



Instituto Tecnológico de Chiná

TESIS

**COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO AGRONOMO**

PRESENTA:

ASESOR INTERNO:

**JESÚS ANTONIO GONZÁLEZ
GUTIÉRREZ**

**DRA. MÓNICA BEATRIZ
LÓPEZ HERNÁNDEZ**

**MAYRA DEL CARMEN MASS
BOJORQUEZ**

**ANTONIO VILLALOBOS
GONZÁLEZ**

TÍTULO

“Rendimiento y componentes en frijol (*Vigna unguiculata L.*), e ibe (*Phaseolus lunatus L.*) bajo condiciones de riego y sequía”.

NOVIEMBRE DEL 2021



COMITÉ REVISOR

Este trabajo fue revisado y aprobado por este comité y presentado por el C. Jesus Antonio Gonzalez Gutierrez y la C. Mayra del Carmen Mass Bojorquez, como requisito parcial para obtener los títulos de: Ingeniero Agrónomo e Ingeniera Agrónoma, el día 22 del mes octubre del año 2021 en Chiná, Campeche.

DRA. MÓNICA BEATRIZ LÓPEZ HERNÁNDEZ
Presidente



M.C. ANTONIO VILLALOBOS GONZÁLEZ
Secretario



M.C. ENRIQUE ARCOCHA GÓMEZ
Vocal



M.C. NOEL ANTONIO GONZÁLEZ VALDIVIA
Vocal Suplente





EDUCACIÓN
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA



TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO

Instituto Tecnológico de China
Subdirección Académica

China, Campeche, **22/octubre/2021**
OFICIO No. D/SA/DEP/228/2021

ASUNTO: Aprobación

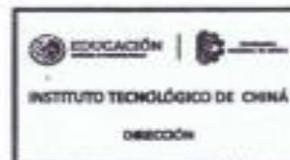
C. JESUS ANTONIO GONZALEZ GUTIERREZ
C. MAYRA DEL CARMEN MASS BOJORQUEZ
PRESENTES

El que suscribe, manifiesta que el Dictamen emitido por el Comité de Revisión que integra el sínodo de la Titulación Integral por Tesis denominada **"RENDIMIENTO Y COMPONENTES EN FRIJOL (*Vigna unguiculata L.*) e IBE (*Phaseolus lunatus L.*), BAJO CONDICIONES DE RIEGO Y SEQUÍA"**, es aprobado como requisito parcial para obtener los Títulos de INGENIERO AGRÓNOMO E INGENIERA AGRÓNOMA.

Sin otro particular, reciba un cordial saludo.

ATENTAMENTE
Excelencia en Educación Tecnológica
Aprender Produciendo

JOSÉ JAVIER PERALTA COSGAYA
DIRECTOR



JJPC/MGRA/IIIRG



Calle 11 s/n entre 22 y 28, C.P. 24520
China, Campeche. Tel. (986) 82-72052 y 82-72082
E-mail: dir01_china@tecnm.mx
tecnm.mx | china.tecnm.mx



AGRADECIMIENTOS

A **Dios** primeramente por ser nuestra guía y por permitirnos cumplir una meta más en la vida.

Al Instituto Tecnológico de Chiná y al laboratorio de biotecnología vegetal por el apoyo y las facilidades otorgadas durante nuestra estancia profesional. A cada uno de los maestros que con su ayuda y conocimientos participaron en nuestro desarrollo profesional durante nuestros estudios.

De igual manera expresamos un cordial agradecimiento a nuestros asesores de tesis la Dra. Mónica Beatriz López Hernández quien fue una gran asesora en las prácticas internas del laboratorio y al M.C. Antonio Villalobos González por asesorarnos en cuestiones de trabajo de campo, por compartir con nosotros sus experiencias profesionales en campo, porque a pesar de la distancia siempre estuvo al pendiente del diseño experimental establecido. A cada uno de nuestros asesores le agradecemos los consejos, apoyo, paciencia, dedicación y la disposición de tiempo para asesorarnos en nuestro trabajo de investigación.

Agradecemos a nuestros padres y hermanas, por motivarnos, aconsejarnos y sobre todo apoyarnos para poder concluir con nuestros estudios.

A la familia Yes Noh por brindarnos las instalaciones para poder llevar a cabo nuestro diseño experimental.

DEDICATORIAS

A:

Dios por permitirnos cumplir un sueño más en la vida, por darnos salud para lograr alcanzar una meta más y sobre todo por su infinito amor.

Al Instituto Tecnológico de Chiná por el apoyo y las facilidades otorgadas durante nuestra estancia profesional y por brindarnos la oportunidad de ser parte de ellos.

Al M.C. Antonio Villalobos González por todo su apoyo, consejos y disponibilidad a lo largo de este proyecto de tesis, ya que gracias a su experiencia, consejos y enseñanza este trabajo fue posible de realizar.

A la Dr. Mónica Beatriz López Hernández quien en su papel como asesora nos orientó, motivo y aconsejo en la realización de este proyecto de tesis.

A nuestros padres y hermanas por ser el sostén fundamental en el transcurso de nuestras vidas gracias por estar presentes en el desarrollo profesional, por su incondicional cariño y apoyo.

A nuestros compañeros de clases, pero especialmente a nuestros amigos con los que compartimos momentos inolvidables, experiencias escolares, quienes vivieron de cerca nuestros triunfos y fracasos, a los profesores que nos brindaron las herramientas necesarias y adecuadas para que pudiéramos ser buenos alumnos.

RESUMEN

El estudio de accesiones nativas en el estado de Campeche es escaso y es fundamental el desarrollo de estudios enfocados a la variación de las características agronómicas y productivas bajo estrés hídrico, debido a que actualmente el cultivo se establece en condiciones de temporal donde el déficit hídrico ocasiona una reducción del rendimiento o pérdida total de la cosecha. Bajo esta premisa, se desarrolló un experimento bajo un diseño de bloques completos al azar con dos repeticiones el 13 noviembre del 2020 en la localidad de China, Campeche, Camp., México. Se utilizó dos accesiones nativas (Frijol Carita e Ibe) bajo estrés hídrico y riego. El estudio reveló, que el Frijol Carita presentó menor altura de planta en comparación con las de riego a los 40 días después de la siembra (dds) con una diferencia del 66.6 %. Mientras que el Ibe presentó una altura inferior a las plantas bajo riego equivalente al 6.4 y 13.1 % a los 70 y 100 dds cuando el estrés hídrico coincidió con la floración y llenado de vainas. En la etapa vegetativa y reproductiva el estrés hídrico provocó reducción en la altura de la planta, y que fue más evidente en la accesión Ibe con una variación inferior de 9.2 % (S1), 8.8 % (S2) y 12.6 % en S3 a causa de los diferentes lapsos de estrés hídrico. Numéricamente las accesiones nativas sufrieron una reducción del número de hojas por planta con diferente proporción de acuerdo con la duración del déficit hídrico. Por ejemplo, a los 70 y 100 dds, el Ibe fue inferior en el número de hojas en un 11.5 y 8.5 % en relación con las plantas con riego. Numéricamente la duración del déficit hídrico por 20 días disminuyó en la aparición de botones florales en Frijol Carita en un 50 % y el déficit por 30 días en un 75 y 15.3 % sobre el Ibe con respecto a las plantas con riego. No se observó inestabilidad por el efecto del estrés hídrico en el número de flores; sin embargo, se aprecia efectos del estrés hídrico sobre el número de días a floración, al observarse un incremento de siete días a floración en la accesión Ibe. Mientras que en el Frijol Carita ocurrió lo contrario, al originarse siete días antes la floración en las plantas con déficit hídrico con respecto a las de riego. Numéricamente el estrés hídrico redujo en número de vainas por planta en la

accesión Ibe en comparación con las plantas donde no se restringió la humedad, que propicio una variación inferior en el número de vainas por planta del 66 %. Con respecto a Frijol Carita, durante la floración y desarrollo de vainas el estrés hídrico provoco una reducción del número de vainas en un 50 y 70 %. El número de días a formación de vainas en ambas accesiones bajo riego fue menor en comparación con las plantas con déficit hídrico durante la floración, con diferencia de seis días. El estudio revelo que el Ibe presento una menor recuperación al estrés hídrico sobre el Frijol Carita, con una variabilidad inferior en el número de vainas del 37.5 y 12.5 % antes y durante la floración y 25 % durante el llenado de vainas sobre las plantas bajo riego. Mientras que, en el peso seco, la diferencia inferior de recuperación fue del 36.6 y 5.3 % antes y durante la floración y 17.3 % durante el llenado de vainas. También se observa una variación en el número de vainas por extractos bajo riego y estrés hídrico; y esta variabilidad se reflejó más en el Frijol Carita al obtener una inestabilidad de vainas completas del 67 %, así como una variación superior del 50 % de vainas vanas en la parte inferior del extracto de la planta de ambas accesiones nativas con déficit hídrico en comparación con las plantas bajo riego. Antes de la floración el déficit hídrico ocasiono una reducción del peso seco de vainas en la parte superior de la planta de Frijol Carita, que representa una variabilidad inferior del 55.7 % con respecto a las plantas bajo riego. Igualmente, en el periodo de llenado de vainas el estrés hídrico ocasiono una reducción del 11.7 % del peso seco de vainas en la parte superior y un 8.2 % sobre las vainas de la parte intermedia de la planta. La duración del déficit hídrico antes y durante la floración, y llenado de vainas ocasiono disminución del contenido de materia seca en las dos accesiones nativas de frijol. Y esta variabilidad fue distinta entre las accesiones, al observarse que déficit hídrico antes de la floración ocasiono una reducción del 0.6 g de peso seco de la biomasa en el Frijol Carita, que equivale a un 22.2 % sobre las plantas sin estrés hídrico. Mientras que en el Ibe la reducción del peso de la biomasa fue de 0.9 g, que equivale al 36 %. Conjuntamente se observa que el estrés hídrico antes de la floración ocasiono una disminución mayor del peso seco de biomasa en el Ibe, al mostrar una diferencia inferior del 23.8 % sobre el Frijol Carita. Igualmente, este comportamiento fue similar entre las accesiones para riego, al originarse un peso

superior del 7.4 % de la biomasa en el Frijol Carita sobre el Ibe. En relación con el estrés hídrico a los 70 y 100 dds entre las accesiones, el Ibe mostro una reducción inferior del peso seco de la biomasa de 51.8 y 75.8 % por efecto del déficit hídrico en comparación con las plantas sin déficit hídrico. Mientras que el déficit hídrico durante la floración y llenado de vainas para el Frijol Carita, la disminución del peso de la biomasa fue del 37 y 71.4 %. De igual forma se aprecia que en condiciones de déficit hídrico durante la floración y llenado de vainas, el Frijol Carita presento una variación superior del peso seco de la biomasa del 23.5 y 12.5 % sobre el Ibe.

Palabras calve: frijol nativo, déficit hídrico y temporal.

CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS	ii
DEDICATORIAS	v
RESUMEN	iii
INDICE DE CUADROS	viii
INDICE DE FIGURAS	1
I. INTRODUCCIÓN	7
II.OBJETIVOS	10
2.1. Objetivo general	10
2.2. Objetivos específicos	10
III.HIPÓTESIS	10
IV.REVISION DE LITERATURA	11
4.1. Origen del frijol	11
4.2. Importancia de la diversidad genética de frijol.....	11
4.3. Importancia mundial del frijol.....	12
4.4. El cultivo de frijol en México	13
4.5. Importancia del frijol en Campeche	14
4.6. Frijol nativo en el estado de Campeche	14
4.7. Tipos de estrés en las plantas.....	16
4.7.1 Estrés ambiental.....	16
4.7.2 Estrés fisiológico	16
4.7.3 Estrés bioquímico	16
4.7.4 Estrés hídrico	17

4.7.5 Efectos del estrés hídrico en plantas.....	17
4.8 Efectos del estrés hídrico en el frijol.....	18
4.8.1 Factores que generan estrés y disminución del rendimiento en frijol	19
4.8.2 Efecto del estrés hídrico en la etapa vegetativa de frijol.....	20
4.8.3 Efecto del estrés hídrico en la etapa reproductiva de frijol	21
4.9 Importancia de la intensidad de sequía sobre la producción de frijol en la Península de Yucatán	22
4.9.1. Campeche	23
4.9.2 Yucatán	23
4.9.3 Quintana Roo	25
V. MATERIALES Y METODOS	26
5.1 Localización del diseño experimental.....	26
5.2 Material genético	26
5.3 Detalle experimental.....	26
5.4 Manejo del experimento	27
5.5 Variables medibles	30
5.6 Análisis estadístico.....	31
5.7 Comportamiento de la temperatura.....	32
VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	33
VIII. RECOMENDACIONES.....	60
IX. BIBLIOGRAFIA	60

INDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Procedencia de las accesiones nativas de frijol nativo colectado durante 2020-20121. Península de Yucatán, México.	26
---	----

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Monitoreo de sequía en México al 15 de agosto de 2019.....	23
Figura 2. Monitoreo de sequía en México al 15 de agosto de 2020.....	23
Figura 3. Monitoreo de sequía en México al 15 de septiembre de 2019.....	19
Figura 4. Monitoreo de sequía en México al 30 de septiembre de 2019.....	19
Figura 5. Monitoreo de sequía en México al 15 de septiembre de 2020.....	19
Figura 6. Monitoreo de sequía en México al 30 de septiembre de 2020.....	19
Figura 7. Monitoreo de sequía en México al 15 de octubre de 2019.....	250
Figura 8. Monitoreo de sequía en México al 31 de octubre de 2019.....	250
Figura 9. Monitoreo de sequía en México al 15 de octubre de 2020.....	250
Figura 10. Monitoreo de sequía en México al 31 de octubre de 2020.....	250
Figura 11. Panorámica del experimento de materiales nativos de frijol bajo estrés hídrico 2021. Chiná, Campeche, Camp., México.	272
Figura 12. Hormigas en botones florales de planta de lbe.	283
Figura 13. Mosca minadora de la hoja en la planta de frijol carita.....	283
Figura 14. Aplicación de insecticida.	294
Figura 15. Aplicación de fertilizante.....	294
Figura 16. Comportamiento de la temperatura durante el ensayo de accesiones de frijol bajo condiciones de estrés hídrico en 2021. China, Campeche, Camp., México. FDS= Fecha de siembra; IF = Iniciación de floración; IFV = Iniciación de formación de vainas.....	32
Figura 17. Altura de planta de la accesión de frijol carita e lbe bajo estrés hídrico y riego durante diez días en el estado de Campeche, Camp., México. Valores con la misma letra dentro de la figura son iguales entre sí (Tukey 0.05).....	33

Figura 18. Altura de planta de la accesión de frijol carita e lbe bajo estrés hídrico y riego durante veinte días en el estado de Campeche, Camp., México. Valores con la misma letra dentro de la figura son iguales entre sí (Tukey 0.05).	338
Figura 19. Altura de planta de la accesión de frijol carita e lbe bajo estrés hídrico y riego por treinta días en el estado de Campeche, Camp., México. Valores con la misma letra dentro de la figura son iguales entre sí (Tukey 0.05).....	34
Figura 20. Altura de planta de la accesión de frijol carita e lbe bajo estrés hídrico y riego en el estado de Campeche, Camp., México. FDS = Fecha de siembra; IBF = Iniciación de botones florales; IF = Iniciación de floración; IFV = Iniciación de formación de vainas; S1 = Sequia 1; S2 = Sequia 2; S3 = Sequia 3.....	29
Figura 21. Número de hojas trifoliadas de la accesión de frijol carita e lbe bajo estrés hídrico y riego durante diez días en el estado de Campeche, Camp., México. Valores con la misma letra dentro de la figura son iguales entre sí (Tukey 0.05)..	350
Figura 22. Número de hojas trifoliadas de la accesión de frijol carita e lbe bajo estrés hídrico y riego durante veinte días en el estado de Campeche, Camp., México. Valores con la misma letra dentro de la figura son iguales entre sí (Tukey 0.05)..	350
Figura 23. Número de hojas trifoliadas de la accesión de frijol carita e lbe bajo estrés hídrico y riego por treinta días en el estado de Campeche, Camp., México. Valores con la misma letra dentro de la figura son iguales entre sí (Tukey 0.05)	361
Figura 24. Número de hojas trifoliadas de la accesión de frijol carita e lbe bajo estrés hídrico y riego en el estado de Campeche, Camp., México. FDS = Fecha de siembra; IBF = Iniciación de botones florales; IF = Iniciación de floración; IFV = Iniciación de formación de vainas; S1 = Sequia 1; S2 = Sequia 2; S3 = Sequia 3.....	361
Figura 25. Número de botones florales de la accesión de frijol carita e lbe bajo estrés hídrico y riego durante veinte días en el estado de Campeche, Camp., México. Valores con la misma letra dentro de la figura son iguales entre sí (Tukey 0.05).	372

Figura 26. Número de botones florales de la accesión de frijol carita e lbe bajo estrés hídrico y riego durante treinta días en el estado de Campeche, Camp., México. Valores con la misma letra dentro de la figura son iguales entre sí (Tukey 0.05)..	372
Figura 27. Número de botones florales y botones por planta de la accesión de frijol carita e lbe bajo estrés hídrico y riego en el estado de Campeche, Camp., México. FDS = Fecha de siembra; IBF = Iniciación de botones florales; IF = Iniciación de floración; IFV = Iniciación de formación de vainas.....	383
Figura 28. Número de flores de la accesión de frijol carita e lbe bajo estrés hídrico y riego durante veinte días en el estado de Campeche, Camp., México. Valores con la misma letra dentro de la figura son iguales entre sí (Tukey 0.05).	383
Figura 29. Número de flores de la accesión de frijol carita e lbe bajo estrés hídrico y riego durante treinta días en el estado de Campeche, Camp., México. Valores con la misma letra dentro de la figura son iguales entre sí (Tukey 0.05.	394
Figura 30. Número de días a floración y flores por planta de la accesión de frijol carita e lbe bajo estrés hídrico y riego en el estado de Campeche, Camp., México. FDS = Fecha de siembra; IBF = Iniciación de botones florales; IF = Iniciación de floración; IFV = Iniciación de formación de vainas.	394
Figura 31. Número de vainas por planta de accesión de frijol carita e lbe bajo estrés hídrico y riego durante veinte días en el estado de Campeche, Camp., México). Valores con la misma letra dentro de la figura son iguales entre sí (Tukey 0.05).	405
Figura 32. Número de vainas por planta de accesión de frijol carita e lbe bajo estrés hídrico y riego durante treinta días en el estado de Campeche, Camp., México. Valores con la misma letra dentro de la figura son iguales entre sí (Tukey 0.05)..	405
Figura 33. Número de vainas por planta de la accesión de frijol carita e lbe bajo estrés hídrico y riego en el estado de Campeche, Camp., México. Fecha de siembra; IBF = Iniciación de botones florales; IF = Iniciación de floración; IFV = Iniciación de formación de vainas.	416

Figura 34. Número de vainas después de aplicar el riego de recuperación en Sequia 1 en la accesión de Frijol Carita e lbe a los 138 dds. Campeche, Camp., México. Valores con la misma letra dentro de la figura son iguales entre sí (Tukey 0.05).	427
Figura 35. Número de vainas después de aplicar el riego de recuperación en Sequia 2 en la accesión de Frijol Carita e lbe a los 138 dds. Campeche, Camp., México. Valores con la misma letra dentro de la figura son iguales entre sí (Tukey 0.05)..	427
Figura 36. Número de vainas después de aplicar el riego de recuperación en Sequia 3 en la accesión de Frijol Carita e lbe a los 138 dds. Campeche, Camp., México.... Valores con la misma letra dentro de la figura son iguales entre sí (Tukey 0.05)..	438
Figura 37. Peso seco de vainas después de aplicar el riego de recuperación en Sequia 1 en la accesión de Frijol Carita e lbe a los 138 dds. Campeche, Camp., México. Valores con la misma letra dentro de la figura son iguales entre sí (Tukey 0.05).	38
Figura 38. Peso seco de vainas después de aplicar el riego de recuperación en Sequia 2 en la accesión de Frijol Carita e lbe a los 138 dds. Campeche, Camp., México. Valores con la misma letra dentro de la figura son iguales entre sí (Tukey 0.05).	39
Figura 39. Peso seco de vainas después de aplicar el riego de recuperación en Sequia 3 en la accesión de Frijol Carita e lbe a los 138 dds. Campeche, Camp., México. Valores con la misma letra dentro de la figura son iguales entre sí (Tukey 0.05).	39
Figura 40. Número de vainas completas por extractos (A=superior de la planta; B=intermedia de la planta; C=inferior de la planta) de la planta de accesión de frijol carita e lbe bajo estrés hídrico y riego durante diez días en el estado de Campeche, Camp., México. Valores con la misma letra dentro de la figura son iguales entre sí (Tukey 0.05).	40

Figura 41. Número de vainas completas por extractos (A=superior de la planta; B=intermedia de la planta; C=inferior de la planta) de la planta de accesión de frijol carita e lbe bajo estrés hídrico y riego durante veinte días en el estado de Campeche, Camp., México. Valores con la misma letra dentro de la figura son iguales entre sí (Tukey 0.05).....	40
Figura 42. Número de vainas completas por extractos (A=superior de la planta; B=intermedia de la planta; C=inferior de la planta) de la planta de accesión de frijol carita e lbe bajo estrés hídrico y riego durante treinta días en el estado de Campeche, Camp., México. Valores con la misma letra dentro de la figura son iguales entre sí (Tukey 0.05).....	461
Figura 43. Número de vainas vanas por extractos (A=superior de la planta; B=intermedia de la planta; C=inferior de la planta) de la planta de accesión de frijol carita e lbe bajo estrés hídrico y riego durante veinte días en el estado de Campeche, Camp., México.). Valores con la misma letra dentro de la figura son iguales entre sí (Tukey 0.05).....	472
Figura 44. Número de vainas vanas por extractos (A=superior de la planta; B=intermedia de la planta; C=inferior de la planta) de la planta de accesión de frijol carita e lbe bajo estrés hídrico y riego durante treinta días en el estado de Campeche, Camp., México. Valores con la misma letra dentro de la figura son iguales entre sí (Tukey 0.05).....	472
Figura 45. Peso seco de vaina por extractos (A=superior de la planta; B=intermedia de la planta; C=inferior de la planta) de la planta de accesión de frijol carita e lbe bajo estrés hídrico y riego durante diez días en el estado de Campeche, Camp., México. Valores con la misma letra dentro de la figura son iguales entre sí (Tukey 0.05).....	483
Figura 46. Peso seco de vaina por extractos (A=superior de la planta; B=intermedia de la planta; C=inferior de la planta) de la planta de accesión de frijol carita e lbe bajo estrés hídrico y riego durante veinte días en el estado de Campeche, Camp., México. Valores con la misma letra dentro de la figura son iguales entre sí (Tukey 0.05).....	483

Figura 47. Peso seco de vaina por extractos (A=superior de la planta; B=intermedia de la planta; C=inferior de la planta) de la planta de accesoión de frijol carita e lbe bajo estrés hídrico y riego durante treinta días en el estado de Campeche, Camp., México. Valores con la misma letra dentro de la figura son iguales entre sí (Tukey 0.05).....	494
Figura 48. Peso seco de biomasa por planta de accesoión de frijol carita e lbe bajo estrés hídrico y riego durante diez días en el estado de Campeche, Camp., México. México. Valores con la misma letra dentro de la figura son iguales entre sí (Tukey 0.05).....	44
Figura 49. Peso seco de biomasa por planta de accesoión de frijol carita e lbe bajo estrés hídrico y riego durante veinte días en el estado de Campeche, Camp., México. México. México. Valores con la misma letra dentro de la figura son iguales entre sí (Tukey 0.05).....	505
Figura 50. Peso seco de biomasa por planta de accesoión de frijol carita e lbe bajo estrés hídrico y riego durante treinta días en el estado de Campeche, Camp., México. México. Valores con la misma letra dentro de la figura son iguales entre sí (Tukey 0.05).....	505
Figura 51. Peso seco de biomasa por planta de accesoión de frijol carita e lbe bajo estrés hídrico y riego durante diez, veinte y treinta días en el estado de Campeche, Camp., México. México. Valores con la misma letra dentro de la figura son iguales entre sí (Tukey 0.05).....	46
Figura 52. Rendimiento de semilla por planta de accesoión de frijol carita e lbe bajo estrés hídrico y riego durante diez días en el estado de Campeche, Camp., México. México. Valores con la misma letra dentro de la figura son iguales entre sí (Tukey 0.05).....	46
Figura 53. Rendimiento de semilla por planta de accesoión de frijol carita e lbe bajo estrés hídrico y riego durante veinte días en el estado de Campeche, Camp.,	

México. México. Valores con la misma letra dentro de la figura son iguales entre sí (Tukey 0.05).....47

Figura 54. Rendimiento de semilla por planta de accesión de frijol carita e lbe bajo estrés hídrico y riego durante treinta días en el estado de Campeche, Camp., México. México. Valores con la misma letra dentro de la figura son iguales entre sí (Tukey 0.05).....47

INTRODUCCIÓN

En algunas regiones del mundo el frijol (*Phaseolus vulgaris L.*) era cultivado hace ya 9 mil años, y recientemente sigue siendo una de las leguminosas más importantes para el consumo humano en el mundo, y en muchos países en desarrollo no solo es una fuente de grano para consumo local o venta, sino también aporta alimento para los animales, y en pequeños sistemas productivos mejora la fertilidad del suelo (Ambachew *et al.*, 2015).

