



## TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO INSTITUTO TECNOLÓGICO DE CHINÁ

### TESIS

COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE:  
**INGENIERO AGRÓNOMO**

PRESENTA:  
**ANGEL CANDELARIO CENTENO MEDINA**

ASESOR INTERNO:  
**MÓNICA BEATRIZ LÓPEZ HERNÁNDEZ**

TÍTULO:  
**“CARACTERÍSTICAS AGRONÓMICAS DE LÍNEAS Y VARIEDADES DE ARROZ  
(*Oriza sativa* L.) EN CONDICIONES DE TEMPORAL EN CAMPECHE”**

**MARZO 2025**





## TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO INSTITUTO TECNOLÓGICO DE CHINÁ

### TESIS

COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE:  
**INGENIERO AGRÓNOMO**

PRESENTA:  
**ANGEL CANDELARIO CENTENO MEDINA**

ASESOR INTERNO:  
**MÓNICA BEATRIZ LÓPEZ HERNÁNDEZ**

TÍTULO:  
**“CARACTERÍSTICAS AGRONÓMICAS DE LÍNEAS Y VARIEDADES DE ARROZ  
(*Oriza sativa* L.) EN CONDICIONES DE TEMPORAL EN CAMPECHE”**

**MARZO 2025**



**Instituto Tecnológico de Chiná**  
Dirección

Chiná, Campeche; 19/marzo/2025  
Oficio No. DIR/211/2025

**C. CENTENO MEDINA ANGEL CANDELARIO  
PRESENTE**

El que suscribe, manifiesta que el Dictamen emitido por el Comité de Revisión que integra el sínodo de la Titulación Integral por Tesis denominada **"CARACTERÍSTICAS AGRONÓMICAS DE LÍNEAS Y VARIEDADES DE ARROZ (Orizativa L.) EN CONDICIONES DE TEMPORAL EN CAMPECHE"**; es **aprobado** como requisito parcial para obtener el Título de Ingeniero Agrónomo.

Sin otro particular, reciba un cordial saludo.

**ATENTAMENTE**  
*Excelencia en Educación Tecnológica®*  
*Aprender Produciendo*

**MARCO GABRIEL ROSADO ÁVILA**  
**DIRECTOR**

Minutario

MGRA/scbn



**2025**  
Año de  
La Mujer  
Indígena

Calle 11 S/N entre 22 y 28, Chiná,  
Campeche, C.P. 24520, Tel. 9818272052 y  
9818272082, e-mail: dir\_china@tecnm.mx  
[www.itchina.edu.mx](http://www.itchina.edu.mx)



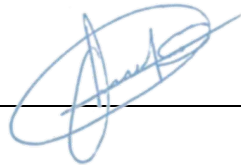
## COMITÉ REVISOR

Este trabajo fue revisado y aprobado por este comité y presentado por el C. CENTENO MEDINA ANGEL CANDELARIO, como requisito parcial para obtener el título de: INGENIERO AGRÓNOMO, el día 21 del mes de marzo del año 2025 en Chiná, Campeche.

MONICA BEATRIZ LOPEZ HERNANDEZ  
Presidente



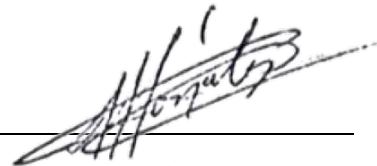
ANTONIO VILLALOBOS GONZALEZ  
Secretario



ENRIQUE ARCOCHA GOMEZ  
Vocal



NOEL ANTONIO GONZALEZ VALDIVIA  
Vocal Suplente



## AGRADECIMIENTOS

A Dios. Por darme salud vida y fuerzas para continuar y terminar mis estudios.

Un sincero agradecimiento al Instituto Tecnológico de Chiná por brindarme la oportunidad de estudiar la carrera Ingeniería en Agronomía, donde adquirí muchos conocimientos que me serán útiles en la siguiente etapa como profesional.

Con todo mi ser, agradezco a mis padres y mi esposa por apoyarme durante este proyecto y brindarme sus consejos y cariño incondicional.

Agradezco a mi directora de tesis, **Dra. Mónica Beatriz López Hernández**, por su apoyo, paciencia y experiencia brindada para culminar todo lo realizado en este proyecto profesional.

También agradezco a mi Codirector **Dr. Antonio Villalobos González** por el apoyo y paciencia que me brindo durante todo el proceso de la tesis, quien con el mismo tuve el contacto directo en todos los trámites, trabajo de campo, experiencias y conocimientos transmitidos, motivándome a superarme en todo momento.

Al **Campo Experimental Edzná**, perteneciente al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (**INIFAP**), donde me brindaron la oportunidad de realizar este proyecto de tesis. Por lo que agradezco el apoyo de las autoridades correspondientes del **C.E. Edzná** del **CIR-Sureste** del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP)

## **DEDICATORIA**

A mis padres.

Angelmiro Centeno Segovia y Maribel Medina Carpintero, por apoyarme incondicionalmente todos estos años de lucha para poder salir adelante.

A mi esposa

Griselda Coc Choc, por haberme dado su tiempo y sus consejos para continuar con mis estudios.

A mi hermano

Santiago Emmanuel Centeno Medina, por su apoyo en todo momento.

.

## RESUMEN

Con frecuencia la sequía en el estado de Campeche viene acompañada de altas temperaturas o calor que afectan los procesos fisiológicos de la planta como el cierre de estomas, disminución de la transpiración y aumento de la temperatura en el cultivo de arroz. En este sentido, el presente trabajo tuvo como objetivo evaluar características agronómicas de líneas y variedades de arroz en condiciones de temporal en el estado de Campeche, México. En este contexto el estudio agrupo a 36 materiales de arroz que se establecieron de forma manual el día 22 julio del 2024. Para ello se utilizó un diseño experimental de bloques completos al azar con tres repeticiones (Figura 2). Cada parcela estaba constituida de seis surcos de seis metros de longitud, separados a 0.20 metros entre surco. Alrededor todo el contorno de las parcelas útiles se formaron bordos para la aplicación de riego de auxilio. Se registro el porcentaje de emergencia, altura de planta, peso seco de materia seca de raíz, tallo y hojas, temperatura del dosel y efecto del estrés hídrico. Los resultados indica que el estrés hídrico y a las altas temperaturas afectaron significativamente ( $P \leq 0.05$ ) el porcentaje de emergencia, altura de planta, peso seco de raíz, tallo, hojas y materia seca total con base a la etapa vegetativa de líneas y variedades de arroz. El material que sobresalió fue el Temporalero A-95. Esto debido a que se ubicó como el material con mayor producción de materia seca y mejor respuesta al estrés hídrico y a las altas temperaturas en condiciones de temporal en Campeche.

**Palabras clave:** estrés hídrico, temperatura, germoplasma.

## CONTENIDO

|                                                        |    |
|--------------------------------------------------------|----|
| AGRADECIMIENTOS                                        | 1  |
| DEDICATORIA                                            | 2  |
| RESUMEN                                                | 3  |
| CONTENIDO                                              | 4  |
| ÍNDICE DE FIGURAS                                      | 6  |
| ÍNDICE DE CUADROS                                      | 7  |
| I. INTRODUCCIÓN                                        | 8  |
| II. OBJETIVOS                                          | 10 |
| 2.2 Objetivo general                                   | 10 |
| 2.3 Objetivos específicos                              | 10 |
| III. HIPÓTESIS                                         | 10 |
| IV. REVISIÓN DE LITERATURA                             | 11 |
| 4.1 El arroz a nivel mundial                           | 11 |
| 4.2 El arroz en México                                 | 12 |
| 4.3 Condiciones climáticas para la producción de arroz | 16 |
| 4.4 Usos del arroz                                     | 16 |
| 4.5 El estrés por sequia                               | 17 |
| 4.6 El estrés por altas temperaturas                   | 17 |
| V. MATERIALES Y MÉTODOS                                | 19 |
| 5.1 Ubicación del experimento                          | 19 |
| 5.2 Material genético                                  | 19 |
| 5.3 Diseño experimental                                | 20 |
| 5.4 Manejo del experimento                             | 21 |
| 5.5 Variables registradas                              | 21 |
| 5.6 Análisis estadístico                               | 22 |
| 5.7 Comportamiento de la precipitación                 | 22 |
| VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN                             | 23 |
| 6.1 Resultados                                         | 23 |
| 6.1.1 Porcentaje de emergencia                         | 23 |
| 6.1.2 Altura de planta                                 | 24 |

|                                                       |    |
|-------------------------------------------------------|----|
| 6.1.3 Peso seco de hojas                              | 25 |
| 6.1.4 Peso seco de tallo                              | 26 |
| 6.1.5 Peso seco de raíz                               | 27 |
| 6.1.6 Peso de biomasa total                           | 28 |
| 6.1.7 Temperatura del dosel                           | 30 |
| 6.1.8 Estrés hídrico                                  | 32 |
| 6.2 DISCUSIÓN                                         | 33 |
| 6.2.1 Porcentaje de emergencia                        | 33 |
| 6.2.2 Altura de planta                                | 33 |
| 6.2.3 Peso seco de materia seca (raíz, tallo y hojas) | 34 |
| 6.2.4 Temperatura del dosel                           | 34 |
| 6.2.5 Estrés hídrico                                  | 35 |
| VII. CONCLUSIONES                                     | 35 |
| VIII. RECOMENDACIONES                                 | 36 |
| IX. BIBLIOGRAFÍA                                      | 36 |

## INDICE DE FIGURAS

|                                                                                                                                                                                                                                              | Pág. |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| Figura 1. Producción global de arroz en grano 2018-2024                                                                                                                                                                                      | 11   |
| Figura 2. Extensión del terreno de cultivo de arroz en el mundo 2015-2022                                                                                                                                                                    | 11   |
| Figura 3. Rendimiento en toneladas por hectárea en el cultivo de arroz en 2021, de los principales países productores y México<br>Elaboración propia con datos de FAO (2023) (Favila y Herrera, 2023)                                        | 13   |
| Figura 4. Producción de arroz de México en toneladas de 1984 a 2021<br>Elaboración propia con datos de FAO (2023) (Favila y Herrera, 2023).                                                                                                  | 14   |
| Figura 5. Producción de arroz en Mexico. 1993-2020. Elaboración propia con datos del SIAP (2022) y de Bastida (2022)                                                                                                                         | 14   |
| Figura 6. Rendimiento por hectárea de arroz en Mexico. 1993-2020. Elaboración propia con datos del SIAP (2022) y de Bastida (2022)                                                                                                           | 15   |
| Figura 7. Superficie sembrada y cosechada de arroz en Mexico. 1993-2020. Elaboración propia con datos del SIAP (2022) y de Bastida (2022).                                                                                                   | 15   |
| Figura 8. Panorámica del experimento de arroz en el Sitio Experimental Edzná. San Francisco de Campeche, Camp., México. Ciclo Primavera-Verano 2024.                                                                                         | 19   |
| Figura 9. Panorámica del arreglo del diseño experimental de arroz en el Sitio Experimental Edzná. San Francisco de Campeche, Camp., México. Ciclo Primavera-Verano 2024                                                                      | 20   |
| Figura 10. Precipitación durante el experimento de líneas y variedades de arroz en condiciones de temporal en el Sitio Experimental Edzná. Ciclo Primavera-Verano 2024. FDS=Fecha de siembra; RA=Aplicación de riego de auxilio              | 22   |
| Figura 11. Comparación de medias de líneas y variedades de arroz con base a % de emergencia en condiciones de temporal en el ciclo de Primavera-Verano 2024. Letras iguales denotan que no hay diferencia significativa ( $P \leq 0.05$ )    | 24   |
| Figura 12. Comparación de medias de líneas y variedades de arroz con base a altura de planta en condiciones de temporal en el ciclo de Primavera-Verano 2024. Letras iguales denotan que no hay diferencia significativa ( $P \leq 0.05$ )   | 25   |
| Figura 13. Comparación de medias de líneas y variedades de arroz con base a peso seco de hojas en condiciones de temporal en el ciclo de Primavera-Verano 2024. Letras iguales denotan que no hay diferencia significativa ( $P \leq 0.05$ ) | 26   |
| Figura 14. Comparación de medias de líneas y variedades de arroz con base a peso seco de tallo en condiciones de temporal en el ciclo de Primavera-Verano 2024. Letras iguales denotan que no hay diferencia significativa ( $P \leq 0.05$ ) | 27   |

|            |                                                                                                                                                                                                                                                                                |    |
|------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 15. | Comparación de medias de líneas y variedades de arroz con base a peso seco de raíz en condiciones de temporal en el ciclo de Primavera-Verano 2024. Letras iguales denotan que no hay diferencia significativa ( $P \leq 0.05$ )                                               | 28 |
| Figura 16. | Comparación de medias de líneas y variedades de arroz con base a biomasa total en condiciones de temporal en el ciclo de Primavera-Verano 2024. Letras iguales denotan que no hay diferencia significativa ( $P \leq 0.05$ ).                                                  | 29 |
| Figura 17. | Panorámica del uso de la balanza digital para la obtención del peso seco de raíz, tallo y hojas de las plántulas de líneas y variedades de arroz                                                                                                                               | 29 |
| Figura 18. | Comparación de medias de líneas y variedades de arroz con base a temperatura del dosel en condiciones de temporal en el ciclo de Primavera-Verano 2024                                                                                                                         | 30 |
| Figura 19. | Comparación de medias de líneas y variedades de arroz con base a temperatura del dosel en condiciones de temporal en el ciclo de Primavera-Verano 2024. Letras iguales denotan que no hay diferencia significativa ( $P \leq 0.05$ )                                           | 31 |
| Figura 20. | Panorámica del uso del termómetro infrarrojo para la obtención de la temperatura del dosel (a) y hojas del dosel marchitas por altas temperaturas en líneas y variedades de arroz                                                                                              | 31 |
| Figura 21. | Comparación de medias de líneas y variedades de arroz con base a temperatura del dosel en condiciones de temporal en el ciclo de Primavera-Verano 2024. Escala: 1=tolerante; 3=moderadamente tolerante; 5=moderadamente susceptible; 7=susceptible; 10=altamente susceptible.. | 32 |

## INDICE DE CUADROS

|           |                                                                                                           |            |
|-----------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| Cuadro 1. | Material genético de arroz utilizado en el Ciclo de Primavera-Verano 2024. Uzhzil Edzná, Campeche, México | Pág.<br>20 |
| Cuadro 2. | Resultados de ANOVA                                                                                       | 23         |

## I. INTRODUCCIÓN

En México, el arroz es considerado como uno de los cultivos más importantes en la alimentación, sólo detrás del maíz, el frijol y el trigo; entre el año 2010 y el año 2017, su consumo per cápita en México pasó de los 9.4 kg. a los 11 kg., lo cual da cuenta de la creciente necesidad que experimenta México por este grano, y de su importancia para la dieta de la población (Favila y Herrera 2023; CEDRSSA, 2020). Los países con mayor producción de arroz son China, India, Indonesia, Vietnam y Bangladesh. Si embargo, pese a que México produce considerablemente menos arroz que los cinco principales productores, su productividad (6.3 t/Ha), medida a través del rendimiento por hectárea, es la segunda más alta entre los países con mayor producción, sólo después de la de China (7.1 t/Ha) (FAOSTAT, 2023).

