

**UNIVERSIDAD DE LA REPUBLICA
FACULTAD DE AGRONOMIA**

**TOLERANCIA AL FRÍO DE DIFERENTES VARIEDADES
DE ARROZ**

por

Hamilton Rafael RIBERO MORALES

**TESIS presentada como uno de
los requisitos para obtener el
título de Ingeniero Agrónomo.**

**MONTEVIDEO
URUGUAY
2006**

AGRADECIMIENTOS

A mi familia por su constante apoyo durante toda la carrera y en la realización del presente trabajo.

A mi director de tesis, Ing. Agr. Oswaldo Ernst.

Al Ing. Agr. Fernando Pérez De Vida.

A mi docente orientador, Ing. Agr. Jorge Hernández.

A la Ing. Agr. Grisel Fernández.

Al personal de biblioteca de Facultad de Agronomía, en especial a la Lic. Sully Toledo y a Marta Fernández biblioteca de la E.E.M.A.C.

A todas las personas, familiares y amigos que de alguna manera colaboraron en la elaboración del presente trabajo.

TABLA DE CONTENIDO

| | Página |
|--|--------|
| PAGINA DE APROBACION..... | II |
| AGRADECIMIENTOS..... | III |
| LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES..... | VII |
| | |
| 1. <u>INTRODUCCION</u> | 1 |
| 1.1. <u>OBJETIVOS</u> | 1 |
| | |
| 2. <u>REVISION BIBLIOGRAFICA</u> | 3 |
| 2.1. <u>DESARROLLO DE LA PLANTA DE ARROZ</u> | 3 |
| 2.1.1. <u>Clasificación científica</u> | 3 |
| 2.1.2. <u>Generalidades</u> | 3 |
| 2.1.3. <u>Etapa vegetativa</u> | 4 |
| 2.1.3.1. <u>Emergencia</u> | 4 |
| 2.1.3.2. <u>Estado de plántula</u> | 4 |
| 2.1.3.3. <u>Macollaje</u> | 5 |
| 2.1.3.4. <u>Formación de entrenudos</u> | 5 |
| 2.1.4. <u>Etapa reproductiva</u> | 6 |
| 2.1.4.1. <u>Diferenciación de primordio floral</u> | 6 |
| 2.1.4.2. <u>Embarrigado o estado de bota</u> | 6 |
| 2.1.4.3. <u>Comienzo de floración</u> | 7 |
| 2.1.4.4. <u>Polinización y fecundación</u> | 7 |
| 2.1.5. <u>Etapa de llenado de grano y maduración</u> | 8 |
| 2.2. <u>TIPOS DE PLANTA</u> | 8 |
| 2.2.1. <u>Tipo de planta tradicional</u> | 8 |
| 2.2.2. <u>Tipo de planta moderno</u> | 9 |
| 2.3. <u>CARACTERIZACION DE GENOTIPOS INDICAS Y JAPONICAS</u> | 10 |
| 2.4. <u>CARACTERIZACION DE CULTIVARES</u> | 13 |
| 2.4.1. <u>INIA Caraguatá</u> | 13 |
| 2.4.2. <u>CH2 A</u> | 13 |
| 2.4.3. <u>Coronilla</u> | 14 |
| 2.4.4. <u>INIA Cuaró</u> | 14 |
| 2.4.5. <u>El Paso 144</u> | 15 |
| 2.4.6. <u>FL 6</u> | 16 |
| 2.4.7. <u>INIA Olimar</u> | 16 |
| 2.4.8. <u>S 120 T</u> | 17 |
| 2.4.9. <u>Selección Australiana Japonesa (Austral 22)</u> | 17 |
| 2.4.10. <u>INIA Tacuarí</u> | 18 |
| 2.4.11. <u>INIA Zapata</u> | 18 |
| 2.4.12. <u>XP 710</u> | 20 |

| | |
|--|----|
| 2.5. EFECTO DE LAS BAJAS TEMPERATURAS EN EL CULTIVO DE ARROZ..... | 21 |
| 2.5.1. <u>Incidencia en la etapa vegetativa</u> | 28 |
| 2.5.2. <u>Incidencia en la etapa reproductiva</u> | 29 |
| 2.5.2.1. <u>Iniciación del primordio floral</u> | 31 |
| 2.5.2.2. <u>Embarrigado</u> | 32 |
| 2.5.2.3. <u>Antésis</u> | 38 |
| 2.5.3. <u>Incidencia en la etapa de maduración (llenado de grano)</u> | 39 |
| 2.5.4. <u>Tipos de daño y órganos afectados por temperaturas frías</u> | 41 |
| 2.5.4.1. <u>Estado de crecimiento y sensibilidad de órganos a bajas temperaturas</u> | 41 |
| | |
| 3. <u>MATERIALES Y METODOS</u> | 43 |
| 3.1. <u>ESTUDIO</u> | 43 |
| 3.2. <u>LOCALIZACION</u> | 43 |
| 3.3. <u>CARACTERISTICAS EDAFICAS</u> | 43 |
| 3.4. <u>CULTIVARES UTILIZADOS EN EL EXPERIMETO</u> | 43 |
| 3.5. <u>MANEJO DEL ENSAYO</u> | 44 |
| 3.5.1. <u>Siembra</u> | 44 |
| 3.5.2. <u>Fertilización</u> | 44 |
| 3.5.3. <u>Control de malezas</u> | 44 |
| 3.5.4. <u>Manejo del agua</u> | 44 |
| 3.6. <u>DISEÑO EXPERIMENTAL</u> | 44 |
| 3.6.1. <u>Análisis de datos</u> | 45 |
| 3.7. <u>DETERMINACIONES EN CADA UNA DE LAS MACETAS</u> | 46 |
| 3.7.1. <u>Esterilidad</u> | 46 |
| 3.7.2. <u>Excursión de panoja</u> | 47 |
| 3.7.3. <u>Número de tallos</u> | 47 |
| 3.7.4. <u>Número de panojas</u> | 47 |
| 3.7.5. <u>En cada panoja por tratamiento</u> | 47 |
| 3.7.5.1. <u>Excursión de panoja</u> | 47 |
| 3.7.5.2. <u>Número de granos totales</u> | 47 |
| 3.7.5.3. <u>Número de granos estériles</u> | 47 |
| | |
| 4. <u>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</u> | 48 |
| 4.1. <u>CARACTERIZACIÓN CLIMATICA</u> | 48 |
| 4.1.1. <u>Comportamiento de las bajas temperaturas</u> | 48 |
| 4.2. <u>CARACTERIZACIÓN DE LOS AMBIENTES</u> | 52 |
| 4.2.1. <u>Respuesta de los cultivares a las condiciones de temperatura entorno a floración</u> | 54 |
| 4.3. <u>ANALISIS DE VARIABLES POR GRUPO</u> | 57 |
| 4.3.1. <u>Esterilidad por grupo</u> | 57 |
| 4.3.2. <u>Inserción de panoja por grupo</u> | 62 |

| | |
|--|----|
| 4.3.3. <u>Relación entre esterilidad e inserción de panoja</u> | 65 |
| 4.4. <u>DISCUSION</u> | 71 |
| 5. <u>CONCLUSIONES</u> | 78 |
| 6. <u>RESUMEN</u> | 79 |
| 7. <u>SUMMARY</u> | 80 |
| 8. <u>BIBLIOGRAFIA</u> | 81 |
| 9. <u>ANEXOS</u> | 86 |

LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES

| Cuadro No. | Página |
|---|--------|
| 1. Respuesta de la planta de arroz a la temperatura variante en diferentes etapas del desarrollo (Adaptado de Yoshida, 1978, citado por de Datta, 1981)... | 23 |
| 2. Temperaturas críticas máximas, mínimas y óptimas (°C) en diferentes etapas de desarrollo de la planta de arroz..... | 23 |
| 3. Diferentes tipos de daño por frío según estadio de crecimiento en arroz..... | 26 |
| 4. Temperaturas mínimas decádicas registradas en la Estación Agrometeorológica de la Unidad Experimental Paso de la Laguna – INIA Treinta y Tres..... | 28 |
| 5. Mecanismo de hipertrofia del tapete..... | 36 |
| 6. Secuencia desde ocurrencia de bajas temperaturas a esterilidad..... | 38 |
| 7. Número de días con temperatura por debajo de 15, 13, y 11 grados Celsius (°C), temperatura media y coeficiente de variación, registrados en la zona del experimento por la Estación Meteorológica de Paysandú para los meses de enero y febrero de 2004..... | 49 |
| 8. Temperatura mínima diaria ambiental en gradas Celsius (°C) registrada durante el período experimental (Estación Meteorológica EEMAC. para los meses de enero y febrero de 2004)..... | 52 |
| 9. Componentes principales, variables que los forman, sus coeficientes y coeficientes de correlación..... | 53 |
| 10. Temperaturas mínimas medias por período para cada grupo..... | 56 |
| 11. Numero de noches con temperaturas del aire por debajo de 15° C para las variedades de cada uno de los grupos, en prefloración y posfloración..... | 56 |
| 12. Regresiones de porcentaje de esterilidad con inserción de panojas para las variedades estudiadas..... | 67 |

| | |
|--|----|
| 13. Efecto de los componentes principales (Factores 1 y 2) sobre la esterilidad cuantificada en cada variedad considerando la inserción de la panoja como covariable..... | 68 |
| 14. Temperatura media registrada 3 días entorno al tratamiento 1, 2, temperatura mínima media 10 días prefloración, temperatura mínima media posfloración, excursión de la panoja, esterilidad por Grupo y para cada cultivar evaluado.... | 73 |

Figura No.

| | |
|---|----|
| 1. Diagrama modificado de los diferentes tipos de daño por bajas temperaturas que afectan a los campos arroceros (Adaptado de Kaneda, 1972, citado por De Datta, 1981)..... | 26 |
| 2. Probabilidad de temperaturas mínimas decádicas menores a 15° C, en la Estación Agrometeorológica de la Unidad Experimental Paso de la Laguna INIA Treinta y Tres y en la Estación Agrometeorológica de CALNU-Artigas (Serie Histórica: 1972-1993)..... | 30 |
| 3. Número de días para el mes de enero con temperaturas menores a: (Serie histórica 1944 – 2003, Paysandú)..... | 48 |
| 4. Número de días para el mes de febrero con temperaturas menores a: (Serie histórica 1944 – 2003, Paysandú)..... | 49 |
| 5. Valores del componente temperatura posfloración determinados por cada variedad..... | 55 |
| 6. Valores del componente temperatura prefloración determinados por cada variedad..... | 55 |
| 7. Porcentaje de esterilidad para las variedades del Grupo I. Valores seguidos por la misma letra no difieren entre si para $P \leq 0,05$ | 58 |
| 8. Porcentaje de esterilidad para las variedades del Grupo II. Valores seguidos por la misma letra no difieren entre si para $P \leq 0,05$ | 59 |
| 9. Porcentaje de esterilidad para las variedades del Grupo III. Valores seguidos por la misma letra no difieren entre si para $P \leq 0,05$ | 60 |

| | |
|---|----|
| 10. Porcentaje de esterilidad para la variedad FL 6 del Grupo IV. ** Significativo al 1% de probabilidad..... | 61 |
| 11. Inserción de panoja para las variedades del Grupo I. Valores seguidos por la misma letra no difieren entre si para $P \leq 0,05$ | 62 |
| 12. Inserción de panoja para las variedades del Grupo II. Valores seguidos por la misma letra no difieren entre si para $P \leq 0,05$ | 63 |
| 13. Inserción de panoja para las variedades del Grupo III. Valores seguidos por la misma letra no difieren entre si para $P \leq 0,05$ | 64 |
| 14. Inserción de panoja para la variedad FL 6 del Grupo IV. ** Significativo al 1% de probabilidad..... | 65 |
| 15. Asociación entre esterilidad de espiguillas e inserción de panoja para las doce variedades estudiadas..... | 66 |
| 16. Evolución real de la temperatura media diaria y mínima ambiente durante el período experimental y la ubicación del período embuche (T1) y floración (T2) para los Grupos I, II, III y IV..... | 72 |

1. INTRODUCCIÓN

La superficie sembrada con arroz en el año agrícola 2002/03 es de 153.400 hectáreas, correspondiendo a la región Este 103.100 hás., la región Centro 17.200 hás., y la Norte 33.100 hás. Con una producción de 905.746 toneladas y un rendimiento promedio de 5.905 kilos por hectárea.

Las variedades más sembradas, a nivel nacional son, El Paso 144 e INIA Tacuarí, ya que entre las dos ocupan el 94 % de la superficie sembrada. En cuanto al tipo de semilla utilizada, el 85 % es certificada, el 7.5 % comercial e igual porcentaje propia. La utilización de semilla propia, que conlleva al riesgo del arroz rojo, es de cierta importancia en la variedad El Paso 144, donde casi el 8 % de la superficie sembrada con esta variedad utiliza semilla de éste tipo.

A nivel nacional el arroz de primer año (sembrado en un campo que en el ciclo anterior no tuvo arroz) es el 60 % del total y el arroz sobre rastrojo de arroz el 40 % restante. Sin embargo existen diferencias importantes entre regiones, en la Este predomina el arroz de primer año (71% del área sembrada), lo que no acontece en la región Centro (45%), ni en la región Norte-Litoral Oeste (30%). Esto se debe a que en la región Este la actividad arrocera ha estado presente durante más tiempo, determinando una mayor proporción de siembras de retorno sobre campo natural y retorno sobre praderas, situación no tan frecuente en otras regiones, en la zona Norte el arroz se ha expandido en forma reciente, es más importante la instalación en campos nuevos y sobre rastrojos de arroz (URUGUAY. MGAP. DIEA, 2002).

El potencial de rendimiento del arroz está relacionado con una serie de factores complejos y muy diversos. En referencia a las variables climatológicas, se destacan parámetros atmosféricos como la temperatura del aire y la radiación solar (IRRI, 1987). El frío puede afectar el cultivo en los períodos de germinación, crecimiento y reproducción aunque la magnitud del daño depende de la zona y del sistema de siembra utilizado (Cruz et al., 2003).

Se estima que el frío causa daño en siete millones de hectáreas de arroz por año en todo el mundo (Kariya, 2003).

Las bajas temperaturas reducen la adaptación del germoplasma tropical de alto potencial de rendimiento en ambientes templados del cono sur de América Latina, donde hay casi un millón de hectáreas potencialmente afectadas por frío (Cruz et al., 2001).

1.1. OBJETIVO

El objetivo del presente trabajo es estudiar la respuesta diferencial de cultivares de arroz frente a bajas temperaturas entorno a la floración.

2. REVISIÓN BIBLIOGRAFICA

2.1. DESARROLLO DE LA PLANTA DE ARROZ

2.1.1. Clasificación científica

El arroz se clasifica en el género *Oryza* de la familia de las Gramíneas (*Gramineae*). Casi todas las variedades cultivadas derivan de la especie *Oryza sativa* L. Es una planta de ciclo anual, de origen subtropical, con adaptación a suelos inundados, ambiente de temperatura y humedad elevadas. Casi todas las especies exigen un suelo muy húmedo durante gran parte de la estación de crecimiento.

La mayoría de las variedades de arroz que se cultivan, pertenecen a la especie diploide *Oryza sativa*, aunque también se cultiva mucho en ciertas partes de África, *Oryza glaberrima*. Esta última difiere de la primera fundamentalmente por la ausencia de ramificación secundaria de las ramas primarias de la panícula, así como por otros detalles morfológicos menores. Tanto *O. sativa* como *O. Glaberrima* tienen 24 cromosomas ($2n = 24$).

2.1.2. Generalidades

El crecimiento de una planta de arroz depende de muchos factores y puede variar con las condiciones climáticas, la variedad, la fecha de siembra, el inicio del riego, las malezas, la fertilización, las plagas y enfermedades, entre otros (Gamarra, 1996).

Según Yoshida, citado por Ferreira et al. (1998), el ciclo de un cultivar de arroz puede ser influenciado por el fotoperíodo y la temperatura. Los cultivares insensibles al fotoperíodo son característicos de la agricultura moderna, por lo tanto la temperatura es el factor climático con mayor influencia en el ciclo.

Cada etapa para completar su desarrollo durante el ciclo de crecimiento del cultivo requiere de determinada suma térmica, la que dependerá de la temperatura para acumular las unidades térmicas necesarias, a su vez existen diferencias entre variedades en requerimiento térmico para completar sus fases.

El crecimiento de la planta de arroz se puede dividir en tres etapas: 1) etapa vegetativa, 2) la etapa reproductiva, 3) la etapa de llenado de grano y maduración.

2.1.3. Etapa vegetativa

Es el período que va desde la germinación de la semilla hasta el comienzo de la diferenciación del primordio floral.

En esta fase se determina el número de macollos que equivale al número potencial de panículas; también se determina el estado de las hojas que funcionan durante la etapa reproductiva (de Datta, citado por Ferreira et al., 1998).

Esta etapa se divide a su vez en: a) emergencia, b) estado de plántula, c) macollaje y d) formación de entrenudos.

2.1.3.1. Emergencia

Cuando se dan las condiciones requeridas de temperatura y humedad, la semilla se hincha y germina. En el embrión crecen y se alargan dos estructuras: la radícula (primera raíz) y el coleoptile (cubierta que protege y envuelve la primera hoja). A medida que crecen, ambas estructuras presionan hasta romper la cubierta de la semilla, y en ese momento se considera que el grano germina (Gamarra, 1996).

Cuando el coleoptile encuentra la luz, generalmente en la superficie del suelo, deja de alargarse y se considera que la planta emergió. Si aproximadamente el 50% de las plántulas de una chacra tienen la primera hoja sobre la superficie del suelo, ésta se torna verde, este momento se considera como la fecha de emergencia (Gamarra, 1996).

2.1.3.2. Estado de plántula

Las reservas de la semilla, que se encuentran en el endosperma, son usadas hasta el estado de 3 hojas.

La primera hoja sale a través del coleoptile hacia arriba y no presenta la típica lámina, sino más bien actúa como una cubierta protectora para la próxima hoja. Esta ya se diferencia en las tres partes habituales: la vaina, el collar y la lámina. Por esta razón, esta es la primera hoja completa y a partir de ella, todas las demás serán hojas completas (Gamarra, 1996).

Cuando el collar de la segunda hoja completa es visible por encima del collar de la primera hoja completa, se dice que el estado de plántula es de **2 hojas**. Luego vienen las hojas siguientes y con ellas los demás estados: **3 hojas, 4 hojas**, etc.

La segunda hoja completa se desarrolla en el lado opuesto del tallo que la primera hoja completa, y así sucesivamente se alternan de esa manera (Gamarra, 1996).

2.1.3.3. Macollaje

Los macollos salen desde dentro de la vaina de las hojas, en la base de la planta. Cuando la primera hoja completa de primer macollo se diferencia totalmente, se dice que la planta está en el estado de **primer macollo**. Este macollo emerge desde la vaina de la primera hoja completa antes del estado de 5 hojas de la planta. Si aparece un segundo macollo, éste proviene de la vaina de la segunda hoja completa y se denomina segundo macollo y así sucesivamente (Gamarra, 1996).

2.1.3.4. Formación de entrenudos

La formación de entrenudos por encima de la corona, es lo que da lugar al tallo y determina el largo de éste. Los nudos del tallo se forman por encima de los nudos de la corona, y comienza a formarse un entrenudo entre el último nudo de la corona y el primero del tallo

Cuando este entrenudo está totalmente diferenciado, el estado de la planta se denomina primer entrenudo (o green ring). Luego siguen apareciendo mas nudos y entrenudos, hasta que el último entrenudo se alarga completamente. Esto permite que el largo del tallo y la altura de la planta vayan aumentando (Gamarra, 1996).

2.1.4. Etapa reproductiva

Esta comienza con la diferenciación del primordio floral, y termina cuando el 50% de las flores han sido polinizadas.

Esta etapa del desarrollo se puede dividir en: a) diferenciación de primordio floral, b) embarrigado o estado de bota, c) comienzo de floración y d) polinización y fecundación.

2.1.4.1. Diferenciación de primordio floral

Este estado se identifica por la aparición del primordio floral dentro del tallo principal. El primordio aparece luego de la formación de entrenudos, e implica el movimiento del punto de crecimiento hacia arriba de la corona. El grupo de células especializadas en ese punto comienzan a dividirse activamente y a partir de allí se origina el primordio (Gamarra, 1996).

Aquí el primordio de la panícula se ha diferenciado y ya puede observarse. El primordio comienza a diferenciarse casi 40 días después de la siembra y puede observarse 11 días después (inicio visual de la panícula) como un cono blanco emplumado de 1.0 a 1.5 mm de longitud (de Datta, 1981).

2.1.4.2. Embarrigado o estado de bota

Es el período que va desde la diferenciación del primordio hasta el comienzo de la floración, y es la etapa que la planta de arroz es más vulnerable a condiciones climáticas adversas (Gamarra, 1996).

Estado de bota, es la última fase en la etapa de desarrollo de la panícula, la vaina de la hoja bandera se hincha. Este hinchamiento se denomina estado de bota o etapa de elongación de los entrenudos y panículas.

Cuando el collar de la hoja bandera y de la hoja anterior están al mismo nivel, ocurre la meiosis en las espiguillas localizadas en la región media de la panícula en crecimiento (de Datta, 1981).

2.1.4.3. Comienzo de floración

Espigamiento, el estado de bota o elongación de entrenudos y panículas va seguida por la emergencia de la panícula (espigamiento) fuera de la vaina de la hoja bandera (de Datta, 1981).

Floración, la antésis (floración) empieza con la proyección de las primeras anteras dehiscentes en las espiguillas terminales. En el momento que está ocurriendo la antésis, la panícula tiene forma erecta. Las panículas florecen empezando en las partes superior, media e inferior, y esto ocurre en el primero, segundo y tercer día después de la proyección de la panícula (espigamiento) en un ambiente tropical (Fernández et al., citados por de Datta, 1981).

En esta etapa la panoja emerge a través de la vaina de la hoja bandera y se hace visible, en unos 3 a 5 días. Esto es posible debido al alargamiento de los entrenudos superiores. La panoja es muy débil en esta etapa y puede ser dañada fácilmente por condiciones adversas (Gamarra, 1996).

2.1.4.4. Polinización y fecundación

La polinización comienza cuando la chacra está en un 15 % de floración. En ese momento el 15 % de las panojas se hacen visibles completamente y se observa una parte del entrenudo superior debajo de ella (cuello). En este estado aparecen las anteras, blancas o amarillas, en las flores abiertas (Gamarra, 1996).

El arroz se autopoliniza notablemente. Los estambres se alargan y las anteras salen de las glumas en floración conforme se dispersa el polen. Los granos de polen caen sobre el pistilo, una estructura emplumada, a través del cual se extiende hacia el ovario el tubo polínico de los granos en proceso de geminación. La lema y la pálea se cierran entonces (de Datta, 1981).

2.1.5. Etapa de llenado de grano y maduración

Esta etapa comienza con el 50% de floración y termina cuando la humedad promedio del grano es de alrededor del 20%. Entonces se inicia el desarrollo del grano. El ovario se desarrolla y en 3 días aparecen granos de almidón en el endosperma. Comienza la diferenciación del embrión y, dentro de éste el coleoptile, la coleorriza y el escutelo. Los carbohidratos son trasladados de las hojas y tallos al grano. La actividad fotosintética de las 3 hojas superiores es muy alta. Los carbohidratos son prácticamente bombeados hacia el grano y éste presenta una apariencia lechosa al principio.

Cuando aparece este líquido lechoso dentro del grano, es la etapa de grano lechoso. Luego éste va perdiendo humedad, se vuelve pastoso y la etapa se denomina grano pastoso.

El grano que se va desarrollando es comprimido entre la lema y la palea (cáscara) y moldeado a su tamaño final. A medida que pierde humedad, el grano se va endureciendo y, finalmente, no hay más aportes de carbohidratos, denominándose grano duro.

El grano madura en aproximadamente 4 semanas luego de la fecundación. El grado de llenado y las condiciones climáticas determinan la calidad industrial y culinaria del grano (Gamarra, 1996).

2.2. TIPOS DE PLANTA

2.2.1. Tipo de planta tradicional

Según Vergara (1984), el tipo de planta tradicional de arroz se caracteriza por:

- 1) Alta estatura (ocasiona problemas de vuelco).
- 2) Vuelco (la altura de planta aumenta con la aplicación de nitrógeno y el vuelco se convierte en un problema, muchas de las hojas de la planta caída se pudren, pues están en el agua y no reciben luz).
- 3) Mala distribución de la luz (plantas altas y con hojas decumbentes resultan en poca penetración de luz a las hojas inferiores).

- 4) Hojas decumbentes (las hojas inferiores reciben muy poca luz).
- 5) Hoja bandera más baja que la panícula (hay mayor sombra a las hojas superiores cuando la panícula está por encima de las hojas banderas).
- 6) Hojas largas (las hojas largas son menos erectas porque tienen mayor peso).
- 7) Pobre habilidad de macollaje
- 8) Macollos abiertos (proporcionan una peor distribución de luz).

2.2.2. Tipo de planta moderno

Según Vergara (1984), las características de relevantes del tipo de planta moderno.

Baja estatura: la distribución de la estatura es el factor más importante para aumentar el potencial de rendimiento y aumenta la resistencia al vuelco.

Resistencia al vuelco: con la aplicación de nitrógeno se obtienen plantas más altas, con panículas más pesadas y parte superior más pesada con lo que el vuelco se convierte en un problema, mucha de las hojas de la planta caídas se pudren, pues están en el agua y no reciben suficiente luz. Los tallos cortos y fuertes de las variedades enanas previenen el vuelco.

Hojas erectas: si la planta posee hojas decumbentes las hojas inferiores reciben muy poca luz. En el caso de que las hojas sean erectas se produce poca sombra a las hojas inferiores, a igual espaciamiento y largo de hoja.

Hoja bandera más alta que la panícula: hay poca sombra de las hojas superiores cuando la panícula está por debajo de la hoja bandera.

Hojas cortas: las hojas más cortas son más erectas porque tienen menor peso, estas dejan pasar más luz a las partes inferiores de la planta.

Buen macollaje: una buena habilidad de macollaje asegura una cantidad adecuada de macollos por unidad de área, aunque algunos pueden morir en las primeras etapas de crecimiento. Esta característica es importante en condiciones de transplante, práctica usual en los trópicos.

Macollos erectos: los macollos erectos proporcionan una mejor distribución de la luz.

