

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE AGRONOMÍA
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGRONÓMICAS**

**EVALUACIÓN DE 11 MATERIALES GENÉTICOS AVANZADOS DE ARROZ *Oryza sativa*
L. EN LAS PRINCIPALES ZONAS ARROCERAS DE GUATEMALA**

**TESIS
PRESENTADA A LA HONORABLE JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE AGRONOMIA
DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**

**POR
JORGE ESTUARDO CAMPINS PADILLA**

En el acto de investidura como

INGENIERO AGRÓNOMO

**EN
SISTEMAS DE PRODUCCIÓN AGRÍCOLA
EN EL GRADO ACADÉMICO DE LICENCIADO**

Guatemala, octubre de 2005

PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
Biblioteca Central

DL
01
7(2188)

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

RECTOR

Dr. M.V. Luis Alfonso Leal Monterroso

JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE AGRONOMÍA

- | | | |
|----------------------|------------------|--|
| DECANO | Ing. Agr. | Ariel Abderramán Ortiz López |
| VOCAL PRIMERO | Ing. Agr. | Alfredo Itzep Manuel |
| VOCAL SEGUNDO | Ing. Agr. | Walter Reyes Sanabria |
| VOCAL TERCERO | Ing. Agr. | Erberto Raúl Alfaro Ortíz |
| VOCAL CUARTO | M.E.P.U. | Elmer Antonio Álvarez Castillo |
| VOCAL QUINTO | P.M.P | Miriam Eugenia Espinoza Padilla |
| SECRETARIO | Ing. Agr. | Pedro Peláez Reyes |

Guatemala, septiembre de 2005

Honorable Junta Directiva
Honorable Tribunal Examinador
Facultad de Agronomía
Universidad de San Carlos de Guatemala
Presente

Distinguidos miembros:

De conformidad con las normas establecidas en la Ley Orgánica de la Universidad de San Carlos de Guatemala, tengo el honor de someter a su consideración el trabajo de tesis titulado

**EVALUACIÓN DE 11 MATERIALES GENÉTICOS AVANZADOS DE ARROZ *Oryza sativa*
L. EN LAS PRINCIPALES ZONAS ARROCERAS DE GUATEMALA**

Presentado como requisito previo a optar el Título de Ingeniero Agrónomo en Sistemas de Producción Agrícola, en el grado académico de Licenciado.

En espera de su aprobación, me es grato presentarles mi agradecimiento.

Atentamente,



JORGE ESTUARDO CAMPINS PADILLA

TESIS QUE DEDICO

A:

Guatemala

Universidad de San Carlos de Guatemala

Facultad de Agronomía

AGRADECIMIENTOS

A:

DIOS

Fuente inagotable de bendiciones, que este mérito sirva para engrandecer tu gloria

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

Centro de estudios que ha abrigado esperanzas, lucha y constancia de muchas personas que me anteceden

ASESORES

Por las instrucciones oportunas para culminar mi carrera

MIS PADRES

Alfonso Campins Leal y Aminta Padilla de Campins

Regalos valiosos de mi creador, con todo amor

MI ESPOSA E HIJA

Marlem y Maria Isabel

Motivación de ternura, amor y apoyo para seguir adelante,

MIS HERMANOS

Con especial cariño, gracias por los recuerdos de nuestra convivencia en casa

Familia

Corado Azmitia, por su apoyo incondicional

MIS PRIMOS Y TÍOS

Especialmente a Alvaro Padilla por su ejemplo y dedicación a la Agricultura en Guatemala

COMPAÑEROS Y AMIGOS

Testigos de las experiencias durante el alcance de nuestras metas, que Dios les bendiga!

ARROZGUA

Por la oportunidad de forjar mis conocimientos en el cultivo de arroz y la oportunidad de desarrollar el presente estudio

USTED

Muy cordialmente.

CONTENIDO GENERAL

	ÍNDICE DE FIGURAS	iii
	ÍNDICE DE CUADROS	iii
	RESUMEN	iv
1.	INTRODUCCIÓN	1
2.	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	2
3.	MARCO TEÓRICO	3
3.1	MARCO CONCEPTUAL	3
3.1.1	CLASIFICACIÓN BOTÁNICA DEL ARROZ	3
3.1.2	MORFOLOGÍA DE LA PLANTA DE ARROZ	3
3.1.3	TERMINOLOGÍA RELACIONADA CON EL MEJORAMIENTO VEGETAL	6
3.1.4	ENSAYO DE RENDIMIENTO CON REPETICIONES EN ARROZ	9
3.1.5	PRUEBAS REGIONALES DE MATERIALES DE ARROZ	10
3.1.6	ENFERMEDADES DE ARROZ	11
3.1.7	LA NATURALEZA DE LA RESISTENCIA A LAS ENFERMEDADES	12
3.1.8	RESISTENCIA DEL ARROZ A <i>Pyricularia oryzae</i>	14
3.1.9	CALIDAD MOLINERA Y CULINARIA DEL ARROZ	15
3.1.10	LA AMILOSA Y SU EFECTO SOBRE EL ARROZ CRUDO Y COCIDO	17
3.2	MARCO REFERENCIAL	20
3.2.1	ZONAS DE CULTIVO DEL ARROZ EN GUATEMALA DONDE SE DESARROLLÓ LA INVESTIGACIÓN	20
3.2.2	PROCEDENCIA DEL MATERIAL EXPERIMENTAL	21
3.2.3	SERIE DE EXPERIMENTOS	22
3.2.3	ANÁLISIS DE ESTABILIDAD POR EL MÉTODO DE EFECTOS PRINCIPALES ADITIVOS E INTERACCIONES MULTIPLICATIVAS (AMMI)	22
4.	OBJETIVOS	25
	GENERAL	25
4.1	ESPECÍFICOS	25
5.	HIPÓTESIS	26
6.	METODOLOGÍA	27
6.1	UBICACIÓN DEL EXPERIMENTO	27
6.2	DESCRIPCIÓN DE LOS TRATAMIENTOS EVALUADOS	27
6.2.1	DISTRIBUCIÓN DE LOS TRATAMIENTOS EN EL CAMPO	28
6.2.2	DETALLE DE LA UNIDAD EXPERIMENTAL	28
6.2.3	DISEÑO EXPERIMENTAL	28
6.2.4	ANÁLISIS DE ESTABILIDAD POR EL MÉTODO AMMI	28
6.3	MANEJO AGRONÓMICO	29
6.3.1	MECANIZACIÓN, TRAZO Y SIEMBRA	29
6.3.2	FERTILIZACIÓN	29
6.3.3	CONTROL DE MALEZAS	29
6.3.4	CONTROL DE ENFERMEDADES	29
6.3.5	CONTROL DE INSECTOS	29

6.3.6	COSECHA	30
6.4	VARIABLES DE RESPUESTA	30
6.4.1	TOMA DE DATOS EN EL CAMPO	30
6.5	ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN	31
7.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	33
7.1	RENDIMIENTO EN GRANZA POR LOCALIDAD	33
7.2	ANÁLISIS DE LA ESTABILIDAD DEL RENDIMIENTO EN GRANZA DE LOS MATERIALES GENÉTICOS DE ARROZ EVALUADOS	35
7.2.1	ANÁLISIS COMBINADO	35
7.2.2	ANÁLISIS DE EFECTOS PRINCIPALES ADITIVOS E INTERACCIÓN MULTIPLICATIVA (AMMI)	35
7.3	TOLERANCIA DE LOS MATERIALES DE ARROZ A LAS ENFERMEDADES	38
7.4	CARACTERÍSTICAS AGRONÓMICAS DE LOS MATERIALES GENÉTICOS DE ARROZ	39
7.5	RENDIMIENTO EN MOLINO Y PORCENTAJE DE AMILOSA DE LOS MATERIALES GENÉTICOS DE ARROZ EVALUADOS	40
8.	CONCLUSIONES	42
9.	RECOMENDACIÓN	43
10.	BIBLIOGRAFÍA	44
11.	ANEXOS	46

ÍNDICE DE FIGURAS

Gráfica 1.	Medias de rendimiento y puntuaciones de los componentes principales 1 y 2 del ensayo de materiales genéticos de arroz en las principales zonas arroceras de Guatemala	37
------------	---	----

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1.	Ubicación de las 11 localidades donde se realizó la serie de experimentos	27
Cuadro 2.	Materiales genéticos de arroz evaluados	27
Cuadro 3.	Programa de fertilización aplicado al experimento de líneas avanzadas de arroz	29
Cuadro 4.	Resumen de los ANDEVAS para la variable rendimiento de arroz en granza en cada localidad de estudio	33
Cuadro 5.	Resumen de la prueba de Tukey para la variable de respuesta rendimiento de arroz en granza	34
Cuadro 6.	Análisis de varianza combinado para la variable de respuesta rendimiento de arroz en granza en toneladas métricas por hectárea	35
Cuadro 7.	Análisis AMMI para la variable de respuesta rendimiento de arroz en granza en toneladas métricas por hectárea para las principales zonas arroceras de Guatemala	36
Cuadro 8.	Rendimiento de arroz en granza en toneladas métricas por hectárea y puntuaciones AMMI para cada uno de los 11 materiales genéticos de arroz evaluados en siete localidades de Guatemala	36
Cuadro 9.	Tolerancia a enfermedades de los materiales de arroz evaluados	38
Cuadro 10.	Características agronómicas de los materiales genéticos de arroz	39
Cuadro 11.	Porcentaje de amilosa y rendimiento en molino de los materiales genéticos de arroz evaluados en las principales zonas arroceras de Guatemala	41

EVALUACIÓN DE 11 MATERIALES GENÉTICOS AVANZADOS DE ARROZ *Oryza sativa* L. EN LAS PRINCIPALES ZONAS ARROCERAS DE GUATEMALA

EVALUATION OF 11 ADVANCED GENETIC MATERIALS OF RICE *Oryza sativa* L. IN THE MAIN RICE ZONE OF GUATEMALA

RESUMEN

El objetivo principal de la presente investigación fue evaluar el comportamiento de once líneas avanzadas de arroz (ICTA Pazos, Colomgua, Masagua, IG 2558, IG 2549, IG 2548, IG 2547, IG 2545, IG 2543, IG 2541 e IG 2540) en siete localidades arroceras de Guatemala (Costa del Pacífico: Estación ICTA Cuyuta, Masagua, Escuintla, Estación ICTA La Máquina, Suchitepéquez y Finca El Jardín, San Lorenzo, San Marcos; Costa del Atlántico: Estación ICTA Panzos, Alta Verapaz, Finca Cocales, Cahaboncito, Panzos, Alta Verapaz y Cristina, Los Amates, Izabal; Zona Oriental: El Amatillo, Ipala, Chiquimula).

En cada una de las siete localidades se desarrolló el experimento con 11 tratamientos (3 variedades comerciales como testigo y 11 líneas avanzadas de arroz) y cuatro repeticiones bajo el diseño experimental de bloques completos al azar en una serie de experimentos; las variables de respuesta analizadas fueron: rendimiento de arroz en granza en toneladas métricas por hectárea, tolerancia a enfermedades del cultivo, características agronómicas y calidad molinera y culinaria de las líneas de arroz.

Resultado de la investigación se tiene que la línea de arroz que presenta el rendimiento más estable en las siete localidades es IG 2540 con un rendimiento promedio de 6.06 toneladas métricas de arroz en granza por hectárea, es la más tolerante al conjunto de enfermedades presentes en cada localidad, con buena calidad molinera (porcentaje de molino del 71 por ciento) y la de mayor calidad culinaria expresada indirectamente en el porcentaje de amilosa siendo del 31.50 por ciento.

De acuerdo a los resultados obtenidos se recomienda evaluar a nivel semi-comercial, en las principales zonas arroceras de Guatemala, la línea avanzada de arroz IG 2540, para validar su tolerancia a las enfermedades del cultivo.

1. INTRODUCCIÓN

El arroz es considerado como uno de los cereales de gran importancia en la dieta diaria de los guatemaltecos, en nuestro país se producen cerca de las 44,000 toneladas métricas de arroz en granza, producción que no alcanza a cubrir la demanda interna, debiendo importar alrededor de 40,000 toneladas métricas de arroz en granza (3).

La demanda de arroz está integrada: principalmente para el consumo humano, en menor proporción para la agroindustria, la exportación y la destinada a semilla. El consumo promedio per cápita se calcula en 5.7 kg, de arroz blanco al año. En el área rural donde se concentra la mayor parte del estrato de población de bajos ingresos, el consumo de arroz alcanza nivel de 1.5 a 3.5 kg/persona/año. En el área urbana el rango de consumo es de 5 a 12 kg/persona/año, según estratos de niveles de ingresos (2).

Actualmente las variedades liberadas como ICTA-Colomgua e ICTA-Oasis (1997-1999) presentan susceptibilidad a las enfermedades principalmente piricularia en hoja y cuello, por lo cual el rendimiento ha disminuido en los últimos años y si no se proponen nuevas variedades con alto rendimiento y tolerancia a las enfermedades habrá un mayor déficit en la demanda interna de arroz en Guatemala (2).

En tal sentido, el objetivo principal de la presente investigación fue evaluar un total de 11 materiales genéticos de arroz, 8 líneas avanzadas de arroz y tres variedades comerciales de uso actual en el país, en siete localidades de la zona arrocera de Guatemala, que abarcan la Costa del Pacífico, la Costa del Atlántico y la zona oriental de Guatemala, con el propósito de seleccionar las más estables, de alto rendimiento en granza y en molino, tolerantes al conjunto de enfermedades del cultivo y que su contenido de amilosa sea superior o igual al 26 por ciento.

Como resultado del estudio, se cuenta con suficiente información sobre nuevos materiales de arroz, estableciendo que la línea de arroz IG 25 40, ofrece buenas perspectivas como opción para los agricultores del país y para la industria arrocera.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Desde que se creó el ICTA en 1973 se han liberado en el mercado guatemalteco 14 variedades de arroz; sin embargo, en el transcurso de 5 años o menos estas variedades se vuelven susceptibles a las enfermedades lo cual hace difícil su cultivo y además disminuye el rendimiento.

Actualmente en Guatemala se cultiva en la mayoría de la zona arroceras la variedad ICTA MASAGUA y Colongua, las cuales han venido disminuyendo su rendimiento debido principalmente a que se han tornado susceptibles al hongo fitopatógeno *Pyricularia oryzae* tanto en la hoja como en el cuello. Por otro lado la agroindustria arroceras en Guatemala se ha ido tecnificando, de esa cuenta para el año 2005 demandan arroces con contenidos altos de amilosa puesto que tienen mayor demanda en el mercado, de tal forma que a parte del rendimiento hay que considerar en las nuevas variedades que se liberen el aspecto de la calidad molinera y culinaria (porcentaje de amilosa) (2).

3. MARCO TEÓRICO

3.1 MARCO CONCEPTUAL

3.1.1 CLASIFICACIÓN BOTÁNICA DEL ARROZ

Grupo	Fanerogamas
Tipo	Espermatofitas
Subtipo	Angiospermas
Clase	Commelinidae
Orden	Cyperales
Familia	Gramineae
Subfamilia	Orizoideae
Tribu	Oryzeae
Subtribu	Oryzineae
Género	Oryza
Especie	<i>Oryza sativa</i> L. (7)

3.1.2 MORFOLOGÍA DE LA PLANTA DE ARROZ

El arroz es una gramínea anual, de tallos redondos y huecos compuestos de nudos y entrenudos, hojas de lámina plana unidas al tallo por la vaina y su inflorescencia en panícula. El tamaño de la planta varía de 0.4 m hasta más de 1.2 m . Para efectos de esta descripción los órganos de la planta de arroz se han clasificado en dos grupos:

Organos vegetativos, que son las raíces, tallos y hojas.

Organos reproductores, es decir las flores y las semillas (9).