El cultivo del arroz (Ireta, 2023) en México predomina en los estados de Nayarit, Campeche, Michoacán, Veracruz, Colima, Jalisco, Tabasco y Morelos (SIAP, 2020). El grano de arroz tipo largo y delgado es el de mayor consumo nacional (Álvarez *et al.*, 2018), seguido en preferencias por el grano corto y grueso y por el grano grueso y largo. El arroz de grano grueso y largo es el que se siembra en el estado de Morelos, este cereal está reconocido con denominación de origen (DO) como arroz del estado de Morelos (DOF, 2012) y cuenta con la norma oficial mexicana NOM-080-SCFI-2016 arroz del estado de Morelos, que da sustento a la DO arroz del estado de Morelos (DOF, 2017).

En este sentido, es importante precisar, que en el país se utilizan dos sistemas de producción, uno basado en el suministro de riego y el otro sujeto al abastecimiento por efecto de la precipitación pluvial (Álvarez *et al.*, 2022). El del sistema de riego está localizado principalmente en la región del Pacífico, se compone de los estados de Nayarit, Jalisco, Colima, Michoacán, Guerrero, Estado de México, Morelos y Oaxaca. El del sistema de secano está localizado en el sureste, incluye los estados de Tamaulipas, Veracruz, Tabasco, Chiapas, Campeche y Quintana Roo (Hernández y Tavitas, 2005).

Entre las principales limitantes en la producción del cultivo de arroz, es la presencia de plagas como enfermedades. Al respecto, se reportan 43 enfermedades y de las 70 especies reconocidas, solo 20 insectos plagas son consideradas las de mayor

importancia (Pathak y Khan, 1994). Otro aspecto que repercute en la productividad del arroz es el efecto que ha ocasionado el cambio climático a través de las variaciones en el clima, tales como la temperatura, humedad relativa, precipitación, radiación solar, entre otros. Valle *et al.*, (2022) indica que el incremento de 1 °C de la temperatura del aire (media y máxima) disminuye el rendimiento de arroz en un 13 %, con afectaciones en variedades de arroz como IACuba 31 e IACuba 40.

Las altas temperaturas diurnas y nocturnas pueden reducir drásticamente el potencial productivo del cultivo de arroz debido a la reducción del ciclo del cultivo y por esterilidad en las espigas (Castro 2010). Esta tendencia puede ser contrarrestada mediante la selección de genotipos más resistentes a las condiciones de alta temperatura del aire durante la floración, así como con la alteración de la época de siembra.

Con frecuencia la sequía viene acompañada de altas temperaturas o calor que afectan los procesos fisiológicos de la planta como el cierre de estomas, disminución de la transpiración y aumento de la temperatura (Bazzaz *et al.* 2015). En las regiones tropicales como Campeche, la humedad relativa es una dimensión adicional que puede exacerbar el efecto del estrés por calor en dos formas: (i) el aire saturado reduce el potencial de enfriamiento evaporativo de la planta y (ii) las altas temperaturas nocturnas (Reynolds *et al.* 2010).

El estrés por calor que experimenta la planta es función de la temperatura del aire y, de los factores genéticos y agronómicos que determinan el potencial de enfriamiento evaporativo de la planta. Los factores genéticos con mayor influencia en el calentamiento de la planta son la cubierta o dosel vegetal, la arquitectura del dosel, la conductancia estomática; además de factores agronómicos como la fecha de siembra, el método de siembra, riego, sistema de cultivo y control de malezas, plagas y enfermedades (Reynolds *et al.* 2010).

En este contexto, la temperatura del dosel en periodos de estrés extremo está asociada con mayor capacidad de extracción de agua en el perfil del suelo de 60 a 120 cm, durante el llenado del grano (Pask y Reynolds 2013). La temperatura de la planta también sirve para medir la tensión hídrica del suelo, particularmente en las etapas reproductivas del cultivo (Siegfried *et al.* 2017). La tolerancia al estrés hídrico

y calor junto con otras técnicas puede ayudar a descubrir los mecanismos que determinan la termo-tolerancia, lo que podría contribuir a la producción y/o mantener la producción de arroz. Con base a lo anterior, el objetivo fue evaluar características agronómicas, tales como la temperatura del dosel y tolerancia al estrés hídrico de líneas y variedades de arroz en condiciones de temporal en el estado de Campeche, México.

## **II. OBJETIVOS**

### **2.2 Objetivo general**

Evaluar características agronómicas de líneas y variedades de arroz en condiciones de temporal en el estado de Campeche, México.

### **2.3 Objetivos específicos**

- Estudia el efecto del estrés intermitente en características de líneas y variedades de arroz en etapa vegetativa en Campeche.
- Estudiar el comportamiento agronómico de líneas y variedades de arroz con base a la producción de biomasa total en Campeche.
- Analizar la altura de planta de líneas y variedades de arroz con base al efecto del estrés intermitente en Campeche.
- Estudiar la temperatura del dosel de líneas y variedades de arroz en condiciones de temporal en el estado de Campeche.

## **III. HIPOTESIS**

**H1:** Al menos un material de arroz presenta un buen comportamiento agronómico en condiciones de temporal y estrés intermitente en el estado de Campeche.

**H2:** Ningún material de arroz presenta un buen comportamiento agronómico en condiciones de temporal y estrés intermitente en el estado de Campeche.

## IV. REVISIÓN DE LITERARIA

### 4.1 El arroz a nivel mundial

En el periodo de 2023 a 2024, la producción global de arroz fue de aproximadamente 513.5 millones de toneladas (Figura 1), marcando el cuarto año consecutivo en el que el volumen de producción de este cereal supera los 500 millones de toneladas (STATISTA, 2024).

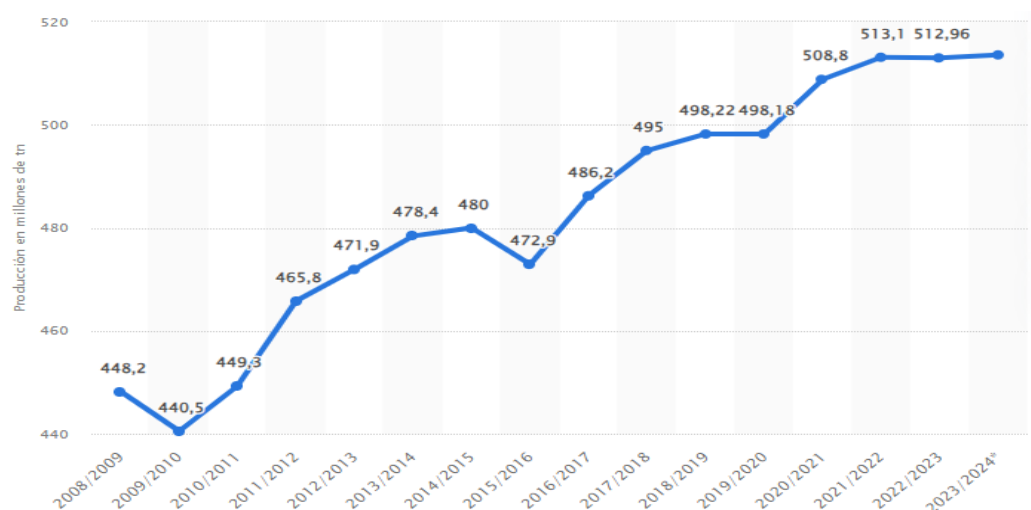


Figura 1. Producción global de arroz en grano 2018-2024.

El área cultivada de arroz a nivel mundial se situó en torno a los 165 millones de hectáreas en 2022 (STATISTA, 2024). Este dato creo un decrecimiento de alrededor de 1,3 millones con respecto a la extensión de la superficie de cultivo de este cereal registrada durante el año anterior (Figura 2).



Figura 2. Extensión del terreno de cultivo de arroz en el mundo 2015-2022.

Con una producción de arroz aproximadamente 146 millones de toneladas, China se convirtió en el principal productor de este cereal a nivel mundial en 2023. India y Bangladés, otros dos países asiáticos, se situaron en segunda y tercera posición respectivamente. De hecho, la clasificación estuvo prácticamente monopolizada por dicho continente, lo que no sorprende si se tiene en cuenta la importancia de este grano en su dieta (STATISTA, 2024).

Durante el año de 2022 a 2023 el continente asiático destaca en el consumo de este cereal. En concreto, la región de Asia del Este fue la que registró una mayor cantidad de consumo, con alrededor de 170 millones de toneladas. La Unión Europea se situó en la novena posición, con 3.4 millones de toneladas consumidas de arroz.

De acuerdo a STATISTA (2024) China es el mayor consumidor de arroz en el mundo. En la campaña 2023/2024, lideró el ranking de consumo de este cereal con cerca de 150 millones de toneladas. Una lista formada principalmente por países asiáticos, en la que hay que ir hasta la décima posición para encontrar el primer estado fuera de este continente, Nigeria.

Con un volumen total de aproximadamente 2.597 millones de kilogramos, China fue el principal país importador de arroz del mundo en 2023. Benín y Filipinas se situaron en la segunda y la tercera posición. Mientras que India envió al exterior aproximadamente 17.865 millones de kilogramos de arroz en 2023 y se convirtió así en el principal exportador del mundo de este tipo de cereal. Tailandia y Vietnam se situaron en segunda y tercera posición, respectivamente (STATISTA, 2024).

## **4.2 El arroz en México**

El arroz es considerado como uno de los cultivos más importantes en la alimentación de los mexicanos (Favila y Herrera, 2023), sólo detrás del maíz, el frijol y el trigo; entre el año 2010 y el año 2017, su consumo per cápita en México pasó de los 9.4 kg. a los 11 kg., lo cual da cuenta de la creciente necesidad que experimenta México por este grano, y de su importancia para la dieta de la población (CEDRSSA, 2020). En la Figura 3, muestra el rendimiento en toneladas por hectárea (t/Ha) de los cinco principales países productores, en comparación con el de México (país que ocupó el lugar 61), para el año 2021.

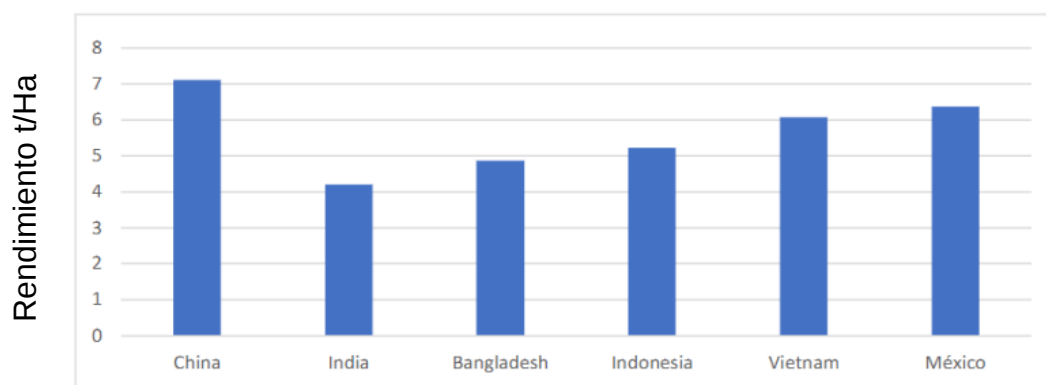


Figura 3. Rendimiento en toneladas por hectárea en el cultivo de arroz en 2021, de los principales países productores y México Elaboración propia con datos de FAO (2023) (Favila y Herrera, 2023).

Igualmente pese a que México produce considerablemente menos arroz (Figura 3) que los cinco principales productores, su productividad (6.3 t/Ha), medida a través del rendimiento por hectárea, es la segunda más alta de la comparación, sólo después de la de China (7.1 t/Ha) (FAOSTAT, 2023).