Las características de un macollo ideal serían:

- 1) alto macollaje (más hojas y panículas),
- 2) tallos cortos (previene el vuelco),
- 3) macollos erectos, hojas erectas y gruesas (mejor distribución de la luz con mayor y más rápida producción de alimentos) y
- 4) pocas espiguillas estériles a alta fertilización nitrogenada (permite la aplicación de mucho nitrógeno).

2.3. CARACTERIZACIÓN DE GENOTIPOS INDICAS Y JAPONICAS

Según Stansel (1975), el pasaje a estado reproductivo está en función de cada variedad. Se distinguen tres grupos de maduración:

1. Madurez tardía: son las sensibles al fotoperíodo, requieren un largo de día determinado, son la mayoría de las variedades índicas.
2. Madurez temprana: las variedades japónicas no son (o muy poco) sensibles al fotoperíodo. El total de días a estado reproductivo se da por acumulación de unidades térmicas (UT). Esta se da por la media de °C/día, con temperaturas mayores a 10 °C (temperatura base) acumula, pero no se acumula más de 15UT/día.
3. Madurez intermedia: en los que hay interacción de temperatura y fotoperíodo.

Según Vergara (1976), las variedades resistentes a bajas temperaturas son las que mantienen altas tasas fotosintéticas aún a bajas temperaturas e intensidades de luz. En condiciones óptimas no hay diferencia entre variedades sobre el total del período de crecimiento.

A su vez define el óptimo rango de temperatura para la actividad fotosintética:

- variedades índicas 25 – 35 °C
- variedades japónicas 18 – 33 °C

Las variedades índicas son marcadamente más afectadas por las variaciones climáticas principalmente por temperatura, seguido por horas de sol. La distribución del parénquima clorofiliano es diferente en índicas y japónicas (clorénquima más compacto). En japónicas al ser más compacto conserva más la temperatura siendo esto importante en la etapa de plántula.

En japónicas se encontró correlación entre el tamaño de la semilla y germinación lo cual no solamente se atribuye a que tenga más endosperma. Las variedades japónicas tienen mayor porcentaje de germinación que variedades índicas a bajas temperaturas, debido a que éstas son más sensibles a las bajas temperaturas en la germinación (Ferreira et al., 1998).

Según Stansel, citado por Castera et al. (1999), cuando la temperatura cae por debajo de 10 °C por más de tres días durante el llenado y maduración del grano, el rendimiento se detiene en los cultivares índicos. Sin embargo los cultivares japónicos pueden seguir desarrollándose hasta con 2 a 3 °C menos. Los rangos de temperatura para la sobre vivencia y crecimiento de las cruza japónicas por índicas no logran una combinación de rango total. Por eso Stansel los clasifica como cultivares: de temperaturas cálidas, intermedias y frías. Dentro de los rangos de 18 a 35 °C para cultivares de temperaturas cálidas y 15 a 33 °C para cultivares de temperatura fría, la temperatura se correlaciona positivamente con el crecimiento de la planta durante la fase vegetativa, sin embargo la correlación es negativa en estadios más tardíos.

Las variedades japónicas, las cuales se adaptan a áreas frías por su mayor resistencia a las bajas temperaturas, son ampliamente sembradas en países templados, como ser China Central y Norte, Japón y Corea. Ambas variedades, indistintamente pueden sembrarse en regiones subtropicales como Taiwán. Al respecto, Vergara

constato que en las regiones montañosas de los trópicos, donde fueron sembradas cierto tipo de índicas, se notaron algunos grados de tolerancia la frío (Castera, 1999).

Las variedades de zona templada se denominan japónica, y, las tropicales, índicas. Una forma básica intermedia, es la llamada “bulu” o javánica.

Trabajos en la EEE durante 1996, conducidos por Zorrilla, muestran que en siembras tempranas de agosto con temperaturas de suelo de 16-17 °C, El Paso 144 (índica) mostró menores porcentajes de germinación y emergencia que INIA Caraguatá (japónica) y ésta que INIA Tacuarí (japónica), coincidiendo con la conocida debilidad al frío de El Paso 144 en otras etapas del cultivo (Ferreira, 1998).

En el arroz japónica, se afirma que la temperatura media óptima para llenado de grano es de 20 a 22 °C (Matsushima et al. 1957, Aimi et al. 1959, Murata 1964, Munakata et al. 1967). Se considera que la maduración insuficiente producida a temperaturas más bajas que las antes citadas ocurre porque la traslocación se vuelve más lenta (Matsushima et al. 1957, Aimi et al. 1959), mientras que por el contrario se considera que la aparición de granos incompletos a mayores temperaturas de las indicadas precedentemente se debe a la pérdida de compuestos orgánicos causada por el aumento del ritmo respiratorio (Yamamoto 1954, Murata 1964), una disminución del índice de área foliar (Murata, 1964), o un acortamiento del período de llenado de grano (Tanaka y Vergara, citados por Murata et al., 1991).

Las variedades japónica tienen la caña corta, son de alto rendimiento y responden a fuertes aplicaciones de fertilizantes nitrogenado mediante la producción de un alto volumen de grano. Toleran mejor que índica las temperaturas bajas y pueden crecer y desarrollarse más rápido que esta última cuando la temperatura del agua es baja. Poseen hojas verde oscuro, estrechas, y largos pelos gruesos en sus glumas. Su grano es corto, redondo y de escasa calidad culinaria, ya que tiende a ablandarse rápidamente y se vuelve blanduzco (Centre for Overseas Pest Research, 1976).

Las variedades índica son resistentes, de glumas y hojas ligeramente pubescente. Responden a los fertilizantes nitrogenados mediante un incremento en la producción de caña, pero no de grano. Su caña es débil y tiende a torcerse, y como las plantas no germinan bajo el agua, por consiguiente, a menos que estas variedades se cultiven en vivero y se transplante, la semilla debe ser pregerminada antes de sembrarla en agua, o debe ser sembrada en lodo o suelo húmedo. El grano es largo, estrecho y ligeramente

aplanado; tiende a resistir un poco al recocado y brinda un arroz cocido en el que cada grano esta separado y no es pegajoso (Centre for Overseas Pest Research, 1976).

La mayoría de los cultivares más recientes son insensibles al fotoperíodo por lo tanto, los cambios en la duración del crecimiento son muy pequeños según cuál sea la estación o el mes de siembra. Esta insensibilidad incrementa la adaptabilidad del arroz a las diferentes latitudes en lo referente a la duración de su crecimiento, a menos que la temperatura sea limitante (Castera, 1999).

2.4. CARACTERIZACIÓN DE CULTIVARES

2.4.1. INIA Caraguatá

Originado del cruzamiento de BB/Lebonet x BL 75/ Texas 23, ingresó en evaluación en 1989/90 como L 813 y pasó a certificación en como INIA Caraguatá en 1995. Características agronómicas, planta de tipo semienano erecto, con tallos fuertes, resistentes a vuelco, altura de 80 centímetros, presenta mayor facilidad de desgrane que BB, pero debido a sus tallos cortos y fuertes, el desgrane natural en la chacra es menor. Susceptible a bajas temperaturas, no se puede sembrar tarde, requiere de buena preparación de tierra y control de malezas. Rendimiento medio, 9 % superior a BB, esta diferencia se amplía en la zona Norte en donde ha tenido, en promedio, un rendimiento 13 % superior a BB. En siembras de octubre ha tenido rendimiento similar a INIA Tacuarí y EP 144.

Su ciclo, de siembra a floración, 97 días, 2 días más que BB. Grano de tamaño similar a BB y mayor que Tacuarí, con un largo de 6.47 mm y relación largo/ancho de 3.02 mm. En cuanto a su calidad industrial, superior a BB con 65.2 de entero y menor incidencia de yesado (3 %). Su calidad culinaria es típica de los granos de tipo americano, con la ventaja de que su viscosidad amilográfica corresponde al tipo superior de granos largos americanos. En cuanto a enfermedades, es MR a *Sclerotium* y *Rhizoctonia*, R a brusone (Gamarra, 1996).

2.4.2. CH2 A

Origen: Selección de 14.144. Es una variedad de tipo semienana Indica con alto macollaje, de 78 centímetros de altura, con granos largos y finos de calidad americana;

resistente al vuelco, sensible a fríos, con un potencial de rendimiento de 10.000 Kg/há. superando a Bluebelle. Su ciclo a floración es de 88 días y a maduración de 145 días. Su calidad culinaria es típica americana, con 25% de contenido de amilosa y temperatura de gelatinización intermedia. Su peso de 1000 granos es de 29,5 gramos, el largo del grano es de 7 mm, y el ancho de 2.1 mm lo que resulta en una relación largo/ancho de 3,3.

2.4.3. Coronilla

Origen: Selección de El Paso 144. Es una variedad de tipo semienana Indica con alto macollaje, erecta de 70 centímetros de altura, con granos largos y finos de calidad americana; resistente al vuelco, tolerante a fríos, con un potencial de rendimiento de 9.000 Kg/há. superando a Bluebelle. Su ciclo a floración es de 95 días y a maduración de 150 días. Su calidad culinaria es típica americana, con 27% de contenido de amilosa y temperatura de gelatinización intermedia. Su peso de 1000 granos es de 27,5 gramos, el largo del grano es de 7 mm, y el ancho de 2.1 mm lo que resulta en una relación largo/ancho de 3,3.

2.4.4. INIA Cuaró

Origen: proviene del cruzamiento Mt BR (IRGA) 409/El Paso 144, realizado localmente en 1986, siendo su progenitor femenino un mutante inducido en la variedad brasileña. Este cultivar ingresó a evaluación preliminar en la zafra 1992/93, con la denominación L 1435, y fue incluido en ensayos de Épocas de Siembra y Regionales en 1994/95, zafra en la cual también comenzó su purificación y multiplicación, siendo liberada en 1997. Esta variedad de tipo tropical (Indica), posee un tipo de planta similar a El Paso 144, pero se destaca por su ciclo más corto y por sus hojas y granos sin pilosidad.

Características agronómicas: INIA Cuaró es un cultivar semienano de tipo tropical, con buen desarrollo inicial, abundante macollaje y hojas erectas. Su altura de planta es similar a la de El Paso 144, pero su ciclo a floración es, en promedio, 6 días más corto que el de esta variedad y similar al de Bluebelle. Sus hojas y granos carecen de pilosidad, lo cual constituye una ventaja sobre El Paso 144, contribuyendo a reducir costos de cosecha, transporte y postcosecha. Tanto El Paso 144 como INIA Cuaró son susceptibles a bajas temperaturas en la etapa reproductiva, por lo que no son aptos para siembras tardías.

Calidad industrial y culinaria: El % de blanco total de INIA Cuaró es similar al de El Paso 144, mientras que su % de grano entero es superior, promediando ambas variedades 62,4 y 61,0%, respectivamente. La incidencia de Yesado (2,7%), es similar, o levemente inferior, a la observada en las demás variedades comerciales. A pesar de que el largo de grano de INIA Cuaró, cargo o pulido con molino Satake, es similar al de El Paso 144, su relación Largo/Ancho 3.14 mm, es más favorable y su peso de 1000 granos, de 23,3 gr., es intermedio entre el de esta variedad y el de Bluebelle. La calidad culinaria de INIA Cuaró es similar a la de El Paso 144, y a la mayoría del germoplasma tropical, y diferente de la de los granos largos del Sur de EE.UU.. Su contenido de amilosa de 24,8%, es intermedio a intermedio-alto y su temperatura de gelatinización es baja.

En cuanto a sanidad, INIA Cuaró mostró una incidencia levemente inferior de Manchado confluyente de las vainas (*Rhizoctonia oryzae sativae*) y de Podredumbre del tallo (*Sclerotium oryzae*) que El Paso 144. Con respecto a Brusone, la nueva variedad resulta susceptible a la misma raza de *Pyricularia oryzae* que ataca a El Paso 144, fuerte al ataque de este patógeno, INIA Cuaró y El Paso 144 fueron catalogadas como Muy Susceptibles, mientras que INIA Tacuarí y Bluebelle resultaron Moderadamente Resistentes, e INIA Caraguatá Resistente.

2.4.5. El Paso 144

Origen: seleccionado en 1978 en la Estación Experimental del Este a partir de un material segregante del CIAT, entró en certificación en 1986. Es una planta semienana, tropical, de gran macollaje, con hojas de color verde claro, pilosas. Su altura es de 90 centímetros. Variedad de alto potencial de rendimiento, susceptible a bajas temperaturas. El grano es muy abrasivo. Se adapta bien a siembra directa y siembra en agua. Su vigor inicial es bajo, aunque debido a su gran macollaje, compensa poblaciones ralas y compite bien con las malezas. Es menos atacado por pájaros por su panoja escondida entre el follaje y a su pilosidad. En cuanto al ciclo, de siembra a floración 95 a 100 días, a maduración 150-155 días.

Grano con cáscara blanca, pilosa y áspera, provisto de arista pequeña, es más largo u pesado que el Bluebelle, sus dimensiones pulido es de 6.58 mm de largo y 3.14 de relación largo/anho. La calidad, de 58 a 60 % de grano entero y 5 a 6 % de yesado (es un grano opaco, no traslúcido que tiene parte con esa característica) contenido de amilosa (% amilosa y temperatura de gelatinización son parámetros que indican las características del grano en cocción. El grano de calidad americano debe tener un porcentaje de amilosa superior a 25 % y una temperatura de gelatinización media, esto

caracteriza granos más sueltos y consistentes luego de cocción) intermedio, 23.4 % y su temperatura de gelatinización es baja.

En cuanto a enfermedades, frente a brusone se comporta como moderadamente susceptible (MS) a resistente (R), para enfermedades de tallo, MS a *Rhizoctonia oryzae* y susceptible (S) a *Sclerotium oryzae*. MS a *Cercospora* (Gamarra, 1996).

2.4.6. FL 6

Origen: proveniente de cruzamientos triples Indica/Japónica seleccionando en poblaciones segregantes bajo stress de frío condiciones controladas, en la etapa temprana. Indica con susceptibilidad a frío, es de planta semienano. Su ciclo presenta una mayor duración frente a los cultivares nacionales, llegando a una semana más que El Paso 144. Se destaca por su bajo porcentaje de granos yesosos entre 2,1 y 2,8 %, su temperatura de gelatinización es intermedia, típica de los cultivares americanos.

En cuanto a sanidad, posee un buen nivel de resistencia a Brusone (*Pyricularia grisea*) comparándolo con los materiales locales, moderada resistencia a enfermedades de tallo (*Rhizoctonia* y *Sclerotium*).

2.4.7. INIA Olimar

Origen: proveniente del cruzamiento IGRA177F4-88-116F//Mt409/El Paso 144, realizado en 1991. Ingresó en evaluación preliminar en 1997/98 como L3000. Desde 1999/00 fue incluida en ensayos finales internos y en la Red Nacional de Evaluación de Cultivares. La purificación y multiplicación de semillas fueron iniciadas en 1999/00. Características agronómicas, es una planta semienana, Indica o tropical, similar a *El Paso 144*, con una altura de planta levemente inferior 87 y 91 centímetros respectivamente, promediando una altura de 85 centímetros, con tallos finos, hojas pilosas y erectas. Tiene alto macollaje, con un tamaño moderado de panoja y buen vigor inicial lo que permite un buen establecimiento del cultivo, tanto en siembras convencionales como en siembra directa, las hojas y granos son pubescente al igual que *El Paso 144*, es variedad de alto potencial de rendimiento superando en un 13 % a *El Paso 144* e *INIA Tacuarí*. En cuanto a su ciclo, presenta ciclo a floración intermedio 98 días.

Grano, tienen glumas pilosas, de color amarillo pajizo y sus dimensiones son superiores a las de las demás variedades comerciales, promediando 6,66 mm procesado con molino Stake y 7,30 descascarado, frente a 6,32 y 7,09 de *El Paso 144*, respectivamente. El peso de 1000 granos es de 26,8 grs., tampoco es superado por ninguna de las variedades comerciales. Sus dimensiones son de 6,64 mm de largo y 1,99 de ancho, con una relación largo/ancho de 3,33. La calidad, de 55,6 % de grano entero y 4,1 de yesado, inferior al resto de las variedades, esta diferencia en el porcentaje de grano yesado es aún mayor en la zona Norte, donde *El Paso 144*, alcanza valores muy altos 14,6 % y Olimar solamente 4,6 %. La calidad culinaria es típicamente tropical, similar a la de *El Paso 144*, con un contenido de amilosa intermedia-alta de 27,4 % y de temperatura de gelatinización baja, dispersión por álcali 6,9.

En cuanto a enfermedades, frente a brusone se comporta como (S), mostró menor incidencia de manchado de glumas – enfermedad causada por hongos y bacterias – que las demás variedades tropicales, presenta similar incidencia tanto de “Podredumbre del tallo” (S) a *Sclerotium oryzae*, como de “Manchado confluyente de las vainas” (MS) a *Rhizoctonia oryzae sativae*, que *El Paso 144* (Blanco et al., 2002).

2.4.8. S 120 T

Origen: proveniente del triple cruzamiento de Yerúa/Bluebelle/CH1. Es una variedad con tallos erectos, hojas anchas, Indica, de 85 centímetros de altura, con tipo de granos doble carolina, extra largos; susceptible a fríos, con un potencial de rendimiento de 8.000 – 9.000 Kg/há. superando a Bluebelle. Su ciclo a floración es de 82 días y a maduración de 140 días. Su calidad culinaria, con 22% de contenido de amilosa. Su peso de 1000 granos es de 27,6 gramos, el largo del grano es de 7,5 mm, y el ancho de 2,2 mm lo que resulta en una relación largo/ancho de 3,4.

2.4.9. Selección Australiana Japonesa (Austral 22)

Origen: proveniente de cruzamiento de línea australiana/Koshihikari. Es una variedad con tallos elásticos Japónica, de 83 centímetros de altura, con granos cortos y redondeados; resistente a fríos, con un potencial de rendimiento de 8.000 Kg/há. superando a Bluebelle. Su ciclo a floración es de 82 días y a maduración de 140 días. Su calidad culinaria, con 18% de contenido de amilosa. Su peso de 1000 granos es de 26,6 gramos, el largo del grano es de 5 mm, y el ancho de 4 mm lo que resulta en una relación largo/ancho de 1,25.

2.4.10. INIA Tacuarí

Origen: proveniente del cruzamiento Newbonnet x Newrex L 79 realizado en la E.E.E., y fue incluido en certificación con el nombre provisorio de L 570, en 1992.

Características agronómicas, tipo de planta moderna, hojas enteras, pilosa y una altura de 84 centímetros. Es una variedad precoz, de un potencial de rendimiento y calidad americana. Supera a Bluebelle en un 19 % en promedio, y esto prácticamente a nivel de rendimiento de El Paso 144, tiene un ciclo corto, no se han observado vuelco o desgrane. Ciclo, de siembra a floración de 87 a 92 días, a maduración 140 a 145 días.

Grano, es de cáscara blanca, sin pilosidad, su peso y dimensiones (son inferiores a Bluebelle, largo pulido de BB es de 6.51 mm y la relación largo/ancho es de 3.03 mm, peso de 1000 granos es 22 – 24 gr.) son de largo 6.38 mm pulido, y la relación largo/ancho 3.04 mm y peso de 1000 granos 22 – 23 gramos. Calidad, tiene buena calidad industrial, con una media de 64 –65 5 de grano entero y 3 – 4 % de yesado. La calidad culinaria es típico de los granos americanos, con 25.3 % de amilosa y temperatura de gelatinización media. Enfermedades MR a brusone, MS – MR a *Sclerotium*, MS – S a *Rhizoctonia* y MS a *Cercosporiosis* (Gamarra, 1996).

2.4.11. INIA Zapata

Origen: proviene del cruzamiento Newbonnet/Newrex L 79f2//Leah, realizado en 1986, siendo el progenitor femenino una planta de la población en la cuál se selecciono INIA Tacuarí. INIA Zapata entro en evaluación preliminar en 1992/93 y fue incluida en ensayos finales en 1994/95 por lo que se cuenta con abundante información. Es un nuevo cultivar con tipo de planta similar a INIA Tacuarí, rendimiento también similar y mayor tamaño de grano, así como mayor resistencia al “Manchado confluyente de las vainas” (*Rhizoctonia*); tiene hojas semierectas sin pilosidad y buen vigor inicial.

Características agronómicas: Posee un tipo de planta similar al de INIA Tacuarí, con una altura levemente superior (0,86 y 0,83 m respectivamente), con hojas glabras semierectas. Este cultivar ha mostrado un buen vigor inicial, lo que le permite lograr un buen establecimiento del cultivo, característica que constituye una ventaja frente a la principal limitante de INIA Caraguatá.

Su ciclo de siembra a floración es de 100 días. La capacidad de macollaje de INIA Zapata es similar a la de INIA Tacuarí y su tamaño de panoja (102 granos) es intermedio entre el de esta variedad y El Paso 144.

Calidad de grano: Los ranos de tienen glumas INIA Zapata as claras y sus dimensiones son superiores a las de las demás variedades comerciales, promediando 6,39 mm procesado con molino Satake y 6,95 descascarado, frente a 6,12 y 6,73 de INIA Tacuarí, respectivamente.

Su peso de 1000 granos, 23.8 grs., solo es superado entre las variedades comerciales por El Paso 144 (25.8 grs.).

Si bien su calidad molinera no alcanza es excelente nivel de INIA Tacuarí e INIA Caragatá, su porcentaje de grano entero (60,8%) es similar al de Bluebelle (60,4%) y superior al de El Paso 144 (58,3 %). En términos generales el porcentaje de grano entero de INIA Zapata tiende a ser similar al de INIA Tacuarí e INIA Caragatá en siembras tempranas, disminuyendo en forma gradual al atrasarse la fecha de siembra.

La incidencia de Yesado en la variedad (5,8%) es similar a la observada en El Paso 144.

La calidad culinaria: Es típicamente americana, con contenido de amilosa (24%) y temperatura de gelatinización intermedias. Su perfil amilográfico también es típico, e intermedio entre los de Bluebelle e INIA Tacuarí.

Rendimiento: Promedio es de 7,5 t/há. Similar la variedad INIA Tacuarí.

Resistencia a enfermedades: Muestra similar incidencia de Podredumbre de tallo (*Sclerotium oryzae*) que INIA Tacuarí, pero posee mayor resistencia al Manchado confluyente de las vainas causado por *Rhizoctonia oryzae sativae* así como a Brusone (*Pyricularia oryzae*). También muestra un buena tolerancia a la enfermedad fisiológica Espiga erecta, tanto a nivel de síntomas en la panoja como en la calidad de similla.

2.4.12. XP 710

Origen: Híbrido de RiceTec hijo del cruzamiento del material machoestéril (madre) A0044 y el machofértil (padre) R0163 .

Características agronómicas, tipo de planta moderna, hojas enteras, pilosa, con una altura de 95 centímetros. Es un material relativamente precoz, de alto potencial de rendimiento y calidad americana. Supera a El Paso L 144 en por lo menos un 20%, se ha observado cierta tendencia a desgrane leve al inicio de la madurez, a pesar de su altura no es propenso al vuelco. Ciclo de emergencia a 50% floración de 90 días (86 días en INIA Tacuarí y 100 días en El Paso L144), de emergencia a maduración tiene un ciclo de 141 días, mientras el ciclo de INIA Tacuarí es de 130 días y el de El Paso 144 es de 155 días.

El grano es de cáscara blanca, algo piloso, puede presentar una pequeña arista, sus dimensiones, largo 7.3 mm, su relación largo/ancho 3.03, su dispersión en álcali 5.7, su contenido de amilasa 21%. Tiene dimensiones mayores a INIA Tacuarí y también presenta calidad culinaria americana.

No se han detectado problemas de enfermedades de tallo ni con brusone.

2.5. EFECTO DE LAS BAJAS TEMPERATURAS EN EL CULTIVO DE ARROZ.

Al ser de origen tropical. El arroz sobrevive en un amplio rango de temperaturas (de 10° a 50 °C), siendo más afectado por las mínimas extremas de temperatura que por las máximas. Los efectos de las bajas y altas temperaturas difieren de acuerdo a la etapa de crecimiento que se considere (Chang et al., Toriyama, Hew, citados por Ferreira et al., 1998).

Las temperaturas extremas limitan la siembra del cultivo de arroz a ciertas zonas templadas y ejercen una influencia sobre el crecimiento del mismo en los trópicos. La mínima temperatura diaria determina la estación efectiva del cultivo (Stansel et al., citado por Castera, 1999).

Para el caso del arroz hay que considerar la temperatura del aire y del agua de riego (De Carvalho, 1963).

Fort, citado por De Carvalho (1963), afirma que para germinación es necesaria una temperatura relativamente elevada, no menos de 12 a 13 °C, para la floración, una temperatura de 22 a 24 °C y para maduración de grano no menos de 19 °C.

Según Angelini, citado por De Carvalho (1963), una disminución de temperatura es sobre todo perjudicial en embarrigado y particularmente en la floración, en que puede trastornar los resultados del cultivo, deprimiéndola, así como también predisponiendo a ataques de parásitos; en primer caso con perjuicio de la fecundación y en segundo limitando el rendimiento como consecuencia de enfermedades o plagas.

Según Vergara (1984), las bajas temperaturas producen mayores perjuicios en ciertas etapas de crecimiento, pero pueden tener efecto en cualquier estado de crecimiento. Algunos efectos de las bajas temperaturas pueden ser:

- Pobre germinación
- Decoloración de la hoja
- Falta de desarrollo
- Excursión incompleta de al panoja

- Incremento de espiguillas degeneradas
- Falla en la antésis
- Reducción de macollos
- Retraso en la floración

Al considerar el efecto de la temperatura en un área dada, no es la temperatura promedio diaria la que debemos tener en cuenta, sino la máxima y la mínima. Las altas temperaturas, (35° a 40 °C) también puede n afectar el normal desarrollo.

El efecto de la temperatura es más complejo y menos entendido que la respuesta al largo del día. Esta afecta el crecimiento de dos maneras:

1. Temperaturas críticas altas y bajas definen el ambiente bajo el cual el ciclo de vida de la planta de arroz puede ser completado.
2. Dentro de ese rango de temperaturas críticas, ésta influencia la tasa de desarrollo de las hojas, panojas y tasa de maduración, por eso fija la duración de crecimiento de una variedad bajo un ambiente dado, y eventualmente determinando la situabilidad de la variedad al ambiente (Yoshida, citado por Castera, 1999).