De acuerdo con estudios de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 2018), el frijol, es la leguminosa alimenticia más importante para el consumo humano en el globo terráqueo. Este cultivo es cosechado en sistemas, regiones y ambientes tan diversos como América Latina, África, el Medio Oriente y Europa, siendo un alimento tradicional y básico, específicamente en Brasil, México, América Central y el Caribe. No obstante, su importancia en la dieta de números países, el volumen de producción del frijol respecto a granos como el maíz, el trigo y el arroz representa en promedio sólo el 1.0%. En México, el frijol junto con el maíz constituye la base de la alimentación, principalmente para la población con menores ingresos. Actualmente este cultivo se destaca entre los 14 cultivos básicos producidos a nivel nacional (SAGARPA, 2017).

Los registros de la FAO en 2018 indican que durante el periodo 2012 – 2018 el crecimiento de la producción mundial de frijol se ha mantenido a una tasa media de crecimiento anual de 3.3%. En 2017, la producción mundial de frijol se ubicó en 32.1 millones de toneladas, siendo el año de mayor producción de esta oleaginosa. Desde 2012 hasta 2017, la producción mundial de frijol se mantuvo a un ritmo de crecimiento que permitió alcanzar las 32.1 millones de toneladas en 2017. En 2018 la contracción en la producción de la India y Brasil provocó una caída de 1.2%, siendo estas dos naciones las que concentran el 28.8% de la producción mundial en 2018; con el 19.6% y el 9.2%, respectivamente.

Considerando la producción mundial acumulada de 2012-2018, los principales países productores de frijol en el mundo son: La India con 17.3%, seguido de la Myanmar con 16.0%, Brasil con 10.3%, Estados Unidos con el 4.9%, China y Tanzania con el 4.1%, ocupando el séptimo lugar México con el 4.0%.

El crecimiento del consumo mundial de frijol se ha mantenido a una tasa de 2.4% en promedio anual para el periodo de 2012–2018, es decir, en frecuencia con el crecimiento de la producción. Para 2017, el consumo mundial de esta leguminosa se colocó en 3.57 kg per cápita, cifra superior en 7.6% respecto al año anterior que fue de 3.32 kg per cápita. En 2018 se registra una disminución del 2.1% en el consumo per cápita mundial, debido a la disminución en la producción para dicho año y un aumento en la población mundial (FAO, 2018).

En este contexto, en México se cultivan anualmente alrededor de 1, 676,355 ha, con una producción de 1, 086,733 ton de frijol. De tal forma que, de la superficie cultivada a nivel nacional, el 88 % se siembra bajo temporal y 12 % bajo riego. Y del total de la producción formada en México, el 30 % se genera en condiciones de riego, con un rendimiento promedio de 1.7 ton/ha. Mientras que en condiciones de temporal se genera el 70 %, con un rendimiento promedio de 0.566 ton/ha. Entre los principales estados productores se ubica a Sinaloa, Nayarit, Chiapas, Durango,

Guanajuato, San Luis Potosí y Puebla; que conjuntamente contribuyen con el 44 % de la producción que se genera anualmente en México (SIAP, 2020).

En México se distinguen diferencias en cuanto a las preferencias por variedad en el consumo del frijol. Mientras que en el norte del país existe preferencia por el frijol pinto, en el noroeste se prefiere el frijol azufrado; en el centro las variedades flor de mayo y flor de junio y en el sur y sureste se tiene preferencia por el frijol negro. El consumo per cápita del frijol se ha reducido a través del tiempo. En promedio durante el periodo el consumo nacional per cápita es de 11 Kg, inferior a lo consumido en los últimos 5 años. Diversos factores sociales y principalmente económicos como el incremento en el precio han contribuido a la reducción en el consumo per cápita de esta leguminosa (SIAP, 2019).

A pesar de la importancia ecológica y económica de estos agrosistemas, la información acerca del valor agronómico de las poblaciones de frijol común, así como la relativa al grado de diversidad intra e inter específica en las regiones en que se cultivan, es escasa, dispersa y poco sistematizada (Espinoza-Pérez, *et al.*, 2015).

Entre los factores que han incidido en este fenómeno se encuentran la sustitución de poblaciones nativas por variedades mejoradas, fenómenos meteorológicos, cambios en los sistemas de producción y uso de la tierra, y abandono de tierras o de la actividad agrícola. Estos fenómenos remarcan la necesidad de realizar un proceso continuo de conservación, caracterización morfológica y agronómica de germoplasma, así como de análisis de la distribución geográfica de las poblaciones nativas, ante la posible pérdida irreparable de este germoplasma (Bellon y Berthaud, 2006).

Conjuntamente las condiciones climáticas que imperan en el mundo resultan en anomalías en la precipitación, generando diversos periodos de sequía, lo que lleva a la agricultura a un problema crítico en la disponibilidad y manejo de los recursos

hídricos (Guoju *et al.*, 2016). En este sentido, el objetivo del presente estudio fue la evaluación de accesiones nativas de frijol sobre el rendimiento de grano y sus componentes bajo estrés hídrico en el estado de Campeche, México.

I. OBJETIVOS

2.1. Objetivo general

Evaluación de materiales nativas de frijol (*Phaseolus vulgaris L.*) bajo estrés hídrico en el estado de Campeche, México.

2.2. Objetivos específicos

- ✚ Evaluar las características agronómicas de accesiones nativas de frijol (*Phaseolus vulgaris L.*) bajo estrés hídrico en el estado de Campeche, México.

- ✚ Evaluación de la producción de grano y sus componentes de accesiones nativas de frijol (*Phaseolus vulgaris L.*) bajo estrés hídrico en el estado de Campeche, México.

II. HIPÓTESIS

Ho. 1. Las accesiones nativas de frijol (*Phaseolus vulgaris L.*) son iguales en cuanto a características agronómicas, productivas y sus componentes bajo estrés hídrico.

Ha. 2. Las accesiones nativas de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) son diferentes en cuanto a características agronómicas, productivas y sus componentes bajo estrés hídrico.

III. REVISION DE LITERATURA

4.1. Origen del frijol

Freytag y Debouck, (2002) señalan que el género *Phaseolus* incluye cinco especies domesticadas: *P. vulgaris* (frijol común), *P. lunatus* (frijol lima), *P. acutifolius* (frijol tépari), *P. coccineus ssp. coccineus* (frijol ayocote) y *P. dumosus* = *P. polyanthus* (= *P. coccineus ssp. darwinianus*) (frijol de año). Entre los primeros estudios sobre el origen y evolución del frijol se remontan a Miranda-Colín (1967), quien afirma que la forma silvestre de frijol se encuentra en Mesoamérica. Posteriormente, se han propuesto centros de origen y domesticación alternativos que trabajos sucesivos han ratificado o rectificado (Kwak *et al.*, 2009).

Hernández-López *et al.* (2013) indica que el frijol común comprende dos acervos genéticos, el Mesoamericano y el Andino, que difieren en sus estructuras y niveles de diversidad genética, tanto en poblaciones silvestres como en las domesticadas. La mayor diversidad del germoplasma Mesoamericano se fundamenta en sus mayores proporciones del componente de varianza interpoblacional y diferenciación genética en el germoplasma domesticado (Papa y Gepts, 2003). En parte esto se debe a que poblaciones de germoplasma Mesoamericano de *P. vulgaris* son simpátricas con otras especies sexualmente compatibles como *P. coccineus*, lo que puede provocar hibridación interespecífica o introgresiva. Otros factores que afectan los niveles de diversidad son el aislamiento reproductivo parcial entre acervos genéticos, la homoplasia y la evolución convergente, aunque permanecen sin estudiarse a fondo (Papa *et al.*, 2006).

4.2. Importancia de la diversidad genética de frijol

El frijol común tiene una gran tradición que se remonta a tiempos prehispánicos, y presenta amplia diversidad de formas silvestres y cultivadas (Vidal-Barahona *et al.*, 2006). El frijol a igual que el maíz, presenta una amplia variabilidad genética dentro del acervo genético mesoamericano, tanto de formas cultivadas como silvestres. La diversidad genética se ha organizado en tres grupos raciales: razas Mesoamérica (arbustivos tropicales), Jalisco (trepadores en asociación con maíz), Durango (arbustivos postrados) (Singh *et al.*, 1991) y Campeche (trepadores en asociación o monocultivo) (Pacay-Quix, 2021). Se cultiva en todos los estados, destacando por sus aportaciones Sinaloa, Nayarit, Chiapas, Durango, Guanajuato, San Luis Potosí y Puebla (SIAP, 2020).

Las variedades mejoradas si bien han sido un factor de incremento de los rendimientos y beneficio para los productores, también han contribuido a la reducción de la diversidad genética; esto es particularmente cierto en las regiones de mejores condiciones de siembra como Sinaloa, Nayarit y Guanajuato y en algunas áreas temporaleras de Chihuahua, Durango y Zacatecas. En Jalisco, Michoacán, México y Puebla, con grandes áreas dedicadas a frijol asociado con maíz en el pasado reciente, la modernización del cultivo de maíz (uso de semillas mejoradas, herbicidas y mecanización), ocasionaron la salida de la leguminosa del sistema. En frijol, destaca la enorme variabilidad genética de las formas silvestres de *Phaseolus vulgaris* (Lépiz *et al.*, 2004), así como la existencia de más de 90 especies del género *Phaseolus* en el país (Freytag y Debouck, 2002). La riqueza genética de las formas silvestres todavía no está bien representada, y menos aún evaluada en los bancos de germoplasma.

4.3. Importancia mundial del frijol

El frijol ha sido consumido ampliamente desde la época precolombina por los pueblos americanos, actualmente representa 33 % de la producción mundial de leguminosas y supera en 40 y 54 % la del chicharo (*Pisum sativum L.*) y el garbanzo (*Cicer arietinum L.*) (FAO, 2007). Sus semillas son ricas en proteínas, almidón, fibra

alimenticia y hierro; además, con su consumo se cubre una cantidad sustancial de los requerimientos diarios de ácido fólico, magnesio, cobre, potasio y zinc. Del frijol que se consume en todo el mundo, la proporción mayor es semilla cocinada y solo una pequeña parte las vainas verdes. Una característica típica del frijol es su versatilidad o respuesta amplia al cultivo, que contrasta con la de la mayoría de las especies de interés comercial. Como resultado, los campos de cultivo del frijol se localizan en todo el mundo, en 150 países (Peña, *et al.*, 2012).

4.4. El cultivo de frijol en México

Aguilar-Benítez *et al.* (2019) indica que el cultivo de frijol común (*Phaseolus vulgaris L.*) en México ocupa el tercer lugar por superficie establecida, aunque la producción reporta variaciones anuales por la heterogeneidad de condiciones climáticas en las que se produce. Dada la importancia cultural y alimenticia de esta leguminosa, los agricultores y genetistas han seleccionado cultivares con características culinarias deseables y adaptaciones a ambientes restrictivos (Aguilar-Benítez *et al.*, 2019).

El frijol común (*Phaseolus vulgaris L.*) es la leguminosa más importante para el consumo humano en México, desde tiempos prehispánicos ha tenido gran importancia alimenticia, social y económica (Saburido y Herrera, 2015). En la actualidad, el frijol está presente prácticamente en todas las regiones y condiciones edafoclimáticas de México (Delgado y Gama, 2015), encontrándose una amplia diversidad de formas silvestres, tradicionales (variantes seleccionadas y cultivadas con procedimientos empíricos) y mejoradas (Espinosa *et al.*, 2015).

En México se siembran anualmente alrededor de 1, 676,355 ha, con una producción de 1, 086,733 ton de frijol. De tal forma que, de la superficie cultivada a nivel nacional, el 88 % se siembra bajo temporal y 12 % bajo riego. Y del total de la producción formada en México, el 30 % se genera en condiciones de riego, con un rendimiento promedio de 1.7 ton/ha. Mientras que en condiciones de temporal se genera el 70 %, con un rendimiento promedio de 0.566 ton/ha. Entre los principales estados productores se ubica a Sinaloa, Nayarit, Chiapas, Durango, Guanajuato,

San Luis Potosí y Puebla; que conjuntamente contribuyen con el 44 % de la producción que se genera anualmente en México (SIAP, 2020).

Conjuntamente, el estado de Colima y la ciudad de México reportan la menor superficie y producción de frijol en la república mexicana con un promedio de 4 y 67 ha, y una producción de 4 y 58 ton. En condiciones de temporal el mayor rendimiento por hectárea se origina en los estados de Morelos, Nayarit y Sinaloa con un promedio de 1340, 1323 y 1149 kg/ha. Mientras que Durango, Yucatán y Nuevo León participan con la generación de menor rendimiento por hectárea con 0.200, 0.298 y 0.376 kg/ha (SIAP, 2020).

4.5. Importancia del frijol en Campeche

En México, anualmente se cultivan alrededor de 1.6 millones de ha, de las cuales en Campeche se siembran anualmente alrededor de 1,551 ha, que representan el 0.09 % del total a nivel nacional y de las cuales el 100 % se siembra bajo condiciones de secano o temporal (SIAP, 2020). En el estado, los municipios que representan a la mayor parte de la superficie sembrada en condiciones de temporal son: Escárcega con 1,173 ha y Campeche con 340 ha, mientras que en Champotón solo se cultivan 38 ha (SIAP, 2020).

Lara y colaboradores (2012) indican que, en regiones de la Península de Yucatán, el manejo de la milpa se basa en cultivos itinerantes donde la vegetación es cíclicamente cortada y quemada siendo su esencia básica la roza-tumba-quema; estos cultivos son el frijol (*Phaseolus vulgaris* y *Phaseolus lunatus* L.), maíz (*Zea mays* L.) y la calabaza (*Cucurbita moschata* Duch; *Cucurbita argyrosperma* Huber, *Cucurbita pepo* L.).

Conjuntamente en la Península de Yucatán, se cultivan diferentes cultivares nativos de frijol de grano de color negro que el agricultor siembra de forma manual en condiciones de secano o temporal. Entre los principales cultivos nativos se ubica a Xcoli Bu'ul, Tsama', Xmejen Bu'ul y a la variedad Jamapa (Ku-Pech, 2019).

4.6. Frijol nativo en el estado de Campeche

En algunas áreas cultivadas en la península de Yucatán se ha reportado que predomina la siembra de Xcoli Bu'ul seguido de Tsama' en Xoy (Ku-Pech, 2019). Arias *et al.* (2004) reporta que estas dos cultivares son las que presentan mayor predominancia en las milpas de la comunidad de Yaxcabá. En el caso del ibe la variedad Xmejen fue preferida por su precocidad en producción y la Xnuk ib por generar granos de mayor tamaño, obteniendo así mayor rendimiento. También se cultivan los materiales denominados en la región como Xmejen Ib, Xnuk'sikal Tsutsuy, Xpech Ib, Sac Ib, Chac Ib y Munición (Ku-Pech, 2019).

Pacay-Quix (2021) señala que, en el estado de Campeche, se tienen registros que se siembra frijol de la especie *Phaseolus lunatus L.*, o ib (ibes en plural) como son conocidos en lengua Maya. Los ibes se obtienen de una planta que crece como trepadora, con flores desde blancas a rosadas o hasta púrpuras, el fruto es una vaina dentro de la cual puede haber hasta cuatro semillas. La especie se distribuye en algunos estados de México, principalmente en lugares ubicados en las vertientes del Pacífico y del Golfo de México, así como en Centro y Sudamérica (Serrano-Serrano *et al.*, 2012). Estas especies son principalmente cultivadas en las regiones de América Tropical; en la Península de Yucatán la subespecie cultivada es conocida como "ib", siendo esta región la que posee el mayor número de variantes existentes en México; el "ib" es cultivada en asociación con el maíz en el sistema de rosa-tumba-quema y representa, después de la calabaza (*Cucurbita sp*), y el frijol común (*P. vulgaris L.*), el cultivo asociado más importante en la agricultura tradicional de la región (Chávez-Servia *et al.*, 2004).

En Campeche también se cultiva frijol de la especie *Vigna urguiculata L.* o bien como se le conoce localmente como Frijol 'xpelon. Un cultivo de clima tropical, semirrastrera, con vainas alargadas de color verde, nativa en el estado de Campeche, en condiciones de exceso precipitación tiende a desarrollar abundante masa foliar; con poca precipitación desarrolla de manera correcta. En la Península de Yucatán se encuentra una extensa gama de género hablando de frijol distribuidos

en diferentes climas y ubicación. Varios estudios mencionan que es mejor la adaptabilidad en clima tropical (Pacay-Quix, 2021).

4.7. Tipos de estrés en las plantas

4.7.1 Estrés ambiental

El estrés ambiental representa una fuerte restricción para el aumento de la productividad de los cultivos y el aprovechamiento de los recursos naturales. Se estima que únicamente un 10% de la superficie de la tierra arable se encuentra libre de algún tipo de estrés (Benavides, 2002). El estrés medioambiental o, más específicamente, el estrés abiótico, se refiere a todos aquellos factores físicos del entorno que puedan afectar negativamente el crecimiento y productividad de las plantas. Se han llevado a cabo numerosas investigaciones acerca del estrés producido por sequía, inundaciones, salinidad y temperaturas extremas (altas y bajas), sin embargo, los cultivadores también se ven afectados por otros factores como la intensidad de la luz y el déficit de abonos inorgánicos (como nitrógeno, fósforo o potasio), los cuales también juegan un papel importante en las pérdidas de las cosechas agrícolas e industriales.

4.7.2 Estrés fisiológico

Basurto *et al.* (2008) indica que se distingue por ser un estrés hormonal (ABA, fitocromo, etileno, AG, etc.), cambios en las estructuras celulares (estomas, cloroplastos, mitocondrias, etcétera), respuestas estomáticas, tasas de asimilación de CO₂ y tasas de fotorrespiración.

4.7.3 Estrés bioquímico

Se caracteriza por ser un estrés por factores abióticos, acumulación de metabolitos nitrogenados, síntesis de polioles, absorción y compartimentalización de iones, cambios en la permeabilidad del agua, estrés por factores bióticos, genes de

resistencia, resistencia sistemática adquirida (SAR), resistencia sistemática inducida (RSI), choque oxidativo, plantas transgénicas con mayor resistencia al estrés oxidativo, bases transgénicas resistentes a oxidación, aumento del fenotipo resistente al estrés oxidativo (Basurto, *et al.*, 2008).

4.7.4 Estrés hídrico

Las plantas, a lo largo de su vida, se ven sometidas a un gran número de condiciones ambientales adversas, como el déficit de agua en su entorno; y esto no resulta una limitante para su distribución en las diferentes condiciones climáticas de la superficie terrestre. Esta amplia distribución se da gracias a que las plantas cuentan con mecanismos muy eficientes para hacer frente a los factores ambientales adversos (Pérez-Molphe y Ochoa, 1990). Las plantas cultivadas se ven sometidas a diferentes grados de estrés en alguna etapa de su crecimiento, los cambios generados son una respuesta a la sobrevivencia de la planta misma; el efecto del estrés por sequía generalmente es reflejado en una disminución de la producción y del crecimiento total; esto con respecto al grado de reducción de factores, como la etapa de crecimiento y el agotamiento de agua, así como el tiempo de duración de las condiciones de sequía (Kramer, 1983).

4.7.5 Efectos del estrés hídrico en plantas

El agua es indispensable en la vida de las plantas e influye en su crecimiento y productividad. La poca disponibilidad de agua en el suelo puede ocasionar que la transpiración exceda el agua absorbida por las raíces, lo que se conoce como estrés hídrico (Munns y Tester, 2008). La intensidad y duración del estrés hídrico influye en los efectos y la capacidad de las plantas para resistirlo (Garau, *et al.*, 2009), entre los principales efectos del estrés hídrico sobre el crecimiento está la reducción en la altura, tallo, raíces, área foliar, peso foliar específico y biomasa de la planta (Singh y Singh, 2006). Estudios efectuados por Lüttge (2007) indican que durante el estado de plántula se experimenta mayor estrés hídrico porque los individuos aún no han desarrollado un sistema radicular extenso ni profundo y su acceso al agua del suelo es limitado. Esta etapa condiciona el establecimiento de las especies vegetales ya

que el estrés hídrico puede provocar su muerte; por ello es necesario estudiar sus respuestas fisiológicas y morfológicas ante condiciones de baja humedad del suelo (Cregg, 2004).

4.8 Efectos del estrés hídrico en el frijol

El cultivo de frijol (*Phaseolus vulgaris L.*), al igual que otros cultivos de importancia económica, es afectado durante su crecimiento y desarrollo por factores ambientales adversos como: precipitación, temperatura, humedad y mala distribución en gran proporción del área cultivada (Lépiz, *et al.*, 1983). Debido a que la especie se cultiva principalmente en condiciones de temporal, cuyas siembras se establecen desde finales de mayo hasta principios de julio y es afectado por las plagas y enfermedades. Así mismo como factores edáficos que varían entre localidades como: topografía, tipo de profundidad del suelo, para formar un ambiente de producción complejo del cultivo de esta leguminosa durante el año (Esquivel, *et al.*, 2004).

Singh (1995) señala que aproximadamente el 60% de la producción mundial de frijol (*Phaseolus vulgaris L.*) se obtiene en condiciones de déficit hídrico, por lo que este factor es quien más contribuye en la reducción del rendimiento después de las enfermedades. Hsiao y colaboradores (1976) indican que el estrés por sequía es causado por la baja disponibilidad de agua en el suelo, modificando negativamente la productividad del frijol. Esta es afectada dependiendo de la intensidad, duración de la escasez de agua y de la rapidez con la cual se alcance dicha intensidad y además de la etapa fenológica en que el efecto ocurra, así como el preacondicionamiento de la planta.

