
16	PCT-4\SA\2\1,Bo\4\1>183-1-4-M	5711	ab	19.3	a-d	103.0	h-x
77	PCT-4\SA\1\1>1260-M-6-M-6-M	5694	ab	15.2	a-l	105.3	f-w
51	PCT-4\SA\1\1,Bo\3\1>42-1-4-5-M	5672	ab	16.7	a-l	91.5	s-y
55	PCT-4\0\0\1>295-2-1-1-3-2	5665	ab	18.0	a-i	98.3	j-y
25	IR55423-01-1SR-2-M	5582	ab	14.4	c-l	92.7	q-y
88	PCT-4\SA\1\1,Bo\3\1>109-1-1-1-M	5513	ab	16.6	a-l	94.6	n-y
66	126-C409-2-1-4-3-M	5509	ab	15.5	a-l	89.2	w-y
61	PCT-11\0\0\2,Bo\2\1>92-M-3-4-1-M	5466	ab	12.7	i-l	101.0	i-x
71	CT11891-3-3-3-M-1-5-M	5338	ab	14.7	b-l	109.1	d-r
56	PCT-4\0\0\1>295-2-3-1-3-1	5335	ab	18.3	a-f	99.1	i-y
72	PCT-4\SA\1\1,SA\2\1>1118-2-7-5-1-M	5299	ab	14.9	b-l	85.1	y-z
57	PCT-11\0\0\2,Bo\2\1>82-3-3-1-3-1	5227	ab	15.8	a-l	96.1	n-y
35	CT23073-9-8-2	5095	ab	16.5	a-l	85.2	y-z
38	IR90167-35-1-M-1SR-2-M	4855	ab	14.9	b-l	104.9	f-w
17	PCT-11\0\0\2,Bo\4\1>171-1-1-M	4790	ab	18.1	a-g	109.4	d-q
6	PCT-11\0\0\2,Bo\4\1>125-1-4-M	4505	b	15.2	a-l	119.0	c-h
12	PCT-4\SA\8\1>9-1-4-M	4332	b	16.2	a-l	120.3	c-h
87	Azucena	4231	b	15.5	a-l	140.0	ab
10	PCT-4\SA\2\1,Bo\4\1>205-1-4-M	4164	b	16.6	a-l	114.4	d-l
Media		6944		15.3		103.5	
Pr > F Para Genotipo		0.0009**		0.0001*		0.0001*	
Pr > F Para Repetición		0.6982NS		0.0052**		0.0022	
Pr > F Para Bloque		0.0242*		0.0032**		0.0001*	
DMS		6317		5.18		16.7	
CV		25.8		9.62		4.59	

*Medias con la misma letra son estadísticamente iguales, según TUKEY con P=0.05.

Anexo 3. Modelos Aditivos Lineales utilizados en los experimentos

3.1. Diseño de Bloques Incompletos No Balanceado para un ambiente (Alpha Lattice)

$$Y_{ijk} = \mu + \beta_{j(k)} + \tau_i + \epsilon_{ijk} \dots \text{donde:}$$

Y_{ijk} = respuesta del i-esimo genotipo, alojado en k-esimo bloque dentro de la j-esima repetición

μ = Media general

$\beta_{j(k)}$ = Efecto del k-esimo bloque dentro de la j-esima repetición

τ_i = Efecto del i-esimo genotipo

ϵ_{ijk} = Efecto de error experimental

3.1. Diseño de Bloques Incompletos No Balanceado Multi-ambiental (Alpha Lattice)

$$Y_{ijkl} = \mu + \beta_{k(jl)} + \tau_i + \gamma_l + (\tau\gamma)_{il} + \epsilon_{ijkl} \dots \text{donde:}$$

Y_{ijkl} = respuesta asociada del efecto del i-esimo genotipo en el k-esimo bloque dentro de la j-esima repetición en el l-esimo ambiente

μ = Media general

$\beta_{k(jl)}$ = Efecto del k-esimo bloque dentro de la j-esima repetición en el l-esimo ambiente