El régimen de temperatura influye enormemente no solo en la duración del desarrollo, sino también en el patrón de desarrollo de la planta de arroz. Durante la estación de crecimiento, la temperatura media y el total, fluctuación, patrón de distribución y los cambios diurnos, o una combinación de todos éstos, pueden correlacionarse ampliamente con los rendimientos de grano (Moonaw y Vergara, citados por de Datta, 1981). Se han identificado las temperaturas críticas para la germinación, macollaje, inicio de la inflorescencia y desarrollo, dehiscencia y madurez del arroz (Cuadro N° 1).

Cuadro N° 1. Respuesta de la planta de arroz a la temperatura variante en diferentes etapas del desarrollo (adaptado de Yoshida, citado por de Datta, 1981).

| Etapa de desarrollo | Temperatura crítica °C | | |
|---|------------------------|--------|--------|
| | Mínima | Máxima | Optima |
| Germinación | 16-19 | 45 | 18-40 |
| Emergencia y establecimiento de plántulas | 13-35 | 35 | 25-30 |
| Enraizamiento | 16 | 35 | 25-28 |
| Elongación de la hoja | 7-12 | 45 | 31 |
| Macollaje | 9-16 | 33 | 25-31 |
| Diferenciación de primordio | 15 | - | - |
| Panojamiento | 15-20 | 30 | - |
| Antésis | 22 | 35-36 | 30-33 |
| Maduración | 12-18 | >30 | 20-29 |

Yoshida (1981), también reportó las temperaturas críticas mínimas, máximas y óptimas (°C) para el crecimiento y desarrollo del arroz (Cuadro N° 2).

Cuadro N° 2. Temperaturas críticas máximas, mínimas y óptimas (°C) en diferentes etapas de desarrollo de la planta de arroz.

| Etapa de desarrollo | Temperatura crítica °C | | |
|---|------------------------|--------|--------|
| | Mínima | Máxima | Optima |
| Germinación | 10 | 45 | 18-40 |
| Emergencia y establecimiento de plántulas | 12-13 | 35 | 25-30 |
| Enraizamiento | 16 | 35 | 25-28 |
| Elongación de la hoja | 7-12 | 45 | 31 |
| Macollaje | 9-16 | 33 | 25-31 |
| Diferenciación de primordio | 15 | 35 | 25-30 |
| Panojamiento | 15-20 | 38 | 25-28 |
| Antésis | 22 | 35 | 30-33 |
| Maduración | 12-18 | 30 | 20-25 |

* se refiere a la temperatura media diaria, con excepción para germinación.

El daño en las plantas de arroz por temperaturas bajas ocurre en regiones templadas y tropicales. En las regiones templadas, el daño por el frío es el principal obstáculo que limita las áreas arroceras y la duración del ciclo de cultivo.

En Corea, las bajas temperaturas a menudo originan rendimientos bajos en el arroz (Cheng, citado por de Datta, 1981). En California, se han venido mencionando dos clases principales de problemas por heladas desde que el arroz se convirtió en un cultivo comercial en 1912:

- El vigor de las plántulas y el establecimiento en agua fría (18 °C o menos).
- Esterilidad causada por las temperaturas frías nocturnas (por debajo de 15 °C) de 10 a 14 días antes del espigamiento (Rutger y Peterson, citados por de Datta, 1981).

Los estudios más completos sobre el efecto del daño por heladas al cultivo de arroz se han llevado a cabo en Japón, donde las bajas temperaturas son el factor principal que limita la producción de arroz. En 22 de un total de 90 años, la isla de Hokaido tuvo un rendimiento bajo debido a temperaturas frías durante el ciclo de cultivo del arroz.

El frío muy severo ya no ocasiona el fracaso total de la cosecha como sucedió en 1902 y 1913, debido a los progresos hechos para reducir el daño causado por heladas en el arroz (Satake, citado por de Datta, 1981). Algunos puntos destacados de tales investigaciones son:

- **ETAPA SUSCEPTIBLE AL FRÍO.** Durante muchos años se supuso que generalmente la esterilidad se debía a las temperaturas frías del verano durante la antéesis. Satake y Hayase (1970) descubrieron que la etapa más sensible al frío es la etapa joven de la microspora después de la división meiótica.
- **TEMPERATURA BAJO CRÍTICA.** Nishiyama et al. (1969) demostraron que la temperatura baja crítica para provocar la esterilidad es de 15 °C a 17 °C en las variedades sensibles al frío en la etapa meiótica.

del desarrollo. Sus estudios sugieren que la temperatura crítica para provocar esterilidad se encuentra entre los 15 y 20 °C. Esta esterilidad se debe principalmente al daño ocurrido en las antesis (Satake, citado por de Datta, 1981).

Son dos los factores que ocasionan daños al arroz por heladas: el tiempo frío y el agua de riego fría. Los síntomas comunes causados por las bajas temperaturas son (Kaneda y Beachell, citados por de Datta, 1981):

- Germinación deficiente.
- Crecimiento lento y decoloración de las plántulas.
- Crecimiento vegetativo reducido caracterizado por un escaso espigamiento.
- Espigamiento tardío.
- Excursión incompleta de la panícula.
- Prolongación del período de floración por espigamiento irregular.
- Degeneración de las espiguillas.
- Maduración irregular.
- Esterilidad.
- Formación de granos anormales.

El daño por bajas temperaturas en el momento de la cosecha se refleja finalmente en la reducción del rendimiento. El retraso en la floración y el aumento en la duración del crecimiento son muy marcados en las variedades modernas de arroz cultivadas en zonas de bajas temperaturas (32 °C a 25 °C). En algunos lugares será posible lograr dos cosechas anuales de arroz si se desarrollan variedades tolerantes a las heladas (de Datta, 1981).

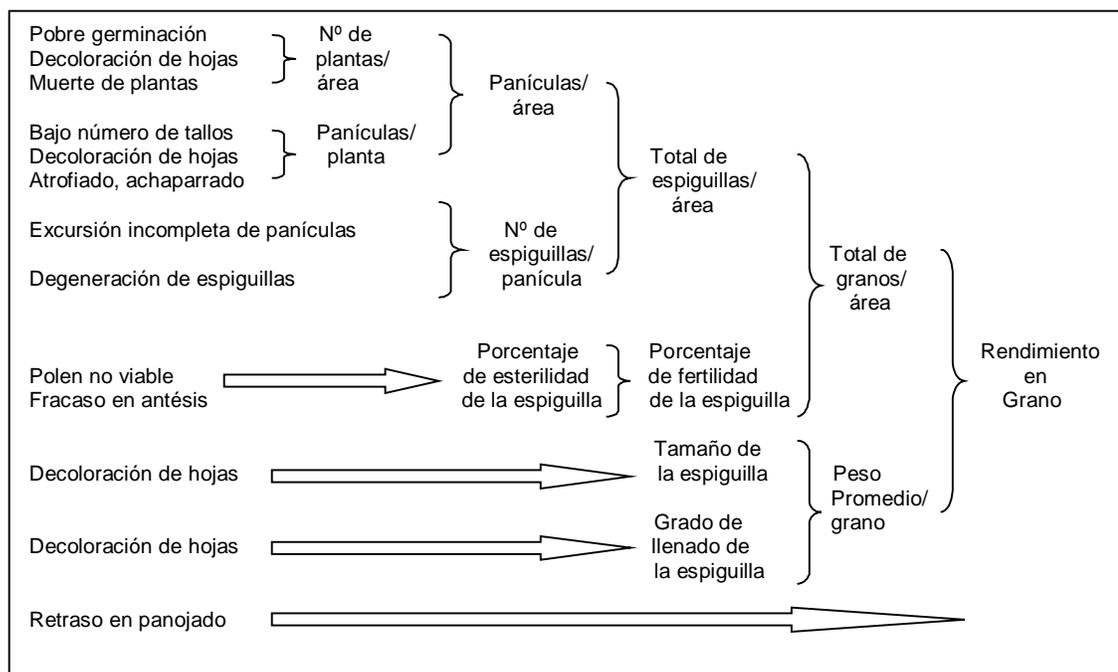


Figura N° 1. Diagrama modificado de los diferentes tipos de daño por bajas temperaturas que afectan a los campos arroceros (adaptado de Kaneda, citado por de Datta, 1981).

En 1985, en la Estación Experimental de Chuncheon (Korea) se reportaron los diferentes tipos de daños por frío según el estadio de crecimiento (Cuadro N° 3).

Cuadro N° 3. Diferentes tipos de daños por frío según estadio de crecimiento en arroz.

| Estadios | Tipo de daños |
|------------------------------|---|
| Germinación | Bajo % de germinación y alargamiento del período para la germinación. |
| Plántula | Inhibición del crecimiento vegetativo. Decoloración de hojas. |
| Después de trasplante | Inhibición de crecimiento de raíces, crecimiento y macollaje. |
| Meiosis y embarrigado | Inhibición del polen y formación de espiguillas |
| Panojamiento | Pobre excersión de la panícula. Inhibición de dehiscencia de polen y polinización. |
| Maduración | Inhibición de llenado de grano. Decoloración de hojas y temprana senescencia |

Kaneda y Beachell, citados por Toriyama (1975), también identificaron los síntomas debidos a daños por frío. Siendo las bajas temperaturas ambiente y el agua de irrigación fría, las que ocasionan los daños.

Los síntomas más comunes del daño son:

- Pobre germinación.
- Crecimiento lento y decoloración de plántulas.
- Crecimiento vegetativo caracterizado por un peso reducido y bajo macollaje.
- Retraso en el panojado.
- Excursión incompleta de la panícula.
- Prolongado período de floración.
- Degeneración de espiguillas.
- Madurez irregular.
- Esterilidad.
- Formación de granos anormales.

Las temperaturas bajas tienen un gran efecto en la etapa reproductiva a través del incremento del porcentaje de esterilidad de flores. Se citan valores de alta esterilidad con temperaturas de 17 °C durante un lapso de 6 días. Así mismo se evidenció una interrupción marcada en la división meiótica e hipertrofismos de células, causales de la esterilidad con temperaturas inferiores a 15 °C (Vidal et al., 2003).

Roel et al., citados por Castera (2000), la probabilidad de ocurrencia de temperaturas mínimas decádicas inferiores a 15 °C en la zona de Treinta y Tres (lo cuál está identificado como una de las principales causas de esterilidad) está presente desde la primera década de enero y va en aumento hasta fines de marzo. Mientras que en el extremo norte del país las probabilidades de ocurrencias de fríos se comienzan a manifestar recién a partir de la segunda década de marzo cuando ya se ha dado la totalidad de la floración.

Como se puede observar en el Cuadro N° 4 en los meses de enero, febrero y primera década de marzo de la actual zafra (1999/00) los promedios decádicos de las temperaturas mínimas son superiores a los 15 °C, no presentándose como un factor perjudicial para la esterilidad del arroz. En la segunda y tercera década de marzo los promedios de temperatura mínimas fueron inferiores a 15 °C lo que pudo afectar a chacras que tuvieron emergencias del cultivo muy tardías.

Cuadro N° 4. Temperaturas mínimas decádicas registradas en la Estación Agrometeorológica de la Unidad Experimental Paso de la Laguna – INIA Treinta y Tres.

| ZAFRA | ENERO | | | FEBRERO | | | MARZO | | |
|-------------|---------------------------|---------------------------|----------------------------|---------------------------|---------------------------|----------------------------|---------------------------|---------------------------|----------------------------|
| | 1 ^{er} Década | 2 ^{da} Década | 3 ^{era} Década | 1 ^{er} Década | 2 ^{da} Década | 3 ^{era} Década | 1 ^{er} Década | 2 ^{da} Década | 3 ^{era} Década |
| 1998/99 | 13.8 | 14.4 | 19.3 | 12.6 | 16.7 | 18.8 | 21.3 | 17.0 | 13.6 |
| 1999/00 | 15.5 | 18.7 | 15.6 | 16.6 | 16.0 | 16.2 | 16.8 | 13.1 | 10.6 |
| S.H.1972/99 | 16.1 | 16.6 | 17.2 | 16.3 | 16.8 | 16.4 | 16.0 | 15.1 | 13.9 |

2.5.1. Incidencia en la etapa vegetativa

Según Chang et al., citados por Ferreira (1998), el límite para la germinación y crecimiento post emergencia es de 15 °C.

Los cultivares modernos al ser más independientes del largo del día tienden a aumentar o a cortar la duración de la fase con los aumentos o disminución de la temperatura (MacDonald, citado por Castera, 1999).

Cuando la temperatura cae por debajo de cierto nivel, el crecimiento y desarrollo puede detenerse y éstas se consideran temperaturas inefectivas; el rango es de 9 a 18 °C dependiendo del tipo varietal (Yoshida, Dua y Garrity, citados por Blanco, 1991).

Para nuestras condiciones, en la zona Este del país hay mayor probabilidad de ocurrencia de períodos muy fríos en las primeras etapas del cultivo, retrasando la emergencia de plantas y su crecimiento (Gamarra, 1996).

Shibata, citado por Ferreira et al. (1998), reportó correlación positiva entre: tolerancia al frío de la plántula y tasa de macollaje.

Sasaki, citado por Toriyama (1975), reporta una correlación positiva entre:

1. germinación a bajas temperaturas y crecimiento inicial de plántulas.
2. crecimiento radicular y establecimiento de plántula.

Las bajas temperaturas críticas para el macollaje son de 9 °C (Chamura y Honma, citados por Toriyama, 1975).

Según Yoshida (1981), hay un rango de temperaturas mínimas entre cultivares por debajo de las cuales estos no tienen crecimiento, este varía entre 9 y 18 °C. Cuando la temperatura es alta, el macollaje aumenta, el intervalo foliar es corto y cada hoja es más larga. Un incremento de la temperatura incrementa la tasa de emergencia de hojas siendo que el número de hojas desarrolladas en el tallo medio antes de la floración es bastante constante, por lo tanto el efecto de la temperatura influye en el período que va desde la siembra hasta la iniciación de la panícula, que cuenta en mucho para la variabilidad en la duración del crecimiento de los cultivares de arroz.

Las bajas temperaturas durante elongación de hojas ocasionan daños irreversibles como esterilidad de las espiguillas, mientras que la muerte de plantas es el resultado indirecto del amarillamiento de las hojas y de la imposibilidad de las raíces de absorber nutrientes (Vergara, 1976).

Durante el macollaje ocurre una severa inhibición de la absorción de fósforo, potasio y cloro con temperaturas de 17 °C. Por su parte las bajas temperaturas (13 °C) inhiben la traslocación de: nitrógeno, fósforo, cobre, sales y carbohidratos, lo que se traduce en menor número de panículas (Nishiyama, citado por Ferreira et al., 1998).

2.5.2. Incidencia en la etapa reproductiva

El período reproductivo del arroz comprendido entre el desarrollo de la panoja y la antésis, es sumamente sensible a las bajas temperaturas. Estos períodos fríos son comunes en la zona Este del Uruguay y han sido identificados como una de las principales causas de inestabilidad de los rendimientos (Blanco, Pérez de Vida, Roel, citados por Deambrosi, 1997).

En la Figura N° 2 se presenta la probabilidad de ocurrencia de temperaturas mínimas promedio por debajo de 15 °C por década, durante los meses de enero, febrero y marzo, en dos diferentes localidades, Treinta y Tres y Artigas. Como puede observarse, la problemática de bajas temperaturas es mucho menor o nula en la zona Norte del país y puede ser muy importante en la zona Este. En esta región durante el mes de enero y las dos primeras décadas de febrero existe una probabilidad aproximada

de 20% de obtener promedio de temperaturas mínimas decádicas menores a 15 °C, las cuales pudieran ser causa de esterilidad.

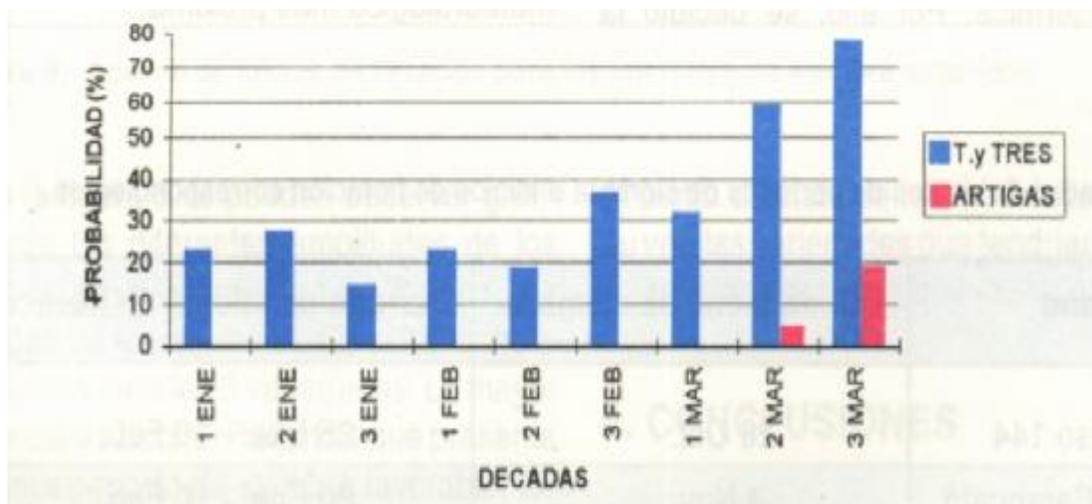


Figura N° 2. Probabilidad de temperaturas mínimas decádicas menores a 15 °C, en la Estación Agrometeorológica de la Unidad Experimental Paso de la Laguna INIA Treinta y Tres y en la Estación Agrometeorológica de CALNU-Artigas (Seria Histórica: 1972-1993).

Las variedades presentan diferente resistencia y/o tolerancia a la ocurrencia de frío durante la etapa reproductiva del cultivo. Ello se refleja en el distinto incremento de la esterilidad en siembras tardías.

En nuestras condiciones El Paso 144 es la más susceptible a condiciones de baja temperatura, mientras que INIA Yerbal e INIA Tacuarí son las más tolerantes (Blanco, Pérez de Vida, Roel, citados por Deambrosi, 1997). Se puede considerar a Bluebelle e INIA Caraguatá en un grado intermedio (Deambrosi et al., 1997).

Las bajas temperaturas en esta etapa pueden tener muy importantes efectos negativos o positivos sobre el rendimiento, tal es así que de Datta (1981) y Stansel (1980), señalaron que una relativamente baja temperatura dentro de los rangos no perjudiciales durante la fase reproductiva, favoreció el número de espiguillas por m².

Satake, citado por Ferreira et al. (1998), identificó dos tipos de daños en el arroz por frío: la esterilidad y el retardo del crecimiento. En los estadios de primordio y

antésis la esterilidad lleva a un descenso en la producción por ocurrencia de bajas temperaturas. Por otra parte el retardo en el crecimiento, causado por bajas temperaturas durante el proceso de maduración, disminuye la producción por consecuencia de la inmadurez de los granos.

Stansel (1975), define el rango de temperatura ideal en la etapa reproductiva entre 22-31 °C.

Según Stansel, citado por Ferreira et al. (1998), hay tres fases en la etapa reproductiva donde las bajas temperaturas pueden afectar a la producción:

1. iniciación de la panícula, que ocurre aproximadamente 4 semanas previas a la floración.
2. meiosis, de 10 a 12 días previos a la primer panícula visible.
3. antésis, la que ocurre 1 a 3 días después de que las flores emergieron por sobre la vaina de la hoja bandera y se continúa por alrededor de 14 días.

2.5.2.1. Iniciación del primordio floral

Según Stansel (1980) y Chang et al. (1976), con temperaturas menores a 15 °C, no se da la iniciación floral, ni diferenciación de las flores, A su vez éste último identifica el óptimo de temperaturas de la noche para iniciación floral y desarrollo, entre 18 y 25 °C. La óptima temperatura para la diferenciación de las flores depende del largo del día. Cuando los días son largos el óptimo de temperatura es alto, y cuando los días son cortos el óptimo de temperatura es menor.

Tanaka, citado por Lavecchia (1991), presenta estudios realizados en Japón que demostraron que plantas en estado de formación de primordio floral sometidas a temperaturas de 17 °C durante cinco días, resultaron completamente estériles.

A su vez Stansel (1975), encontró que durante la iniciación de la panícula, temperaturas inferiores a 15 °C determinan que el número de espiguillas por panícula disminuya.

Matsuo et al., citados por Ferreira et al. (1998), reportaron que el desarrollo de las panículas fue retardado a bajas temperaturas, mientras que las altas temperaturas (35-37 °C) aceleran este proceso. Si se acelera la excursión de la panícula la planta queda más baja, las panículas quedan altas, pequeñas y el llenado de granos disminuye.

2.5.2.2. Embarrigado

Poco después del primordio, aproximadamente ocho días, las células que producen el polen comienzan a dividirse. Las bajas temperaturas en esta etapa pueden causar alta esterilidad de grano (Stansel, citado por Castera, 1999).

La mayor causa de la reducción en la producción se cree que se debe a la esterilidad del polen, causada por daños por bajas temperaturas en el estado de desarrollo de joven microspora (Stansel, citado por Ferreira et al., 1998).

Según Stansel, citado por Ferreira et al. (1998) durante la meiosis, de 10 a 12 días previo a la primer panícula visible (cuando las aurículas de la hoja bandera pasan por las aurículas de la última hoja) los daños producidos están en función de las bajas temperaturas, de la duración de éstas y de las fluctuaciones diurnas, así como de las diferencias varietales.

Se puede definir la esterilidad por la ecuación:

$$\% \text{ est.} = \frac{(\text{media } T^{\circ} \text{ diaria} - 20^{\circ}\text{C})(\text{N}^{\circ} \text{ de días con } T^{\circ} < 20^{\circ}\text{C})}{(\text{rango } T^{\circ} \text{ diurna} - 1)(-10)} \times 100$$

Este autor define que temperaturas debajo de 20 °C son suficientes para causar esterilidad de espiguillas.

Sin embargo otros autores definen otras temperaturas como críticas para causar esterilidad. En California (USA) temperaturas de la noche por debajo de 17 °C desde embarrigado a floración afectan la meiosis, y dependiendo de su extensión y duración, también ocasionan esterilidad de flores (Ratgen y Peterson, citados por Toriyama, 1975).

Las temperaturas críticas para esterilidad causada por tiempo frío, se reportaron entre 17 y 21 °C dependiendo de la variedad (Nishiyama et al., citados por de Datta, 1986).

Satake, citado por Ferreira et al. (1998), demostró que en las variedades tolerantes se indujo la esterilidad a 15-17 °C y en las variedades sensibles a 17-19 °C. Estas temperaturas son para condiciones constantes, lo que no ocurre en la naturaleza, donde el problema se da cuando ocurren bajas temperaturas durante el día y altas en la noche. Poca esterilidad se da cuando ocurre al inverso.

Trabajos en ambientes controlados de éste mismo autor, muestran que el más sensible de los estados a daños por frío es durante el estado de microspora en el desarrollo del polen, que ocurre alrededor de 10 días previos a floración. Temperaturas menores a 20 °C durante éste período mostraron una marcada reducción de las flores y por lo tanto fertilidad de espiguillas.

El período crítico para daños por frío en el campo es probable que sea más largo que el indicado bajo condiciones de trabajo en ambientes controlados. Esto es debido una extensión en la edad fisiológica del desarrollo de las panículas en el tallo principal y en los macollos que podrían tener diferente tiempo de exposición.

Nishiyama, citado por Ferreira et al. (1998), encontró que los daños por bajas temperaturas en la meiosis causan esterilidad (más precisamente en el estado de joven microspora) y en la antésis causan infertilización.

Esto corroborado por Satake, citado por Ferreira et al. (1998), que identificó que el estado más sensible es el de joven microspora, comprendido desde la tétrada a la primer fase de contracción después de la división meiótica. Secundariamente sería el estado previo a leptotenia. En la meiosis son marcadamente visibles las alteraciones como: movimiento de cromosomas, formación de la membrana celular.

En cambio el trabajo presentado por Satake y Hayase, citados por Ferreira et al. (1998), mostró que el estado más sensible al enfriamiento no es el de división meiótica, si no el de joven microspora, desde la tétrada hasta la primer fase de contracción.

Otros resultados sugieren la existencia de un secundario estado sensible al enfriamiento, que se da previo a la división meiótica de las células madres del polen. En este antecedente se basaron Satake y Hayase (1974), para identificar el segundo estadio más sensible al enfriamiento, que se daría justo antes de la temprana etapa de leptoteno. Esta etapa susceptible a disturbios fisiológicos es crítica en determinar la división meiótica y el normal apareamiento de los cromosomas.

Bajas temperaturas durante ésta etapa quizás provoquen subsecuentes aberraciones, tales como alta frecuencia de univalentes, cese del desarrollo y degeneración de microsporas.

Por lo tanto los momentos de mayor importancia serian:

1. joven microspora, desde la tétrada a la primer fase de contracción.
2. estado de leptoteno.

El intervalo de tiempo entre los dos estados más sensibles es estimando en alrededor de dos días y medio.

La susceptibilidad al frío durante meiosis se manifiesta en la sinapsis de los cromosomas y la anormal hipertrofia del tapete celular que ocurre desde la primera a la segunda fase de contracción de las microsporas (Chang et al., citados por Ferreira et al., 1998).

Por su parte Satake (1976), reportó éstas y otras anomalías citológicas:

- daños en la diferenciación del grano de polen y surco embrionario de la célula madre.
- no acoplamiento de los cromosomas durante la meiosis.