En estudios efectuados por Rainey y Griffiths (2005) observaron que el frijol es extremadamente sensible al estrés hídrico y al calor presente con frecuencia en forma simultánea en las etapas fenológicas más sensitivas de la planta: para la formación del rendimiento en el inicio de la floración, inicio de crecimiento de las vainas y llenado de grano en las áreas de secano; este tipo de estrés abiótico

disminuye el rendimiento y calidad de la producción. Mientras que Miranda y Belmar (1977) realizaron un estudio del déficit y frecuencia de riego en frijol (*Phaseolus vulgaris L.*) encontraron que hubo un efecto significativo sobre el rendimiento en la disminución de grano, el número de vainas por planta debido al déficit de humedad del suelo durante los estadios de crecimiento, floración y formación de grano.

Núñez *et al.* (1998) evaluaron el impacto del estrés hídrico en el crecimiento del frijol común, encontraron una disminución rápida en el índice del área foliar, presentando una reducción en el inicio de la floración que fue menor en un 65% en comparación al testigo, así mismo, la conductancia estomática y la fotosíntesis se redujeron bajo estrés hídrico. Peña y Muñoz (1988), encontraron que un estrés de humedad reduce severamente el índice de área foliar, peso seco, número de granos y el rendimiento del frijol, pero las especies mostraron una alta recuperación en crecimiento y producción de vaina cuando se riega después del tratamiento de sequía.

Babalola (1980) estudió el efecto del estrés hídrico del suelo sobre tres variedades de frijol, encontró que estas redujeron significativamente el crecimiento y el rendimiento (34 y 64%) de las variedades cuando las plantas estaban en la etapa de floración y fructificación. Al respecto, Elston y Bunting (1980) indicaron que los cultivos de leguminosas eluden la sequía madurando antes de que se desarrolle una deficiencia sustancial en la humedad del suelo. Kohashi *et al.* (2002) reportaron que el estrés hídrico inhibió en diferente grado la acumulación de materia seca en los fitómeros, sus componentes y ramas, así como el área foliar de acuerdo con la posición de la planta y las etapas de desarrollo, presentando una reducción en el área foliar y en el peso seco. Guzmán (2010) evaluó bajo condiciones controladas el estrés hídrico al crecimiento de frijol, encontrando que el peso seco total de raíces no presentó diferencias en el tratamiento bajo riego, y con estrés hídrico estos resultados demuestran que en condiciones de sequía las raíces crecen más profundas que con riego. Por otro lado, el peso seco total de follaje bajo riego presentó un mayor peso foliar que con estrés hídrico.

4.8.1 Factores que generan estrés y disminución del rendimiento en frijol

A pesar de su consumo amplio como alimento básico, el frijol se caracteriza por sus rendimientos bajos, los cuales contrastan con los de la mayoría de los cereales y algunas otras leguminosas que pueden ser varias veces más altos. Los rendimientos bajos del frijol son resultado de su notable sensibilidad a factores bióticos y abióticos, y en la mayoría de las regiones productoras el rendimiento se reduce por efectos combinados de problemas climáticos, edáficos y plagas (Peña-Valdivia *et al.*, 2002). Peña-Valdivia *et al.*, (1999) señalaron que una explicación para esta sensibilidad podría ser que, como resultado de la domesticación, los cultivares actuales han adquirido diversas características deseables para agricultores y consumidores, pero a la vez han perdido algunas otras que lo hacen más sensibles a factores bióticos y abióticos diversos. Entre los factores bióticos que disminuyen el rendimiento y la calidad del frijol están los parásitos, que pueden ser insectos, nematodos, bacterias y virus. Existen aproximadamente 200 patógenos del frijol y sólo una docena está ampliamente localizada en todas las regiones donde se cultiva, produciendo grandes pérdidas económicas y solo cerca de 20 producen daños con importancia económica (Peña, *et al.*, 2012). Peña y colaboradores (2012) también indica que simultáneamente se presentan los factores abióticos, entre los que se destacan los climáticos, por ser los más difíciles de resolver. Al respecto, existe información abundante sobre los efectos del déficit drástico y moderado de agua en el frijol domesticado; también hay avances en el conocimiento de los mecanismos probables involucrados en la tolerancia a la sequía en otras especies, pero se ha hecho poco esfuerzo para utilizar este conocimiento en el desarrollo de cultivares tolerantes. En este sentido las poblaciones silvestres de frijol parecen representar un recurso latente para mejorar los cultivares (Arroyo-Peña *et al.*, 2004).

4.8.2 Efecto del estrés hídrico en la etapa vegetativa de frijol

Estudios efectuados por Polón y colaboradores (2017) indican que, al someter al cultivo de frijol a un estrés de agua en la fase vegetativa en la variedad Delicia 364 se incrementa el rendimiento en granos, el número de vainas por planta y la masa

seca por planta, con un uso más eficiente del agua respecto al tratamiento testigo (riego normal), los granos de frijoles con estrés de agua presentaron un color más brillante y pesados respecto al testigo.

En otros trabajos se muestran que el comportamiento del rendimiento al someter al cultivo a diferentes intensidades de estrés hídrico, desde enrollamiento de las hojas hasta su amarillamiento con afectaciones del área foliar (pérdidas de parte del tejido vegetal), dando como resultado un incremento del rendimiento al compararse con el tratamiento testigo (con riego normal sin estrés hídrico). Estos resultados coinciden con lo reportado por Nielsen (2008), el que plantea que al someter este cultivo a un estrés hídrico en la fase vegetativa no disminuye el rendimiento en granos y sus componentes. También Nielsen y Nelson (1998), indican que en la etapa vegetativa el estrés hídrico provoca reducción en altura de planta y área foliar del frijol, pero no en su rendimiento. Conjuntamente Boicet (2010), plantea que el rendimiento resultó ser estadísticamente superior, cuando el cultivo no padeció de déficit hídrico (estrés hídrico) durante el ciclo vegetativo del cultivo.

Montero *et al.* (2019), estudiaron el efecto fisiológico del estrés hídrico en variedades de frijol tolerantes a la sequía y observaron que la biomasa del follaje presentó diferencias entre variedades, etapas fenológicas y niveles de estrés hídrico. Esto indica que, aunque la plasticidad morfológica forma parte de la respuesta ante el estrés, la disponibilidad de agua modifica la magnitud de la reducción en la biomasa del follaje (Muñoz, *et al.*, 2006). Conjuntamente observaron que, en la etapa vegetativa, en riego y sequía, las variedades que formaron más biomasa foliar fueron Pinto Villa (3.8 g) y Ballo Madero (3.7 g), respectivamente, mientras que, en la etapa reproductiva, en riego, Pinto Saltillo (6.3 g) fue la variedad con una mayor formación de biomasa foliar y Bayo Madero (5.2 g) en sequía (Montero, *et al.* 2019).

4.8.3 Efecto del estrés hídrico en la etapa reproductiva de frijol

Acosta-Díaz y colaboradores (2004), indican que, en México, 85% del frijol se cultiva durante el ciclo de primavera-verano (PV) en diversas regiones del país, entre ellas,

la semiárida y la tropical húmeda baja, en condiciones de temporal con 250 a 400 mm de precipitación durante el ciclo del cultivo, con un rendimiento promedio de 450 kg ha⁻¹. En la actualidad, el cultivo se realiza con diferentes regímenes de humedad del suelo. En la región semiárida de altura, el frijol se siembra durante el ciclo PV con un régimen de precipitación deficitario y errático, registrándose con frecuencia sequía intermitente, la cual puede presentarse durante las etapas vegetativa y reproductiva del cultivo. En la zona tropical húmeda baja, el frijol se siembra al final de la estación lluviosa, durante el ciclo otoño-invierno (OI), y su producción en parte depende de la humedad residual almacenada en el suelo, observándose con frecuencia sequía terminal, la que ocurre en las últimas etapas del cultivo, durante el llenado de grano y madurez fisiológica (Acosta-Gallegos *et al.*, 1998).

En este contexto, Schneider *et al.* (1997) indica que el estrés intermitente es causado por patrones climáticos de lluvia esporádica lo cual resulta en intervalos de sequía que pueden ocurrir en cualquier momento durante el proceso de desarrollo. En contraste, la sequía terminal tiene lugar cuando la planta atraviesa por estrés hídrico durante los estadios reproductivos y es la decisiva y contundente en la producción y rendimiento (Cadena, *et al.*, 2019). Babalola (1980), estudió el efecto del estrés hídrico del suelo sobre tres variedades de frijol, encontró que estas redujeron significativamente el crecimiento y el rendimiento (34 y 64%) de las variedades cuando las plantas estaban en la etapa de floración y fructificación.

Miranda y Belmar (1977) realizaron un estudio del déficit y frecuencia de riego en frijol (*Phaseolus vulgaris L.*) encontraron que hubo un efecto significativo sobre el rendimiento en la disminución de grano, el número de vainas por planta debido al déficit de humedad del suelo durante los estadios de crecimiento, floración y formación de grano. Peña y Muñoz (1988), encontraron que un estrés de humedad reduce severamente el índice de área foliar, peso seco, número de granos y el rendimiento del frijol, pero las especies mostraron una alta recuperación en crecimiento y producción de vaina cuando se riega después del tratamiento de sequía.

4.9 Importancia de la intensidad de sequía sobre la producción de frijol en la Península de Yucatán

4.9.1. Campeche

De acuerdo con la literatura, el cultivo de frijol en el estado de Campeche se siembra anualmente en el periodo del 15 de agosto al 15 de septiembre (INIFAP, 2015a). Periodo en el que se refleja una precipitación media de 365 mm durante los meses de agosto a septiembre y 626 mm de septiembre a noviembre durante el 2019 y 2020 (CONAGUA 2019-2020). Sin embargo, de acuerdo con CONAGUA sobre el monitoreo de sequía en México durante el año de 2019-2020, algunas de las siembras de frijol en Campeche efectuadas durante este periodo, sufrieron una intensidad de sequía que va de anormalmente seco a sequía moderada en el año 2019. Mientras que en el año 2020 no se observa un impacto de la sequía en el estado de Campeche (Figura 2). Bajo esta premisa es importante resaltar que algunos de los productores de frijol en Campeche han observado que las plantas han manifestado síntomas de sequía en los meses de agosto a septiembre. Debido a que, en fechas de siembras a inicio de agosto, la sequía coincide con la etapa vegetativa y en otros casos el efecto es mayor debido a que coincide con el periodo de floración, que ocurre a los 40 a 50 días después de la siembra (INIFAP, 2015a).

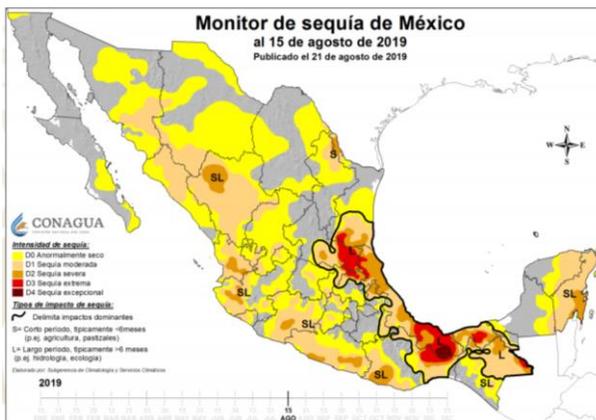


Figura 1. Monitoreo de sequía en México al 15 de agosto de 2019.

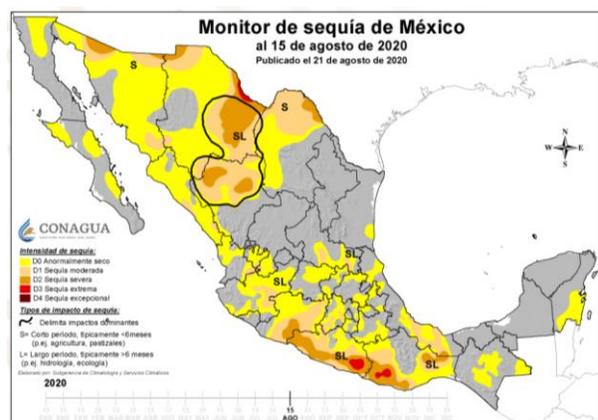


Figura 2. Monitoreo de sequía en México al 15 de agosto de 2020.

4.9.2 Yucatán

Los registros meteorológicos de CONAGUA indican que durante el mes de septiembre en 2019 y 2020 algunas de las siembras de frijol en Yucatán, efectuadas durante este mes sufrieron una intensidad de sequía que va de anormalmente seco a sequía moderada en el año 2019. Mientras que en el año 2020 se observa una intensidad de sequía anormalmente seco (Figura 3, 4, 5,6). En efecto, las variedades de frijol que comúnmente se emplean en la región son de grano negro y entre ellas se ubica a Negro INIFAP, Negro Tacana y frijol criollo. Al utilizar fechas de siembra del 1ro al 15 de septiembre (INIFAP, 2015b); periodo que coincide con la sequía en el estado; aunado que la precipitación acumulada en el mes de septiembre, cuando la planta está en etapa vegetativa fue de 160 mm y 430 mm durante los meses de octubre a diciembre, cuando el frijol está en etapa reproductiva, donde el rendimiento es impactado negativamente por la sequía.

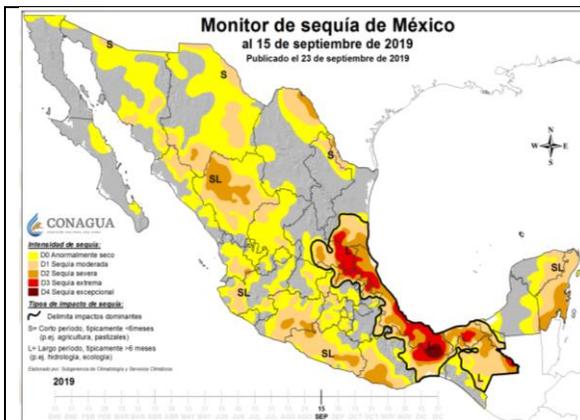


Figura 3. Monitoreo de sequía en México al 15 de septiembre de 2019.

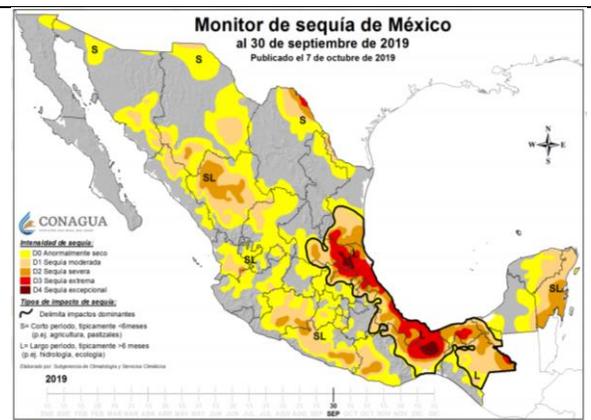


Figura 4. Monitoreo de sequía en México al 30 de septiembre de 2019.

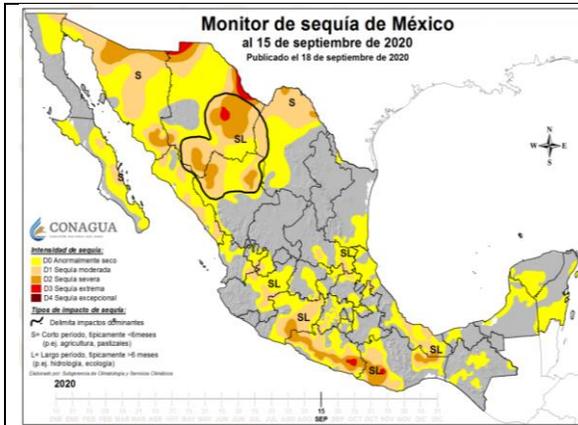


Figura 5. Monitoreo de sequía en México al 15 de septiembre de 2020.

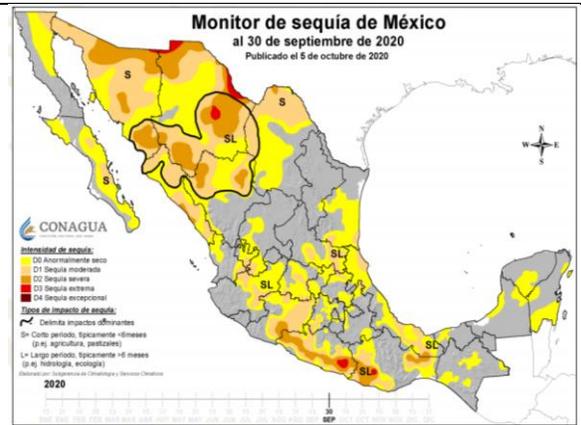


Figura 6. Monitoreo de sequía en México al 30 de septiembre de 2020.

4.9.3 Quintana Roo

Los agricultores de Quintana Roo inician a cultivar el frijol a partir del 1ro de octubre; sin embargo, otros productores establecen el cultivo a finales de octubre; al utilizar la variedad Negro Jamapa de grano negro y Canario 101 de grano amarillo. De acuerdo con CONAGUA (2019-2020), durante el mes de octubre se registraron 271 mm y 273 mm durante los meses de noviembre a diciembre, que equivale al 60 % de los requerimientos de agua para el cultivo de frijol y que, a su vez, lo hacen susceptible a un marchitamiento de la planta, debido a que coincide con los eventos de intensidad de sequía anormalmente seco, moderada y severa en 2019.

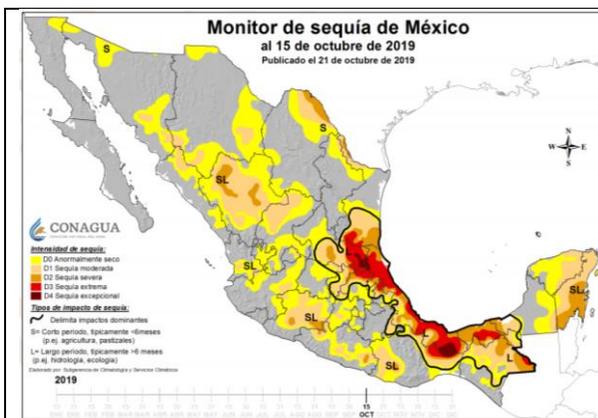


Figura 7. Monitoreo de sequía en México al 15 de octubre de 2019.

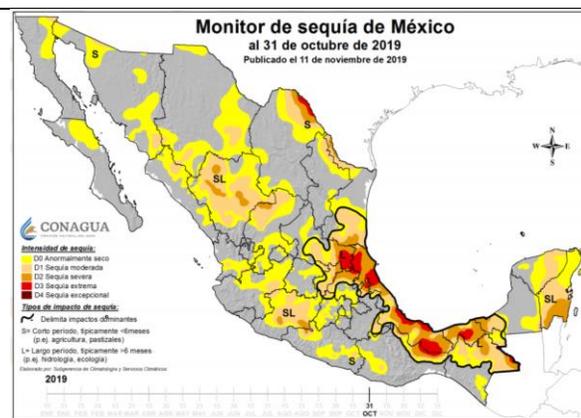


Figura 8. Monitoreo de sequía en México al 31 de octubre de 2019.

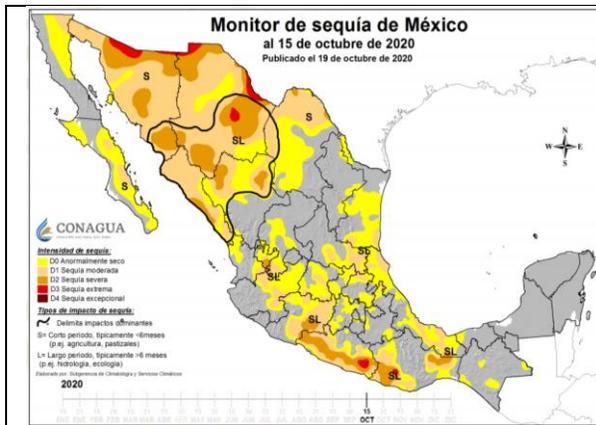


Figura 9. Monitoreo de sequía en México al 15 de octubre de 2020.

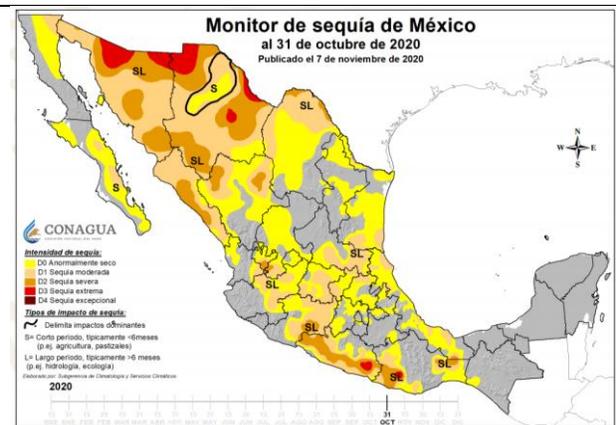


Figura 10. Monitoreo de sequía en México al 31 de octubre de 2020.

V. MATERIALES Y METODOS

5.1 Localización del diseño experimental

El registro de datos del presente trabajo se realizó en terrenos de la localidad de China, Municipio de Campeche, Camp, con coordenadas en latitud: 19.772476 y longitud: -90.497510 y 20 msnm. En esta localidad la temporada de lluvia es opresiva y mayormente nublada, la temporada seca es bochornosa y mayormente despejada y es muy caliente durante todo el año. Durante el transcurso del año, la temperatura generalmente varía de 18 °C a 34 °C y rara vez baja a menos de 13 °C o sube a más de 38 °C.

5.2 Material genético

El trabajo estuvo constituido por dos accesiones de frijol nativo reconocidas en Campeche con el nombre de Ibe y frijol carita. En el Cuadro 1, se describe la procedencia de las accesiones nativas colectadas durante agosto a octubre 2020 en la Campeche, México. En el Cuadro 2, se indica que el arreglo de los tratamientos.

Cuadro 1. Procedencia de las accesiones nativas de frijol nativo colectado durante 2020-2021. Península de Yucatán, México.

Accesión	Nombre de la accesión	Localidad	LN	LW	Altitud (m)
1	Ibe	Nohakal, Campeche	19°39'11.99"	90°20'12.02"	40
2	Frijol Carita	Hampolol, Campeche	19°55'37"	90°23'16"	10

5.3 Detalle experimental

El experimento se estableció el día 13 de noviembre del 2020 de forma manual. Se utilizó un diseño experimental de bloques completos al azar con dos repeticiones en un arreglo factorial 4 x 4, correspondiente a tres tratamientos de sequía y uno de riego para los dos cultivares (Figura 11). Cada parcela estaba constituida de siete macetas, separadas a 50 cm entre surco y una separación de 30 cm entre macetas se depositaron tres semillas por maceta, y después de la emergencia se aclareo al dejar una planta por maceta.



Figura 11. Panorámica del experimento de materiales nativos de frijol bajo estrés hídrico 2021. Chiná, Campeche, Camp., México.

5.4 Manejo del experimento

En el estudio de las accesiones nativas de frijol, se realizó el siguiente manejo. Primeramente, antes de la siembra, se efectuó la limpieza del terreno en el mes de

octubre del 2020. Y para esta labor se utilizó azadón, machete, pala y pico., con el fin de quitar el exceso de maleza y nivelar el terreno. Seguidamente en el mes de noviembre se realizó una poda a los árboles (mango manila, marañón, nance y naranja dulce) cercanos al perímetro seleccionado donde se estableció el cultivo, con el objeto de permitir que la luz solar abarque completamente el experimento.