En México, la producción de arroz proviene principalmente de tres sistemas de cultivo: el trasplante bajo riego (en la zona centro y sur del país), la siembra directa bajo riego (en el norte y occidente), y la siembra de temporal (en el sureste) (Favila y Herrera, 2023). El cultivo requiere que la tierra en la cual crece esté sumergida en agua y posea un alto contenido de materia orgánica; por lo anterior, la tecnología y la fertilización son necesarias para mejorar la productividad. Se estima que, en México el 98% de la superficie sembrada de arroz se encuentra mecanizada, en el 52% se utiliza tecnología aplicada a la sanidad vegetal, y sólo el 46% se siembra contando con asistencia técnica (SAGARPA, 2017).

En este contexto, Ireta *et al.* (2016) indica que existen casos donde se tienen registros de una drástica caída en la producción y en la superficie cultivada con este grano, sobrevino la quiebra de diversas industrias relacionadas con el cultivo y la consecuente pérdida de empleos, se perdió la autosuficiencia alimentaria en este bien, y se desarticuló de manera importante la cadena productiva del arroz (Ireta, *et al.*, 2016). La Figura 4, se muestra la producción de arroz de México, en toneladas, para el periodo 1984-2021.

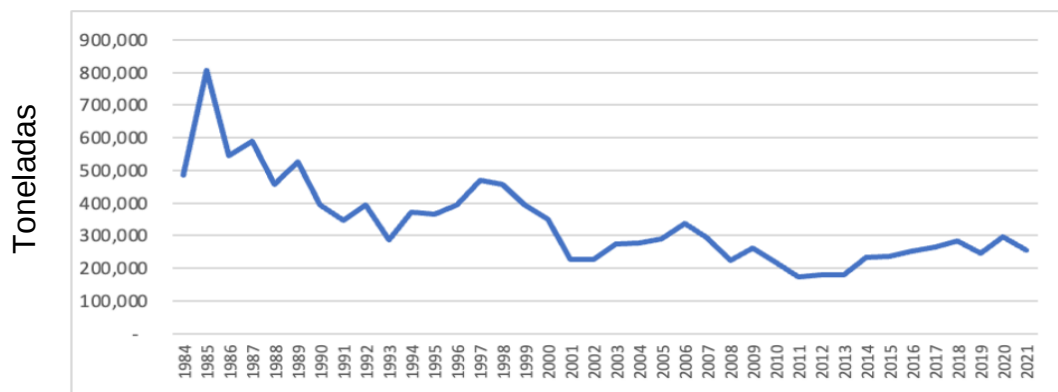


Figura 4. Producción de arroz de México en toneladas de 1984 a 2021 Elaboración propia con datos de FAO (2023) (Favila y Herrera, 2023).

En la anterior Figura, puede apreciarse la disminución en la producción, al pasar de 807,529 toneladas en 1985 a 257,041 en 2021. En este sentido, en la Figura 5, se muestra que la producción de arroz presentó una tendencia positiva entre 1993 y 1998, año a partir del cual la producción cayó y no volvió a alcanzar los niveles de inicios de los noventa. En 2020, la producción de arroz en México alcanzó su punto más alto desde 2006, y un incremento del 20 % en relación con 2019.

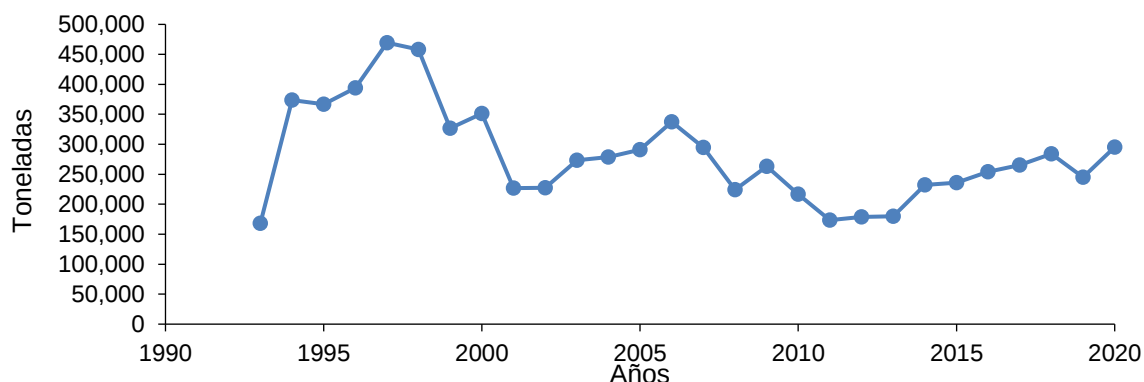


Figura 5. Producción de arroz en Mexico. 1993-2020. Elaboración propia con datos del SIAP (2022) y de Bastida (2022).

Por otro lado, el rendimiento por hectárea mostró mejoras poco significativas entre 1993 y 2020 (Figura 6), al pasar de 5.38 toneladas por hectárea (t/ha) a 6.21 t/ha (SIAP, 2022; Bastida, 2022).

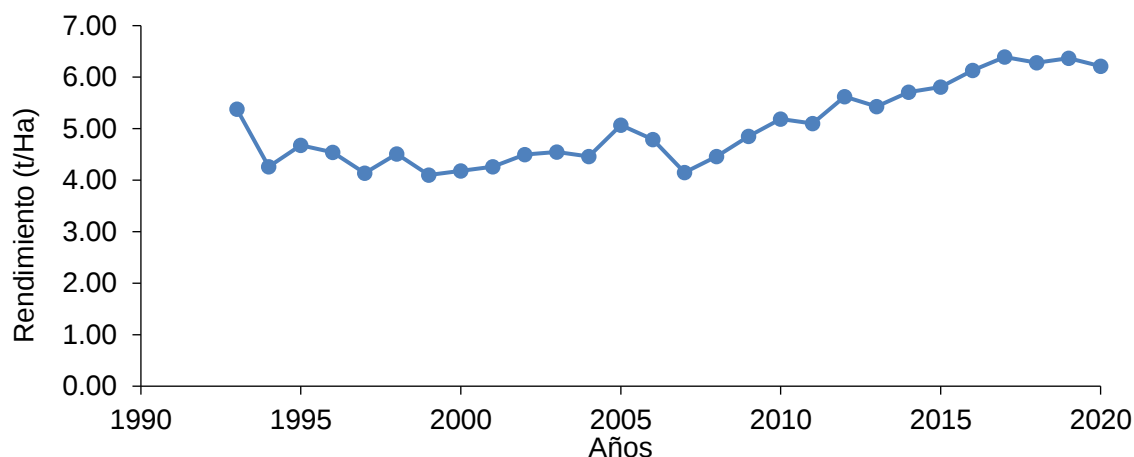


Figura 6. Rendimiento por hectárea de arroz en Mexico. 1993-2020. Elaboración propia con datos del SIAP (2022) y de Bastida (2022).

En 2020, la producción alcanzó 295,338 toneladas, lo cual significó un aumento del 20% en comparación con lo obtenido en 2019. En el mismo año, se cultivaron 49,058 ha. de las cuales se siniestraron 1,505. Así mismo, en 2020 el precio medio por tonelada fue de 4,986 pesos, por lo que el valor de la producción anual de arroz en México se estimó en 1,472 millones de pesos; de este valor total, Nayarit generó el 32.5%, Campeche el 22.9% y Veracruz el 12% (Bastida, 2022).

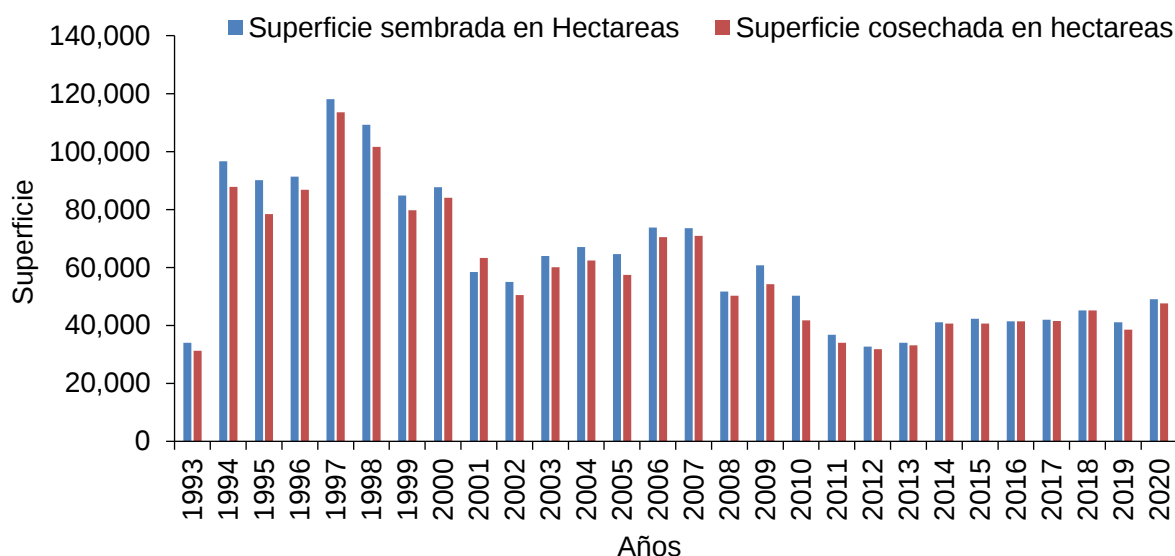


Figura 7. Superficie sembrada y cosechada de arroz en Mexico. 1993-2020. Elaboración propia con datos del SIAP (2022) y de Bastida (2022).

Durante 2020, el estado de Nayarit fue el principal productor de este grano con el 30% del total, seguido por Campeche con el 24% y Veracruz con el 11.7%. Por otro lado, los rendimientos por hectárea más altos del país se dieron en los estados de Morelos, Michoacán y Tabasco con 10.4, 8.6 y 8 t/ha respectivamente (Bastida, 2022).

Favila y Herrera (2023) indican que el rendimiento por hectárea muestra cifras contrastantes en las distintas zonas del país. Dado que, en el año 2020, el mayor rendimiento obtenido se ubicó en el municipio de Tierra Blanca, Veracruz con 12.3 t/ha. Le siguieron en importancia, Tlalixcoyan, Veracruz con 12 t/ha, y los municipios de Cuernavaca, Ayala y Cuautla, del estado de Morelos, con 10.6, 10.5 y 10.4 t/ha respectivamente. Cabe mencionar que todos estos rendimientos fueron obtenidos utilizando sistemas de riego. En el mismo año, el rendimiento más bajo utilizando riego se identificó en el municipio de Hopelchén, Campeche con sólo 3.1 t/ha. Por otro lado, los rendimientos fueron considerablemente menores en las zonas desprovistas de riego. El rendimiento por hectárea más alto obtenido sin riego en 2020 ocurrió en Xalisco, Nayarit con 6.4 t/ha, a este le siguieron Coquimatlán, Colima con 5.6 t/ha y Otatitlán, Veracruz con 5.2 t/ha (SIAP, 2022).

#### **4.3 Condiciones climáticas para la producción de arroz**

La planta de arroz requiere que la tierra en la cual crece esté sumergida en agua. Para germinar el arroz necesita un mínimo de 10 a 13 °C y un óptimo entre 30 y 35 °C; para florecer se considera el mínimo de 15 °C y el ideal de 30 °C. El pH requerido es de 6.6. El cultivo está difundido en diferentes tipos de suelos: tierras grises, negras y lateríticas. La principal exigencia de los terrenos es su alto contenido de materia orgánica y su elevada capacidad de retención de agua (SAGARPA 2017-2030).

#### **4.4 Usos del arroz**

Se destina al consumo humano debido a su alto valor alimenticio, que va desde el energético hasta el proteínico. El salvado o harina que se obtiene mediante el pulimiento forma parte de los alimentos balanceados para uso animal. La importancia del granillo radica en que es empleado por la industria cervecera de arroz. La

cascarilla se usa para la fabricación de alimentos balanceados de consumo animal (SAGARPA 2017-2030).

#### **4.5 El estrés por sequia**

La sequía limita la producción de arroz, debido a que afecta a nivel morfológico (reducción de la germinación, biomasa vegetal, número de tallos, diversos rasgos de raíces y hojas) y fisiológicos (fotosíntesis reducida, transpiración, conductancia estomática, contenido de clorofila, actividad del fotosistema II y el contenido relativo de agua) (Ruiz *et al.*, 2018). También a nivel bioquímico modifica la acumulación de osmoprotectores como, la prolina, azúcares, poliaminas y compuestos antioxidantes, así como la producción hormonal (auxinas, citoquininas, giberilinas, etileno y ácido abscísico).

El arroz (*Oryza sativa* L.) para cultivarse requiere una gran cantidad de agua a lo largo de su ciclo biológico en comparación con otros cultivos, aun cuando no es una planta acuática. Por lo tanto, el estrés por sequía causa una grave amenaza a la producción de arroz (Pandey y Shukla 2015). La sequía es reconocida como un desastre ambiental que perjudica la producción de arroz. La mejora de la tolerancia a la sequía en el arroz es una tarea difícil debido a su naturaleza compleja e impredecible (Pandey y Shukla 2015).

El déficit hídrico modifica la fisiología de la planta de arroz de innumerables maneras, como la fotosíntesis neta (Yang, *et al.*, 2014), la tasa de transpiración (Lauteri, *et al.*, 2014), la eficiencia del uso del agua (Akram, *et al.*, 2013), el contenido relativo de agua (Cha-Um, *et al.*, 2010) y el índice de estabilidad de la membrana (Ding, *et al.*, 2014); y a nivel bioquímico los contenidos de especies reactivas de oxígeno (Yang, *et al.*, 2014).