A. Organos vegetativos

a. Raíz

Durante se desarrolla, la planta de arroz tiene dos clases de raíces, las seminales o temporales y las adventicias o permanentes (9).

b. Tallo

El tallo esta formado por la alteración de nudos y entrenudos. En el nudo o región nodal se forma una hoja y una yema, esta ultima puede desarrollarse y formar un hijo. La yema se encuentra entre el nudo y la base de la vaina de la hoja (9).

c. Hoja

Las hojas de la planta de arroz se encuentran distribuidas alternadamente a lo largo del tallo. La primera hoja que aparece en la base del tallo principal o de los hijos se denomina profilo no tiene lamina y esta constituido por dos laminas aquilladas. Los bordes del profilo aseguran por el dorso los hijos jóvenes al tallo o al hijo donde proviene.

En cada nudo se desarrolla una hoja: la superior, que se encuentra debajo de la panícula , es la hoja bandera. En una hoja completa se distinguen las siguientes partes: La vaina, el cuello, y la lamina (9).

B. Organos reproductores

a. Inflorescencias y flores

Las flores de las plantas de arroz están agrupadas en una inflorescencia denominada panícula. La panícula está situada sobre el nudo apical del tallo, llamado nudo ciliar o base de la panícula, y generalmente tiene la forma de un arco ciliado. La base de la panícula se denomina cuello.

El nudo ciliar carece de hojas y yemas, pero allí pueden originarse de la primera o de las primeras cuatro primeras ramificaciones de la panícula, y se toma como un punto de referencia para medir la longitud del tallo y de la panícula. El entrenudo superior del tallo en cuyo extremo se encuentra la panícula denominada pedúnculo. Su longitud varia varia notablemente según la variedad de arroz; en algunas variedades pueden extenderse mas allá de la hoja bandera o quedar encerrado en la vaina de esta. Después de la floración la emergencia de la panícula de la vaina de la hoja bandera se clasifica así (4):

Emergencia completa: la base de la panícula sale completamente de la vaina y esta distante del cuello de la hoja bandera.

Emergencia semicompleta: la base de la panícula esta arriba del cuello de la hoja bandera.

Emergencia: la base de la panícula coincide con el cuello de la hoja bandera.

Emergencia parcial: La base de la panícula esta abajo del cuello de la hoja bandera. Sin emerger: la panícula esta encerrada dentro de la vaina de la hoja bandera. El raquis o eje principal de la panícula es hueco, de sus nudos nacen las ramificaciones. Las protuberancias en la base del raquis se denominan pulvinulos paniculares. En cada nudo del eje principal nacen individualmente o por parejas, ramificaciones que a su vez dan origen a ramificaciones secundarias de donde brotan la espiguillas (4).

Teóricamente la espiguilla del género *Oryza* se compone de tres flores, pero solo uno se desarrolla. Una espiguilla consta de dos lemas estériles, la raquilla y la florecilla. Las lemas estériles o glumas rudimentarias son las brácteas alargadas del pedicelo. La raquilla es el eje que sostiene la flor y las lemas estériles la envuelven por debajo de la raquilla. Las brácteas superiores llamadas **glumas** florales o fértiles o simplemente glumas, son: la lema, que tiene la forma de un bote con cinco nervios, y la palea con tres nervios que ocupa la posición opuesta. Estas brácteas superiores posteriormente formaran la cáscara de la semilla. El nervio central de la lema, quilla de la lema, quilla de la lema, puede ser liso o pubescente. La arista, una prolongación de la quilla es una formación filiforme ubicada con el ápice de la lema, y puede ser corta o larga; su existencia esta condicionada por factores hereditarios y por la influencia del ambiente. Después de la floración completa es posible detectar la presencia o ausencia de arista (22).

La flor consta de seis estambres y un pistilo. Los estambres son filamentos delgados que contienen las anteras alargadas y bifidas, los cuales contienen los granos del polen. En el pistilo se distinguen el ovario, el estilo y el estigma. El ovario es de cavidad simple y contiene un solo óvulo. El estilo es corto y termina en doble estigma plumoso. Según la variedad el estigma presenta diferentes colores: Blanco, Verde, amarillo, púrpura pálido o púrpura (4).

b. Estructura del grano

El grano de arroz (cariópside) es un ovario maduro, seco e indehiscente; consta de cáscara formada por la lema y la palea con sus partes asociadas, lemas estériles, la raquilla y la arista; el embrión, situado en el lado ventral de la semilla situado cerca de la lema, y el endospermo, que provee alimento al embrión durante la germinación. Debajo de la lema y la palea hay tres capas de células que constituyen el pericarpio; debajo de estas se encuentran dos capas, el tegumento y la aleurona. Cuando las espiguillas maduran, las **glumas fértiles** (lema y palea) presentan diferentes colores, según la variedad: color de paja, dorado, surco dorados, manchas oscuras manchas marrones sobre fondo paja, marrón amarillento, rojizo o púrpura o negro. Los granos de arroz pueden clasificarse según su longitud en:

Extra largos:	7.6 mm. o mas
Largos:	7.5 mm. a 6.6 mm
Medios:	6.5 mm. a 5.6 mm
Cortos:	5.5 mm o menos

El endospermo blanco consiste principalmente en gránulos de almidón envueltos en una matriz proteínica; contiene además azúcares, grasas, fibra cruda y materia orgánica (9).

3.1.3 TERMINOLOGÍA RELACIONADA CON EL MEJORAMIENTO VEGETAL

En los siguientes párrafos se definirán algunos términos que están directamente relacionados con el trabajo que exige el mejoramiento vegetal; esto se realiza debido a que diversos autores utilizan arbitrariamente la terminología, por lo que en la presente investigación se ha adoptado presentar las definiciones propuestas por el Instituto Internacional de Cooperación para la Agricultura (IICA) en su trabajo titulado Los Bancos Genéticos y la Alimentación Mundial (17).

A. Genotipo

Los genes, que están contenidos en los organismos vivos, son el plano genético de la información que se necesita para toda la vida biológica del organismo y son responsables de las características de las plantas. Un genotipo es por lo tanto una combinación única y diferenciada de genes en un organismo, y los bancos genéticos son, hasta ahora, el único lugar donde se almacena sistemáticamente los genotipos de las plantas. El término **material genético** se utiliza para referirse a *líneas puras*, *variedades*, *accesiones* y en sí a todas aquellas entidades que presenten una combinación única y diferenciada de genes en un organismo (17).

B. Germoplasma vegetal

Las colecciones de germoplasma vegetal son conjuntos de genotipos que corresponden a variedades primitivas, o razas nativas, de la agricultura autóctona, a cultivares obsoletos, a variedades modernas que son producto del mejoramiento científico, y a parientes silvestres –incluyendo malezas– de las especies cultivadas. Los términos *variedad* y *cultivar* se usan como sinónimos (17).

C. Acervo genético de una planta cultivada

El acervo genético de una planta cultivada es una categoría amplia que abarca los recursos genéticos de las especies, incluyendo el material que se puede cruzar con ellas y que contribuye con sus genes.

El acervo genético de una planta contiene frecuentemente los parientes silvestres. El flujo de genes se refiere al intercambio de genes entre plantas individuales y entre poblaciones de plantas (17).

D. Erosión genética

La erosión genética es la pérdida de genes en un acervo genético a causa de la eliminación de poblaciones por factores tales como la adopción de variedades modernas y el desmonte de tierras con vegetación (17).

E. Especie nativa, silvestre, arvense, cultivar y variedad

El término **nativo** es relativo al lugar de origen y distribución mas probable de la especie, es decir hace referencia al centro de origen de cada especie. El término **silvestre** se refiere a especies en las cuales el hombre no ha realizado ninguna intervención y/o aprovechamiento de la misma; en algunas ocasiones algunos productores indican "cultivar especies silvestres", lo cual es erróneo porque para ello ya han realizado algún grado de domesticación aunque éstas se localicen en áreas boscosas. El término **arvense** se refiere a aquellas especies que se encuentran en campos cultivados sin ser dispuestas en éstos campos por el agricultor, pero que finalmente el agricultor aprovecha sus frutos, partes vegetativas o la planta completa, no debe confundirse éste término con **planta voluntaria**, que es la que queda en la plantación de la cosecha anterior. Un **cultivar** es aquel conjunto de plantas que presentan características comunes y que el agricultor ha ido seleccionando a través de los años por presentar aspectos deseables para él, se diferencia una **variedad** de un cultivar en que la variedad ha sido sometida a un riguroso procedimiento de selección y mejoramiento genético ya sea por instituciones del gobierno o privadas; un grupo de cultivares puede ser el punto de partida para desarrollar una variedad, los términos **variedad tradicional** y **variedad local** son sinónimos de cultivar y el término **variedad moderna** es sinónimo de variedad (17).

F. Accesiones

Una **accesión** de un banco genético es una muestra vegetal que se ha colectado en el campo por el mejorador por tener características de interés para él, se ha recibido para procesamiento y eventual almacenamiento y evaluación. Es similar a una accesión de biblioteca que está destinada a ser catalogada y mantenida en la estantería. Para ser útiles a los mejoradores, las accesiones deben primero examinarse por sus reacciones a diversos organismos patógenos (agentes que causan enfermedades) y a otros estreses ambientales. Los genes de una accesión evaluada pueden convertirse en líneas mejoradas, las cuales

conducirán finalmente al desarrollo de nuevas variedades que serán distribuidas a los agricultores. Las accesiones de los bancos genéticos son generalmente plantas nativas o variedades tradicionales seleccionadas por los agricultores o mejoradores. Muchos bancos genéticos contienen también variedades modernas que ya no están en uso, así como especies silvestres (17).

G. Variedades de polinización libre

Es un grupo de individuos con características similares, que se pueden conservar en el tiempo y en el espacio, con polinización libre o cruzada, es decir plantas alógamas (18).

H. Líneas

Las líneas son materiales que se van seleccionando de un conjunto de plantas por ofrecer las mejores posibilidades en el rendimiento. Las líneas son el producto de la autofecundación de plantas seleccionadas en una población, para llevarlas a cierto grado de endogamia (homogeneidad), se llevan a S1, S2, S3, S4, S5 y S6 para tener alrededor de 1,000 autofecundaciones (5).

I. Híbridos

Es el aprovechamiento de la generación F1, proveniente de la cruce de dos individuos superiores, o sea lo que se conoce como vigor híbrido (18).

J. Híbrido simple

Es la combinación entre dos líneas, que en la producción de progenie se conoce como cruce simple.

$$A \times B$$

K. Híbrido doble

Es la combinación de dos cruces simples. Es la forma que actualmente son trabajados los híbridos generados por el ICTA. Para esta clase de híbridos participan 4 líneas progenitoras (5, 18).

$$(A \times B) \times (C \times D)$$

L. Híbrido triple

No es más que la combinación de una cruce simple y una línea o una variedad (18).

$$(A \times B) \times C$$

3.1.4 ENSAYO DE RENDIMIENTO CON REPETICIONES EN ARROZ

Las mejores líneas de arroz seleccionadas de las parcelas de observación pasan a los *ensayos de rendimiento con repeticiones* para continuar la evaluación. Estas pruebas se conocen como ensayos avanzados de rendimiento en algunos programas para distinguirlas de los ensayos preliminares de rendimiento o parcelas de observación (11).

Los *ensayos repetidos de rendimiento* difieren de las *parcelas de observación* en que abarcan únicamente de 20 a 40 por ciento de las selecciones, y las parcelas son más grandes, frecuentemente de seis a ocho surcos, cada uno de 5 a 10 metros de largo. Tal vez la principal diferencia entre los ensayos de rendimiento y las parcelas de observación es que los primeros se deben de repetir en diversas localidades, mientras que las parcelas de observación sólo se siembran en una o pocas estaciones experimentales debido a la escasa cantidad de semilla de que se dispone y al gran número de selecciones. En el programa Colombiano del CIAT, por ejemplo, los ensayos de rendimiento se llevan a cabo en la sede del programa y en las tres subestaciones en localidades sumamente distantes del país. Las repeticiones en varias áreas son más valiosas que el aumento de las mismas en una localidad (11).

En el Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) se hacen únicamente tres repeticiones; en el Instituto internacional de Investigación del Arroz (IRRI) y en la mayoría de programas se hacen las cuatro repeticiones convencionales para cada grupo de líneas (11).

El CIAT utiliza el diseño de bloques completos al azar para las selecciones en ensayos de rendimiento. Como las selecciones maduran uniformemente y todas son enanas o de porte moderado, no se les agrupa de acuerdo con ninguna de estas dos características. No obstante, en algunas áreas templadas, donde se desea material muy precoz para producir además un cultivo de soca, es necesario agruparlas por el tiempo a la madurez (11).

En casi todos los ensayos, muchas líneas que se comportan bien en la sede del programa y en ciertas estaciones experimentales muestran los efectos limitantes en otros lugares. Esto ilustra claramente la necesidad de identificar y descartar el material inferior por medio de la evaluación y de observación de campo permanentes en diferentes regiones antes de que se las designe como variedades para uso comercial. La mayor falla de los ensayos de rendimiento en todo el mundo es que no se prueban suficientemente las líneas avanzadas en diversas regiones. La repetición de pruebas en una sola localidad no solamente es un mal

sustituto si no también crea cuellos de botella que limitan el progreso de todo el programa y conducen a liberar variedades de poca adaptación (11).

Las notas que se toman en los ensayos de rendimiento son las mismas que se toman en las parcelas de observación, pero se cosechan todas las selecciones. Las bases de eliminación de las selecciones son las mismas que las de las parcelas de observación. El rendimiento del grano se registra usualmente en los cuatro surcos centrales de la parcela de ocho surcos. De los surcos de borde se cosechan individualmente de 150 a 200 panículas de las cuales se obtendrá semilla para ensayos continuados de rendimiento. Las líneas raramente se evalúan más de dos veces en los ensayos de rendimiento antes de descartarlas o aceptarlas para las pruebas regionales (11).

3.1.5 PRUEBAS REGIONALES DE MATERIALES DE ARROZ

Las líneas más promisorias, identificadas en una o dos series de ensayos de rendimiento previos, se prueban en ensayos regionales en estaciones experimentales y fincas arroceras. El número promedio de selecciones a probarse es de cerca de 10 a 15, incluyendo una o dos variedades testigo. Las parcelas de cada selección fluctúan de 100 a 1000 metros cuadrados y se efectúa tan solo una o ninguna repetición (11).

Los objetivos de los ensayos regionales son evaluar el potencial de las nuevas variedades en las fincas y servir de sede para los días de campo fuera de la estación experimental. Para estos ensayos se busca agricultores colaboradores quienes facilitarán las parcelas con suelo uniforme y agua, cuidarán de ellas durante toda la época de cultivo. Las pruebas regionales deben de seleccionarse de acuerdo con los extensionistas de la localidad, y deberán ubicarse a lo largo de las principales vías para que puedan ser apreciadas por los agricultores (11).

Las pruebas regionales para arroz de secano en fincas mecanizadas presentan problemas especiales. Las diferencias en fertilidad y topografía del suelo ocasionan variaciones pronunciadas en el crecimiento y la apariencia de las líneas probadas. Las pruebas regionales son difíciles de manejar porque usualmente es imposible supervisarlas a diario. De ser posible, se debe de asignar una o más pruebas a extensionistas bien entrenados de la localidad. Las pruebas regionales altamente visibles deben de recibir óptimo cuidado, consistente con las prácticas locales de cultivo porque un manejo ineficiente les resta credibilidad a los investigadores ante los agricultores. La persona encargada no deberá identificar el ensayo hasta estar seguro de que tendrá éxito. Los días de campo deben de programarse únicamente si las parcelas están en buenas

condiciones y si hay por lo menos una línea tan sobresaliente que probablemente se convierta en una nueva variedad (11).