Se aplicó 3 g de la fórmula 18-46-00 a los 20 días después de la siembra (dds), el fertilizante se aplicó de forma manual, las macetas estaban previamente húmedas, el fertilizante se aplicó a una distancia de 7.5 cm de separación de la base del tallo de la planta de frijol, posteriormente fue tapado. A los 35 días de haber fertilizado con 18-46-00, se fertilizó con 17-17-17, aplicando 4 g por planta.



Figura 12. Hormigas en botones florales de planta de lbe.



Figura 13. Mosca minadora de la hoja en la planta de frijol carita.

Dentro del manejo fitosanitario de plagas, la primera semana de siembra se aplicó DDT alrededor de las plantas para controlar hormigas que se alimentaban de hojas de las plantas de frijol (Figura 12). Conjuntamente, para el control de mosquita blanca, mosca minadora de la hoja (Figura 13) y pulgón se realizaron aplicaciones de extracto de neem, se mezclaron 950 g de hojas frescas maceradas en 1 litro de agua, esta mezcla se dejó reposar por 24 horas; después de este periodo se separó la parte líquida por filtrado y se le agregó 1 litro más de agua y se procedió a aplicar, estas aplicaciones se hicieron de 1 a dos veces por semana.

En relación con enfermedades, a los 10 días de haber emergido las primeras plantas se aplicó un fungicida casero (Té de manzanilla) para controlar los efectos de Damping off en las primeras plantas emergidas. El fungicida casero se elaboró a base de 24 sobres de Té de manzanilla por 3 litros de agua hirviendo, que seguidamente se dejó reposar 4 horas y se procedió a asperjar todas las plantas, esto durante 3 días consecutivos, pero no se vio mejoría en las plantas. Posteriormente al no ver mejoría en las plantas se aplicó Previcur Energy 2 ml/1 L de agua, esto se realizó todos los días durante 1 semana. Para el control de la cenicilla se aplicó lavatrastos Axion líquido, esta aplicación se efectuaba durante las tardes cuando la presencia del sol se ocultaba y se utilizó 5 ml/3 litros de agua, y se aplicaba una vez por semana durante 3 semanas consecutivas.



Figura 14. Aplicación de insecticida.



Figura 15. Aplicación de fertilizante.

Para aplicar agua a las plantas, se desarrolló un sistema de riego por goteo. Los materiales que se utilizaron fueron: 10 metros de tubería de PVC, cintillas calibre 6000, con separación de 20 cm entre cada emisor, 16 mini válvulas iniciales y un Minutero mecánico (Aquatimmer azul melnor). Durante un lapso de 30 dds no se aplicó riego, debido a que las lluvias eran constantes. Mientras que a los 45 dds, cuando iniciaba la formación de los primeros botones florales del ibe se inició aplicar

riego 3 veces por semana durante 30 minutos. El riego se aplicaba a las 7:00 a.m. A los 60 dds, la aplicación del riego se aumentó a 45 minutos. Mientras que al primero de enero, equivalente a 80 dds; el riego se aplicó dos veces al día: el primero se aplicaba a las 7:00 am y el segundo a las 7:00 pm, por un tiempo de 45 minutos.

5.5 Variables medibles

- A.** Altura de planta; se registró al finalizar la floración, al medir desde la base del tallo en el suelo, sobre la hoja de mayor expansión de la planta de con una regla milimétrica.
- B.** Número de hojas trifoliadas por planta; se registró al contar el total de número de hojas en la planta.
- C.** Número de días a botones florales por planta; se registró cuando se observó el inicio de botones florales expuesto en la planta.
- D.** Número de botones florales por planta; se registró al contar el número de botones florales expuestos en la planta.
- E.** Número de días a floración; se registró cuando existía 50% de plantas con flores expuestas.
- F.** Número de flores por plantas; se registró al contar el número de flores expuestas en la planta.
- G.** Número de días a iniciación de vainas; se registró cuando se observó al menos una vaina expuesta en la planta.
- H.** Número de vainas completas por planta; se obtuvo al contar el número de vainas completamente formadas en la planta.
- I.** Número total de vainas incompletas y/o vanas por planta; se obtuvo al contar el número de vainas vanas en la planta.

- J.** Número de vainas completas por extractos de la planta (superior, intermedio e inferior); se obtuvo al contar el número de vainas completamente formadas por extracto en la planta.
- K.** Número total de vainas incompletas y/o vanas por extractos de la planta (superior, intermedio e inferior); se obtuvo al contar el número de vainas vanas por extracto en la planta.
- L.** Peso seco total de vainas; se obtuvo al pesar todas las vainas de la planta después de que fueron sometidas a un proceso de secado en la estufa a una temperatura de 65 °C, que posteriormente fueron pesados en una báscula digital.
- M.** Peso seco de vainas completas por extractos de la planta (superior, intermedio e inferior); se obtuvo al pesar todas las vainas de cada extracto de la planta después de que fueron sometidas a un proceso de secado en la estufa a una temperatura de 65 °C, que posteriormente fueron pesados en una báscula digital.
- N.** Peso seco de biomasa; se obtuvo al pesar el tallo, hojas y vainas de cada planta después de que fueron sometidas a un proceso de secado en la estufa a una temperatura de 65 °C, que posteriormente fueron pesados en una báscula digital.
- O.** Rendimiento de semilla por planta; se obtuvo al pesar todas las semillas completas de la planta después de que fueron sometidas a un proceso de secado en la estufa a una temperatura de 65 °C, que posteriormente fueron pesados en una báscula digital.
- P.** Efecto del estrés hídrico sobre el número de vainas formadas después de aplicar el riego de recuperación.
- Q.** Efecto del estrés hídrico sobre el peso seco de vainas formadas después de aplicar el riego de recuperación.

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 temperatura

Durante el desarrollo y crecimiento de la planta de frijol Carita e Ibe se presentó una temperatura máxima de 29.1 °C, media de 24.1 °C y una mínima de 18.9 °C (Figura 16). También se puede observar, que al inicio de la siembra y después de la iniciación floral (IF) la temperatura fue superior en relación a la temperatura presentada durante la iniciación de botones florales.

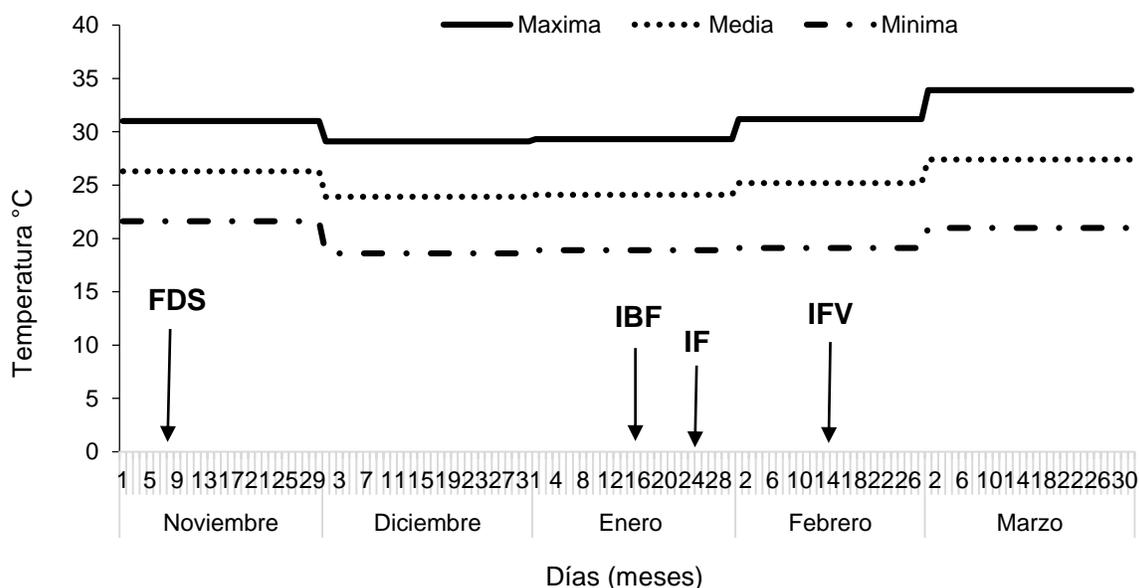


Figura 16. Comportamiento de la temperatura durante el ensayo de accesiones de frijol bajo condiciones de estrés hídrico en 2021. China, Campeche, Camp., México. FDS= Fecha de siembra; IBF = Iniciación de botones florales; IF = Iniciación de floración; IFV = Iniciación de formación de vainas.

VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

RESULTADOS

Altura de planta

De acuerdo con el análisis de comparación de medias sobre altura de planta (ALP) de frijol se detectaron diferencias significativas ($p \leq 0.05$, $R^2 = 0.91$) para el tratamiento de sequía uno (S1). Los tratamientos de sequía durante la floración y llenado de vainas no se mostraron diferencias (Figura 17, 18 y 19). El Frijol Carita fue la que presento menor ALP por efecto del estrés hídrico en comparación con el Ibe.

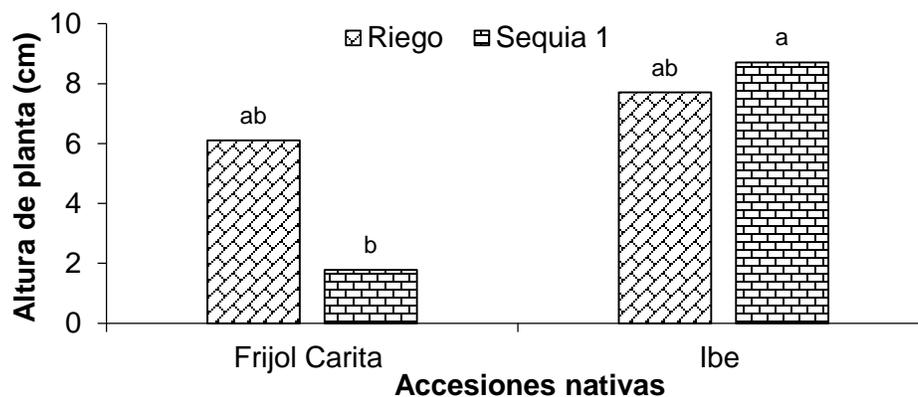


Figura 17. Altura de planta de la accesión de frijol carita e Ibe bajo estrés hídrico y riego durante diez días en el estado de Campeche, Camp., México. Valores con la misma letra dentro de la figura son iguales entre sí (Tukey 0.05).

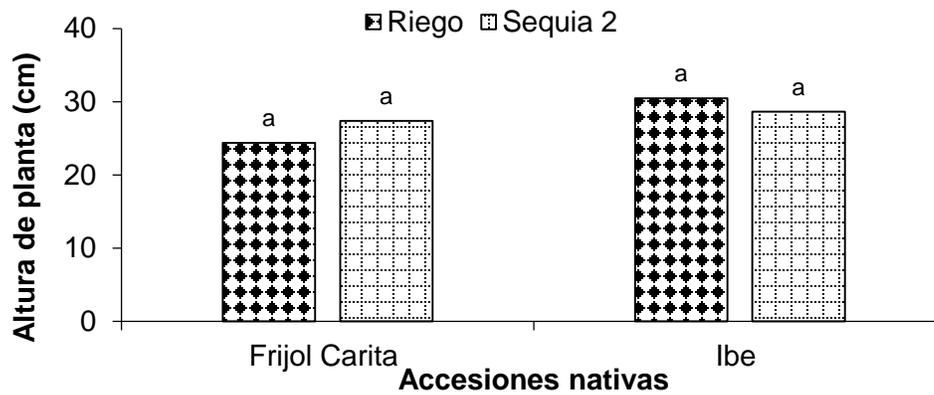


Figura 18. Altura de planta de la accesión de frijol carita e Ibe bajo estrés hídrico y riego durante veinte días en el estado de Campeche, Camp., México. Valores con la misma letra dentro de la figura son iguales entre sí (Tukey 0.05).

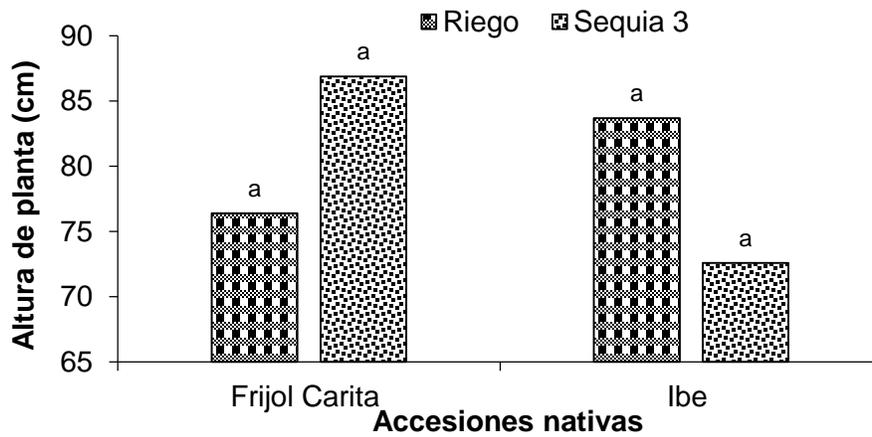


Figura 19. Altura de planta de la accesión de frijol carita e Ibe bajo estrés hídrico y riego por treinta días en el estado de Campeche, Camp., México. Valores con la misma letra dentro de la figura son iguales entre sí (Tukey 0.05).

En la Figura 20, se observa que la accesión denominada Ibe presento numéricamente mayor reducción de la ALP por efecto del estrés hídrico en la etapa de floración y formación y llenado de vaina, que se reflejó en una reducción total de la planta.

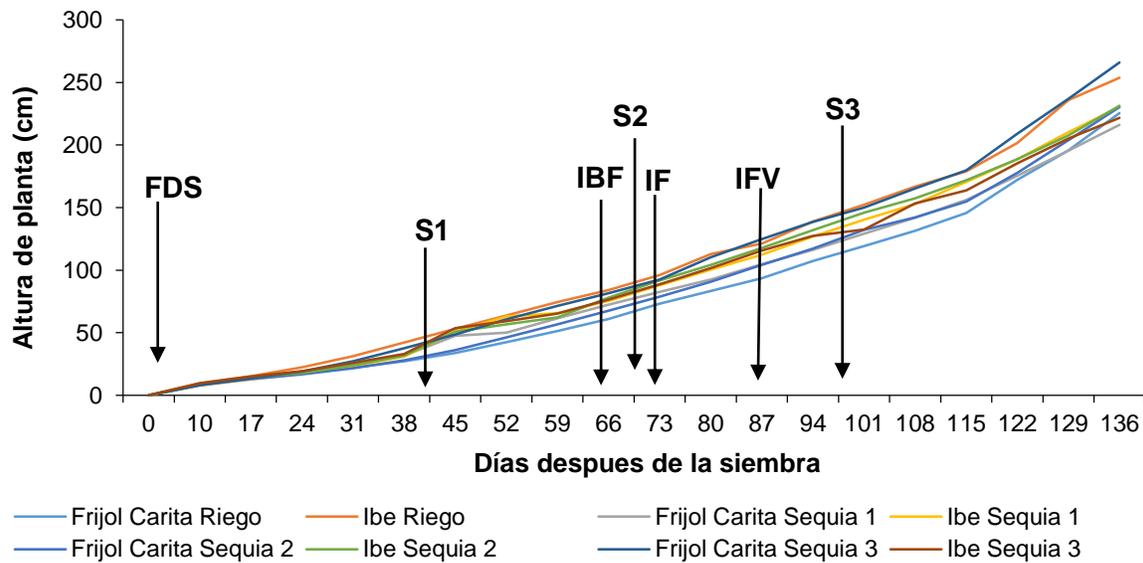


Figura 20. Altura de planta de la accesión de frijol carita e Ibe bajo estrés hídrico y riego en el estado de Campeche, Camp., México. FDS = Fecha de siembra; IBF = Iniciación de botones florales; IF = Iniciación de floración; IFV = Iniciación de formación de vainas; S1 = Sequia 1; S2 = Sequia 2; S3 = Sequia 3.

Número de hojas trifoliadas por planta

Estadísticamente ($p \leq 0.05$) las accesiones no sufrieron modificaciones en el número de hojas por el efecto del estrés hídrico antes (S1) y durante la floración (S2). Sin embargo, numéricamente se puede observar que el estrés hídrico afectó la aparición del número de hojas por planta antes y durante la floración; por ejemplo, el estrés hídrico redujo numéricamente el número de hojas en la accesión denominada Ibe en comparación con las plantas con riego (Figura 21 y 22).

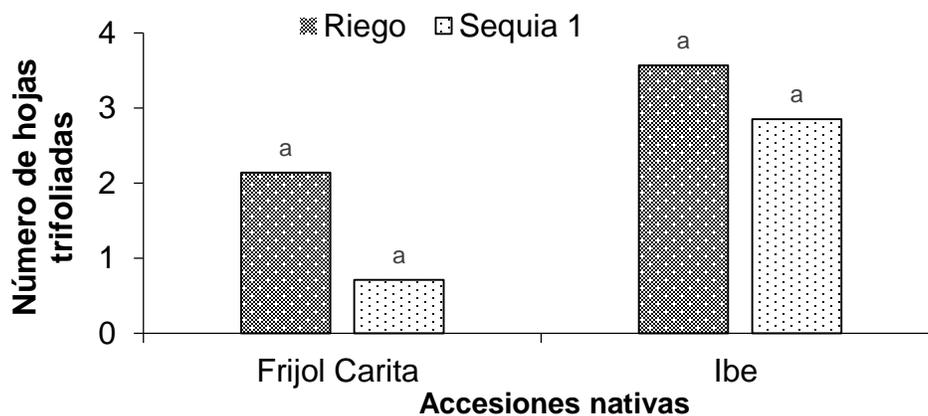


Figura 21. Número de hojas trifoliadas de la accesión de frijol carita e Ibe bajo estrés hídrico y riego durante diez días en el estado de Campeche, Camp., México. Valores con la misma letra dentro de la figura son iguales entre sí (Tukey 0.05).

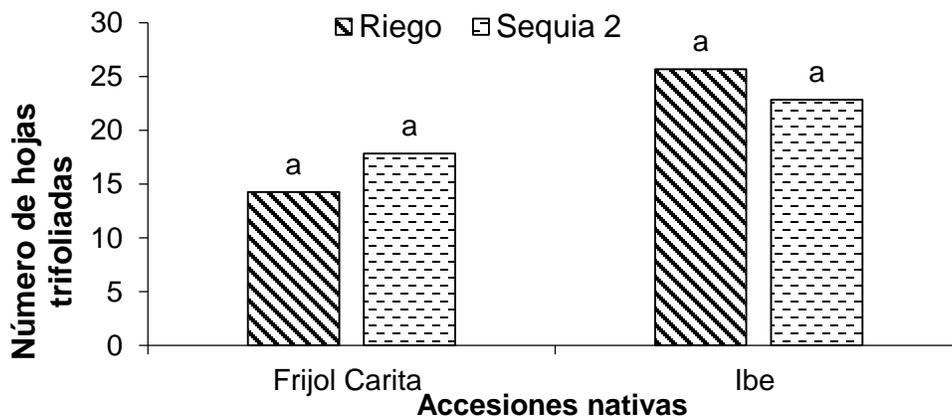


Figura 22. Número de hojas trifoliadas de la accesión de frijol carita e Ibe bajo estrés hídrico y riego durante veinte días en el estado de Campeche, Camp., México. Valores con la misma letra dentro de la figura son iguales entre sí (Tukey 0.05).

En este sentido, cuando las plantas fueron sometidas a 30 días (100 días después de la siembra) de estrés hídrico. La accesión de Frijol Carita presento menor ($p \leq 0.05$, $R^2 = 0.97$) número de hojas por efecto del estrés hídrico en comparación con el Ibe (Figura 23). En la Figura 24, se observa que el Ibe bajo riego presento el mayor número de hojas trifoliadas por plantas a los 136 dds.

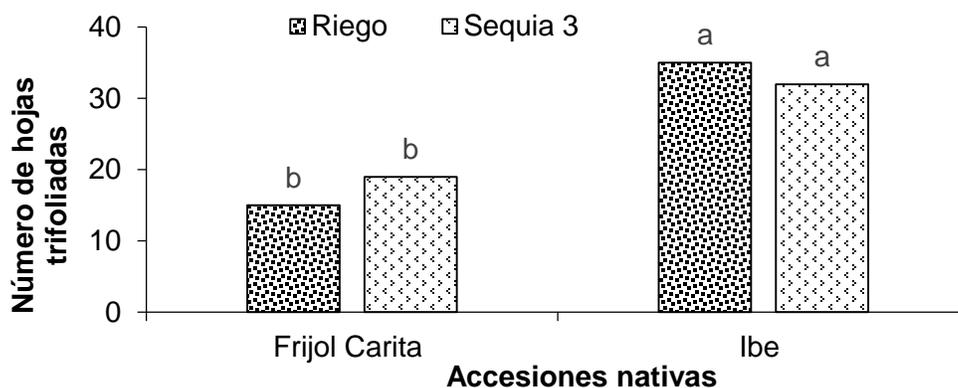


Figura 23. Número de hojas trifoliadas de la accesión de frijol carita e Ibe bajo estrés hídrico y riego por treinta días en el estado de Campeche, Camp., México. Valores con la misma letra dentro de la figura son iguales entre sí (Tukey 0.05).

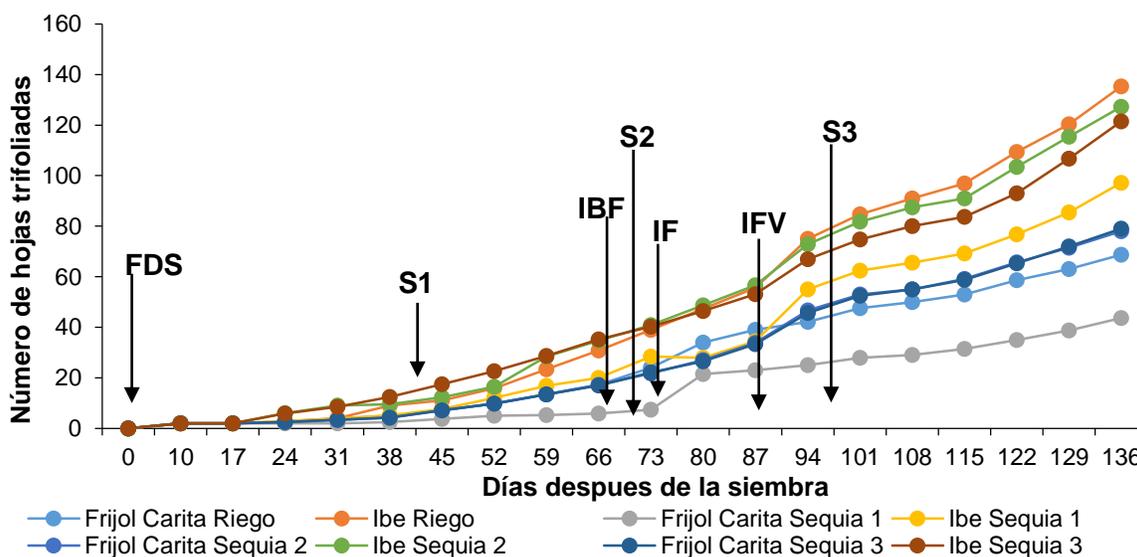


Figura 24. Número de hojas trifoliadas de la accesión de frijol carita e Ibe bajo estrés hídrico y riego en el estado de Campeche, Camp., México. FDS = Fecha de siembra; IBF = Iniciación de botones florales; IF = Iniciación de floración; IFV = Iniciación de formación de vainas; S1 = Sequia 1; S2 = Sequia 2; S3 = Sequia 3.