#### **4.6 El estrés por altas temperaturas**

Con frecuencia la sequía viene acompañada de altas temperaturas o calor que afectan los procesos fisiológicos de la planta como el cierre de estomas, disminución de la transpiración y aumento de la temperatura (Bazzaz *et al.* 2015). En las regiones tropicales la humedad relativa es una dimensión adicional que puede exacerbar el

efecto del estrés por calor en dos formas: (i) el aire saturado reduce el potencial de enfriamiento evaporativo de la planta y (ii) las altas temperaturas nocturnas (Reynolds *et al.* 2010).

El estrés por calor que experimenta la planta es función de la temperatura del aire y (López-Hernández, *et al.*, 2018), de los factores genéticos y agronómicos que determinan el potencial de enfriamiento evaporativo de la planta. Los factores genéticos con mayor influencia en el calentamiento de la planta son la cubierta o dosel vegetal (Hatfield y Prueger), la arquitectura del dosel, la conductancia estomática, la composición de pigmentos, la cera epicuticular, el crecimiento de la raíz, las señales del sistema radical y la fenología; además de factores agronómicos como la fecha de siembra, el método de siembra, riego, sistema de cultivo, manejo de residuos, control de malezas, plagas y enfermedades (Reynolds *et al.* 2010).

Asimismo, otro factor genético es la esterilidad de las espiguillas en la floración (Bheemanahalli *et al.* 2017); por lo que la floración al inicio de la mañana, puede ser una estrategia que minimice el daño por calor, característica que puede utilizarse como criterio de selección en los programas de mejoramiento genético del rendimiento en estrés por calor (Bheemanahalli *et al.* 2017).

La medición de las características de crecimiento del sistema radical no es práctica común en los programas de mejoramiento genético, pero medir la temperatura del dosel, permite estimar la cantidad de agua capturada por las raíces. La temperatura del dosel en periodos de estrés extremo está asociada con mayor capacidad de extracción de agua en el perfil del suelo de 60 a 120 cm, durante el llenado del grano (Pask y Reynolds 2013). La temperatura de la planta también sirve para medir la tensión hídrica del suelo, particularmente en las etapas reproductivas del cultivo (Siegfried *et al.* 2017). La tolerancia al calor junto con otras técnicas puede ayudar a descubrir los mecanismos que determinan la termo-tolerancia, lo que podría contribuir a entender las respuestas moleculares al estrés por calor (Sita *et al.* 2017).

## V. MATERIALES Y METODOS

### 5.1 Ubicación del experimento

El levantamiento de información y registro de datos en campo del presente estudio se realizaron en el Sitio Experimental Edzná que está ubicado en la localidad de Uzahzil Edzná, Municipio de San Francisco de Campeche, Camp, con coordenadas en latitud: 19.609430 y longitud: -90.220306, y 27 msnm. El experimento se desarrolló sobre los suelos denominados en la región como Yax-chom y/o llamados Vertizoles (Palma *et al.*, 2017).



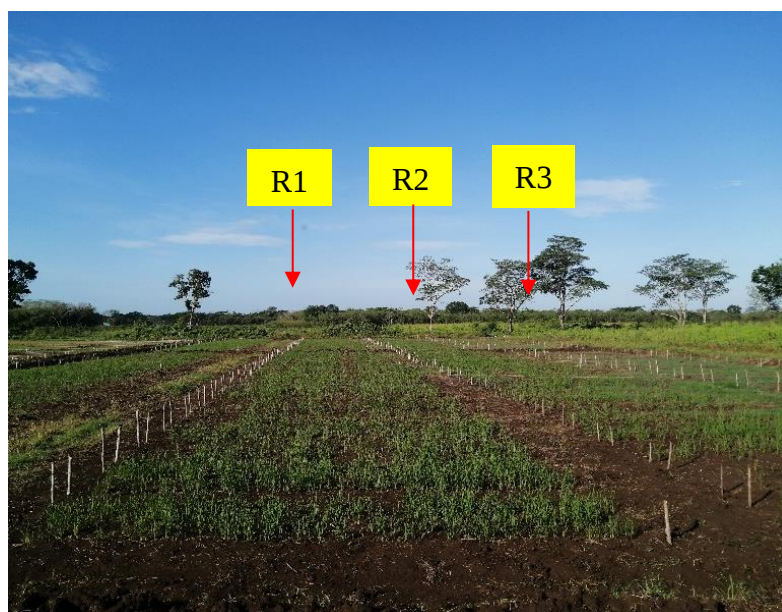
Figura 8. Panorámica del experimento de arroz en el Sitio Experimental Edzná. San Francisco de Campeche, Camp., México. Ciclo Primavera-Verano 2024.

### 5.2 Material genético

El trabajo estuvo constituido por 36 materiales de arroz provenientes del germoplasma de Campo Experimental Zacatepec que pertenece al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias y ubicado en el estado de Morelos, Mexico. En el Cuadro 1, se describe los materiales empleados en el presente estudio. En la Figura 9, se aprecia el arreglo de las repeticiones y los tratamientos y/o parcela (líneas y variedades).

**Cuadro 1. Material genético de arroz utilizado en el Ciclo de Primavera-Verano 2024. Uzahzil Edzná, Campeche, México.**

| Número de tratamiento | Nombre del tratamiento    | Número de tratamiento | Nombre del tratamiento             |
|-----------------------|---------------------------|-----------------------|------------------------------------|
| 1                     | Milagro (Zacatepec)       | 19                    | PCTMADR-707-2-1-2-4SR-1P           |
| 2                     | Miloax 98-2               | 20                    | FL010030-12P-9-2P-1P-M             |
| 3                     | INIFLART RT-1             | 21                    | FLO 10127-7P-1-2P-2P-M             |
| 4                     | IR 69915-12MI-15UBN-22    | 22                    | FLO7162-7P-3-3P-3P-M               |
| 5                     | IR8-2                     | 23                    | RC 88                              |
| 6                     | El Silverio-2             | 24                    | IR11141-6-1-4                      |
| 7                     | INIFLAR RT-2              | 25                    | Choca A-05                         |
| 8                     | Tabasqueña A-17-2         | 26                    | Campeche A-80                      |
| 9                     | Temporalero A-95          | 27                    | El Silverio                        |
| 10                    | Pacífico-FL-15-1          | 28                    | INIFLAR R                          |
| 11                    | FL06689-3P-1-4P-1P-M-1P   | 29                    | Pacífico FL-15                     |
| 12                    | FL02768-2P-6-4P-1P-M-1P   | 30                    | Golfo FL-16                        |
| 13                    | Pacífico FL 15-2          | 31                    | Veracruzana A-21-3                 |
| 14                    | FL084430-8P-4-3P-3P-M     | 32                    | Temporalero A-95                   |
| 15                    | PCTMADR-707-2-1-1-3SR-2P  | 33                    | Miloax 98 (2006)                   |
| 16                    | PCTMADR-682-2L-2-3-3SR-2P | 34                    | Milver 05 (2008)                   |
| 17                    | PCTMADR-707-2-1-4-2SR-1P  | 35                    | Miloax 38 (2012)                   |
| 18                    | PCTMADR-707-2-1-4-2SR-2P  | 36                    | Milagro Filipino (2010) (Veracruz) |



Repetición #1 (R1):  
Parcela uno a la 36.

Repetición #2 (R2):  
Parcela 37 a la 72.

Repetición #3 (R3):  
Parcela 72 a la 108.

Figura 9. Panorámica del arreglo del diseño experimental de arroz en el Sitio Experimental Edzná. Ciclo Primavera-Verano 2024.

### 5.3 Diseño experimental

Las líneas y variedades de arroz que agrupo el estudio se establecieron de forma manual el día 22 julio del 2024. Para ello se utilizó un diseño experimental de bloques completos al azar con tres repeticiones (Figura 2). Cada parcela estaba constituida

de seis surcos de seis metros de longitud, separados a 0.20 metros entre surco. Alrededor todo el contorno de las parcelas útiles se formaron bordos para la aplicación de riego de auxilio.

#### **5.4 Manejo del experimento**

Antes de la instalación del experimento de las líneas y variedades de arroz se realizó la preparación de terreno mediante dos pases de rastra. El primero fue con rastra semi-pesada en el mes de mayo 2024. El segundo se efectuó con una rastra más ligera de forma cruzada al primero en julio 2024. Antes de la emergencia se realizó la aplicación de 150 ml de Glufosinato de amonio más 100 ml de Tromba (2,4-D Amina), mezclados en 20 litros de agua. En relación a la fertilización, se utilizó la fórmula 92-46-60. La cual se aplicó el 100 % del fósforo antes del segundo rastreo agrícola. Mientras que la urea se fracciona en dos partes, aplicando el 50 % a los 35 días después de la germinación y el otro 50 % a la formación del primordio floral. Dentro del manejo fitosanitario de plagas, se realizaron dos aplicaciones con frecuencia semanal del insecticida Palgus en dosis de 5 ml por 20 litros de agua. Para enfermedades no se realizó ningún tipo de control.

#### **5.5 Variables registradas**

- A.** Porcentaje de emergencia; se registró a los 20 días después de la siembra.
- B.** Peso seco de hojas; se registró a los 40 días después de la siembra, al extraer la plántula y separar las estructuras de la plántula, que posteriormente se introdujeron a una estufa a 70 °C durante 72 horas.
- C.** Peso seco de tallo; se registró a los 40 días después de la siembra, al extraer la plántula y separar las estructuras de la plántula, que posteriormente se introdujeron a una estufa a 70 °C durante 72 horas.
- D.** Peso seco de raíces; se registró a los 40 días después de la siembra, al extraer la plántula y separar las estructuras de la plántula, que posteriormente se introdujeron a una estufa a 70 °C durante 72 horas.
- E.** Peso de biomasa total de plántulas; se registró a los 40 días después de la siembra, al sumar la biomasa de hojas, tallo y raíz.

**F.** Altura de planta (cm); se registró a los 35 días después de la siembra. Al medir desde la base del suelo hasta el ápice de la hoja de mayor longitud.

**G.** Temperatura del dosel (°C); se registró cada semana a partir de los 35 días después de la siembra a través de un termómetro infrarrojo.

**H.** Estrés hídrico intermitente. Se registró mediante una escala (1-10). Donde 1=tolerante; 3=moderadamente tolerante; 5=moderadamente susceptible; 10=altamente susceptible.

## 5.6 Análisis estadístico

Cada una de las variables en estudio fue sometida a un análisis en el programa SAS (Statistical Analysis System, para Windows Versión 9.0) (SAS, 2002) en forma individual. Se calculó la diferencia mínima significativa (DMS de Tukey,  $P \leq 0,05$ ) para la comparación de medias.

## 5.7 Comportamiento de la precipitación

La precipitación se determinó mediante la colocación de un pluviómetro en el centro del experimento. En el cual se registró diariamente a las 7:00-8:00 am el dato de lluvia (cm). El registro se realizó desde 01 de julio del 2024 (Figura 10).

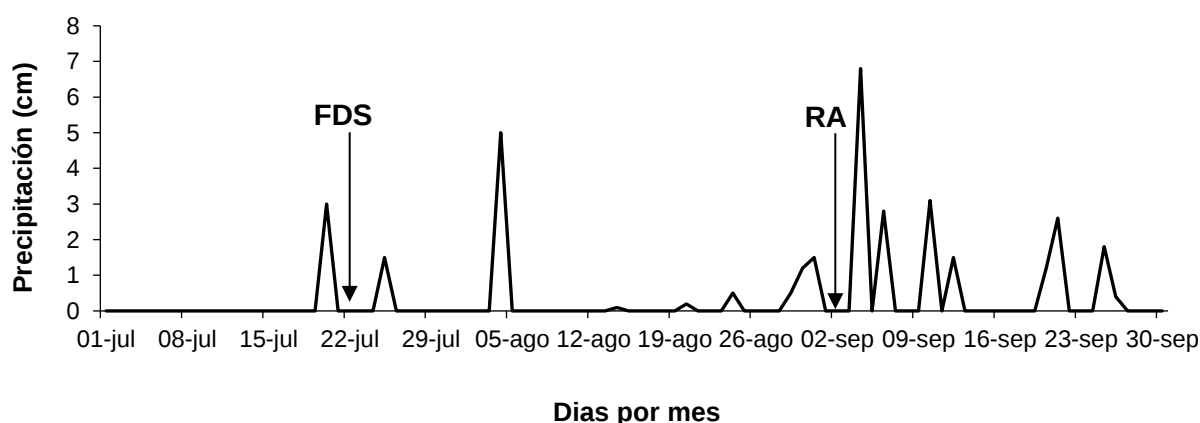


Figura 10. Precipitación durante el experimento de líneas y variedades de arroz en condiciones de temporal en el Sitio Experimental Edzná. Ciclo Primavera-Verano 2024. FDS=Fecha de siembra; RA=Aplicación de riego de auxilio.

## VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 6.1. RESULTADOS

El análisis de ANOVA indica que existen diferencias significancia ( $P \leq 0.05$ ) con base a las líneas y variedades de arroz para seis características evaluadas, con excepción de temperatura del dosel (Cuadro 1). De acuerdo a la suma de cuadrados medios, se observó la más alta variabilidad para el peso de biomasa total, seguido del peso seco de raíz y peso seco de tallo, respectivamente.