Es sorprendente cómo líneas que pasan con éxito los viveros pedigrí, las parcelas de observación y los ensayos de rendimiento presentan desventajas graves en las pruebas regionales. Por lo tanto, el fitomejorador debe efectuar tantas pruebas regionales cuantas sea posible, concentrándose en las áreas que difieren de las estaciones experimentales (11).

Las pruebas regionales son difíciles de cosechar y trillar en razón del tamaño de las parcelas y de su distancia de la estación experimental, y porque no se dispone de una trilladora-autolimpiadora de gran capacidad para estos fines. El mejor procedimiento es seleccionar cuidadosamente las áreas de muestra en cada parcela, cosecharlas a mano, y trillarlas en el campo golpeando las panículas de las plantas cortadas contra tambores de aceite vacíos colocados sobre una lona o plástico. El grano empacado se transporta a la estación experimental para secarlo, limpiarlo y estimar el rendimiento (11).

3.1.6 ENFERMEDADES DE ARROZ

Las enfermedades más importantes que causan un daño nocivo al cultivo del arroz, y por la cual es el estudio de varios años con respecto a la resistencia a enfermedades son:

A. Añublo del arroz (*Pyricularia oryzae*)

Es una enfermedad de tipo fungoso, se le conoce como el añublo del arroz, sus signos son filiformes con centro grisáceo y con un borde color marrón (15).

B. Añublo de la vaina (*Rhizoctonia solani*)

Esta enfermedad está considerada como la segunda en importancia económica después de la *Pyricularia oryzae*. Las lesiones se producen principalmente en la vaina, siendo éstas en un principio de forma ovoide, de color gris verdoso, con una longitud que varía entre 1 y 3 cm. de largo. El centro de la lesión se torna blanco-grisácea, con un margen marrón (15).

C. Pudrición de la vaina (*Sarocladium oryzae*)

Empieza el síntoma en las hojas bandera (lígula) y en el tallo cuando esta emergiendo la panícula, su signo es un centro gris con bordes marrones. Esto causa un manchado de color negro al grano en la espiga, haciendo de este que un grano vano o vacío (15).

D. Escaldado del arroz (*Rhynchosporium oryzae*)

Empieza en las puntas de la hoja, la hojas viejas son más susceptibles, esta se vuelven grises y también ataca a los tallos. No es de importancia económica en el cultivo del arroz. Su síntoma son halos en el ápice de la hoja (15).

E. Pudrición del tallo (*Helmithosporium sp.*)

Son gránulos negros en la vaina. Los síntomas más conspicuos se encuentran en las hojas y glumas. Las manchas en las hojas son ovaladas, de color marrón con un alo más oscuro, son relativamente uniformes y muy bien distribuidas sobre la superficie de la hoja (15).

F. Cercosporosis (*Cercospora oryzae*)

Se presenta esta enfermedad en la vaina, glumas y pedicelos, el signo es largo angosto y de color marrón (15).

G. Mancha ojival (*Drechslera gigantea*)

No causa daño económico, se presenta en el estado 9, es decir, en la madurez fisiológica de la planta, se puede confundir con el escaldado de la hoja por los halos (15).

H. Falso carbón (*Ustilagonoidea virens*)

Reviste los granos del arroz de color anaranjado, se le llama también carbón verde, favorece su aparición con humedad alta, mucha lluvia y altas temperaturas (15).

3.1.7 LA NATURALEZA DE LA RESISTENCIA A LAS ENFERMEDADES

La estrecha coexistencia de las plantas hospederas y sus patógenos en la naturaleza indica que ambos han evolucionado juntos. Los cambios en la virulencia de los patógenos deben estar continuamente equilibrados por los cambios en la resistencia del hospedero, y viceversa, de manera que se establezca un

equilibrio dinámico de resistencia y virulencia del patógeno o la resistencia del hospedero aumenta sin cesar, tenderá a la eliminación ya sea del hospedero o del patógeno, lo cual obviamente no ha sucedido (1).

Una planta puede ser *inmune a un patógeno*, cuando no es atacada por el patógeno aun en las condiciones más favorables para éste, o mostrar varios grados de resistencia que van casi desde la inmunidad hasta la completa susceptibilidad. La resistencia puede estar condicionada por varios factores internos y externos que influyen para reducir la probabilidad y el grado de infección (1).

Las verdaderas variedades resistentes son aquellas en las que el patógeno y el hospedero son incompatibles entre sí, o la planta hospedera puede defenderse por sí misma de los ataques del patógeno mediante muchos mecanismos de defensa que son activadas como respuesta a la infección patogénica. Si la resistencia de una planta a un patógeno es resultado de uno o varios mecanismos de defensa controlados por uno o varios genes, respectivamente, dicha resistencia se llama *específica o vertical* y puede ser *monogénica* (un solo gen) u *oligogénica* (unos cuantos genes), y los genes que la codifican se conocen como *genes mayores*. Si la resistencia se debe a una combinación de mecanismos de defensa menos eficientes, cada uno de los cuales es individualmente ineficaz contra el patógeno y son controlados por un grupo o grupos de genes complementarios, dicha resistencia es conocida como *resistencia general u horizontal*. La resistencia horizontal es casi siempre *poligénica*, y los genes que la controlan se llaman *genes menores*. Además, la resistencia es a veces controlada por determinantes genéticos contenidos en el citoplasma de las células y es llamada *resistencia citoplasmática*, la cual es conferida por las características presentes en el citoplasma normal de varios tipos de plantas pero están ausentes o reprimidos en el citoplasma estéril de las mismas plantas (1).

Las variedades que tienen *resistencia específica (monogénica u oligogénica)*, por lo general muestran resistencia completa a un patógeno específico en la mayoría de las condiciones ambientales, pero alguna o algunas mutaciones en el patógeno, puede producir una nueva raza que podría infectar a la variedad antes resistente. Por el contrario las variedades que presentan *resistencia general (poligénica)*, son menos estables y pueden variar en su reacción al patógeno en diferentes condiciones ambientales, pero un patógeno tendrá que experimentar muchas más mutaciones para abatir por completo la resistencia del hospedero. Como regla general, una combinación de genes mayores y menores es la más adecuada estructura de resistencia a los patógenos para cualquier variedad de planta (1).

3.1.8 RESISTENCIA DEL ARROZ A *Pyricularia oryzae*

La piricularia *Pyricularia oryzae* es una enfermedad que se encuentra en todos los países latinoamericanos en donde se produce arroz y es conocida como la más importante en el cultivo de arroz. Aún cuando el control químico, es usado ampliamente en muchos países y ha ayudado a estabilizar la producción de arroz, es el uso de variedades resistentes la forma más económica y práctica de controlar la piricularia (10).

Desde el año 1900 ya se observaba que existía diferencia en la reacción de variedades de arroz a la piricularia. Se ha observado la existencia de razas del hongo y la susceptibilidad de algunas variedades de arroz a estas razas. Por los estudios realizados se han llegado a identificar 161 razas en tres países (Japón, Taiwán y Filipinas), en Colombia se han identificado 14 razas y podrían existir más, en Guatemala no se ha llevado ningún estudio para identificar las razas presentes (21).

Desde el año 1967 se han usado como fuente de resistencia las siguientes variedades: IR 822, Colombia 1, T 507C, Tepet, Dissi Hhatif, Mamoriaka y C 4615 (21).

Respecto a la resistencia genética del arroz a la piricularia, se han realizado muchos estudios especialmente en Asia, se ha encontrado que la resistencia es *dominante* sobre la susceptibilidad y que el número de genes que determina la resistencia varía de 1 a 3 (*resistencia oligogénica*). Países con producciones grandes de arroz han identificado los genes de resistencia presentes en sus países (China, Estados Unidos, Japón), lo cual no se ha realizado en otros países productores de Asia y América Latina (21).

Incorporar resistencia a las principales enfermedades e insectos, es uno de los objetivos de cualquier programa de mejoramiento de arroz, la amplia variabilidad genética en el arroz facilita esta labor. El mejoramiento de la resistencia a enfermedades ha tenido cierto éxito especialmente con enfermedades como la piricularia, y ha sido espectacular en ciertos casos como para el insecto *Sogatia spp* (21).

Para el caso de las enfermedades se habla de dos tipos de resistencia que son: la vertical o específica, que consiste en restringir el proceso de infección y la resistencia horizontal, que consiste en restringir la colonización, crecimiento y dispersión del parásito, el primero dura menos que el segundo. Hasta el momento casi toda la resistencia identificada en arroz es vertical, ha sido duradera para el caso de enfermedades como hoja blanca y el enanismo y poco duradera para el caso de piricularia (21).

A. Proyecto de arroz modificado genéticamente para resistencia a piricularia

Actualmente en Europa se perfila un proyecto de investigación denominado Eurice "Arroz de Europa (19), cuyo objetivo principal es determinar la utilidad de genes antifúngicos para la mejora genética de arroz y el control de piricularia, siendo esta la enfermedad más importante y extendida del arroz en Europa y el mundo. Esta estrategia basada en la transformación genética, pretende ampliar el conocimiento acerca de la utilización de genes de resistencia para la obtención de variedades de arroz más resistentes, siendo a su vez aplicable en programas más amplios para la protección de arroz. Con este fin en el proyecto se trabajará con tres genes antifúngicos de diferentes orígenes: el *gen b32* de maíz, que codifica para una proteína RIP, el *gen sintético afp* de *Aspergillus giganteous*, que codifica para una proteína antifúngica pequeña, y un *gen sintético* que codifica para una cecropina A derivada de insectos.

El plan de trabajo incluye cuatro áreas de investigación: a). Genes, promotores y vectores, b). Producción y caracterización molecular de plantas transgénicas; c). Ensayos de fitopatogenicidad; d). Valoración del arroz modificado genéticamente (MG) en campo (19).

3.1.9 CALIDAD MOLINERA Y CULINARIA DEL ARROZ

El concepto de calidad puede ser dividido en grupos según las características y comportamiento de una variedad de arroz en aspectos de importancia para el mercado. Existen en la bibliografía diferentes formas de clasificarlos, pero, en general, todas resaltan la importancia que, para la caracterización de la calidad de un arroz, tiene : su comportamiento en la molienda, la apariencia del grano, sus propiedades de cocción y la calidad culinaria (13).

A. Calidad de molienda o calidad molinera

La calidad de molienda se define como el conjunto de caracteres que determina el comportamiento del arroz durante este proceso. Su evaluación se realiza en base a los rendimientos obtenidos durante la elaboración del grano. Entre ellos, es el rendimiento en granos enteros el de mayor importancia económica. El objetivo prioritario de la industria arrocera es maximizar el valor de este rendimiento (13).

La calidad molinera no es más que la medición del comportamiento del arroz con cáscara, durante el proceso de molinería. Se mide la cantidad de arroz blanco que se obtiene del proceso, y que se conoce como *Rendimiento de Molino* y que se determina mediante la ecuación (13):

Rendimiento del molino: $[(\text{arroz blanco}) / (\text{arroz cáscara})] \times 100$

Se mide también la cantidad de arroz entero que se obtiene, mas los gramos quebrados mayores de $\frac{3}{4}$ partes de grano, lo que se conoce como *índice de pilada*. Por último se contabiliza la cantidad de grano quebrado que se obtiene menos de $\frac{3}{4}$, lo que se conoce como *pozol*. Todo esto se expresa en porcentaje del total de arroz en cáscara o granza (13).

En general se considera que a partir de un 100 % de arroz en granza o cáscara al 13 por ciento de humedad, se puede obtener según la variedad los siguientes rendimientos:

- | | | |
|-----|---------------|--|
| 1). | De 50 a 60 % | índice de pilada (arroz entero + $\frac{3}{4}$) |
| 2). | De 20 a 23 % | de cáscara |
| 3). | De 8 a 10 % | arroz quebrado grande (pozol) |
| 4). | De 2 a 4 % | arroz quebrado pequeño (pozol) |
| 5). | De 6 a 8 % | pulimento (salvado) |
| 6). | Cerca del 1 % | polvo, vanos (10, 13). |

B. Calidad culinaria

La calidad culinaria puede analizarse de dos formas, evaluando directamente la textura del grano cocido, o bien, de forma indirecta, evaluando algunos atributos de composición y propiedades fisico-químicas que condicionan las propiedades de cocción del grano y su calidad posterior (6, 13).

La adhesividad y la consistencia son las medidas más utilizadas para evaluar la textura del grano cocido de forma directa. Con ellas se caracterizan dos aspectos del arroz cocido que son determinantes para la evaluación sensorial del consumidor: la tendencia del grano a pegarse (a mayor adhesividad mayor tendencia) y a pasarse con la cocción (a mayor consistencia, menor tendencia). Ambos parámetros están altamente correlacionados (a mayor adhesividad, menor consistencia) y la clasificación de variedades en base a su medida es muy generalizable entre cosechas.

El contenido en amilosa del almidón es uno de los criterios de calidad más importantes para la valoración de la calidad culinaria del arroz en forma indirecta. Su valor da una medida indirecta de la textura del grano cocido dada su elevada correlación con el valor de adhesividad (a mayor amilosa, menor adhesividad) y el de consistencia (a mayor amilosa, mayor consistencia). Por ser en esta investigación la

primera vez que se analiza el contenido de amilosa del arroz en Guatemala, en el inciso siguiente, se da una descripción amplia de este carbohidrato y su efecto sobre el arroz crudo y cocido (13).

3.1.10 LA AMILOSA Y SU EFECTO SOBRE EL ARROZ CRUDO Y COCIDO

La amilosa es la fracción lineal del almidón en las variedades no glutinosas, la amilopectina, o fracción ramificada, constituye el resto del almidón. El contenido de amilosa influye marcadamente en las características de cocción del arroz molinado y se correlaciona negativamente con los puntajes de palatabilidad para cohesión, blandura, color y brillo del arroz cocido. Las variedades de arroz se agrupan con base en su contenido de amilosa en glutinosas (1-2 % de amilosa), bajas (8-20 % de amilosa), intermedias (21-25 % de amilosa) y altas (más de 25 % de amilosa) (12).

El arroz glutinoso es la base alimenticia en algunas regiones asiáticas. También se usa para preparar pasteles, postres, dulces, crispetas y pastas precocidas. Durante la cocción se expande poco y absorbe poco agua. Después de la preparación, el arroz glutinoso es húmedo, pegajoso y de apariencia brillante. Un solo gen recesivo controla la característica glutinosa, pero genes modificadores afectan aparentemente las características de procesamiento (12).

Las variedades no glutinosas, las cuales constituyen la mayor parte del arroz en el mundo, tienen de 8 a 37 % de amilosa, aunque la mayoría fluctúa de 13 a 32 %. Las variedades con un contenido bajo de amilosa son húmedas, pegajosas y de apariencia brillante después de cocidas, y fácilmente se separan y desintegran cuando se cocinan demasiado. Los arroces con alto contenido de amilosa como el IR8, quedan secos y sueltos después de la cocción pero se endurecen al enfriarse. Los tipos intermedios como Pelita I de Indonesia, Ca-63 de las Filipinas, C1CA4 de Colombia y Basmati 370 de Paquistán tienen las características de los tipos altos en amilosa pero retienen una textura suave cuando se enfrían.

Las variedades japónicas son de bajo contenido de amilosa y quedan pegajosas después de cocidas. El contenido de amilosa de las variedades indicas varía ampliamente de acuerdo con las preferencias regionales de calidad. El nivel intermedio de amilosa es preferido en las áreas más consumidoras de Indonesia y las Filipinas, probablemente debido a que el arroz mantiene su suavidad al enfriarse. Los arroces con alto contenido de amilosa se cultivan ampliamente en Asia, pero los de contenido intermedio probablemente tendrían la misma aceptación. Los consumidores de América Latina y los principales mercados mundiales prefieren los tipos intermedios (12).