Número de días a botones florales y número de botones por planta

Las accesiones bajo estrés hídrico no presentaron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) para el número de botones florales por planta. Sin embargo, en la Figura 25 y 26 se observa que numéricamente el número de botones florales se redujo en las dos accesiones valoradas cuando las plantas estuvieron bajo estrés hídrico a los 70 dds.

Mientras que a los 100 dds, el lbe presento numéricamente un menor número de botones florales en comparación con las plantas con riego.

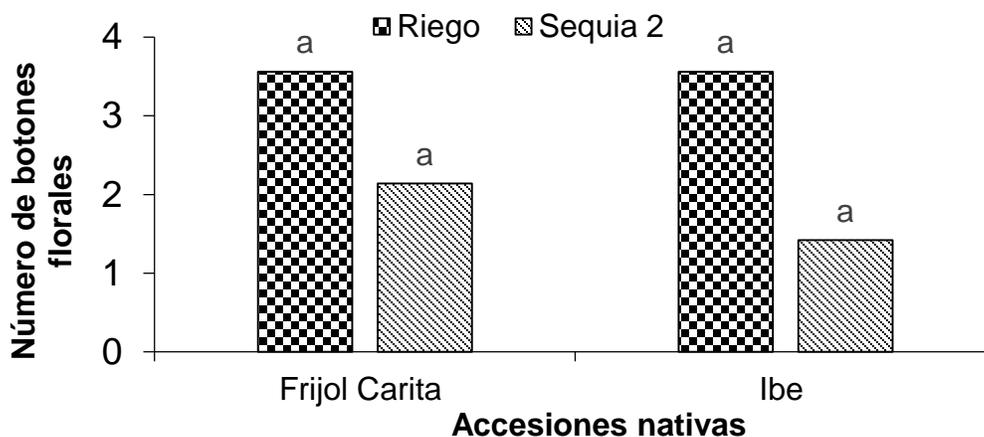


Figura 25. Número de botones florales de la accesión de frijol carita e lbe bajo estrés hídrico y riego durante veinte días en el estado de Campeche, Camp., México. Valores con la misma letra dentro de la figura son iguales entre sí (Tukey 0.05).

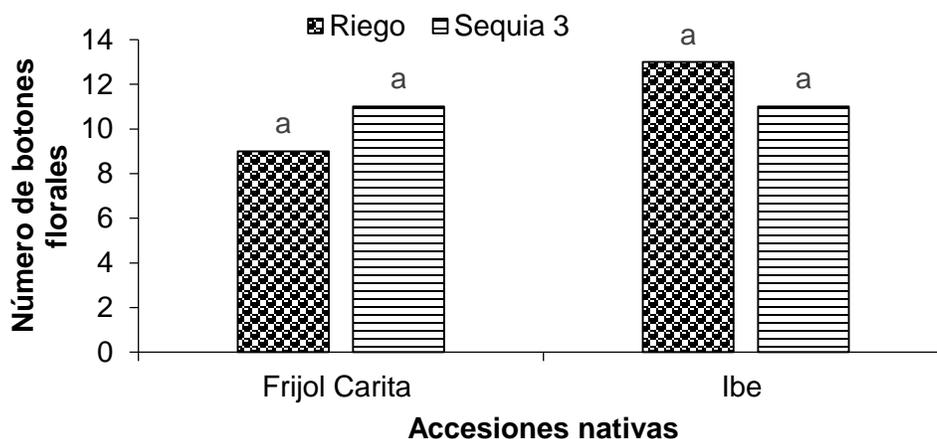


Figura 26. Número de botones florales de la accesión de frijol carita e lbe bajo estrés hídrico y riego durante treinta días en el estado de Campeche, Camp., México. Valores con la misma letra dentro de la figura son iguales entre sí (Tukey 0.05).

En relación con el número de días a botones florales, no se observaron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) entre los tratamientos y accesiones. En promedio, los botones florales se lograron visualizar a los 64 dds (Figura 27).

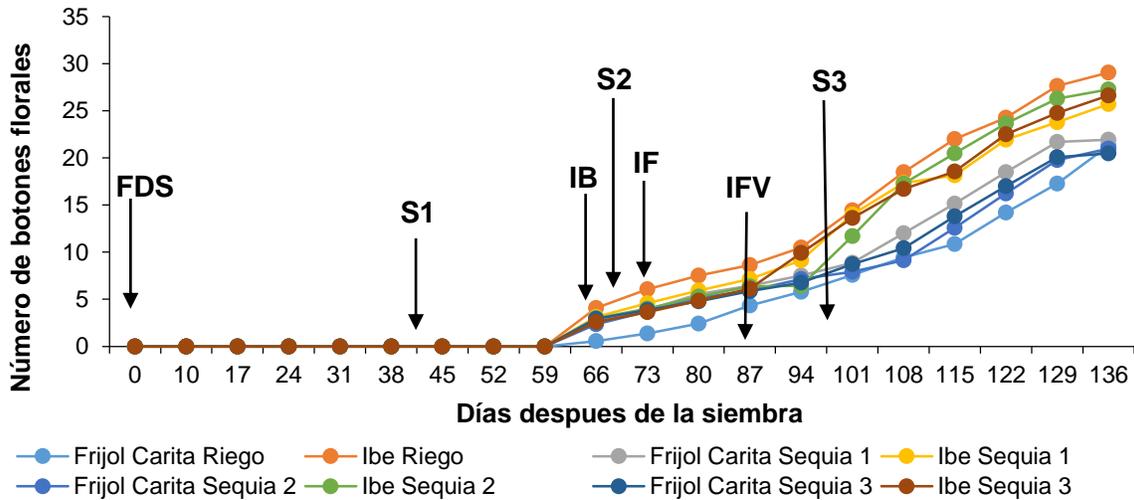


Figura 27. Número de botones florales y botones por planta de la accesión de frijol carita e Ibe bajo estrés hídrico y riego en el estado de Campeche, Camp., México. FDS = Fecha de siembra; IBF = Iniciación de botones florales; IF = Iniciación de floración; IFV = Iniciación de formación de vainas.

Número de días a floración y número de flores por planta

El número de flores por planta no presentaron variación ($p \leq 0.05$) por efecto del estrés hídrico a los 70 y 100 dds (Figura 28 y 29). En promedio se presentó una flor en el frijol carita y dos flores en el Ibe a los 70 dds.

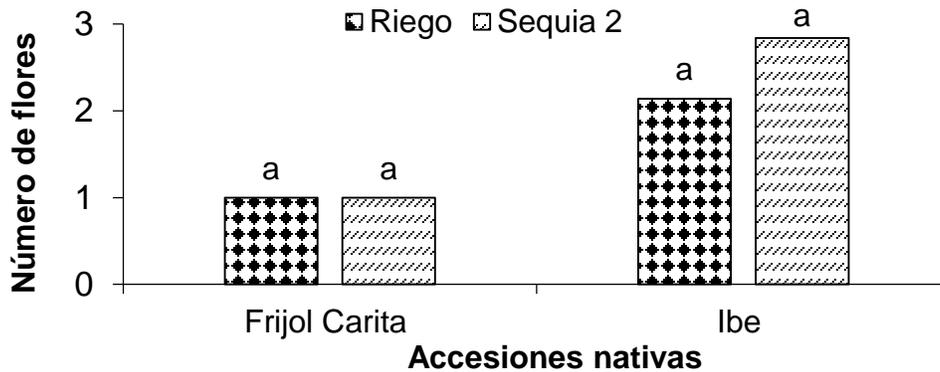


Figura 28. Número de flores de la accesión de frijol carita e Ibe bajo estrés hídrico y riego durante veinte días en el estado de Campeche, Camp., México. Valores con la misma letra dentro de la figura son iguales entre sí (Tukey 0.05).

Mientras que a los 100 dds, en promedio se presentó seis flores en el frijol carita y diez flores en el Ibe (Figura 29).

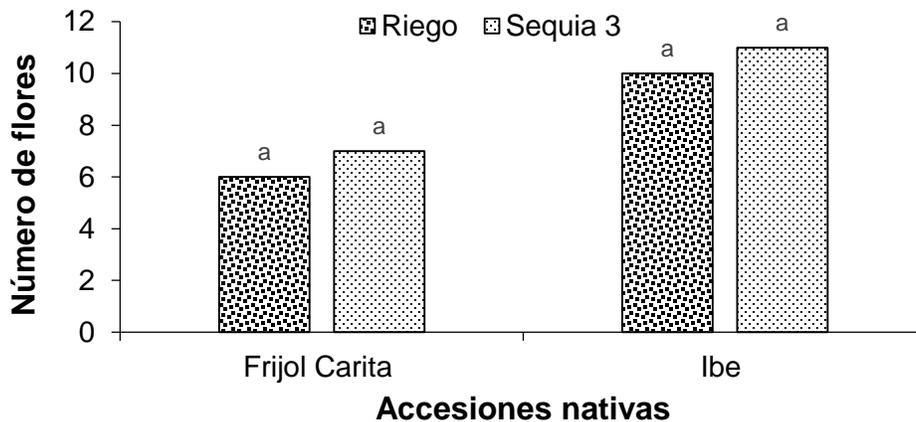


Figura 29. Número de flores de la accesión de frijol carita e Ibe bajo estrés hídrico y riego durante treinta días en el estado de Campeche, Camp., México. Valores con la misma letra dentro de la figura son iguales entre sí (Tukey 0.05).

El estrés hídrico ocasiono variación en el número de días a floración en las accesiones nativas de frijol (Figura 30). Al originarse un menor número de días (73 días) a floración en las plantas de Ibe con riego en comparación con las plantas sin humedad y también sobre las plantas de Frijol Carita con riego y estrés hídrico.

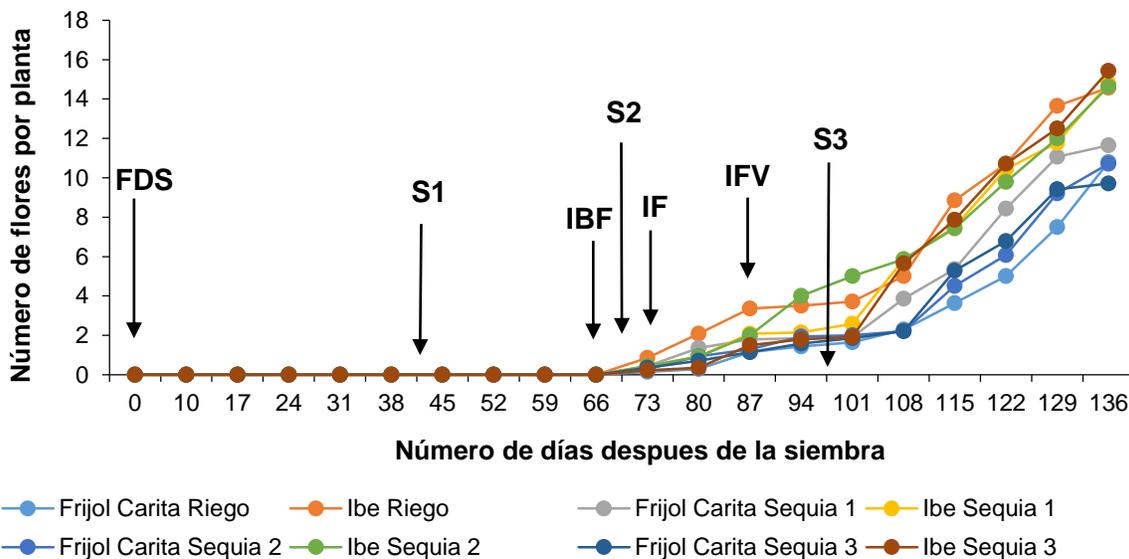


Figura 30. Número de días a floración y flores por planta de la accesión de frijol carita e Ibe bajo estrés hídrico y riego en el estado de Campeche, Camp., México. FDS = Fecha de siembra; IBF = Iniciación de botones florales; IF = Iniciación de floración; IFV = Iniciación de formación de vainas.

Número de días a iniciación de vainas y número de vainas completas por planta

Las accesiones valoradas no presentaron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) sobre el efecto del estrés hídrico para el número de vainas por planta. Conjuntamente se observa que numéricamente el estrés hídrico afecto la formación del número de vainas por planta, al reducir la cantidad de vainas en el lbe a los 70 y 100 dds en comparación con las plantas en riego (Figura 31 y 32).

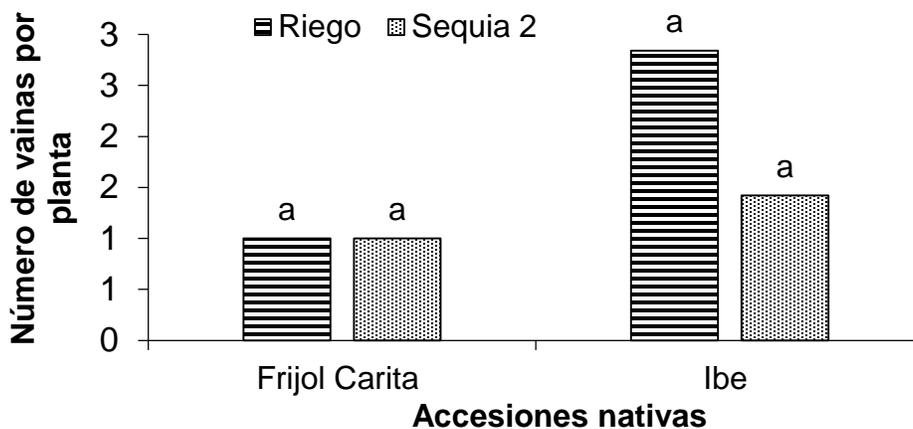


Figura 31. Número de vainas por planta de accesión de frijol carita e lbe bajo estrés hídrico y riego durante veinte días en el estado de Campeche, Camp., México. Valores con la misma letra dentro de la figura son iguales entre sí (Tukey 0.05).

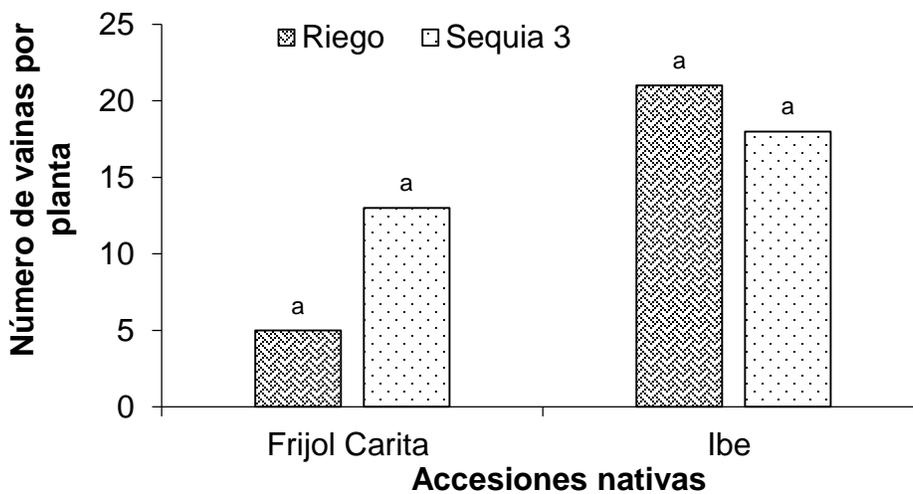


Figura 32. Número de vainas por planta de accesión de frijol carita e lbe bajo estrés hídrico y riego durante treinta días en el estado de Campeche, Camp., México. Valores con la misma letra dentro de la figura son iguales entre sí (Tukey 0.05).

En la Figura 33, se observa que el estrés hídrico redujo el número ($p \leq 0.05$) de vainas por planta en el Frijol Carita e lbe a los 136 dds. Las primeras vainas formadas se observaron a los 87 dds en las plantas de lbe con riego. También los resultados

indican que numéricamente el Frijol Carita fue el que presentó menor número de vainas por planta por efecto del estrés hídrico.

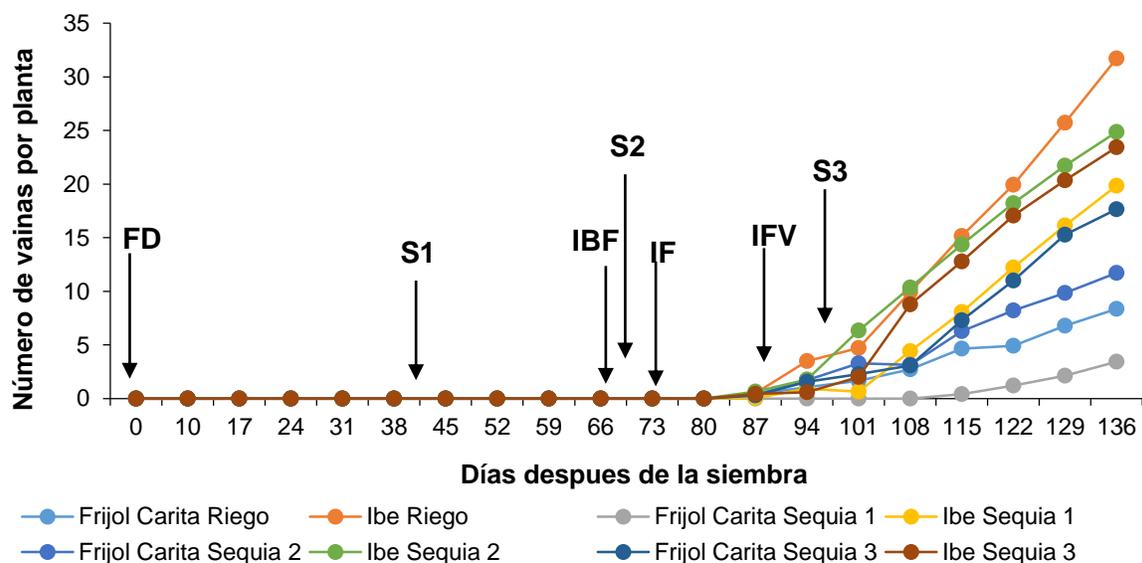


Figura 33. Número de vainas por planta de la accesión de frijol carita e Ibe bajo estrés hídrico y riego en el estado de Campeche, Camp., México. FDS = Fecha de siembra; IBF = Iniciación de botones florales; IF = Iniciación de floración; IFV = Iniciación de formación de vainas.

Efecto del estrés hídrico sobre el número de vainas formadas después de aplicar el riego de recuperación

A la semana después de aplicar el riego de recuperación en el déficit hídrico con mayor duración (Sequia 3), se cuantificó el número de vainas formadas en todos los tratamientos y se observó que el estrés hídrico modificó ($p \leq 0.05$) el número de vainas por planta en las accesiones nativas. Por ejemplo, en la Figura 34, se observa que se redujeron dos vainas ($R^2=0.97$) por efecto del déficit hídrico de diez días en el Frijol Carita y seis vainas en el Ibe en comparación con las vainas obtenidas bajo riego. Con relación a riego, el Ibe presentó mayor número de vainas en comparación con Frijol Carita. En este contexto, en la Figura 35 se indica que el déficit hídrico durante la floración redujo ($p \leq 0.05$, $R^2=0.95$) el número de vainas por planta en la accesión Ibe con respecto a las plantas bajo riego. Mientras que en el Frijol Carita no se observó reducción en el número de vainas, respectivamente.

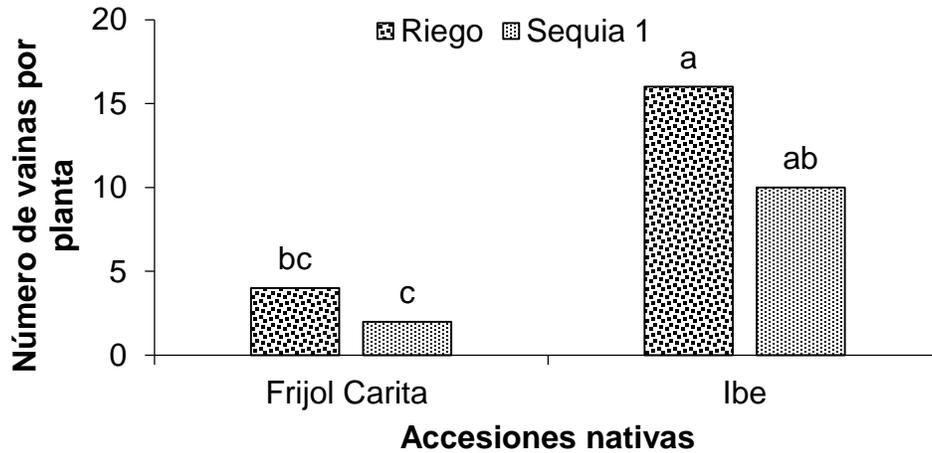


Figura 34. Número de vainas después de aplicar el riego de recuperación en Sequia 1 en la accesión de Frijol Carita e Ibe a los 138 dds. Campeche, Camp., México. Valores con la misma letra dentro de la figura son iguales entre sí (Tukey 0.05).

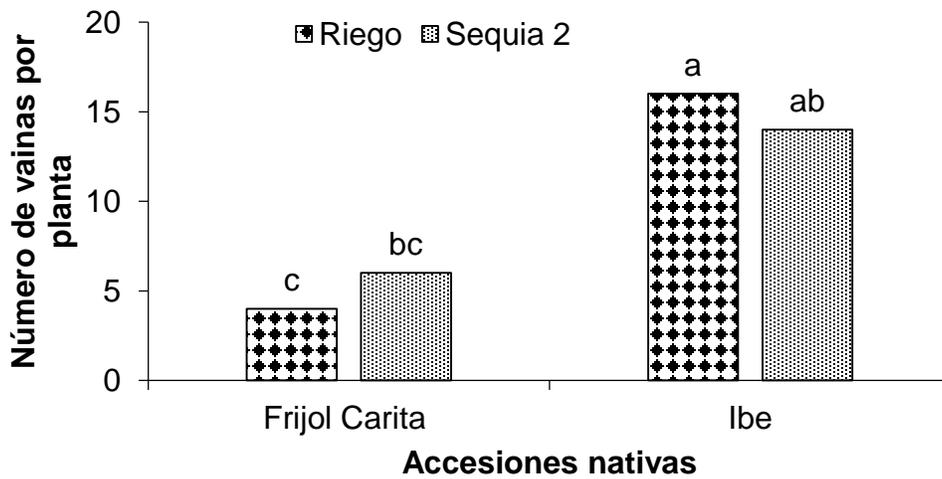


Figura 35. Número de vainas después de aplicar el riego de recuperación en Sequia 2 en la accesión de Frijol Carita e Ibe a los 138 dds. Campeche, Camp., México. Valores con la misma letra dentro de la figura son iguales entre sí (Tukey 0.05).

Con relación al déficit hídrico con mayor duración (30 días), en la Figura 36 se observa que el Frijol Carita presentó menor ($p \leq 0.05$, $R^2 = 0.90$) efecto del estrés hídrico sobre el desarrollo de vainas en comparación con el Ibe.