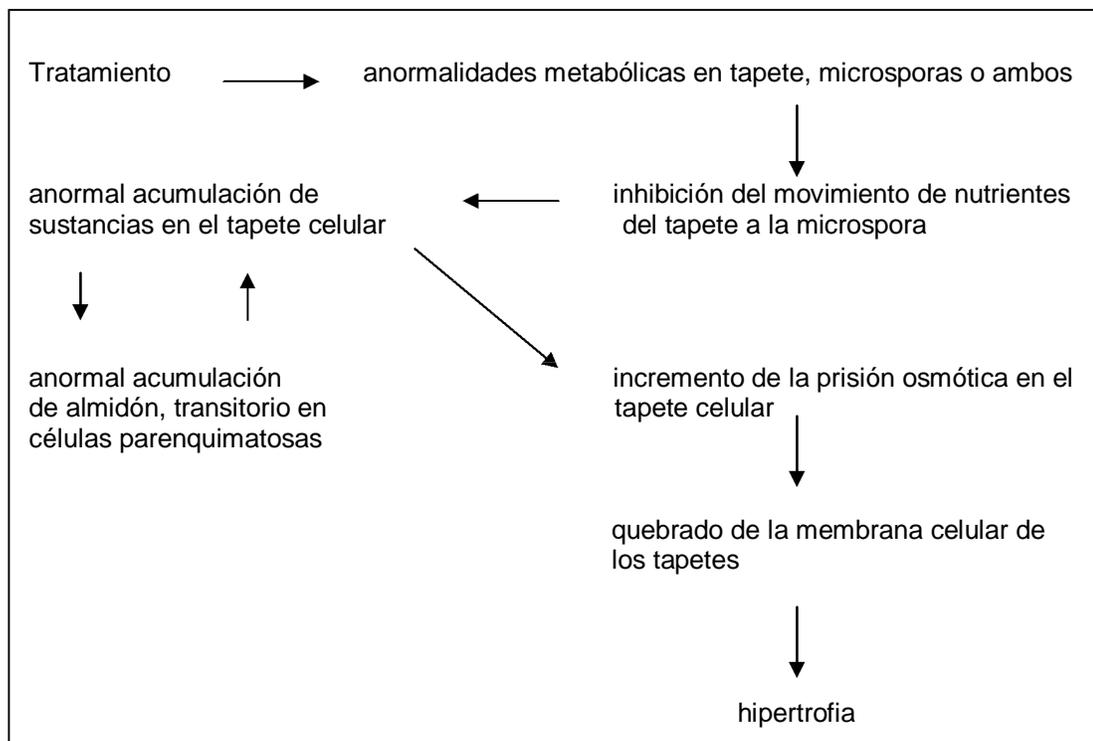
- interrupción de la formación de la pared celular después de la meiosis, ésta produce en el polen células con 2 a 4 núcleos que no son funcionales y degeneran.
- hipertrofia del tejido del tapete en las anteras dañadas. El porcentaje de hipertrofia del tapete celular se incrementa con las bajas temperaturas, a su vez la tasa de hipertrofia del tapete por tratamientos con frío se correlaciona con la resistencia varietal a la esterilidad, producida por el frío.

La función del tapete celular es regular el movimiento de nutrientes desde los tejidos circundantes hacia la microspora. Si ocurren daños en el sistema metabólico (hipertrofia del tapete) el suministro de nutrientes (azúcares) a la microspora puede ser afectado, y esto sería la mayor causa de los daños que ocasionan inviabilidad de polen y esterilidad.

Cuando se da acumulación anormal de azúcar se produce el quebrado de las paredes inter tapete y esto conduce a la fusión de algunos de ellos.

Se observó que las anteras tratadas con frío tuvieron un incremento en el contenido de sacarosa; se asume que el anormal incremento de ésta en el tapete celular aumenta la presión osmótica y resulta en hipertrofia del tapete.

Cuadro N° 5. Mecanismo de hipertrofia del tapete.



Ito, citado por Ferreira et al. (1998), observó que con tratamientos de frío decrece el porcentaje de polen maduro y la fertilidad de espiguillas.

El peso seco y el total de aminoácido de las anteras decreció en un 40 -50% en el tratamiento con frío (4 días a 12 °C desde célula madre del polen a división meiótica) con respecto al testigo, este decrecimiento fue paralelo a la esterilidad.

Para una normal madurez de las anteras la fracción prolina debe ser un 40-50% del total de aminoácidos, esto indicaría que actúa como sustancia de reserva que contribuye a la germinación del polen y crecimiento del tubo polínico.

El contenido total de aminoácidos disminuye con tratamientos de frío, pero es la fracción prolina la que más decrece.

La supresión del incremento en peso total de aminoácidos y contenido de prolina de las anteras se da 4 días post tratamiento (7 días antes de floración). Este tiempo coincide justo cuando se da una aparente supresión del largo de la antera, actividad respiratoria, proteína y cantidad de ácido fosfórico soluble, por lo tanto el frío afectaría un proceso bioquímico común que conduciría a esta supresión.

Por su parte Satake (1976), realizó tratamientos con frío durante meiosis, y observó retardo en el crecimiento en largo de la palea, pero no en largo final. Por otra parte reportó que se acorta el largo de la antera entre en 10-20% en panojado. También disminuye el peso seco por antera y el contenido de N, P, K y de proteínas.

Esta disminución en panojado coincide con el descenso de la fertilidad debido al tratamiento con frío.

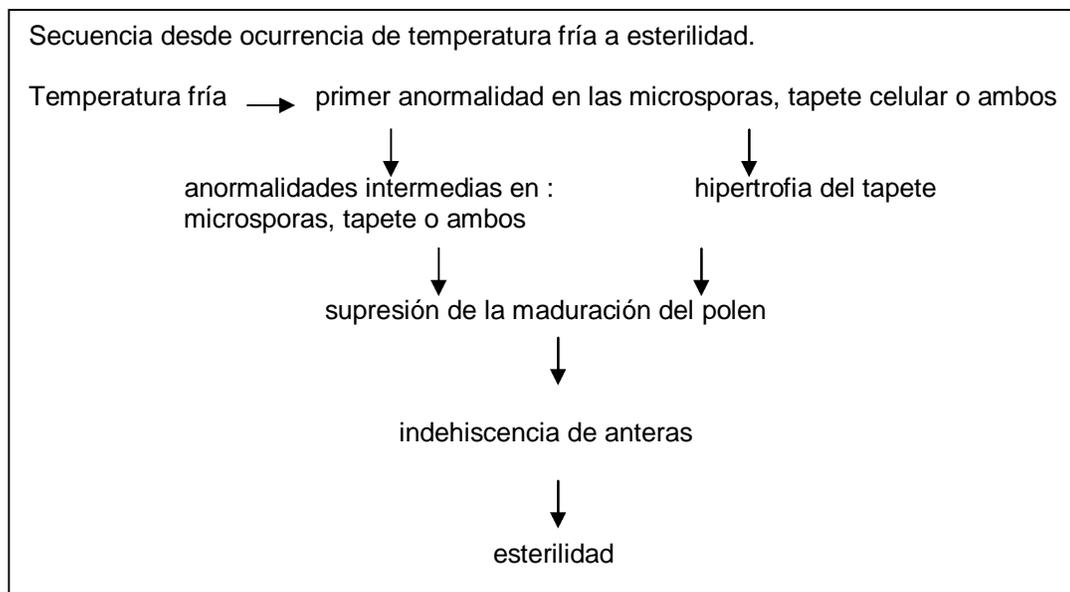
Las anormalidades pueden ser detectadas dentro de los 4-5 días post tratamiento.

Al igual que Ito (1976), identificó que la fracción prolina es la mayor de todos los aminoácidos en la antera y que su contenido decrece considerablemente en caso de esterilidad fisiológica y genética.

Todos los aminoácidos disminuyen ante el enfriamiento, por lo tanto la diferencia entre anteras sanas y tratadas con frío se hace perceptible por el contenido de prolina y del total de aminoácidos cuatro días después del tratamiento.

Como ya se menciona, el estado de joven microspora es el más sensible y el más directamente afectado. La temperatura ambiental antes y después de éste estado crítico, influencia el grado de esterilidad que es inducido por las bajas temperaturas.

Cuadro N° 6. Secuencia desde ocurrencia de bajas temperaturas a esterilidad.



2.5.2.3. Antésis

Las temperaturas que se reportan como críticas son las menores a 22 °C en cultivares índicos, temperaturas diurnas mayores acompañadas de altos niveles de radiación dan una adecuada condición climática (Stansel, citado por Castera, 1999).

Diversos estudios de la incidencia de la temperatura en éste período concluyen que los daños pueden deberse tanto al efecto de bajas y altas temperaturas.

Stansel, citado por Ferreira et al. (1998), identifica que el período más importante en determinar la esterilidad es durante la antésis. Las bajas temperaturas influyen en la maduración del polen y por lo tanto en la esterilidad de las flores. La floración tiene una distribución normal con el máximo en el 8°-9° día (cuando el 25 % de las flores están en antésis).

La polinización ocurre 3 a 8 horas después del amanecer (entre las 10 y 15 horas).

Por otra parte la mínima temperatura para la apertura de flores es reportada desde 15^a 18 °C en variedades japónicas (Terao et al., 1937) a 21-22 °C para variedades índicas (Vergara et al., citados por Toriyama, 1975). A su vez Stansel (1975), encontró estos mismos niveles críticos de temperatura para que ocurra la antésis.

Chebataroff y Píriz, citados por Gamarra (1996), encontraron que temperaturas medias de 19 °C o inferiores, alrededor de ocho días después del comienzo de floración, provocan de un 40 a 50 % de esterilidad en Bluebelle. Sostienen en dicho trabajo que temperaturas medias de 16 °C o inferiores, actuando durante un tiempo prolongado en ese momento pueden causar esterilidad y reducción del rendimiento ya que el número de granos por panícula depende del número de flores producidas y del número de esas flores que son polinizadas.

De Souza y de Datta, citados por Gamarra (1996), sostienen que entre las 10 y 14 horas se produce la fecundación de las flores, y las temperaturas por debajo de 15 °C en ese momento pueden causar esterilidad y reducción del rendimiento y la que el número de granos por panícula depende del número de flores producidas y del número de esas flores que son polinizadas.

El efecto del frío puede ser menos severo en el período previo a floración en comparación con la esterilidad que puede ocurrir como resultado del frío durante antésis (Yoshida, 1981).

Lee, citado por Toriyama (1975), encontró una significativa correlación entre la esterilidad de plantas tratadas a bajas temperaturas en la etapa meiótica y la esterilidad de las plantas tratadas en floración.

2.5.3. Incidencia en la etapa de maduración (llenado de grano).

Según Munakata , citado por Ferreira et al. (1998), el óptimo de temperatura para la maduración es entre 20 y 23 °C. Alrededor del día 20 del período de llenado, hay una lenta declinación en madurez por bajas temperaturas y una alta declinación por altas temperaturas.

Ritchie e IRRI, citados por Castera (1999), afirman el concepto de que la tasa de llenado de grano es casi constante entre variedades se el promedio de temperatura es relativamente constante hasta que el grano este casi lleno, agregando que las diferencias en la duración que podrían existir, se deberían a las diferentes temperaturas registradas en las distintas localidades. Esto lleva a que la duración de esta fase sea mayor en una zona templada que en una zona tropical.

Nishiyama (1976), reportó que la maduración del grano es adversamente afectada por temperaturas menores a 17 °C. A su vez Tanaka, citado por Toriyama (1975), indica que las temperaturas mínimas para la maduración de grano son entre 12 y 18 °C.

Stansel, citado por Ferreira et al. (1998), encontró que altas temperatura durante el llenado aceleran la maduración, reducen el contenido de humedad del grano y cortan el suministro de carbohidratos, resultando en granos mas chicos y de menor calidad. Por el contrario baja respiración combinadas con disminución en la humedad y progresivo descenso de la temperatura (de 21 a 14 °C) incrementa la producción. Con temperaturas de la noche mayores a 22 °C se incrementa la respiración y disminuye el balance de fotosintatos que van hacia la panícula. Por otra parte baja iluminación y temperatura, reducen la tasa fotosintética, limitando la cantidad de fotosintatos para la producción de grano. Con temperaturas por debajo de 22 °C durante el día la fotosíntesis es menor pero se compensa con la menor respiración.

Las bajas temperaturas en el estado de maduración tienen significativo impacto en la deposición de sustancias y en particular causan retarde en su deposición . La reducción en la producción se debe a un progresivo descenso de la temperatura durante el estado de maduración; también cuando en éste estado la temperatura es alta la producción decrece debido a un excesivo consumo de energía acompañado de respiración durante la maduración. Esto implica que para la fijación de dióxido de carbono a través de la fotosíntesis, son preferibles temperaturas de 25 a 30 °C ya que a altas temperaturas la respiración se hace vigorosa y la sacarosa que tendría que convertirse en sustancia de reserva es consumida como fuente de energía.

Durante la noche cuando la fotosíntesis no se produce es deseable para el incremento de la producción del cultivo que las temperaturas sean bajas, pero no tan bajas como para inhibir la traslocación (Matsuo et al., citados por Ferreira et al., 1998).

Fukushige, citado por Toriyama (1975), confirma que el efecto de la temperatura sobre la madurez de grano es a través del impacto en la tasa fotosintética y velocidad de traslocación.

Excepto durante macollaje y tarde en el llenado, bajas temperaturas nocturnas (16 - 21 °C) favorecen la producción de rano (Matsushima y Tsunoda, citados por de Datta, 1986).

En panículas expuestas a bajas temperaturas (11-15 °C), la traslocación de ácido fosfórico fue fuertemente inhibida (Aimi y Sawamura, citados por Ferreira et al., 1998). Estos resultados indican que la temperatura afecta la traslocación de sustancias a las espiguillas durante este período.

2.5.4. Tipos de daño y órganos afectados por temperaturas frías.

Temperaturas frías causan muchas lesiones en diferentes etapas de crecimiento de arroz, y resulta en algo de reducción del rendimiento. Esterilidad y retraso de crecimiento son los principales factores de reducción del rendimiento, la esterilidad es causada por temperaturas frías en dos diferentes etapas: la etapa de joven microspora y la etapa de floración.

En el tipo de retraso de crecimiento, la reducción de rendimiento de arroz es debido a insuficiente maduración de grano causada por temperaturas frías durante el período de maduración.

La gran parte de el daño es esterilidad debida a temperaturas frías en torno a etapa de joven microspora en etapa de embarrigado, y siguiente daño justo antes de floración en antésis (Kariya, 2003).

2.5.4.1. Estado de crecimiento y sensibilidad de órganos a bajas temperaturas.

Según Tsunoda y Takahashi (1984), el estado meiótico de la célula madre de polen ha sido considerada la más sensible durante el embuche o embarrigado, porque las anomalías citológicas fueron observadas microscópicamente en la meiosis.

Resultados significaron que la primera causa de infertilización es la inviabilidad de la antera, y que el pistilo y los otros órganos de la flor son semejantes a la palea, lema y lodículas son mucho menos susceptible al frío (Tsunoda y Takahashi, 1984).

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. ESTUDIO

A partir del estado de embuche inclusive se sometieron plantas a temperaturas de 15 °C durante la noche, por 3 noches seguidas en las siguientes etapas: estado de los macollos de embuche o embarrigado (posible microsporogénesis) y antésis, estado de los tallos principales (50% de floración).

3.2. LOCALIZACIÓN

El ensayo del experimento estuvo instalado en el departamento de Paysandú, en la Estación Experimental Dr. Mario A. Cassinoni, Facultad de Agronomía, Ruta Gral. Artigas (N° 3) Km.363, comprendiendo el año agrícola 2003/2004.

3.3. CARACTERÍSTICAS EDAFICAS

Las muestras de suelo que se utilizaron en el experimento, fueron extraídas de la localidad de la Colonia Itapebí, departamento de Salto. Estas pertenecían a un suelo clasificado como Brunosol Eutrico, correspondiente a la unidad Itapebí -Tres Árboles de la carta a escala 1:1.000.000 (URUGUAY. MGAP. DGRNR, 1994).

3.4. CULTIVARES UTILIZADOS EN EL EXPERIMENTO

Fueron utilizados un total de 12 materiales. Se evaluaron diferentes variedades e incluso algunas líneas promisorias, con distinto origen y duración del ciclo de crecimiento, de los cuales algunas de ellas pertenecen al genotipo Japonico y otros al genotipo Indico.

Variedades utilizadas: *El Paso 144, INIA Caraguatá, INIA Cuaró, INIA Olimar, INIA Tacuarí, INIA Zapata, Coronilla N° 13, CH₂ A, FL 6, Selección Australiana Japonesa, Selección 120 T y XP 710.*

3.5. MANEJO DEL ENSAYO

3.5.1. Siembra

El ensayo fue sembrado en macetas el día 24 de octubre de 2003, en muestras de suelo extraídas de una chacra con laboreo convencional realizado en el invierno previo.

3.5.2. Fertilización

La fertilización basal fosfatada en base al análisis de suelo, fue de 30 Kg. de P_2O_5 /há. con la fórmula 0-46-0.

3.5.3. Control de malezas

En el período comprendido entre siembra e inicio de la emergencia se realizó un control de malezas con Glifosato a razón de 4 litros/há.

3.5.4. Manejo del agua

Se realizaron baños durante el período siembra fin de emergencia a fin de mantener la humedad suficiente en el suelo, luego desde comienzo de macollaje hasta fin de ciclo se mantuvieron inundadas las macetas.

3.6. DISEÑO EXPERIMENTAL

El diseño experimental utilizado fue en bloques con parcelas al azar, y tres repeticiones. Los tratamientos fueron instalados según arreglo factorial completo.

El experimento consistió en un factorial de:

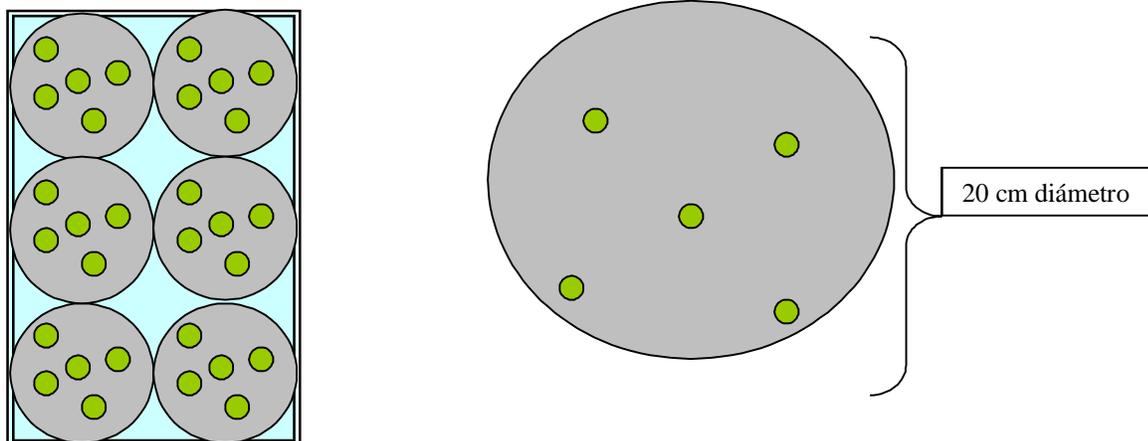
12 variedades de arroz

3 tratamientos de temperatura en estadios fenológicos definidos

1. 15° C durante 3 noches consecutivas en embarrigado
2. 15° C durante 3 noches consecutivas en antésis
3. testigo a temperatura ambiente

En el siguiente croquis se puede apreciar la representación del diseño experimental instalado en la Estación Experimental de la Facultad de Agronomía, en macetas, contenidas éstas últimas de a cinco en una maceta grande de forma rectangular.

Conteniendo 5 plantas/maceta, tamaño de maceta (176 cm² y 2500 cc) (5 repeticiones de cada tratamiento), 6 tratamientos: testigo sin frío, tratamientos de frío en: microesporogénesis, 50% antésis, comienzo llenado de grano. Totalizando 30 plantas/ tarrina rectangular (para caracterización).



3.6.1. Análisis de datos

Como los tratamientos se aplicaron a igual estadio fenológico pero en día calendario diferente, la temperatura del tratamiento testigo fue variable. Las características del año determinaron que en varios momentos la temperatura ambiente fuera menor que la temperatura controlada, lo que eliminó el “efecto fijo tratamiento”.

Como consecuencia, el análisis estadístico se realizó utilizando un análisis de Factores por Componentes Principales, tomando como variables:

- temperatura mínima promedio de 3 días entorno a embuche (TA3d)
- temperatura mínima promedio de 3 días entorno floración (TD3d)
- temperatura mínima promedio de 10 días previo a floración (TA10d)
- temperatura mínima promedio de 12 días posfloración (TD12d)
- días con temperatura igual a 15° C previo a floración sin incluir los tres días del tratamiento a 15° C (TA15NIN)
- días con temperatura menores e igual a 14° C previo a floración (TA14)
- días con temperatura igual a 15° C después de floración sin incluir los tres días del tratamiento a 15° C (TD15NIN)
- días con temperaturas menores e igual a 14° C después de floración (TD14).

El análisis de factores por componente principal, permite resumir el ambiente al que se sometió cada cultivar. De esta forma se identificaron “ambientes” determinados por las temperaturas ocurridas pre y post floración, ya sea por condiciones ambientales o por los tratamientos establecidos.

3.7. DETERMINACIONES EN CADA UNA DE LAS MACETAS

3.7.1. Esterilidad

Esterilidad de espiguillas en la panoja del tallo principal y en la panoja de los macollos primarios y secundarios.

3.7.2. Excursión de panoja

Excursión de la panoja en el tallo principal y en los macollos primarios y secundarios.

3.7.3. Número de tallos

Se contó el número total de tallos por tratamiento.

3.7.4. Número de panojas

Se contó el número total de panojas por tratamiento.

3.7.5. En cada panoja por tratamiento

3.7.5.1. Excursión de panoja

Se midió la distancia en centímetros, desde la base de la panícula hasta el punto en donde emergía de la vaina de la hoja bandera. Cuando la base de la panícula se hallaba por fuera de la vaina, esa distancia se tomaba como valor positivo, en tanto cuando la base de la panícula se hallaba dentro de la vaina, esa distancia se tomaba como valor negativo.

3.7.5.2. Número de granos totales

Se contó el número total de granos por cada panoja.

3.7.5.3. Número de granos estériles

Se contó el número de granos estériles por cada panoja.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA

4.1.1. Comportamiento de las bajas temperaturas

En las Figuras 3 y 4 se presenta la frecuencia de bajas temperaturas ocurridas en la serie histórica en los meses de enero y febrero para Paysandú, en el Cuadro 4 se presenta la situación del año 2004.

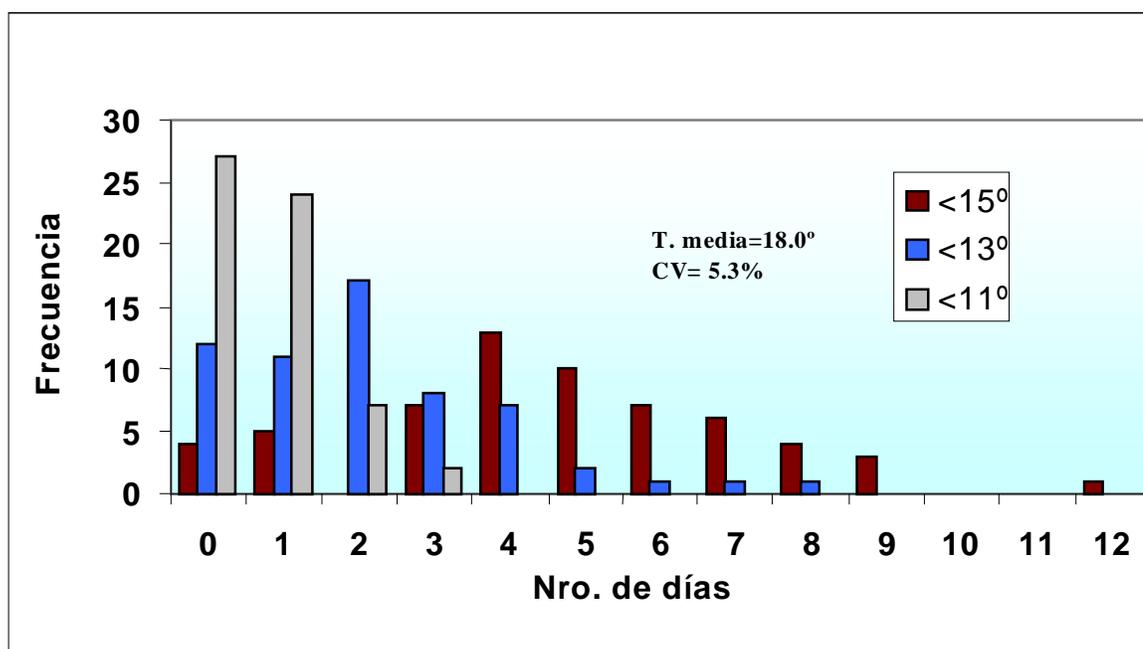


Figura 3. Número de días para el mes de enero con temperaturas menores a 15, 13 Y 11° C (Serie histórica 1944 – 2003, Paysandú).

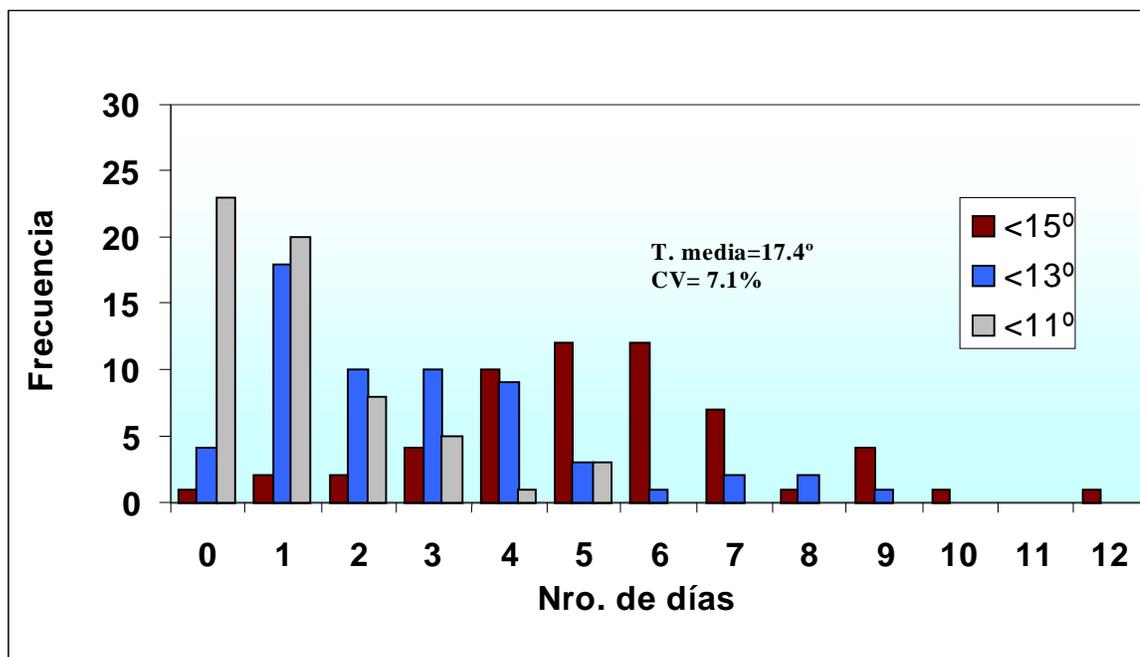


Figura 4. Número de días para el mes de febrero con temperaturas menores a 15, 13 y 11° C (Serie histórica 1944 – 2003, Paysandú).