Aunque la herencia del contenido de amilosa no está bien establecida, los tipos altos y bajos en amilosa difieren en que el control lo ejerce un solo gen. El heterocigoto tiene un nivel intermedio de amilosa pero éste no se puede estabilizar. Si se desea un contenido intermedio de amilosa, uno o ambos padres deben ser de este tipo (12).

El medio ambiente modifica parcialmente el contenido de amilosa de muchas maneras desconocidas. Las temperaturas altas durante la maduración del grano disminuyen el nivel de amilosa. El contenido de una variedad puede variar tanto como 6 por ciento de una estación a otra (12).

A. Determinación del contenido de amilosa

Aunque lograr un contenido específico de amilosa por medio del mejoramiento genético no es difícil, la determinación directa de amilosa es bastante compleja porque el procedimiento es costoso, lento y delicado, y requiere una buena preparación en cuanto al análisis químico. Muchos programas carecen de los recursos para determinar el contenido de amilosa. Como una solución parcial, tales programas pueden sustituir la prueba de álcali simple por la temperatura de gelatinización, que suministrará una evaluación parcial y premilinar del contenido de amilosa con base en la asociación de las dos características. Para las áreas en donde no se aceptan arroces bajo en amilosa (pegajosos al cocinarse), los tipos con temperatura alta de gelatinización, los cuales están siempre asociados con niveles bajos de amilosa, se pueden descartar. Igualmente, los arroces con temperatura intermedia de gelatinización rara vez tienen un contenido bajo de amilosa y, por lo tanto, pueden retenerse (12).

Desafortunadamente, la temperatura de gelatinización no puede emplearse para predecir otras posibles combinaciones con el contenido de amilosa. La temperatura de gelatinización baja puede asociarse con contenidos bajos, intermedios y altos de amilosa. Los arroces con temperatura intermedia de gelatinización pueden tener un nivel intermedio o alto de amilosa. Estos casos usualmente representan la mayor parte del material de mejoramiento y hasta el presente únicamente pueden determinarse mediante el análisis directo del contenido de amilosa (12).

La amilosa se puede determinar por medio de la prueba de yodo que produce una coloración azul del almidón. Esta prueba se considera útil para identificar las variedades bajas en amilosa con alta temperatura de gelatinización (77 °C), porque la extracción de amilosa es mínima para tales variedades. No obstante, parece más simple identificar tales tipos determinando la temperatura de gelatinización por medio de un

álcali. A 100 °C la amilosa extraída se correlaciona con el contenido de amilosa del grano, independientemente de la temperatura de gelatinización. Sin embargo, una limitación es que los arroces altos en amilosa dan valores bajos que son similares a los de los tipos con un contenido intermedio. Por lo tanto, la prueba con yodo para el almidón es útil únicamente cuando el valor de amilosa no excede el 27 % (12).

El contenido de amilosa se determina con mucha frecuencia colorimétricamente con yodo, después de desgrasar con metanol, gelatinizar el almidón por dos días a 4 °C, analizar volumétricamente la solución para obtener un pH de 9.8 a 10.0, y alcanzar una lectura para el color de 590 nm (12).

En el IRRI se desarrolló recientemente un método más sencillo, rápido y exacto utilizando un pH de 4.5 a 4.7 y una longitud de onda de 620 nm. Esta prueba puede efectuarse manualmente, y en un laboratorio eficiente pueden analizarse 100 muestras no repetidas por día. Esta prueba también se ha adaptado a un autoanalizador para evaluar más rápidamente las líneas mejoradas (cerca de 200 muestras por día), pero tiene como desventaja el ser costosa (12).

El procedimiento básico es preparar una curva estándar utilizando soluciones de amilosa purificada de papa, obtenida por medio del método estándar. En esta curva se comparan gráficamente los valores de transmisión de luz de la solución coloreada con la concentración de amilosa. Luego, se tratan las muestra estándar de arroz con diversos contenidos de amilosa usando el método estándar, y se determinan los valores de transmisión de luz. La curva resultante se utiliza para determinar el contenido de amilosa de las muestras. Sus porcentajes de amilosa se comparan con los valores de transmisión de luz para formar una segunda curva. Finalmente, las muestras desconocidas se tratan por medio del método simplificado, y se determinan los valores de transmisión de luz. Con base en la segunda curva estándar, se determinan los porcentajes de amilosa de las muestras desconocidas. La segunda curva se hace para medir el efecto de la amilosa que está presente en el arroz pero no en la amilosa purificada de papa (12).

3.2 MARCO REFERENCIAL

3.2.1 ZONAS DE CULTIVO DEL ARROZ EN GUATEMALA DONDE SE DESARROLLÓ LA INVESTIGACIÓN

Las principales regiones productoras de arroz en nuestro país están situadas en las costas del Atlántico y del Pacífico; sin embargo, también son de importancia las producciones de arroz procedentes de Jutiapa y Chiquimula que corresponden a la zona oriental del país (16).

A. Costa Atlántica

Esta zona se clasifica ecológicamente como sub-tropical, y en lo relativo al arroz, comprende dos áreas muy importantes: el valle del Motagua en el departamento de Izabal y el del Polochic en los departamentos de Alta Verapaz e Izabal (16).

El valle del Motagua se caracteriza por una precipitación anual de 3,000 a 3,500 mm, con aproximadamente 1,920 mm durante el ciclo del cultivo de arroz (de mayo a octubre). La temperatura media es de 28 grados centígrados y la humedad relativa del 80%. Los suelos son en muchas localidades de textura arcillosa, bajos en materia orgánica, deficientes en fósforo y con un pH de 4.5 a 5.5. El cultivo descrito como "secano manual" suele practicarse en este tipo de suelos (16).

Este valle también incluye extensiones considerables de suelos aluviales con alto contenido de materia orgánica, fósforo y potasio y pH de 6.5 a 7.0; se produce arroz totalmente mecanizado y otros cultivos de importancia económica como el banano, piña y otros (16).

El valle del Polochic está situado a lo largo del río del mismo nombre y cuenta con más de 80,000 hectáreas de tierra fértil, propia para el cultivo del maíz, sorgo, arroz y otros. Su clima es cálido, con una temperatura promedio de 27 grados centígrados. La precipitación pluvial es bien distribuida y es considerada como la más alta del trópico centroamericano, hasta sobrepasar, algunas veces, los 4,000 mm anuales; durante el ciclo del cultivo de arroz (mayo a octubre) precipitan aproximadamente 2,000 mm. La humedad relativa es de 80% (16).

Los suelos del Polochic son en su mayoría de origen aluvial y francos, aunque también hay de textura franco-limosa y arcillosa; son ricos en materia orgánica, fósforo y potasio y su pH oscila entre 5.5 y 7.0 (16).

El cultivo de arroz en este valle se realiza en forma mecanizada en condiciones de secano muy favorecido por las lluvias. Los agricultores generalmente emplean tecnología avanzada, lo que en parte ha permitido a esta región obtener los rendimientos unitarios más altos de todo el país, 100 quintales por manzana en promedio, particularmente con las variedades ICTA-Masagua, ICTA-Oasis, ICTA-Colomgua y otras (16).

B. Costa del Pacífico

La costa del Pacífico es una zona ecológica tropical seca, que comprende principalmente los departamentos de Escuintla, Suchitepéquez, Retalhuleu y la parte baja de San Marcos (16).

Tiene una precipitación anual de 1,600 mm, pero durante el ciclo del cultivo de arroz (junio a octubre), la precipitación es de aproximadamente 950 a 1,000 mm. La temperatura media es de 28 grados centígrados y la humedad relativa media es de 70%. Los suelos son de origen volcánico, de textura franco-limosa, franco-arenosa y también hay arcillosos; son bajos en materia orgánica y usualmente altos en fósforo y potasio. Su pH oscila entre 6.0 y 8.5 (16).

D. Zona Oriental

La zona oriental comprende principalmente el departamento de Jutiapa y Chiquimula y está ubicado en la zona ecológica subtropical seca (16).

La precipitación media anual es de 950 a 1,120 mm, pero durante el ciclo del cultivo del arroz (mayo a octubre) es de aproximadamente de 800 a 1,000 mm. La temperatura media es de 24 grados centígrados y la humedad relativa es de 60 a 63%. Los suelos de color gris oscuro y de textura arcillosa, los cuales se agrietan durante épocas secas, su fertilidad natural es moderada, con bajo contenido de materia orgánica y fósforo, mediano en potasio y pH de 5.5 a 6.5 (16).

3.2.2 PROCEDENCIA DEL MATERIAL EXPERIMENTAL

Los materiales de arroz IG 2540, IG 2541, IG 2543, IG 2547, IG 2548, proceden de cruza realizadas en Guatemala, las cuales se obtuvieron en Cuyuta Masagua, Escuintla en el año de 1998.

El material de arroz IG 2549, proviene del Fondo Latinoamericano Arroz de Riego (FLAR), en el año 2,000, los cruces para obtener este material se realizaron en Colombia.

Los materiales de arroz IG 2545 e IG 2558, provienen del Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), de Cali Colombia e ingresaron a Guatemala en el año 1999.

3.2.3 SERIE DE EXPERIMENTOS

En la práctica de los diversos campos de investigación, es muy frecuente proyectar series de experimentos similares con el objeto de *monitorear* con mayor eficiencia el material experimental. Así, es muy común encontrar series de experimentos distribuidos en el tiempo y en el espacio, de las cuales presumiblemente se derivarán conclusiones más o menos definitivas (14).

En la serie de experimentos empleados en la presente investigación, se consideró un grupo de experimentos en bloques completos al *azar*, en el cual se ensayaron un conjunto de 11 materiales de arroz, de los cuales 3 corresponden a los testigos utilizados actualmente en Guatemala y 8 líneas avanzadas de arroz (Total de tratamientos 11) distribuidos en cuatro repeticiones, sobre cada una de las 7 localidades arroceras más importantes de Guatemala (14).

Siendo el objetivo principal de la investigación, determinar cual de los materiales de arroz, presenta el rendimiento más estable en la región arroceras de Guatemala, es decir que material de arroz ofrece un rendimiento en toneladas métricas por hectárea cuyo rendimiento no varía considerablemente de una localidad a otra por efecto del ambiente, el análisis estadístico fue el siguiente:

- A. Un análisis de varianza individual para cada localidad para la variable de respuesta rendimiento de arroz en granza.
- B. Con los valores de los análisis de varianza individuales se realizó un análisis de varianza combinado (serie de experimentos), que mostró interacción entre las localidades y los materiales de arroz (14).
- C. Luego para establecer que material de arroz fue el más estable se realizó el análisis estadístico de efectos principales aditivos e interacciones multiplicativas (AMMI) (8).

3.2.4 ANÁLISIS DE ESTABILIDAD POR EL MÉTODO DE EFECTOS PRINCIPALES ADITIVOS E INTERACCIONES MULTIPLICATIVAS (AMMI)

Agrónomos y fitomejoradores frecuentemente reúnen información de rendimientos de un número conocido de genotipos en distintos ambientes (localidades, tiempo y área) para analizarlos en tablas de dos vías. El modelo de los efectos principales aditivos e interacción multiplicativa (AMMI) (8).

A. **AMMI es efectivo para**

1. Entender la interacción genotipo ambiente.
2. Aumentar la probabilidad de estimaciones en el rendimiento.
3. Aumentar la probabilidad de éxito en genotipos con las más altas producciones.
4. Datos faltantes.
5. Aumentar la flexibilidad y eficiencia del diseño experimental.

Ultimadamente estas ventajas implican avances más grandes en selección e investigaciones de mejoramiento y recomendaciones más puntuales en investigaciones agronómicas. AMMI es ordinariamente un método estadístico utilizable cuando son importantes el efecto principal y la interacción. Los rendimientos de ensayos frecuentemente tienen efecto principal significativo y significativa interacción genotipo ambiente (GE) la interacción complica a los agrónomos o fitomejoradores porque los rendimientos son poco predecibles en base a un simple efecto aditivo del genotipo principal y ambiente a otro. Los tradicionales análisis estadísticos son frecuentemente insatisfactorios en el manejo de resultados. El uso efectivo de los resultados de interacción pueden proporcionar importante información acerca del estudio que se está efectuando y puede aumentar la probabilidad de las estimaciones de los rendimientos (8).

B. **Información Requerida por AMMI**

Para que AMMI pueda aplicarse debe reunirse la siguiente información:

1. Los datos deben organizarse en una tabla de dos vías como por ejemplo genotipos y localidades o tratamientos y localidades o más generalmente hileras y columnas, nunca en tablas de una entrada o de tres entradas. La parte del ANDEVA de AMMI es flexible, pero la parte del análisis de componentes principales (PCA), requiere una estructura de dos entradas. Sin embargo una tabla de tres entradas como localidades, genotipos y tiempo puede aprovecharse eficientemente como uno o más problemas de dos entradas (combinando por ejemplo localidades y tiempo para formar ambientes). Para propósitos de modelo, el ensayo puede repetirse o no, pero si el error del cuadrado medio y la prueba de F se desconocen, entonces se necesitan repeticiones. Un eficiente uso del modelo AMMI puede tolerar trabajar con datos faltantes (8).
2. Las dimensiones de la matriz de datos tienen que ser de por lo menos 3 por 3, ya que con uno menos no se podrá realizar la interacción por el método AMMI. Sin embargo ya que muchos de los valores prácticos de AMMI provienen de descartar un residual (error) con muchos grados de libertad pero

una relativa pequeña sumatoria de cuadrados, las dimensiones más grandes mínimas de 5 por 5 o preferentemente de 10 por 10, caracterizan el análisis por generar resultados confiables y reales (8).

3. La información debe ser de un tipo, por ejemplo rendimiento, no se permite que en una matriz de datos aparezcan en una misma hilera diferentes datos y unidades, como concentración de nutrientes en el suelo, humedad y temperatura. Una mezcla provoca que las columnas en el modelo no tengan una media principal. También datos con rangos muy amplios en la hilera, típicamente encontrados como datos, crearán hileras con tan pequeña varianza, que pueden ser prácticamente ignoradas en el análisis. También los datos deben ser de tipo cuantitativo, no datos abstractos o asumidos y tampoco información cualitativa o categórica (p.e. colores o nacionalidades). Una escala pequeña, por ejemplo de 0 a 5 para incrementar los niveles de daño de insectos, es aceptable cuando, incrementar los valores significa incrementar niveles de una sola cosa (en contraste con códigos de diferentes valores para diferentes entidades como nacionalidades, que no tienen una relación lógica) (8).

En resumen la información para analizar con AMMI tiene que ser de dos vías con repeticiones o no con dimensiones de por lo menos de 3 por 3 y que sea de un solo tipo. Una supervisión momentánea indicará si la información a analizar reúne estas características o no (8).

En síntesis al analizar los datos con AMMI y realizar la gráfica biplot (de componentes principales 1 y 2) se logra establecer cual es el material genético más estable, es decir aquel cuyo rendimiento no varía considerablemente de una localidad a otra por efecto del ambiente. En la gráfica de AMMI el material más estable será aquel cuya posición se encuentre más cerca del origen de las coordenadas (8)

4. OBJETIVOS

GENERAL

Evaluar el comportamiento de 11 materiales genéticos de arroz en cuanto al rendimiento, tolerancia a enfermedades, características agronómicas y molineras en 7 localidades arroceras de Guatemala.

4.1 ESPECÍFICOS

- 4.1.1 Determinar cual o cuales de los materiales genéticos de arroz presentan el rendimiento más estable en las 7 localidades arroceras en que se realizó la evaluación.
- 4.1.2 Identificar los materiales genéticos de arroz que presenten el mayor grado de tolerancia a las enfermedades presentes en el cultivo de acuerdo a la escala planteada.
- 4.1.3 Establecer las características agronómicas que presentan los materiales genéticos de arroz en las localidades de estudio.
- 4.1.4 Determinar la calidad molinera (rendimiento en molino) y culinaria (porcentaje de amilosa) de los 11 materiales genéticos de arroz.