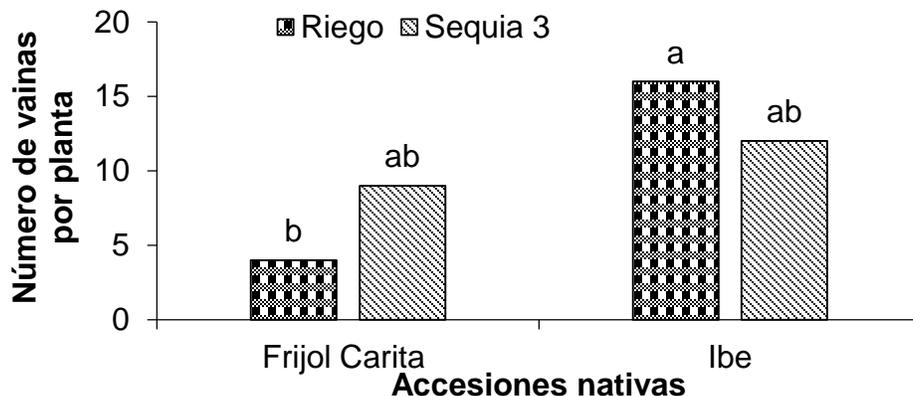


Figura 36. Número de vainas después de aplicar el riego de recuperación en Sequia 3 en la accesión de Frijol Carita e Ibe a los 138 dds. Campeche, Camp., México. Valores con la misma letra dentro de la figura son iguales entre sí (Tukey 0.05).

Efecto del estrés hídrico sobre el peso seco de vainas formadas después de aplicar el riego de recuperación

En las accesiones el peso seco de vaina (PESV) fue superior bajo riego (Figura 37). Bajo riego y sequia por un lapso de diez días, la accesión que presentó mayor ($p \leq 0.05$, $R^2 = 0.99$) peso seco de vainas fue el Ibe con 15 y 9.55 g.

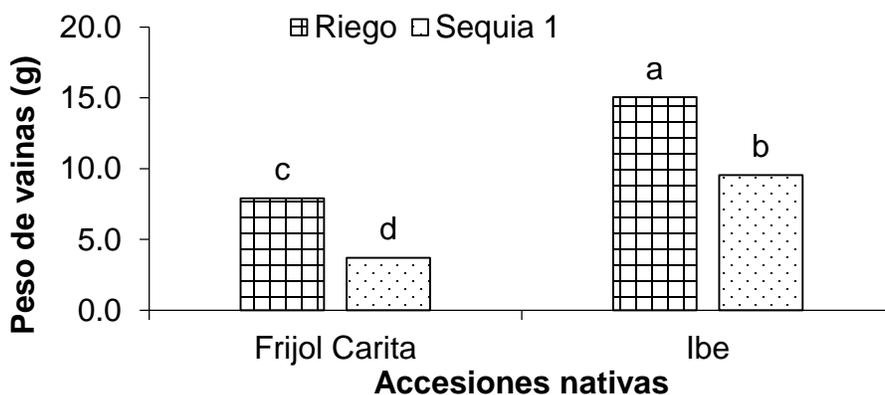


Figura 37. Peso seco de vainas después de aplicar el riego de recuperación en Sequia 1 en la accesión de Frijol Carita e Ibe a los 138 dds. Campeche, Camp., México. Valores con la misma letra dentro de la figura son iguales entre sí (Tukey 0.05).

En el presente estudio, también se observó que el PESV fue delimitado numéricamente por efecto del estrés hídrico en la accesión Ibe al restringir el agua en las plantas de frijol a los 70 y 100 dds por 20 y 30 días, respectivamente (Figura 38 y 39). También se observa que el Frijol Carita origino mayor PESV con la modalidad de plantas con déficit hídrico en comparación con las de riego e inclusive

este efecto fue mayor ($p \leq 0.05$, $R^2 = 0.99$) cuando el estrés hídrico fue de más duración (Sequia 3) cuando el estrés coincidió con la formación y llenado de vainas.

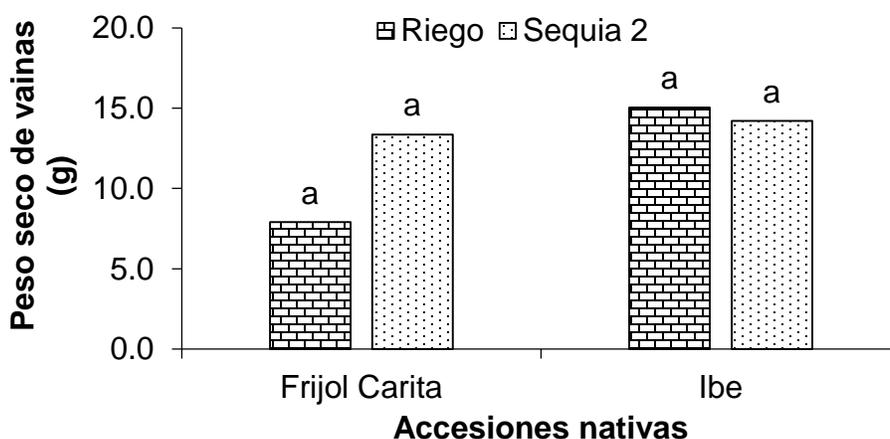


Figura 38. Peso seco de vainas después de aplicar el riego de recuperación en Sequia 2 en la accesión de Frijol Carita e Ibe a los 138 dds. Campeche, Camp., México. Valores con la misma letra dentro de la figura son iguales entre sí (Tukey 0.05).

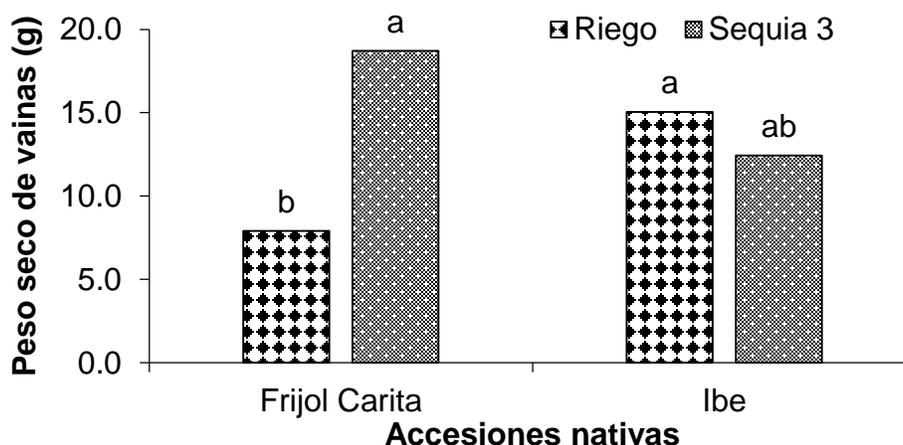


Figura 39. Peso seco de vainas después de aplicar el riego de recuperación en Sequia 3 en la accesión de Frijol Carita e Ibe a los 138 dds. Campeche, Camp., México. Valores con la misma letra dentro de la figura son iguales entre sí (Tukey 0.05).

Número de vainas completas por extracto de la planta

El déficit hídrico por 10, 20 y 30 días produjo numéricamente efectos negativos sobre el número de vainas completas (NVCO) por extractos. El estrés hídrico redujo ($p \leq 0.05$, $R^2 = 0.64$) el NVCO de la parte inferior de la planta del Frijol Carita en comparación con las plantas sin déficit hídrico (Figura 40, 41 y 42). En el Ibe no se observaron efectos del estrés hídrico sobre el desarrollo de vainas en los extractos.

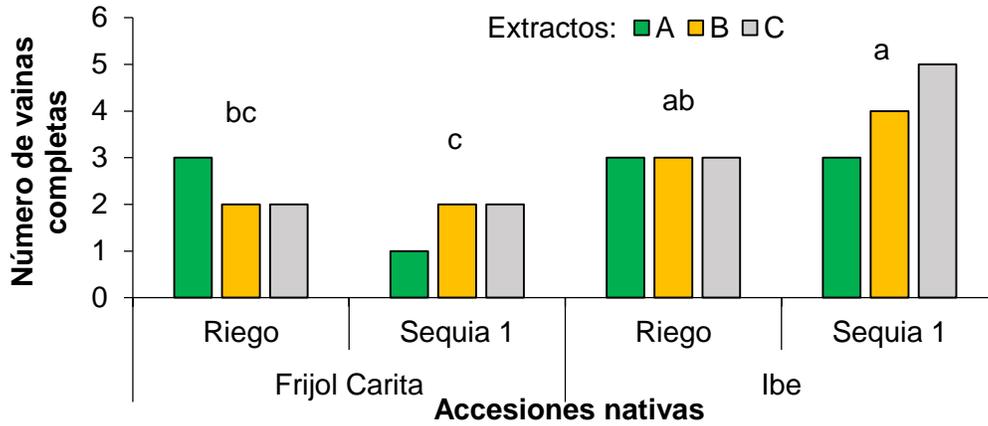


Figura 40. Número de vainas completas por extractos (A=inferior de la planta; B=intermedia de la planta; C=superior de la planta) de la planta de accesión de frijol carita e Ibe bajo estrés hídrico y riego durante diez días en el estado de Campeche, Camp., México. Valores con la misma letra dentro de la figura son iguales entre sí (Tukey 0.05).

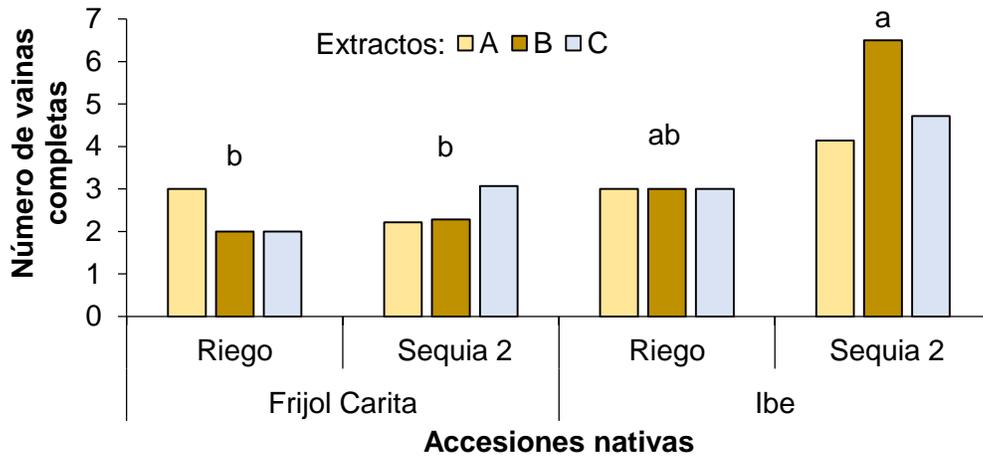


Figura 41. Número de vainas completas por extractos (A=inferior de la planta; B=intermedia de la planta; C=superior de la planta) de la planta de accesión de frijol carita e Ibe bajo estrés hídrico y riego durante veinte días en el estado de Campeche, Camp., México. Valores con la misma letra dentro de la figura son iguales entre sí (Tukey 0.05).

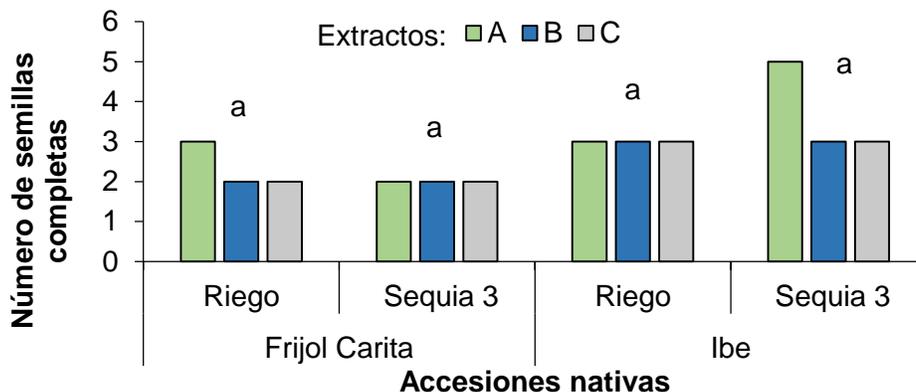


Figura 42. Número de vainas completas por extractos (A=inferior de la planta; B=intermedia de la planta; C=superior de la planta) de la planta de accesión de frijol carita e Ibe bajo estrés hídrico y riego durante treinta días en el estado de Campeche, Camp., México. Valores con la misma letra dentro de la figura son iguales entre sí (Tukey 0.05).

Número total de vainas incompletas y/o vanas por planta y extracto de la planta

Los resultados nos indican que el estrés hídrico antes de la floración afectó el desarrollo de vainas por extracto de la planta, al observarse que numéricamente en la parte inferior de la planta del Frijol Carita se desarrolló un mayor ($p \leq 0.05$) número de vainas vanas. Mientras que en el Ibe el déficit hídrico antes de la floración se observó que en los tres extractos de la planta se presentaron vainas en comparación con las plantas bajo riego (Figura 42).

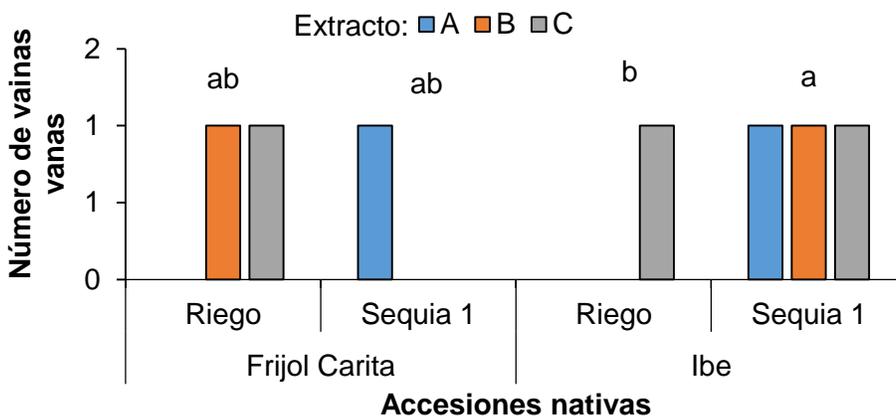


Figura 42 Número de vainas vanas por extractos (A=inferior de la planta; B=intermedia de la planta; C=superior de la planta) de la planta de accesión de frijol carita e Ibe bajo estrés hídrico y riego durante diez días en el estado de Campeche, Camp., México. Valores con la misma letra dentro de la figura son iguales entre sí (Tukey 0.05).

El estudio también refleja que el estrés hídrico durante de la floración y llenado de vainas propicio numéricamente un mayor número de vainas vanas en la parte inferior del Frijol Carita y en el lbe fue en la parte inferior y superior de la planta en comparación con las pantas que no sufrieron déficit hídrico (Figura 43 y 44).

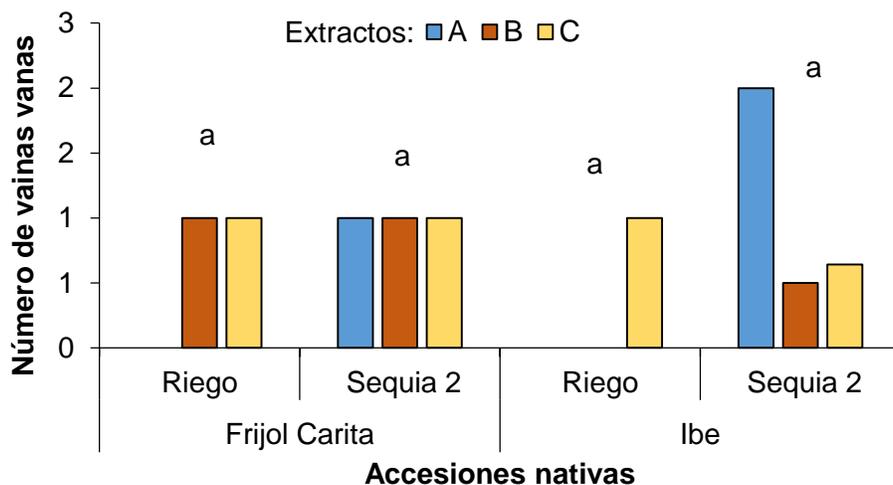


Figura 43. Número de vainas vanas por extractos (A=inferior de la planta; B=intermedia de la planta; C=superior de la planta) de la planta de accesión de frijol carita e lbe bajo estrés hídrico y riego durante veinte días en el estado de Campeche, Camp., México. Valores con la misma letra dentro de la figura son iguales entre sí (Tukey 0.05).

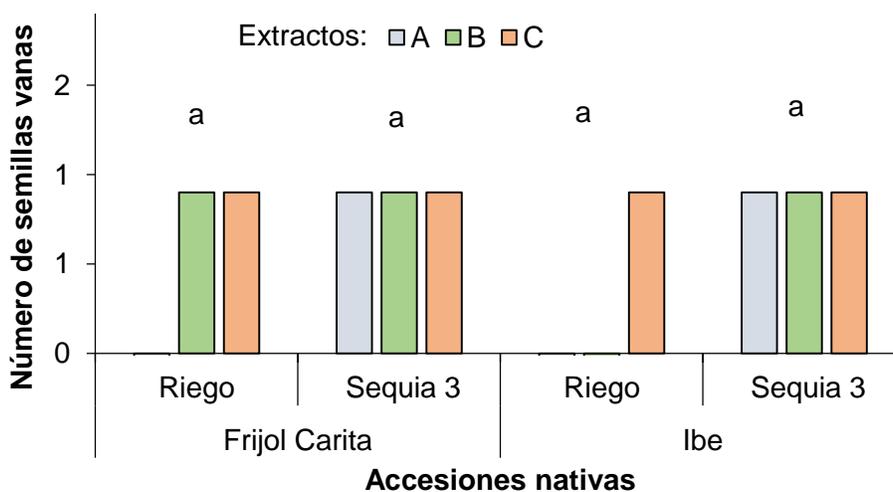


Figura 44. Número de vainas vanas por extractos (A=inferior de la planta; B=intermedia de la planta; C=superior de la planta) de la planta de accesión de frijol carita e lbe bajo estrés hídrico y riego durante treinta días en el estado de Campeche, Camp., México. Valores con la misma letra dentro de la figura son iguales entre sí (Tukey 0.05).

Peso seco de vainas completas por extracto de la planta

En la Figura 45, 46 y 47 se observa que el estrés hídrico antes y durante la floración y llenado de vainas ocasiono numéricamente una reducción del peso seco de vainas (PESV) por extracto. En este sentido, antes de la floración el Frijol Carita genero menos PESV en la parte intermedia e inferior de la planta. En el lbe no se observa una reducción del PESV antes de la floración; sin embargo, durante el llenado de vainas sufrió una reducción del PESV en la parte superior e intermedia de la planta. Conjuntamente en este periodo el Frijol Carita presento una reducción del PESV en la parte intermedia e inferior de la planta por efecto del déficit hídrico (Figura 47).

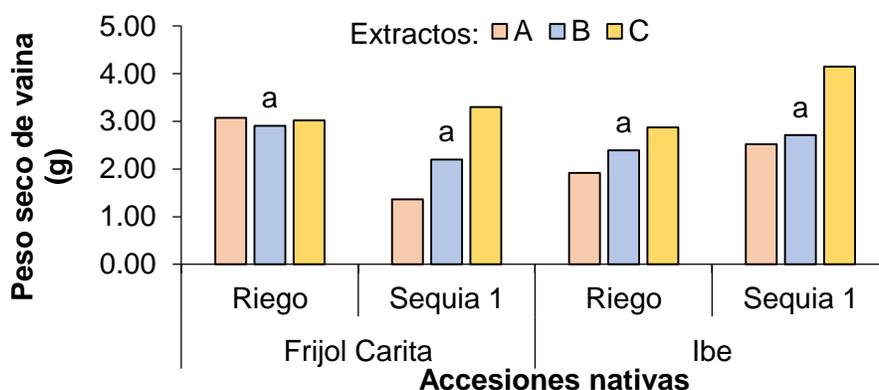


Figura 45. Peso seco de vaina por extractos (A=inferior de la planta; B=intermedia de la planta; C=superior de la planta) de la planta de accesión de frijol carita e lbe bajo estrés hídrico y riego durante diez días en el estado de Campeche, Camp., México. Valores con la misma letra dentro de la figura son iguales entre sí (Tukey 0.05).

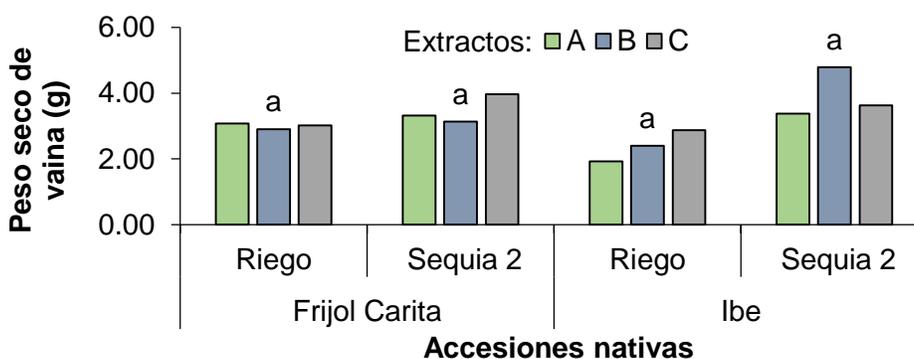


Figura 46. Peso seco de vaina por extractos (A=inferior de la planta; B=intermedia de la planta; C=superior de la planta) de la planta de accesión de frijol carita e lbe bajo estrés hídrico y riego durante veinte días en el estado de Campeche, Camp., México. Valores con la misma letra dentro de la figura son iguales entre sí (Tukey 0.05).

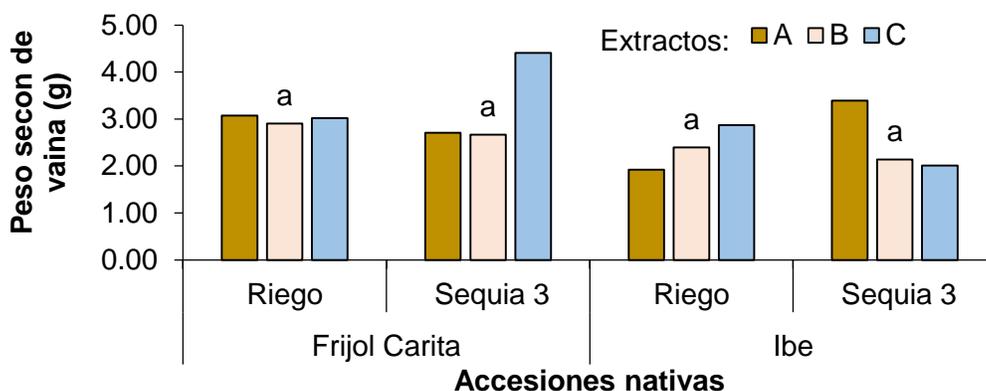


Figura 47. Peso seco de vaina por extractos (A=inferior de la planta; B=intermedia de la planta; C=superior de la planta) de la planta de accesión de frijol carita e Ibe bajo estrés hídrico y riego durante treinta días en el estado de Campeche, Camp., México. Valores con la misma letra dentro de la figura son iguales entre sí (Tukey 0.05).

Peso seco de biomasa

Existen diferencias significativas ($p \leq 0.05$) entre los tratamientos de sequía y riego para el peso seco de biomasa (PESB) (Figura 48, 49 y 50). El estrés hídrico antes ($R^2=0.94$) y durante ($R^2=0.99$) la floración, y durante ($R^2=0.99$) la formación de vainas repercutió sobre el PESB en las accesiones nativas. El Ibe presentó menor reducción del PESB a los 40 y 70 dds. Mientras que a los 100 dds el estrés hídrico redujo el PESB en las dos accesiones de forma similar. Conjuntamente, bajo riego el Frijol Carita presentó numéricamente el mayor PESB en comparación con el Ibe.