τ_i = Efecto del i-esimo genotipo

γ_l = Efecto del l-esimo ambiente

$(\tau\gamma)_{il}$ = Efecto de la interacción genotipo por ambiente

ϵ_{ijkl} = Efecto de error experimental

3.2. Regresión Lineal Simple

$$Y_{ij} = \alpha + \beta X_i + \epsilon_{ij} \dots \text{donde:}$$

Y_{ij} = observación de la variable dependiente bajo el i-esimo nivel de X

α = ordenada al origen de la recta

β = pendiente de la recta

X_i = i-esimo valor de variable independiente

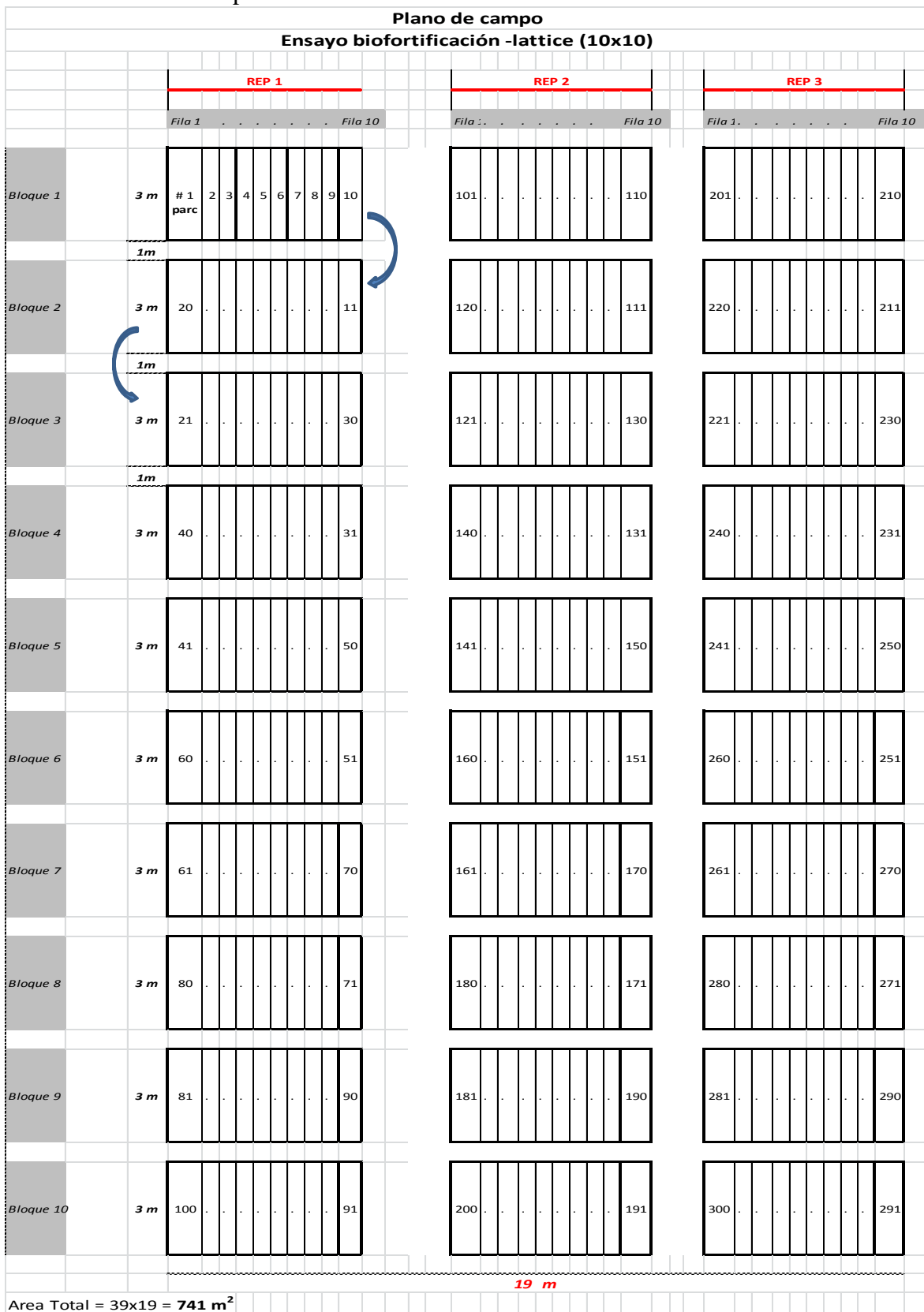
ϵ_{ij} = Efecto de error aleatorio

3.3. Correlación

El coeficiente de correlación está definido por:

$$r = \Sigma_{xy} / \sqrt{(\Sigma x^2) (\Sigma y^2)}$$

Anexo 4. Plano de campo de evaluación del vivero



Anexo 5. Plano de campo de evaluación de líneas avanzadas

Plano de Campo											
Ensayo biofortificación - Alfa Lattice (5x5)											
BLOQUE	Bloque 1		Bloque 2		Bloque 3		Bloque 4		Bloque 5		
REPETICION	Parcela	Entrada	Parcela	Entrada	Parcela	Entrada	Parcela	Entrada	Parcela	Entrada	
Repetición I	1	17	10	5	11	3	20	21	21	7	
	2	19	9	1	12	25	19	6	22	23	
	3	13	8	20	13	11	18	24	8	9	
	4	22	7	10	14	14	17	4	24	12	
	5	15	6	8		15	18	16	2	25	16
2.0 m											
Repetición II	26	23	35	20	36	6	45	7	46	22	
	27	18	34	24	37	12	44	25	47	2	
	28	11	33	9	38	21	43	1	48	10	
	29	8	32	5	39	16	42	15	49	13	
	30	19	31	17	40	3	41	4	50	14	
2.0 m											
Repetición III	51	8	60	25	61	22	70	18	71	10	
	52	20	59	17	62	14	69	5	72	3	
	53	9	58	7	63	13	68	24	73	1	
	54	2	57	4	64	11	67	21	74	19	
	55	16	56	6	65	23	66	12	75	15	
2.0 m											
Repetición IV	76	7	85	16	86	2	95	8	96	13	
	77	25	84	14	87	6	94	17	97	22	
	78	19	83	18	88	11	93	3	98	9	
	79	15	82	10	89	1	92	21	99	23	
	80	4	81	12	90	24	91	5	100	20	
2.0 m											

Anexo 6. Plano de campo de evaluación multi-ambiental

PLANO DE CAMPO									
EVALUACION MULTIAMBIENTAL ALPHA LATICE 4*4									
BLOQUE	B 1		B 2		B 3		B 4		
REP	Par	Ent	Par	Ent	Par	Ent	Par	Ent	
Rep I	1	11	8	4	9	13	16	12	
	2	6	7	5	10	10	15	2	
	3	14	6	16	11	9	14	7	
	4	1	5	15	12	8	13	3	
2.0 m									
Rep II	17	13	24	10	25	4	32	16	
	18	5	23	11	26	9	31	6	
	19	12	22	3	27	14	30	15	
	20	8	21	1	28	7	29	2	
2.0 m									
Rep III	33	9	40	14	41	12	48	8	
	34	10	39	6	42	5	47	4	
	35	15	38	2	43	16	46	11	
	36	1	37	13	44	7	45	3	
2.0 m									
Rep IV	49	6	56	8	57	9	64	15	
	50	16	55	2	58	10	63	5	
	51	3	54	4	59	1	62	12	
	52	13	53	14	60	11	61	7	
2.0 m									