Cuadro 7: Número de días con temperatura por debajo de 15, 13, y 11 grados Celsius (°C), temperatura media y coeficiente de variación, registrados en la zona del experimento por la Estación Meteorológica de Paysandú para los meses de enero y febrero de 2004.

| Temperatura (°C) | Enero | Febrero |
|------------------------|-------|---------|
| < 15 | 5 | 10 |
| < 13 | 1 | 5 |
| < 11 | 1 | 1 |
| Temperatura media (°C) | 18.3 | 16.5 |
| C. V. (%) | 15 | 20 |

Comparando lo ocurrido en los meses de enero y febrero de 2004 con la serie histórica, se puede ver que enero no difirió de la media de la serie 18.3 vs. 18.0° C., tuvo 5 días con temperatura menores a 15° C, y en la serie histórica la frecuencia de días con temperaturas menores a 15° C fue de 4.

En cuanto a días con temperatura menores 13 y 11° C, enero tan solo tuvo un día con temperaturas por debajo de esos valores y en la serie histórica la frecuencia de ocurrencia de por lo menos un día con esa temperatura fue un 40 % de probabilidad de que ocurra (Figura 3).

El mes de febrero de 2004 fue más frío que lo normal, con 5 días con temperaturas menores de 13° C (Cuadro 7). La frecuencia de este fenómeno fue de 3 en 60 años (Figura 4), es decir un 5 % de probabilidad de que se de tan frío.

Respecto a días con temperaturas por debajo de 15° C, en febrero de 2004 hubieron 10 días a menos de 15° C, límite por debajo del cuál comienza a producirse disminuciones en la fecundidad de espiguillas en las plantas de arroz, cuando estas temperaturas coinciden con el período reproductivo. La frecuencia histórica para la ocurrencia de días con esas temperaturas fue de 6, con una probabilidad muy baja de que se de tal fenómeno (Figura 4).

Las características del año fueron más frías que las descritas por Deambrosi et al. (1997), quienes sostienen que, la problemática de bajas temperaturas es mucho menor o nula en la zona Norte del país y puede ser muy importante en la zona Este. La ocurrencia de bajas temperaturas durante la etapa reproductiva del arroz es común en la zona Este del Uruguay y han sido identificados como una de las principales causas de inestabilidad de los rendimientos (Blanco, Pérez de Vida, Roel, citados por Deambrosi 1997).

Por otro lado, Roel et al., citados por Castera (2000), sostiene que en el extremo norte del país las probabilidades de ocurrencias de fríos se comienzan a manifestar recién a partir de la segunda década de marzo cuando ya se ha dado la totalidad de la floración.

En función de esta información, no se puede excluir a la zona Norte de la ocurrencia de temperaturas frías durante el período de emergencia, lo cual retrasaría la misma provocando que el período reproductivo se desplace hacia el período de mayor probabilidad de ocurrencia de frío, y/o de la ocurrencia de bajas temperaturas en los meses de enero y febrero cuando se el cultivo esta en pleno período reproductivo.

En conclusión, en febrero de 2004, hubieron muchos días con temperaturas frías entre 11 y 13° C, y la media en el 2004 fue más baja 16.5°, comparado a la media ocurrida en los 60 años de la serie histórica que fue de 17.4° C.

4.2. CARACTERIZACIÓN DE LOS AMBIENTES

Como se registraron bajas temperaturas ambientales durante el período experimental, siendo éstas aún más bajas que a la que fueron sometidos los tratamientos de frío establecidos, el efecto tratamiento no logró establecer las diferencias buscadas. Las bajas temperaturas ambientales afectaron en forma diferente a los cultivares en función de su ciclo a floración, por lo que fue necesario caracterizar el ambiente prefloración y pos floración en función de la temperatura real a la que se sometió cada cultivar en el tratamiento testigo (Cuadro 8).

Cuadro 8: Temperatura mínima diaria ambiental en gradas Celsius (°C) registrada durante el período experimental (Estación Meteorológica EEMAC. para los meses de enero y febrero de 2004).

| Fecha | Enero | Febrero |
|---------|-------|---------|
| 01/2004 | 9.6 | 20.6 |
| 02/2004 | 13.5 | 18.5 |
| 03/2004 | 15.9 | 20.4 |
| 04/2004 | 19.2 | 21.4 |
| 05/2004 | 19.1 | 17.4 |
| 06/2004 | 21.5 | 14.0 |
| 07/2004 | 21.6 | 15.0 |
| 08/2004 | 19.2 | 17.1 |
| 09/2004 | 19.5 | 19.0 |
| 10/2004 | 21.0 | 20.0 |
| 11/2004 | 17.8 | 19.1 |
| 12/2004 | 13.8 | 21.0 |
| 13/2004 | 20.2 | 21.0 |
| 14/2004 | 17.3 | 18.0 |
| 15/2004 | 17.2 | 13.1 |
| 16/2004 | 13.7 | 15.0 |
| 17/2004 | 18.6 | 16.8 |
| 18/2004 | 19.6 | 13.9 |
| 19/2004 | 20.6 | 14.8 |
| 20/2004 | 19.8 | 10.2 |
| 21/2004 | 19.2 | 12.8 |
| 22/2004 | 19.2 | 12.0 |
| 23/2004 | 18.4 | 11.4 |
| 24/2004 | 17.7 | 14.9 |
| 25/2004 | 16.3 | 16.8 |
| 26/2004 | 18.7 | 18.5 |
| 27/2004 | 21.6 | 17.9 |
| 28/2004 | 14.9 | 12.3 |
| 29/2004 | 18.7 | 16.8 |
| 30/2004 | 20.7 | |
| 31/2004 | 21.8 | |

Para caracterizar el comportamiento de los cultivares en estudio con relación a su comportamiento frente a la temperatura se caracterizó el ambiente en función de la temperatura registrada en el testigo y en los tratamientos con temperatura controlada durante los períodos críticos.

El análisis de factores por componente principal, permite resumir el ambiente al que se sometió cada cultivar. De esta forma se pudo identificar “ambientes” determinados por las temperaturas ocurridas pre y post floración, ya sea por condiciones ambientales o por los tratamientos establecidos (Cuadro 9).

Cuadro 9: Componentes principales, variables que los forman, sus coeficientes y coeficientes de correlación.

| Variables | Factor 1 | Factor 2 | Factor 3 |
|-----------------|----------|----------|----------|
| TA 3d | -0.02032 | -0.44793 | -0.46873 |
| TD 3d | -0.13481 | 0.22771 | 0.89431 |
| TA 10d | -0.42955 | -0.37833 | 0.52383 |
| TD 12d | -0.95832 | 0.14966 | -0.07746 |
| TA 15NIN | 0.56945 | 0.77418 | -0.00267 |
| TA 14 | 0.38848 | 0.87255 | -0.03528 |
| TD 15NIN | 0.74312 | -0.48690 | 0.26799 |
| TD 14 | 0.83474 | -0.49776 | 0.08967 |
| r^2 | 0.36 | 0.28 | 0.17 |
| r^2 Acumulado | 0.36 | 0.64 | 0.81 |

El Factor 1 explica el 36% de la variación registrada. En función del valor absoluto de los coeficientes, se denominará *temperatura post floración*. El segundo componente se denominará *temperatura pre floración*. El tercer componente será desestimado por su bajo r^2 .

El 64% de la variación en la temperatura entorno a la floración fue explicado por dos factores compuestos por la temperatura mínima promedio de 3 días entorno al momento de someter las plantas al primer tratamiento (**TA3d**), la temperatura mínima promedio de 3 días entorno al momento de someter las plantas al segundo tratamiento (**TD3d**), la temperatura mínima promedio de 10 días previo a floración (**TA10d**), la temperatura mínima promedio de 12 días posfloración (**TD12d**), días con temperatura

igual a 15° C previo a floración sin incluir los tres días del tratamiento a 15° C (**TA15NIN**), días con temperatura menores e igual a 14° C previo a floración (**TA14**), días con temperatura igual a 15° C después de floración sin incluir los tres días del tratamiento a 15° C (**TD15NIN**) y días con temperaturas menores e igual a 14° C después de floración (**TD14**).

El Factor 1 (36% de la variación) está compuesto principalmente por las variables asociadas a bajas temperaturas (menor a 15° C) en pos floración y el Factor 2 (28% de la variación), a bajas temperaturas en prefloración, y un tercer Factor con una menor influencia (17% de la variación) que refiere al efecto de la baja temperatura promedio ocurrida entorno la momento de aplicarse el segundo tratamiento. Por tanto, en base a esta información, se identificaron dos variables (factores) que resumen las condiciones de temperatura pre y post floración y que serán utilizadas como fuente de variación para el estudio de la respuesta de los cultivares a la temperatura durante ese período.

De esta manera quedaron entonces conformados dos ambientes, uno con temperatura fría antes de floración y el otro con temperatura fría después de floración.

4.2.1. Respuesta de los cultivares a las condiciones de temperatura entorno a floración.

En las Figuras 5 y 6, se presenta el valor absoluto estimado para las dos variables ambientales definidas, para cada cultivar evaluado, representando el ambiente al que se sometió cada variedad con relación al promedio para cada componente. En función de esto, es posible definir cuatro grupos en base a las condiciones similares de temperatura en torno a floración que efectivamente tuvieron los cultivares.

Grupo I: INIA Caraguatá, CH2 A, INIA Olimar e INIA Zapata, Grupo II: Coronilla, INIA Cuaró y El Paso 144, Grupo III: Selección 120 T (S120T), Selección Australiana Japonesa (SAJ), INIA Tacuarí y XP 710, y Grupo IV: FLAR (FL 6).

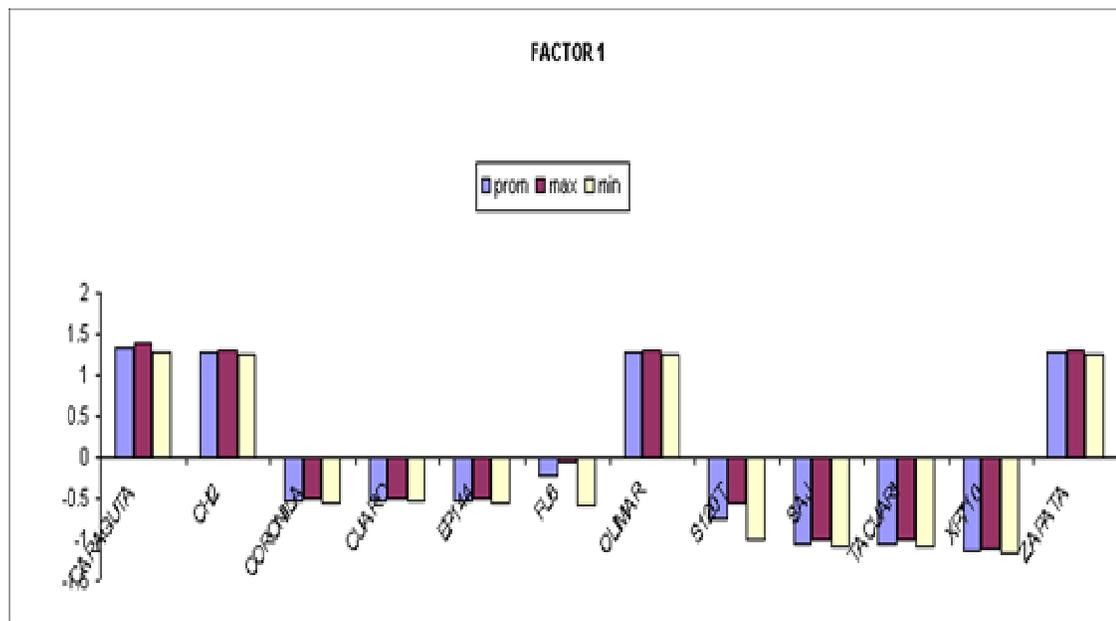


Figura 5. Valores del componente temperatura posfloración determinados por cada variedad.

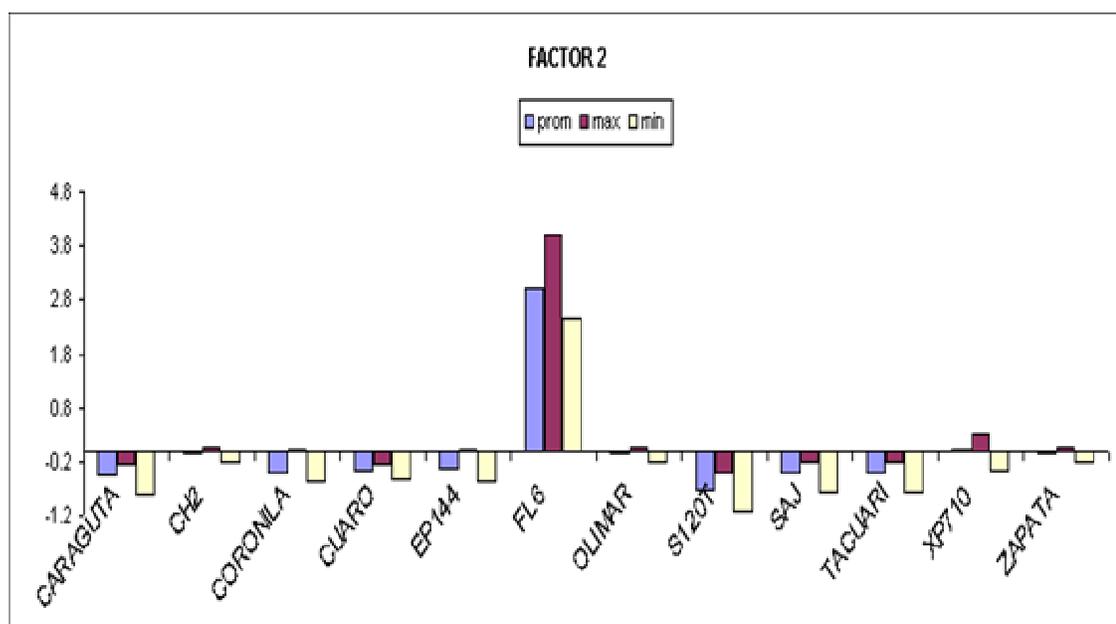


Figura 6. Valores del componente temperatura prefloración determinados por cada variedad.

En los Cuadros 10 y 11, se describen las condiciones de temperatura para cada grupo de cultivares descrito anteriormente.

Cuadro 10: Temperaturas mínimas medias por período para cada grupo.

| Grupo | T1 3d | T2 3d | TA 10d | TD 12d |
|-------|-------|-------|--------|--------|
| I | 18.0 | 16.3 | 17.8 | 14.5 |
| II | 17.9 | 15.5 | 18.2 | 17.0 |
| III | 17.4 | 17.0 | 18.1 | 17.9 |
| IV | 16.3 | 16.8 | 13.5 | 15.0 |

Referencias: T1 3d, T2 3d: temperatura media de 3 noches durante el tratamiento 1 y 2; TA 10d, TD 12d: temperatura media nocturna 10 días prefloración y de 12 días posfloración sucesivamente.

Cuadro 11: Numero de noches con temperaturas del aire por debajo de 15° C para las variedades de cada uno de los grupos, en prefloración y posfloración.

| Variedad | Grupo | Pre floración | Pos floración |
|----------------|-------|---------------|---------------|
| INIA Caraguatá | I | 2 | 9 |
| CH2 A | I | 2 | 9 |
| INIA Olimar | I | 2 | 9 |
| INIA Zapata | I | 2 | 9 |
| Coronilla | II | 1 | 4 |
| INIA Cuaró | II | 1 | 4 |
| El Paso 144 | II | 1 | 4 |
| S 120 T | III | 1 | 3 |
| S A J | III | 1 | 2 |
| INIA Tacuarí | III | 1 | 2 |
| XP 710 | III | 1 | 3 |
| FL 6 | IV | 9 | 4 |

Farrell et al. (2003) indican que bajas temperaturas en la noche durante el desarrollo reproductivo (en medio entre inicio de panícula y floración) induce esterilidad de espiguillas en arroz.

Las variedades integrantes del Grupo I, por su similitud en el largo de ciclo florecieron en igual fecha, por lo que tuvieron el mismo ambiente pos floración. Fue el ambiente más frío, con nueve días de temperaturas inferiores a 15° C, con una

temperatura media mínima de 13.1° C. En prefloración, este grupo recibió dos días con temperaturas debajo de 15° C, sumado en total 11 noches con temperaturas frías.

Para el Grupo II, la floración de las variedades que lo integran se dio en igual fecha, pero siete días antes que para el Grupo I. Esto determinó que tuvieran un ambiente menos frío que el Grupo I, con cuatro noches con temperaturas menores a 15° C en pos floración, y tan solo una noche a temperatura fría en prefloración. En total hubieron cinco días de temperatura fría entre pre y pos floración.

El Grupo III, lo integran los cultivares SAJ e INIA Tacuarí, que por su ciclo más corto con respecto a las otras dos que integran este grupo, tuvieron tan solo dos noches de temperatura fría. Las otras dos S120 T, XP 710 florecieron cuatro y siete días respectivamente más tarde que las anteriores variedades, por lo que tuvieron tres noches de temperatura fría luego de la floración, y las cuatro variedades tuvieron solo una noche de temperatura fría en pos floración, o sea que antes y después de la floración solamente tuvieron cuatro noches en total con temperaturas por debajo de 15° C.

El comportamiento diferente del ambiente a que estuvo sometido FL6, es explicado principalmente por el factor 2, temperaturas bajas previo a floración, y fue la única variedad que estuvo en un ambiente más frío prefloración respecto a las demás porque tuvo nueve días a temperaturas por debajo de 15° C, es decir que tuvo más días fríos que las otras variedades en los diez días antes de floración como se puede apreciar en el Cuadro 11, la temperatura media mínima fue 13.5° C (Cuadro 10). En pos floración hubieron cuatro días con temperaturas por debajo de 15° C alcanzándose valores bajos de hasta 13° C, sumando el total más alto con respecto a los otros grupos, con 13 noches de bajas temperaturas seguidos alrededor de la etapa de floración. Exposición de plantas de arroz en la etapa de tétrada a temperaturas moderadamente bajas 12° C por 4 días resultó en 80% de esterilidad masculina en espiguillas (Kazutoshi, 2003).

4.3. ANÁLISIS DE VARIABLES POR GRUPO

4.3.1. Esterilidad por grupo

En las Figuras 7, 8, 9 y 10 se presenta el porcentaje de esterilidad de cada cultivar evaluado integrante de los 4 Grupos de ambientes confeccionados. Existieron

diferencias entre las variedades de genotipo Indico y Japonico ($P < 0.0001$) con mayor esterilidad hacia las variedades tropicales (Figura 7).

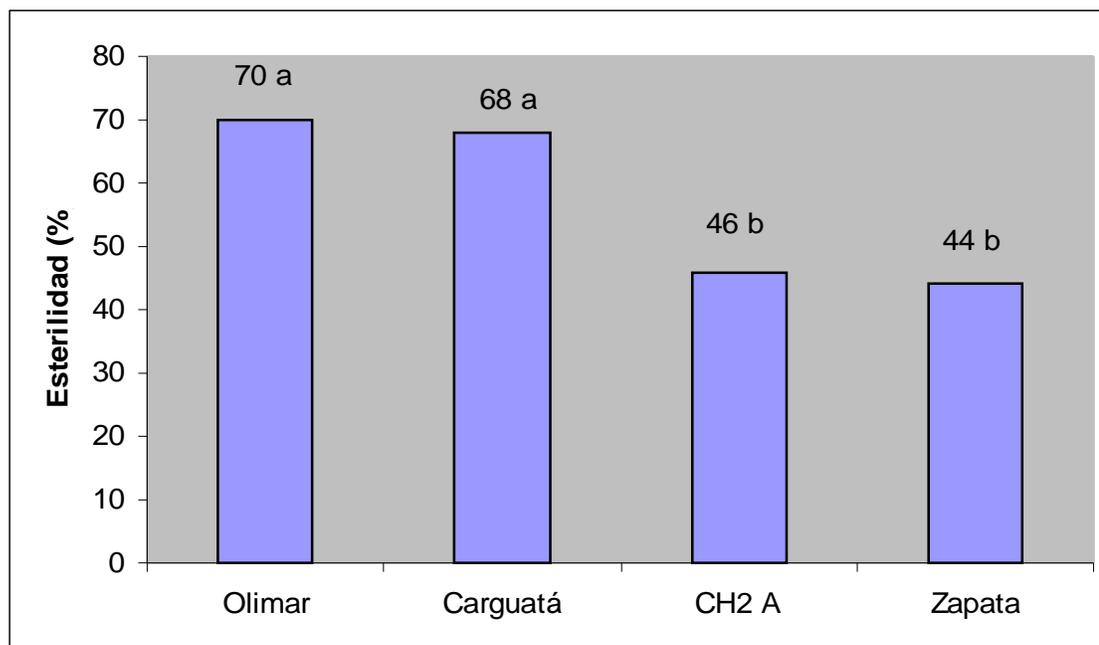


Figura 7. Porcentaje de esterilidad para las variedades del Grupo I. Valores seguidos por la misma letra no difieren entre si para $P \leq 0,05$.

Como muestra la Figura 7, INIA Olimar e INIA Caraguatá ambas de tipo tropical no difirieron entre si, y ambas tuvieron significativamente más esterilidad que CH2 A e INIA Zapata de tipo japónica, las que presentaron menores porcentajes de esterilidad. Este grupo fue el que tuvo el ambiente más frío, es decir más noches de frío en pos floración por lo que a igual cantidad de frío las variedades tropicales presentaron los valores más altos de porcentaje de esterilidad. Los resultados concuerdan con los resultados de Da Cruz (2003), quién encontró que el genotipo Caloro (Japónica), era el más tolerante, presentando el porcentaje más bajo de reducción en la fecundidad de espiguilla, e IRGA 420 (Indica), fue el más sensible con la reducción más alta en este rasgo.

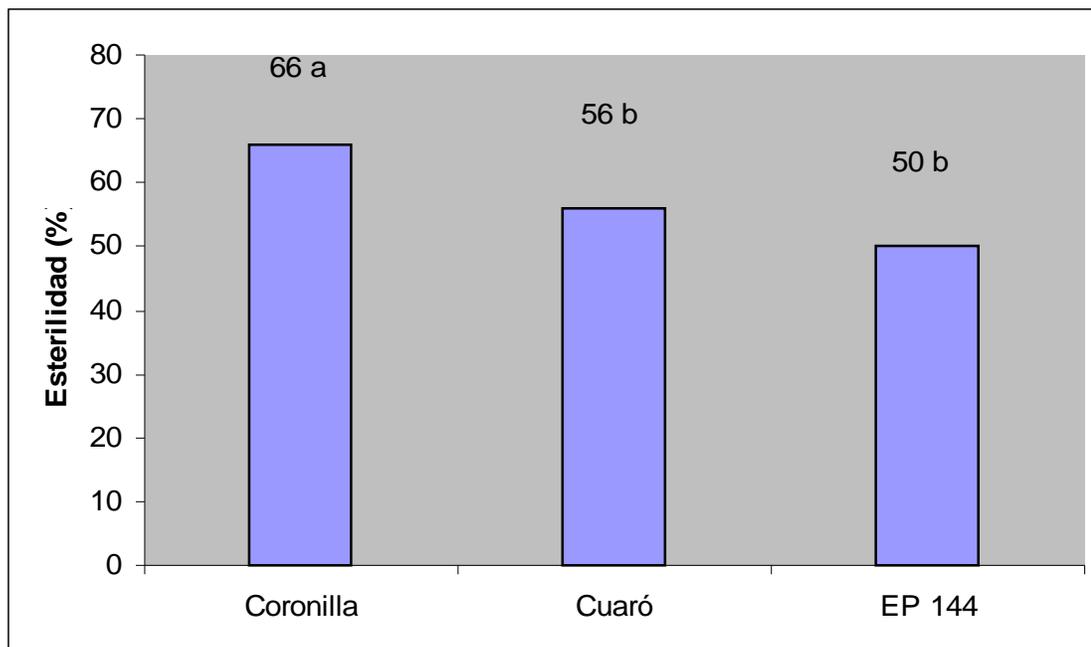


Figura 8. Porcentaje de esterilidad para las variedades del Grupo II. Valores seguidos por la misma letra no difieren entre si para $P \leq 0,05$.

En el Grupo II también se mantuvo la diferencia entre genotipos pero en este caso INIA Cuaró y El Paso 144 ambas tropicales son las que presentaron los valores más bajos en porcentaje de esterilidad no difiriendo entre si ($P < 0,05$) (Figura 8). En el caso de Coronilla, de tipo Indica igual que las anteriores, presentó mayor porcentaje de esterilidad, difirió significativamente de los otros dos cultivares, INIA Cuaró y El Paso 144.

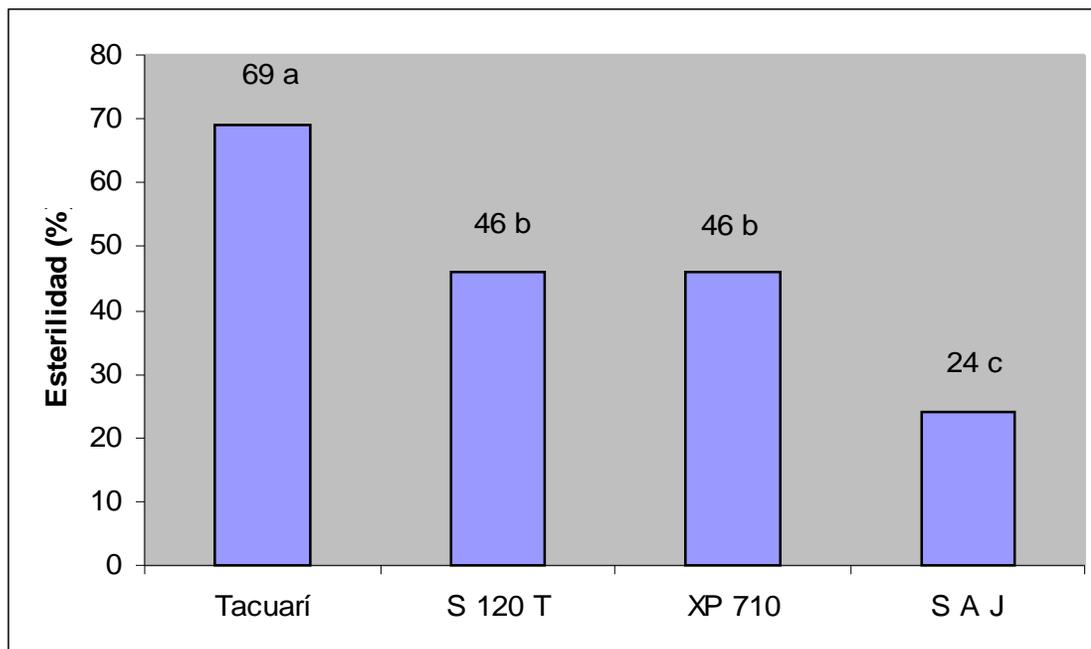


Figura 9. Porcentaje de esterilidad para las variedades del Grupo III. Valores seguidos por la misma letra no difieren entre sí para $P \leq 0,05$.