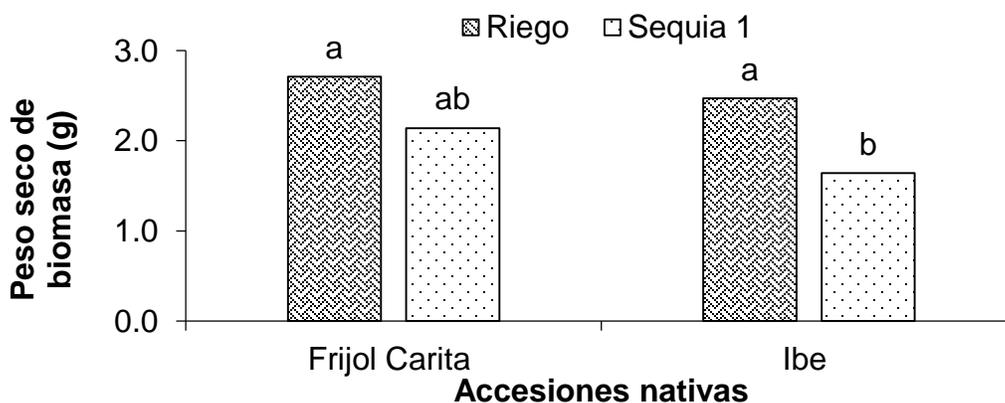


Figura 48. Peso seco de biomasa por planta de accesión de frijol carita e Ibe bajo estrés hídrico y riego durante diez días en el estado de Campeche, Camp., México. México. Valores con la misma letra dentro de la figura son iguales entre sí (Tukey 0.05).

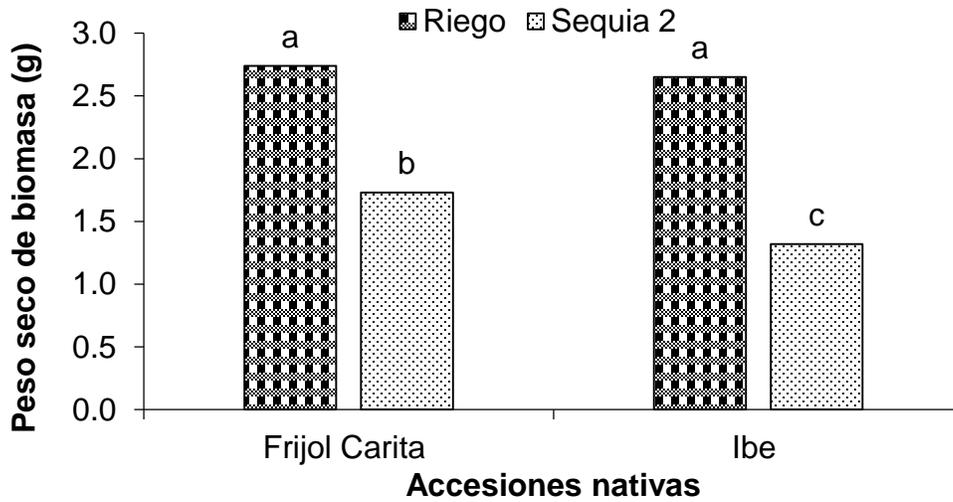


Figura 49. Peso seco de biomasa por planta de accesión de frijol carita e Ibe bajo estrés hídrico y riego durante veinte días en el estado de Campeche, Camp., México. México. Valores con la misma letra dentro de la figura son iguales entre sí (Tukey 0.05).

Los resultados también nos indican que a medida que el estrés hídrico es de mayor lapso, el contenido del peso seco de la biomasa es menor ($p \leq 0.05$, $R^2 = 0.97$) en las dos accesiones nativas (Figura 51). También se observa que el Ibe fue quien resulto con mayor efecto del estrés hídrico sobre el peso seco de la biomasa.

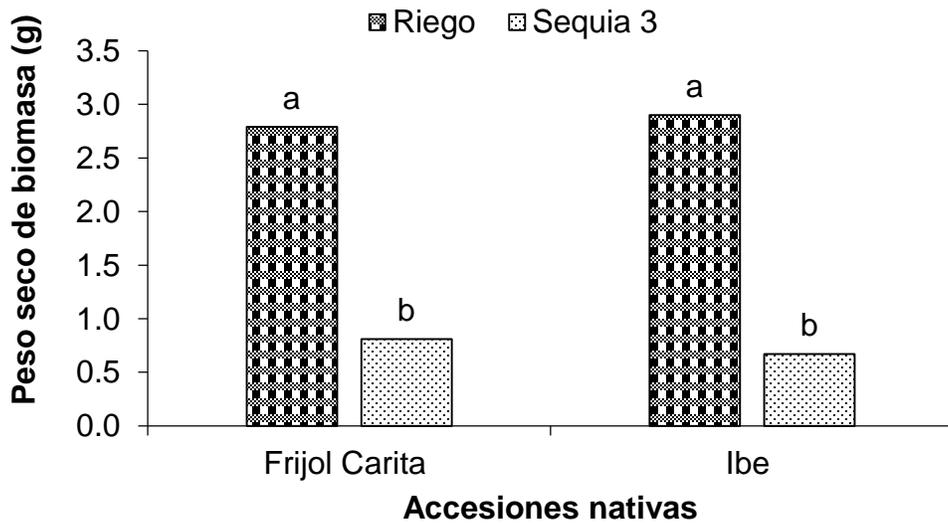


Figura 50. Peso seco de biomasa por planta de accesión de frijol carita e Ibe bajo estrés hídrico y riego durante treinta días en el estado de Campeche, Camp., México. México. Valores con la misma letra dentro de la figura son iguales entre sí (Tukey 0.05).

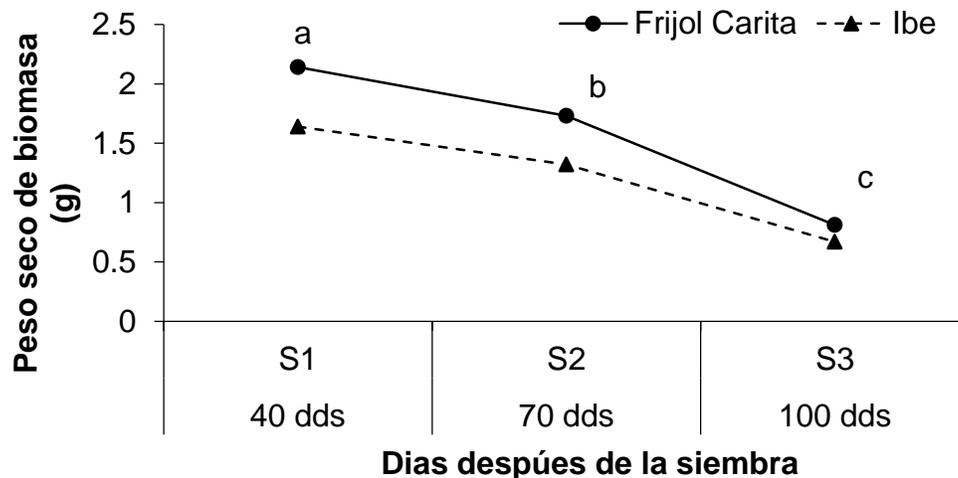


Figura 51. Peso seco de biomasa por planta de accesión de frijol carita e Ibe bajo estrés hídrico y riego durante diez, veinte y treinta días en el estado de Campeche, Camp., México. Valores con la misma letra dentro de la figura son iguales entre sí (Tukey 0.05).

Rendimiento de semilla por planta

El déficit hídrico ocasiono variación en el rendimiento de semilla por planta (RSPP) de las accesiones valoradas. En la Figura 52, se observa que el estrés hídrico origino con mayor frecuencia el RSPP en la accesión nativa denominada Frijol Carita en comparación con el Ibe. Mientras que las plantas de Ibe con déficit hídrico no sufrieron disminución del RSPP.

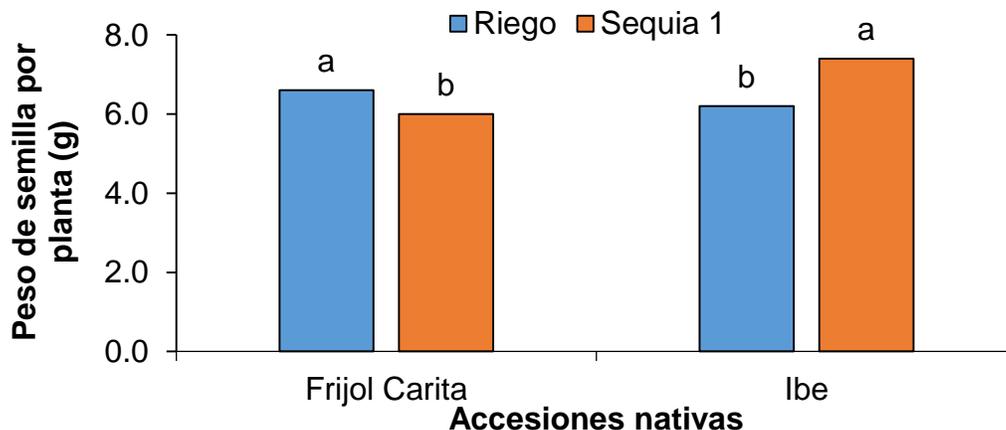


Figura 52. Rendimiento de semilla por planta de accesión de frijol carita e Ibe bajo estrés hídrico y riego durante diez días en el estado de Campeche, Camp., México. Valores con la misma letra dentro de la figura son iguales entre sí (Tukey 0.05).

El déficit hídrico durante la floración y llenado de vainas ocasiono una inestabilidad en el RSPP del Frijol Carita e Ibe. A los 70 y 100 dds el estrés hídrico redujo con

mayor variación el RSPP en el Frijol Carita en comparación con el Ibe (Figura 53 y 54). Conjuntamente en las figuras se puede observar que a los 70 dds el efecto del estrés hídrico no ocasiono reducción del RSPP en el Ibe; sin embargo, a los 100 dds el déficit hídrico si ocasiono una reducción del RSPP en el Ibe.

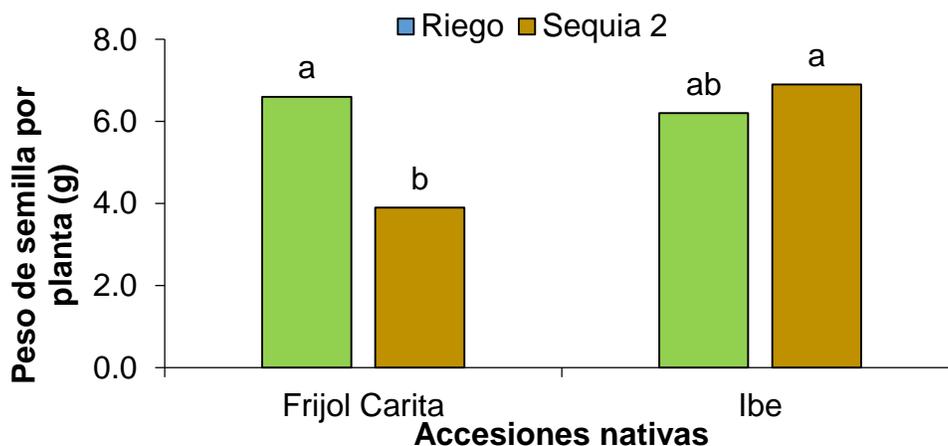


Figura 53. Rendimiento de semilla por planta de accesión de frijol carita e Ibe bajo estrés hídrico y riego durante veinte días en el estado de Campeche, Camp., México. México. Valores con la misma letra dentro de la figura son iguales entre sí (Tukey 0.05).

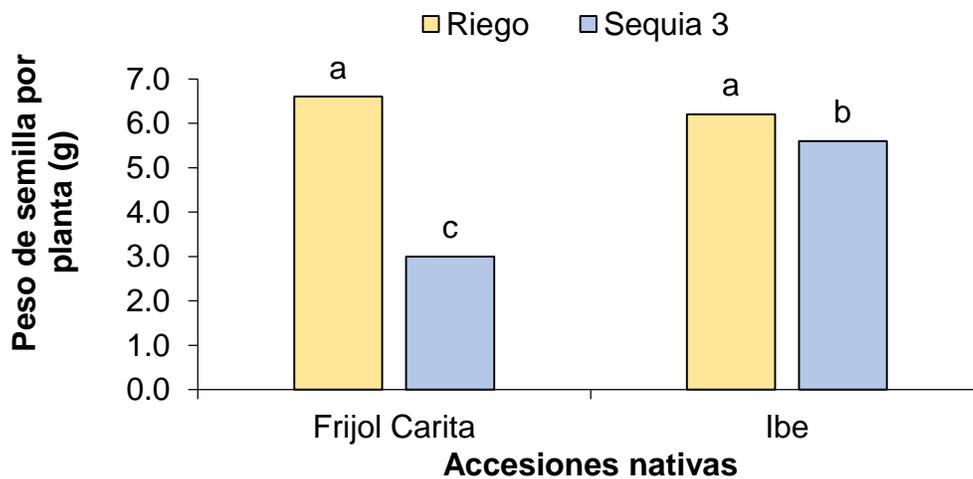


Figura 54. Rendimiento de semilla por planta de accesión de frijol carita e Ibe bajo estrés hídrico y riego durante treinta días en el estado de Campeche, Camp., México. México. Valores con la misma letra dentro de la figura son iguales entre sí (Tukey 0.05).

DISCUSIÓN

Altura de planta

Estudios realizados por Boicet (2010) al someter plantas de frijol a déficit hídrico observaron que las plantas que no padecieron de déficit hídrico presentaron mayor altura que las plantas con estrés hídrico durante el ciclo vegetativo. Resultados similares se observaron en el presente trabajo, al observar que la accesión denominada Frijol Carita presento menor altura que las plantas bajo riego a los 40 dds con una diferencia del 66.6 %. Mientras que el lbe presento una altura inferior a las plantas bajo riego equivalente al 6.4 y 13.1 % a los 70 y 100 dds cuando el estrés hídrico coincidió con la floración y llenado de vainas. Según Nielsen y Nelson (1998), en la etapa vegetativa el estrés hídrico provoca reducción en altura de planta y área foliar del frijol, pero no en su rendimiento. Estos resultados se asemejan a los obtenidos en nuestro estudio, al observar que en la etapa vegetativa y reproductiva el estrés hídrico provoco reducción en la altura de la planta, y que fue más evidente en la accesión lbe con una variación inferior de 9.2 % (S1), 8.8 % (S2) y 12.6 % en S3 a causa de los diferentes lapsos de estrés hídrico.

Número de hojas trifoliadas por planta

Numéricamente las accesiones nativas sufrieron una reducción del número de hojas por planta con diferente proporción de acuerdo con la duración del déficit hídrico. Por ejemplo, a los 40 dds el número de hojas fue inferior en un 50 y 25 % para Frijol Carita e lbe en comparación con las plantas que no sufrieron déficit hídrico. Y a los 70 y 100 dds, el lbe fue inferior en el número de hojas en un 11.5 y 8.5 % en relación con las plantas con riego. Estos resultados contrastan con los obtenidos por Matamoros y colaboradores (2014), al observar que el estrés hídrico en plantas de *Phaseolus vulgaris* L. no afecto el número de hojas, ramas y estructuras reproductivas, excepto para el tratamiento de 50% de agua. El 75% de agua estimuló el área foliar. Los tratamientos afectaron todos los órganos vegetativos, pero no los órganos reproductivos. Asimismo, el estrés hídrico en plantas de

Phaseolus coccineus L. afecto el número de hojas, ramas y estructuras reproductivas.

Número de días a botones florales y número botones por planta

La etapa reproductiva es más sensible al estrés hídrico, que, en las fases vegetativas, debido al incremento en la demanda de asimilados por las estructuras reproductivas (Acosta-Gallegos y Kohashi-Shibata, 1989). El inicio de la aparición de botones florales y posteriormente la floración es el inicio de la determinación de número de semillas por vaina y durante este desarrollo, el estrés hídrico causo efectos sobre la aparición de botones florales en las dos accesiones de frijol valoradas. Numéricamente la duración del déficit hídrico por 20 días disminuyo en la aparición de botones florales en Frijol Carita en un 50 % y un 75 % sobre el lbe con respecto a las plantas con riego. De igual forma, el déficit hídrico ocurrido a los 100 dds redujo la aparición de botones florales en el lbe en un 15.3 %.

Número de días a floración y número de flores por planta

El número de semillas por vaina se determina durante la floración, cuando las células masculinas del polen son transferidas a los óvulos en la vaina, ya que los óvulos fertilizados se convierten en semillas (Amador *et al.*, 2000). Estudios realizados por Romero *et al.* (2019) en variedades comerciales de frijol del tipo 'Flor de Mayo' (FM Anita, FM Corregidora, FM 2000, FM M38, FM Sol, FM Bajío, FM Noura y FM RMC), dos variedades con testa de semilla color negro (Negro Cotaxtla 91 y Negro Veracruz) y dos variedades criollas: Michoacán 128 (similar a las variedades tipo 'Flor de Mayo') y Criollo San Andrés (con testa de semilla color negro) observaron que el estrés hídrico disminuyó los grados día y días después de la siembra para alcanzar la floración y madurez fisiológica 13 (1 dds) y 43 grados (3 dds), respectivamente. Otros trabajos señalan que el estrés hídrico tiene su efecto más adverso durante la fase reproductiva (Costa *et al.*, 2000). Diversos estudios muestran que se reduce el número de flores, vainas y semillas por vaina (Xia, 1997), en algunas variedades de frijol la sequía disminuye hasta 47% el número de flores, afectando el número de vainas por planta (Nuñez *et al.*, 2005). Estos resultados

contrastan con los obtenidos en el presente estudio, al no observarse inestabilidad por el efecto del estrés hídrico en el número de flores por planta en las accesiones de frijol. Sin embargo, se aprecia efectos del estrés hídrico sobre el número de días a floración, al observarse un incremento de siete días a floración en la accesión Ibe. Mientras que en el Frijol Carita ocurrió lo contrario, al originarse siete días antes la floración en las plantas con déficit hídrico con respecto a las de riego.

Número de días a iniciación de vainas y número de vainas completas por planta

Mwanamwenge *et al.* (1999) ha observado que el aborto de vainas bajo condiciones de estrés hídrico puede variar de 21 a 65%. Numéricamente el estrés hídrico redujo en número de vainas por planta en la accesión Ibe en comparación con las plantas donde no se restringió la humedad, que propicio una variación inferior en el número de vainas por planta del 66 %. Con respecto a Frijol Carita, durante la floración y desarrollo de vainas el estrés hídrico provoco una reducción del número de vainas en un 50 y 70 %. En riego, el Ibe presento una variación superior del 73 % en comparación con el Frijol Carita. El número de días a formación de vainas en ambas accesiones bajo riego fue menor en comparación con las plantas con déficit hídrico durante la floración, con diferencia de seis días. Rainey y Griffiths (2005) señalan que el estrés causado por las deficiencias hídricas y calor se presente con frecuencia en forma simultánea en las etapas fenológicas más sensitivas de la planta para la formación del rendimiento; p.e., inicio de la floración, inicio de crecimiento de las vainas y llenado de grano en las áreas de secano; estos estreses abióticos disminuyen el rendimiento y calidad de la producción.

Efecto del estrés hídrico sobre el número de vainas y peso seco formadas después de aplicar el riego de recuperación

Estudios realizados por Peña y Muñoz, encontraron que un estrés de humedad reduce severamente el número de granos por vaina y el rendimiento del frijol, pero las especies mostraron una alta recuperación en crecimiento y producción de vaina cuando se riega después del tratamiento de sequía. Estos estudios coinciden con

los observados en el presente trabajo, al observar que el lbe presento una menor recuperación al estrés hídrico sobre el Frijol Carita, con una variabilidad inferior en el número de vainas del 37.5 y 12.5 % antes y durante la floración y 25 % durante el llenado de vainas sobre las plantas bajo riego. Mientras que, en el peso seco, la diferencia inferior de recuperación fue del 36.6 y 5.3 % antes y durante la floración y 17.3 % durante el llenado de vainas.

Número total de vainas completas y vanas por extracto de la planta

Estudios realizados por Castañeda y colaboradores (2006) indican que la fotosíntesis global de las vainas de los estratos superior e inferior del testigo (sin estrés) permaneció constante durante el periodo de evaluación de estrés hídrico en frijol; sin embargo, las vainas de plantas sometidas a estrés hídrico redujeron su fotosíntesis global en 39 y 72% en el estrato superior e inferior, respectivamente, pero sin llegar a 0. Conjuntamente observaron que, a los 5 días posteriores al riego de recuperación, las vainas con estrés hídrico de ambos estratos mostraron una actividad fotosintética global estadísticamente no diferentes al testigo, que en ambos casos fue muy pequeña; incluso las vainas del estrato inferior al final de la medición presentaron valores negativos atribuibles a la pérdida de pigmentos fotosintéticos asociados con la madurez de la vaina. Estos estudios se asemejan a los observados en el presente estudio, al observar una variación en el número de vainas por extractos bajo riego y estrés hídrico; y esta variabilidad se reflejó más en el Frijol Carita al obtener una inestabilidad de vainas completas del 67 %, así como una variación superior del 50 % de vainas vanas en la parte superior del extracto de la planta de ambas accesiones nativas con déficit hídrico en comparación con las plantas bajo riego. Otros trabajos realizados por Leach (2000) y QiFu *et al.* (2001) mencionan que conforme la vaina avanza hacia la madurez, la fotosíntesis se abate. La fotosíntesis global de las vainas puede deberse a que es una hoja modificada y solamente presenta ganancia neta en fotosíntesis durante los primeros estadios de desarrollo y cuando está bien iluminada (Leach, 2000).

Peso seco de vainas completas por extracto de la planta

Las condiciones ambientales, tales como el déficit hídrico y altas temperaturas afectan negativamente el desarrollo de los cultivares, pues modifican el entorno y alteran la producción de materia seca, el rendimiento de grano y sus componentes, número de plantas cosechadas, vainas por planta, granos por vaina y peso de grano entre otros (El-Aal *et al.*, 2011). Antes de la floración el déficit hídrico ocasiono una reducción del peso seco de vainas en la parte inferior de la planta de Frijol Carita, que representa una variabilidad inferior del 55.7 % con respecto a las plantas bajo riego. Igualmente, en el periodo de llenado de vainas el estrés hídrico ocasiono una reducción del 11.7 % del peso seco de vainas en la parte inferior y un 8.2 % sobre las vainas de la parte intermedia de la planta. Miranda y Belmar (1977) realizaron un estudio del déficit y frecuencia de riego en frijol (*Phaseolus vulgaris L.*) encontraron que hubo un efecto significativo sobre el rendimiento en la disminución de grano, el número de vainas por planta debido al déficit de humedad del suelo durante los estadios de crecimiento, floración y formación de grano.

Peso seco de biomasa

La duración del déficit hídrico antes y durante la floración, y llenado de vainas ocasiono disminución del contenido de materia seca en las dos accesiones nativas de frijol. Y esta variabilidad fue distinta entre las accesiones, al observarse que déficit hídrico antes de la floración ocasiono una reducción del 0.6 g de peso seco de la biomasa en el Frijol Carita, que equivale a un 22.2 % sobre las plantas sin estrés hídrico. Mientras que en el Ibe la reducción del peso de la biomasa fue de 0.9 g, que equivale al 36 %. Conjuntamente se observa que el estrés hídrico antes de la floración ocasiono una disminución mayor del peso seco de biomasa en el Ibe, al mostrar una diferencia inferior del 23.8 % sobre el Frijol Carita. Igualmente, este comportamiento fue similar entre las accesiones para riego, al originarse un peso superior del 7.4 % de la biomasa en el Frijol Carita sobre el Ibe. Estudios efectuados por Polón y colaboradores (2017) indican que, al someter al cultivo de frijol a un estrés de agua en la fase vegetativa en la variedad Delicia 364 se incrementa el rendimiento en granos, el número de vainas por planta y la masa seca por planta,

con un uso más eficiente del agua respecto al tratamiento testigo (riego normal), los granos de frijoles con estrés de agua presentaron un color más brillante y pesados respecto al testigo.