5. HIPÓTESIS

- 5.1 Todas los materiales genéticos de arroz evaluadas presentarán un rendimiento estable para las siete localidades evaluadas.
- 5.2 Los 11 materiales genéticos de arroz presentarán igual tolerancia al conjunto de enfermedades evaluadas.
- 5.3 Las características agronómicas de los materiales genéticos de arroz serán similares.
- 5.4 Todos los materiales genéticos de arroz evaluadas presentarán igual calidad tanto molinera como culinaria.

6. METODOLOGÍA

6.1 UBICACIÓN DEL EXPERIMENTO

Se utilizó la serie de experimentos en bloques completos al azar, con 11 tratamientos (materiales genéticos de arroz) y cuatro repeticiones, sobre cada una de las 7 localidades (distribución en el espacio) que se indican en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Ubicación de las 7 localidades donde se realizó la serie de experimentos

Zona Arrocera	Localidad Número	Nombre de la Localidad
Costa del Pacífico	1	Estación ICTA Cuyuta, Masagua, Escuintla
	2	Estación ICTA, La Máquina, Suchitepéquez
	3	Finca El Jardín, Sanjón San Lorenzo, San Marcos
Costa del Atlántico	4	Estación ICTA Panzos, Alta Verapaz
	5	Finca Cocales, Cahaboncito, Panzos, Alta Verapaz
	6	Cristina, Los Amates, Izabal
Zona Oriental	7	El Amatillo, Ipala, Chiquimula

6.2 DESCRIPCIÓN DE LOS TRATAMIENTOS EVALUADOS

En el Cuadro 2 se presentan los nombres de las tres variedades testigo y 8 líneas avanzadas de arroz que se evaluaron en cada una de las siete localidades arroceras. Las líneas avanzadas de arroz en su mayoría provienen de cruzamientos realizados por el Programa de Mejoramiento de Arroz del ICTA en 1999, los otros provienen de cruzamientos hechos por el Fondo Latinoamericano de Arroz de Riego (FLAR) con sede en Colombia y que llegaron a Guatemala a través de la Asociación Guatemalteca del Arroz (ARROZGUA) en el año 2000.

Cuadro 2. Materiales genéticos de arroz evaluados

Tratamiento	Nombre de la línea avanzada de arroz	Pedigrí	Origen
1	ICTA PAZOS (testigo)	CT8008-16-3-1P-SI-SI-MI-MC	ICTA Guatemala
2	COLOMGUA (testigo)	CT9807-3-S-1-2-MI-MI-1C	ICTA Guatemala
3	MASAGUA (testigo)	CT9102-12-1S-IP-21-1L-MI	ICTA Guatemala
4	IG 2558 (Línea avanzada)	CT8008-3-5-9P-1I-MI	CIAT Colombia
5	IG 2549 (Línea avanzada)	FL00447-35P-4-28-M	FLAR Colombia
6	IG 2548 (Línea avanzada)	IG194-2-1-1-M	ICTA Guatemala
7	IG 2547 (Línea avanzada)	IG0024-4C-2C-1-1M	ICTA Guatemala
8	IG 2545 (Línea avanzada)	CT11345-2-M-2C-6C-MI	CIAT Colombia
9	IG 2543 (Línea avanzada)	IG0049-1-1-1-M	ICTA Guatemala
10	IG 2541 (Línea avanzada)	IG0041-13-1-2-M	ICTA Guatemala
11	IG 2540 (Línea avanzada)	IG0041-11-1-1-M	ICTA Guatemala

6.2.1 DISTRIBUCIÓN DE LOS TRATAMIENTOS EN EL CAMPO

En cada una de las siete localidades donde se montó la serie de experimentos, los tratamientos quedaron distribuidos en bloques completos al azar como se muestra a continuación. En un mismo bloque entre unidad experimental se dejó una distancia de 0.30 m y entre cada bloque la distancia fue de 1 metros. En cada localidad de las 7 evaluadas el experimento ocupó un área de 793.80 m² (29.40 metros de largo por 27 metros de ancho) y cada bloque ocupó un área de 176.40 m² (29.40 metros de largo por 6 metros de ancho) tal como se muestra en la Figura 1A del anexo 1.

6.2.2 DETALLE DE LA UNIDAD EXPERIMENTAL

Las dimensiones de la unidad experimental en cuanto a parcela bruta y parcela neta se refiere se presentan a continuación y también pueden apreciarse en la Figura 2A del anexo 1.

	Parcela bruta	Parcela neta
Número de surcos	6	4
Longitud de surcos	5 metros	4 metros (no se consideran 0.5 m de cada extremo)
Espacio entre surcos	0.25 metros	0.25 metros
Ancho de la parcela	1.80 metros	1.20 metros

6.2.3 DISEÑO EXPERIMENTAL

El diseño experimental empleado fue el de bloques completos al azar, con 11 tratamientos y 4 repeticiones para cada una de las localidades, un análisis combinado para el conjunto de las localidades y un análisis para la estabilidad por medio del modelo AMMI (Efectos Principales Aditivos e Interacción Multiplicativa) para determinar la interacción genotipo-ambiente.

6.2.4 ANÁLISIS DE ESTABILIDAD POR EL MÉTODO AMMI

Según lo indicado por Crossa *et al.* (8), primero se efectuó un análisis de regresión lineal simple de finlay-wilkinson, se obtuvo las medias de rendimiento de las líneas de arroz en cada una de las localidades evaluadas, se ordenaron de forma ascendente. Auxiliado por un análisis de componentes principales (PCA en inglés o ACP en español) se generó un valor o "score" para cada línea en sus diferentes localidades. Los valores anteriores se graficaron en un eje de coordenadas cartesianas, siendo "Y" el valor de los PCA para las líneas de arroz y en el eje "X" las medias de los rendimientos. La línea de arroz que presenta mayor estabilidad del rendimiento, independientemente del efecto del ambiente de cada localidad es el que tengan mayor media que la media general y que se encuentren cerca del valor "0" del valor del PCA.

6.3 MANEJO DEL EXPERIMENTO

6.3.1 MECANIZACIÓN, TRAZO Y SIEMBRA

La mecanización del terreno consistió en un paso de arado y dos de rastra, luego se trazaron las unidades experimentales de acuerdo a la Figuras 1A y 2A y se procedió a la siembra de cada unidad experimental colocando la semilla a razón de 46 kilogramos por hectárea.

6.3.2 FERTILIZACIÓN

El cultivo de arroz en sus diferentes tratamientos fue fertilizado con los tres elementos mayores (nitrógeno, fósforo y potasio) tal como se indica en el Cuadro 3.

Cuadro 3. Programa de fertilización aplicado al experimento de líneas avanzadas de arroz.

Compuesto	Fecha de aplicaciones		
	Al momento de la siembra	30-35 días después de la siembra	55-60 días después de la siembra
Nitrógeno	12.98 Kg/ha	29.87 Kg/ha	29.87 Kg/ha
P ₂ O ₅	64.93 Kg/ha	--	--
K ₂ O	38.96 Kg/ha	--	--

6.3.3 CONTROL DE MALEZAS

El control de malezas se realizó en forma química empleando como preemergente el herbicida Pendimentalina a razón de 3 litros por hectárea y en post-emergencia temprana se empleó el herbicida Propanil a razón de 6 litros por hectárea. En algunas localidades como Finca El Jardín Sanjon San Lorenzo, San Marcos y Cristina, Los Amates, Izabal fue necesario también realizar una limpia manual de malezas.

6.3.4 CONTROL DE ENFERMEDADES

Dentro de las variables evaluadas en el presente estudio se encuentra la tolerancia a enfermedades, razón por la cual, cada uno de las 11 líneas avanzadas de arroz evaluadas en las 7 localidades estuvo exento de toda aplicación de fungicidas, con el propósito de conocer la tolerancia de cada material a las enfermedades.

6.3.5 CONTROL DE INSECTOS

Al momento de la mecanización del terreno, justo al paso de la rastra se incorporó al suelo el insecticida Volatón Granulado al 2.5 por ciento a razón de 36 kilogramos por hectárea para el control de las

plagas del suelo. Para el control de plagas del follaje se realizaron aplicaciones de Cypermetrina a razón de 250 cc/ha a los 25, 40 y 60 días después de la siembra.

6.3.6 COSECHA

La cosecha se realizó en forma manual al momento en que las plantas de arroz llegaron a su madurez fisiológica y su porcentaje de humedad estuvo entre el 20 a 24 por ciento. Para ello se cortaron los seis surcos centrales no considerando 0.50 metros en cada uno de los dos extremos de los surcos, lo cual equivale a un área de 6 metros cuadrados. Las panículas se colocaron en un balde plástico y se golpearon dentro de él a fin de que no se perdieran los granos. Posteriormente se ventilaron para su limpieza de materiales extraños y se secó hasta llevarlas a una humedad del 14 por ciento.

6.4 VARIABLES DE RESPUESTA

Las variables de respuesta fueron las siguientes:

- A. Rendimiento de arroz en toneladas métricas por hectárea
- B. Tolerancia a enfermedades
- C. Características agronómicas
- D. Calidad molinera (rendimiento en molino) y culinaria (porcentaje de amilosa).

6.4.1 TOMA DE DATOS EN EL CAMPO

Para cada una de las cuatro variables se tomaron una serie de datos en el campo, cuyo procedimiento se presenta a continuación:

A. Rendimiento de arroz en toneladas métricas por hectárea

El rendimiento de arroz se tomó en el campo de la parcela neta (6 m²), luego se realizaron las conversiones respectivas para convertirlo a toneladas métricas por hectárea a un porcentaje de 14 % de humedad.

B. Tolerancia a enfermedades

En esta variable de respuesta se analizó en cada una de las 11 líneas avanzadas de arroz la tolerancia a un conjunto de 7 enfermedades que normalmente se presentan en las zonas arroceras de Guatemala. Las 7 enfermedades evaluadas así como su escala para la medición del grado de daño se presentan en el anexo 2:

C. Características agronómicas

Por tratarse de líneas avanzadas de arroz que en un futuro podrían liberarse al mercado es necesario su caracterización agronómica al menos en los aspectos de: macollamiento, altura de la planta, tolerancia al volcamiento por el viento (ácame), días a floración y días a la cosecha. En el anexo 3 se presenta la escala de uso estándar para la evaluación de cada una de las anteriores características.

D. Calidad molinera y culinaria

La calidad molinera se estableció en el beneficio para lo cual se tomaron 1000 gramos de arroz en granza de cada tratamiento. La muestra de 1000 gramos se homogenizó en un homogenizador estándar, luego se pasó por un aspirador dos veces para eliminar las impurezas, las impurezas mayores se eliminaron manualmente, luego se obtuvo el porcentaje de impurezas mediante la fórmula $[(1000 \text{ gr} - \text{gramos de impurezas}) / (1000 \text{ gr})] \times 100$. Luego se midió la humedad de la muestra con un medidor de humedad, se secó al horno a una temperatura no mayor de 40 °C, hasta obtener un porcentaje de humedad entre 10.5 a 11 por ciento. Luego se procedió a dejar reposar la muestra por 24 horas y seguidamente se descascaró hasta obtener una muestra pulida o masa blanca (MB), se dejó enfriar por 10 minutos y luego se obtuvo el porcentaje de rendimiento en molino por medio de la fórmula $[(\text{gramos de MB} - \text{gramos de granza}) / (1000 \text{ gramos})] \times 100$.

Para obtener el porcentaje de amilosa se envió una muestra de 25 gramos de cada uno de las 11 líneas avanzadas de arroz al Fondo Latinoamericano de Arroz de Riego (FLAR) con sede en Colombia y allí determinaron el porcentaje de amilosa; en Colombia el responsable del análisis del contenido de amilosa fue el Ing. Agr. Luis E. Berrío utilizando un procedimiento de espectrofotometría con muestras estándar de amilosa como comparador.

6.5 ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

- A. Primero se realizó un análisis de varianza para la variable rendimiento de arroz en granza para cada una de las 7 localidades en forma individual, encontrándose que las varianzas de los errores fueron heterogéneas de localidad a localidad.
- B. Luego como en cada localidad se evaluó el mismo cantidad de tratamientos ($T=11$) con la misma cantidad de repeticiones ($R= 4$), se realizó un análisis de varianza combinado, tomando como base para cada Y_{ij} del análisis combinado el Y_i . de los andevas individuales por localidad, así mismo, los

grados de libertad del error del análisis combinado ($GLe = 210$) lo constituyeron la sumatoria de los grados de libertad ($GLe = 30$) del análisis de varianza de cada una de las 7 localidades. Con el análisis combinado se estableció que existe interacción entre las localidades y los materiales genéticos de arroz, lo cual indica que no todos los materiales genéticos de arroz responden igual en cada localidad.

- C. Dada la interacción encontrada en el análisis combinado entre localidades y materiales genéticos de arroz, se procedió a realizar un análisis AMMI, para establecer por medio de la gráfica Biplot que material de arroz presenta el rendimiento más estable para el conjunto de localidades (es decir aquel que tenga menos varianza en su rendimiento de una localidad a otra), lo cual se identificó en la gráfica Biplot de AMMI, como aquel que se encuentra más cerca del punto de origen XY.

7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

7.1 RENDIMIENTO DE ARROZ EN GRANZA POR LOCALIDAD

En el Cuadro 4, se presenta el resumen de los análisis de varianza de cada una de las siete localidades para la variable de respuesta rendimiento de arroz en granza en toneladas métricas por hectárea.

Cuadro 4. Resumen de los ANDEVAS para la variable de respuesta rendimiento de arroz en granza en cada localidad de estudio.

Localidad	F _{cal}	F _{tab(05)}	Significancia	C.V.%	Rendimiento Medio TM/ha
ICTA Panzos, Alta Verapaz	2.44	2.16	*	6.58	6.60
El Amatillo, Ipala, Chiquimula	52.41	2.16	*	9.48	5.94
Cristina, Los Amates, Izabal	4.085	2.16	*	9.24	5.85
Fca. Cocales, Cahaboncito, Panzos	2.022	2.16	N.S.	8.88	5.78
Fca. El Jardín, SS, San Marcos	39.98	2.16	*	11.3	5.51
ICTA La Máquina, Suchitepéquez	2.16	2.16	N.S.	9.09	5.37
ICTA Cuyuta, Masagua, Escuintla	5.41	2.16	*	11.73	4.70

Las localidades se ordenaron descendientemente de acuerdo al rendimiento promedio de los 11 materiales genéticos de arroz. El mayor rendimiento promedio se obtuvo en la localidad de ICTA Panzos, Alta Verapaz y el más bajo rendimiento se obtuvo en la localidad del ICTA Cuyuta, Masagua, Escuintla.

De las siete localidades, únicamente en la Finca Cocales, Cahaboncito, Panzos, Alta Verapaz (5.78 TM/ha) y en el ICTA La Máquina, Suchitepéquez (5.37 TM/ha), los ANDEVAS fueron no significativos al cinco por ciento de significancia, lo cual indica que el rendimiento promedio de cada uno de los 11 materiales genéticos de arroz en estas localidades fue estadísticamente igual, no así en las otras cinco localidades donde el ANDEVA fue significativo, lo cual indica que al menos uno de los 11 materiales genéticos de arroz en cada una de éstas localidades tuvo un rendimiento distinto al de los demás.

En el Cuadro 5, se presenta los resúmenes de la prueba de medias de Tukey para la variable de respuesta rendimiento de arroz en granza en toneladas métricas por hectárea, para las localidades donde el ANDEVA fue significativo

Cuadro 5. Resumen de la prueba de Tukey para la variable de respuesta rendimiento de arroz en granza.