Dentro del Grupo III, INIA Tacuarí presentó el mayor porcentaje de esterilidad difiriendo significativamente de las demás variedades a pesar de ser de genotipo japónica tolerante al frío (Figura 9). En términos absolutos, la esterilidad de INIA Tacuarí fue similar al de variedades tropicales como INIA Olimar, INIA Caraguatá (Figuras 7) y Coronilla (Figura 8) en torno al 70 % de esterilidad.

En este grupo SAJ presentó menor porcentaje de esterilidad, difiriendo de las demás variedades, este comportamiento es atribuido a su ciclo más corto y a que tuvo menos días de frío. S120 T y XP 710 con valores intermedios de esterilidad no difirieron entre sí, ya que ambos cultivares tuvieron un día más de frío que SAJ, lo que provocó mayor esterilidad (Cuadro 11).

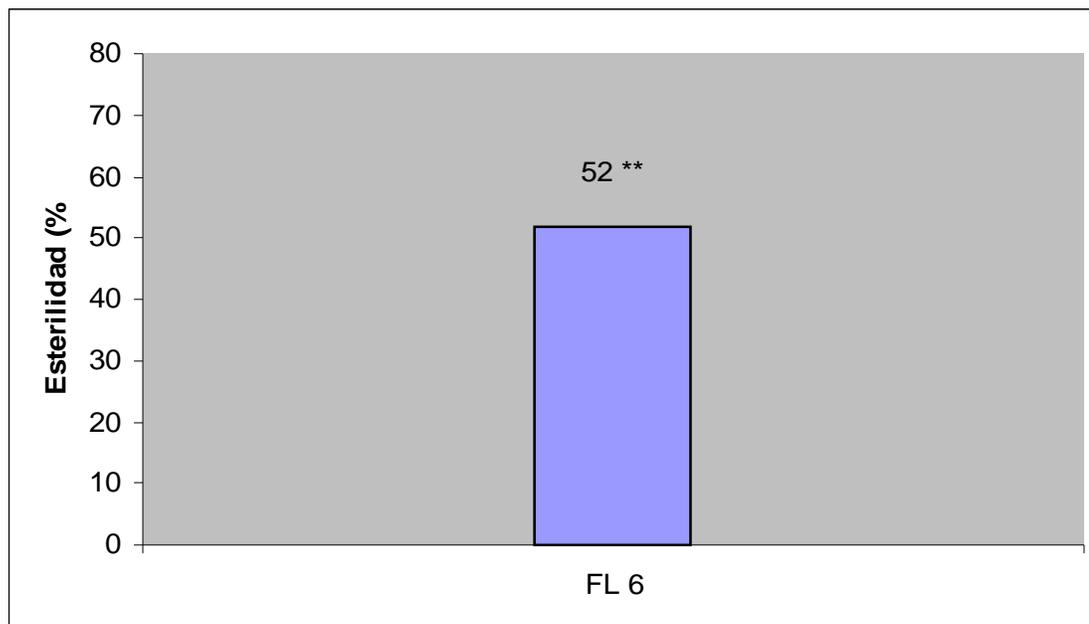


Figura 10. Porcentaje de esterilidad para la variedad FL 6 del Grupo IV. ** Significativo al 1% de probabilidad.

En el Grupo IV, se puede advertir el comportamiento de la única variedad que conformó este grupo (Figura 10), diferenciándose de las demás variedades por haber cumplido su período reproductivo en un ambiente totalmente distinto en lo que refiere a temperaturas al de los demás grupos, por lo tanto no se la pudo comparar con las demás variedades y al haber estado sola la variedad FL 6 en este grupo, tampoco hay otros materiales dentro de éste para poder compararlos. Pero sí se puede decir que frente a este ambiente, con temperaturas prefloración de las más bajas, con 9 días con temperatura menor a 15° C y 4 días pos floración, presentó una esterilidad de espiguillas de 52 %.

4.3.2. Excursión de panoja por grupo

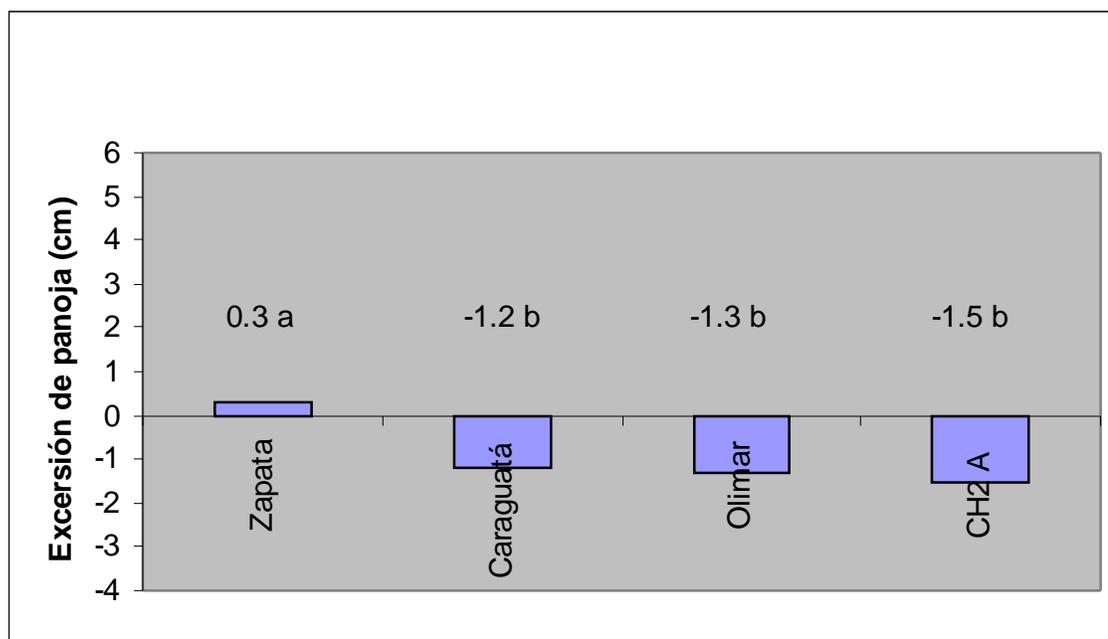


Figura 11. Excursión de panoja para las variedades del Grupo I. Valores seguidos por la misma letra no difieren entre si para $P \leq 0,05$.

INIA Zapata presentó los más altos valores de excursión de panoja difiriendo de las otras tres variedades las que no difirieron entre si (Figura 11). Esto muestra que para las variedades tolerantes al frío como INIA Zapata la excursión de panoja es mayor que para las variedades tropicales.

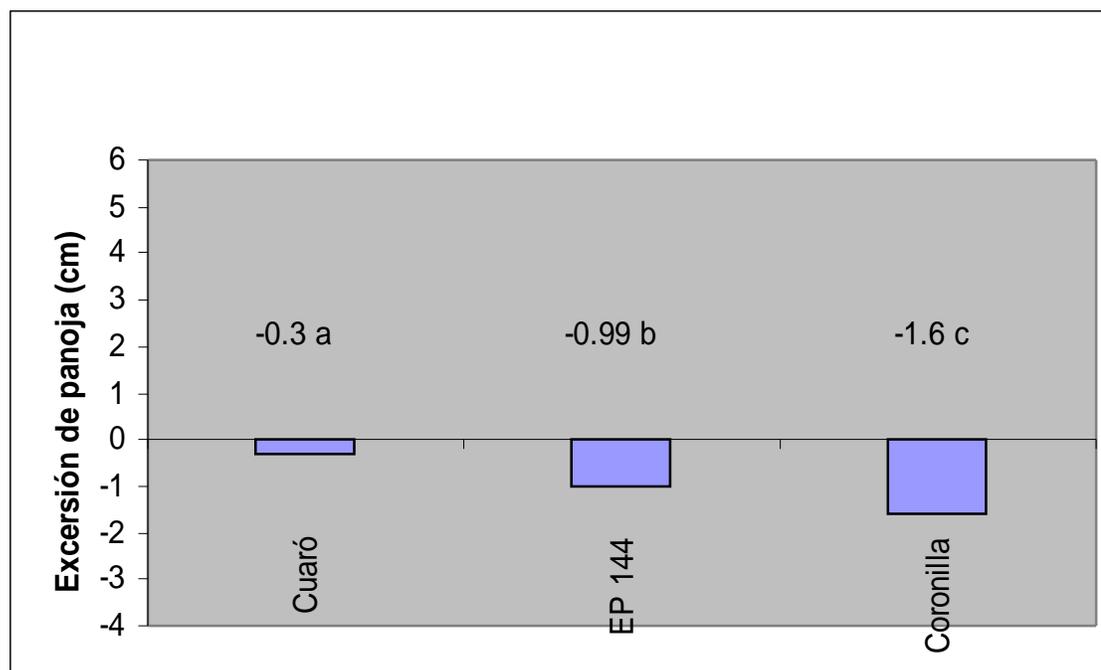


Figura 12. Excursión de panoja para las variedades del Grupo II. Valores seguidos por la misma letra no difieren entre si para $P \leq 0,05$.

De la Figura 12 se desprende que INIA Cuaró presentó mayor excursión de panoja, seguido por El Paso 144, y con los menores valores de excursión para Coronilla, donde las tres cultivares difirieron entre si para esta variable, promisoriamente aparecería INIA Cuaró como más tolerante al frío aún siendo tropical dentro de este grupo. Pero en realidad no es más tolerante a frío, porque aunque la panoja tuvo mejor excursión que El Paso 144, la esterilidad fue mayor que la de El Paso 144 (Figura 8). Esto pudo ser debido a que para este cultivar las variables no estén asociadas o que la temperatura fría aumentó la esterilidad independientemente de cómo fue la excursión. Lo que será discutido en el siguiente capítulo.

Coronilla fue la que recibió más frío continuo en torno a la antésis con 13 días con temperaturas menores a 15°C , lo que estaría afectando en forma negativa a la excursión de panoja y por tanto en forma drástica la fertilidad de espiguillas.

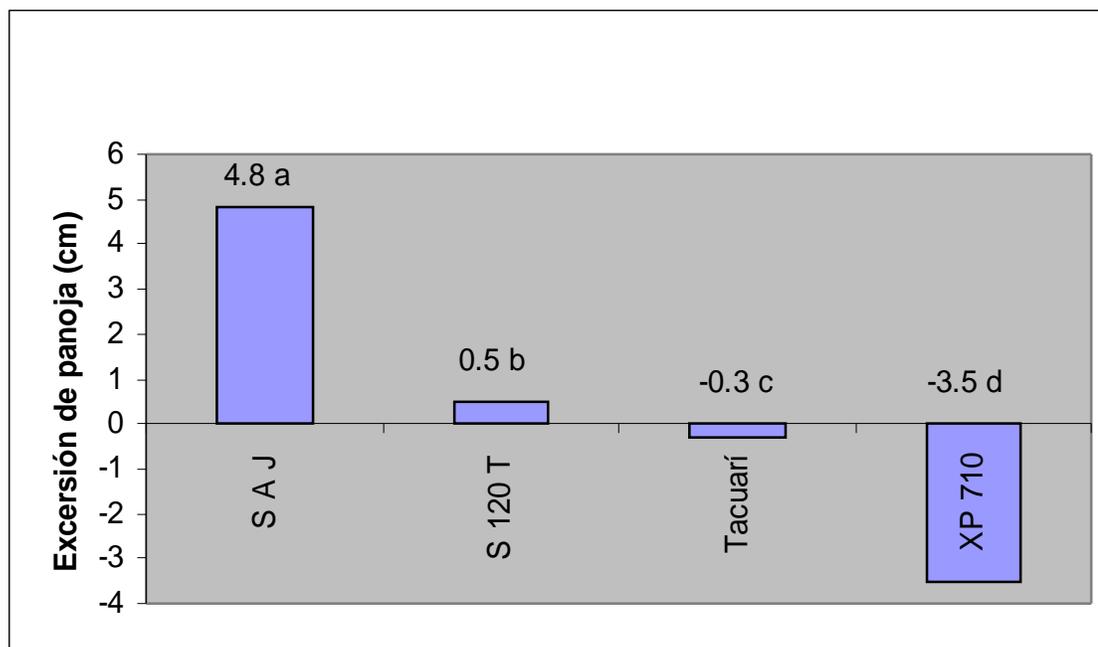


Figura 13. Excursión de panoja para las variedades del Grupo III. Valores seguidos por la misma letra no difieren entre si para $P \leq 0,05$.

La Figura 13, muestra que S A J presentó excursión de panoja positivos o sea completa excursión de panoja, difiriendo ésta con cada una de las demás variedades del grupo y se encontró también diferencias estadísticas entre cada una de las variedades.

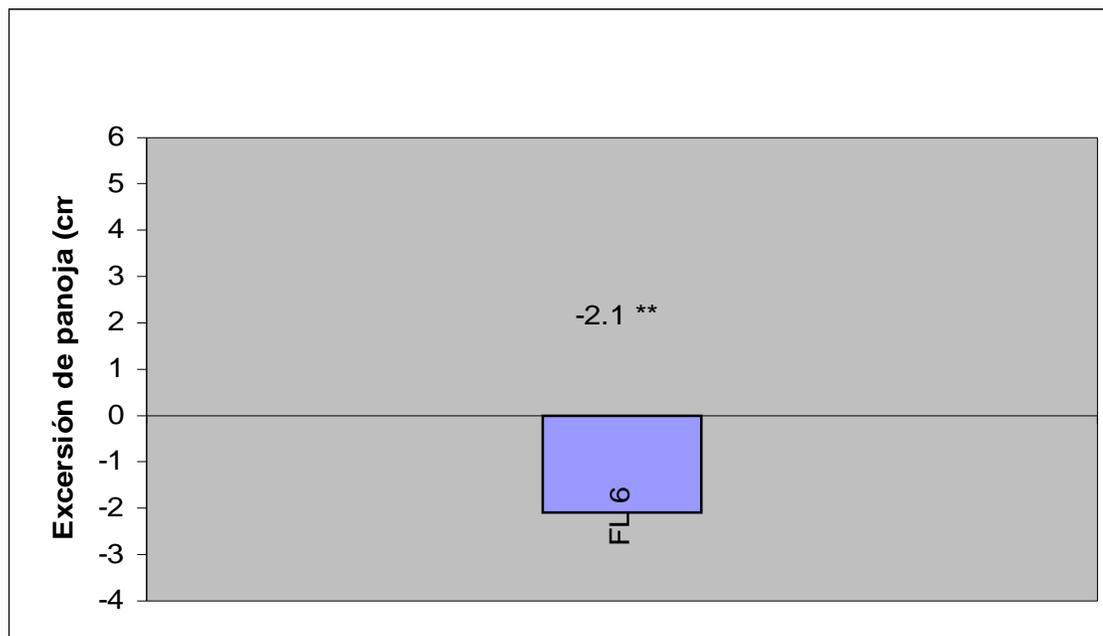


Figura 14. Excersion de panoja para la variedad FL 6 del Grupo IV. ** Significativo al 1% de probabilidad.

En la Figura 14, al igual que en el caso anterior de esterilidad para FL 6, en la misma se muestra como fue el comportamiento de la variedad frente a la variable excersion de panoja ya que como se mencionara anteriormente, en este grupo solo hubo una variedad por lo que no se puede hacer comparaciones dentro de este grupo. Pero se puede concluir que en las condiciones de temperaturas frías antes y después de floración que tuvo, FL 6 presentó valores de excersion de panoja bastante bajos.

4.3.3. Relación entre esterilidad y excersion de panoja.

En la Figura 15 se presenta el efecto de la excersion de panoja (valores de inserción negativos) sobre fertilidad de espiguillas (medida como porcentaje de esterilidad) para las variedades de arroz estudiadas en el presente trabajo.

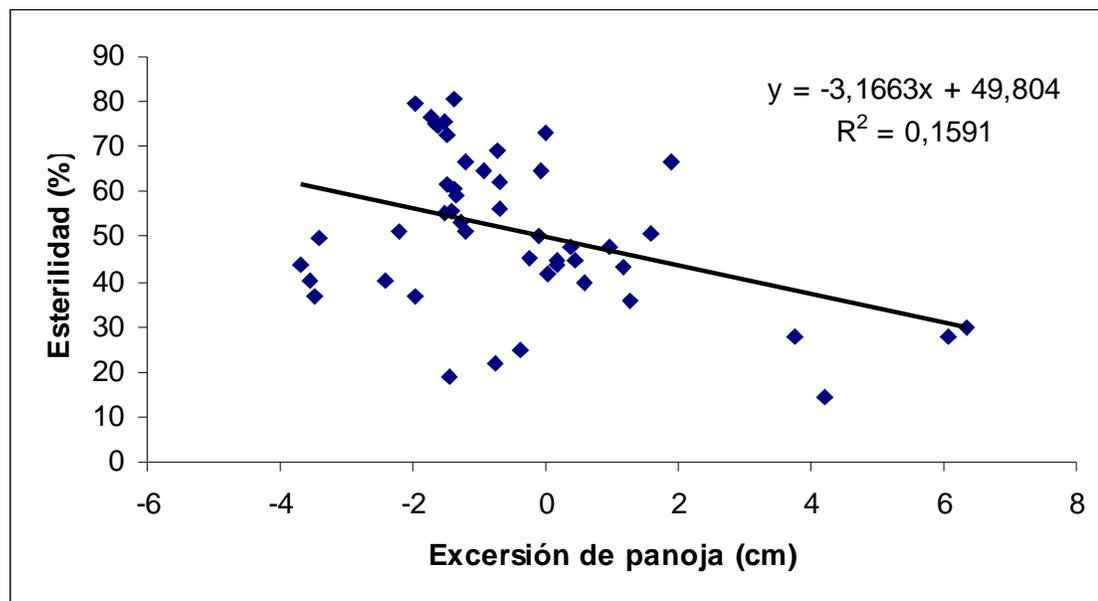


Figura 15. Asociación entre esterilidad de espiguillas y excursión de panoja para las doce variedades estudiadas.

Se encontró una relación entre valores negativos de excursión de panoja y reducción de fertilidad de espiguillas. Además de la asociación moderada y negativa encontrada para las variables mencionadas, se encontró también que los coeficientes de correlación entre cada par variables a pesar de ser bajos fueron significativos (Cuadro 12). Esto quiere decir que a medida que la excursión de panoja fue más negativa (valores de excursión más negativos) la esterilidad aumentó. Esta relación negativa significativa estaría indicando que ambas están relacionadas cuando son afectadas por temperaturas bajas (temperaturas inferiores a 15° C).

Por cada centímetro de reducción de la excursión de la panoja, más incrementada se vio la esterilidad de espiguilla. Esto puede resultar en que ambos procesos fisiológicos diferentes responden en forma asociada a la disminución de temperatura.

Esta relación general mostró interacción por variedad (Cuadro 12).

Cuadro 12 : Regresiones de porcentaje de esterilidad con excersión de panojas para las variedades estudiadas.

| Variedad | a | b |
|-----------------------|-----------|----------|
| INIA Caraguatá | 109.43 ** | -5.7 ** |
| CH2 A | 80.46 ** | -3.63 ns |
| Coronilla | 113.20 ** | -5.61 ** |
| INIA Cuaró | 101.09 ** | -4.19 ** |
| El Paso 144 | 69.53 ** | -1.97 ns |
| FL 6 | 48.19 * | 0.125 ns |
| INIA Olimar | 127.17 ** | -6.47 ** |
| S 120 T | 70.57 ** | -2.35 * |
| S A J | 16.22 ns | 0.59 ns |
| INIA Tacuarí | 79.71 ** | -1.49 ns |
| XP 710 | 55.04 ** | -1.72 ns |
| INIA Zapata | 60.94 ** | -1.75 ns |

* Significativo al 5% de probabilidad.

** Significativo al 1% de probabilidad.

ns: No significativo al 5% de probabilidad.

La relación fue negativa y significativa en INIA Caraguatá, Coronilla, INIA Cuaró, INIA Olimar y S 120 T, implicando que la esterilidad se redujera 5.7, 5.61, 4.19, 6.47 y 2.35 % respectivamente por cada centímetro de mejora de la excersión de la panoja en cada uno de los cultivares mencionados respectivamente, esto quiere decir que en éstos cultivares la relación entre esterilidad y excersión fue muy significativa, que la excersión de panoja fue significativa, aumentando el efecto. Y no significativo en CH2 A, El Paso 144, FL 6, S A J, INIA Tacuarí, XP 710 e INIA Zapata. Lo que indica que la relación fue aleatoria.

Este no efecto presentado por éstos últimos se atribuye a que fue debido a la baja variabilidad presentada por éstos en cuanto a la excersión de panoja, ya que CH2 A presentó baja excersión sin diferencias estadísticas entre los tratamientos, lo mismo ocurrió con El Paso 144, INIA Tacuarí y XP 710.

En El Paso 144, no hubo covarianza significativa. Se ve que no está relacionada la disminución del porcentaje de esterilidad con la excersión de panoja, la cuál fue afectada solamente por las temperaturas pre y post floración, independientemente de lo que ocurrido con excersión de panoja. Pero en realidad este comportamiento que presentó El Paso 144, se debió a la variación en la excersión de panojas que fue toda baja ya que todas las panojas estuvieron con valores similares de excersión.

En FL 6 se ve que no hubo efecto de la excersión, ya que la variabilidad fue alta porque este cultivar presentó diferencias estadísticas para ésta característica.

En cambio, S A J e INIA Zapata que tampoco fue significativo el efecto, presentaron excersión positiva o sea completa excersión de panoja, pero sin embargo para ambas no hubo tampoco diferencias estadísticas significativas entre el frío aplicado, lo que provocó una baja variabilidad en excersión de panojas.

Por tanto, INIA Caraguatá, Coronilla, INIA Cuaró, INIA Olimar y S 120 T la *temperatura pre y post floración* afectó la esterilidad en forma indirecta, porque redujo la excersión, en cambio en CH2 A, El Paso 144, FL 6, S A J, INIA Tacuarí, XP 710 e INIA Zapata el efecto sobre la esterilidad fue directo de a temperatura (Cuadro 12).

En el Cuadro 13 se presenta el “efecto ambiente” sobre la esterilidad determinada para cada variedad utilizando como co-variable la excersión de panoja.

Cuadro N° 13: Efecto de los componentes principales (Factores 1 y 2) sobre la esterilidad cuantificada en cada variedad considerando la excersión de la panoja como covariable.

| Variedad | Intercepto | Factor 1 | Factor 2 | Excersión de panoja |
|----------------|------------|-----------|----------|---------------------|
| INIA Caraguatá | 2.38 ns | -1.10 ns | -0.82 ** | -0.06 ** |
| CH2 A | 13.01 ** | -9.48 ** | 5.82 ** | -0.95 ** |
| Coronilla | 9.72 ** | 16.70 ** | -2.46 ** | -0.16 ** |
| INIA Cuaró | -21.45 ** | -46.84 ** | 1.92 ** | -0.18 ** |
| El Paso 144 | 10.87 ** | 20.08 ** | 2.25 ** | 0.04 ns |
| FL 6 | 3.04 ** | -4.42 ** | -1.12 ** | -0.88 * |
| INIA Olimar | -11.48 ** | 11.65 ** | 0.64 * | -0.29 ** |
| S 120 T | 0.95 ** | -0.01 ns | 0.46 ** | -0.07 ** |
| S A J | 11.61 ** | 11.94 ** | -1.51 ** | -0.06 ** |
| INIA Tacuarí | 5.38 ** | 3.61 ** | 0.53 ** | -0.05 ** |
| XP 710 | 24.57 ** | 20.72 ** | 0.61 ns | -0.15 ** |
| INIA Zapata | -3.06 ** | 2.54 ** | 0.30 ns | -0.04 * |

* Significativo al 5% de probabilidad.

** Significativo al 1% de probabilidad.

ns: No significativo al 5% de probabilidad.

El Cuadro 13, corresponde al efecto del “ambiente” sobre la esterilidad para cada variedad, descontando el efecto de la co-variable excursión de panoja, es el efecto puro de la temperatura. La esterilidad estuvo en función de la *temperatura pre y post floración*.

Esto quiere decir que INIA Caraguatá fue afectado significativamente solo por bajas temperaturas en prefloración, lo mismo ocurrió con S 120 T. Da Cruz (2003) señala que cuando el frío ocurre solo de noche, microsporogénesis es más sensible que la etapa de antésis.

CH2 A, Coronilla, INIA Cuaró, El Paso 144, FL 6, INIA Olimar, SAJ e INIA Tacuarí fueron afectadas por ambas temperaturas (Factores 1 y 2). Donde se observa que si fue muy significativo estadísticamente el efecto de las bajas temperaturas antes y después de floración sobre la esterilidad provocando aumentos en la misma al disminuir la temperatura en dichas etapas.

XP 710 e INIA Zapata fueron afectadas significativamente solo por temperatura frías en post floración.

Por lo tanto, se puede advertir también observado el Cuadro N° 13, que sacando la excursión de panoja, igualmente se vio afectada la esterilidad por el efecto de las bajas temperaturas en las etapas de previa y post floración.

Los resultados obtenidos muestran que ambas etapas del período reproductivo son sensibles al frío. Da Cruz (2003) aún con una duración menos fría la etapa de antésis era tan afectada como la etapa de microsporogénesis. Por lo tanto independientemente del genotipo estudiado (Indica o Japónica), tanto microsporogénesis como antésis son igualmente sensibles a temperaturas frías, cuando éstas ocurren durante el período reproductivo.

No obstante, hubo variedades que fueron más sensibles al efecto de las bajas temperaturas en la etapa de microsporogénesis y para otras fuera más sensible la etapa de antésis. Da Cruz (2003) indica que algunos genotipos parecieron diferir en cuanto a la etapa en la que ellos fueron más sensibles.