**Cuadro 2. Resultados del ANOVA de cuadrados medios de porcentaje de emergencia y otras características de líneas y variedades de arroz. Ciclo de Primavera-Verano 2024.**

| FV             | GL | % EM               | ALP                 | PSH      | PSTA                 | PSR                  | BIT                   | TED                 |
|----------------|----|--------------------|---------------------|----------|----------------------|----------------------|-----------------------|---------------------|
| Línea-variedad | 35 | 338.20*            | 40.34**             | 4011.8** | 6038.6**             | 13884.0**            | 38844.9**             | 2.3 <sup>ns</sup>   |
| Repetición     | 1  | 1.12 <sup>ns</sup> | 13.19 <sup>ns</sup> | 4284.6*  | 1186.0 <sup>ns</sup> | 9538.9 <sup>ns</sup> | 17357.5 <sup>ns</sup> | 0.005 <sup>ns</sup> |
| Error          | 35 | 141.4              | 13.1                | 1318.6   | 1094.9               | 5702.1               | 9390.6                | 1.8                 |
| Error total    | 71 |                    |                     |          |                      |                      |                       |                     |
| C.V. %         |    | 19.0               | 14.7                | 30.1     | 31.4                 | 108.7                | 32.8                  | 5.2                 |

FV=Factor de variación; GL=Grados de libertad; % EM=Porcentaje de emergencia; ALP=Altura de planta; PSH=Peso seco de hoja; PSTA=Peso seco de tallo; PSR=Peso seco de raíz; BIT=Peso seco de biomasa total; TED=Temperatura del dosel; \*= $P \leq 0.05$ ; \*\*= $P \leq 0.01$ ; <sup>ns</sup>= no significativo.

#### 6.1.1 Porcentaje de emergencia

El análisis de varianza indica que existen diferencias significativas ( $P \leq 0.05$ ) entre las líneas y variedades de arroz para el porcentaje de emergencia (% EM). En la Figura 11, se observa que la variedad El Silverio y la línea denominada FL084430-8P-4-3P-3P-M presentaron el mayor porcentaje de emergencia con un promedio de 85 % para ambos materiales. No obstante, es importante mencionar que además de los materiales anteriores, las líneas que mostraron también un aceptable porcentaje de emergencia en condiciones de temporal fueron: INIFLART RT-1 con 83 % EM y FL02768-2P-6-4P-1P-M-1P, Miloax 38 (2012) y Milagro Filipino (2010) (Veracruz) con

un promedio de 80 % EM. Mientras que el material con menor porcentaje de emergencia fue la línea de arroz FLO7162-7P-3-3P-3P-M, respectivamente.

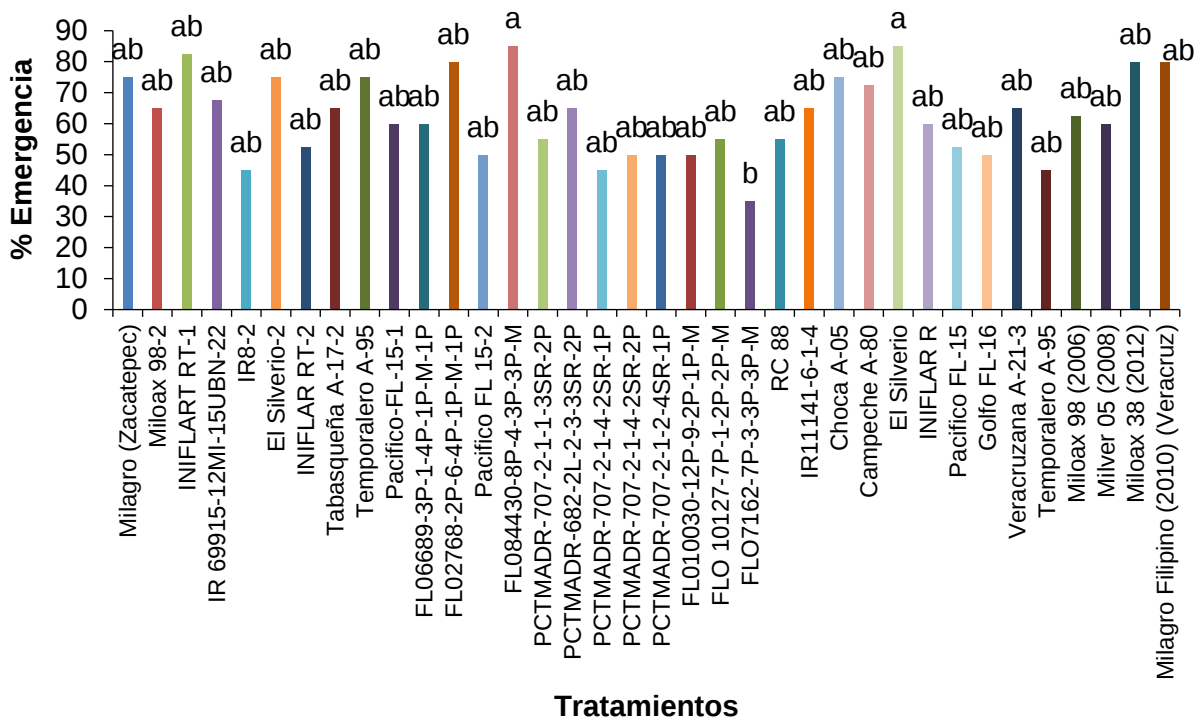


Figura 11. Comparación de medias de líneas y variedades de arroz con base a % de emergencia en condiciones de temporal en el ciclo de Primavera-Verano 2024. Letras iguales denotan que no hay diferencia significativa ( $P \leq 0.05$ ).

### 6.1.2 Altura de planta

Las líneas y variedades de arroz presentaron diferencias significativas ( $P \leq 0.05$ ) entre sí para la altura de planta (Figura 12). El material que presentó la menor altura fue Milver 05 (2008) con un promedio de 19 cm en comparación con los materiales Temporalero A-95 y PCTMADR-682-2L-2-3-3SR-2P que presentaron la mayor altura de planta con 31 cm, seguido por El Silverio-2 con 29 cm, respectivamente. Asimismo, de acuerdo al análisis de varianza, también se observó que las líneas que mostraron una menor altura fueron: IR8-2, FLO 10127-7P-1-2P-2P-M, Miloax 98 (2006) y Miloax 38 (2012) con un promedio de 21 cm (Figura 12).

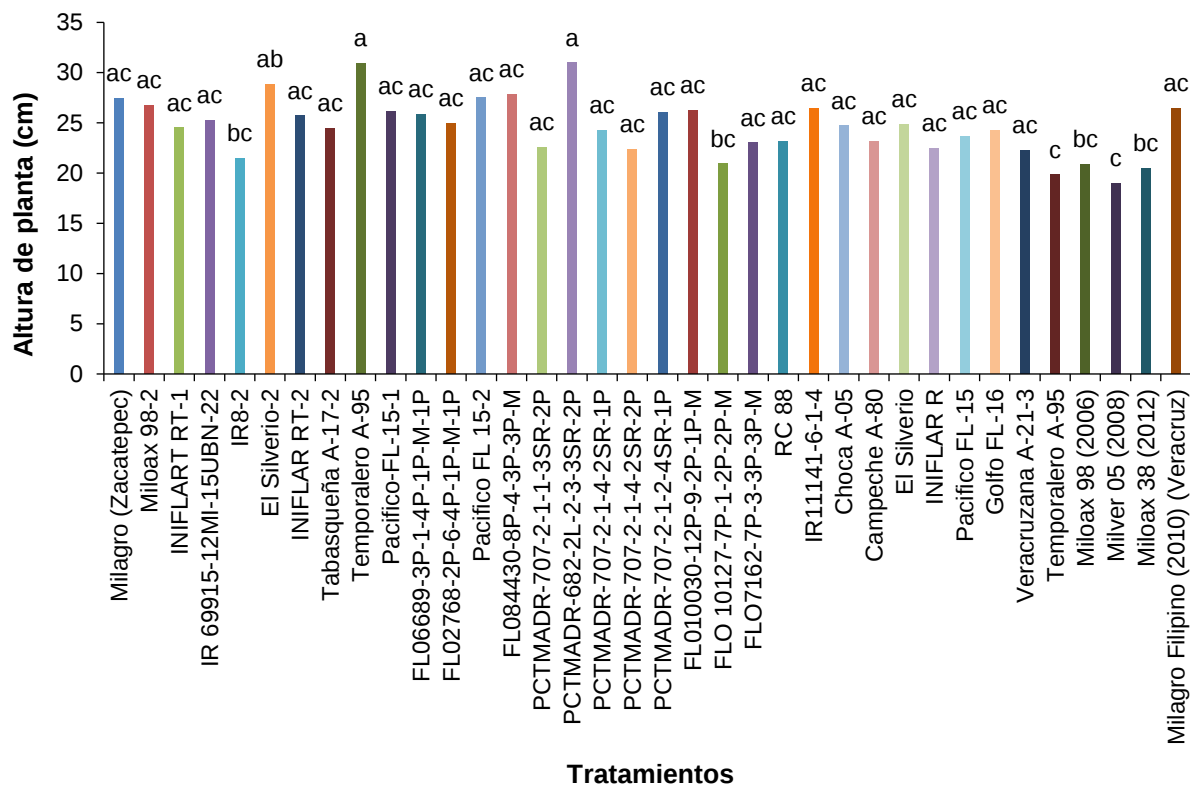


Figura 12. Comparación de medias de líneas y variedades de arroz con base a altura de planta en condiciones de temporal en el ciclo de Primavera-Verano 2024. Letras iguales denotan que no hay diferencia significativa ( $P \leq 0.05$ ).

### 6.1.3 Peso seco de hojas

El material que sobresalió ( $P \leq 0.05$ ) con mayor peso de hojas fue la línea denominada FL022768-2P-6-4P-MP-M-1P con un promedio de 178 mg (Figura 13). Seguido por las líneas: IR8-2 con 170 mg, Temporalero A-95 con 166 mg, FL084430-8P-4-3P-3P-M con 167 mg y FL06689-3P-1-4P-1P-M-1P con un promedio para estos dos últimos de 162 mg. Con respecto a los materiales con menor producción de materia seca se observó que tanto Veracruzana A-21-3 con 57 mg, PCTMADR-707-2-1-2-4SR-1P y Golfo FL-16 con 71 mg presentaron el menor peso seco de hoja (Figura 13).

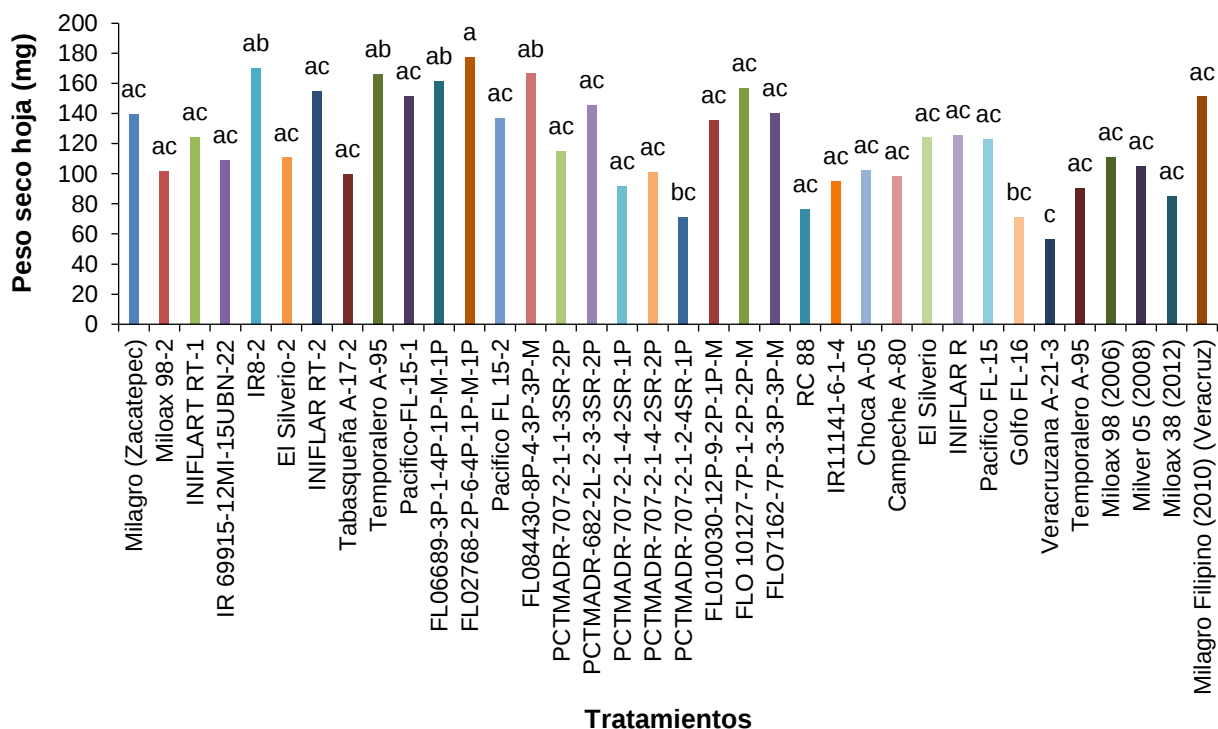


Figura 13. Comparación de medias de líneas y variedades de arroz con base a peso seco de hojas en condiciones de temporal en el ciclo de Primavera-Verano 2024. Letras iguales denotan que no hay diferencia significativa ( $P \leq 0.05$ ).