5 (a)
ICTA Cuyuta, Masagua, Escuintla

Wp = 1.357 TM/ha		Grupo
Material	TM/ha	Tukey
T11= IG 2540	5.75	a
T1= ICTA PAZOS	5.20	a
T7= IG 2547	5.19	a
T9= IG 2543	5.09	a
T10= IG 2541	5.07	a
T6= IG 2548	4.83	a
T4= IG 2558	4.48	a
T5= IG 2549	4.46	a b
T8= IG 2545	4.07	b
T3= MASAGUA	4.06	b
T20 COLOMGUA	3.56	b

5 (b)
Finca Jardín, San Lorenzo, S.M.

Wp = 1.532 TM/ha		Grupo
Material	TM/ha	Tukey
T3= MASAGUA	7.79	a
T10= IG 2541	6.36	a b
T5= IG 2549	6.23	b
T8= IG 2545	6.23	b
T11= IG 2540	6.04	b
T1= ICTA PAZOS	5.97	b
T9= IG 2543	5.84	b
T6= IG 2548	5.78	b
T7= IG 2547	5.71	b c
T4= IG 2558	4.67	c
T2= COLOMGUA	0.00	d

5 (c)
ICTA Panzos, Alta Verapaz

Wp = 1.064 TM/ha		Grupo
Material	TM/ha	Tukey
T2= COLOMGUA	7.05	a
T1= ICTA PAZOS	6.96	a
T9= IG 2543	6.86	a
T7= IG 2547	6.83	a
T10= IG 2541	6.60	a
T3= MASAGUA	6.56	a
T6= IG 2548	6.50	a
T4= IG 2558	6.43	a
T11= IG 2540	6.37	a
T5= IG 2549	6.27	a
T8= IG 2545	5.90	b

5 (d)
Cristina, Los Amates, Izabal

Wp = 1.187 TM/ha		Grupo
Material	TM/ha	Tukey
T2= COLOMGUA	6.42	a
T1= ICTA PAZOS	6.31	a
T9= IG 2543	6.29	a
T11= IG 2540	6.14	a
T10= IG 2541	6.11	a
T4= IG 2558	6.00	a
T3= MASAGUA	5.83	a
T8= IG 2545	5.83	a
T6= IG 2548	5.40	a b
T7= IG 2547	5.11	b
T5= IG 2549	5.00	b

5 (e)
El Amatillo, Ipala, Chiquimula

Wp = 1.386 TM/ha		Grupo
Material	TM/ha	Tukey
T5= IG 2549	9.67	a
T7= IG 2547	7.60	b
T11= IG 2540	6.33	b c
T1= ICTA PAZOS	6.30	c
T6= IG 2548	6.30	c
T10= IG 2541	6.30	c
T8= IG 2545	6.23	c
T3= MASAGUA	5.26	c
T9= IG 2543	5.26	c d
T4= IG 2558	4.87	d
T2= COLOMGUA	1.23	e

Como se observa en el Cuadro 5, los materiales genéticos de arroz se comportaron de forma distinta en cada localidad, por ejemplo uno de los tres testigos, Colomgua, en la localidad del ICTA Pazos, Alta Verapaz, ocupó el primer lugar con un rendimiento de 7.05 TM/ha (Cuadro 5 c), en tanto que este mismo material en la localidad de El Amatillo, Ipala, Chiquimula ocupó el último lugar con un rendimiento de 1.23 TM/ha (Cuadro 5 e).

Lo anterior indica que el ambiente fue un factor decisivo en el rendimiento de los materiales de arroz pero con esta información no se puede establecer cual material está más afectado por el ambiente (menor

inestabilidad) y cual material es menos afectado por el ambiente (mayor estabilidad), por lo que en el próximo inciso se realiza el análisis de estabilidad.

7.2 ANÁLISIS DE LA ESTABILIDAD DEL RENDIMIENTO EN GRANZA DE LOS MATERIALES GENÉTICOS DE ARROZ EVALUADOS

7.2.1 ANÁLISIS COMBINADO

En el Cuadro 6 se presenta el análisis combinado de las siete localidades de las principales zonas arroceras donde se montó el experimento.

Cuadro 6. Análisis de varianza combinado para la variable de respuesta rendimiento de arroz en granza en toneladas métricas por hectárea.

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	Fcal	Ftab ₀₅	Significancia
Material	10	88.6476256	8.86476256	32.0207532	1.83	*
Localidades	6	87.7039072	14.6173179	52.7997818	2.1	*
Interacción	60	273.848039	4.56413399	16.4862857	1.32	*
Error	210		0.27684429			

Como se aprecia en el Cuadro 6, el análisis combinado indica que para la interacción material genético de arroz por localidad se presentan diferencias significativas al cinco por ciento de significancia, lo cual indica que los materiales genéticos de arroz presentan un rendimiento diferente en cada una de las siete localidades donde se evaluó, es decir que los materiales de arroz se encuentran influenciadas por el ambiente.

Como se presentaron diferencias al cinco por ciento de significancia para la interacción materiales genéticos de arroz y las localidades, es conveniente realizar el Análisis de Efectos Principales Aditivos e Interacción Multiplicativa (AMMI) a fin de poder establecer por medio de la gráfica cual o cuales materiales genéticos de arroz presentan el rendimiento más estable en las principales zonas arroceras de Guatemala, con el propósito de poder recomendarlas para su liberación comercial.

7.2.2 ANÁLISIS DE EFECTOS PRINCIPALES ADITIVOS E INTERACCIÓN MULTIPLICATIVA (AMMI)

En el Cuadro 7 se presenta el resumen del análisis de efectos principales aditivos e interacción multiplicativa (AMMI) para la variable de respuesta rendimiento de arroz en granza en toneladas métricas por hectárea.

Cuadro 7. Análisis AMMI para la variable de respuesta rendimiento de arroz en granza en toneladas métricas por hectárea para las principales zonas arroceras de Guatemala.

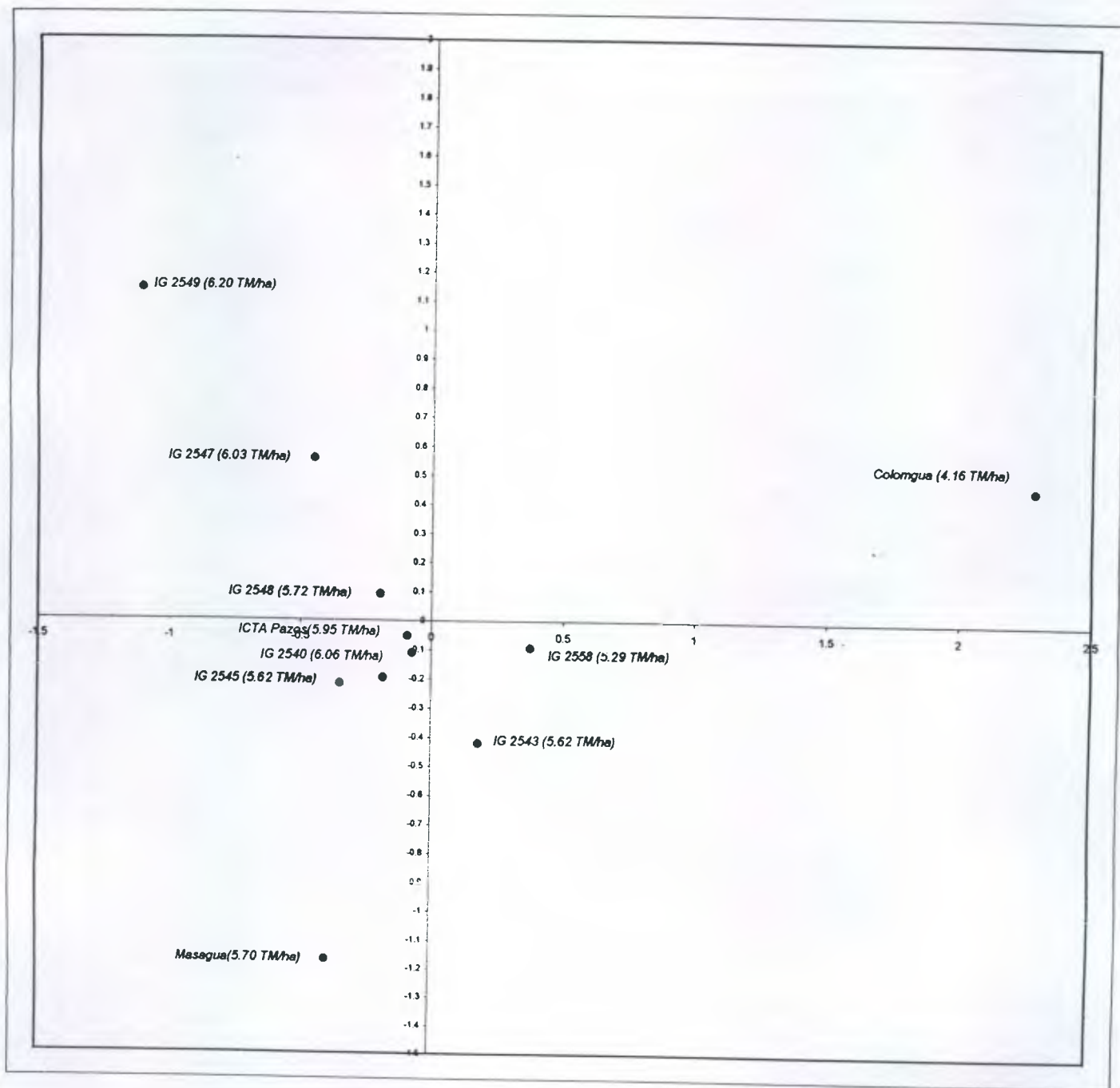
Fuente de Variación	Grados de libertad	S.C.	C.M.
Localidad	6	89.0838	14.8473
Material genético de arroz	10	89.1571	8.9157
Material-Ambiente	60	272.7383	* 4.5456
PCA1	15	206.5432	13.7695
PCA2	13	48.4928	3.7302
Residuo	32	17.7023	0.5532
Error	210	57.9282	0.2758
Total	307	541.9318	1.7653

Para la interacción material genético de arroz-ambiente la probabilidad fue de 0.000001 por lo que se presentan diferencias altamente significativas que indican que existe interacción entre los materiales genéticos de arroz y los ambientes donde fueron cultivados. El componente principal 1 (PCA1) explica el 75.73 por ciento de la suma de cuadrados de la interacción líneas de arroz y localidades (ambientes) con el 25 por ciento de los grados de libertad; sin embargo, tan solo el 6.49 por ciento (residuo) de la interacción materiales genéticos de arroz y localidades es la que no logra explicar el modelo AMMI para los datos analizados en el componente principal 1. En tal sentido se procedió a realizar la gráfica de AMMI para establecer cual de los materiales genéticos de arroz es el más estable en cuanto al rendimiento; el rendimiento en toneladas métricas por hectárea promedio de cada uno de los materiales genéticos de arroz y su respectiva puntuación AMMI se presenta en el Cuadro 8.

Cuadro 8. Rendimiento de arroz en granza en toneladas métricas por hectárea y puntuaciones AMMI para cada uno de los 11 materiales genéticos de arroz evaluados en siete localidades de Guatemala.

Material de arroz	Rendimiento	Puntuación AMMI	
	TM/ha	PCA1	PCA2
ICTA PAZOS	5.95	-0.0711892	-0.1096999
COLOMGUA	4.16	2.2833009	0.4651746
MASAGUA	5.70	-0.3937905	-1.1680297
IG 2558	5.29	0.3760279	-0.0898502
IG 2549	6.20	-1.1102408	1.1398311
IG 2548	5.72	-0.1962371	0.0923628
IG 2547	6.03	-0.4528307	0.5558319
IG 2545	5.62	-0.3460866	-0.2178677
IG 2543	5.76	0.1829682	-0.4192206
IG 2541	6.00	-0.1827767	-0.1958886
IG 2540	6.06	-0.0891454	-0.0526438

Con los valores del Cuadro 8 se procedió a realizar la gráfica AMMI de estabilidad la cual se presenta en la Gráfica 1.



Gráfica 1. Gráfica AMMI de medias de rendimiento y puntuaciones de los componentes principales 1 y 2 del ensayo de materiales genéticos de arroz en las principales zonas arroceras de Guatemala.

En la Gráfica 1, cada uno de los puntos se refiere a la intersección del componente principal 1 y el componente principal 2 (puntuaciones AMMI), de tal forma que cuanto más cerca se encuentre el punto del origen el material genético de arroz es más estable y cuanto más se aleje del origen más inestable es en cuanto al rendimiento en toneladas métricas de arroz en granza por hectárea.

Los materiales Colomgua, Masagua e ICTA Pazos (testigos) son variedades que actualmente se cultivan en Guatemala pero como lo demuestra la presente investigación a través de la Gráfica 1, Colomgua es una variedad muy inestable en cuanto al rendimiento y además de ello las toneladas métricas por hectárea de arroz en granza son inferiores a la media del conjunto de líneas de arroz evaluadas; la variedad Masagua a pesar de que presenta un rendimiento superior a la media también tiene el inconveniente de ser inestable aunque en menor grado que Colomgua. El material más estable es la variedad ICTA Pazos (por encontrarse más cerca del centro de la gráfica), tiene un rendimiento de 5.95 TM/ha, lo cual es superior a la media, pero como se verá más adelante presenta la limitante de que se ha tornado susceptible a enfermedades, por lo que de seguirse empleando sus rendimientos serán antieconómicos.

Finalmente de las 8 líneas avanzadas de arroz evaluadas que aún no se han liberado a nivel comercial en Guatemala, las líneas IG 2558 e IG 2545 presentaron un rendimiento inferior al rendimiento medio y de las que presentaron un rendimiento superior a la media, la más estable es la línea IG 2540 con 6.06 TM/ha de arroz en granza.

7.3 TOLERANCIA DE LOS MATERIALES DE ARROZ A LAS ENFERMEDADES

En el Cuadro 9, se presenta el resumen de la tolerancia a enfermedades de cada uno de los materiales de arroz evaluados.

Cuadro 9. Tolerancia a enfermedades de los materiales de arroz evaluados.

Materiales de arroz	Tolerancia a enfermedades							
	Piricularia en hoja (BH)	Piricularia en cuello (NBR)	Helmintosporiosis (BS)	Escaldado de la hoja (LH)	Pudrición de la vaina (SAR)	Manchado grano (GID)	Cercosporiosis (NBL5)	Grado máximo
ICTA PAZOS	5 (3)	5 (5)	9 (1)	3	3	5(3)	1	9
COLOMGUA	5(1) 9(3) 7(7)	5(1,2,5) 7(7) 9(3)	9 (1, 3) 5 (7)	9(1)	5(1)	5(1) 7(3, 7)	1	9
MASAGUA	0	5 (1)	5 (1)	5(1) 7(3)	3	5(2, 3, 7)	1	7
IG 2558	7 (3)	5 (5)	5 (1)	5(3)	1	5(3)	1	7
IG 2549	1	3	3	3	1	7(3)	1	7
IG 2548	1	3	3	3	1	5 (3, 5, 7)	1	5
IG 2547	3	1	3	5(1)	1	5(3)	1	5
IG 2545	0	1	3	5(1)	1	5(3)	1	5
IG 2543	1	3	3	5(1,3)	1	7(3)	1	7
IG 2541	1	1	3	5(1) 7(3)	1	7(3)	1	7
IG 2540	3	1	3	3	1	3	1	3
Localidades	1, 3, 7	1, 2, 3, 5	1, 3, 7	1, 3	1	1, 2, 3, 5, 7		

- 1 ICTA Cuyuta, Masagua, Escuintla
 2 ICTA La Máquina, Suchitepéquez
 3 Finca El Jardín, San Lorenzo, San Marcos
 4 ICTA Panzos, Alta Verapaz
 5 Finca Cocales, Cahaboncito, Panzos, A.V.
 6 Cristina, Los Amates, Izabal
 7 El Amatillo, Ipala, Chiquimula

Piricularia en hoja
 0) Ninguna lesión, 1) Pequeñas manchas café del tamaño de la cabeza de un alfiler, 2) Manchas café más grandes, 3) Manchas necróticas grises, 4) lesiones típicas de piricularia menos del 2% del área foliar, 5) menos de 10% del área foliar, 6) del 10 al 25% del área foliar, 7) 26 al 50% del área foliar, 8) 51 al 75% del área foliar, 9) toda el área foliar muerta.