Kariya (2003), temperaturas frías causan muchos tipos de daño en diferentes etapas de crecimiento en arroz, y algunos de ellos resultan en disminución del

rendimiento. Esterilidad y retraso del crecimiento son los principales factores en disminuir el rendimiento, y la esterilidad es causada por temperaturas frías en dos diferentes etapas: la etapa de joven microspora y etapa de floración. En el tipo de retraso de crecimiento, la disminución del rendimiento en arroz debido a insuficiente maduración de granos de polen causado por temperaturas frías durante el período de maduración. La mayor parte del daño es esterilidad debido a temperaturas frías alrededor de la etapa de joven microspora en el embarrigado, y el siguiente daño ocurre justo antes en la antésis.

Observaciones microscópicas del desarrollo de anteras en plantas de arroz sugirieron que una de las posibles razones para la esterilidad masculina después del tratamiento de temperatura fría fue el fracaso del desarrollo de anteras. Al observar anomalías incluyendo la cesación del desarrollo, la detención del desarrollo de polen, anteras restantes dentro de flores después antésis, y parcial o no dehiscencia (Kazutoshi, 2003).

Kazutoshi (2003) y Tsunoda et al. (1984), el desarrollo de etapas desde formación de polen a fertilización son sensibles a temperaturas frías a través del ciclo de vida de la planta de arroz. En particular en la etapa de joven microspora el desarrollo de polen es la más sensible a bajas temperaturas.

Farrell et al. (2003) bajas temperaturas durante el desarrollo reproductivo reduce el número de granos de polen y fertilizado de espiguillas en arroz.

Un elaborado experimento reveló que la etapa más sensible a bajas temperaturas no era la etapa meiótica, sino la de joven microspora desde tétrada a temprana fase de microspora (Kariya, 2003). La etapa de joven microspora es la más sensible a bajas temperaturas resultando en esterilidad masculina (Farrell et al., 2003).

Antésis es la segunda etapa sensitiva en relación al frío. La inducción de esterilidad por temperaturas frías tiene dos fases: durante la apertura floral y después del período frío (Tsunoda et al., 1984). En un día frío, las flores raramente abren y esperan por un clima más apropiado. Algunas flores, sin embargo, abren bajo un clima frío y eso resulta en un alto grado de esterilidad (Enomoto, 1933).

El retraso en la apertura floral no afecta la esterilidad cuando la duración del período frío no es larga, pero un prolongado período frío causa una disminución en la fertilidad (Takadate et al., 1979).

Los resultados obtenidos en este trabajo mostraron que para la mayoría de los cultivares estudiados (incluidos los tolerantes al frío y sensibles) ambas etapas fueron sensibles a las temperaturas frías como se discutió en capítulos anteriores donde se muestra que el 64% de la variación en la temperatura entorno a floración estuvo explicado por dos factores, 1 asociado a bajas temperaturas en post floración y 2 a bajas temperaturas en prefloración.

Esto demuestra que estas dos etapas del período reproductivo son igualmente afectadas por noches frías. Da Cruz (2003) señala que las dos etapas del período reproductivo como son microsporogénesis y antésis pueden no diferir una de la otra por efecto del frío.

Una de las posibles causas del efecto sobre la etapa de antésis, es que la temperatura es importante para garantizar apertura de antera y germinación del grano de polen, que suceden en la luz del día. En cambio los procesos que suceden en la etapa de microsporogénesis, por otro lado ocurren durante el día y la noche, por lo que debió ser dañado por temperaturas frías en la noche (Da Cruz, 2003).

Otra posible causa sobre la etapa de antésis, es que la maduración del grano de polen ocurre continuamente hasta el momento de antésis (Nishiyama, 1995), lo cuál se vio afectado por las temperaturas frías durante la noche.

4.4. DISCUSIÓN

En la Figura 16 se muestra las condiciones de temperatura en que se desarrollaron las etapas más sensibles a frío del período reproductivo para los distintos grupos de cultivares, comprendida entre el momento que se aplicó el tratamiento uno y el dos. Es decir entre embarrigado o estado de bota (microsporogénesis) y floración (antésis).

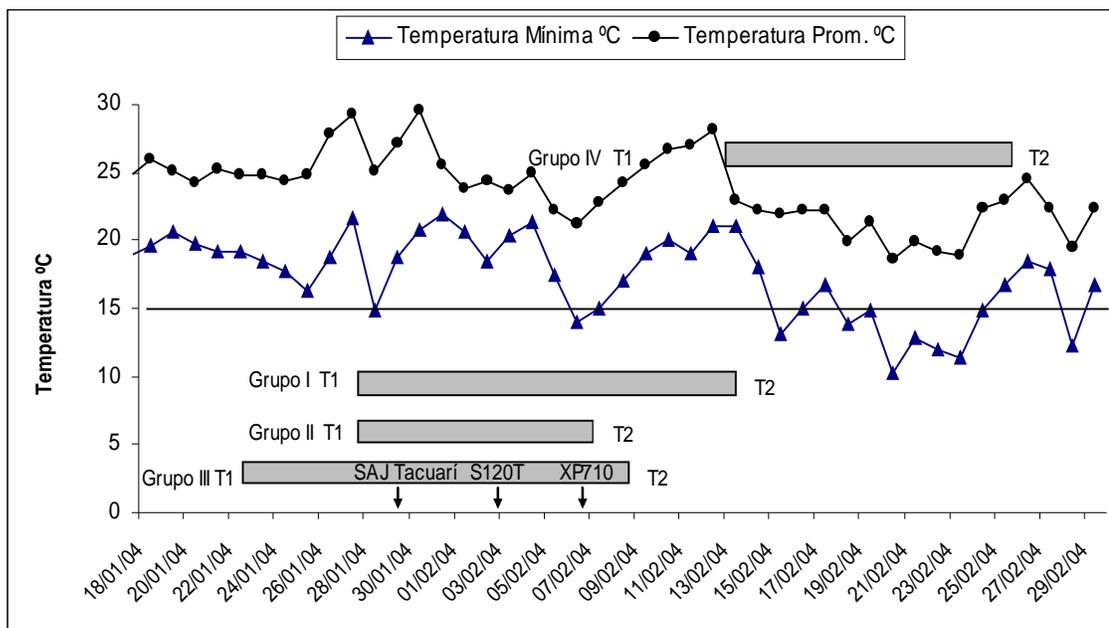


Figura 16. Evolución real de la temperatura media diaria y mínima ambiente durante el período experimental y la ubicación del período embuche (T1) y floración (T2) para los Grupos I, II, III y IV.

FL 6 difirió de los demás grupos por su ciclo largo con relación a los cultivares nacionales, siendo una semana más largo que El Paso 144. Las dos etapas del período reproductivo se cumplieran en febrero, donde las temperaturas fueron más bajas como se mencionó anteriormente. Por lo tanto el período crítico ocurrió en un ambiente más frío frente a los demás grupos. A pesar de esto, el porcentaje de esterilidad no fue más alto que el registrado por cultivares que estuvieron expuestos a rangos de temperatura superiores.

Dentro del Grupo I, los cultivares que lo integraron fueron de ciclo similar (entre 97 y 100 días a floración). Lo mismo ocurrió para el Grupo II, donde el ciclo de los cultivares fue similar y coincidentemente hubieron temperaturas ambiente bajas al momento en que fueron sometidos los cultivares a cada tratamiento.

En cuanto al Grupo III, si bien el ciclo de los cultivares que lo integran no difieren mayormente entre ellos, en la práctica la floración de cada uno de ellos fue en diferentes momentos, lo que determinó el comportamiento de cada uno. SAJ, S 120 T y XP 710 la floración ocurrió cuando la temperatura ambiente estuvo por encima de los 15° C, lo que explica que hallan presentado menores valores de esterilidad dentro de este

grupo. INIA Tacuarí fue el cultivar que presentó mayor porcentaje de esterilidad, lo que se explicaría porque la floración ocurrió cuando la temperatura estuvo entorno a los 15 grados.

En el Cuadro 14 se resume la información por Grupo y para cada cultivar que lo integra.

Cuadro 14. Temperatura media registrada 3 días entorno al tratamiento 1, 2, temperatura mínima media 10 días prefloración, temperatura mínima media posfloración, excersión de la panoja, esterilidad por Grupo y para cada cultivar evaluado.

| Variedad | Grupo | T13d | T23d | TA10d | TD12d | Excerción | Esterilidad | Desvío | C.V. |
|---------------|-------|------|------|-------|-------|-----------|-------------|--------|------|
| INIACaraguatá | I | 18.0 | 16.3 | 17.8 | 14.5 | -1.2 | 68 | 1.3 | 108 |
| CH2 A | | | | | | -1.5 | 46 | 1 | 67 |
| INIA Olimar | | | | | | -1.3 | 70 | 1.7 | 131 |
| INIA Zapata | | | | | | 0.3 | 44 | 1 | 333 |
| Coronilla | II | 17.9 | 15.5 | 18.2 | 17.0 | -1.6 | 66 | 1.6 | 100 |
| INIA Cuaró | | | | | | -0.3 | 56 | 2.5 | 833 |
| El Paso 144 | | | | | | -0.99 | 50 | 1.1 | 111 |
| S A J | III | 17.4 | 17.0 | 18.1 | 17.9 | 4.8 | 24 | 2 | 42 |
| S 120 T | | | | | | 0.5 | 46 | 1.7 | 340 |
| INIA Tacuarí | | | | | | -0.3 | 69 | 1.9 | 633 |
| XP 710 | | | | | | -3.5 | 46 | 1 | 29 |
| FL 6 | IV | 16.3 | 16.8 | 13.5 | 15.0 | -2.1 | 52 | 0.9 | 43 |

En el Grupo I, se ubicaron cultivares tipo Indica, con la excepción de INIA Zapata, que fue el que registró el menor porcentaje de esterilidad. CH2 A que es indica presentó un bajo porcentaje de esterilidad a pesar de haber registrado excersión negativa, la temperatura fría afectó la excersión no afectando la esterilidad ya que ambas variables no estuvieron asociadas (Cuadro 12) y si hubo efecto de la temperatura sobre la esterilidad en pre y post floración pero de baja magnitud, sin aumentar la esterilidad. Con estos resultados, CH2 A se comportó como tolerante al frío en el ambiente que les toco dentro de ese grupo de cultivares sensibles.

INIA Zapata tuvo un comportamiento esperado dentro de este grupo, ya que presentó bajo porcentaje de esterilidad y la excersión de panoja fue buena, lo que mostró su tolerancia al frío como se esperaba por ser una variedad de tipo Japónica.

En el Grupo II, en el que todos los cultivares son de tipo indica, el mayor porcentaje de esterilidad de Coronilla podría atribuirse a que frente al mismo “ambiente”, tuvo la mayor excursión negativa de panoja. Dentro de este grupo fue la variedad que presentó menor excursión de panoja, con los valores más bajos para dicha variable.

Por lo tanto, dentro de este grupo de cultivares, Coronilla fue el más sensible al frío tanto en pre como en post floración y la excursión aumentó este efecto ya que ambas variables estuvieron asociadas.

INIA Cuaró fue la que presentó mayores valores de excursión de panoja y El Paso 144 en una situación intermedia. Si bien presentaron valores negativos de excursión, fueron de menor magnitud con respecto a los valores constatados para Coronilla.

En el Grupo III, donde se ubicaron cultivares tipo japónica, con la excepción de S120T, la esterilidad fue menor. S 120 T presentó valores intermedios de porcentaje de esterilidad a pesar de ser sensible al frío, se debió a que fue afectado solo en pre floración por las bajas temperaturas, ya que la floración se dio cuando la temperatura estuvo por encima de los 15° C en un “ambiente” favorable (Figura 16), por lo que no se puede afirmar su tolerancia o no al frío.

S A J presentó el menor valor de porcentaje de esterilidad y excursiones de panoja positivas dentro de este grupo, y a pesar de que no presentó asociación entre dichas variables, la temperatura tuvo efecto en pre y post floración pero de muy baja magnitud ya que las etapas críticas se dieron en un “ambiente” favorable (Figura 16). Por lo que no se pudo afirmar su tolerancia al frío aunque sea un cultivar de tipo Japonico.

INIA Tacuarí, tuvo el mayor porcentaje de esterilidad dentro del grupo, la excursión no fue tan baja ya que no estuvieron asociadas ambas variables, lo que explicó ese resultado fue que la floración se dio justo cuando la temperatura estuvo por debajo de los 15° C, lo que mostró que cuando la temperatura se mantuvo igual a ese umbral entorno a las etapas críticas como son embuche y sobre todo en pre y post floración, la esterilidad aumentó.

Además de la influencia del método de medición de la esterilidad, donde se tomó a los granos que flotaban en agua como estériles sin tener en cuenta que dentro de éstos pudo haber existido cierto porcentaje de granos chuzos, característica común en esta variedad, lo que pudo estar influyendo en los resultados de esterilidad observados.

No obstante a pesar de ello, INIA Tacuarí a pesar de ser un cultivar de tipo Japonico, cuando la floración se ubicó en un período de temperaturas cercano o igual a 15° C, la esterilidad fue alta.

Estos resultados estarían relacionados a la excersión de panoja, ya que INIA Tacuarí presentó menor excersión de panoja, en cambio SAJ presentó valores más altos de excersión, a pesar de que la asociación entre esterilidad e excersión no fue significativa en INIA Tacuarí.

La excepción aquí la hace Tacuarí ya que es la que presentó mayor esterilidad en comparación con otros cultivares como CH2 A y El Paso 144, que son genotipos sensibles al frío (genotipos índico) por lo que se esperaría fueran las más afectadas por el frío presentando mayores descensos en la fecundidad por ser estas de origen tropical, teniendo en cuenta que para los tres cultivares el efecto “solo” de la temperatura pre y post floración fue muy significativo.

De acuerdo a estos resultados, INIA Tacuarí resultó ser muy sensible a las bajas temperaturas, a pesar de que fue un cultivar seleccionado entre otras características por su tolerancia al frío, tal ves su “tolerancia al frío” está dada por su escape al momento de ocurrencia de bajas temperaturas por su ciclo corto (ciclo a floración 87 a 92 días), que por la resistencia intrínseca a las bajas temperaturas durante el período reproductivo.

Hay trabajos que mencionan a INIA Tacuarí como una variedad muy tolerante al frío con valores muy bajos de esterilidad incluso de escasa significancia.

Blanco et al. (1993), en un ensayo donde se relacionó temperatura media de 10 días prefloración y la temperatura media en floración (10 días luego del comienzo de floración) de cada cultivar (en cada repetición) con la esterilidad resultante. Las regresiones entre esterilidad y temperatura media diez días prefloración y temperatura media en floración con mayores ajustes se obtuvieron en los cultivares susceptibles, Bluebelle y El Paso 144.

Blanco et al. (1993) encontró para los cultivares Bluebelle y El Paso 144, la esterilidad incrementó rápidamente con las temperaturas medias inferiores a 22-21 °C, mientras que en la variedad INIA Tacuarí el incremento fue leve o no existió en efecto significativo de la temperatura sobre la esterilidad; lo cuál no concuerda con los resultados obtenidos en el presente trabajo.

Por lo visto dicha tolerancia estuvo referida a temperaturas bajas en torno a los 19-20 °C, pero cuando se trató de temperaturas de 15 °C o muy cercanas a ese valor la esterilidad se vio incrementada en INIA Tacuarí. Basados en los resultados del presente trabajo podemos decir que INIA Tacuarí deja de ser una variedad tolerante al frío cuando se trata de temperaturas iguales e inferiores a 15 °C al menos cuando éstas ocurren durante la etapa reproductiva.

Esto demuestra que estas dos etapas del período reproductivo son igualmente sensibles al frío cuando se dan más de 3 a 4 noches con temperaturas iguales e inferiores a 15 °C.

En estudios anteriores, (Blanco et al., 1993, 2004), evaluando los cultivares Bluebelle, El Paso 144, INIA Tacuarí e INIA Yerbal, encontró que temperaturas nocturnas promedio inferiores a 16 - 17° C, provocaron incrementos en la esterilidad en cultivares susceptibles como Bluebelle o El Paso 144, estos cultivares mostraron porcentajes de esterilidad de 50 a 90 %.

Los valores de esterilidad obtenidos en este trabajo, son similares a los obtenidos en el estudio de Blanco et al. (1993, 2004), ya que los cultivares El Paso 144 e INIA Cuaró presentaron porcentajes de esterilidad dentro del rango mencionado por el autor. No obstante dentro de este grupo de cultivares sensibles a frío, hubo variación ya que Coronilla presentó mayor esterilidad frente a las mismas condiciones que tuvo este grupo.

INIA Tacuarí presentó valores negativos de excursión de panoja para todos los tratamientos incluyendo el control, lo mismo sucedió para XP 710 pero con valores aún más bajos, es decir valores más negativos que INIA Tacuarí. S A J presentó mayor porcentaje de excursión, con valores de excursión positivos y altos para todos los tratamientos incluyendo el control.

XP 710 presentó la excersión más baja dentro de este grupo, lo que no afectó la fecundidad ya que registró valores intermedios de porcentaje de esterilidad, donde la asociación entre ambas variables no fue significativa; estos resultados obtenidos permiten decir que este cultivar presentó una tolerancia intermedia a temperaturas igual o por debajo de los 15 grados.

El cultivar FL 6, no se puede comparar con los demás pero, a pesar del “ambiente” del período embuche-floración y de la excersión negativa, logró un valor absoluto de esterilidad intermedio.

En cuanto a la excersión de panoja hubieron diferencias dentro de grupos donde se destacaron algunos cultivares presentando baja o alta excersión, como INIA Zapata, El Paso 144 y S A J, en términos absolutos este tipo de resultados tiene relación con la tolerancia al frío, permitiendo separar algunos cultivares por su tolerancia aún dentro del genotipo Japonico é Indico.

Se pudo constatar que para la mayoría de los cultivares, ambas etapas resultaron sensibles al frío. No obstante, hubo alguna que fue afectada solo en microsporogénesis y otras solo en antésis.

5. CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos corresponden a la respuesta de los cultivares de arroz a condiciones de temperatura variables que definieron dos ambientes diferenciales, uno con temperaturas bajas antes de floración y el otro con temperaturas bajas después de floración.

Frente a estas condiciones, se comprobó el comportamiento diferencial de los cultivares que compartieron condiciones ambientales similares.

Existió asociación entre esterilidad de espiguilla y excersión de panoja. La correlación fue baja pero significativa y negativa entre ambas variables, mostrando que cuando la excersión es incompleta o negativa, se aumenta la esterilidad de espiguilla.

En lo que respecta a excersión de panoja, los cultivares que presentaron excersión completa o positiva fueron, dentro del grupo 1: INIA Zapata; grupo 3: S A J y S 120 T

Los cultivares con mayor esterilidad dentro de cada ambiente fueron:

Grupo 1, con nueve noches con temperaturas mínimas inferiores a 15° C pos floración: CH2 A e INIA Zapata;

Grupo 2: con cuatro noches con temperaturas mínimas inferiores a 15° C pos floración: El Paso 144 logró mejor comportamiento que INIA Cuaró e INIA Coronilla;

Grupo 3: con solo dos noches con temperaturas mínimas inferiores a 15° C pos floración S 120 T, XP 710 y S A J, superaron a INIA Tacuarí.

Se destacó el cultivar FL 6, con un bajo porcentaje de esterilidad a pesar de que fue sometido a nueve noches con temperaturas mínimas inferiores a 15° C pre-floración y cuatro noches pos-floración.

6. RESUMEN

Este trabajo se realizó en la Estación Experimental Dr. Mario A. Cassinoni, Facultad de Agronomía, Ruta Gral. Artigas (N° 3) Km.363, departamento de Paysandú, comprendiendo el año agrícola 2003/2004. El ensayo fue sembrado en macetas de 2500 centímetros cúbicos, con 5 plantas por maceta. El objetivo principal de este trabajo, es estudiar la respuesta diferencial de cultivares de arroz frente a bajas temperaturas entorno a la floración. A partir del estado de embuche inclusive se sometieron plantas a temperaturas de 15° C durante la noche, por 3 noches seguidas en las siguientes etapas: estado de los macollos de embuche o embarrigado (posible microsporogénesis) y antésis, estado de los tallos principales (50% de floración). Fueron utilizadas variedades de uso comercial así como también algunas líneas promisorias en estudio totalizando 12 genotipos diferentes evaluados en este experimento, siendo algunos de los materiales de origen Indico y otros de origen Japonico. Se pudo constatar que las temperaturas bajas (por debajo de 15° C) afectan de forma negativa a las dos etapas, microsporogénesis y antésis del período reproductor de la planta de arroz, provocando aumento en la esterilidad de espiguillas con la consecuente reducción del rendimiento en grano. Se encontraron diferencias entre cultivares dentro de un mismo grupo, en cuanto al efecto de las bajas temperaturas en las etapas de microsporogénesis y antésis, frente a las variables estudiadas esterilidad de espiguilla e inserción de panoja. También se pudo constatar que las variables esterilidad de espiguilla e inserción de panoja están asociadas en forma negativa y que ambas características son afectadas por las bajas temperaturas, cuando éstas ocurren en el período reproductivo. Para las variedades estudiadas en el presente trabajo, se ha constatado que ambas etapas tanto microsporogénesis como antésis son sensibles a las bajas temperaturas y que la esterilidad de espiguilla se incrementa notablemente cuando se da continuidad de días con temperaturas frías. Y se ha notado que tanto para la variable esterilidad de espiguilla como para inserción de panoja, la etapa más sensible al frío ha sido antésis.

Palabras clave: Temperaturas frías; Microsporogénesis; Antésis; Esterilidad de espiguillas; Inserción de panoja.

7. SUMMARY

This work was made in Experimental Station Dr Mario A. Cassinoni, Faculty of Agronomy, Route General Artigas (N° 3) Km. 363, department of Paysandú, having included/understood agricultural year 2003/2004. The experiment was seeded in flowerpots of 2500 centimeters cubical, with 5 plants by flowerpot. The primary objective of this work was study the different answer of rice cultivars in front of low temperatures around flowering. From the booting stage inclusively plants were put under temperatures of 15° C during the night, for 3 nights followed in the following stages: booting stage (possible microsporogenesis) and anthesis stage (50% of flowering). Varieties of commercial use were used as well as some promissory lines in study totalizing 12 evaluated different genotypes in this experiment, being some of the origin materials Indica and others of Japonica origin. Increase in sterility could be stated that the low temperatures (below 15° C) affected of negative form the two stages, microsporogenesis and anthesis of the reproductive period of the rice pant, causing spikelet sterility with the consequent reduction of the grain yield. Were differences between you will cultivate within a same group, as far as the effect of the low temperatures in the stages of microsporogenesis and anthesis, in front of the studied variables spikelet sterility and panicle insertion. Also it was possible to be stated that the variables spikelet sterility and panicle insertion were associate in negative form and that both characteristics were affected by the low temperatures, when these happened in the reproductive period. For the varieties studied in the present work, it has been determined that both stages as much microsporogenesis as anthesis were sensible to the low temperatures and that the spikelet sterility was increased remarkably when continuity of days with cold temperatures occurred. And one has noticed that as much for the variable spikelet sterility like for panicle insertion, the most sensible stage to the cold has been anthesis.

Key words: Cold temperature; Microsporogenesis; Anthesis; Spikelet sterility; Panicle insertion.

8. BIBLIOGRAFIA

1. ALIAGA, M. A.; BOTARO, D. E. 1998. Densidad y distribución de siembra en cultivares semienanos de arroz (INIA Caraguatá y L 1844). Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía. 141 p.
2. ASOCIACION DE CULTIVADORES DE ARROZ. 2000. Caracterización de las variedades. Arroz. 6 (24): 34 – 35.
3. BLANCO, P. 1991. Growth and assimilate partitioning in rice cultivars of different maturity groups. Tesis M. Sc. Aarkansas, USA. University of Arkansas. 141 p.
4. _____.; PEREZ DE VIDA, F. 1993. Mejoramiento genético. In Arroz; resultados experimentales 1992-1993. Treinta y Tres, INIA. cap. 2, pp. 8 – 11.
5. _____.; _____.; AVILA, S.; MENDEZ, J. 1999. Mejoramiento genético. In: Arroz; resultados experimentales 1998-1999. Treinta y Tres, INIA. cap. 8, pp. 1 – 6 (Actividades de Difusión no. 194).
6. _____.; GAGGERO, M.; AVILA, S.; LAVECCHIA, A.; MARCHESI, C.; PEREZ DE VIDA, F.; CASALES, L. 2002. Mejoramiento genético. In: Arroz; resultados experimentales 2001-2002. Treinta y Tres, INIA. cap. 4, pp. 19 – 23 (Actividades de Difusión no.292).
7. _____.; MOLINA, F.; ROEL, A.; MENDEZ, R.; PEREZ DE VIDA, F. 2004. Resistencia a frío de nuevos cultivares precoces. In: Arroz; resultados experimentales 2003-2004. Treinta y Tres, INIA. cap. 5, pp. 13 – 16 (Actividades de Difusión no.373).
8. CASTERA GALVAN, F. G.; FERNÁNDEZ RODRÍGUEZ SANTANA J. A. 1999. Evaluación de distintas temperaturas base para la suma de grados día en diferentes cultivares de arroz. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía. 152 p.

9. _____. 2000. Cosecha con complicaciones variadas en la zona este. *Arroz*. 6 (22): 46 – 48.
10. CRUZ, M.; PULVER, E.; JENNINGS, P.; BERRÍO, L.; BLANCO, P.; ROSSO, A.; MARASSI, J. 2001. Identificación de materiales genéticos de arroz para tolerancia a temperaturas bajas. (en línea). In: Congresso Brasileiro de Arroz Irrigado (2°.), Reuniao da Cultura de Arroz Irrigado (24°, 2001, Porto Alegre, RS). Trabajos presentados. s.n.t. Consultado may. 2004. Disponible en <http://www.flar.org/avances.pdf>
11. DA CRUZ, R. P. 2003. Influence of different cold treatments on the spikelet fertility and panicle exertion of five rice genotypes during reproductive stage. In: Conferencia Internacional de Arroz de Clima Templado (3a., 2003, Punta del Este, Uruguay). Tolerancia a frío. s.n.t. 1 disco compacto 8 mm.
12. DEAMBROSI, E.; MENDEZ, R.; ROEL, A. 1997. Estrategia en la producción de arroz; para un mejor aprovechamiento de las principales variables climáticas. Montevideo, INIA. 16 p. (Serie Técnica no. 89).
13. DE CARVALHO E VASCONCELOS, J. 1963. O Arroz. 2ª. ed. atualizada. Lisboa, Ministerio Da Economía. Secretaria de Estado Do Comercio. Comissao Reguladora Do Comercio de Arroz. 307 p.
14. DE DATTA, S. K. 1981. Producción de arroz; fundamentos y prácticas. México, Limusa. 690 p.
15. FARRELL, T. C.; FOX, K. M.; WILLIAMS, R. L.; REINKE, R. F.; FUKAI, S.; LEWIN, L. G. 2003. Reducing cold damage in Australia. In: Conferencia Internacional de Arroz de Clima Templado (3a., 2003, Punta del Este, Uruguay). Tolerancia a frío. s.n.t. 1 disco compacto 8 mm.
16. FERREIRA PACHECO, E.; MONTAUBAN ZARDO, E. F. 1998. Incidencia de factores climáticos sobre rendimiento y componentes y vías de construcción del rendimiento en cultivares de arroz. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía. 186 p.