#### 6.1.4 Peso seco de tallo

Los materiales menos productivos con respecto a la producción de materia seca en el tallo se mostró que Pacifico FL15-2 con 51 mg, INIFLART RT-1 con 53 mg, Veracruzana A-21-3 con 55 mg, PCTMADR-707-2-1-4-2SR-1P con 56 mg, Golfo FL-16 con 61 mg y RC 88 con 63 mg se ubicaron como las de menor ( $P \leq 0.05$ ) producción (Figura 14) en comparación con los materiales: Temporalero A-95 con 208 mg, FL084430-8P-4-3P-3P-M con 186 mg y FLO2768-2P-6-4P-1P-M-1P con 172 mg que presentaron mayor producción de materia seca en el tallo. Asimismo, además de las anteriores líneas y variedades, también se ubicaron entre las de mayor producción a PCTMADR-682-2L-2-3-3SR-2P con 163 mg y FL06689-3P-1-4P-1P-M-1P con 161 mg, respectivamente.

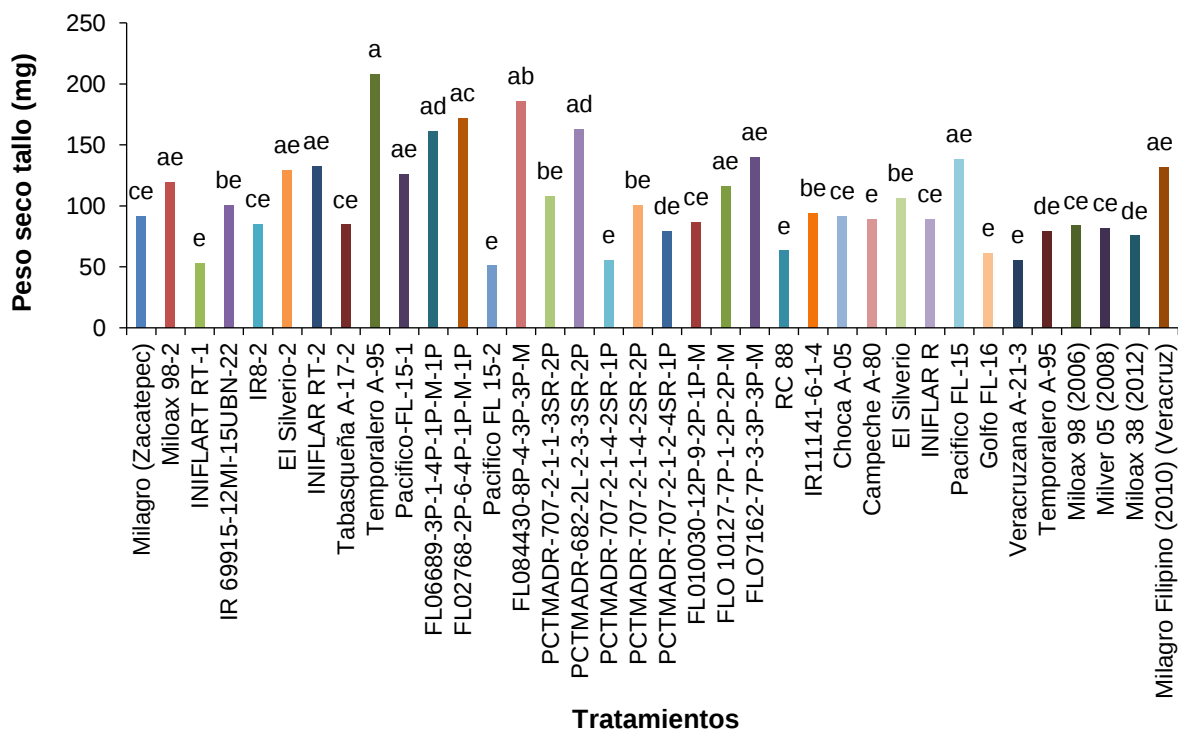


Figura 14. Comparación de medias de líneas y variedades de arroz con base a peso seco de tallo en condiciones de temporal en el ciclo de Primavera-Verano 2024. Letras iguales denotan que no hay diferencia significativa ( $P \leq 0.05$ ).

### 6.1.5 Peso seco de raíz

El análisis de comparación de medias indica que existen diferencias ( $P \leq 0.05$ ) significativas entre los materiales evaluados para el peso seco de raíz (Figura 15). En este contexto, en la Figura 15 se observa que el material PCTMADR-707-2-1-4-2SR-1P con 314 mg, PCTMADR-682-2L-2-3-3SR-2P con 259 mg, Temporalero A-95 con 138 mg y FL084430-8P-4-3P-3P-M con 125 mg presentaron el mayor peso seco de raíz. Mientras que Tabasqueña A-17-2 y Veracruzana A-21-3 con 29, Golfo FL-16 con 30 mg, PC 88 con 31 mg, PCTMADR-707-2-1-2-4SR-1P con 37 mg, El Silverio y FL06689-3P-1-4P-1P-M-1P con 38 mg, Miloax 38 con 41 mg, Miloax 98 con 42 mg y INIFLART RT-1 con 42 mg obtuvieron el menor peso de materia seca en la raíz, respectivamente (Figura 15).

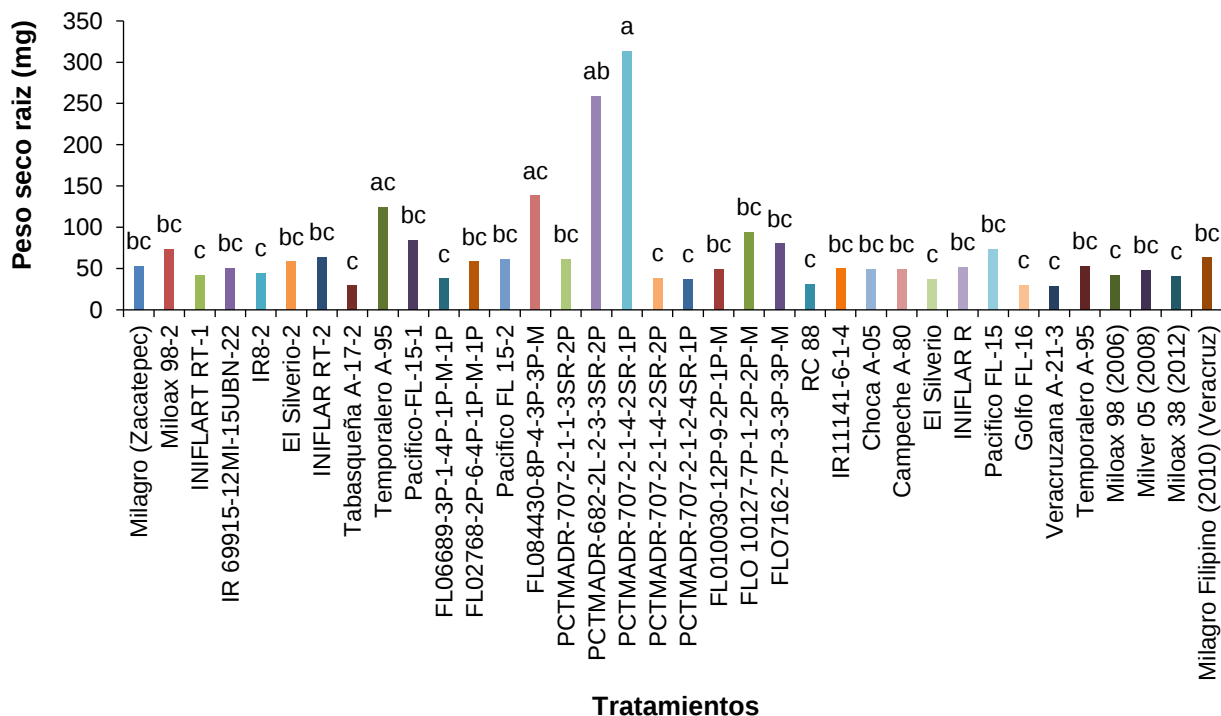


Figura 15. Comparación de medias de líneas y variedades de arroz con base a peso seco de raíz en condiciones de temporal en el ciclo de Primavera-Verano 2024. Letras iguales denotan que no hay diferencia significativa ( $P \leq 0.05$ ).

#### 6.1.6 Peso de biomasa total

Las líneas y variedades de arroz presentaron diferencias ( $P \leq 0.05$ ) significativas para el peso seco de biomasa total (Figura 16). Los materiales que sobresalieron mayor peso de biomasa fueron PCTMADR-682-2L-2-3-3SR-2P con 567 mg, Temporalero A-95 con 499 mg, FL084430-8P-3P-3P-M con 491 mg y PCTMADR-707-2-1-4-2SR-1P con 461 mg, respectivamente (Figura 16). Asimismo, el análisis de comparación de medias indico que el material Veracruzana A-21-3 con 141 mg, Golfo FL-16 con 162 mg, RC 88 con 171 mg y PCTMADR-707-2-1-2-4SR-1P con 188 mg mostraron el menor peso seco de biomasa total entre las líneas y variedades de arroz evaluadas (Figura 16 y Figura 17).

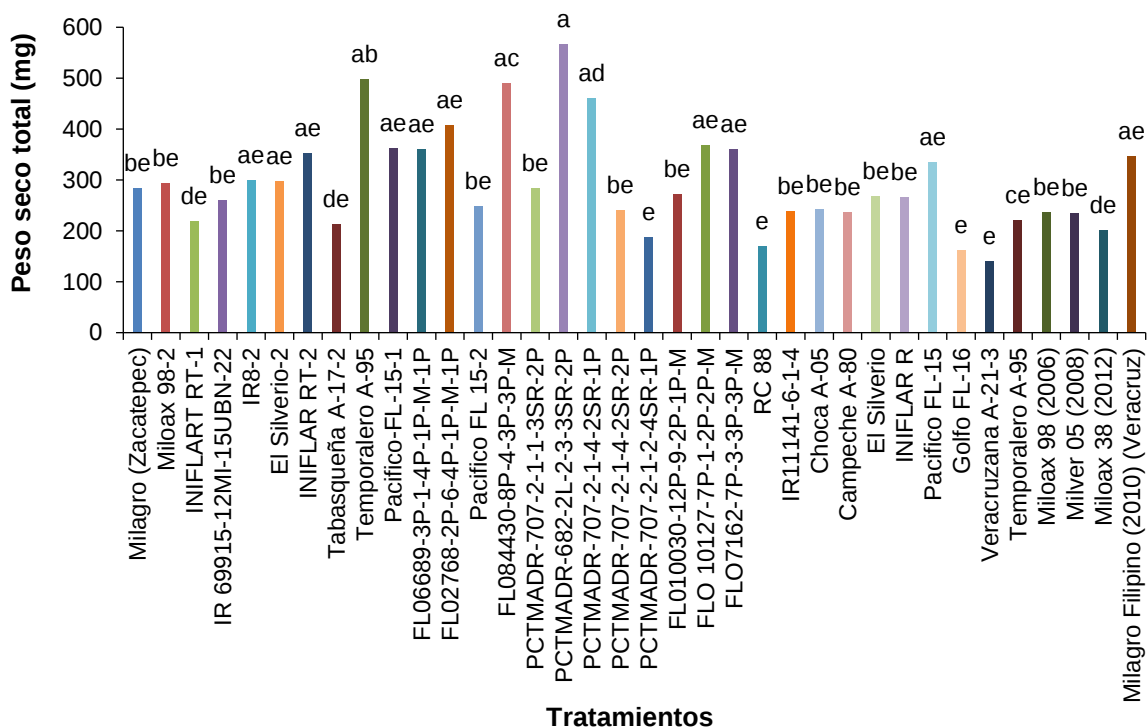


Figura 16. Comparación de medias de líneas y variedades de arroz con base a biomasa total en condiciones de temporal en el ciclo de Primavera-Verano 2024. Letras iguales denotan que no hay diferencia significativa ( $P \leq 0.05$ ).



Figura 17. Panorámica del uso de la balanza digital para la obtención del peso seco de raíz, tallo y hojas de las plántulas de líneas y variedades de arroz.

### 6.1.7 Temperatura del dosel

Entre los 35 a 60 días después de la siembra (dds) en etapa vegetativa se presentó en promedio una temperatura del dosel de 26 °C entre líneas y variedades de arroz (Figura 18).