Piricularia en cuello
 0) Sin infección, 1) menos de 1% de panículas o nudos afectados, 3) del 1 al 5% de panículas afectadas
 5) del 6 al 25% de panículas afectadas, 7) 26 al 50% de panículas afectadas, 9) 51-100% panículas afectadas

Helmintosporiosis, Escaldado de la hoja, Pudrición de la vaina, Mancha del grano y Cercosporiosis
 0) Ninguna lesión
 1) Menos del 1%
 3) del 1 al 5%
 5) del 6 al 25%
 7) del 26 al 50%
 9) del 51 al 100%

En el Cuadro 9, para cada material de arroz se presenta a lo largo de la fila el grado de tolerancia máximo alcanzado por cada enfermedad de las siete que se presentaron, en la última columna se presenta el grado máximo alcanzado por el material de arroz en al menos una enfermedad, debido a que según las normas del IRRI, para la selección de progenitores y para variedades comerciales se consideran aceptables características que en todos los niveles de condiciones adversas tengan valor de 3 o menos es decir un área foliar afectada no mayor del cinco por ciento; características con calificaciones de 4 a 6 se pueden aceptar para variedades comerciales si no hay algo mejor, o para resistencia horizontal a enfermedades, pero generalmente no son aceptables para propósitos de mejoramiento genético. Las características con calificaciones de 7 a 9 se deben considerar indeseables para cualquier propósito.

De acuerdo a lo anterior el material de arroz que cumple con las condiciones de tolerancia a enfermedades para ser liberado al mercado es el IG 2540, puesto que para las siete enfermedades presentó una tolerancia en el área foliar afectada por cada enfermedad que no sobrepasó el cinco por ciento clasificándose como de grado 3. Las localidades donde se desarrollaron con mayor incidencia las enfermedades del arroz fueron ICTA Cuyuta, Masagua, Escuintla y la Finca El Jardín, San Lorenzo, San Marcos. Las localidades donde no se presentaron problemas de enfermedades para el cultivo del arroz fueron el ICTA Panzos, Alta Verapaz y Cristina, Los Amates, Izabal.

7.4 CARACTERÍSTICAS AGRONÓMICAS DE LOS MATERIALES GENÉTICOS DE ARROZ

En el Cuadro 10 se presentan las características agronómicas de cada uno de los 11 materiales genéticos de arroz evaluados.

Cuadro 10. Características agronómicas de los materiales genéticos de arroz.

Material de arroz	Localidades de la 1 a la 6					El Amatillo, Ipala, Chiquimula		
	Macollamiento	Acame	Floración	Cosecha	Altura	Floración	Cosecha	Altura
ICTA PAZOS	5 (2)	7 (2)	97	127	96	116	146	78
COLONGUA	5 (1,2,3)	3	85	122	95	111	141	68
MASAGUA	5 (1,2,3)	3	81	121	98	106	136	75
IG 2558	3	7 (2)	95	124	100	114	144	79
IG 2549	5 (2,3)	9 (7)	88	123	100	104	134	83
IG 2548	3	5 (2)	88	125	100	115	145	87
IG 2547	5 (2,3)	5 (2)	90	125	100	107	137	84
IG 2545	5 (1,2,3)	3	90	124	99	112	142	81
IG 2543	5 (3)	7 (2)	92	125	100	115	144	83
IG 2541	5 (2)	3	93	124	100	114	144	79
IG 2540	3	3	91	123	100	112	142	76
Localidades	1, 2, 3	2, 7						

- 1 ICTA Cuyuta, Masagua, Escuintla
 2 ICTA La Máquina, Suchitupéquez
 3 Finca El Jardín, San Lorenzo, San Marcos
 4 ICTA Panzos, Alta Verapaz
 5 Finca Cocales, Cahaboncito, Panzos, A.V.
 6 Cristina, Los Amates, Izabal
 7 El Amatillo, Ipala, Chiquimula

Macollamiento

- 1) Más de 25 macollas, 3) de 20 a 25 macollas, 5) de 10 a 19 macollas

Acame

- 1) Tallos fuertes, 3) Tallos moderadamente fuertes,
 5) Tallos moderadamente débiles, plantas moderadamente volcadas en su mayoría
 7) Tallos débiles, la mayoría de plantas casi caídas,
 9) Tallos muy débiles: todas las plantas volcadas

Como se aprecia en el Cuadro 10 y siguiendo la escala de evaluación del IRRI (10), las líneas de arroz IG 2558, IG 2548 e IG 2540, en las siete localidades presentaron entre 20 y 25 macollas (grado 3); los otros materiales de arroz en al menos una localidad presentaron entre 10 a 19 macollas (grado 5), especialmente en las localidades ICTA Cuyuta, Masagua, Escuintla, ICTA La Máquina, Suchitepéquez y Finca El Jardín, San Lorenzo, San Marcos; en general los materiales evaluados presentaron buen macollamiento.

En Cuanto al acame, los materiales Masagua, Colomgua, Ig 2545, IG 2541 e IG 2540, presentaron tallos moderadamente fuertes (grado 3), luego los demás materiales presentaron tallos moderadamente débiles (grado 5), tallos débiles con la mayoría de plantas casi caídas (grado 7) y tallos muy débiles con todas las plantas volcadas (grado 9), lo cual se presentó en la localidad de El Amatillo, Ipala, Chiquimula, en la línea de arroz IG 2549, donde la cosecha se tuvo que recoger del suelo.

La floración se inició entre los 81 a 85 días en los materiales Colomgua y Masagua, entre los 86 a 90 días en los materiales IG 2549, IG 2548, IG 2547 e IG 2545, entre los 91 a 95 días en los materiales IG 2558, IG 2543, IG 2541 e IG 2540, luego el material ICTA Pazos fue el más tardío en florear haciéndolo hasta los 97 días después de la siembra. Luego la cosecha se realizó entre los 30 a 35 días después de la floración. Los materiales de arroz evaluados son de ciclo intermedio.

Todos los materiales de acuerdo a la altura que alcanzaron se clasifican como semienanos, por poseer una altura menor o igual a 100 centímetros.

La excepción en cuanto a las características agronómicas de floración, cosecha y altura de planta se presentó en la localidad de El Amatillo, Ipala, Chiquimula, donde la floración y cosecha se presentó tardíamente tal como se aprecia en el Cuadro 10 y las plantas aunque se clasifiquen como semienanos, presentaron alturas menores a los 95 centímetros.

7.5 RENDIMIENTO EN MOLINO Y PORCENTAJE DE AMILOSA DE LOS MATERIALES GENÉTICOS DE ARROZ EVALUADOS

El rendimiento en molino promedio de los 11 materiales genéticos de arroz, así como el contenido de amilosa en porcentaje se presenta en el Cuadro 11.

Cuadro 11. Porcentaje de amilosa y rendimiento en molino de los materiales genéticos de arroz evaluados en las principales zonas arroceras de Guatemala.

Material de arroz	% amilosa	Clasificación	% Molino	Rendimiento en TM/ha	
				Granza	Grano entero
ICTA PAZOS	30.00	Alta en amilosa	67	5.95	3.99
COLOMGUA	23.00	Intermedia en amilosa	69	4.16	2.87
MASAGUA	20.40	Baja en amilosa	72	5.70	4.10
IG 2558	28.10	Alta en amilosa	70	5.28	3.70
IG 2549	25.00	Intermedia en amilosa	72	6.20	4.46
IG 2548	24.50	Intermedia en amilosa	70	5.72	4.00
IG 2547	23.30	Intermedia en amilosa	73	6.03	4.40
IG 2545	18.50	Baja en amilosa	67	5.62	3.77
IG 2543	31.00	Alta en amilosa	69	5.76	3.97
IG 2541	20.90	Intermedia en amilosa	73	6.00	4.38
IG 2540	31.50	Alta en amilosa	71	6.06	4.30

Para el futuro próximo en Guatemala para el beneficiado de arroz se estarán exigiendo arroces cuyo contenido de amilosa sea mayor o igual al 26 por ciento, por lo cual de los 11 materiales los candidatos son ICTA Pazos, IG 2558, IG 2543 e IG 2540; sin embargo de acuerdo a la estabilidad del rendimiento analizada en el inciso 7.2.2 solamente IG 2540 cumple con los requisitos del contenido de amilosa, rendimiento en granza, tolerancia a enfermedades y estabilidad del rendimiento. En general el rendimiento en molino fluctuó entre el 67 y 73 por ciento, ofreciendo el máximo porcentaje en molino las líneas de arroz IG 2547 e IG 2541. Entre las líneas con un rendimiento en molino superior al 70 por ciento (considerado como muy bueno) se encuentra también la línea avanzada de arroz IG 2540 con un 71 por ciento ofreciendo un rendimiento en molino de 4.30 toneladas métricas por hectárea; sin embargo a partir de un 66 % de arroz en molino se considera a cualquier variedad como aceptable para la industria arroceras.

8. CONCLUSIONES

1. De los once materiales de arroz evaluados la variedad ICTA Pazos y la línea avanzada de arroz IG 2540 fueron las más estables con un rendimiento promedio para las zonas arroceras de Guatemala de 5.95 y 6.06 toneladas métricas de arroz en granza.
2. Únicamente la línea avanzada de arroz IG 2540 presenta tolerancia moderada al conjunto de enfermedades evaluadas que la califica para selección de progenitores y para variedad comercial, ya que de acuerdo a la escala del IRRI (10) presenta un grado máximo de 3, lo cual significa que las enfermedades piricularia en hoja y en cuello, helmintosporiosis, escaldado de la hoja, pudrición de la vaina, machado del grano y cercosporiosis presentaron una severidad entre el uno al cinco por ciento.
3. De acuerdo a la escala de evaluación de materiales de arroz del IRRI, únicamente los materiales de arroz IG 2558, IG 2548 e IG 2540 presentaron entre 20 a 25 macollas (grado 3), los demás materiales presentaron entre 10 a 19 macollas por lo que no califican para variedades comerciales; de éstos tres materiales solo el IG 2540 respecto al acame presentó tallos moderadamente fuertes con una altura de 100 centímetros, floración a los 91 días y cosecha a los 123 días después de la siembra.
4. Los materiales de arroz evaluados en cuanto a la calidad molinera presentaron porcentajes de rendimiento en molino de grano entero superiores al 66 %, lo cual indica que por cada tonelada métrica de arroz en granza procesada se obtendrá 0.66 toneladas métricas de arroz entero; de acuerdo a la calidad culinaria basada en el porcentaje de amilosa, únicamente cuatro materiales (ICTA Pazos, IG 2558, IG 2543 e IG 2540) tienen arriba del 26 % de amilosa, por lo que se cocinarán bien, siendo aceptables para el consumidor nacional.

9. RECOMENDACIÓN

Se recomienda evaluar a nivel semi-comercial la línea de arroz IG 2540 en las principales zonas arroceras de Guatemala para validar su tolerancia al conjunto de enfermedades del cultivo, puesto que ofrece las mejores expectativas al presentar estabilidad en cuanto al rendimiento, ofreciendo en promedio 6.06 toneladas métricas de arroz en granza y 4.30 toneladas métricas de arroz en molino por hectárea.

10. BIBLIOGRAFÍA

1. Agrios, G. 1995. Fitopatología. México, Limusa. 756 p.
2. ARROZGUA (Asociación Guatemalteca del Arroz, GT). 2003. Informe técnico de la producción nacional en las zonas arroceras de Guatemala. Guatemala. 10 p. Sin publicar.
3. Banco de Guatemala, GT. 2002. Boletín estadístico agrícola. Guatemala. 47 p.
4. Berlijn, J. 1984. Manual del cultivo del arroz; manuales para la educación agropecuaria. México, Trillas. 60 p.
5. Cardona Orellana, JA. 1999. Recomendaciones generales para la producción de semilla certificada de maíz en el trópico de Guatemala. 10 p. Sin publicar.
6. CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical, CO). 1989. Evaluación de la calidad culinaria y molinera del arroz. Cali, Colombia. 73 p.
7. Cronquist, A. 1987. Introducción a la botánica. 2 ed. México, Continental. 828 p.
8. Crossa, J; Gauch, HG; Zobel, RW. 1989. Additive main effects and multiplicate international maize cultivar trials. *Crop Science* 30(3):493-499.
9. González, J. 1982. Morfología de la planta de arroz. *Arroz* 33(318):29-40.
10. IRRI (International Rice Research Institute, PH). 1979. Rice blast workshop. Los Baños, Laguna, Phillipines. 57 p.
11. Jennings, PR, et al 1981. Mejoramiento de arroz. Trad. por Jennings, PR, Coffman WR. y Coffman, HE. Los Baños, Filipinas, International Rice Research Institute. 86-90;133-134.
12. Jennings, PR; Coffman, W; Kauffman, H.E. 1995. Calidad del grano de arroz. Cali, Colombia, CIAT. p. 133-138.
13. León, JL; Carreres, R. 2004. Calidad del arroz: criterios para una adecuada valoración (en línea). Madrid, España. 4 p. Consultado 28 oct. 2004. Disponible en <http://www.eumedia.es/articulos/vr/cereales/145calidadarroz.html>
14. Martínez, A. 1988. Diseños experimentales, métodos y elementos de teoría. México, Trillas. p. 664-694.
15. Meneses, R. et al 2001. Guía para el trabajo de campo en el manejo integrado de enfermedades del arroz. Colombia, CIAT / FLAR. 76 p.
16. Pazos, WR. 1996. El cultivo del arroz en Guatemala. Guatemala, Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícolas. 35 p.

17. Plucknett, D; Smith, N. 1992. Los bancos genéticos y la alimentación mundial. San José, CR, IICA / CATIE. p. 15-16.
18. Poey, F. 1978. Los componentes del rendimiento y su aplicación en la investigación de cultivos. México, Limusa. 37 p.
19. Progetto Eurice, EU. 2004. Determinación de genes antifúngicos para la mejora genética del arroz y control de piricularia (en línea). Europa, Programa de la Comunidad Económica Europea. 2 p. Consultado 28 oct. 2004. Disponible en http://www.cerealicultura.it/eurice/eurice_spanish.htm
20. Reyes Castañeda, P. 1982. Diseño de experimentos aplicados. México, Trillas. 244 p.
21. Tascon, JE; García, E. 1985. Arroz: investigación y producción. Cali, Colombia, s.e. 696 p.
22. Unión C.A.I. del Arroz, CU. s.f. Instructivo técnico del arroz. Cuba, Bayer. 84 p.



Polando Barrios.

11. ANEXOS

- Anexo 1. Distribución de los tratamientos en el campo y unidad experimental.
- Anexo 2. Escala estándar para la evaluación de enfermedades en el cultivo de arroz, del CIAT, Cali, Colombia, 1983.
- Anexo 3. Escala estándar para la evaluación de características agronómicas en cultivo de arroz del CIAT, Cali, Colombia, 1983.
- Anexo 4. Análisis de varianza para la variable de respuesta rendimiento de arroz en granza en toneladas métricas por hectárea por localidad, análisis combinado y análisis de estabilidad.