17. GAMARRA SANTA CRUZ, G. 1996. Arroz; manual de producción. Montevideo, Hemisferio Sur. 440 p.
18. KARIYA, K. 2003a. Chilling injuries in reproductive phase of rice plants. (en línea) In: Conferencia Internacional de Arroz de Clima Templado (3a., 2003, Punta del Este, Uruguay). Tolerancia a frío. s.n.t. Consultado may. 2004. Disponible en <http://www.flar.org/avances.pdf>
19. _____. 2003b. Chilling injuries in reproductive phase of rice plants. In: Conferencia Internacional de Arroz de Clima Templado (3a., 2003, Punta del Este, Uruguay). Tolerancia a frío. s.n.t. 1 disco compacto 8 mm.
20. KAZUTOSHI, O. 2003. Genetics and genomics of cold tolerance in rice. In: Conferencia Internacional de Arroz de Clima Templado (3a., 2003, Punta del Este, Uruguay). Tolerancia a frío. s.n.t. 1 disco compacto 8 mm.
21. MOLINA, F.; BLANCO, P.; LAVECCHIA, A.; MARCHESI, C.; MENDEZ, J.; PEREZ DE VIDA, F. 2004. Evaluación de cultivares tropicales. In: Arroz; resultados experimentales 2003-2004. Treinta y Tres, INIA. cap. 5, pp. 21 – 24 (Actividades de Difusión no. 373).
22. MURATA, Y.; MATSUSHIMA, Y. 1991. Arroz. In: Fisiología de los cultivos. L. T. Evans. London, Cambridge Univ. Press. pp. 83 – 111.
23. NISHIYAMA, I. 1995. Factors and mechanism causing cool water damage. In: Science of the rice plant-physiology. T. Matsuo; K. Kumazawa; R. Ishii; K. Ishihara; H. Hirata eds. Tokyo, Food Agricultural Policy Research Center pp.776-793.
24. REINO UNIDO. CENTRE FOR OVERSEAS PEST RESEARCH (PANS). 1976. Control de las plagas del arroz. Montevideo, Hemisferio Sur. 367 p.
25. STEEL, R. G. D;TORRIE, J. H. 1985. Bioestadística; principios y procedimientos. Bogotá, McGraw-Hill Latinoamericana. 622 p.

26. TSUNODA, S.; TAKAHASHI, N. 1984. Biology of rice; developments in crop science. Tokio, Japan Scientific Societies. 789 p.
27. TORIYAMA, K.; HEU, M. H. 1975. Rice research strategies for areas of no optimal temperatures. In: Rice research strategies for the future. Los Baños, Philippines, IRRI. pp. 227 – 237.
28. UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA. (URUGUAY). FACULTAD DE AGRONOMIA. 2003. Registro de clima a través de la Estación Meteorológica Automática. (en línea). Montevideo. Consultado ago. 2004. Disponible en <http://www.fagro.edu.uy/eemac/web/index.html>
29. URUGUAY. MINISTERIO DE GANADERÍA AGRICULTURA Y PESCA. DIRECCIÓN GENERAL DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES. 1994. Índices de productividad de suelos grupos CONEAT. Montevideo. 182 p.
30. URUGUAY. MINISTERIO DE GANADERÍA AGRICULTURA Y PESCA. DIRECCIÓN DE INVESTIGACIONES ESTADÍSTICAS AGROPECUARIAS (DIEA). 2002a. Anuario estadístico agropecuario. Montevideo. 217 p.
31. _____. 2002b. Encuesta arrocera zafra 2001-2002. Montevideo. 34 p. (Boletín informativo no. 20).
32. VERGARA, B. 1976. Physiological and morphological adaptability of rice varieties to climate. In: Climate and rice. Los Baños, Philippines, IRRI. pp. 67 – 86.
33. VERGARA, B. S. 1984. Guía para el nuevo arrocero. Santo Domingo, República Dominicana, IRRI/Secretaría de Estado de Agricultura. Instituto Superior de Agricultura. 221 p.

34. VERGARA, B. S. 1989. Effects of temperature and photoperiodism on rice growth. Los Baños, Philippines, IRRI. 28 p. (Rice Production Training Series no.12).

35. VIDAL, A.; BEZUS, R.; PINCIROLI, M. 2003. Evaluación de genotipos de arroz frente a bajas temperaturas. (en línea). Corrientes, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. Consultado ago. 2004. Disponible en <http://www.sosbai.com.br/Bioclimato.pdf>

36. YOSHIDA, S. 1981. Fundamentals of rice crop science. Manila, Filipinas, IRRI. 268 p.

9. ANEXOS

ANEXO I

Análisis de Varianza para la variable Esterilidad para el Grupo I.

Least Squares Means

| Effect | Variedad | Estimate | Standard Error | DF | t Value | Pr > t |
|--------|-----------|----------|----------------|-----|---------|---------|
| VAR | CARAGUATÁ | 68.3947 | 1.7675 | 351 | 38.70 | <. 0001 |
| VAR | CH2 | 45.7313 | 1.8910 | 351 | 24.18 | <. 0001 |
| VAR | OLIMAR | 69.9357 | 1.7402 | 351 | 40.19 | <. 0001 |
| VAR | ZAPATA | 44.0582 | 1.9382 | 351 | 22.73 | <. 0001 |

Differences of Least Squares Means

| Effect | Variedad | _Variedad | Estimate | Standard Error | DF | t Value | Pr > t |
|--------|-----------|-----------|----------|----------------|-----|---------|---------|
| VAR | CARAGUATÁ | CH2 | 22.6634 | 2.5884 | 351 | 8.76 | <. 0001 |
| VAR | CARAGUATÁ | OLIMAR | -1.5410 | 2.4804 | 351 | -0.72 | 0.5348 |
| VAR | CARAGUATÁ | ZAPATA | 24.3365 | 2.6231 | 351 | 9.28 | <. 0001 |
| VAR | CH2 | OLIMAR | -24.2044 | 2.5698 | 351 | -9.42 | <. 0001 |
| VAR | CH2 | ZAPATA | 1.6731 | 2.7078 | 351 | 0.62 | 0.5371 |
| VAR | OLIMAR | ZAPATA | 25.8775 | 2.6048 | 351 | 9.93 | <. 0001 |

Análisis de Varianza para la variable Esterilidad para el Grupo II.

Least Squares Means

| Effect | Variedad | Estimate | Standard Error | DF | t Value | Pr > t |
|--------|-----------|----------|----------------|-----|---------|---------|
| VAR | CORONILLA | 65.5357 | 2.8005 | 237 | 23.40 | <. 0001 |
| VAR | CUARO | 55.7395 | 2.6034 | 237 | 21.41 | <. 0001 |
| VAR | EP 14 | 49.9876 | 2.4836 | 237 | 20.13 | <. 0001 |

Differences of Least Squares Means

| Effect | Variedad | _Variedad | Estimate | Standard Error | DF | t Value | Pr > t |
|--------|-----------|-----------|----------|----------------|-----|---------|---------|
| VAR | CORONILLA | CUARO | 9.7962 | 3.8237 | 237 | 2.56 | 0.0110 |
| VAR | CORONILLA | EP 144 | 15.5481 | 3.7432 | 237 | 4.15 | <. 0001 |
| VAR | CUARO | EP 144 | 5.7519 | 3.5981 | 237 | 1.60 | 0.1112 |

Análisis de Varianza para la variable Esterilidad para el Grupo III.

Least Squares Means

| Effect | Variedad | Estimate | Standard Error | DF | t Value | Pr > t |
|--------|----------|----------|----------------|-----|---------|---------|
| VAR | S 120 T | 46.111 | 1.9819 | 312 | 23.27 | <. 0001 |
| VAR | SAJ | 24.2369 | 1.9462 | 312 | 12.45 | <. 0001 |
| VAR | TACUARI | 68.8250 | 2.2297 | 312 | 30.87 | <. 0001 |
| VAR | XP 710 | 45.7057 | 1.9124 | 312 | 23.90 | <. 0001 |

Differences of Least Squares Means

| Effect | Variedad | _Variedad | Estimate | Standard Error | DF | t Value | Pr > t |
|--------|----------|-----------|----------|----------------|-----|---------|---------|
| VAR | S 120 T | SAJ | 21.8742 | 2.7778 | 312 | 7.87 | <. 0001 |
| VAR | S 120 T | TACUARI | -22.7139 | 2.9832 | 312 | -7.61 | <. 0001 |
| VAR | S 120 T | XP 710 | 0.4054 | 2.7541 | 312 | 0.15 | 0.8831 |
| VAR | SAJ | TACUARI | -44.5881 | 2.9596 | 312 | -15.07 | <. 0001 |
| VAR | SAJ | XP 710 | -21.4688 | 2.7286 | 312 | -7.87 | <. 0001 |
| VAR | TACUARI | XP 710 | 23.1193 | 2.9375 | 312 | 7.87 | <. 0001 |

Análisis de Varianza para la variable Esterilidad para el Grupo IV.

Least Squares Means

| Effect | Variedad | Estimate | Standard Error | DF | t Value | Pr > t |
|--------|----------|----------|----------------|----|---------|---------|
| VAR | FL 6 | 52.0953 | 2.9269 | 85 | 17.80 | <. 0001 |

ANEXO II

Análisis de Varianza para la variable Inserción de Panoja para el Grupo I.

Least Squares Means

| Effect | Variedad | Estimate | Standard Error | DF | t Value | Pr > t |
|--------|-----------|----------|----------------|-----|---------|---------|
| VAR | CARAGUATÁ | 8.7789 | 0.1291 | 351 | 68.01 | <. 0001 |
| VAR | CH2 | 8.5337 | 0.1381 | 351 | 61.79 | <. 0001 |
| VAR | OLIMAR | 8.6959 | 0.1271 | 351 | 68.42 | <. 0001 |
| VAR | ZAPATA | 10.2506 | 0.1416 | 351 | 71.41 | <. 0001 |

Differences of Least Squares Means

| Effect | Variedad | _Variedad | Estimate | Standard Error | DF | t Value | Pr > t |
|--------|-----------|-----------|----------|----------------|-----|---------|---------|
| VAR | CARAGUATÁ | CH2 | 0.2452 | 0.1890 | 351 | 1.30 | 0.1954 |
| VAR | CARAGUATÁ | OLIMAR | 0.08303 | 0.1812 | 351 | 0.46 | 0.6470 |
| VAR | CARAGUATÁ | ZAPATA | -1.4717 | 0.1916 | 351 | -7.68 | <. 0001 |
| VAR | CH2 | OLIMAR | -0.1622 | 0.1877 | 351 | -0.86 | 0.3881 |
| VAR | CH2 | ZAPATA | -1.7169 | 0.1978 | 351 | -8.68 | <. 0001 |
| VAR | OLIMAR | ZAPATA | -1.5547 | 0.1902 | 351 | -8.17 | <. 0001 |

Análisis de Varianza para la variable Inserción de Panoja para el Grupo II.

Least Squares Means

| Effect | Variedad | Estimate | Standard Error | DF | t Value | Pr > t |
|--------|-----------|----------|----------------|-----|---------|---------|
| VAR | CORONILLA | 8.4086 | 0.2107 | 237 | 39.90 | <. 0001 |
| VAR | CUARO | 9.7914 | 0.1959 | 237 | 49.98 | <. 0001 |
| VAR | EP 14 | 9.0899 | 0.1869 | 237 | 48.64 | <. 0001 |

Differences of Least Squares Means

| Effect | Variedad | _Variedad | Estimate | Standard Error | DF | t Value | Pr > t |
|--------|-----------|-----------|----------|----------------|-----|---------|---------|
| VAR | CORONILLA | CUARO | -1.3828 | 0.2877 | 237 | -4.81 | <. 0001 |
| VAR | CORONILLA | EP 144 | -0.6813 | 0.2817 | 237 | -2.42 | 0.0163 |
| VAR | CUARO | EP 144 | 0.7015 | 0.2707 | 237 | 2.59 | 0.0102 |

Análisis de Varianza para la variable Inserción de Panoja para el Grupo III.

Least Squares Means

| Effect | Variedad | Estimate | Standard Error | DF | t Value | Pr > t |
|--------|----------|----------|----------------|-----|---------|---------|
| VAR | S 120 T | 10.5309 | 0.1807 | 312 | 58.27 | <. 0001 |
| VAR | SAJ | 14.7619 | 0.1775 | 312 | 83.18 | <. 0001 |
| VAR | TACUARI | 9.7188 | 0.2033 | 312 | 47.80 | <. 0001 |
| VAR | XP 710 | 6.5000 | 0.1744 | 312 | 37.27 | <. 0001 |

Differences of Least Squares Means

| Effect | Variedad | _Variedad | Estimate | Standard Error | DF | t Value | Pr > t |
|--------|----------|-----------|----------|----------------|-----|---------|---------|
| VAR | S 120 T | SAJ | -4.2310 | 0.2533 | 312 | -16.70 | <. 0001 |
| VAR | S 120 T | TACUARI | 0.8121 | 0.2720 | 312 | 2.99 | 0.0031 |
| VAR | S 120 T | XP 710 | 4.0309 | 0.2511 | 312 | 16.05 | <. 0001 |
| VAR | SAJ | TACUARI | 5.0332 | 0.2699 | 312 | 18.69 | <. 0001 |
| VAR | SAJ | XP 710 | 8.2619 | 0.2488 | 312 | 31.21 | <. 0001 |
| VAR | TACUARI | XP 710 | 3.2187 | 0.2679 | 312 | 12.02 | <. 0001 |

Análisis de Varianza para la variable Inserción de Panoja para el Grupo IV.

Least Squares Means

| Effect | Variedad | Estimate | Standard Error | DF | t Value | Pr > t |
|--------|----------|----------|----------------|----|---------|---------|
| VAR | FL 6 | 7.9651 | 0.09386 | 85 | 84.86 | <. 0001 |

ANEXO III

Análisis de los Factores

The FACTOR Procedure

Initial Factor Method: Principal Components

Factor Pattern

| | Factor 1 | Factor 2 | Factor 3 |
|---------|----------|----------|----------|
| TA3d | -0.02032 | -0.44793 | -0.46873 |
| TD3d | -0.13481 | 0.22771 | 0.89431 |
| TA10d | -0.42955 | -0.37833 | 0.52383 |
| TD12d | -0.95832 | 0.14966 | -0.07746 |
| TA15NIN | 0.56945 | 0.77418 | -0.00267 |
| TA14 | 0.38848 | 0.87255 | -0.03528 |
| TD15NIN | 0.74312 | -0.48690 | 0.26799 |
| TD14 | 0.83474 | -0.49776 | 0.08976 |

Variance Explained by Each Factor

| Factor 1 | Factor 2 | Factor 3 |
|-----------|-----------|-----------|
| 2.8456997 | 2.2635648 | 1.3810139 |

Prior Communality Estimates: ONE

Eigenvalues of the Correlation Matrix: Total = 8 Average = 1

| | Eigenvalue | Difference | Proportion | Cumulative |
|---|------------|------------|------------|------------|
| 1 | 2.84569973 | 0.58213496 | 0.3557 | 0.3557 |
| 2 | 2.26356477 | 0.88255088 | 0.2829 | 0.6387 |
| 3 | 1.38101389 | 0.45521257 | 0.1726 | 0.8113 |
| 4 | 0.92580132 | 0.53148340 | 0.1157 | 0.9270 |
| 5 | 0.39431792 | 0.21919758 | 0.0493 | 0.9763 |
| 6 | 0.17512034 | 0.16136161 | 0.0219 | 0.9982 |
| 7 | 0.01375873 | 0.01303542 | 0.0017 | 0.9999 |
| 8 | 0.00072331 | | 0.0001 | 1.0000 |

3 factors will be retained by the NFACTOR criterion.

ANEXO IV

Regresiones de Esterilidad e Inserción de Panoja

| VAR | Variable | DF | Parameter Estimate | Standard Error | t Value | Pr< t | R-square | Coeff. Var. |
|-----------|-----------|----|--------------------|----------------|---------|--------|----------|-------------|
| CARAGUATA | Intercept | 1 | 109.43209 | 14.07773 | 7.77 | <.0001 | 0.1004 | 38.07307 |
| | Inpan. | 1 | -5.70778 | 1.55284 | -3.68 | 0.0004 | | |
| CH2 | Intercept | 1 | 80.46337 | 16.39781 | 4.91 | <.0001 | 0.0325 | 40.42193 |
| | Inpan. | 1 | -3.62996 | 1.90429 | -1.91 | 0.0593 | | |
| COROILLA | Intercept | 1 | 113.20402 | 13.05755 | 8.67 | <.0001 | 0.1309 | 35.60971 |
| | Inpan. | 1 | -5.61314 | 1.48421 | -3.78 | 0.0003 | | |
| CUARO | Intercept | 1 | 101.09005 | 9.38309 | 10.77 | <.0001 | 0.1773 | 39.20499 |
| | Inpan. | 1 | -4.19828 | 0.88684 | -4.73 | <.0001 | | |
| EP 144 | Intercept | 1 | 69.52881 | 12.57847 | 5.53 | <.0001 | 0.0184 | 30.29100 |
| | Inpan. | 1 | -1.97402 | 1.38700 | -1.42 | 0.1576 | | |
| FL 6 | Intercept | 1 | 48.18613 | 22.93043 | 2.10 | 0.0378 | 0.0000 | 55.85860 |
| | Inpan. | 1 | 0.12544 | 2.85324 | 0.04 | 0.9650 | | |
| OIMAR | Intercept | 1 | 127.17100 | 6.78581 | 18.74 | <.0001 | 0.3714 | 20.67194 |
| | Inpan. | 1 | -6.47524 | 0.77227 | -8.38 | <.0001 | | |
| S 120 T | Intercept | 1 | 70.56822 | 10.91638 | 6.46 | <.0001 | 0.0479 | 39.32656 |
| | Inpan. | 1 | -2.34943 | 1.01301 | -2.32 | 0.0223 | | |
| SAJ | Intercept | 1 | 16.22027 | 10.40268 | 1.56 | 0.1218 | 0.0067 | 57.53944 |
| | Inpan. | 1 | 0.59031 | 0.68344 | 0.86 | 0.3896 | | |
| TACUARI | Intercept | 1 | 79.71156 | 9.63760 | 8.27 | <.0001 | 0.0304 | 25.45575 |
| | Inpan. | 1 | -1.486689 | 0.93320 | -1.59 | 0.1150 | | |
| XP 710 | Intercept | 1 | 55.03840 | 14.04058 | 3.92 | 0.0002 | 0.0057 | 48.05521 |
| | Inpan. | 1 | -1.71781 | 2.14150 | -0.80 | 0.4242 | | |
| ZAPATA | Intercept | 1 | 60.53669 | 14.13512 | 4.31 | <.0001 | 0.0156 | 32.12679 |
| | Inpan. | 1 | -1.74908 | 1.36145 | -1.28 | 0.2017 | | |

ANEXO V

Análisis de Factor por Variedad

| VAR | Parameter | DF | Estimate | Standard Error | Wald 95% Confidence Limits | | Chi-Square | Pr>ChiSq |
|-----------|-----------|----|----------|----------------|----------------------------|----------|------------|----------|
| CARAGUATA | Intercept | 1 | 2.3806 | 1.4141 | -0.3909 | 5.1522 | 2.83 | 0.0923 |
| | Factor1 | 1 | -1.1032 | 1.1012 | -3.2615 | 1.0551 | 1.00 | 0.3164 |
| | Factor2 | 1 | -0.8211 | 0.2027 | -1.2213 | -0.4269 | 16.54 | <.0001 |
| | Inpan. | 1 | -0.0641 | 0.0225 | -0.1082 | -0.0201 | 8.15 | 0.0043 |
| CH2 | Intercept | 1 | 13.0097 | 1.2584 | 10.5434 | 15.4760 | 106.89 | <.0001 |
| | Factor1 | 1 | -9.4764 | 0.9755 | -11.3884 | -7.5645 | 94.37 | <.0001 |
| | Factor2 | 1 | 5.8168 | 0.3408 | 5.1489 | 6.4847 | 291.33 | <.0001 |
| | Inpan. | 1 | -0.0955 | 0.0291 | -0.1524 | -0.0385 | 10.79 | 0.0010 |
| COONILLA | Intercept | 1 | 9.7177 | 2.2953 | 5.2190 | 14.2165 | 17.92 | <.0001 |
| | Factor1 | 1 | 16.7047 | 4.1174 | 8.6348 | 24.7746 | 16.43 | <.0001 |
| | Factor2 | 1 | -2.4649 | 0.4118 | -3.2721 | -1.6578 | 35.82 | <.0001 |
| | Inpan. | 1 | -0.1656 | 0.0213 | -0.2074 | -0.1239 | 60.48 | <.0001 |
| CUARO | Intercept | 1 | -21.4516 | 2.5867 | 26.5214 | -16.3818 | 68.78 | <.0001 |
| | Factor1 | 1 | -46.8435 | 4.6098 | -55.8785 | -37.8086 | 103.26 | <.0001 |
| | Factor2 | 1 | 1.9179 | 0.4611 | 1.0142 | 2.8217 | 17.30 | <.0001 |
| | Inpan. | 1 | -0.1826 | 0.0147 | -0.2114 | -0.1539 | 155.03 | <.0001 |
| EP 144 | Intercept | 1 | 10.8673 | 1.9598 | 7.0261 | 14.7084 | 30.75 | <.0001 |
| | Factor1 | 1 | 20.0814 | 3.6461 | 12.9352 | 27.2275 | 30.33 | <.0001 |
| | Factor2 | 1 | 2.2456 | 0.3831 | 1.4947 | 2.9964 | 34.36 | <.0001 |
| | Inpan. | 1 | 0.0414 | 0.0259 | -0.0093 | 0.0921 | 2.57 | 0.1092 |
| FL6 | Intercept | 1 | 3.0383 | 0.6602 | 1.7443 | 4.3323 | 21.18 | <.0001 |
| | Factor1 | 1 | -4.4224 | 0.6094 | -5.6169 | -3.2279 | 52.66 | <.0001 |
| | Factor2 | 1 | -1.1170 | 0.2212 | -1.5506 | -0.6834 | 25.49 | <.0001 |
| | Inpan. | 1 | -0.0875 | 0.0417 | -0.1692 | -0.0059 | 4.42 | 0.0356 |
| OLIMAR | Intercept | 1 | -11.4854 | 1.2339 | -13.9037 | -9.6670 | 86.65 | <.0001 |
| | Factor1 | 1 | 11.6555 | 0.9408 | 9.8116 | 13.4973 | 153.49 | <.0001 |
| | Factor2 | 1 | 0.6390 | 0.2761 | 0.0979 | 1.1801 | 5.36 | 0.0206 |
| | Inpan. | 1 | -0.2986 | 0.0177 | -0.3333 | -0.2638 | 283.77 | <.0001 |
| S 120 T | Intercept | 1 | 0.9454 | 0.2385 | 0.4780 | 1.4129 | 15.71 | <.0001 |
| | Factor1 | 1 | -0.0075 | 0.1746 | -0.3498 | 0.3347 | 0.00 | 0.9657 |
| | Factor2 | 1 | 0.4640 | 0.0974 | 0.6549 | 0.6549 | 22.67 | <.0001 |
| | Inpan. | 1 | -0.0732 | 0.0172 | -0.0394 | -0.0394 | 18.07 | <.0001 |
| SAJ | Intercept | 1 | 11.6101 | 1.4840 | 8.7016 | 14.5186 | 61.21 | <.0001 |
| | Factor1 | 1 | 11.9461 | 1.4642 | 9.0762 | 14.8159 | 66.56 | <.0001 |
| | Factor2 | 1 | -1.5086 | 0.1618 | -1.8257 | -1.1915 | 86.96 | <.0001 |
| | Inpan. | 1 | -0.0648 | 0.0210 | -0.1060 | -0.0236 | 9.50 | 0.0021 |
| TACUARI | Intercept | 1 | 5.3879 | 1.1304 | 3.1724 | 7.6034 | 22.72 | <.0001 |
| | Factor1 | 1 | 3.6180 | 1.0450 | 1.5699 | 5.6661 | 11.99 | 0.0005 |
| | Factor2 | 1 | 0.5340 | 0.1046 | 0.3290 | 0.7389 | 26.07 | <.0001 |
| | Inpan. | 1 | -0.0596 | 0.0156 | -0.0862 | -0.0251 | 12.74 | 0.0004 |
| XP 710 | Intercept | 1 | 24.5742 | 5.6571 | 13.4865 | 35.6618 | 18.87 | <.0001 |
| | Factor1 | 1 | 20.7228 | 4.9601 | 11.0012 | 30.4444 | 17.45 | <.0001 |
| | Factor2 | 1 | 0.6117 | 0.4430 | -0.2567 | 1.4800 | 1.91 | 0.1674 |
| | Inpan. | 1 | -0.1574 | 0.0333 | -0.2228 | -0.0921 | 22.30 | <.0001 |
| ZAPATA | Intercept | 1 | -3.0667 | 1.0771 | -5.1777 | -0.9557 | 8.11 | 0.0044 |
| | Factor1 | 1 | 2.5381 | 0.8307 | 0.9100 | 4.1663 | 9.34 | 0.0022 |
| | Factor2 | 1 | 0.3047 | 0.2291 | -0.1443 | 0.7537 | 1.77 | 0.1835 |
| | Inpan. | 1 | -0.0455 | 0.0222 | -0.0891 | -0.0019 | 4.99 | 0.0407 |

NOTE: the scale parameter was held fixed.