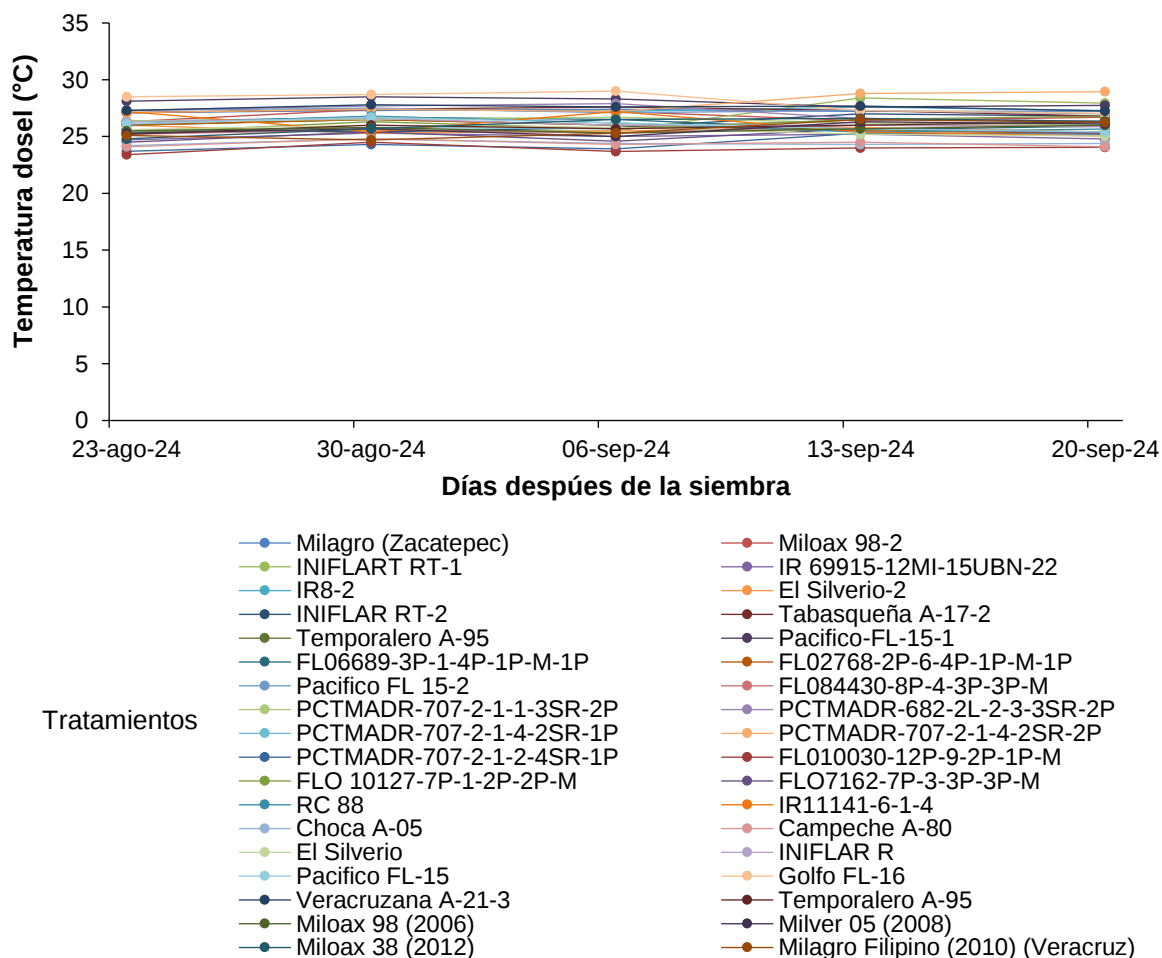


Figura 18. Comparación de medias de líneas y variedades de arroz con base a temperatura del dosel en condiciones de temporal en el ciclo de Primavera-Verano 2024.

En promedio se observó que los materiales que presentaron mayor temperatura del dosel fueron: PCTMADR-707-2-1-4-2SR-2P, Pacífico-FL-15-1 y INIFLART RT-1 con 28 °C. (Figura 19 y Figura 20) en comparación con FL010030-12P-9-2P-1P-M y Campeche A-80 que mostraron la menor temperatura del dosel con 24 °C y que

además presentaron el mayor registro de regulación de temperatura del dosel con un promedio de 10 °C con base a la temperatura máxima ambiental.

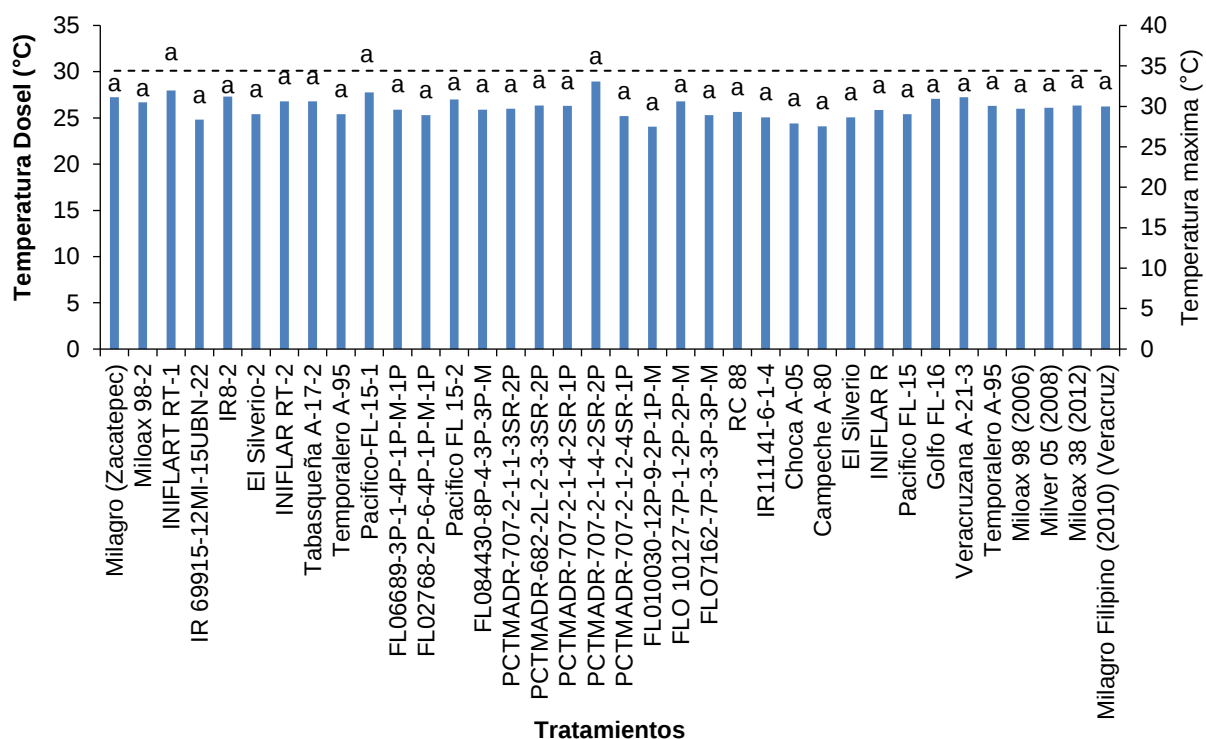


Figura 19. Comparación de medias de líneas y variedades de arroz con base a temperatura del dosel en condiciones de temporal en el ciclo de Primavera-Verano 2024. Letras iguales denotan que no hay diferencia significativa ( $P \leq 0.05$ ).



Figura 20. Panorámica del uso del termómetro infrarrojo para la obtención de la temperatura del dosel (a) y hojas del dosel marchitas por altas temperaturas en líneas y variedades de arroz.

### 6.1.8 Estrés hídrico

Con el presente estudio se logró observar que los materiales: IR8-2, INIFLAR RT-2, Temporalero A-95, Pacifico-FL-15-1, FLO6689-3P-1-4P-1P-M-1P, Pacifico FL 15-2, FL084430-8P-4-3P-3P-M, PCTMADR-707-2-1-1-3SR-2P, PCTMADR-682-2L-2-3-3SR-2P, PCTMADR-707-2-1-4-2SR-1P, PCTMADR-707-2-1-2-4SR-1P, FL010030-12P-9-2P-1P-M, FLO 10127-7P-1-2P-2P-M, FLO7162-7P-3-3P-3P-M, RC 88, INIFLAR R, Pacifico FL-15 y Golfo FL-16 presentaron en promedio el menor estrés intermitente (Figura 21).

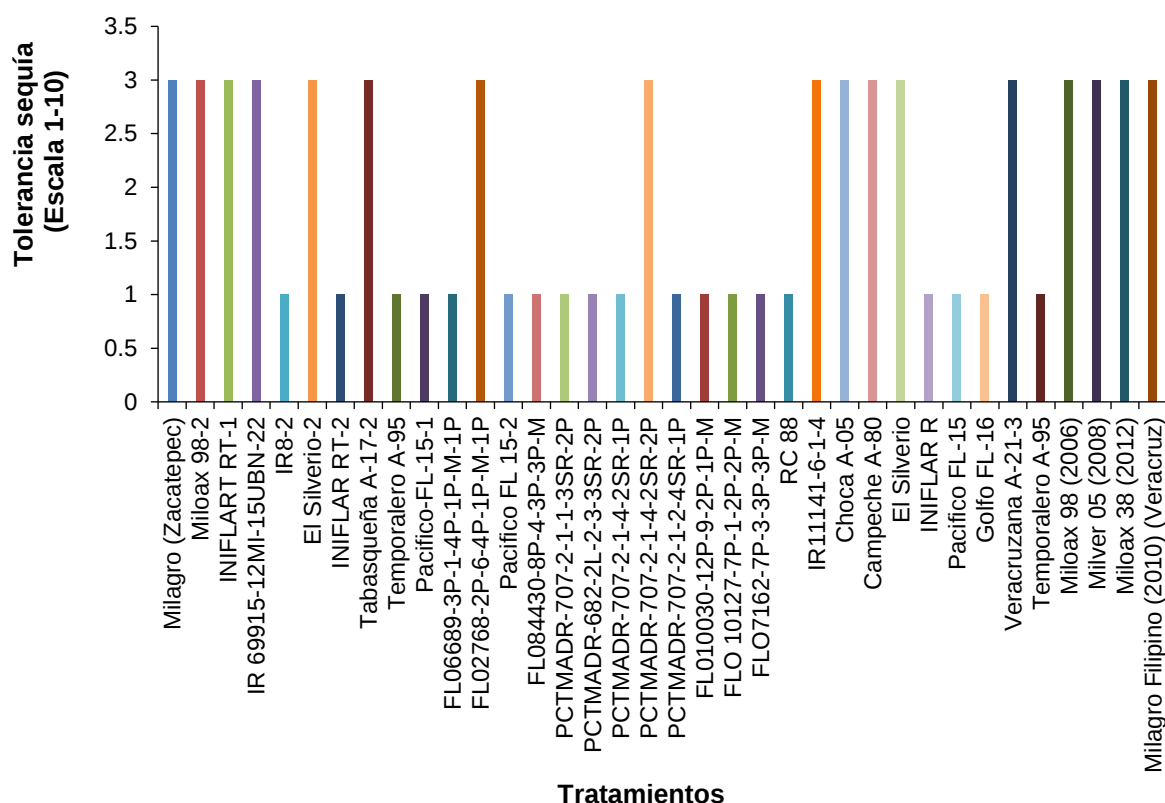


Figura 21. Comparación de medias de líneas y variedades de arroz con base a temperatura del dosel en condiciones de temporal en el ciclo de Primavera-Verano 2024. Escala: 1=tolerante; 3=moderadamente tolerante; 5=moderadamente susceptible; 7=susceptible; 10=altamente susceptible.

## **6.2. DISCUSIÓN**

### **6.2.1 Porcentaje de emergencia**

En el presente estudio se logró observar que después de la siembra no se obtuvo una precipitación pluvial adecuada en el experimento (Figura 10). Esto ocasiono que se presentara una reducción en el porcentaje de emergencia en algunas líneas y variedades de arroz, tales como FLO7162-7P-3-3P-3P-M que obtuvo una reducción del 65 %. Mientras que en otros materiales se redujo un 20 y 17 %. Es decir, que algunos materiales son más vulnerables y sensibles a los efectos de la disminución de la humedad del suelo ocasionado por la irregularidad de la precipitación y de las altas temperaturas (Abbas y Ali, 2020). En este sentido, una alternativa podría ser la identificación de materiales que sean menos propensas a la sequía (Rahman *et al.*, 2017) que a menudo se ven afectadas por la llegada tardía o retirada temprana de las precipitaciones en el estado de Campeche. En este contexto, una alternativa en etapa de emergencia podría ser la variedad El Silverio y la línea denominada FL084430-8P-4-3P-3P-M que presentaron el mayor porcentaje de emergencia que oscilo entre el 85 % para ambos materiales. No obstante, otros estudios indican que una precipitación extrema en la etapa vegetativa y reproductiva afecta la emergencia de plántulas y formación de macollos, lo que coadyuva a la disminución de la producción de arroz (Chih y Jein, 2023).

### **6.2.2 Altura de planta**

Las condiciones climáticas presentadas durante la etapa vegetativa también afectaron la altura de planta de los materiales, tales como a Milver 05 (2008) que obtuvo la menor altura con una diferencia del 34 % con respecto a los materiales Temporalero A-95 y PCTMADR-682-2L-2-3-3SR-2P que presentaron la mayor altura de planta. Estudios posteriores (Xie, *et al.*, 2023) indican que el cambio climático global ha llevado a la ocurrencia frecuente de condiciones climáticas extremas, en las que las temperaturas extremadamente altas se han convertido cada vez más en uno de los principales factores limitantes que afectan el crecimiento de las plantas. Las altas temperaturas provocan un retraso en el crecimiento de las

plantas o incluso la muerte, lo que amenaza seriamente la agricultura , especialmente la producción de cultivos de cereales como el arroz (Xie, *et al.*, 2023). Peng *et al.* (2004) indica que las altas temperaturas en todas las etapas de desarrollo pueden afectar la productividad del arroz y, en particular, durante la floración, cuando causa esterilidad de las espiguillas. Las altas temperaturas también aumentan la respiración de la planta, afectan la fotosíntesis y acortan la duración del llenado del grano; el efecto combinado de estos conduce a una menor productividad (Peng *et al.*, 2004).