En relación con el estrés hídrico a los 70 y 100 dds entre las accesiones, el Ibe mostro una reducción inferior del peso seco de la biomasa de 51.8 y 75.8 % por efecto del déficit hídrico en comparación con las plantas sin déficit hídrico. Mientras que el déficit hídrico durante la floración y llenado de vainas para el Frijol Carita, la disminución del peso de la biomasa fue del 37 y 71.4 %. De igual forma se aprecia que en condiciones de déficit hídrico durante la floración y llenado de vainas, el Frijol Carita presento una variación superior del peso seco de la biomasa del 23.5 y 12.5 % sobre el Ibe. Babalola (1980), estudió el efecto del estrés hídrico del suelo sobre tres variedades de frijol, encontró que estas redujeron significativamente el crecimiento y el rendimiento (34 y 64%) de las variedades cuando las plantas estaban en la etapa de floración y fructificación. Miranda y Belmar (1977) realizaron un estudio del déficit y frecuencia de riego en frijol (*Phaseolus vulgaris L.*) encontraron que hubo un efecto significativo sobre el rendimiento en la disminución de grano, el número de vainas por planta debido al déficit de humedad del suelo durante los estadios de crecimiento, floración y formación de grano.

Rendimiento de semilla por planta

El estrés hídrico presentó mayor efecto sobre el Frijol Carita durante el estrés hídrico antes y después de la floración y llenado de vainas en comparación con el Ibe. Por ejemplo, el déficit hídrico antes de la floración ocasiono la reducción del rendimiento de semilla por planta (RSPP) en un 9 % en el Frijol Carita. Mientras que, durante la floración, la reducción del RSPP por efecto del estrés hídrico fue del 41 % en el Frijol Carita. Durante el llenado de vaina el estrés hídrico redujo la producción del RSPP, sin embargo, esta disminución fue inferior en el Ibe, con un 9.6 %. Mientras que el Frijol Carita fue del 54.5 % con respecto a las plantas sin déficit hídrico. En estudios efectuados por Rainey y Griffiths (2005) observaron que el frijol es extremadamente sensible al estrés hídrico y al calor presente con frecuencia en

forma simultánea en las etapas fenológicas más sensibles de la planta: para la formación del rendimiento en el inicio de la floración, inicio de crecimiento de las vainas y llenado de grano en las áreas de secano; este tipo de estrés abiótico disminuye el rendimiento y calidad de la producción. Mientras que Miranda y Belmar (1977) realizaron un estudio del déficit y frecuencia de riego en frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) encontraron que hubo un efecto significativo sobre el rendimiento en la disminución de grano, el número de vainas por planta debido al déficit de humedad del suelo durante los estadios de crecimiento, floración y formación de grano.

VII. CONCLUSIONES

- ✚ El estrés hídrico ocasiono la reducción del peso seco de la biomasa de la planta en las dos accesiones nativas de frijol.
- ✚ El frijol Carita fue el que presento menos tolerancia al estrés hídrico antes y durante y llenado de vainas.
- ✚ El estrés hídrico redujo el número de vainas, hojas, botones y flores por planta.
- ✚ El estrés hídrico durante la floración y llenado de vainas ocasiono mayor variación en el número de hojas, botones y flores, y vainas, peso seco de vainas y biomasa.
- ✚ En las dos accesiones, el efecto del estrés hídrico antes de la floración ocasiono menor reducción del rendimiento de semilla por planta con respecto al déficit hídrico durante la floración y llenado de vainas.
- ✚ El estrés hídrico ocasiono mayor reducción del rendimiento de semilla por planta en el Frijol Carita durante y después de la floración y llenado de vainas.

VIII. RECOMENDACIONES

- ❖ Incentivar y crear mecanismos para que se fomente mayor el interés por el estudiante y docentes sobre estudios de investigación en los cultivos nativos solo y/o en asociación y tecnologías sustentables.
- ❖ 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 indagación e investigación.
- ❖ Fortalecer la vinculación y difusión entre las instituciones educativas (IT Chiná) e instituciones de investigación (INIFAP) para coadyuvar en el aprendizaje de formación del estudiante.

IX. BIBLIOGRAFIA

Acosta-Gallegos, J.A., E. Acosta-Díaz, S. Padilla-Ramírez, E. López-Salinas, R.A. Salinas Pérez, N. Mayek Pérez y J.D. Kelly. 1998. Seed yield of dry bean cultivars under drought stress. *Ann. Rep. Bean Improv. Coop.* 41: 151-152.

Acosta-Gallegos, J.A. y Kohashi-Shibata, J. 1989. Effect of water stress on growth and yield of indeterminate dry-bean (*Phaseolus vulgaris*) cultivars. *Field Crop Res.* 20: 81-93.

Acosta-Díaz, E., Trejo, L.C., Ruiz, P.L.M., Padilla, R.J.S., Acosta, G.J.A. 2004. Adaptación del frijol a sequía en la etapa reproductiva *Terra Latinoamericana*, Vol. 22, Núm. 1: 49-58.

Aguilar-Benítez, G., Vázquez, D.G.E., Castro, R.R., Cruz, C.E., Jarquín, G.R. 2019. Germinación de cultivares de frijol con características físicas contrastantes bajo condiciones de estrés osmótico. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, Vol. 10 (2): 239-251.

Amador, M.B., Diéguez, T.E., Hernández, G.J.L., Hernández, L.L., Mauyora, K.A.J. 2000. El frijol Yorimón: Leguminosa tolerante a sequía y salinidad. *Publicación de transferencia y divulgación No.2*. ISBN: 970-18-5788-7. 33 p.

Ambachew, D., Mekbib, F., Asfaw, A., Beebe, S.E., Blair, M.W. 2015. Trait associations in common bean genotypes grown under drought stress and field infestation by BSM bean fly. *China. The Crop J.* 3:305-316

Arias, R.L., Jarvis, D., Williams, D., Latournerie, L., Marquez, F., Castillo, F., Ramírez, P., Chávez, J.L, Ortega, R., Ortiz, J., Sauri, E., Duch, J., Bastarrachea, J., Guadarrama, M., Cázares, E., Interián, V., Lope, D., Duch, T., Canul, J., Burgos, L., Camacho, T., González, M., Tuxill, J., Eyzaguirre, C., Cob, V. 2004. Conservación in situ de la biodiversidad de las variedades locales en la milpa de Yucatán, México. En: Manejo de la diversidad de los cultivos en los agroecosistemas tradicionales. Chávez-Servia, J.L., J. Tuxill y D.I. Jarvis (eds). Instituto Internacional de Recursos Fitogenéticos, Cali, Colombia. Pp. 36-46.

Arroyo-Peña, B.; Peña-Valdivia, C. B. y Sánchez, U. A. B. 2005. Efecto del potencial de agua en la germinación de semillas de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) silvestre y domesticado. SABER, Revista Multidisciplinaria del Consejo de Investigación. Suplemento. 17:237-239.

A. Peña y R. Muñoz, "Respuesta de tres especies cultivadas a condiciones deficientes de humedad edáfica", *Agronomía*, 1988, 74: 231-243.

Babalola, O. 1980. "Water relations of three cowpea cultivar *Vigna unguiculata* L.", *Plant and Soil*, 56(1):5969.

Basurto, S.M., Núñez, B.A., Pérez, L.R.R., Hernández, R.O.A. 2008. Fisiología del estrés ambiental en plantas. *Synthesis, Aventuras del pensamiento*. 5 p.

Benavides, M.A. 2002. "Ecofisiología y química del estrés en plantas", Departamento de agricultura/UAAAN.

Bellon, M.R. and Berthaud, J. 2006. Traditional Mexican agricultural systems and the potential impacts of transgenic varieties on maize diversity. *Agriculture and Human Values* 23:3-14.

Boicet, T. 2010. Estrés hídrico y la distribución de características vegetativas y reproductivas en el genotipo de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L). En: *II Simposio de Ecofisiología Vegetal*. Libro Resumen XVII Congreso Científico Internacional del Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas 2010, p. 145.

Boicet, T.: "Estrés hídrico y la distribución de características vegetativas y reproductivas en el genotipos de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L)", En: *II Simposio de Ecofisiología Vegetal, XVII Congreso Científico Internacional del INCA*, La Habana, Cuba, p. 145, 2010, ISBN: 978-959-07-1363-7.

Cadena, H.D., Gaxiola, A.R., Mora, A.M.A. 2019. Tolerancia a estrés hídrico en frijol cv. Pinto Saltillo modificado con el gen pirofosfatasa vacuolar-1 de *Arabidopsis thaliana*. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, Vol. 10 Núm. 6: 1231-1245

Castañeda, S.M.C., Córdova, L., González, H.V.A., Delgado, A.A., Santacruz, V.A., García, de los S.G. 2006. Respuestas fisiológicas, rendimiento y calidad de semilla en frijol sometido a estrés hídrico *Interciencia*, vol. 31, núm. 6, junio, pp. 461-466

Chávez, S.J., Canul, K.J., Burgos, M.L., Márquez, S.F. 2004. Beneficios potenciales del mejoramiento participativo del maíz en el sistema de roza-tumba-quema de Yucatán, México. En: Manejo de la diversidad de los cultivos en los agroecosistemas tradicionales. Chávez-Servia, J.L., J. Tuxill y D.I. Jarvis (eds). Instituto Internacional de Recursos Fitogenéticos, Cali, Colombia. pp. 75-187.

Cregg, B. M. 2004. Improving drought tolerance of trees: Theoretical and practical considerations. *Acta Hort.* 630: 147-156.

Costa, F. M. G.; Thi, A. T. P.; Pimentel, C.; Pereyra, R. R. O.; Zuily, F. Y. and Laffray, D. 2000. Differences in growth and water relations among *Phaseolus vulgaris* cultivars in response to induced drought stress. *Environ. Exp. Bot.* 43(3):227-237.

Delgado, A. y Gama, L.S. 2015. Diversidad y distribución de los frijoles silvestres en México. México. *Rev. Digital Universitaria.* 16(2):1-11.

Elston, J. and Bunting, A.H. 1980. "Water relations of legume crops", in: H.J. Summerfield and A.H. Bunting (eds.), *Advances in legume Science*. Royal Botanic Gardens, UK, pp. 37-42.

El-Aal HA, El-Hwat N, El-Hefnawy N, Medany M. Effect of Sowing Dates, Irrigation Levels and Climate Change on Yield of Common Bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Am-Eurasian J Agric Environ Sci.* 2011;11(1):79–86.

Esquivel, E., Acosta, J.A., Ortiz, J., Mendoza, M.C., y Padilla, S. 2004. "Fenología y rendimiento de cuatro variedades de frijol en el altiplano central de México", INIFAP, México, pp. 19-27.

Espinosa-Pérez, E.N., Ramírez-Vallejo, P., Crosby-Galván, M.M., Estrada-Gómez, J.A., Lucas-Florentino, B., Chávez-Servia, J. 2015. Clasificación de poblaciones nativas de frijol común del centro-sur de México por morfología de semilla. *Revista fitotecnica mexicana*, 38(1), 29-38.

FAO, Food and Agriculture Organization (2007) Base de Datos de Estadísticas Agropecuarias. Disponible en: www.faostat.fao.org.

FAO, Food and Agriculture Organization (2018) Base de Datos de Estadísticas Agropecuarias. Disponible en: www.faostat.fao.org.

Freytag, G.F. y Debouck, D.G. 2002. Taxonomy, distribution, and ecology of the genus *Phaseolus* (Leguminosae-Papilionideae) in North America, Mexico and

Central America. SIDA, Botanical Miscellany 23. Botanical Research Institute of Texas. Fort Worth, USA. 300 p.

Garau, A.M., Ghera, C.M., Lemcoff, J.H., and Baraño, J.J. 2009. Weeds in *Eucalyptus globulus* subsp. *maidenii* (F. Muell) establishment: Effects of competition on sapling growth and survivorship. *New Forests* 37: 251-264.

Gobierno de México, 2021. Resúmenes Mensuales de Temperaturas y Lluvia. Gobierno de México: <https://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/temperaturas-y-lluvias/resumenes-mensuales-de-temperaturas-y-lluvias>.

Guoju, X., Fengju, Z., Juying, H., Chengke, L., Jing, W., Fei, M., Yubi, Y., Runyuan, W., Zhengji, Q. 2016. Response of bean cultures' water use efficiency against climate warming in semiarid regions of China. *Agricultural Water Management*, 173, 84-90.

Guzmán, G. 2010. "Evaluación bajo condiciones controladas de estrés hídrico las diferencias fenotípicas del crecimiento y desarrollo de raíces de genotipos promisorios de frijol rojo (*Phaseolus vulgaris* L.)", Centro Experimental Campos Azules. Instituto de Nicaragua de Tecnología Agropecuaria.

Hernández-López, V.M., Vargas-Vázquez, M.L.P., Muruaga-Martínez, J.S., Hernández-Delgado, S. y Mayek-Pérez, N. 2013. Origen, domesticación y diversificación del frijol común: Avances y perspectivas. *Revista fitotecnia mexicana*, 36(2), 95-104.

Hsiao, T.C., E. Acevedo, E. Fereres and D.W. Henderson. 1976. "Water stress, growth and osmotic adjustment", *Phyl. Trans. Royal Soc., London*, 273: 479-500.

INIFAP, 2015a. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Agenda tecnológica agrícola, Campeche. Cultivo de frijol bajo temporal. 190 p.

INIFAP, 2015a. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Agenda tecnológica agrícola, Yucatán. Cultivo de frijol bajo temporal. 190 p

Kohashi, S., Galván, T., García, E., Yáñez, J., Martínez, V. y Ruíz, P. 2002. "Estrés hídrico y su efecto en el crecimiento de los fitómeros del frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.)", *Agric. Téc. Méx.* 28(1): 65-75.

Kramer, P.J. 1983. "Drought Tolerance and Water Efficiency", en: *Water Relations of Plants*, Nueva York, Academy Press, pp. 390-415 p.

Ku-Pech, M.E. 2019. La diversidad de maíz, frijol y calabaza en la milpa maya de Xoy, Peto, Yucatán. Tesis. Centro de Investigación Científica de Yucatán, A.C. Posgrado en Ciencias Biológicas. 120 p.

Kwak, M., Gepts, P. 2009. Structure of genetic diversity in the two major gene pools of common bean (*Phaseolus vulgaris* L., Fabaceae). *Theor. Appl. Genet.* 118:979-992.

Lara, P.E., B.L. Caso y F.M. Aliphat. 2012. El sistema roza, tumba y quema de los mayas Itzá de San Andrés y San José, Petén Guatemala. *Contaminación y Medio Ambiente. Ra Ximbhai*, 8: 69-90.

Leach JE (2000) The role of pods and leaves for photosynthetic gas exchange in determinate (restricted branching) white lupin (*Lupinus albus* L.) En *Proc. 9th Int. Lupin Conf. Kink/Muritz, Alemania.* pp 346- 348.

Lépiz I., R., R. Ramírez D., J. J. Sánchez G., J. A. Ruiz C. y D. Debouck. 2004. Las especies silvestres de *Phaseolus* L. (PHABACEAE) en la cuenca de los ríos Verde y Santiago y Nevado de Colima, del Occidente de México. *Scientia-CUCBA* 6(1-2): 91-99.

Lépiz, I.R. y Navarro, S.J. 1983. "Frijol en el Noroeste de México", SARH, México, 1983, pp. 1-6, 29-41.

Lüttge, U.E. 2007. *Physiological ecology of tropical plants.* Springer. Berlin

Miranda-Colín, S. 1967. Origen de *Phaseolus vulgaris* L. (frijol común). *Agrociencia* 1:99-104.

Miranda, N.O. y Belmar, N.C. 1977. "Déficit hídrico y frecuencia de riego en frijol (*Phaseolus vulgaris* L.)", *Agricultura Técnica*, 37(3): 111-117

Matamoros, R., Martínez, M.D., Rueda, L.R., Rodríguez, R.T. 2014. Efecto del estrés hídrico en plantas de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) en condiciones de invernadero Jenaro. *Revista Iberoamericana de Ciencias*, Vol. 1 (2): 191-203.

Montero, T.V., Gutiérrez, B.G.M., Mireles, A.A.I., Aguirre, M.C.L., Acosta, G.J.A., Ruiz, N.J.E. 2019. Efectos fisiológicos del estrés hídrico en variedades de frijol tolerantes a la sequía. *Acta universitaria, Multidisciplinary Scientific Journal*, Vol. 29: 1-7.

Munns, R. and Tester, M. 2008. Mechanisms of salinity tolerance. *Annu. Rev. Plant Biol.* 59: 651-681

Muñoz, P.C.G., Terán, H., Allen, R. G., Wright, J. L., Westermann, D. T., & Singh, S.P. 2006. Selection for drought resistance in dry bean landraces and cultivars. *Crop Science*, 46(5), 2111-2120.

Mwanamwenge, J.; Loss, S. P.; Siddique, K. H. M. and Cocks, P. S. 1999. Effect of water stress during floral initiation, flowering and podding on the growth and yield of faba bean (*Vicia faba* L.). *Eur. J. Agron.* 11(1):1-11.

Nielsen, D.C., Nelson, N.O. 1998. Black bean sensitivity to water stress at various growth stages. *Crop Sc.* 38: 422-427.

Nielsen, D. 2008. Black bean sensitivity to water stress at various growth stages. *Crop Sc.*, 38: 422-427.

Núñez, A., Ritchie, J. y Smucker, A. 1998. "El efecto de sequía en el crecimiento, la fotosíntesis y la intercepción de luz en frijol común", *Agronomía Mesoamericana*, 9(2): 1-8

Núñez, B. A.; Hoogenboom, G. and Nesmith, D. S. 2005. Drought stress and the distribution of vegetative and reproductive traits of a bean cultivar. Piracicaba, Brazil. *Sci. Agric.* 62(1):18-22.

Pacay, Q.F. 2021. Asociación de accesiones nativas de calabaza (*Cucurbita argyrosperma* ssp.), maíz (*Zea mays* L.), frijol (*Vigna unguiculata* L.), e ibe (*Phaseolus lunatus* L.) en la Península de Yucatán, México. Tesis, Instituto Tecnológico de Chiná, Campeche, México. 68 p.

Papa, R., Gepts, P.L. 2003. Asymmetry of gene flow and differential geographical structure of molecular diversity in wild and domesticated common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) from Mesoamerica. *Theor. Appl. Genet.* 106:239-250.

Papa, R., Nanni, L., Sicard, D., Rau, D., Attene, G. 2006. The evolution of genetic diversity in *Phaseolus vulgaris* L. *In: Darwin's Harvest: New Approaches to the Origins, Evolution, and Conservation of Crops.* J J Motley, N Zerega, H Cross (eds). Columbia University Press. New York. pp:121-142.

Peña, A. y Muñoz, R. 1988. "Respuesta de tres especies cultivadas a condiciones deficientes de humedad edáfica", *Agronomía*, 1988, 74: 231-243.

Peña-Valdivia, CB., Aguirre, R.J.R., Arroyo, P.V.B. 2012. El frijol silvestre: Síndrome de domesticación. Primera Edición. 206 p.

Peña-Valdivia, CB, C. Trejo L, V. B. Arroyo-Peña, A. Sánchez U., and R. Balois M. 2012. Diversity of unavailable polysaccharides and dietary fiber in domesticated nopalito and cactus pear fruit (*Opuntia* spp.). *Chem. Biodivers.* 9: 1599-1610.

Pérez-Molphe, B.E. y OCHOA, A.N. 1990. "Respuesta de las plantas al déficit hídrico, Ciencia, pp. 333-344.

Peña-Valdivia, CB, García HE del R, Bernal-Lugo I, Aguirre RJR. 1999. Seed quality of wild and domesticated common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) after storage. *Interciencia* 24: 8-13.

Peña-Valdivia, CB, García NR, Aguirre JR, Trejo C. 2002. The effects of high temperature on dormancy and hypocotyl-root growth of wild bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Seed Sci. Technol.* 30: 231-248.

Polón, P.R., Ruiz, S.M., Miranda, C.A. y Ramírez, A.M.A. 2017. Efectos del estrés hídrico sobre el rendimiento de los granos del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 26(1), 66-70.

QiFu M, Benboudian MH, Turner NC, Palta JA (2001) Gas exchange by pods and subtending leaves and internal recycling of CO₂ by pods of chickpea (*Cicer arietinum* L) subject to water deficits. *J. Exp. Bot.* 52: 123- 131

Saburido, A.M. de la S. y Herrera, E.A. 2015. El frijol en la era genómica. México. *Rev. Digital Universitaria.* 16(2):1-16.

SAGARPA, 2017. Planeación agrícola nacional 2017-2030. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/255627/Planeaci_n_Agr cola_Na cional_2017-2030-_parte_uno.pdf

Schneider, K.A., Rosales, S.R., Ibarra, P.F., Cazares, E.B., Acosta, G.J.A., Ramírez, V.P., Wassimi, N. and Kelly, J.D. 1997. Improving common bean performance under drought stress. *Crop Sci.* 37(1):43-50.

Serrano-Serrano, M. L., Andueza-Noh, R.H., Martinez-Castillo, J., Debouck, D.G. and Chacón, M.I. 2012. Evolution and domestication of lima bean in Mexico: Evidence from ribosomal DNA. *Crop Science* 52:1698-1712.

SIAP, "Superficie cosechada y producción de frijol anual en México", Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación, 2019, [Consultado el 06 de mayo de 2019]. Disponible en: <http://www.campomexicano.gob.mx/siacon>

SIAP, "Superficie cosechada y producción de frijol anual en México", Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación, 2020, [Consultado el 06 de mayo de 2020]. Disponible en: <http://www.campomexicano.gob.mx/siacon>

Singh, B. and Singh, G. 2006. Effects of controlled irrigation on water potential, nitrogen uptake and biomass production in *Dalbergia sissoo* seedlings. *Environ. Exp. Bot.* 55: 209-219.

Singh, S.P., Gepts, P. and Debouck. D. 1991. Races of common bean (*Phaseolus vulgaris*, Fabaceae). *Economic Botany* 45(3): 379-396.

Singh, S.P. 1995. "Selection for water stress tolerance in interracial populations of common bean", *Sci.*, 1995, 35: 118-124.
Crop

Rainey, K.M. and Griffiths, P.D. 2005. "Differential response of common bean genotypes to high temperature", *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 130(1):18-23.

Romero, F.C.S., López, C.C., Kohashi, S.J., Miranda, C.S., Aguilar, R.V.H., Martínez, R.C.G. 2019. Cambios en el rendimiento y sus componentes en frijol bajo riego y sequía. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 10(2), 351-364.

Vidal-Barahona, A., Lagunes-Espinoza, L.C., Valadez, E. y Ortiz-García, C.F. 2006. Variabilidad morfológica y molecular de cultivares criollos y mejorados de frijol común en Tabasco, México. *Revista Fitotecnia Mexicana* 29:273-281.

Xia, M. Z. 1997. Effect of soil drought during the generative development phase on seed yield and nutrient uptake of faba bean (*Vicia faba* L.). *Australian J. Agric. Res.* 48:447-451