ANEXO 1. DISTRIBUCIÓN DE LOS TRATAMIENTOS EN EL CAMPO Y UNIDAD EXPERIMENTAL

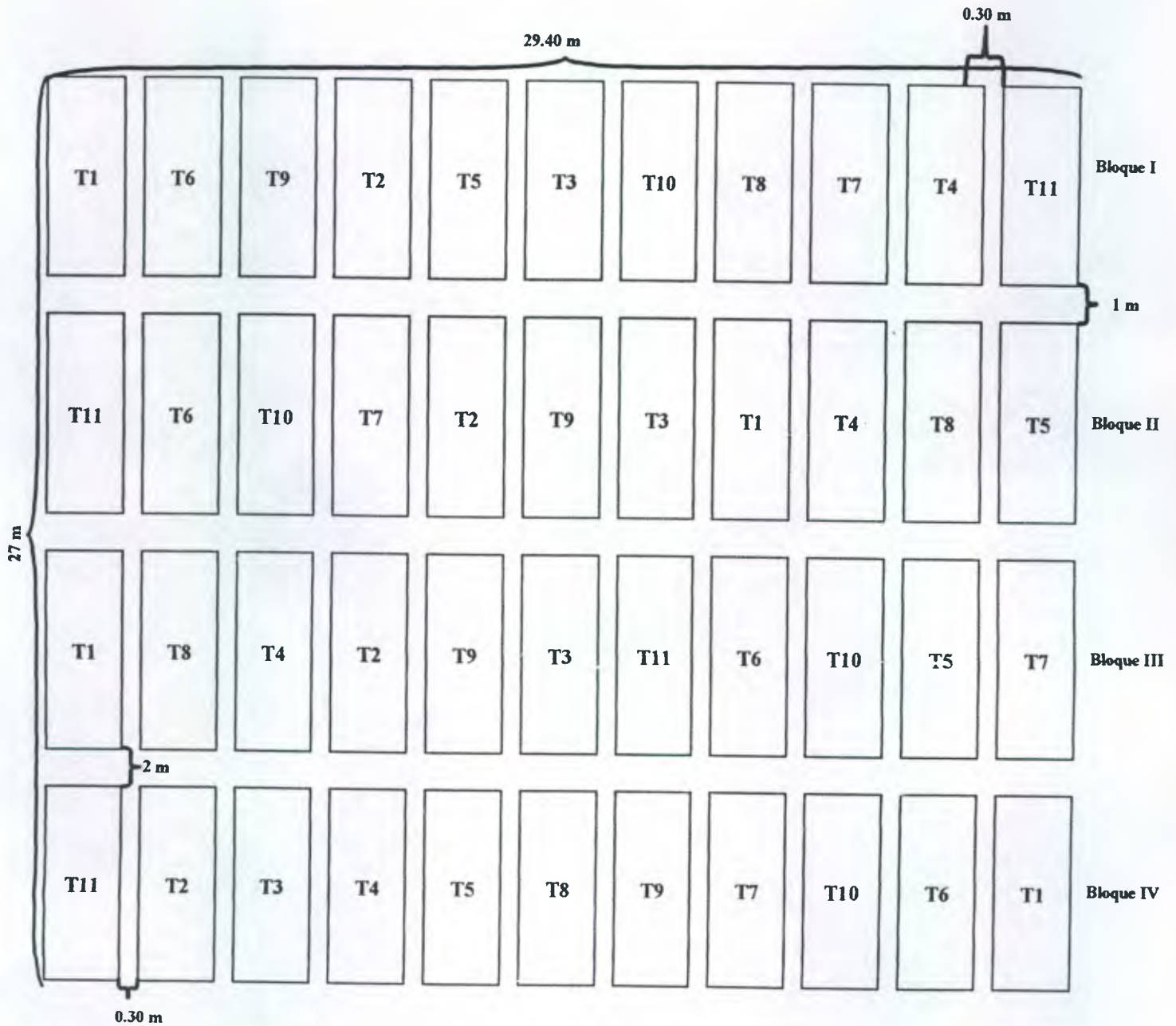


Figura 1A. Distribución de los tratamientos en el campo.

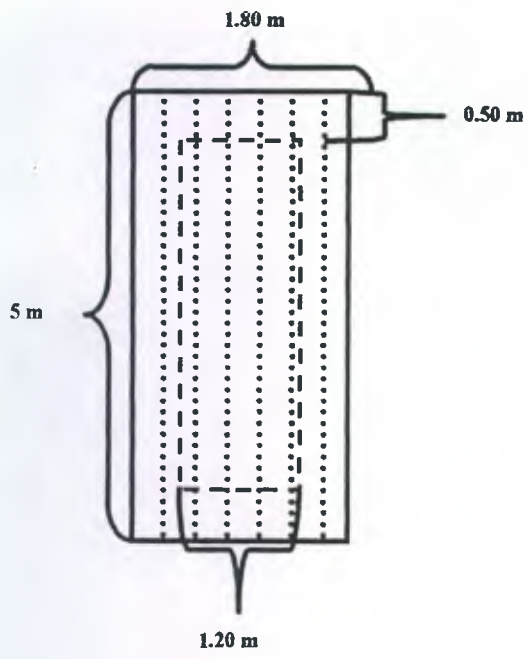


Figura 2A. Detalle de la unidad experimental.

ANEXO 2. ESCALA ESTÁNDAR PARA LA EVALUACIÓN DE ENFERMEDADES EN EL CULTIVO DE ARROZ, DEL CIAT, CALL, COLOMBIA, 1983.

a. Piricularia en la hoja (BI) *Pyricularia oryzae*

Síntomas: Las lesiones típicas en las hojas de forma romboide y a menudo desarrollan centros grises que se unen cuando las plantas son susceptibles. La escala para su evaluación se presenta en el Cuadro 1A.

Cuadro 1A. Escala estándar para evaluación de piricularia en la hoja.

Escala	Descripción
0	Ninguna lesión
1	Pequeñas manchas café del tamaño de la cabeza de un alfiler
2	Manchas café más grandes
3	Manchas necróticas grises, pequeñas, casi redondas a ligeramente alargadas, de 1-2 mm de diámetro con un margen café
4	Lesiones típicas de piricularia, elípticas, de 1 – 2 cm de largo, generalmente confinadas al área de las dos venas principales. Área foliar afectada: menos del 2 %.
5	Menos del 10 % del área foliar
6	10 al 25 % del área foliar
7	26 al 50 % del área foliar
8	51 al 75 % del área foliar, muchas hojas muertas
9	Toda el área foliar muerta

b. Piricularia en cuello de la panícula y en los nudos (NBI) *Pyricularia oryzae*

Síntomas: Panículas con lesiones necróticas en el cuello y las ramificaciones; frecuentemente están quebradas en el pinto de la infección, en cuyo caso son de color grisáceo y parcial o totalmente vanas. La escala para su evaluación se presenta en el cuadro 2A.

Cuadro 2A. Escala estándar para evaluación de piricularia en cuello

Escala	Descripción
0	Sin infección
1	Menos del 1 % de panículas o nudos afectados; pocas ramificaciones secundarias afectadas
3	Del 1 al 5 % de panículas o nudos afectados; varias ramificaciones secundarias afectadas o ramificación principal afectada
5	6 al 25 % de panículas o nudos afectados; eje o base de la panícula parcialmente afectada
7	26 al 50 % de panículas o nudos afectados; eje o base de panícula afectada totalmente con más del 30 % de grano lleno
9	51 al 100 % de panículas o nudos afectados; base de panícula o entrenudo superior afectado totalmente con menos del 30 % de grano lleno

c. **Helminthosporiosis (BS) *Cochliobolus miyabeanus*.**

Síntomas: Las manchas típicas de la hoja son pequeñas, ovaladas o circulares y de un color café oscuro. Las lesiones grandes son generalmente del mismo color en los bordes pero tienen un centro pálido, usualmente grisáceo. La mayoría de las manchas tiene un halo amarillo claro alrededor del borde exterior. La escala para su evaluación se presenta en el Cuadro 3A.

Cuadro 3A. Escala estándar para evaluación de Helminthosporiosis.

Escala	Descripción
0	Ninguna lesión
1	Menos del 1 % del área foliar afectada
3	Del 1 al 5 % del área foliar afectada
5	Del 6 al 25 % del área foliar afectada
7	Del 26 al 50 % del área foliar afectada
9	Del 51 al 100 % del área foliar afectada

d. **Escaldado de la hoja (LSc) *Rhynchosporium oryzae***

Síntomas: La lesión ocurre más frecuentemente cerca del ápice de la hoja, pero algunas veces se inicia en el margen de la lámina foliar; luego se transforma en áreas elipsoides grandes rodeadas por bordes de color café oscuro, y en bandas angostas acompañadas por un halo café claro. La escala para su evaluación se presenta en el Cuadro 4A.

Cuadro 4A. Escala estándar para evaluación de escaldado de la hoja.

Escala	Descripción
0	Ninguna lesión
1	Menos del 1 % del área foliar afectada
3	Del 1 al 5 % del área foliar afectada
5	Del 6 al 25 % del área foliar afectada
7	Del 26 al 50 % del área foliar afectada
9	Del 51 al 100 % del área foliar afectada

e. **Pudrición de la vaina (ShR) *Acrocyndrium oryzae***

Síntomas: En la vaina foliar, lesiones oblongas o irregulares de color café a gris; algunas veces estas lesiones se unen hasta cubrir la totalidad de la vaina y obstaculizan la emergencia de la panícula. La escala para su evaluación se presenta en el Cuadro 5A.

Cuadro 5A. Escala estándar para evaluación de la pudrición de la vaina.

Escala	Descripción
0	Ninguna incidencia
1	Menos del 1 % de macollas afectadas
3	Del 1 al 5 % de macollas afectadas
5	Del 6 al 25 % de macollas afectadas
7	Del 26 al 50 % de macollas afectadas
9	Del 51 al 100 % de macollas afectadas

f. **Decoloración de las glumas o manchado del grano (GID) *Helminthosporium*, *Cercospora*, *Rhynchosporium*, *Alternaria*, *Acrocyndrum*, *Fusarium*, *Poma*, *Curvularia*, *Trichoconia***

Síntomas: Manchas café a negras en las glumas, y aun presencia de glumas podridas. La decoloración de la gluma puede ser esporádica o total. La escala para su evaluación se presenta en el Cuadro 6A.

Cuadro 6A. Escala estándar para evaluación de la decoloración de las glumas o manchado del grano.

Escala	Descripción
0	Ninguna incidencia
1	Menos del 1 % de espiguillas con glumas decoloradas
3	Del 1 al 5 % de espiguillas con glumas decoloradas
5	Del 6 al 25 % de espiguillas con glumas decoloradas
7	Del 26 al 50 % de espiguillas con glumas decoloradas
9	Del 51 al 100 % de espiguillas con glumas decoloradas

g. **Cercosporiosis (NBLs) *Cercospora oryzae***

Síntomas: Manchas lineales café-rojizas paralelas a las venas de las hojas. La escala para su evaluación se presenta en el Cuadro 7A.

Cuadro 7A. Escala estándar para evaluación de cercosporiosis.

Escala	Descripción
0	Ninguna lesión
1	Menos del 1 % del área foliar afectada
3	Del 1 al 5 % del área foliar afectada
5	Del 6 al 25 % del área foliar afectada
7	Del 26 al 50 % del área foliar afectada
9	Del 51 al 100 % del área foliar afectada

ANEXO 3. ESCALA ESTÁNDAR PARA EVALUACIÓN DE CARACTERÍSTICAS AGRONÓMICAS EN CULTIVO DE ARROZ DEL CIAT, CALL, COLOMBIA, 1983.

a. Habilidad de macollamiento (Ti)

Las condiciones ambientales pueden tener una fuerte influencia en el grado de macollamiento. La clasificación que se da al material debe representar la mayoría de las plantas de la parcela. La escala para su evaluación se presenta en el Cuadro 8A.

Cuadro 8A. Escala estándar para la evaluación de la habilidad de macollamiento.

Escala	Descripción
1	Más de 25 macollas por planta (Muy Buena)
3	De 20 a 25 macollas por planta (Buena)
5	De 10 a 19 macollas por planta (Mediana)
7	De 5 a 9 macollas por planta (Débil)
9	Menos de 5 macollas por planta (Escasa)

b. Altura de la planta (Ht)

Las condiciones ambientales pueden influenciar fuertemente la altura de la planta. La altura de la planta se mide desde la superficie del suelo hasta la punta de la panícula más alta, excluyendo las aristas. El dato se tomó en centímetros, usando sólo números enteros. La escala para su evaluación se presenta en el Cuadro 9A.

Cuadro 9A. Escala estándar para la evaluación de la altura de la planta

Escala	Descripción
1	Menos de 100 centímetros (planta semienana)
5	De 101 a 130 centímetros (planta intermedia)
9	Más de 130 centímetros (planta alta)

c. Volcamiento, ácame, tumbada (Lg)

En esta medición es importante cerciorarse de que el volcamiento no está influenciado por plantas de parcelas adyacentes. La escala para su evaluación se presenta en el Cuadro 10A.

Cuadro 10A. Escala estándar para la evaluación del volcamiento, ácame o tumbada.

Escala	Descripción
1	Tallos fuertes. Sin volcamiento
3	Tallos moderadamente fuertes. La mayoría de las plantas (más del 59 %) presentan tendencia al volcamiento.
5	Tallos moderadamente débiles. Plantas moderadamente volcadas en su mayoría.
7	Tallos débiles. La mayoría de plantas casi caídas.
9	Tallos muy débiles. Todas las plantas volcadas.

d. Floracion (Fl)

Se registró el número de días hasta que el 50 % de la parcela estuvo floreada, contándolos desde la siembra de la semilla.

e. Maduración (Mat)

Se registró el número de días hasta la maduración del grano, contándolos desde el momento de la siembra de la semilla, es decir que coincide con el momento de la cosecha.

PROPIEDAD DE LA UNIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
Biblioteca Central



REF. Sem. 32/2005

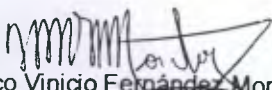
LA TESIS TITULADA: "EVALUACION DE ONCE MATERIALES GENETICOS AVANZADOS DE ARROZ *Oryza sativa* L. EN LAS PRINCIPALES ZONAS ARROCERAS DE GUATEMALA".

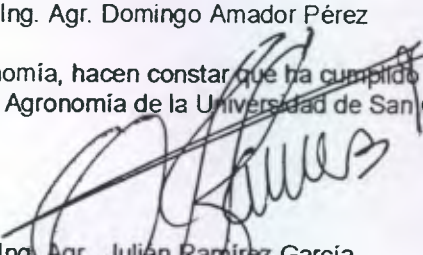
DESARROLLADA POR EL ESTUDIANTE : JORGE ESTUARDO CAMPINS PADILLA

CARNE: 8210733

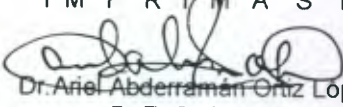
HA SIDO EVALUADO POR LOS PROFESIONALES : Ing. Agr. Fernando Rodríguez Bracamonte
 Ing. Agr. Domingo Amador Pérez

Los Asesores y las Autoridades de la Facultad de Agronomía, hacen constar que ha cumplido con las Normas Universitarias y Reglamentos de la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala.


 Ing. Agr. Marco Vinicio Fernández Montoya
 ASESOR


 Ing. Agr. Julián Ramírez García
 ASESOR


 Dr. David Monterroso Salvatierra
 DIRECTOR DEL INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGRONOMICAS
 DIRECCION
 FACULTAD DE AGRONOMIA
 INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGRONOMICAS
 DIRECCION
 UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS

IMPRIMASE

 Dr. Ariel Abderramán Ortiz López
 DECANO

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
 DECANO
 FACULTAD DE AGRONOMIA

DMS/nm
 c.c. Archivo
 IIA
 Control Académico