### **6.2.3 Peso seco de materia seca (raíz, tallo y hojas)**

El estudio reveló que el material PCTMADR-682-2L-2-3-3SR-2P y Temporalero A-95 presentaron una variación superior con base a la suma del peso de cada una de sus estructuras (raíz, tallo y hojas). En este contexto, PCTMADR-682-2L-2-3-3SR-2P presentó un peso superior con respecto al material Veracruzana A-21-3 del 75 %, Golfo FL-1671 con 71 %, RC 88 con 70 % y 67 % para PCTMADR-707-2-1-2-4SR-1P. Mientras que Temporalero A-95 obtuvo una diferencia superior sobre Veracruzana A-21-3 del 72 %, Golfo FL-1671 con 67 %, RC 88 con 66 % y 62 % para PCTMADR-707-2-1-2-4SR-1P. Estudios similares en arroz reportaron que el material denominado Dhan 43 registró la mayor acumulación de materia seca ( $\text{g m}^{-2}$ ) en raíz, tallo y hojas en todas las etapas de crecimiento del cultivo (30, 60 y 90 días), durante 2017 y 2018, en comparación con otros cultivares (Nayaka, *et al.*, 2021).

### **6.2.4 Temperatura del dosel**

El patrón de lluvia y la variación de temperatura están cambiando debido al calentamiento global, lo que afecta la producción de cultivos (Abbas y Ali 2020) como lo ocurrido con los materiales PCTMADR-707-2-1-4-2SR-2P y INIFLART RT-1 que produjeron menor producción de materia seca y que además expresaron una mayor temperatura del dosel con un promedio de 28 °C con respecto al material Temporalero A-95 que presentó menor temperatura del dosel (25 °C) y que además se ubicó entre los primeros lugares con mayor producción de materia seca total. Estos resultados coinciden con los observados por Nishad *et al.* (2018) en que indica que la temperatura

óptima para el cultivo del arroz es de entre 25 °C y 35 °C. Mientras que, en las regiones templadas, el crecimiento del arroz está condicionado por un período limitado que favorece su crecimiento (Reyes, *et al.*, 2003)

#### **6.2.5 Estrés hídrico**

De los 36 materiales evaluados, 19 presentaron una respuesta favorable a la tolerancia al estrés hídrico en la etapa vegetativa. En este sentido, se ubicaron materiales, tales como IR8-2, INIFLAR RT-2, Temporalero A-95, Pacífico-FL-15-1, FLO6689-3P-1-4P-1P-M-1P, Pacífico FL 15-2, FL084430-8P-4-3P-3P-M, PCTMADR-707-2-1-1-3SR-2P, PCTMADR-682-2L-2-3-3SR-2P, PCTMADR-707-2-1-4-2SR-1P, PCTMADR-707-2-1-2-4SR-1P, FL010030-12P-9-2P-1P-M, FLO 10127-7P-1-2P-2P-M, FLO7162-7P-3-3P-3P-M, RC 88, INIFLAR R, Pacífico FL-15 y Golfo FL-16 que podría ser de utilidad para reducir el efecto del estrés en la etapa vegetativa, dado que el estrés por sequía produce cambios morfológicos, incluida la inhibición de la germinación de las semillas y la reducción del crecimiento de las semillas (Siddika, *et al.*, 2024).

### **VII. CONCLUSIONES**

- El estrés hídrico y a las altas temperaturas afectaron significativamente el porcentaje de emergencia, altura de planta, peso seco de raíz, tallo, hojas y materia seca total con base a la etapa vegetativa de líneas y variedades de arroz.
- El material que sobresalió fue el Temporalero A-95. Esto debido a que se ubicó como el material con mayor producción de materia seca y mejor respuesta al estrés hídrico y a las altas temperaturas en condiciones de temporal en Campeche.

## VIII. RECOMENDACIONES

- Incentivar y crear mecanismos para que se fomente mayor el interés por el estudiante y docentes sobre estudios de investigación en el cultivo de arroz en el estado de Campeche.
- Divulgar el presente documento y/o una publicación informativa al respecto, al menos a la comunidad interna de la institución educativa.
- Motivar al estudiante principalmente en la capacidad de investigar, de elegir y seleccionar sus propias expectativas de investigación.

## IX. BIBLIOGRAFIA

- Abbas, S. and Ali, M.Z. 2017. Impact of temperature and rainfall on rice production in Punjab, Pakistan. *Environment, Development and Sustainability*. 23 p. <https://doi.org/10.1007/s10668-020-00647-8>
- Rahman, A., Kang, S., Nagabhatla, N., Macnee, R. 2017. Impacts of temperature and rainfall variation on rice productivity in major ecosystems of Bangladesh. *Agriculture & Food Security* 6: 10. <https://doi.org/10.1186/s40066-017-0089-5>
- Akram, H.M., Ali, A., Sattar, A., Rehman, H.S.U., Bibi, A. 2013. Impact of water deficit stress on various physiological and agronomic traits of three Basmati rice (*Oryza sativa* L.) cultivars. *JAPS, Journal of Animal and Plant Sciences*. 23(5):1415–23.
- Álvarez, H.J.C., Tapia, V.L.M., Hernández, A.L., Tavitas, F.L., Apaez, B.M. 2022. Potencial productivo del arroz 'Lombardía FLAR 13' genotipo de grano largo y delgado de la zona arrocería de Michoacán. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 13 (6):1117-1127. <https://doi.org/10.29312/remexca.v13i6.3037>
- Bastida, O. 2022. Estadísticas de producción de arroz en México (1980-2020), Base de datos, recuperada el 26 de junio de 2024.
- Bazzaz, M.d.M., Khaliq, Q.A., Karim, M.d.A., Al-Mahmud, A., Khan, M.d.S.A. 2015. Canopy temperature and yield based selection of wheat genotypes for water deficit environment. *Open Access Library Journal* 2: 1-11.
- Castro, M.E. 2010. Los efectos en los cultivos de arroz. *Ciencia Rural, Tomo 40, N° 1*. <https://revistapesquisa.fapesp.br/es/los-efectos-en-los-cultivos-de-arroz/> (Consulta 30 julio 2024).

- Centro de Estudios para el Desarrollo Sustentable y la Soberanía Alimentaria (CEDRSSA) (2020) Distribución de granos básicos: lugar de adquisición o compra, Ciudad de México: Cámara de Diputados.
- Cha, U.S., Yooyongwech, S., Supaibulwatana, K. 2010. Water deficit stress in the reproductive stage of four indica rice (*Oryza sativa* L.) genotypes. *Pakistan Journal of Botany*. 42(5):3387–98.
- Chih, S.Y. and Jein, K.B. 2023. Risk Assessment of Rice Damage Due to Heavy Rain in Taiwan. *Agriculture* 13 (3): 630. <https://doi.org/10.3390/agriculture13030630>
- Ding, L., Li, Y.R., Li, Y., Shen, Q.R., Guo, S.W. 2014. Effects of drought stress on photosynthesis and water status of rice leaves. *Chin J Rice Sci*. 28(1):65–70. <https://doi.org/10.3969/j.issn.1001-7216.2014.01.009>
- Favila, T.A. y Herrera, C.M.A. 2023. Competitividad internacional del arroz mexicano: un análisis con base en datos de comercio exterior. *Revista de Estudios en Contaduría, Administración e Informática*. 12 (35): 18-31. <https://www.redalyc.org/journal/6379/637976022002/637976022002.pdf>
- Hatfield, L.J. and Prueger, H.J. 2015. Temperature extremes: Effect on plant growth and development. *Weather and Climate Extremes*, 10: 4-10. <https://doi.org/10.1016/j.wace.2015.08.001>
- Hernández, A.L., Tavitas, F.L., Álvarez, H.J.C., Tapia, V.L., Ortega, A.R., Esqueda, E.V. y Jiménez, C.J.A. 2019. Pacífico FL 15 y Golfo FL 16, variedades multiambientales de arroz con grano extralargo para México. *Rev. Mex. Cienc. Agríc*. 10(1):23-34.
- Ireta, R.A. 2023. Arroz del estado de Morelos en México, acciones de posicionamiento en el mercado. *Acta Universitaria* 33: e3662. <https://doi.org/10.15174/au.2023.3662>
- Ireta, R.A., Altamirano, J., Ayala, A., Covarrubias, I. y Muñoz, M. 2016. Factores que explican la permanencia de la producción de arroz en México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, No. 15, pp: 2981-2993.
- Lauteri, M., Haworth, M., Serraj, R., Monteverdi, M.C., Centritto, M. 2014. Photosynthetic diffusional constraints affect yield in drought stressed rice cultivars during flowering. Araujo WL, editor. *PLoS ONE*. 9(10): e109054. <https://doi.org/doi:10.1371/journal.pone.0109054>
- López-Hernández, M.B., López-Castañeda, C., Kohashi-Shibata, J., Miranda-Colín, S., Barrios-Gómez, E.J., y Martínez-Rueda, C.G. 2018. Tolerancia a sequía y calor en arroz (*Oryza sativa*). *Ecosistemas y recursos agropecuarios*, 5(15), 373-385. <https://doi.org/10.19136/era.a5n15.1558>

- Nayaka, G.V.V., Reddy, G.P. and Kumar, R.M. 2021. Dry Matter Production and Partitioning in Different Plant Parts of Rice Cultivars under Irrigation Regimes and Systems of Cultivation. Indian Journal of Agricultural Research. <https://doi.org/10.18805/IJARE.A-5316>.
- Nishad, A., Mishra, A.N., Chaudhari, R., Aryan, R.K. and Katiyar, P. 2018. Effect of temperature on growth and yield of rice (*Oryza sativa* L.) cultivars. International Journal of Chemical Studies, 6(5): 1381-1383. [https://www.researchgate.net/publication/330440940\\_Effect\\_of\\_temperature\\_on\\_growth\\_and\\_yield\\_of\\_rice\\_Oryza\\_sativa\\_L\\_cultivars](https://www.researchgate.net/publication/330440940_Effect_of_temperature_on_growth_and_yield_of_rice_Oryza_sativa_L_cultivars)
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). (2023) FAOSTAT. Base de datos, consultada el 11 de agosto de 2024 en <https://www.fao.org/faostat/es/#data>
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). (2023) FAOSTAT. Base de datos, consultada el 11 de agosto de 2023 en <https://www.fao.org/faostat/es/#data>
- Pandey, V. and Shukla, A. 2015. Acclimation and tolerance strategies of rice under drought stress. Rice Science. 22(4):147–61. <https://doi.org/doi:10.1016/j.rsci.2015.04.001>
- Peng, S., Huang, J., Sheehy, J.E., Laza, R.C., Visperas, R.M., Zhong, X., Centeno, G.S., Khush, G.S. and Cassman, K.G. 2004. Rice yields decline with higher night temperature from global warming. Proceedings of the National Academy of Sciences U.S.A. 101: 9971-9975.
- Pask, A.J.D. and Reynolds, M.P. 2013. Breeding for yield potential has increased deep soil water extraction capacity in irrigated wheat. Crop Science 53: 2090-2104.
- Reyes, B.G., De, L., Myers, S.J., McGrath, J.M. 2003. Differential induction of glyoxylate cycle enzymes by stress as a marker for seedling vigor in sugar beet (*Beta vulgaris*), Molecular Genetics and Genomics. 269(5):692-698.
- Reynolds, M.P., Hays, D., Chapman, S. 2010. Breeding adaptation to heat and drought stress. In: Reynolds MP (ed). Climate change and crop production. CAB International, CPI Group. UK. pp: 71-91.
- Ruiz, M., Muños, Y., Dell, Á.J.M., Cabrera, J.A., Polón, R., Aroca, R. y Ruiz, J.M. 2018. Recuperación de la planta de arroz a la suspensión de la lámina de agua. parte II. Cultivos Tropicales, 39 (2): 75-80. <http://scielo.sld.cu/pdf/ctr/v39n2/ctr10218.pdf>
- Samui, R.P. 1999. A note on the weather and rice yield relationship at some stations in India. Earth Planet Sci. 108(4): 309-371.

- Sandhu, S.S., Prabhjyot-Kaur, Gill, K.K. and Bala, A. 2013. Effect of inter & intra seasonal variability in meteorological parameters on rice productivity in central Punjab. *Journal of Agrometeorology* 15: 147-151.
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP) (2024). Producción Agrícola, base de datos, consultada el 26 de junio de 2024.
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA) 2017-2030. Plan Agrícola Nacional. [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/256423/B\\_sico-Arroz.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/256423/B_sico-Arroz.pdf)
- Siegfried, J., Khosla, R., Longchamps, L. 2017. Infrared thermometry to quantify in-field soil moisture variability. *Journal of Crop Improvement* 31: 72-90.
- STATISTA, 2024. <https://es.statista.com/estadisticas/517456/produccion-mundial-de-arroz/>
- Valle, M.J., González, V.D., Rafael, P.L., Sánchez, A.O.R., Delgado, T.C. 2022. Efecto de las variables climáticas sobre el rendimiento agrícola del arroz (*Oryza sativa* L.). *Revista Ingeniería Agrícola*. 12 (1): e04. <https://www.redalyc.org/journal/5862/586269904004/html/>
- Yang, P.M., Huang, Q.C., Qin, G.Y., Zhao, S.P., Zhou, J.G. 2014. Different drought-stress responses in photosynthesis and reactive oxygen metabolism between autotetraploid and diploid rice. *Photosynthetica*. 52:193–202. <https://doi.org/doi:10.1007/s11099-014-0020-2> 4.
- Xie, Y., Shen, Q., Li, F., Ni, S., Yu, J. 2023. Chapter Three - Temperature response of plants and heat tolerance in Rice: A review. *Advances in Agronomy*, 179: 135-203. <https://doi.org/10.1016/bs.agron.2023.01.003>